

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

Direktor: Professor Dr. med. dent. Marc Schmitter

**3D-gedruckte Zähne zur Verbesserung der Lehre von Veneerpräparationen**

**Inauguraldissertation**

**zur Erlangung der Doktorwürde der**

**Medizinischen Fakultät**

**der**

**Julius-Maximilians-Universität Würzburg**

**vorgelegt von**

Tanja Elisabeth Rammler

aus Burgoberbach

**Würzburg, März 2024**



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

**Koreferent: Prof. Dr. med. dent. Gabriel Krastl**

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

**Tag der mündlichen Prüfung: 07.03.2024**

**Die Promovendin ist Zahnärztin**

In großer Dankbarkeit meiner Familie, Freunden und allen Weggefährten.

## **Genderhinweis:**

Aus Gründen der Übersichtlichkeit und vereinfachten Lesbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d) verzichtet. Somit gelten sämtliche Personenbezeichnungen gleichermaßen für alle Geschlechter.

## **Inhalt**

1 Einführung .....	1
1.1 Zunehmende Relevanz von Veneers .....	1
1.2 Arten von Veneers .....	2
1.3 Simulation in der zahnmedizinischen Lehre .....	3
1.4 Selbsteinschätzung während des Lernprozesses.....	7
1.5 Hypothesen der vorliegenden Studie .....	8
2 Material und Methoden .....	10
2.1 Herstellung der Übungszähne.....	10
2.1.1 Beispielpräparation eines Veneers .....	10
2.1.2 Entwurf des zweischichtigen Übungszahnes und des Anschauungsmodells .....	11
2.1.3 Die Herstellung der Zähne.....	12
2.1.4 Verklebung der Schichten des Übungszahnes .....	14
2.2 Der praktische Kurs.....	16
2.2.1 Die Teilnehmer des Kurses .....	16
2.2.2 Die Präparationsübung.....	16
2.2.3 Fragebogen zur Evaluation der Zweischichttechnik.....	19
2.3 Auswertung der im praktischen Kurs präparierten Zähne .....	20
2.3.1 Digitalisierung der präparierten Zähne.....	21
2.3.2 Überlagerung der virtuellen Zähne .....	22
2.3.3 Darstellung des jeweiligen Substanzabtrags in Relation zur Referenzpräparation .....	23
2.3.4 Ermittlung der durchschnittlichen Präparationsdifferenzen .....	25
2.3.5 Berechnung der Präparationsdifferenzen .....	26
2.3.6 Beurteilung der Präparationsqualität .....	27
2.3.7 Nachweis des Lernerfolgs .....	28
2.4 Statistisches Vorgehen .....	28
2.4.1 Statistische Aufarbeitung des Fragebogens .....	28

2.4.2 Auswertung der gescannten Zähne .....	29
3 Ergebnisse.....	31
3.1 Ergebnisse des Fragebogens .....	31
3.1.1 Die persönlichen Daten der Teilnehmer .....	32
3.1.2 Eigenschaften von zweischichtigen Übungszähnen im Vergleich zu KaVo-Zähnen.....	33
3.1.3 Beschaffenheit der zweischichtigen Übungszähne .....	33
3.1.4 Eigenschaften des Anschauungsmodells mit präpariertem Modellzahn.....	33
3.1.5 Meinungsbild zum Lernergebnis.....	34
3.1.6 Evaluation des Lernprozesses .....	34
3.1.7 Offene Fragen .....	35
3.1.8 Evaluation der Hypothese „Die Studierenden schätzen die Zweischichttechnik als gute Lehrmethode ein.“ .....	36
3.2 Lernerfolg der beiden Versuchsgruppen .....	36
3.2.1 Die Ergebnisse der vier Präparationsdurchgänge .....	36
3.2.2 Test auf Normalverteilung .....	40
3.2.3 Einfluss der Zweischichttechnik auf die Präparationsqualität.....	41
3.2.4 Darstellung der Lernkurve .....	42
3.2.5 Abhängigkeit der Präparationsqualität von der Selbsteinschätzung der Studierenden.....	43
4 Diskussion .....	44
4.1 Einordnung von Material und Methoden.....	45
4.1.1 Diskussion von Studiendesign und Fallzahl.....	45
4.1.2 Herstellung der zweischichtigen Übungszähne und des Anschauungsmodells .....	46
4.1.3 Die Lehrmethode der Zweischichttechnik .....	49
4.1.4 Bewertung des Fragebogens zur Evaluierung der Zweischichttechnik .....	50
4.2 Diskussion der Auswertung der Präparationen.....	52
4.2.1 Der Scanner InEos X5.....	52

4.2.2 Die Auswertungssoftware GOM Inspect 2019 .....	53
4.3 Bewertung der Ergebnisse .....	56
4.3.1 Einordnung der Ergebnisse des Fragebogens und des Einflusses der Zweischichttechnik auf die Präparationsqualität .....	56
4.3.2 Beurteilung der Lernkurve .....	62
4.3.3 Diskussion der Abhängigkeit der Präparationsqualität von der Selbsteinschätzung der Studierenden .....	64
4.3.4 Zusammenfassung von bisherigen Ergebnissen zu zweischichtigen Übungszähnen .....	65
5 Zusammenfassung .....	68
6 Literatur .....	69
Appendix.....	1
I Abkürzungsverzeichnis .....	1
II Abbildungsverzeichnis .....	2
III Tabellenverzeichnis .....	3
IV Herstellerverzeichnis .....	4
V Originalien .....	7
V.1 Fragebogen .....	7
V.2 Originalien des Fragebogens.....	10
V.3 Auswertung der Präparationen des praktischen Kurses.....	14
VI Danksagung .....	19
VII Lebenslauf.....	20
VIII Publikation.....	20

# 1 Einführung

## 1.1 Zunehmende Relevanz von Veneers

Ein Veneer ist eine dünne Schicht zahnfarbenen Materials, das auf einen Frontzahn aufgebracht wird, um lokalisierte oder generalisierte Defekte oder interne Diskolorationen zu restaurieren (Padilla et al. 2020). Das Erlernen der korrekten Veneerpräparation ist von besonders großer Bedeutung in der zahnmedizinischen Ausbildung. Dies liegt in der breit gefächerten Indikationsstellung von Keramikveneers begründet, welche nach Manhart in medizinische und ästhetische Indikationen unterschieden werden (Manhart 2011).

Ästhetische Aspekte, die durch keramische Veneers verbessert werden können, sind zum einen stark ausgeprägte Zahnverfärbungen im Frontzahnbereich. Diese können durch Tetrazykline, Amelogenesis imperfecta, dentale Fluorose, hohes Alter sowie Devitalität entstehen (Hari et al. 2017; Jankar et al. 2014; Shahroom et al. 2019). Medizinische Indikationen für Keramikveneers sind unter anderem Schmelzhypokalzifizierungen und Kronenfrakturen (Calamia 1983; Elhennawy et al. 2016; Horn 1983). Des Weiteren kann mit Keramikveneers funktionellen Aspekten wie der Wiederherstellung von Führungsflächen an Eckzähnen, dem Schutz der Zahnhartsubstanz vor weiterer Abrasion, Attrition und Erosion sowie der Reparatur des Verblendungsanteils prothetischer Restaurationen Rechnung getragen werden (Manhart 2011). Zudem können vergrößerte Interdentalräume, Zahndrehungen und -kippen sowie Anomalien der Zahnform ausgeglichen werden (Hari et al. 2017; Manhart 2011). Bei der Auswertung der verfügbaren Literatur wird somit ersichtlich, dass bei primär medizinischen Indikationen zumeist auch ästhetische Vorteile erzielt werden (Dumfahrt et al. 2000; Peumans et al. 2000).

Ein weiterer Grund für die zunehmende Relevanz von Veneers sind die zunehmenden ästhetischen Ansprüche der Patienten (Peumans et al. 2000). Nach Joiner ist das Erscheinungsbild und die Farbe der Zähne in vielen Gesellschaften von großem Interesse, woraus sich eine vergrößerte Nachfrage nach Behandlungen zur Verbesserung der dentalen Ästhetik ergibt (Joiner 2004; Joiner et al. 2017). Die Arbeitsgruppe um Ashworth konnte eine maßgebliche Verbesserung der Selbstwahrnehmung und des Selbstvertrauens durch eine Behandlung mit Keramikveneers nachweisen (Ashworth et al. 1996). Manhart führt zudem an, dass „informierte Patienten aber auch minimal-invasive Therapieformen [bevorzugen und] in vielen Fällen keine komplette Überkronung entsprechender Zähne“ (Manhart 2011)

wünschen. Eine invasive Präparation kann durch adhäsiv befestigte Keramikveneers in vielen Fällen verhindert werden (Friedman 1993).

Ein weiterer Aspekt, der die zukünftige Bedeutung von Veneers unterstreicht, ist die Zunahme von Abrasion, Attrition und Erosion in der jungen Generation (Gambon et al. 2012; Taji et al. 2010). Treten diese Zahnhartsubstanzdefekte im Frontzahnbereich auf, werden sie entsprechend der oben genannten Indikationen oftmals mit Veneers therapiert.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Veneers heute wie in Zukunft ein breites Anwendungsspektrum in der Zahnmedizin haben. Der sich hieraus ergebenden zentralen Bedeutung der Lehre der Veneerpräparation wird im universitären Curriculum allerdings kaum Rechnung getragen. In der vorliegenden Studie soll ein Ansatz zur Erleichterung und Verbesserung der Lehre von Veneerpräparationen im vorklinischen Studienabschnitt des Zahnmedizinstudiums untersucht werden.

## **1.2 Arten von Veneers**

Die Verbesserung der dentalen Ästhetik mit Veneers erfolgt zumeist entweder mit laborgefertigten Kompositveneers oder mit laborgefertigten Keramikveneers (Wei et al. 1989). Des Weiteren gibt es die Möglichkeit, ein Veneer aus Kunststoff direkt im Mund des Patienten aufzubauen (Allothman et al. 2018). So stellt sich dem Behandler die Frage, mit welchem Verfahren die Versorgung des jeweiligen Patienten am besten zu bewerkstelligen ist. Nach Manhart sind indirekte keramische Veneers gegen direkte Kompositrestaurationen „durch sehr große Frontzahndefekte, anspruchsvolle Farb- und Textursituationen und durch hohe ästhetische Ansprüche der Patienten“ (Manhart 2011) abzugrenzen. Unabhängig von den klinischen Voraussetzungen konnte festgestellt werden, dass bei der Präparation für indirekte Keramikveneers erheblich mehr Zahnhartsubstanz verloren geht, als bei der Vorbereitung für direkte Kompositveneers (Machado et al. 2014; Peumans et al. 2000). Dieser Sachverhalt liegt darin begründet, dass Frontzähne für direkte Kompositveneers nicht präpariert, sondern nur mit Säure behandelt werden müssen.

Betrachtet man die indirekten Kompositveneers im Vergleich zu Keramikveneers, ergibt sich als Vorteil der indirekten Kompositveneers der geringere Kostenfaktor sowie – ähnlich wie bei direkten Kompositveneers - ein verminderter Behandlungsaufwand (Gomes et al. 2014). Eine Präparation der Zahnhartsubstanz ist allerdings bei beiden Veneerformen notwendig (Albuquerque et al. 2018; Machado et al. 2014).

Die Arbeitsgruppe um Mesko et al. konnte in ihrer systematischen Übersichtsarbeit keinen Unterschied in der Haltbarkeit von keramischen Veneers, direkten und indirekten Kompositveneers feststellen (Mesko et al. 2016). Zahlreiche weitere Autoren kamen hingegen zu der Empfehlung, dass indirekte keramische Veneers gegenüber indirekten Kompositveneers aufgrund einer massiv erhöhten Haltbarkeit zu bevorzugen sind (AlJazairy 2021; Alothman et al. 2018; Burke T. F. J. 2012; Gresnigt et al. 2019; Kreulen et al. 1998). Alothman hält die keramischen Veneers nicht nur für besser als indirekte, sondern auch als direkte Kompositveneers (Alothman et al. 2018). Betrachtet man die Ergebnisse der vorgenannten Autoren, scheint das Keramikveneer in vielen klinischen Situationen dem direkten und indirekten Kompositveneer überlegen zu sein. Im individuellen Patientenfall muss die für die jeweilige klinische Situation optimale Lösung ausgewählt werden. Da für das direkte Kompositveneer eine defektorientierte Präparation benötigt wird, kann diese klinische Situation nicht mit standardisierten zweischichtigen Übungszähnen trainiert werden. Diese Präparationsform ist für die vorliegende Studie also nicht relevant. Die Präparation für indirekte Veneers hingegen ist unabhängig davon, ob Komposit oder Keramik als Werkstoff eingesetzt wird. Somit kann die Präparation für indirekte Restaurationen aus Komposit und Keramik im Rahmen der Studie trainiert werden.

### **1.3 Simulation in der zahnmedizinischen Lehre**

Bereits im Jahr 1990 veröffentlichte Miller mit der Kompetenzpyramide ein Modell zur Evaluation der studentischen und ärztlichen Tätigkeit in vier Stufen (Miller 1990). Die unterste Stufe der Pyramide, die die Basis für die nachfolgenden Punkte darstellt, steht für das Wissen über die Tätigkeit am Patienten. Die zweite Stufe symbolisiert die Kompetenz, das Wissen in die studentische oder ärztliche Tätigkeit in Simulationssituationen umzusetzen. Die dritte Stufe definiert Miller als Leistung in einer überwachten Situation am Patienten. Die Spitze der Pyramide bildet die Handlung in unabhängigen Patientensituationen.



Abbildung 1 Kompetenzpyramide nach Miller.  
Eigene Abbildung.

Der zweiten Kompetenzstufe nach Miller sind die vorklinischen Präparationsübungen im Zahnmedizinstudium zuzuordnen. Das zuvor erlernte Wissen über die korrekte Präparationsform soll zur Kompetenz, richtig zu präparieren, erweitert werden.

Um diesen Schritt zu erleichtern, wurden zahlreiche Möglichkeiten entwickelt, klinische Situationen zu simulieren. Generell kommen dabei drei Simulationsmethoden zum Einsatz: physische Simulation mittels Phantomköpfen, computerunterstützte Simulatoren und virtual-reality Simulatoren (Al-Saud 2021). Dabei wird der Digitalisierung großes Entwicklungspotential zugeschrieben (Zitzmann et al. 2020). Ein Beispiel für ein computerunterstütztes Auswertungssystem von Präparationen ist DentSim (Image Navigation Ltd., Moshava, Israel). Hier werden Modellzähne präpariert und die Bewegungen des Winkelstücks und die Veränderung der Form des Modellzahns detektiert. Über diese Daten liefert DentSim Feedback in Echtzeit: Es stellt Schnittbilder durch den präparierten Zahn in jeder Ebene dar, vergleicht die Präparation mit der Idealpräparation und gibt Aufschluss über die Korrekturfähigkeit von fehlerhaften Präparationen (Image Navigation 2016). Kikuchi kommt in seiner Studie mit 43 Zahnmedizinstudierenden zu dem Schluss, dass das Präparationsergebnis durch Übungen mit DentSim positiv beeinflusst wird (Kikuchi et al. 2013). Wierinck kommt hingegen zu dem Ergebnis, dass sich die langfristige Präparationsqualität durch DentSim nicht verbessert und teils sogar verschlechtert (Wierinck et al. 2005; Wierinck et al. 2006).

Über die dreidimensionale Darstellung und Bewertung von Präparationen hinausgehend wurden virtual-reality Simulatoren entwickelt, die die Studierenden während der Anfertigung der Präparation mit haptischen Feedback versorgen. Sie finden an Universitäten weltweit zunehmend Anwendung (Eaton et al. 2008; Margaret J Cox et al. 2015).

Simodont (Nissin Dental Products Inc., Kyoto, Japan) ist ein virtual-reality Simulator, der die zahnmedizinische Behandlung unabhängig von Modellzähnen simuliert. Das Gerät besteht aus einer Nachahmung eines Winkelstücks und eines Mundspiegels, die entsprechend der simulierten Situation haptisches Feedback geben. Zudem wird die Übungssituation auf einem Display dargestellt (Simodont Dental Trainer 2022). Virtuelle Patientenfälle können ausgewählt werden und die Feinmotorik kann mit gezielten Übungen trainiert werden. Einige Studien kommen zu dem Ergebnis, dass Studierende mit Simodont bessere Präparationen anfertigen als mit Standardmodellzähnen (Mirghani et al. 2018; Murbay et al. 2020). Ein anderer virtual-reality Simulator ist Voxel-Man Dental (Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf). Auch mit diesem Simulator kann die Feinmotorik trainiert werden. Zusätzlich können mit Voxel-Man Dental verschiedene Bohrer simuliert und Schnittbilder der Präparationen angezeigt und analysiert werden. Zahlreiche Studien kommen zu dem Ergebnis, dass virtual-reality Simulatoren großes Potential haben, die zahnmedizinische Lehre zu verbessern (Pohlenz et al. 2010; Wang et al. 2016). Andere hingegen stellen keine bessere Präparationsqualität fest (Bakr et al. 2014; Koo et al. 2015; Quinn et al. 2003). Al-Saud kommt in seinem Review zu dem Ergebnis, dass virtual-reality Simulatoren die Lehre an Phantomköpfen zwar ergänzen, aber nicht ersetzen können (Al-Saud 2021).

So befassten sich zahlreiche Autoren mit der Frage, wie die Lehre an Phantomköpfen effizienter gestaltet werden könnte und der Übergang in die dritte Kompetenzstufe nach Miller erleichtert werden könnte. Oftmals war die Motivation, dass die zahnmedizinische Lehre im vorklinischen Studienabschnitt ein breiteres Fallspektrum abdecken soll oder möglichst kostengünstige Übungsmöglichkeiten geschaffen werden sollen. Höhne et al. entwarfen beispielsweise einen 3D-gedruckten Zahn, der im Zentrum einen rot markierten Bereich beinhaltete, der die Pulpa eines echten Zahnes imitieren sollte. 48 Studierende sollten für die korrekte Präparation eines Wurzelstiftaufbaus trainiert werden. In einem Fragebogen wurde das 3D-gedruckte Zahnmodell als gut bis sehr gut bewertet (Höhne et al. 2020a).

Ein anderes Zahnmodell wurde von der Arbeitsgruppe um Lugassy entworfen. Hier wurden ebenfalls Zähne 3D-gedruckt, welche die korrekte Präparation einer Klasse I Kavität vermitteln sollten. Dafür wurden Schichten in den Signalfarben von Verkehrsampeln in die Zähne integriert, die eine akzeptable, grenzwertige oder inakzeptable Ausdehnung der Präparation signalisierten. Die Studie wurde im Crossover-Design durchgeführt, wobei eine Gruppe die dreifarbigigen Zähne präparierte, während die andere Gruppe an weißen einfarbigen Zähnen übte. Während des Kurses standen Dozierende nur der Gruppe mit Standardmodellzähnen für Feedback zur Verfügung. Als Ergebnis hielten die Autoren fest, dass sich die Qualität der Präparationen der beiden Versuchsgruppen nicht unterschieden, in der Gruppe mit den vierschichtigen Zähnen allerdings geringere Betreuung während des praktischen Kurses notwendig war (Lugassy et al. 2020).



Abbildung 2 Der mehrschichtig gedruckte Zahn nach Lugassy.

Mit freundlicher Erlaubnis von John Wiley & Sons, Inc.

Eine weitere Herangehensweise stellte Jentzsch vor. Hier besuchten 35 Zahnmedizin studierende einen praktischen Kurs, in dem einer Versuchsgruppe die Präparation für eine Vollgusskrone unter Verwendung der „Malen nach Zahlen“ Methode vermittelt werden sollte, während in der anderen Versuchsgruppe herkömmliche Modellzähne zum Einsatz kamen. In den Zähnen der „Malen nach Zahlen“ Methode war die korrekte Präparation farblich hervorgehoben, sodass ähnlich wie beim Malen nach Zahlen nur die Schicht in dunklerer Farbe abgenommen werden musste. Jentzsch konnte herausfinden, dass die Präparationen der Versuchsgruppe mit der „Malen nach Zahlen“ Methode besser ausfielen, als diejenigen der Vergleichsgruppe (Jentzsch 2021). Einen weiteren Ansatz lieferten Höhne et al. im Jahr 2019 mit 3D-gedruckten Zähnen, die aus separaten Schichten bestanden, die je Schmelz und Dentin repräsentieren sollten. Sie wurden von 38 Studierenden und 30 Zahnärzten in einem Fragebogen mit der Note *gut* bewertet (Höhne et al. 2019b). Behr veröffentlichte im Jahr 2021 eine Studie zur Lehre der korrekten Präparation von Teilkronen. Ähnlich wie bei Jentzsch kamen hier 3D-gedruckte Zähne zum Einsatz, die aus zwei Schichten bestanden, wobei die

obere Schicht der Form der Teilkrone entsprach. So sollten Studierende die korrekte Form der zu entfernenden Schicht schneller erfassen können. Zu diesem Zwecke wurden die Teilnehmer auch hier in zwei Versuchsgruppen aufgeteilt. Die 42 Studierenden evaluierten den Modellzahn insgesamt mit der Note *gut*. Bei einer ex post durchgeführten virtuellen Auswertung der Präparationen konnten allerdings keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Versuchsgruppen festgestellt werden (Behr 2021). Ebenfalls im Jahr 2021 erschienen ist eine Studie von Höhne et al., die die Grundlage der vorliegenden Arbeit ist. In dieser Studie wurden die hier behandelten Modellzähne in Zweischichttechnik bereits vorgestellt. Sie bestehen ähnlich wie die Modelle von Jentzsch und Behr aus zwei Schichten: eine schwarze Schicht, die die Form eines Veneers einnimmt, und eine sandfarbene Schicht in der Form des restlichen Zahnes. Indem 40 Studierende die obere Schicht abpräparierten, sollten sie die korrekte Veneerpräparation haptisch und visuell leichter erfassen können. In einem Fragebogen beurteilten die Teilnehmer den Zahn in Zweischichttechnik mit einer durchschnittlichen Note von 1,8 (Höhne et al. 2021).

Ausgehend von diesen Ergebnissen soll in der vorliegenden Arbeit durch Einscannen der präparierten Zähne eruiert werden, inwiefern sich die Präparationen zwischen der Versuchs- und der Kontrollgruppe tatsächlich unterscheiden.

#### **1.4 Selbsteinschätzung während des Lernprozesses**

Nach Burch kann jeder Lernschritt in vier Kompetenzlevel eingeteilt werden: unbewusste Inkompetenz, bewusste Inkompetenz, bewusste Kompetenz und unbewusste Kompetenz (Burch 1970). Beim Erlernen der korrekten Präparationsform von Veneers ist sich der Studierende im Stadium der unbewussten Inkompetenz nicht darüber im Klaren, dass die korrekte Präparationsform nicht beherrscht wird, beispielsweise weil sie noch nicht durchgeführt wurde. Die bewusste Inkompetenz beschreibt in der vorliegenden Arbeit den Zustand, in dem der Studierende erkennt, dass er Veneers nicht richtig präparieren kann. In der dritten Stufe, der bewussten Kompetenz, kann der Proband die korrekte Veneerpräparation unter großer Konzentration ausführen, wohingegen er in der vierten Stufe, der unbewussten Kompetenz, diese Fähigkeit ohne Mühe beherrscht und somit nicht mehr aktiv wahrnimmt. Dieser Zustand tritt bezogen auf die Veneerpräparation erst mit großer Routine, also zumeist mit jahrelanger Berufserfahrung ein. Jeder Studierende muss also in jeder Stufe nach Miller die Kompetenzlevel nach Burch durchlaufen. Spannend ist dabei der Zusammenhang zwischen Bewusstsein und objektiver Kompetenz: Obwohl die objektive Kompetenz

während des Lernprozesses stetig zunimmt, dürfte sich der Studierende an unterschiedlichen Punkten des Lernprozesses nicht immer seiner objektiven Kompetenz bewusst sein. Daraus lässt sich ableiten, dass die Selbsteinschätzung der Studierenden während des Lernprozesses unterschiedlich akkurat sein dürften. Andere Studien geben hingegen einen kongruenten Zusammenhang zwischen der Selbsteinschätzung von Studierenden und der Erfahrung der betreffenden Personen an (Nayar et al. 2020; Rizan et al. 2015). Um Aufschluss über diesen Zusammenhang zu gewinnen, soll in der vorliegenden Arbeit untersucht werden, ob Studierende, die ihre eigene Leistung als besonders gut einschätzen, auch im Lernprozess weiter sind als andere Probanden der Versuchsgruppe.

## **1.5 Hypothesen der vorliegenden Studie**

Aufgrund der oben beschriebenen verringerten Übungszeit im zahnmedizinischen Studium, der zunehmenden Relevanz von Veneers in der klinischen Praxis sowie dem fortbestehenden Übungsbedarf an konventionellen Phantomeinheiten, wurde im Rahmen der vorliegenden Studie ein Versuch durchgeführt, in welchem die Verwendung von 3D-gedruckten Zähnen in der Lehre der Präparation von Veneers analysiert werden sollte. Hierfür wurden zweischichtige Übungszähne zum Training der korrekten Präparation im 3D-Druckverfahren hergestellt. Eine Schicht aus schwarzem Kunststoff stellte die ideale Veneerpräparation dar, während eine Schicht aus hellbraunem Kunststoff den Teil der Zahnhartsubstanz simuliert, der während der Präparation erhalten bleiben sollte. Die beiden Schichten wurden separat hergestellt und anschließend mit Kunstharz verklebt, sodass sich ein kompletter Zahn ergab (s. Abbildung 3 d). Bei der Präparation dieses zweischichtigen Übungszahnes sollte nur die schwarze Schicht abpräpariert werden, sodass die Studierenden ihren Substanzabtrag jederzeit überprüfen und mit der Referenzpräparation vergleichen konnten. Das Ziel war, den Teilnehmern das Erlernen der idealen Präparationsform zu erleichtern. Zusätzlich wurden einschichtige Übungszähne der gleichen Form und Anschauungsmodelle zur Visualisierung der korrekten Präparation gedruckt. In diese Anschauungsmodelle konnte ein Modellzahn eingegliedert werden, der die korrekte Präparation veranschaulichen sollte.

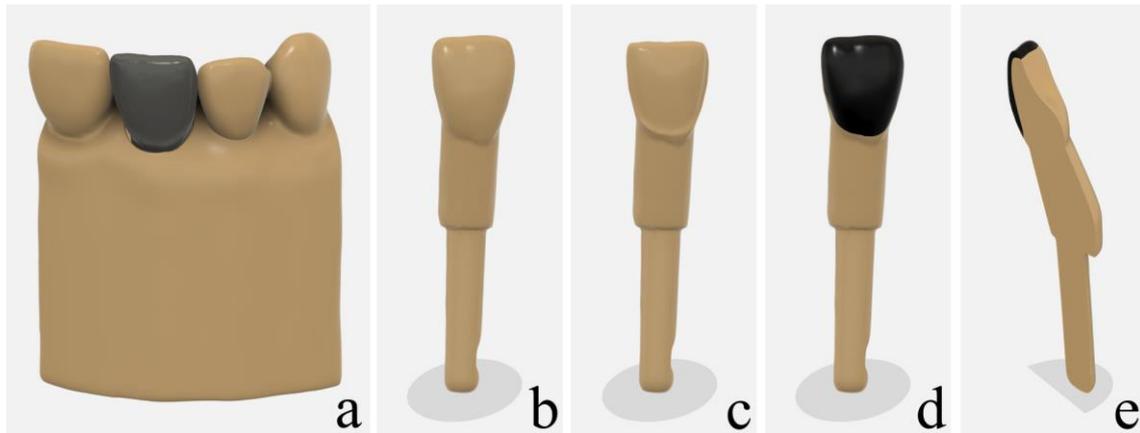


Abbildung 3 Die fertig gedruckten Zähne.

- a: das Anschauungsmodell mit dem eingegliederten Modellzahn.
  - b: der einschichtige Übungszahn
  - c: die untere Schicht des Übungszahnes vor Beklebung
  - d: der zweischichtige Übungszahn
  - e: Schnitt durch den zweischichtigen Übungszahn.
- Mit freundlicher Erlaubnis von John Wiley & Sons, Inc.

Mit Hilfe dieser Materialien sollte 40 Studierenden in einem praktischen Kurs die korrekte Präparation von Veneers vermittelt werden. Dafür wurden die Teilnehmer in zwei Gruppen aufgeteilt. Versuchsgruppe A präparierte zunächst zwei zweischichtige Übungszähne und anschließend zwei einschichtige Übungszähne. Versuchsgruppe B erhielt vier einschichtige Übungszähne, um Unterschiede im Lernfortschritt mit und ohne zweischichtigen Übungszahn erkennbar zu machen. Damit in der Folge die zweischichtigen Übungszähne von allen Studienteilnehmern beurteilt werden konnten, präparierte Versuchsgruppe B einen fünften Übungszahn, der nun zweischichtig war. Anschließend wurde von den Studierenden ein Fragebogen zur Evaluation der Übungszähne und der Zweischichttechnik ausgefüllt. Hier wurden die Übungszähne unter anderem mit Standardmodellzähnen der Firma KaVo verglichen. Weiter wurden die Präparationen eingescannt und virtuell überlagert, sodass sie mit der in den zweischichtigen Zähnen enthaltenen und auf dem Anschauungsmodell dargestellten Referenzpräparation verglichen werden konnten. So sollte Aufschluss über die Nullhypothese gewonnen werden:

Die Studierenden können durch die in Zweischichttechnik gedruckten Zähne mit integriertem Veneer die korrekte Präparation eines Veneers besser erlernen als mit Standardmodellzähnen.

Des Weiteren sollten die folgenden Nebenhypothesen untersucht werden:

- Die Studierenden schätzen die Zweischichttechnik als gute Lehrmethode ein.
- Die Anwendung der zweischichtigen Übungszähne bringt Vorteile beim Präparationsergebnis.
- Die Studierenden, die ihre manuellen Fertigkeiten als besonders gut einschätzen, präparieren besser.

## **2 Material und Methoden**

Die experimentelle Studie wurde an der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik des Zentrums für Zahn-Mund-Kieferkrankheiten des Universitätsklinikums Würzburg durchgeführt. Für die Durchführung der Studie liegt eine Ausnahmegenehmigung der Ethikkommission vor (Antragsnummer: 20181116 01; Genehmigungsdatum: 03.12.2018). Die Studierenden bestätigten im Vorhinein schriftlich, dass sie freiwillig an dem praktischen Kurs teilnehmen.

Das folgende Kapitel schildert die Materialien, die Durchführung, sowie die Auswertung der Ergebnisse.

### **2.1 Herstellung der Übungszähne**

Im Folgenden wird die Vorgehensweise bei der Herstellung der gedruckten Übungszähne und Anschauungsmodelle beschrieben.

#### **2.1.1 Beispielpräparation eines Veneers**

Als Referenz wurde ein Standardmodellzahn 11 der Firma KaVo (KaVo Dental GmbH, Biberach an der Riß, Deutschland) für die Aufnahme eines Veneers präpariert. Diese Präparation sollte sowohl als Referenzpräparation für den anschließenden Vergleich des Substanzabtrags dienen, als auch eine Beispielpräparation für die Studierenden im Anschauungsmodell darstellen. Hierfür wurde der Standardmodellzahn in einem herkömmlichen KaVo-Modell (623 0401, KaVo Dental GmbH) fixiert, welches in eine KaVo-Simulationseinheit (DSE Compact, KaVo Dental GmbH) eingegliedert wurde. Für die Präparation wurde ein Torpedo (878.204.012, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo, Deutschland) und ein Rillenschleifer (868BP.314.020, Gebr. Brasseler GmbH &

Co. KG) verwendet. Finiert wurde die Präparation mit einem Torpedo mit feinerer Körnung (8878.204.010, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG). Alle Präparationsdiamanten kamen in Kombination mit einem roten Winkelstück (1.007.5550, KaVo Dental GmbH) zum Einsatz, das mit einer Wasserkühlung von 50ml/min bei einer Wassertemperatur von weniger als 21°C betrieben wurde. Die Präparationsform wurde an das Schema von Thomas Weber angelehnt (Weber 2017) (s. Abbildung 4). Sie beinhaltet eine labiale Schmelzreduktion um ca. 0,6mm, eine sogenannte „Uhrglasfassung“, die nicht bis zu den Approximalkontakten ausgedehnt ist, sowie die Reduktion der Inzisalkante um 0,8 - 1mm. Somit nimmt die Präparation des Standardmodellzahnes an jeder Stelle nur eine dünne Schicht ein, die am Echtzahn ausschließlich auf den Schmelz begrenzt wäre. In diesen Punkten wurde die Veneerpräparation entsprechend der Kriterien von Weber durchgeführt. Die zervikale Hohlkehle wurde entgegen der Empfehlung von Weber supragingival angelegt, damit die Präparation auch am KaVo-Modell durchgeführt werden konnte, dessen Gingivaimitat nicht für die Übung subgingivaler Präparationen ausgelegt ist.

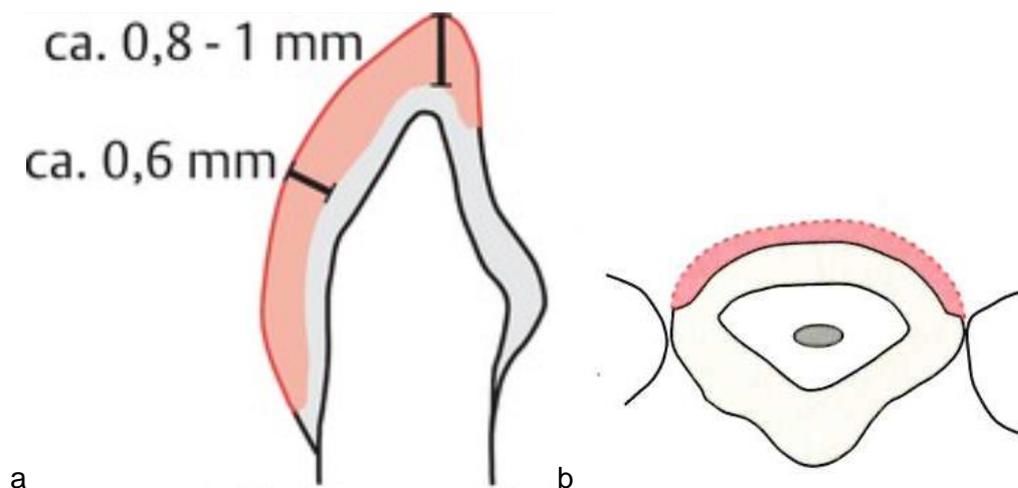


Abbildung 4 Darstellung der von Thomas Weber empfohlenen Präparation für Keramikveneers.

*Zu sehen ist die labiale und inzisale Schmelzreduktion um ca. 0,6mm bzw. 0,8-1mm, die zervikale Hohlkehle sowie die Uhrglasfassung. Mit freundlicher Erlaubnis von Springer Nature.*

## 2.1.2 Entwurf des zweischichtigen Übungszahnes und des Anschauungsmodells

Der Modellzahn mit der Referenzpräparation sollte später als Erklärungs- und Anschauungsmodell während des praktischen Kurses dienen. Zudem sollten Duplikate des Modellzahnes aus einem anderen Harz als Träger der separat hergestellten Veneers für die Zweischichttechnik dienen. Um die Präparation zu digitalisieren, wurde die

Oberfläche dünn mit einem 3D-Laserscanning-Entspiegelungsspray (Helling GmbH, Heidgraben) eingesprüht und mit Hilfe eines InEos X5 Scanners eingescannt (Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, USA). Anschließend wurden Unebenheiten im Scan mit der Software Inventor 2019 ausgeglichen (Autodesk, San Rafael, USA). Dieses 3D-CAD-Programm dient der Konstruktion, dem Design und der Simulation von CAD-Dateien (s. Abbildung 3 c). Zusätzlich wurde mit Inventor 2019 ein weiteres Anschauungsmodell hergestellt, in welches der Modellzahn eingegliedert werden konnte. Dieses Anschauungsmodell stellte neben der Frontzahnreihe auch die Gingiva und Teile des Gaumens dar, sodass sich die Studierenden die Referenzpräparation auch in Relation zu Nachbarzähnen und Weichteilen genau einprägen konnten. Der präparierte Modellzahn konnte zusätzlich gegen einen einschichtigen Übungszahn ausgetauscht werden, der zuvor ebenfalls mit dem InEos X5 Scanner eingescannt und gedruckt worden war (s. Abbildung 3 a).

Im nächsten Schritt wurde die Differenz der Formen aus den Daten des Standardmodellzahnes und des präparierten Standardmodellzahnes berechnet. Das sich hieraus ergebende Volumen stellte die Form des Veneers dar, mit welchem der präparierte Standardmodellzahn vervollständigt werden konnte. Dazu sollte das konstruierte Veneer später aus schwarzem Harz gefertigt und auf eine Kopie des präparierten Standardmodellzahnes geklebt werden. Durch diesen Prozess sollte sich ein vollständiger zweischichtiger Übungszahn ergeben (s. Abbildung 3 d, e).

### **2.1.3 Die Herstellung der Zähne**

Die Daten des Referenzzahnes wurden in ein Wavefront Format (OBJ) überführt, das von vielen 3D-Grafikprogrammen unterstützt wird. So wurden die Daten in die Druckvorbereitungssoftware von Formlabs, PreForm 2.19.3 (Formlabs Inc., Sommerville, Massachusetts) importiert, sodass sie mit einem Form 2 3D-Drucker (Formlabs Inc.) in Harz umgesetzt werden konnten.

Der 3D-Drucker Form 2 produziert die Druckelemente nach dem Verfahren der Stereolithographie. In Schichtdicken von 25-300µm können Elemente mit einem Volumen von bis zu 14,5cm x 14,5cm x 17,5cm gedruckt werden. Dabei kommt eine Laserspotgröße von 140µm und eine Laserleistung von 250mW zum Einsatz. Die Druckeigenschaften sind in Tabelle 1 übersichtlich dargestellt.

Tabelle 1. Druckeigenschaften des Form 2 Druckers.

Technologie	Stereolithographie
Arbeitstemperatur	35°C
Laserspotgröße	140 µm
Laserwellenlänge	405 nm
Laserleistung	250 mW
Druckvolumen	14,5 x 14,5 x 17,5 cm
Schichtdicke	25-300 µm
Biokompatible Materialien	ja

Für den 3D-Druck des einschichtigen Übungszahnes, des Anschauungsmodells und der unteren Schicht des zweischichtigen Übungszahnes kam Dental Model photopolymer resin (RS-F2-DMBE-02, Formlabs Inc.) zum Einsatz. Dieses Harz wurde speziell für die Anfertigung von Zahnmodellen entwickelt: es bietet eine hochdetaillierte, glatte und matte Oberfläche (Genauigkeit von  $\pm 35\mu\text{m}$ ) in einem neutralen Basiston (Formlabs 2021b). Der Zahn mit der Referenzpräparation, der zu Anschauungszwecken dienen sollte und ebenfalls in dem Modell fixiert werden konnte, wurde aus Grey photopolymer resin (RS-F2-GPGR-04, Formlabs Inc.) gedruckt. Auch mit diesem Harz wurde dem Anspruch an eine hervorragende Wiedergabe kleiner Details Rechnung getragen. Somit sollten die Präparation und insbesondere die Präparationsgrenze möglichst exakt dargestellt werden. Ein weiteres Harz, Black photopolymer resin (RS-F2-GPBK-04, Formlabs Inc.), kam für die Umsetzung des ca. 0,6 mm dicken Veneers zum Einsatz. Es dient ebenso wie das Dental Model photopolymer resin und das Grey photopolymer resin dazu, sehr kleine und filigrane Details darzustellen.

Auf einer einzelnen Druck-Plattform des Druckers konnten 70 Zähne in 5 Stunden und 36 Minuten gedruckt werden. Demnach nahm die Herstellung pro Zahn knapp 5 Minuten in Anspruch. Im nächsten Schritt wurden die Veneers aus Black photopolymer resin gedruckt, was nach ca. 3 Minuten pro Veneer abgeschlossen war. Der Druck der Modelle beanspruchte 22 Minuten pro Stück und der der Referenzpräparationen als Anschauungsmodelle ca. 5 Minuten. Das Harz für einen einschichtigen Übungszahn kostete dabei 0,16€ und die Summe der Kosten für die Harze des zweischichtigen Übungszahnes betrug 0,21€. Auf 0,99€ belief sich die Herstellung des Anschauungsmodells mit dem Modellzahn.

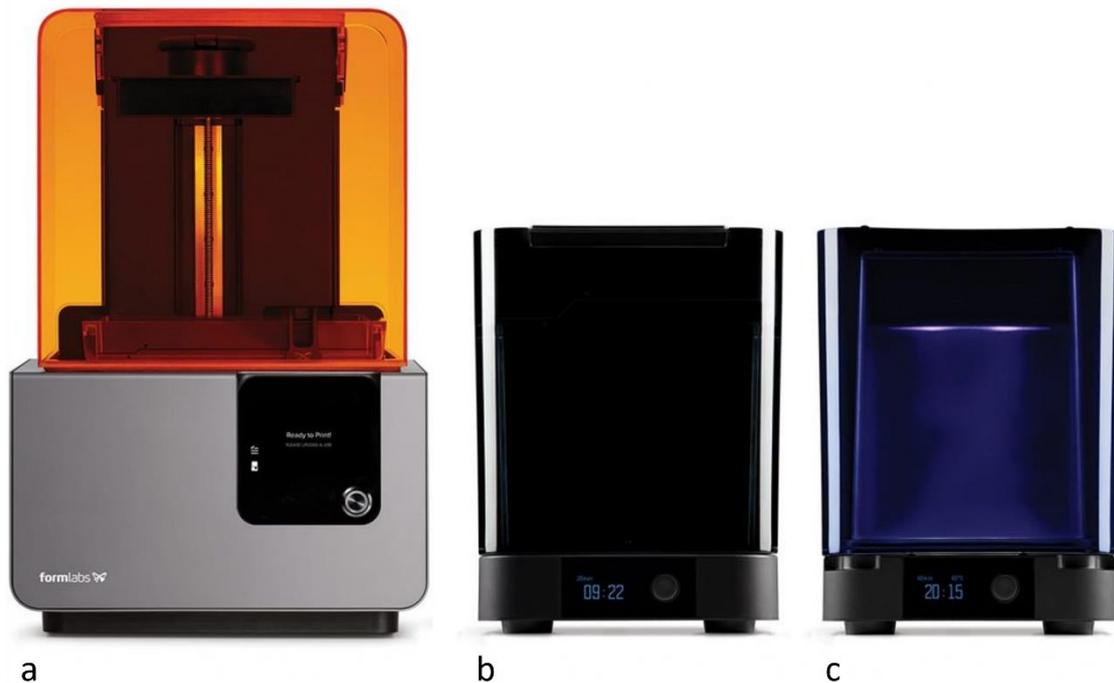


Abbildung 5 Das Druckerzubehör.

- a: *Der Form 2 3D-Drucker, der für die Herstellung der Kursmaterialien verwendet wurde.*
  - b: *Der Form Cure, in dem die zweischichtigen Übungszähne nach dem 3D-Druck nachgehärtet wurden.*
  - c: *Der Form Wash, in dem die zweischichtigen Übungszähne in IPA gereinigt wurden.*
- Mit freundlicher Erlaubnis von Formlabs Inc.*

Im nächsten Schritt wurden die gedruckten Zähne und Modelle im Form Wash (Formlabs Inc.) mit 100% Isopropanol (IPA) gewaschen (VWR International, Radnor, Pennsylvania, USA). Dieser sorgt durch Umherschwenken für die allseitige Entfernung dünner Überschüsse flüssigen Harzes. Hierfür wurden die Ausdrücke für fünf Minuten in den mit IPA befüllten Form Wash gelegt. Anschließend wurden sie in einen zweiten Form Wash mit neuem IPA gelegt und erneut fünf Minuten gewaschen. Im nächsten Schritt wurden die Modelle zweimal drei Minuten im Ultraschallbad gereinigt und an der Luft getrocknet. Nachfolgend wurden die Druckmaterialien für 60 Minuten bei 60C° im Form Cure nachgehärtet und anschließend wurden die Halteelemente entfernt. Die Druckausrüstung und das Druckerzubehör konnten für ca. 3600€ angeschafft werden.

#### 2.1.4 Verklebung der Schichten des Übungszahnes

Die fertig gedruckten präparierten Übungszähne aus Dental Model photopolymer resin (s. Abbildung 3c) wurden anschließend mit den Veneers aus Black photopolymer resin verklebt (s. Abbildung 6).



Abbildung 6 Die einzelnen Schritte des Klebevorgangs.

- a: *Reinigung der Oberfläche mit einem in Ethanol getränkten Wattepellet.*
- b: *Auftragen des Black photopolymer resin auf die Klebefläche der unteren Schicht.*
- c: *Versäubern der Kleberreste mit einem Wattepellet.*
- d: *Die verklebten Übungszähne auf dem Drehtisch des Form Cure.*

*Eigene Abbildung.*

Hierfür wurden zuerst die zu verklebenden Flächen mit einem in Ethanol getränkten Wattepellet gereinigt und an der Luft getrocknet. Anschließend kam Black photopolymer resin als Klebstoff zum Einsatz, das mit Einmalpinseln auf die Klebefläche der unteren Schicht des Übungszahnes aus Dental Model photopolymer resin aufgetragen wurde. Das Veneer aus Black photopolymer resin wurde manuell auf der unteren Schicht des Übungszahnes platziert und für einige Sekunden leicht angedrückt. Die sich hierbei ergebenden leichten Überschüsse des flüssigen Black photopolymer resin wurden mit Hilfe von Wattepellets vorsichtig entfernt. Zur Aushärtung wurden die so zusammengesetzten zweischichtigen Übungszähne im Form Cure (Art.-Nr. 851976006622, Formlabs Inc.) 60 Minuten nachgehärtet. Dafür wurden die verklebten Übungszähne mit je ca. 1cm Abstand auf dem Drehtisch des Form Cure aufgelegt, der sich mit einer Frequenz von 0,017Hz drehte. Währenddessen wurde der zweischichtige Übungszahn von 13 LEDs mit je einer Wellenlänge von 405nm und einer Lichtleistung von 39W bei einer Temperatur von 60°C bestrahlt. Auf diese Weise sollten möglichst alle Seiten gleichmäßig photopolymerisiert werden. Das Verkleben der Übungszähne beanspruchte exklusive der Nachhärungszeit ca. 1 Minute je Zahn.

Tabelle 2. Technische Daten des Form Cure (851976006622, Formlabs Inc.)

Arbeitstemperatur in der Kammer	60°
Lichtquelle	13 LEDs
LED-Leistung	39 W
Wellenlänge	405 nm

## 2.2 Der praktische Kurs

Um den Nutzen der gedruckten Übungszähne für die zahnmedizinische Lehre zu untersuchen, wurde 40 Studierenden der Zahnmedizin der Julius-Maximilians-Universität Würzburg ein freiwilliger Kurs angeboten. Im Rahmen des Kurses sollten sowohl die zweischichtigen Übungszähne, als auch die Standardmodellzähne in zwei Versuchsgruppen für ein Veneer präpariert werden und anschließend der Nutzen der neuen Lehrmethode in einem Fragebogen evaluiert werden.

### 2.2.1 Die Teilnehmer des Kurses

Alle Kursteilnehmer nahmen freiwillig an der Studie teil und erhielten keine Aufwandsentschädigungen, sogenannte Incentives. Sie hatten mindestens drei Jahre des fünfjährigen Zahnmedizinstudiums abgeschlossen. In dieser Zeit hatten sie häufig an Standardmodellzähnen der Firmen KaVo und Frasaco sowie an extrahierten Echtzähnen das Präparieren geübt. Außerdem hatten alle Teilnehmer am Patienten bereits Komposit-Füllungen im direkten Verfahren gelegt und endodontische Behandlungen durchgeführt. Die Präparation für Veneers ist allerdings kein Bestandteil des Lehrplans für Zahnmedizinistudierende, wodurch eine Lernkurve zu erwarten war.

Die 40 Teilnehmer setzten sich aus 21 weiblichen und 19 männlichen Studierenden im Alter zwischen 21 und 50 Jahren zusammen. Das durchschnittliche Alter betrug 26 Jahre bei einer Standardabweichung von 5,75. Drei der Teilnehmer hatten zusätzlich zu dem bisherigen Studium bereits eine fachnahe Ausbildung abgeschlossen (Zahnmedizinischer Fachangestellter, Zahntechniker).

### 2.2.2 Die Präparationsübung

In dem Kurs sollten die Studierenden die Präparation eines Zahnes für ein Veneer aus Keramik neu erlernen. Diese wurde im bisherigen Studium nicht gelehrt.

Zu diesem Zwecke erhielt jeder Studierende zu Beginn des praktischen Kurses ein rotes Winkelstück (1.007.5550, KaVo Dental GmbH), ein gedrucktes Anschauungsmodell

inklusive dem präparierten Modellzahn (s. Abbildung 7 d) und einen Satz an Übungszähnen, der sich zwischen den beiden Versuchsgruppen unterschied:

Gruppe A: zwei zweischichtige Übungszähne, zwei Standardmodellzähne

Gruppe B: vier Standardmodellzähne, ein zweischichtiger Übungszahn

Die Zähne wurden chronologisch entsprechend den Präparationsdurchgängen von den Teilnehmern in dem selbst mitgebrachten Oberkiefer KaVo Modell befestigt. Jedem Teilnehmer wurde eine KaVo Phantomeinheit zugewiesen, in die der jeweilige Studierende Ober- und Unterkiefer KaVo Modelle sowie eine ebenfalls selbst mitgebrachte KaVo Phantommaske eingliederte. An diesen Modellen und mit diesen Phantomeinheiten hatten die Teilnehmer in ihrem bisherigen Studium bereits zahlreiche Präparationsübungen durchgeführt.

Den Studierenden wurde im Rahmen eines Seminars erklärt, wie eine Veneerpräparation aussehen sollte, wie sie durchgeführt wird und mit welchen Instrumenten sie umgesetzt werden kann. Für die Präparation durften die Teilnehmer das restliche Instrumentarium frei auswählen. Während der gesamten Dauer der Präparationsübung standen Kursbetreuer für Fragen zur Verfügung.

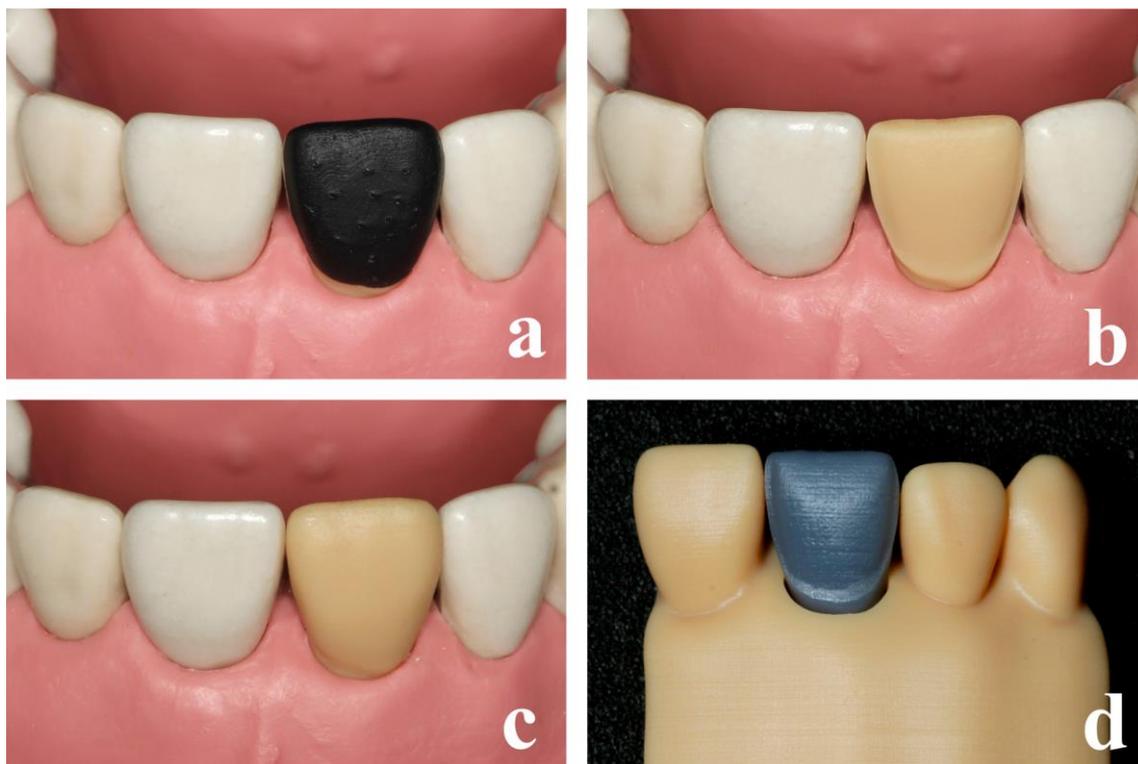


Abbildung 7 Darstellung der im praktischen Kurs eingesetzten Druckmaterialien.

- a: *Der gedruckte zweischichtige Übungszahn nach Eingliederung in das KaVo-Modell.*
- b: *Die untere Schicht des Übungszahnes, die nach idealer Präparation wieder zu sehen wäre.*
- c: *Der unpräparierte einschichtige Übungszahn, der sowohl in das Anschauungsmodell, als auch in das KaVo-Modell eingegliedert werden konnte.*
- d: *Das Anschauungsmodell mit dem eingesetzten präparierten Modellzahn zur Visualisierung einer idealen Veneerpräparation. Mit freundlicher Erlaubnis von John Wiley & Sons, Inc.*

Um den Lernfortschritt durch die Zweischichttechnik besser kontrollieren zu können, wurden die Teilnehmer randomisiert in zwei Gruppen aufgeteilt: Gruppe A (n= 20) präparierte zuerst zweimal den zweischichtigen Übungszahn mit dem Ziel, die schwarze Schicht komplett zu entfernen, ohne dabei die sandfarbene Schicht zu verletzen. So sollten die Studierenden die ideale Präparationsform haptisch erfassen und sich einprägen können. Anschließend präparierte Gruppe A zweimal den einschichtigen Übungszahn, um den Lernfortschritt mit Gruppe B (n= 20) vergleichbar zu machen. Gruppe B präparierte währenddessen je zweimal den einschichtigen Übungszahn. So soll die herkömmliche Lehrmethode möglichst gut mit der Lehrmethode der

Zweischichttechnik vergleichbar gemacht werden. Damit alle Studierenden die Zweischichttechnik testen und beurteilen konnten, bekam Gruppe B im Anschluss an die vier einschichtigen Übungszähne einen zweischichtigen Übungszahn. Insgesamt wurden also 180 Übungszähne vorbereitet und im praktischen Kurs präpariert.

### **2.2.3 Fragebogen zur Evaluation der Zweischichttechnik**

Im Anschluss an die Präparationsübung erhielten die Studierenden je einen QR-Code, der einmaligen Zugang zu einem digitalen Fragebogen gewährte. Dieser wurde mit einer Software zur Erstellung, Durchführung und Auswertung von Fragebögen oder Klausuren, EvaSys (Electric Paper Evaluationssysteme GmbH, Lüneburg, Germany), hergestellt und ist im Appendix angehängt. Die Art Fragebogen kam bereits in anderen Studien mit 3D-gedruckten Zähnen zum Einsatz und wurde für die vorliegende Fragestellung angepasst (Behr 2021; Höhne et al. 2019b; Höhne et al. 2020a; Jentsch 2021).

In dem Fragebogen sollten die Studierenden den Vorteil der gedruckten Zähne für die zahnmedizinische Lehre evaluieren. Dazu durften sie die technischen und materiellen Eigenschaften der Zähne und den Vorteil für den Lernprozess einer korrekten Veneerpräparation in geschlossenen Fragen beurteilen. Für die Beantwortung dieses Teils kam das Schulnotensystem zum Einsatz (1 = sehr gut, 2 = gut, 3 = befriedigend, 4 = ausreichend, 5 = mangelhaft, 6 = ungenügend). Außerdem durften die Studierenden in offen gestellten Fragen Verbesserungsvorschläge und Vorteile der gedruckten Zähne in der zahnmedizinischen Lehre frei formulieren. Der Fragebogen setzte sich aus acht Abschnitten zusammen.

Zu Beginn des Fragebogens stand eine kurze Einleitung, die erklärte, dass die Meinung der Studierenden zu den gedruckten Zähnen und zur Zweischichttechnik in der zahnmedizinischen Lehre erfasst und wissenschaftlich untersucht werden soll. Außerdem wurden die Teilnehmer gebeten, die Fragen möglichst sorgfältig zu beantworten.

Im darauffolgenden zweiten Abschnitt durften die Studierenden personenbezogene Daten angeben. So wurde zuerst nach der Teilnehmernummer im praktischen Kurs gefragt, um die Studierenden einer der beiden Versuchsgruppen zuordnen zu können. Weiter sollten Alter, Geschlecht und fachnahe Berufserfahrung angegeben werden. Es wurde ebenfalls gefragt, ob die Arbeit in den praktischen Kursen bisher leicht gefallen war und ob sie Freude bereitete. Auch wurde die Selbsteinschätzung der manuellen

Fertigkeiten erhoben und die Frage gestellt, ob in den vorklinischen Kursen ausreichend Übungsmöglichkeit am KaVo-Modell bestanden hatte.

In der dritten Kategorie sollten die gedruckten Übungszähne mit herkömmlichen Standardmodellzähnen, wie beispielsweise der Firma KaVo oder Frasco, verglichen werden. Dabei sollten die Härte und Handhabung der gedruckten Zähne, die Tauglichkeit als Übungsmöglichkeit und als faire Prüfungsbedingung evaluiert werden. Der vierte Abschnitt bezog sich auf den gedruckten zweischichtigen Zahn. Es sollte die farbliche Erkennbarkeit der integrierten Präparation und der Vorteil bei der subjektiven Entwicklung der Präparationskompetenz bewertet werden.

Die fünfte Kategorie des Fragebogens beschäftigte sich mit den Eigenschaften des Anschauungsmodells mit dem präparierten Modellzahn, der den Studierenden als Beispielpräparation zur Verfügung gestanden hatte. Dabei sollten die Teilnehmer angeben, ob der Farbkontrast zwischen dem Anschauungsmodell und dem präparierten Zahn für das Studium der genauen Präparationsform förderlich war. Des Weiteren sollte beurteilt werden, ob der graue präparierte Zahn eine ideale Präparation gut illustrierte und ob die Studierenden so ihre Präparation besser kontrollieren konnten.

Im sechsten Teil sollten die Lernergebnisse eingeschätzt werden, die zum einen durch einen Standardmodellzahn, zum anderen durch die ein- und zweischichtigen Übungszähne erreicht werden konnten. Außerdem sollten die Studierenden angeben, ob sie sich nach dem praktischen Kurs gut für die Veneerpräparation vorbereitet fühlten. Der siebte Abschnitt des Fragebogens behandelte den Lernprozess. Hier sollten die Teilnehmer die motivierende Wirkung der Übungszähne beim Erlernen der Veneerpräparation sowie die Verbesserung der Fertigkeiten durch den zweischichtigen Übungszahn und durch einen Standardmodellzahn evaluieren. Zudem wurde das Interesse der Studierenden an einem häufigeren Einsatz von gedruckten Übungszähnen in der Lehre beurteilt.

Im achten Abschnitt sollten die Teilnehmer in offenen Fragen Verbesserungsvorschläge und Vorteile der zweischichtigen Übungszähne in der Lehre erläutern.

Dieser Fragebogen stellt in der vorliegenden Arbeit die Grundlage für die Evaluation der Hypothese *„Die Studierenden schätzen die Zweischichttechnik als gute Lehrmethode ein.“*

### **2.3 Auswertung der im praktischen Kurs präparierten Zähne**

Mit der Auswertung der im praktischen Kurs präparierten Zähne sollte Aufschluss über die Haupthypothese und die Hypothese *„Die Anwendung der zweischichtigen*

*Übungszähne bringt Vorteile beim Präparationsergebnis“* gewonnen werden. Hierfür wurden die präparierten Zähne eingescannt und mit dem Referenzzahn überlagert. Die Referenzpräparation wurde in Teilflächen unterteilt, die jeweils separat ausgewertet wurden. Dafür wurden 24.548 Punkte auf der Oberfläche der Referenzpräparation definiert ( $N$ ), zu denen die Abweichungen der jeweiligen Präparation in positive Richtung, also zu wenig Substanzabtrag, als auch in negative Richtung, also zu viel Substanzabtrag, bestimmt werden konnten. Diese Parameter wurden mit  $N_1$  und mit  $N_2$  bezeichnet. Nullwerte wurden dabei den positiven Werten zugeordnet. Aus den Abweichungen wurden je für  $N_1$  und  $N_2$  ein Mittelwert gebildet, der folgend als  $MW_+$  und  $MW_-$  beschrieben wird. Um die Abweichung der Präparationsform von der Referenzpräparation darzustellen, wurden die errechneten Mittelwerte auf die Fläche bezogen und als  $AMW_+$  und  $AMW_-$  deklariert. Die mittleren absoluten Abweichungswerte ( $GMW_{+/-}$ ) ergaben sich anschließend durch Addition der Beträge der  $AMW$ -Werte.

### **2.3.1 Digitalisierung der präparierten Zähne**

Die Zähne wurden direkt nach der Präparation im praktischen Kurs nummeriert, sodass die Reihenfolge der Präparationsdurchgänge später nachvollzogen werden konnte. Anschließend wurden sie entsprechend der Präparationsreihenfolge mit dem InEos X5 Scanner (Dentsply Sirona) digitalisiert. Dieser arbeitet mittels optischer Triangulation mit Hilfe von digitaler Streifenprojektion und wurde für die vorliegende Studie durch die Software InLab SW 18.0 betrieben (Dentsply Sirona). Vor dem Scan wurde die Oberfläche der Zähne dünn mit einem 3D-Laserscanning-Entspiegelungsspray (Helling GmbH, Heidgraben) eingesprüht. Im nächsten Schritt wurde immer ein Zahn je Scan in den Modelltopf des InEos Scanners eingebracht. Für eine eindeutige Fixierung während des gesamten Scanvorgangs diente das Füllmaterial Blue (Dentsply Sirona). Wie auf Abbildung 8 zu sehen ist, befindet sich das Material ausschließlich am Positionierungstumpf des Zahnes, sodass der anatomisch gestaltete Bereich und die Präparation des gedruckten Zahnes nicht verdeckt wird. So führte der Haltearm des InEos X5 den jeweiligen Zahn in einem Anstellwinkel von  $70^\circ$  von jeder Seite an dem Scankopf des InEos X5 vorbei, sodass überwiegend artefaktfreie Scans erstellt und im STL-Format abgespeichert werden konnten.



Abbildung 8      *Dreidimensionale Darstellung digitalisierter Zähne aus dem praktischen Kurs.*

*Eigene Darstellung.*

### **2.3.2 Überlagerung der virtuellen Zähne**

Im nächsten Schritt sollten die Daten der gescannten Zähne mit den Daten des präparierten Referenzzahnes überlagert werden, um die Differenz des Substanzabtrags an den jeweiligen Punkten (N) der Oberfläche errechnen zu können. Hierfür kam GOM Inspect 2019 zum Einsatz, eine Auswertungssoftware für 3D-Messdaten (GOM GmbH, Braunschweig). Die gescannten Zähne wurden als Netze in das Programm importiert. Die Ausrichtung erfolgte nach der Scandatei des präparierten Referenzzahnes, mit dem später alle präparierten Zähne verglichen werden sollten. Dafür wurde auch diese Datei als CAD-Element in GOM Inspect 2019 importiert.

Für die Überlagerung wurde die Programmfunktion „*Vorausrichtung*“ unter dem Reiter „*Operationen*“ angewandt, sodass die Software das Netz des entsprechenden Zahnes in allen Raumebenen nach dem CAD-Element ausrichtete. In den Fällen, in denen die Dateien durch die Vorausrichtung nicht ausreichend genau miteinander überlagert werden konnten, wurde mit der Programmfunktion „*auf Oberfläche selektieren*“ ein Bereich ausgewählt, der außerhalb der Präparation lag und demzufolge identisch mit dem gleichen Bereich auf dem Referenzzahn sein musste. Anschließend wurde der Button „*Lokales Best-Fit*“ ausgewählt, sodass die Ausrichtung der Dateien mit Fokus auf die selektierten Bereiche durchgeführt wurde. Die Qualität der Ausrichtung wurde anhand der dreidimensionalen farbigen Darstellung beurteilt, die GOM Inspect 2019 entwarf. Dadurch wiesen alle 180 Zähne annähernd die gleiche Ausrichtung in den drei Raumebenen auf. Anschließend wurden die jetzt ausgerichteten digitalen Zähne exportiert und als Meshmixer Dokument abgespeichert.

### **2.3.3 Darstellung des jeweiligen Substanzabtrags in Relation zur Referenzpräparation**

Der Referenzzahn wurde als CAD-Element und je einer der von den Studierenden präparierten Zähne als Netz in GOM Inspect 2019 importiert. Die Oberflächen der von den Studierenden präparierten Zähne sollten mit der Oberfläche des Referenzzahnes verglichen werden. Für den Vergleich war der Referenzzahn zuvor mit Hilfe der Software Meshmixer 3.5 (Autodesk Inc., San Rafael, CA 94903, USA) in drei separate Flächen, sog. Patches, eingeteilt worden (s. Abbildung 9): die vestibuläre Fläche, die Inzisalkante und die Präparationsgrenze. Letztere beinhaltete neben dem Präparationsrand an allen Seiten einen Streifen von ca. 1mm außerhalb der Präparation, damit auch Präparationen über die Referenzpräparationsgrenze hinaus erfasst werden konnten.

Die drei zusammengesetzten Flächen



Die Vestibulärfläche



Die Inzisalkante



Die Präparationsgrenze



Abbildung 9 Die in drei Patches aufgeteilte Referenzpräparation als CAD-Element in GOM-Inspect.

*Oben links: alle Patches zusammengefügt*

*Oben rechts: die Vestibulärfläche*

*Unten links: die Inzisalkante*

*Unten rechts: die Präparationsgrenze*

*Eigene Darstellung.*

Im Anschluss wurde die Oberfläche der präparierten Zähne mit dem Referenzzahn verglichen. Hierfür wurde in GOM Inspect unter dem Reiter „Inspektion“ die Programmfunktion „CAD-Vergleich“ und anschließend „Flächenvergleich auf CAD“ ausgewählt. So ermittelte die Software den Abstand zwischen 24.548 Punkten auf der Referenzpräparation (N) und den korrespondierenden Punkten auf der Präparation der Studierenden. Diese Abstände wurden in negative und positive Abweichungswerte unterteilt, je nachdem ob der Studierende mehr ( $N_2$ ) oder weniger ( $N_1$ ) Substanz abgetragen hatte, als die Referenzpräparation vorsah. Um die Abweichungen zu veranschaulichen, wurden sie farblich auf den drei Patches der Referenzpräparation

dargestellt (s. Abbildung 10). Dabei symbolisierte eine grüne Fläche einen korrekten Substanzabtrag (-1,5mm bis +1,5mm) und Flächen in zunehmend intensiveren Rottönen einen zu hohen Substanzabtrag ( $\geq 1,5\text{mm}$ ). Ein zu geringer Substanzabtrag wurde in zunehmend intensiveren Blautönen dargestellt. ( $\leq 1,5\text{mm}$ ).

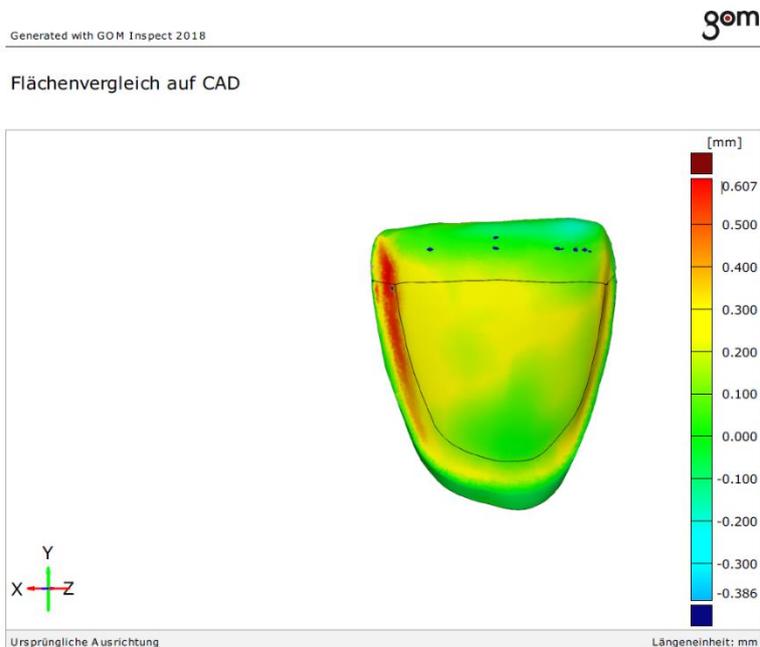


Abbildung 10 Darstellung des Flächenvergleichs einer Kurspräparation auf dem CAD-Element.

*Hier wurde insbesondere im mesialen und distalen Bereich je zu wenig abgetragen, während im inzisalen Bereich leicht zu viel abgetragen wurde. Eigene Abbildung.*

### 2.3.4 Ermittlung der durchschnittlichen Präparationsdifferenzen

Um die Präparationen der Studierenden bewerten zu können, wurde das arithmetische Mittel der Abweichungen zur Referenzpräparation berechnet. Die Abweichungen hatten sich je zwischen zwei korrespondierenden Punkten auf dem Referenzzahn und dem durch den Studierenden präparierten Zahn ergeben. Sie waren in negative und positive Abweichungen unterteilt worden, für die in diesem Schritt je ein arithmetisches Mittel gebildet wurde: Die Werte der Abweichungen in positive Richtung wurden addiert und anschließend durch die Anzahl der positiven Werte dividiert. Ebenso wurde für die Punkte mit Abweichung in negative Richtung verfahren. So ergaben sich Werte, die in der vorliegenden Arbeit als MW+ und MW- als Abkürzung für den jeweiligen Mittelwert der positiven und negativen Abweichungen bezeichnet werden.

In der Software GOM Inspect fand hierfür der Button „nach Wert selektieren“ Anwendung, der sich unter dem Reiter „Bearbeiten, Selektion in 3D“ und zuletzt „weitere Selektionen“ befindet. Somit wurde die Oberfläche der Präparation in Bereiche eingeteilt, die sich je gleichartig von der Referenzpräparation unterscheiden. Die Bereiche wurden je grau dargestellt, wenn sie ausgewählt wurden (s. Abbildung 11). Punkte, die exakt mit der Referenzpräparation übereinstimmen, wurden zu den positiven Werten gezählt.

Generated with GOM Inspect 2018



Der positive Wertebereich in grau dargestellt

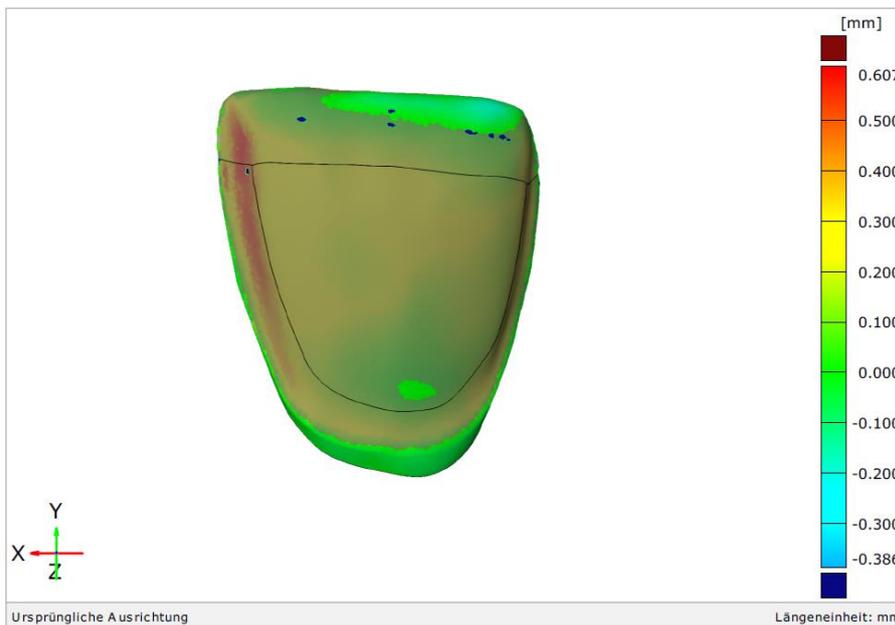


Abbildung 11 Darstellung der Punkte mit positiver Abweichung.

Eigene Abbildung.

### 2.3.5 Berechnung der Präparationsdifferenzen

Im nächsten Schritt wurden die arithmetischen Mittelwerte für positive und negative Abweichungen,  $MW_+$  und  $MW_-$ , in Relation zur entsprechenden Fläche gesetzt. Dafür wurden mit Hilfe von GOM Inspect zum einen die Punkte gezählt, an denen zu wenig Substanz abgetragen worden war, denen zuvor also bereits positive Werte ( $N_1$ ) zugeordnet worden waren. Zum anderen wurde die Anzahl derjenigen Punkte erhoben, an denen zu viel Substanz abgetragen worden war, die zuvor mit negativen Werten ( $N_2$ ) beschrieben wurden. Um den positiven Mittelwert auf die Fläche zu beziehen, wurde dieser anschließend mit dem Anteil von  $N_1$  an der Gesamtzahl aller Punkte multipliziert. Umgekehrt wurde der negative Mittelwert mit dem Anteil von  $N_2$  an der Gesamtzahl der Punkte ( $N$ ) multipliziert. Der erhaltene positive und negative Mittelwert in Bezug auf die

Fläche wurde als AMW<sub>+</sub>/AMW<sub>-</sub> bezeichnet (s. Formel 1). Punkte ohne Abweichung zur Referenzpräparation wurden aus Gründen der besseren Übersicht zu den positiven Werten gezählt.

**Formel 1:**

$$AMW_+ = MW_+ * \frac{N_1}{N}$$
$$AMW_- = MW_- * \frac{N_2}{N}$$

**2.3.6 Beurteilung der Präparationsqualität**

Damit die Mittelwerte der Abweichungen pro Fläche in Bezug auf den gesamten Zahn betrachtet werden konnten, wurde aus den Beträgen von AMW<sub>+</sub> und AMW<sub>-</sub> eine Summe gebildet (GMW<sub>+/-</sub>). So konnte die mittlere absolute Abweichung von der Referenzpräparation berechnet werden (s. Formel 2). Sie stellt dar, wie weit die Präparation des Studierenden insgesamt von der Referenzpräparation abweicht.

**Formel 2:**

$$GMW_{+/-} = \left( MW_+ * \frac{N_1}{N} \right) + \left| MW_- * \frac{N_2}{N} \right|$$

In der Formel ist der Betrag des Parameters AMW<sub>-</sub> angegeben. Da die Abweichungen in Bereichen mit zu hohem Substanzabtrag mit negativem Vorzeichen angegeben werden, ergibt sich ein negativer Wert für AMW<sub>-</sub>. In der Folge würden diese Präparationsfehler die Gesamtleistung verbessern. Da aber sowohl zu geringer, als auch zu hoher Substanzabtrag die Präparationsleistung schmälert, wurde der Betrag von AMW<sub>-</sub> unabhängig vom Vorzeichen in die Formel einbezogen. Auf diese Weise konnte mit GMW<sub>+/-</sub> die Qualität der Präparationen quantitativ gemessen werden. Ist GMW<sub>+/-</sub> groß, divergiert die Präparation des Studierenden weit von der Idealpräparation. Desto kleiner GMW<sub>+/-</sub> ausfällt, desto näher kam der Studierende an die Referenzpräparation. Die Werte des zweiten Präparationsdurchgangs für GMW<sub>+/-</sub> der Gesamtfläche werden im Folgenden für die Bewertung der Hypothese „Die Anwendung der zweischichtigen Übungszähne bringt Vorteile beim Präparationsergebnis“ herangezogen. Auf diese Weise wird das Präparationsergebnis nach zweimaliger Präparation eines zweischichtigen Übungszahnes mit dem nach zweimaliger Präparation eines einschichtigen Übungszahnes verglichen.

Die mit GOM Inspect erzeugten Werte wurden manuell in Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) importiert.

### **2.3.7 Nachweis des Lernerfolgs**

Die Haupthypothese besagt, dass die Studierenden durch die in Zweischichttechnik gedruckten Zähne mit integriertem Veneer die korrekte Präparation eines Veneers besser erlernen können als mit Standardmodellzähnen. Um diese Aussage zu überprüfen, soll der Lernerfolg ( $\Delta L$ ) der beiden Versuchsgruppen verglichen werden. Zu diesem Zwecke wurde für beide Versuchsgruppen die Differenz der Mittelwerte für  $GMW_{+/-}$  des ersten und letzten Präparationsdurchgangs bestimmt:

#### **Formel 3:**

$$\Delta L = (GMW_{\pm_1}) - (GMW_{\pm_4})$$

Ist der Wert von  $\Delta L$  positiv, entspricht das einem Lernerfolg. Der letzte Zahn wurde dann besser präpariert als der erste. Ist der Wert für  $\Delta L$  negativ, kann kein Lernerfolg festgestellt werden, weil der letzte Zahn schlechter präpariert wurde als der erste.

## **2.4 Statistisches Vorgehen**

Um die in den vorangegangenen Schritten erhobenen Primärdaten statistisch auszuwerten, kamen das Tabellenkalkulationsprogramm Excel Version 2106 (Microsoft Corporation) und das Statistikprogramm SPSS Version 26 (IBM Corporation, Armonk, New York, USA) zum Einsatz.

Die verwendeten Messgrößen waren zum einen die Antworten des Fragebogens, zum anderen die mittleren absoluten Abweichungen von der Referenzpräparation ( $GMW_{+/-}$ ).

### **2.4.1 Statistische Aufarbeitung des Fragebogens**

Es wurden Schulnoten von eins bis sechs verwendet, um die Antworten auf den Fragebogen zu gliedern. Sie wurden als Ordinalskala mit Hilfe eines gestapelten Säulendiagrammes in Prozent dargestellt. Des Weiteren wurden das arithmetische Mittel und die Standardabweichung angegeben (s. Abbildung 13). Für Frage 6.1 und 6.2 sowie 7.3 und 7.4 wurden die Häufigkeiten derjenigen Studierenden errechnet, die jeweils der ersten beziehungsweise der zweiten Frage mehr zugestimmt hatten. So konnte im sechsten Abschnitt dargestellt werden, ob ihr subjektiver Lernerfolg mit KaVo-Zähnen

oder mit gedruckten zweischichtigen Übungszähnen größer war. Im siebten Abschnitt wurde so ersichtlich, ob sie bei KaVo-Zähnen oder gedruckten zweischichtigen Übungszähnen eher das Gefühl hatten, die korrekte Präparationsform besser und schneller zu erlernen. So sollte die Hypothese „*Die Studierenden schätzen die Zweischichttechnik als gute Lehrmethode ein*“ untersucht werden.

Die interne Konsistenz der Merkmale wurde mit Hilfe der summarischen Bewertungszahl Cronbachs Alpha bestimmt.

#### **2.4.2 Auswertung der gescannten Zähne**

Die Präparationen wurden statistisch anhand der mittleren absoluten Abweichung der Gesamtfläche zur Referenzpräparation ausgewertet. Hierfür wurden für jeden Präparationsdurchgang Mittelwert und Standardabweichung von  $GMW_{+/-}$  der Gesamtfläche gebildet. Zudem wurde der durchschnittliche Substanzabtrag an Stellen mit zu hohem (MW.) und zu geringem (MW.) Substanzabtrag bestimmt. Weiter wurden jeweils Minimal- und Maximalwerte von  $GMW_{+/-}$  der Gesamtfläche eines jeden Präparationsdurchganges ermittelt. Diese Werte wurden für die Präparationsdurchgänge eins und zwei sowie drei und vier in einer Tabelle zusammengefasst.

Um die Ergebnisse der digitalen Auswertung der im Kurs präparierten Zähne graphisch darzustellen, wurden die Werte für  $GMW_{+/-}$  der Gesamtfläche mit Hilfe von Excel Diagrammen dargestellt. Hier sind jeweils Maximal- und Minimalwerte als obere und untere Begrenzungen der Antennen, sogenannten Whiskern, dargestellt. Die oberen und unteren Enden der Kästen zeigen die dritten und ersten Quartilen, während die Striche innerhalb der Kästen den Median symbolisieren. Die Mittelwerte entsprechen den Kreuzen innerhalb der Kästen. Weisen die Daten extreme Ausreiser auf, so werden diese in Form von Punkten über- oder unterhalb des zugehörigen Box-Whisker-Plots eingezeichnet (s. Abbildung 12).

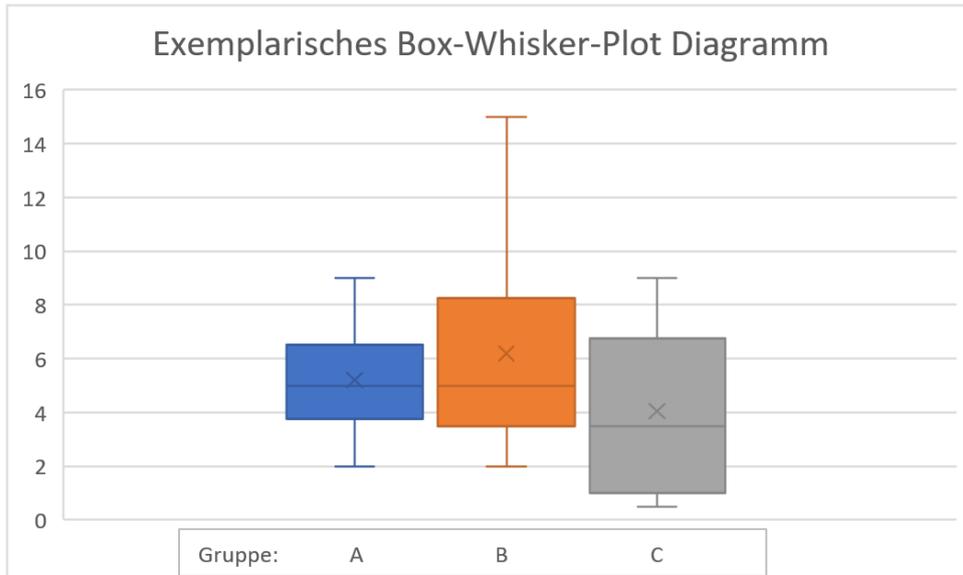


Abbildung 12 Beispiel eines Box-Whisker-Plot Diagramms.

Eigene Abbildung.

Alle Präparationsdurchgänge der beiden Gruppen wurden in einem Liniendiagramm dargestellt, das die mittleren absoluten Abweichungen von der Referenzpräparation zwischen den Versuchsgruppen veranschaulicht. Auf diese Weise lässt sich die Änderung der Präparationsleistung der jeweiligen Versuchsgruppen einfach darstellen.

Um die Hypothese „Die Anwendung der zweischichtigen Übungszähne bringt Vorteile beim Präparationsergebnis“ zu untersuchen, wurden die Werte für  $GMW_{+/-}$  des jeweils zweiten Präparationsdurchgangs miteinander verglichen. Zu diesem Zweck wurde die Stichprobe zuerst mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors auf Normalverteilung geprüft. Die Nullhypothese dieses Tests lautet, dass die Daten normalverteilt sind. Wenn die Nullhypothese also nicht verworfen werden kann, sind die Daten normalverteilt. Um die Präparationsqualität der beiden Gruppen zu vergleichen, wurde der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt, der nach Unterschieden in den zentralen Tendenzen zweier unabhängiger Stichproben sucht.

Für die statistische Untersuchung der Haupthypothese, dass die Studierenden durch die in Zweischichttechnik gedruckten Zähne mit integriertem Veneer die korrekte Präparation eines Veneers besser erlernen können als mit Standardmodellzähnen, wurde ebenfalls mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors die Stichprobe auf Normalverteilung geprüft. Um den Lernerfolg der einzelnen Versuchsgruppen nachzuweisen, wurde auch hier der Mann-Whitney-U-Test

durchgeführt. Dazu wurden die zentralen Tendenzen der Präparationsqualität des jeweils ersten und letzten Präparationsdurchgangs verglichen.

Um den Einfluss einer hohen Selbsteinschätzung auf die Präparationsqualität zu untersuchen, wurde auch für die hier relevanten Versuchsgruppen, also diejenigen mit hoher und niedriger Selbsteinschätzung, der Kolmogorov-Smirnov-Test mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors durchgeführt. So wurden die Ergebnisse der entsprechenden Versuchsgruppen auf Normalverteilung geprüft. Anschließend wurde auch hier der Mann-Whitney-U-Test zur Untersuchung von Unterschieden in den zentralen Tendenzen der Versuchsgruppen durchgeführt. Für alle statistischen Analysen betrug das festgelegte Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ .

### **3 Ergebnisse**

Die mit den oben beschriebenen Materialien und Methoden gewonnenen Ergebnisse werden in diesem Abschnitt beschrieben. Die Originalien sind im Abschnitt „Appendix“ aufgelistet.

#### **3.1 Ergebnisse des Fragebogens**

Der Fragebogen wurde mit der Software EvaSys erstellt und ausgewertet. Die Antworten konnten die Studierenden bei Frage 2.6 bis 7.5 in Schulnoten angeben. Dabei traf die Aussage bei Note 1 sehr gut zu, bei Note 6 hingegen traf sie überhaupt nicht zu. Die angegebenen Noten wurden für diese Fragen in einem gestapelten Säulendiagramm dargestellt und sowohl das arithmetische Mittel als auch die Standardabweichung angegeben (s. Abbildung 13). Als Wert für die interne Konsistenz des Fragebogens wurde 0,885 berechnet.

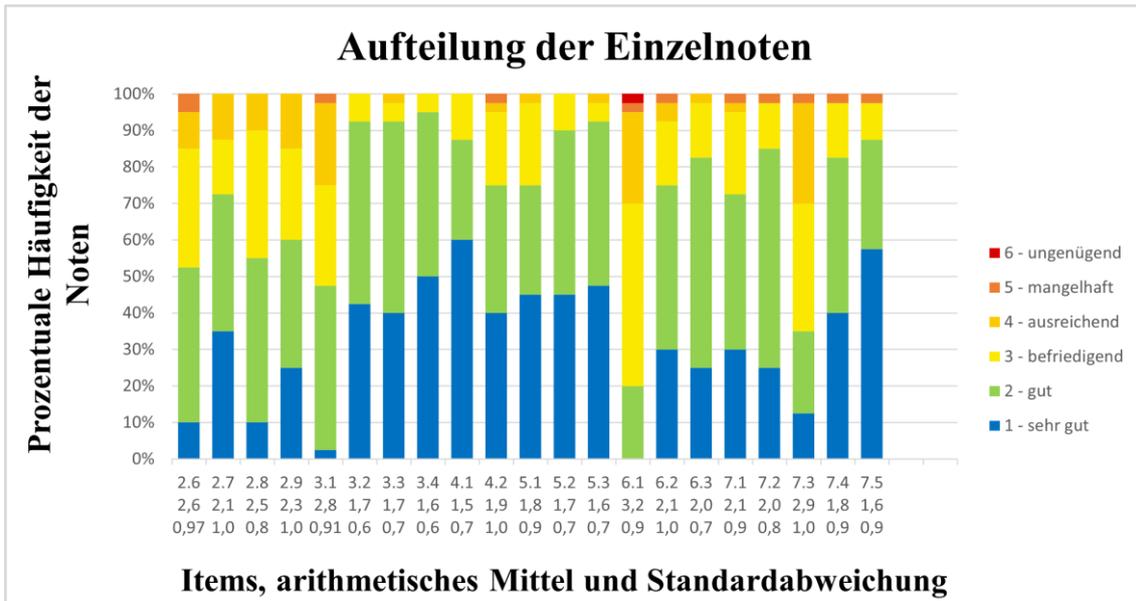


Abbildung 13 Die Ergebnisse des geschlossenen Teils des Fragebogens in einem gestapeltem Säulendiagramm

Die Antworten in Form von Schulnoten sind als relative Häufigkeiten in Prozent angegeben. Unter den Angaben der jeweiligen Fragen sind jeweils arithmetisches Mittel und Standardabweichung angegeben. Mit freundlicher Erlaubnis von John Wiley & Sons, Inc.

Die Fragen des achten Abschnittes waren offen gestellt. Die Antworten der Studierenden sind ebenfalls im Abschnitt „Appendix“ im Detail aufgeführt.

Insgesamt beurteilten die Studierenden die Zweischichttechnik mit einer Note von  $2,0 \pm 0,37$  mit Ausnahme der Fragen 6.1 und 6.2 sowie 7.3 und 7.4.

### 3.1.1 Die persönlichen Daten der Teilnehmer

Neben den unter 2.2.1 skizzierten Angaben zu den Teilnehmern bewerteten die Studierenden die Aussage, dass ihnen die praktische Arbeit im vorklinischen Abschnitt leicht gefallen sei, mit einer Durchschnittsnote von 2,6 bei einer Standardabweichung von 0,97. Die Freude, die die praktische Arbeit den Studierenden bereitete, beurteilten sie mit einem Durchschnitt von  $2,1 \pm 1,00$  und ihre jeweiligen manuellen Fertigkeiten mit *gut* bis *befriedigend* ( $\bar{x}$  2,5  $\pm$  0,80). Überwiegend waren die Teilnehmer der Überzeugung, in der Vorklinik ausreichend Übungsmöglichkeit am Phantomkopf gehabt zu haben ( $\bar{x}$  2,3  $\pm$  1,00).

### **3.1.2 Eigenschaften von zweischichtigen Übungszähnen im Vergleich zu KaVo-Zähnen**

Im dritten Abschnitt sollten die Studierenden Fragen beantworten, die auf den Vergleich von KaVo-Zähnen mit den gedruckten Zähnen abzielten. Das erste Kriterium für diese Fragestellung war die Härte der Zähne, die durchschnittlich mit 2,8 bei einer Standardabweichung von 0,91 beurteilt wurde. Auf die Frage, ob die gedruckten Zähne eine geeignete Übungsmöglichkeit darstellten, antworteten die Studierenden überwiegend mit *sehr gut* bis *gut*, woraus sich ein Mittelwert von  $1,7 \pm 0,61$  ergab. Auch schätzten sie die gedruckten Zähne als faire Prüfungsbedingung ein ( $1,7 \pm 0,68$ ) und bewerteten die Handhabung mit einer Note von  $1,6 \pm 0,59$ . Für alle Kriterien, die den Vergleich von Druckzähnen mit KaVo-Zähnen beschreiben sollten, ergab sich somit eine Durchschnittsnote von  $1,92 \pm 0,87$ .

### **3.1.3 Beschaffenheit der zweischichtigen Übungszähne**

Im folgenden Teil sollten die Eigenschaften der zweischichtigen Übungszähne untersucht werden. Die farbliche Erkennbarkeit der Präparation wurde mit *sehr gut* bis *gut* beurteilt ( $\bar{x} 1,5 \pm 0,71$ ). Die Aussage, dass es durch die eingebaute Präparation leichtfiel, ein Gefühl für die korrekte Präparation zu bekommen, erhielt eine Durchschnittsnote von  $1,9 \pm 0,96$ . Hier schätzten 16 Studierende die Unterstützung durch die zweischichtigen Zähne als *sehr gut* ein, 14 gaben die Note *gut* an, acht Studierende bewerteten die Aussage mit der Note *befriedigend*. Weiter wurde je einmal die Bewertung *ausreichend* und *mangelhaft* verteilt. Kein Teilnehmer gab die Note ungenügend an. Insgesamt wurden die Eigenschaften der zweischichtigen Druckzähne mit der Note  $1,73 \pm 0,87$  bewertet.

### **3.1.4 Eigenschaften des Anschauungsmodells mit präpariertem Modellzahn**

Um die korrekte Präparationsform für ein Veneer zu illustrieren und um den Studierenden die Möglichkeit zu geben, sich während der Präparation selbst zu kontrollieren, erhielten sie wie oben beschrieben ein gedrucktes Modell. In dieses Modell konnte ein ebenfalls gedruckter, grauer Zahn eingegliedert werden, der der Referenzpräparation entsprach. Im vorliegenden Abschnitt sollten die Eigenschaften dieses Anschauungsmodells bewertet werden. Dabei wurde der Farbkontrast zwischen Anschauungsmodell und Modellzahn durchschnittlich mit der Note *gut* ( $\bar{x} 1,8 \pm 0,86$ ) evaluiert. Dass der Modellzahn optisch eine ideale Präparation veranschaulicht, wurde durchschnittlich mit  $1,7 \pm 0,65$  beurteilt. Dabei gaben je 18 Studierende die Note *sehr*

*gut* und *gut* an und vier Studierende die Note *befriedigend*. Somit beurteilte kein Teilnehmer diesen Aspekt mit einer Note schlechter als drei. Der überwiegende Teil befand, dass es durch den Modellzahn leichter fiel, die eigene Präparation zu kontrollieren ( $\bar{x} 1,6 \pm 0,70$ ). Zusammengefasst ergab sich eine Note von  $1,7 \pm 0,75$  für die Eigenschaften des Anschauungsmodells.

### **3.1.5 Meinungsbild zum Lernergebnis**

In diesem Abschnitt sollten die Studierenden ihren Lernerfolg jeweils mit Standardmodellzahn und gedrucktem Zahn evaluieren, um so Aufschluss über das subjektive Lernergebnis der Studierenden zu gewinnen. Die Aussage, dass der subjektive Lernerfolg mit KaVo-Zähnen am größten war, wurde dabei durchschnittlich mit  $3,2 \pm 0,86$  beurteilt. Dass das Lernergebnis mit einem zweischichtigen Übungszahn am größten war, bewerteten die Studierenden mit einer Durchschnittsnote von  $2,1 \pm 0,95$ . 27 Studierende befanden ihren subjektiven Lernerfolg mit zweischichtig gedruckten Übungszähnen für größer als mit KaVo-Zähnen, während sechs genau das Gegenteil angaben. Sieben Teilnehmer schätzten den Lernerfolg mit beiden Zahntypen gleich ein. Zusammenfassend fühlten sich die Studierenden nach dem Kurs gut vorbereitet auf das spätere Präparieren von Zähnen ( $\bar{x} 2,0 \pm 0,71$ ).

### **3.1.6 Evaluation des Lernprozesses**

Im siebten Teil des Fragebogens wurden Aspekte des Lernprozesses fokussiert. So wurden die Studierenden gefragt, ob die gedruckten Zähne bei ihnen Enthusiasmus geweckt hätten, ihre Fähigkeiten in der Präparation von Zähnen zu verbessern. Im Durchschnitt beantworteten sie diese Frage mit einer guten Note ( $\bar{x} 2,1 \pm 0,92$ ). Die subjektive Verbesserung der Fertigkeiten in der Präparation von Zähnen wurde im Mittel mit  $2,0 \pm 0,77$  beurteilt. Dabei gaben 25% der Studierenden die Bewertung *sehr gut* an, 42,5% lagen mit ihren Antworten genau im Mittel und 12,5% urteilten mit der Bewertung *befriedigend*. Hingegen gab nur ein Studierender die Bewertung *ausreichend* an. Die Aussage, dass die Studierenden das Gefühl hatten, durch den KaVo-Zahn das Präparieren besser und schneller zu erlernen, wurde durchschnittlich mit einer Note von  $2,9 \pm 1,04$  bewertet. Die nächste Frage stellte das Gegenteil zur vorangegangenen dar. Die Teilnehmer sollten angeben, ob sie das Gefühl hatten, durch den Zahn mit eingebauter Präparation das Präparieren besser und schneller zu erlernen. Dieser Aspekt wurde mit  $1,8 \pm 0,86$  im Durchschnitt mehr als eine ganze Notenstufe besser als die vorangegangene Frage bewertet. Die Anzahl der Studierenden, die subjektiv

betrachtet durch den KaVo-Zahn das Präparieren besser und schneller lernten, betrug fünf. Durch den gedruckten zweischichtigen Übungszahn das Präparieren besser und schneller zu erlernen gaben 29 Teilnehmer an. Die übrigen sechs Probanden stellten keinen Unterschied zwischen den beiden Zahntypen fest. Insgesamt lässt sich schlussfolgern, dass die Studierenden das Gefühl hatten, mit den gedruckten Zähnen mit eingebauter Präparation das Präparieren besser und schneller zu erlernen. Weiter wünschten sich die Teilnehmer mehr Übungen mit gedruckten Zähnen für ihr Studium. Im Durchschnitt lagen die Noten für diesen Aspekt bei  $1,6 \pm 0,86$ . Zusammenfassend ergibt sich eine Note von  $2,3 \pm 1,29$  für den Lernprozess mit gedruckten Zähnen.

### **3.1.7 Offene Fragen**

Zuletzt sollten die Studierenden zwei offene Fragen beantworten. Es wurde um Auskunft gebeten, was man an den Druckzähnen noch verbessern könne. Drei Teilnehmer gaben an, dass sie die Farbe der gedruckten Zähne als nicht ideal erachteten. Eine zahnähnlichere Farbe wie zum Beispiel weiß erachteten sie für die Übungszähne als besser geeignet. 10% der Studierenden gaben an, dass sich schwarze Schicht bei fortschreitender Ausdünnung durch die Präparation vom Restzahn ablöste. Dies würde dazu führen, dass man sich mehr auf das Ablösen des aufgeklebten Harzes konzentrierte und weniger auf die korrekte Präparationsform. Sieben Teilnehmer monierten die Härte des gedruckten Zahnes: diese wurde als zu weich empfunden. Zwei Studierende führten weiter aus, dass sie eine dentin- oder schmelzähnliche Härte bevorzugen würden. Weiter wurde angegeben, dass die am zweischichtigen Übungszahn erlernte Technik aufgrund der geringen Härte nicht an dem einschichtigen Übungszahn angewendet werden könne, weil diese sich beim Präparieren anders anfühlten.

In der zweiten offenen Frage sollten die Studierenden die möglichen Vorteile der Übungszähne in der zahnärztlichen Ausbildung angeben. Hier wurde fünfmal angeführt, dass man mit den gedruckten Zähnen genauer präparieren könne und man den richtigen Substanzabtrag besser erlernen könne. Die gute Veranschaulichung der korrekten Präparation durch den zweischichtigen Übungszahn und durch die Anschauungsmodelle wurde von zwei Teilnehmern gelobt. Ebenso wurde dreimal ein geringerer finanzieller Aufwand für die Studierenden als Vorteil genannt. In einem Fragebogen wurde notiert, dass sich der gedruckte Zahn beim Präparieren im Vergleich zu einem Standardmodellzahn eher wie ein echter Zahn anfühle. Zwei Personen merkten an, dass man mit dem gedruckten Zahn mit integrierter Präparation verschiedene anatomische Zahnformen simulieren könne und somit ein breiteres

Fallspektrum abdecken könne. Eine weitere Person führte aus, dass mit der Zweischichttechnik mehrere Präparationsarten erlernt werden könnten. Auch wurde zweimal angegeben, dass die Zweischichttechnik eine objektivere Bewertung der Präparationen zulässt und dass so der Beurteilungsprozess gerechter werden würde. Des Weiteren wurde erwähnt, dass mit dieser Technik individuelle Lernbedingungen geschaffen würden. Womöglich bezieht sich die oder der Studierende dabei auf die ständige Möglichkeit zur Kontrolle der eigenen Präparation.

### **3.1.8 Evaluation der Hypothese „Die Studierenden schätzen die Zweischichttechnik als gute Lehrmethode ein.“**

Zusammenfassend ergaben sich für die Eigenschaften der zweischichtigen Übungszähne im Vergleich zu Standardmodellzähnen die Note  $1,92 \pm 0,87$ , für die Beschaffenheit der zweischichtigen Übungszähne an sich eine Durchschnittsnote von  $1,73 \pm 0,87$  und für die Eigenschaften des Anschauungsmodells eine  $1,7 \pm 0,75$ . Das Meinungsbild zum Lernergebnis war mit einer Durchschnittsnote von  $2,0 \pm 0,71$  ebenso wie die Evaluation des Lernprozesses mit einer Durchschnittsnote von  $2,3 \pm 1,29$  gut. Insgesamt wurden alle Items des Fragebogens mit einer guten Bewertung beurteilt ( $\bar{x} = 2,0 \pm 0,37$ ). Somit wurde die Hypothese „Die Studierenden schätzen die Zweischichttechnik als gute Lehrmethode ein“ bekräftigt.

## **3.2 Lernerfolg der beiden Versuchsgruppen**

In diesem Kapitel werden die Werte für  $GMW_{+/-}$  und die Ergebnisse der statistischen Auswertung aufgeführt. Um die Darstellung der Ergebnisse übersichtlicher zu gestalten, wird im Fließtext ausschließlich auf die Werte für  $GMW_{+/-}$ ,  $MW_{+}$ ,  $MW_{-}$ , Minimal- und Maximalwerte der Gesamtflächen eingegangen.

### **3.2.1 Die Ergebnisse der vier Präparationsdurchgänge**

#### ***Auswertung der ersten beiden Präparationsdurchgänge***

Die nachfolgende Abbildung stellt die Ergebnisse der ersten beiden im Kurs präparierten Zähne graphisch dar.

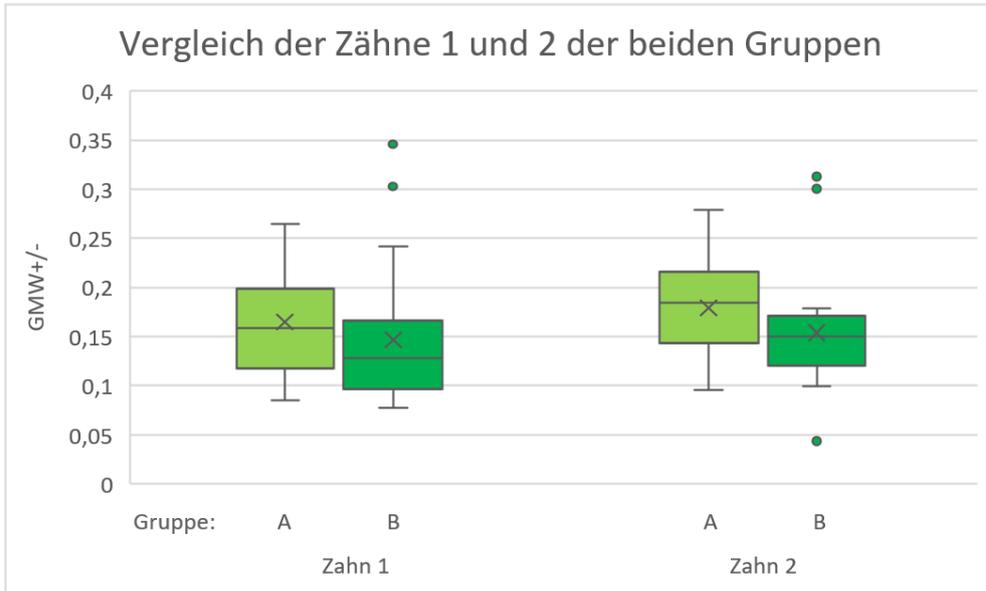


Abbildung 14 Graphische Darstellung der ersten beiden Präparationsdurchgänge.

*Zu sehen ist, dass Gruppe A in den ersten beiden Präparationsdurchgängen tendenziell schlechter präparierte als Gruppe B und dass sich beide Gruppen im Laufe der ersten beiden Präparationsdurchgänge leicht verschlechterten. Eigene Abbildung.*

In der Versuchsgruppe A wurden in den ersten beiden Präparationsdurchgängen zweischichtige Zähne präpariert. Es ergab sich für den ersten Zahn ein Mittelwert für  $GMW_{+/-}$  der Gesamtläche von 0,17 bei einer Standardabweichung von 0,07. Dieser Wert setzte sich aus einem durchschnittlichen Substanzabtrag von  $0,16 \pm 0,08$  an den Stellen mit zu geringem Substanzabtrag und  $-0,14 \pm 0,08$  an den Bereichen mit zu hohem Substanzabtrag zusammen. Die beste Präparation verzeichnete einen  $GMW_{+/-}$  von 0,08, wohingegen die schlechteste einen  $GMW_{+/-}$  von 0,26 erreichte. Der zweite Übungszahn dieser Gruppe, der ebenfalls zweischichtig gedruckt war, wurde mit einem mittleren  $GMW_{+/-}$  von  $0,17 \pm 0,04$  auf die gesamte Fläche insgesamt gleich gut präpariert. Hier wurde an den Punkten  $N_1$  im Durchschnitt  $0,18 \pm 0,07$  zu wenig tief und an den Punkten  $N_2$  im Mittel  $-0,13 \pm 0,06$  zu oberflächlich präpariert. Allerdings gelang hier einem Studierenden eine rechnerisch perfekte Präparation mit einem  $GMW_{+/-}$  von 0,00. Die schlechteste Präparation verzeichnete einen  $GMW_{+/-}$  von 0,28. Somit ergab sich innerhalb der Versuchsgruppe A keine Verbesserung der Präparation während der ersten beiden Präparationsdurchgänge.

In der Versuchsgruppe B wurden in vier Präparationsdurchgängen einschichtige Zähne präpariert. Die Teilnehmer konnten für den ersten Übungszahn einen mittleren  $GMW_{+/-}$  der Gesamtläche von  $0,15 \pm 0,07$  bei einem Wert von  $0,03 \pm 0,02$  für die Präparation an

den Punkten N<sub>1</sub> und einem Wert von  $-0,16 \pm 0,08$  für die Präparation an den Punkten N<sub>2</sub> erreichen. Sie waren somit beim ersten Zahn besser als die Versuchsgruppe mit dem zweischichtigen Übungszahn. Der Minimalwert für GMW<sub>+/-</sub> betrug hier 0,08, während der Maximalwert bei 0,35 lag. Für den zweiten Übungszahn, der in der Versuchsgruppe B ebenfalls einschichtig gedruckt war, wurde an den Punkten mit zu geringem Substanzabtrag im Mittel ein Wert von  $0,02 \pm 0,00$  erreicht. Für die Punkte mit zu hohem Substanzabtrag wurde ein Wert von  $-0,17 \pm 0,06$  berechnet. Somit ergab sich für GMW<sub>+/-</sub> ein Mittelwert von  $0,15 \pm 0,06$  für die Gesamtfläche. Die rechnerisch beste Präparation erreichte einen GMW<sub>+/-</sub> von 0,04, während die schlechteste auf einen GMW<sub>+/-</sub> von 0,31 kam. Die obere und untere Quartile für GMW<sub>+/-</sub> befand sich im zweiten Präparationsdurchgang der Gruppe B allerdings in einem engeren Bereich als im ersten. Insgesamt konnte in keiner der beiden Gruppen ein Fortschritt während der Präparation der ersten beiden Zähne erzielt werden. Eine übersichtliche Zusammenfassung der soeben beschriebenen statistischen Kennzahlen ist in Tabelle 3 zu finden.

Tabelle 3. Die Ergebnisse für GMW<sub>+/-</sub> der Gruppen A und B bei Zahn 1 und 2.

<b>Gruppe A</b>	Zahn 1	MW	0,17	<b>Gruppe B</b>	Zahn 1	MW	0,15
		SD	0,06			SD	0,07
		Max	0,26			Max	0,35
		Min	0,08			Min	0,08
	Zahn2	MW	0,17		Zahn2	MW	0,15
		SD	0,04			SD	0,06
		Max	0,28			Max	0,31
		Min	0			Min	0,04

### **Auswertung des dritten und vierten Präparationsdurchgangs**

Im dritten und vierten Präparationsdurchgang erhielten alle Studierenden einschichtig gedruckte Übungszähne. Auch die Ergebnisse dieses Abschnitts des praktischen Kurses wurden in einem Box-Whisker-Plot Diagramm veranschaulicht (Abbildung 15).

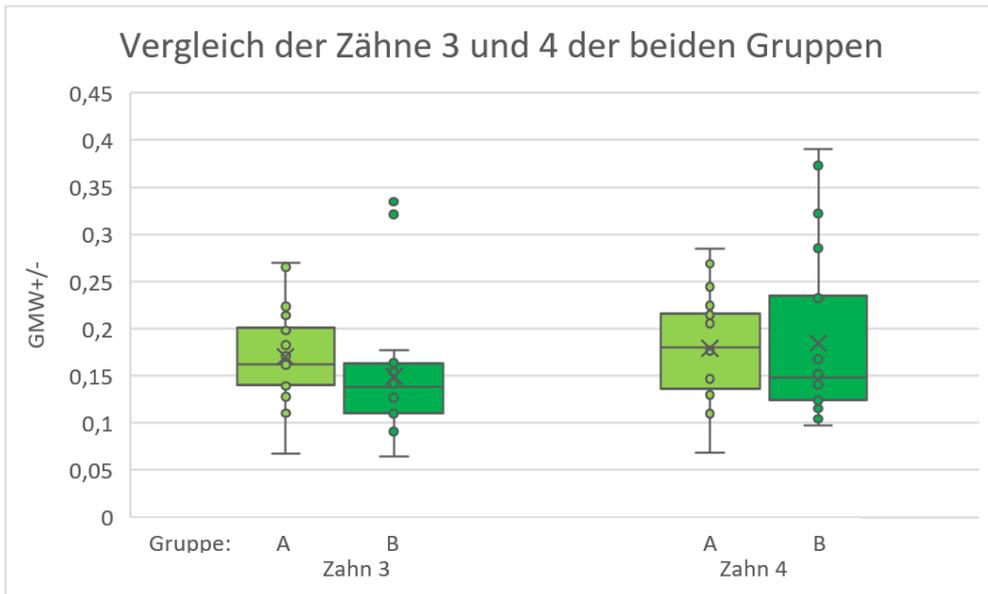


Abbildung 15 Graphische Darstellung der letzten beiden Präparationsdurchgänge.

*Zu sehen ist, dass beide Gruppen im vierten Präparationsdurchgang schlechter präparieren als im dritten. Eigene Abbildung.*

In der Versuchsgruppe A sollte sich nun zeigen, ob einschichtige Übungszähne nach dem Training mit der Hilfestellung der integrierten Präparation leichter zu präparieren waren und somit die Lernkurve steiler verläuft als die der Versuchsgruppe B. Mit einem Mittelwert von  $0,17 \pm 0,05$  für  $GMW_{+/-}$  zeigte sich hier keine Verbesserung der Präparationsqualität zu den vorausgegangenen Zähnen, die in Zweischichttechnik präpariert worden waren. Dabei wurde für  $N_1$  ein Wert von  $0,17 \pm 0,07$  und für  $N_2$  ein Wert von  $-0,14 \pm 0,07$  erzielt. Die beste Präparation wies einen  $GMW_{+/-}$  von 0,07 auf, wohingegen die schlechteste einen  $GMW_{+/-}$  von 0,27 erreichte. Der vierte ebenfalls einschichtige Übungszahn wurde an den Stellen mit zu geringem Substanzabtrag  $0,17 \pm 0,07$  zu oberflächlich präpariert, während an den Stellen für  $N_2$  im Mittel  $-0,14 \pm 0,08$  zu viel abgetragen wurde. Mit einem errechneten Mittelwert für  $GMW_{+/-}$  von  $0,18 \pm 0,05$  bei einem Minimalwert von 0,07 und einem Maximalwert von 0,28 für  $GMW_{+/-}$  wurde der vierte Zahn sogar schlechter präpariert, als die vorausgegangenen.

Versuchsgruppe B hatte bereits zuvor zwei einschichtige Übungszähne präpariert. Auch den dritten einschichtigen Übungszahn präparierte diese Kurshälfte mit einem Mittelwert von  $0,15 \pm 0,07$  für  $GMW_{+/-}$ , wobei für  $N_1$  ein Wert von  $0,10 \pm 0,04$  und für  $N_2$  ein Wert von  $-0,15 \pm 0,08$  bestimmt wurde. Die beste Präparation erzielte hierbei einen  $GMW_{+/-}$  von 0,06 und die schlechteste einen  $GMW_{+/-}$  von 0,33. Bei dem vierten Zahn verlor die

Gruppe B um 0,03 Punkte und erreichte nur noch einen mittleren  $GMW_{+/-}$  von  $0,18 \pm 0,09$  bei einem zu geringen Substanzabtrag von durchschnittlich  $0,11 \pm 0,05$  und einem mittlerem zu hohem Substanzabtrag von  $-0,18 \pm 0,11$ . Dabei wurde ein relativ hoher Minimalwert von 0,10 und der insgesamt höchste Maximalwert von 0,39 erzielt. Schließlich präparierte die Kontrollgruppe den letzten Zahn schlechter als die vorherigen. Vergleicht man den jeweils letzten Zahn der beiden Gruppen, so ergibt sich mit einem mittleren  $GMW_{+/-}$  von jeweils  $0,18 \pm 0,05$  für Versuchsgruppe A beziehungsweise  $\pm 0,09$  für Versuchsgruppe B kein Unterschied zwischen den Gruppen. Zur besseren Übersicht sind auch die statistischen Kennzahlen für diesen Abschnitt des praktischen Kurses in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 4. Die Ergebnisse für  $GMW_{+/-}$  der Gruppen A und B bei Zahn 3 und 4.

<b>Gruppe A</b>	Zahn 3	MW	0,17	<b>Gruppe B</b>	Zahn 3	MW	0,15
		SD	0,05			SD	0,07
		Max	0,23			Max	0,33
		Min	0,07			Min	0,06
	Zahn 4	MW	0,18		Zahn 4	MW	0,19
		SD	0,05			SD	0,09
		Max	0,28			Max	0,4
		Min	0,07			Min	0,1

### 3.2.2 Test auf Normalverteilung

Für die Haupthypothese und die Hypothese „Die Anwendung der zweischichtigen Übungszähne bringt Vorteile beim Präparationsergebnis“ werden je die Werte für  $GMW_{+/-}$  der beiden Versuchsgruppen eines jeden Präparationsdurchgangs herangezogen. Um diese auf Normalverteilung zu überprüfen, wurde mit SPSS der Kolmogorov-Smirnov-Test mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors durchgeführt. Mit einer Signifikanz von 0,200 für die in Gruppe A präparierten Zähne liegt die Fehlerwahrscheinlichkeit über dem festgelegten Signifikanzniveau von  $\alpha=0,05$ . Hier wurde die Nullhypothese des Kolmogorov-Smirnov-Tests also angenommen, dass die Variablen normalverteilt sind. Die Signifikanz für die Präparationsdurchgänge der Gruppe B hingegen lag jeweils unterhalb des Signifikanzniveaus von  $\alpha=0,05$ . In dieser Gruppe sind die Daten folglich nicht normalverteilt. Die einzelnen Signifikanzwerte für die entsprechenden Präparationsdurchgänge der beiden Gruppen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 5 Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors der beiden Versuchsgruppen in jedem Präparationsdurchgang.

Kolmogorov-Smirnov-Test			
Gruppe A		Gruppe B	
Präparationsdurchgang	Signifikanz	Präparationsdurchgang	Signifikanz
1	0,200	1	0,004
2	0,200	2	0,003
3	0,200	3	0,003
4	0,200	4	0

### 3.2.3 Einfluss der Zweischichttechnik auf die Präparationsqualität

Für die Beurteilung der Vorteile der Zweischichttechnik beim Präparationsergebnis wurden die Werte für  $GMW_{+/-}$  des zweiten Präparationsdurchgangs beider Gruppen miteinander verglichen. So konnte die Präparationsqualität bei Verwendung von zweischichtigen Übungszähnen und bei gedruckten Übungszähnen verglichen werden. Die statistische Analyse der Daten mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests ergab, dass Gruppe B mit Training am einschichtigen Übungszahn im zweiten Präparationsdurchgang zwar besser abschnitt, als Gruppe A mit Training am zweischichtigen Übungszahn. Dieser Unterschied war allerdings nicht signifikant ( $U = 33,500$ ,  $Z = -4,508$ ,  $p = 0,91$ ). Somit wurde die Hypothese, dass die Zweischichttechnik Vorteile beim Präparationsergebnis bringt, nicht bestätigt.

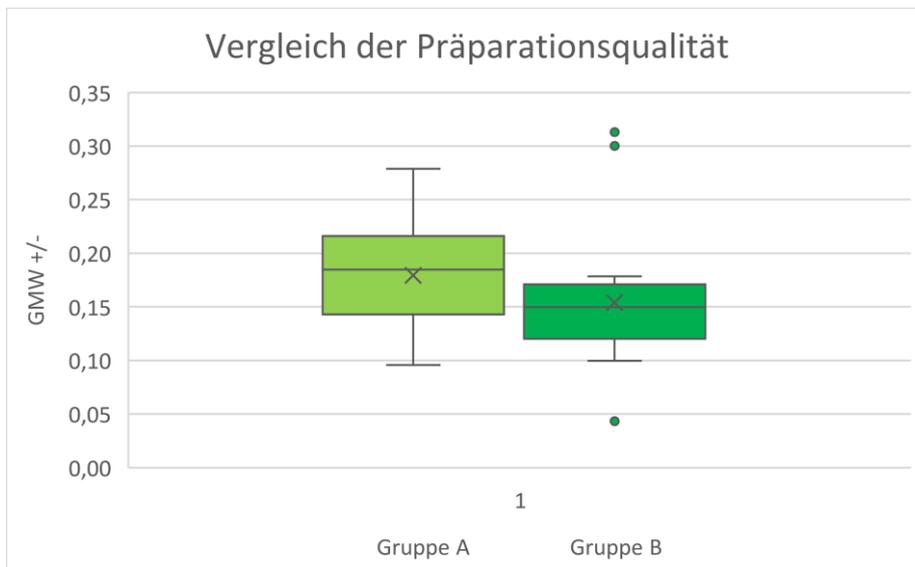


Abbildung 16 Vergleich der Präparationsqualität zwischen den beiden Vergleichsgruppen.

Die Studierenden der Gruppe B schnitten besser ab als die Studierenden der Gruppe A. Eigene Abbildung.

### 3.2.4 Darstellung der Lernkurve

Die Nullhypothese besagt, dass die Studierenden durch die in Zweischichttechnik gedruckten Zähne mit integriertem Veneer die korrekte Präparation eines Veneers besser erlernen können als mit Standardmodellzähnen. Diese Aussage soll anhand des Lernerfolges verifiziert werden.

#### Formel 4:

$$\Delta L = (GMW_{\pm_1}) - (GMW_{\pm_4})$$

$$\Delta L_A = 0,17 - 0,18 = -0,01$$

$$\Delta L_B = 0,15 - 0,18 = -0,03$$

Wie bereits in Kapitel 2.3.7 beschrieben wurde, kann kein Lernerfolg nachgewiesen werden, wenn der Wert für  $\Delta L$  negativ ist. Der letzte Zahn wurde in diesem Fall schlechter präpariert als der erste (s. Abbildung 17).

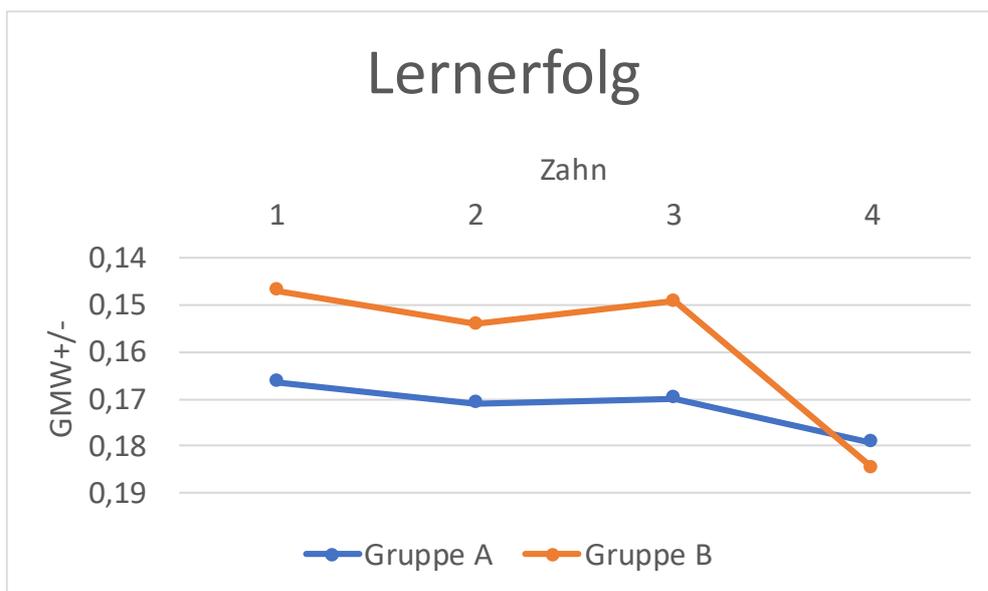


Abbildung 17 Graphische Darstellung der Lernkurven von Gruppe A und Gruppe B.

*Zu sehen ist, dass weder Gruppe A noch Gruppe B einen signifikanten Lernerfolg erzielen konnte. Eigene Abbildung.*

Dieses Ergebnis konnte auch durch den Mann-Whitney-U-Test bestätigt werden, der zur Untersuchung von Unterschieden zweier unabhängiger Stichproben angewandt wird. Dazu wurden die Ergebnisse des jeweils ersten und letzten Präparationsdurchgangs statistisch ausgewertet (Signifikanzniveau  $\alpha=0,05$ ). Hier zeigte sich in keiner der beiden

Versuchsgruppen ein signifikanter Unterschied bezüglich der Werte für  $GMW_{+/-}$  zwischen dem ersten und dem letzten Präparationsdurchgang (Gruppe A:  $U = 163,000$ ,  $Z = -1,001$ ,  $p = 0,317$ ; Gruppe B:  $U = 132,000$ ,  $Z = -1,839$ ,  $p = 0,066$ ).

In der hier durchgeführten Studie ergab sich folglich für beide Versuchsgruppen kein signifikanter Lernerfolg, sodass die Hypothese „Die Studierenden können durch die in Zweischichttechnik gedruckten Zähne mit integriertem Veneer die korrekte Präparation eines Veneers besser erlernen als mit Standardmodellzähnen.“ widerlegt wurde.

### 3.2.5 Abhängigkeit der Präparationsqualität von der Selbsteinschätzung der Studierenden

Neben der Haupthypothese sollte auch die Hypothese „Die Studierenden, die ihre manuellen Fertigkeiten als besonders gut einschätzen, präparieren besser“ untersucht werden. Um diese Aussage zu untersuchen, wurde  $GMW_{+/-}$  von allen Studierenden, die das Item „So schätze ich meine manuellen Fertigkeiten ein“ mit einer Note von „gut“ oder „sehr gut“ beantwortet hatten, mit den übrigen Teilnehmern verglichen.

Um die beiden Versuchsgruppen auf Normalverteilung zu prüfen, wurde auch hier der Kolmogorov-Smirnov-Test mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors angewandt. Hier wurde die Nullhypothese des Kolmogorov-Smirnov-Tests, dass die Daten normalverteilt sind, für beide Gruppen angenommen (Studierende mit hoher Selbsteinschätzung:  $\alpha = 0,086$ ; Studierende mit geringer Selbsteinschätzung:  $\alpha = 0,200$ ).

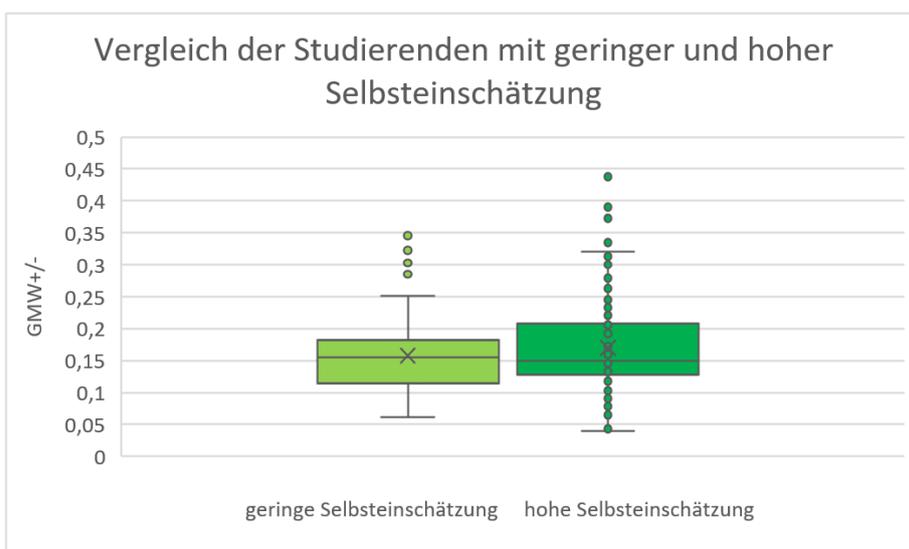


Abbildung 18 Graphische Darstellung des Vergleichs der Studierenden mit geringer und hoher Selbsteinschätzung.

Zu sehen ist die bessere Präparationsleistung der Studierenden, die ihre manuellen Fertigkeiten mit der Note sehr gut oder gut bewerteten. Eigene Darstellung.

Dabei ergab sich für die Studierenden, die ihre manuellen Fertigkeiten mit einer Note von 3 und schlechter beurteilten, im Mittel ein  $GMW_{+/-}$  von  $0,16 \pm 0,05$  bei einem Wert für die positiven Abweichungen von  $0,06 \pm 0,06$  und für die negativen Abweichungen von  $-0,1 \pm 0,07$ . Die beste Präparation erhielt einen  $GMW_{+/-}$  von 0,06, wohingegen die schlechteste einen  $GMW_{+/-}$  von 0,35 erreichte. Die Teilnehmer mit hoher Selbsteinschätzung hingegen erreichten einen durchschnittlichen  $GMW_{+/-}$  von  $0,17 \pm 0,07$  bei einer durchschnittlichen Abweichung von  $0,05 \pm 0,06$  für die positiven Werte und von  $-0,12 \pm 0,09$  für die negativen Werte. Die beste Präparation erreichte hier einen  $GMW_{+/-}$  von 0,04, während die schlechteste einen  $GMW_{+/-}$  von 0,44 erzielte. Die statistische Analyse der Daten mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests ergab allerdings keine Signifikanz ( $U = 198,500$ ,  $Z = -0,041$ ,  $p = 0,967$ ).

Somit wurde diese Hypothese ebenfalls abgelehnt. Studierende, die ihre manuellen Fertigkeiten als gut oder sehr gut einschätzen, präparierten demnach nicht besser als Studierende mit geringer Selbsteinschätzung.

## **4 Diskussion**

Die vorliegende Studie beschreibt und testet die Zweischichttechnik als neue Lehrmethode zum Unterrichten der korrekten Veneerpräparation. Hierfür wurden stereolithographisch Zähne gedruckt, die aus zwei Harzen bestanden: Eine Schicht schwarzen Harzes, die die Form eines idealen Veneers einnahm, und eine Schicht braunen Harzes, welches die restliche Krone eines Frontzahnes darstellte. In einem praktischen Kurs mit Studierenden der Zahnmedizin der Universität Würzburg sollte untersucht werden, ob die zweischichtigen Übungszähne die Lehre der korrekten Veneerpräparation positiv beeinflussen. Dafür kam zum einen ein Fragebogen zum Einsatz, in dem die Studierenden die zweischichtigen Übungszähne beurteilten und mit Standardmodellzähnen verglichen. Zum anderen wurden die Präparationen digital mit Hilfe einer 3D-Software mit einer Referenzpräparation verglichen, sodass die tatsächlichen Unterschiede des Lernerfolgs und der Präparationsqualität mit einschichtigem und zweischichtigem Übungszahn untersucht werden konnten. Im folgenden Abschnitt sollen die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Studie im Kontext der wissenschaftlichen Literatur betrachtet werden.

## **4.1 Einordnung von Material und Methoden**

Vorerst sollen die verwendeten Materialien und die Methodik beurteilt werden. Dabei wird auf entscheidende Aspekte der Kapitel 2.1 und 2.2 eingegangen.

### **4.1.1 Diskussion von Studiendesign und Fallzahl**

Die Repräsentativität der Studienpopulation ist dadurch beschränkt, dass die Studierenden sich freiwillig zu dem Kurs anmelden konnten. Die Motivation der Studierenden zur freiwilligen Teilnahme an der Studie könnte darin begründet sein, durch den praktischen Kurs weitere Übungszeit zum Erlernen von Präparationen zur Verfügung zu haben. Das entspricht dem Konzept des selbstgesteuerten Lernens, das nach richtungsweisenden Institutionen in der akademischen Lehre verfolgt werden sollte. Schiefele et al. definieren „[S]elbstreguliertes Lernen [als] eine Form des Lernens, bei der die Person in Abhängigkeit von der Art ihrer Lernmotivation selbstbestimmt eine oder mehrere Selbststeuerungsmaßnahmen [...] ergreift und den Fortgang des Lernens selbst überwacht“ (Schiefele et al. 1997). So könnten die Studierenden die Übungsmöglichkeit im praktischen Kurs der vorliegenden Studie als Mittel zum Voranschreiten ihres Lernens betrachtet haben.

Die Fallzahl von 40 Probanden entspricht in etwa der Probandenzahl anderer Studien in diesem Bereich. In der Studie von Behr präparierten 42 Studierende Zähne, die nach der „Malen nach Zahlen“ Methode gestaltet waren (Behr 2021). Jentzsch hatte 35 Probanden in einem praktischen Kurs, in dem die Lehre der korrekten Präparation für Vollkronen mit 3D-gedruckten Zähnen untersucht werden sollte (Jentzsch 2021). Kustra et al. untersuchten die Vorteile von 3D-gedruckten Zähnen beim Unterrichten von Trepanationen. Hier trepanierten neun Studierende jeweils zehn Zähne (Kustra et al. 2021). Vergleichbare Studien weisen also ähnliche Probandenzahlen auf. In Relation zur Zielgruppe – alle Studierenden der Zahnmedizin – ist die Stichprobe von 40 Teilnehmern dennoch klein, sodass die Repräsentativität der vorliegenden Studie limitiert ist. In der Zukunft wären folglich Studien mit noch größerer Fallzahl wünschenswert. Des Weiteren könnte durch Übersichtsarbeiten der bisher zum Thema 3D-gedruckte Zähne in der zahnmedizinischen Lehre durchgeführten Studien eine wesentlich größere Stichprobe betrachtet werden.

Die Studie war im zweiarmigen Parallelgruppendesign gestaltet. Hier werden Effekte einer Intervention und eines Kontrollverfahrens miteinander verglichen (Kabisch et al. 2011). Auch Dhaliwal et al. und Reymus et al. haben in ihren Studien zu neuen Lehrmethoden im Zahnmedizinstudium jeweils zwei Versuchsgruppen, die im Anschluss

an die Studie einen Fragebogen ausfüllen durften (Dhaliwal et al. 2015; Reymus et al. 2018). Nach ähnlichem Muster präparierte in der vorliegenden Studie Gruppe A zweimal den zweischichtigen Übungszahn und Gruppe B zweimal den einschichtigen Übungszahn. Die Besonderheit im Versuchsaufbau der vorliegenden Studie ist, dass anschließend eine Kontrollphase durchgeführt wurde, in der beide Gruppen zweimal den einschichtigen Übungszahn präparierten. So sollte zusätzlich zu der Umfrage, die auch in dieser Studie durchgeführt wurde, untersucht werden, ob sich ein Unterschied in der Präparationsqualität und der Lernkurve zwischen den beiden Gruppen ergibt.

#### **4.1.2 Herstellung der zweischichtigen Übungszähne und des Anschauungsmodells**

Für die Herstellung der Übungszähne in Zweischichttechnik wurde ein Form 2 3D-Drucker verwendet. Dieses Gerät stellte die Übungszähne nach dem vielfach in der Dentalbranche angewandten Prinzip der Stereolithographie her (Kessler et al. 2020): Eine 0,25-100µm dicke Schicht lichthärtenden Harzes, die der ersten Scheibe des Objektes entspricht und auf einem beweglichen Objektträger liegt, wird durch einen computergesteuerten Laser gehärtet. Für die nächste Schicht taucht der Objektträger um die gleiche Schichtdicke tiefer in das lichthärtende Harz und härtet anschließend die zweite Schicht. Der Anfang des zu druckenden Zahnes befindet sich also in flüssigem Harz und die Schicht, an die weiteres Volumen angefügt werden soll, ist durch eine dünne Schicht lichthärtenden Harzes bedeckt (Dawood et al. 2015; Melchels et al. 2010; Methani et al. 2020; Revilla-León et al. 2019).

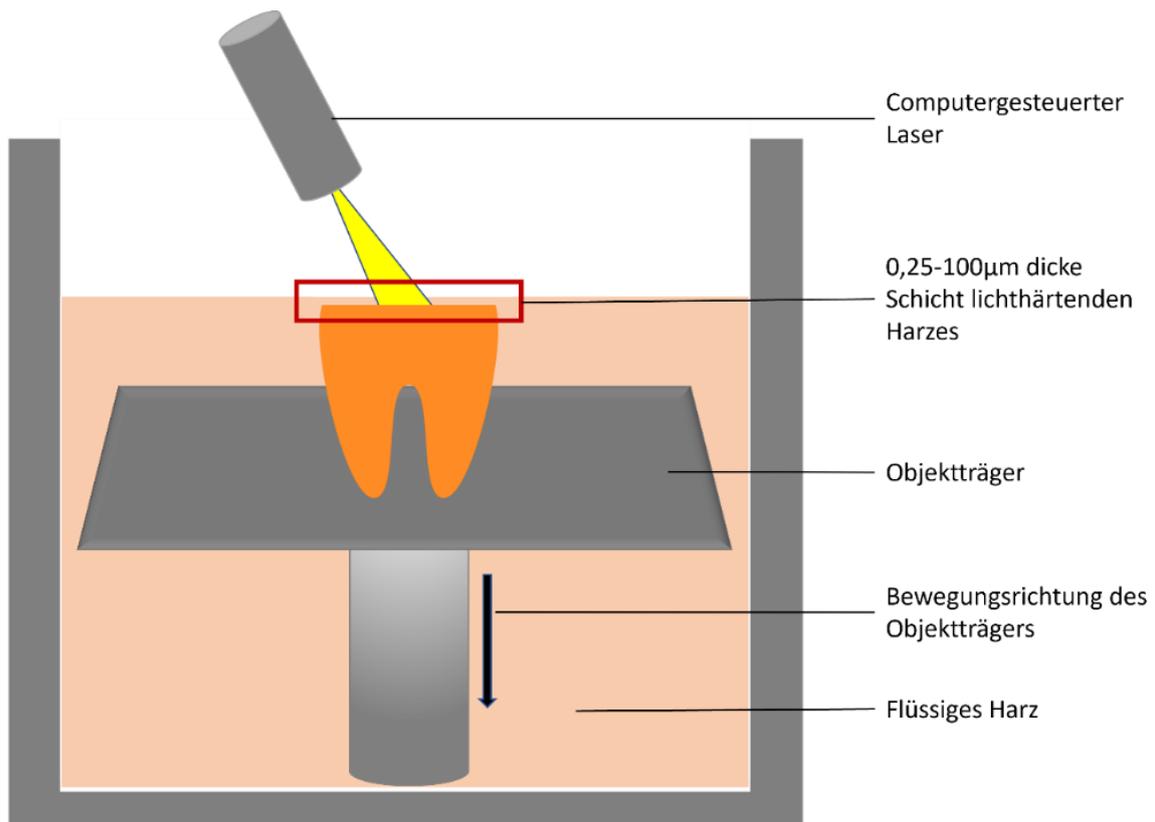


Abbildung 19 Schema der Stereolithographie.

Eigene Abbildung.

Ein anderes oft genutztes Verfahren ist das sogenannte PolyJet-Verfahren, wie es beispielsweise Lugassy et al. und Liang et al. anwandten (Liang et al. 2018; Lugassy et al. 2020). Hier wird eine Schicht des zu druckenden Objektes von einem Druckkopf aufgetragen, die anschließend von einer am Druckkopf befindlichen Lichtquelle ausgehärtet wird. So wird dank einer geringen Schichtdicke von mindestens 16µm (Revilla-León et al. 2019) ein sehr detailliertes Objekt mit sehr glatter Oberfläche hergestellt (Ibrahim et al. 2009). Revilla-León et al. thematisieren in ihrer Arbeit sowohl die Stereolithographie als auch das PolyJet-Verfahren (Revilla-León et al. 2019). Hier wird die Notwendigkeit von Halteelementen beim stereolithographischen Druck bemängelt. Sie würden den Material- und Zeitaufwand erhöhen. Bezüglich des Materialaufwandes gestaltet es sich beim PolyJet-Verfahren hingegen so, dass das Bauteil während des Druckvorgangs von einem wiederverwendbaren Gel gestützt wird, sodass kein Material verloren geht (Fahad et al. 2013). In Bezug auf den Zeitaufwand unterscheiden sich die beiden Verfahren nicht nur durch das Entfernen der Halteelemente, sondern auch durch die Dauer der Nachbearbeitung: nach einem stereolithographischen Druck im Form 2 Drucker müssen die Druckmaterialien zuerst für

15 Minuten im FormWash gewaschen werden, der mit Isopropanol befüllt ist. Hierfür wird die komplette Konstruktionsplattform in den FormWash gestellt. Im Anschluss müssen die Teile für 60 Minuten im Form Cure nachgehärtet werden (Formlabs 2021d). Zuletzt müssen die Halteelemente von jedem Druckzahn entfernt werden.

Nach einem PolyJet-Druck muss ausschließlich das gelartige Unterstützungsmaterial, das die Halteelemente des SLA-Drucks ersetzt, entfernt werden. Dieser Vorgang kann zum einen mechanisch durch manuelle Entfernung sowie mit Hilfe von Wasser, das mit hohem Druck auf das Bauteil gesprüht wird, erfolgen. Zum anderen kann das Unterstützungsmaterial chemisch durch die Lagerung des Bauteils in einer Lösung aus Natriumhydroxid und Wasser für mindestens 30 Minuten entfernt werden (Stratasys 2021). Andere Nachbearbeitungsprozesse sind nach einem Druck im PolyJet-Verfahren nicht notwendig. Somit ist die Nachbearbeitungszeit des PolyJet-Verfahrens kürzer als die der Stereolithographie.

Nach Ishida et al. liefern PolyJet-Drucker akkuratere Ergebnisse als stereolithographische Drucker (Ishida et al. 2016). Eine möglichst präzise Wiedergabe der STL-Datei wäre insbesondere deshalb für die vorliegende Studie wünschenswert, weil die von den Studierenden präparierten Übungszähne in der Auswertung mit dem Referenzzahn überlagert wurden (s. Seite 22). Für eine exakte Überlagerung muss die Form der gedruckten Zähne außerhalb der Präparation möglichst gut übereinstimmen. Je präziser die Überlagerung gelingt, desto genauer können im Anschluss die Abweichungen von der Referenzpräparation bestimmt werden.

Ein weiterer Aspekt ist das breitere Spektrum an Materialien, die für die PolyJet-Technologie zur Verfügung stehen (Revilla-León et al. 2019). So stünde für die Anpassung materialbezogener Faktoren, wie beispielsweise der Härte oder der Farbe, die unter anderem in den offenen Fragen von den Studierenden kritisiert wurden (s. Seite 35), eine größere Auswahl an Polymeren bereit.

Des Weiteren können beim PolyJet-Verfahren unterschiedliche Materialien in einem Druckvorgang verwendet werden (Revilla-León et al. 2019). Somit würde ein weiterer Arbeitsschritt – das Zusammenkleben der beiden Schichten – entfallen. In der Folge könnte der Verbund zwischen den einzelnen Schichten weniger fehleranfällig werden.

Trotz dieser Limitationen ist die Stereolithographie ein bewährtes und in der Dentalbranche häufig eingesetztes Verfahren. So greifen auch zahlreiche weitere Autoren in ihren Studien auf die Technik der Stereolithographie zurück (Boonsiriphant et al. 2019; Pouhaër et al. 2021; Reymus et al. 2019). In mehreren Reviews wurde

festgestellt, dass die meisten Anwendungen des 3D-Drucks im zahnmedizinischen Bereich mit der Technik der SLA arbeiten (Etemad-Shahidi et al. 2020; Webb 2000). Somit repräsentiert der Druck der Übungszähne im Verfahren der SLA eine Methodik, die auch an anderen Universitäten breite Anwendung finden könnte.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Druck der Kursmaterialien in Stereolithographie durch die breite Anwendung, die die Stereolithographie im dentalen Bereich findet, hohe Aussagekraft für die Verwendung der hier angewandten Methodik an anderen Universitäten besitzt. Dennoch lässt das PolyJet-Verfahren auf Vorteile wie höhere Präzision und schnellere Arbeitsabläufe hoffen, sodass dessen Einsatz in weiteren Studien zur Unterstützung der zahnmedizinischen Lehre durch 3D-gedruckte Zähne untersucht werden sollte.

#### **4.1.3 Die Lehrmethode der Zweischichttechnik**

Gruppe A präparierte zuerst zweimal den zweischichtigen Übungszahn und anschließend zweimal einen einschichtigen Übungszahn. So sollte durch die Präparation der ersten beiden Zähne die korrekte Präparationsform visuell und haptisch erfasst und anschließend auf die einschichtigen Übungszähne übertragen werden. Nach Nesbitt ist visuelles Feedback die wichtigste Informationsquelle, um räumliche Dimensionen zu erfassen (Nesbitt 2003). Sigrist et al. stellte zudem fest, dass visuelles Feedback bei hochkomplexen motorischen Aufgaben insbesondere dann effektiv sei, wenn es in Echtzeit gegeben werde (Sigrist et al. 2013). Durch die Zweischichttechnik können die Studierenden jederzeit an der Farbe des präparierten Bereichs erkennen, ob sie zu wenig oder zu viel Substanz abgetragen haben. Somit erhält der Studierende visuelles Feedback in Echtzeit, was in der Folge zu einem besonders guten Lernerfolg führen müsste. Weitere Autoren kommen zu dem Schluss, dass Hilfsmittel zur Beurteilung studentischer Arbeiten möglichst spezifisches Feedback liefern sollten (Hauser et al. 2009; Williams et al. 2003). Spezifisch ist die Rückmeldung an die Studierenden durch die Zweischichttechnik insofern, dass das visuelle Feedback über die Präparation immer an eine bestimmte Stelle des Zahnes gekoppelt ist. Die herkömmliche Lehrmethode unterscheidet sich an diesem Punkt markant von der Lehre mit der Zweischichttechnik: Hier erklärt ein Dozent nach erfolgter Präparation, wie diese verbessert werden oder beim nächsten Versuch besser gestaltet werden könne. Limitationen ergeben sich hier durch die mangelnde Visualisierung des Feedbacks und durch den Zeitverzug bis zum Feedback. Zudem muss die Kritik verbal formuliert werden, was eine Vereinfachung des Feedbacks zur Folge hat. Anhand dieser

Erkenntnisse kann man vermuten, dass die Übungszähne in Zweischichttechnik einen Vorteil gegenüber herkömmlichem Unterricht haben.

Auch haptische Rückmeldungen verbessern den Lernprozess manueller Abläufe erheblich. Lee et al. gaben einer Versuchsgruppe von Physiotherapiestudierenden durch ein Oszilloskop Rückmeldung über die Kraft, die sie beim Mobilisieren von Gelenken anwendeten. Die Autoren konnten feststellen, dass die Studierenden im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, der das Vorgehen auf herkömmlichem Weg erklärt wurde, die korrekte Kraftanwendung wesentlich schneller beherrschte (Lee et al. 1990). Bezieht man diese Erkenntnis auf die durch die Zweischichttechnik unterstützte Lehre, könnte eine unterschiedliche Härte der beiden Materialien sowie des Klebharzes als das haptische Feedback angesehen werden, was die Studierenden die korrekte Präparationsform schneller erfassen lässt.

#### **4.1.4 Bewertung des Fragebogens zur Evaluierung der Zweischichttechnik**

Zur Evaluation der gedruckten Zähne sowie der Zweischichttechnik kam ein Fragebogen zum Einsatz, der in vergleichbarer Form von Kolling gezielt für die Beurteilung 3D-gedruckter Zähne in der zahnmedizinischen Lehre psychometrisch getestet und empfohlen wurde (Kolling 2021). Er kam bereits in vergleichbaren Studien zu 3D-gedruckten Zähnen zum Einsatz (Behr 2021; Höhne et al. 2019a; Höhne et al. 2020b; Höhne et al. 2020a; Jentsch 2021). Der Fragebogen bestand aus acht Kategorien. Die Items der ersten sieben Kategorien waren in Schulnoten zu beurteilen, während in der achten Kategorie offene Fragen gestellt wurden. Nach Oppenheim sollen die Fragen einfach formuliert, eindeutig und nicht länger als 20 Wörter sein (Oppenheim 1976). Im vorliegenden Fragebogen bestand ein Item durchschnittlich aus 9 Wörtern bei einem Maximalwert von 17 Wörtern, sodass die Empfehlung von Oppenheim in diesem Punkt erfüllt ist. Zudem wurde explizit auf die Einfachheit und Eindeutigkeit der Formulierungen und Termini geachtet. Dabei könnte es bei den Worten „*Standardmodellzahn*“, „*einschichtiger Übungszahn*“ und „*zweischichtiger Übungszahn*“ zu Verwirrungen während des Bearbeitens des Fragebogens gekommen sein, weil alle drei Termini oberflächlich betrachtet sehr ähnlich sind, der Unterschied in der vorliegenden Studie aber entscheidend ist. Konkrete Nachfragen diesbezüglich traten während des praktischen Kurses jedoch nicht auf, weshalb auf ausreichendes Verständnis der Teilnehmer geschlossen wurde. Nach Murray sollten die Formulierungen auf das geringste Bildungslevel der Zielgruppe ausgelegt sein (Murray 1999). Da alle Teilnehmer bereits mindestens drei Jahre des Zahnmedizinstudiums absolviert hatten, konnte eine

gewisse Fachkenntnis vorausgesetzt werden. Dennoch wurde zum besseren Verständnis im Fragebogen ausschließlich das Fremdwort *Präparation* verwendet, das im Studium der Zahnmedizin bereits im ersten Semester geläufig gemacht wird. Auf diese Weise sollte sichergestellt werden, dass alle Studierenden die Items gut verstehen konnten.

Die Reihenfolge der Fragen spielt nach Rammstedt ebenfalls eine wichtige Rolle: Wird zuerst eine spezifische Frage und anschließend eine übergeordnete Frage gestellt, so wird die Antwort auf die erste Frage zumeist nicht mehr bei der allgemeinen Frage angegeben (Rammstedt 2010). Dieser Effekt könnte bei Frage 5.1 und 5.2 zum Tragen gekommen sein. Kalton et al. zeigten in ihrem Review zur Auswirkung der Fragestellung auf die Antworten in Fragebögen allerdings, dass die Reihenfolge der Fragen – auch bei thematisch verwandten Items – in den meisten Studien keinen Effekt zeigte (Kalton et al. 1982). So kann zusammenfassend davon ausgegangen werden, dass die Reihenfolge der Fragen das Ergebnis der Umfrage nicht maßgeblich beeinflusst hat.

Nach Schuman et al. führen geschlossen gestellte Fragen dazu, dass die Probanden besser klassifiziert werden können und dass so Beziehungen zwischen den Antworten und anderen Variablen besser beschrieben werden können (Schuman et al. 1979). Im vorliegenden Fragebogen durften die Probanden in sieben von acht Abschnitten in Schulnoten antworten und wurden so klassifiziert. Daher konnten im Kapitel 3.2.5 weitere Erkenntnisse über den Zusammenhang von ausgewählten Aspekten des Fragebogens mit der entsprechenden Präparationsleistung gewonnen werden.

Der Fragebogen wurde von den Studierenden mit ihren Smartphones ausgefüllt. Dafür erhielt jeder Studierende einen QR-Code, der einmalig Zugang zu dem EvaSys-Fragebogen ermöglichte. In der Literatur ergeben sich keine Unterschiede, ob ein Fragebogen bei gleicher Umgebung in Papierform oder digital ausgefüllt wird (Paolo et al. 2000; Richman et al. 1999). Die digitale Abwicklung der Umfrage führte allerdings dazu, dass sogenannte *Interviewereffekte* ausgeschlossen werden konnten. Dabei handelt es sich um wiederkehrende Differenzen zwischen Befragten, die durch das Verhalten oder die empfundenen Eigenschaften des Interviewers zustande kommen (Groves 1989). Indem die Befragungssituation für jeden Studierenden identisch und ohne Kontakt zu einer bestimmten Person war, konnten die Teilnehmer nicht durch einen Interviewer beeinflusst werden. Zudem wurden die digitalen Angaben der Teilnehmer vollautomatisiert durch die Software ausgewertet, sodass Bearbeitungsfehler an diesem Auswertungsschritt ausgeschlossen werden konnten. Die Umfrage fand direkt im Anschluss an die Präparationsübung statt. Somit lag die Präparation der zu

beurteilenden Zähne nicht weit zurück, was nach Porst ein wichtiger Faktor für die leichte Erinnerung an das zu beurteilende Objekt ist (Porst 2014).

Zusammenfassend kann man festhalten, dass eine hohe Durchführungsobjektivität der Umfrage im Sinne von Krebs et al. erreicht werden konnte: Ein standardisierter Fragebogen kam zum Einsatz, die Reihenfolge der Fragen kann als annehmbar betrachtet werden und die Befragungssituation war durch die digitale Durchführung für jeden Studierenden gleich (Krebs et al. 2014).

## **4.2 Diskussion der Auswertung der Präparationen**

Für die Auswertung wurden die im Kurs präparierten Zähne mit dem InEos X5 Scanner eingescannt und anschließend mit der 3D-Software GOM Inspect 2019 weiterverarbeitet. Dabei sind die Präzision des Scanners und der Software von zentraler Bedeutung, sodass diese Eigenschaften im folgenden Abschnitt evaluiert werden sollen.

### **4.2.1 Der Scanner InEos X5**

Um die im praktischen Kurs präparierten Zähne mit der Referenzpräparation überlagern zu können, mussten diese zuerst digitalisiert werden. Der hierfür eingesetzte Scanner InEos X5 ist nach Herstellerangaben „ein hochgenaues Messgerät, das speziell für die zahntechnische Anwendung entwickelt wurde“ und nach DIN EN ISO 12836:2015 eine Messgenauigkeit von  $2.1 \pm 2.8 \mu\text{m}$  im Brückentest erreicht (Dentsply Sirona 2021). Damit könnte der Scanner Abweichungen erkennen, die um ein Zehnfaches kleiner sind als die minimale Schichtdicke einer Druckschicht des Form 2 (s. Kapitel 2.1.3). Limitierend für die Prüfgenauigkeit nach DIN-Norm ist allerdings, dass für die Prüfung standardisierte geometrische Formen und keine Zahnmodelle zum Einsatz kommen. So kann es in der Praxis aufgrund abweichender Oberflächenmorphologien und -angulationen zu geringeren Messgenauigkeiten kommen (Zimmermann et al. 2018).

Es gibt drei Methoden, mit denen Extraoralscanner die Oberfläche von Modellen erfassen: durch Laser, Licht und Kontakt. Der InEos X5 ist als Blaulichtscanner in der zweiten Kategorie einzuordnen. Damit hat der verwendete Scanner den Vorteil, dass er im Vergleich zu Kontaktscannern unabhängig von der Dichte des gescannten Objektes und in besonders kurzer Zeit misst (Chan et al. 2011; Persson et al. 2006). Nach González de Villaumbrosia unterscheiden sich die oben aufgeführten Technologien nicht in ihrer Messgenauigkeit (González de Villaumbrosia et al. 2016). Emir konnte hingegen feststellen, dass Blaulichtscanner akkurater messen als Weißlicht- oder Laserscanner. Die Arbeitsgruppe untersuchte in ihrer Studie acht verschiedene Extraoralscanner auf die Übereinstimmung ihrer Scans mit dem Modell, darunter auch den InEos X5. Unter

den Scannern, die mit blauem Licht arbeiteten, ordnete sich der InEos X5 in der unteren Hälfte ein (Emir et al. 2019). In der Studie von Vafaei wies der Scan des InEos X5 sogar die schlechteste Übereinstimmung mit dem Modell auf (Vafaei et al. 2021). Eine weitere Arbeit hingegen testierte dem InEos X5 die akkuratesten Ergebnisse im Vergleich zu zwei weiteren Blaulichtscannern - Up3D 300E und 3Shape E2 (Nulty 2021). Die Angaben in der Literatur divergieren an dieser Stelle also deutlich. Folglich sollte vor weiteren Studien zu 3D-gedruckten Zähnen in der zahnmedizinischen Lehre, in denen Extraoralscanner zum Einsatz kommen, die Literatur erneut konsultiert und die Wahl des Scanners nochmals eruiert werden.

#### **4.2.2 Die Auswertungssoftware GOM Inspect 2019**

Für die Inspektion der im Kurs präparierten Zähne kam die Software GOM Inspect 2019 in der kostenfreien Version zum Einsatz. Die Software ist eine „3D-Inspektions- und Netzbearbeitungssoftware für die Form und Maßanalyse von 3D-Punktwolken“ (GOM Inspect 2021). Sie dient unter anderem der Industrie zur Qualitätssicherung und wurde bereits in zahlreichen vorausgegangenen Untersuchungen zum Vergleich von Oberflächen eingesetzt (Ender et al. 2019; Lee et al. 2020b; Lee et al. 2020a; Tribst et al. 2019).

Für die Ausrichtung der Inspektionsobjekte greift die Software auf den *Iterative closest point algorithm* (ICP) zurück, wie ihn Besl et al. im Jahr 1992 vorstellten. Hier wird im ersten Schritt der für jeden Punkt korrespondierende und nächstgelegene Punkt des Zielobjektes gesucht. Dann wird eine dem Ausgangsobjekt identische, stabile Transformationsmatrix erstellt und das Ausgangsobjekt wird in ein neues, dem Zielobjekt näher liegendes Objekt umgewandelt. Wenn jetzt das quadratische Mittel der Summen aller Abweichungen geringer ist als der zuvor vom Benutzer festgelegte Grenzwert, ist die Iteration abgeschlossen. Ist das nicht der Fall, werden die vorausgegangenen Schritte so lange wiederholt, bis der Grenzwert erreicht ist (Besl et al. 1992). Auf diese Weise können Zuordnungsfehler eliminiert und eine sehr präzise Überlagerung erreicht werden (Cheng et al. 2017; Li et al. 2019). Auch andere 3D-Inspektionssoftwares machen sich diesen Algorithmus zu Nutze: Geomagic control X, Cloudcompare und Materialise-3-matic sind hier beispielhaft zu nennen (Son et al. 2021). Nachteilhaft am ICP ist die hohe Anzahl an Iterationen und die damit einhergehende lange Rechendauer (Ezra et al. 2008). In der vorliegenden Studie wurden die präparierten Zähne manuell überlagert, was in Übereinstimmung mit Ezra et al. ca. 10 sec Rechenzeit pro Zahn in Anspruch nahm. Würde die Auswertung präparierter Zähne allerdings serienhaft

erfolgen, könnte eine Automatisierung der Überlagerung in Betracht gezogen werden, sodass alle der Ausrichtung voraus- und nachfolgenden Schritte wesentlich schneller erfolgen könnten. Zudem würden Rechendauern von ca. 10 sec weniger ins Gewicht fallen, wenn der Prozess automatisch ablaufen würde.

In einer Studie, in der die analoge und die digitale Registrierung okklusaler Relationen verglichen wurden, wurden neben GOM Inspect noch zwei weitere Softwareanwendungen – Geomagic und Rapidform - zur virtuellen Artikulation verwendet. Hier bewies sich GOM Inspect neben Rapidform als besonders genau (Solaberrieta et al. 2015). Son et al. untersuchten in ihrer Arbeit die Qualität von vier 3D-Inspektionssoftwares. Hier konnte festgestellt werden, dass sich GOM Inspect für die Auswertung der Abweichung von ganzen und halben Zahnbögen zwar sehr gut eignete, beim Vergleich eines präparierten Stumpfes mit einem Modellstumpf schnitt GOM Inspect im Verhältnis zu drei weiteren Softwares jedoch am schlechtesten ab (Son et al. 2021). Die Unterschiede in der Ergebnisqualität führen einige Autoren auf die unterschiedliche Zuordnung der Punkte des Ausgangsobjektes zu den Punkten des Zielobjektes zurück (Reymus et al. 2020; Son et al. 2021). GOM Inspect greift hier automatisch auf die „*cloud-to-mesh-measurement*“ Methode zurück (Reymus et al. 2020). Dabei ist das Zielelement eine Cloud (in GOM Inspect als CAD-Element bezeichnet), während das zu überlagernde Element als Mesh vorliegt (in GOM Inspect als Netz bezeichnet). Die Abweichung der Oberflächen ist bei der „*cloud-to-mesh-method*“ die Strecke zwischen einem Punkt in der Cloud und einem Punkt auf dem Netz, die senkrecht auf die entsprechende Stelle des Netzes steht. Bei der „*cloud-to-cloud-method*“ liegen beide Dateien als Punktwolken vor und der Abstand zwischen je korrespondierenden Punkten wird bestimmt (s. Abbildung 20).

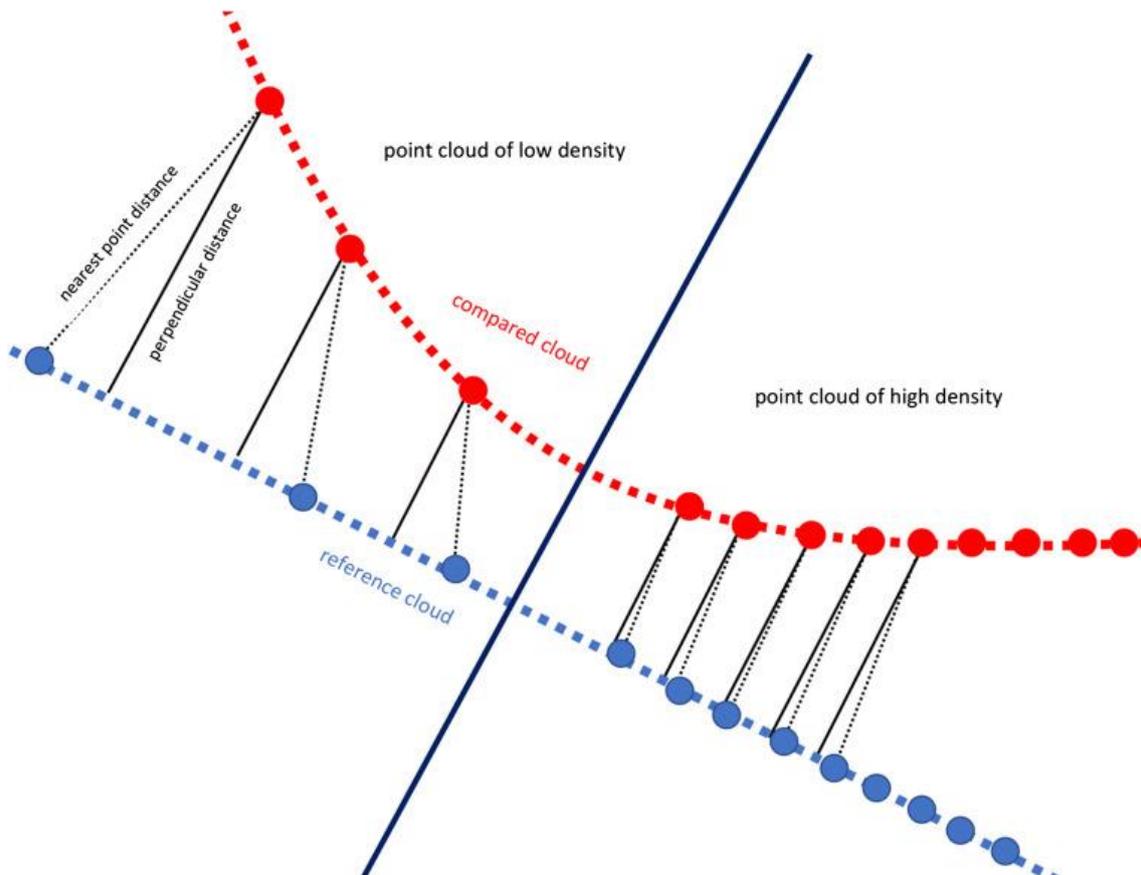


Abbildung 20 Schematische Darstellung der cloud-to-mesh und der cloud-to-cloud-method nach Reymus.

Mit freundlicher Erlaubnis von Springer Nature.

Bei der „cloud-to-mesh-method“ können Ungenauigkeiten in Abhängigkeit der Punktedichte auftreten, weil das Mesh nur Sekanten durch die Oberfläche wiedergibt und damit nicht die genaue Form reproduziert (Ireland et al. 2008). Nach Marcel et al. ist die „cloud-to-mesh-method“ genauer als die „cloud-to-cloud-method“, weil die kürzeste Strecke zwischen einem Punkt und einer Fläche immer die Senkrechte auf die Fläche ist (Reymus et al. 2020). Auch in weiteren Arbeiten wurde die „cloud-to-mesh-method“ als überlegen bezeichnet (Holz et al. 2015; Rusinkiewicz et al. 2001).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Einsatz der Software GOM Inspect aufgrund der breiten Anwendung in Industrie und Wissenschaft, des Einsatzes des ICP und der überlegenen „cloud-to-mesh-method“ zu sehr validen Ergebnissen der Abweichungen zwischen den präparierten Zähnen und der Referenzpräparation geführt haben dürfte.

### **4.3 Bewertung der Ergebnisse**

Im folgenden Abschnitt sollen eventuelle Einflussfaktoren auf und Besonderheiten an den Ergebnissen in Bezug zum wissenschaftlichen Kontext erörtert werden.

#### **4.3.1 Einordnung der Ergebnisse des Fragebogens und des Einflusses der Zweischichttechnik auf die Präparationsqualität**

Um die Items sinnvoll zueinander in Bezug setzen zu können, wurden die Antworten auf die Items 6.1 und 7.3 invertiert (Ghiselli 1963).

Die interne Konsistenz der Merkmale des Fragebogens wurde mit Hilfe der summarischen Bewertungszahl Cronbachs Alpha bestimmt. Nach Hilgers et al. zeigt „diese Zahl [...] im Wesentlichen den Anteil der Variabilität zwischen den Items an der Gesamtvarianz der Messung“ (Hilgers et al. 2007). Cronbachs Alpha kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Desto größer die Werte sind, desto höher korrelieren die betrachteten Fragestellungen miteinander. Ist der Wert allerdings zu hoch, kann das ein Zeichen für überflüssige Items sein (Tavakol et al. 2011). Sie untersuchen dann genau die gleiche Fragestellung. Für die vorliegende Untersuchung wurde ein Wert von 0,885 für Cronbachs Alpha berechnet, was nach Brosius einer guten bis sehr guten internen Konsistenz entspricht. Dieser Wert sollte mindestens 0,8 annehmen, „damit eine zusammengesetzte Skala als hinreichend zuverlässig angesehen werden kann“ (Brosius 2011). Nach Nunally et al. genügt hierfür ein Wert von 0,7 für Cronbachs Alpha (Nunally et al. 1978).

Dabei würde sich Cronbachs Alpha auch nach Entfernung eines beliebigen Items nicht stark verändern: Die maximale Änderung von Cronbachs Alpha ergäbe sich durch Entfernung der Frage 6.1 auf einen Wert von 0,902. Da Streiner allerdings einen maximalen Wert von 0,9 für Cronbachs Alpha empfiehlt, wurde auf die Entfernung der Frage verzichtet (Streiner 2003).

Tabelle 6. Die Werte für Cronbachs Alpha nach den einzelnen Items.

Angegeben sind die Werte für Cronbachs Alpha, wenn das entsprechende Item nicht in die Wertung einfließen würde.

<u>Frage</u>	<u>Cronbachs Alpha</u>
-	wäre das entsprechende Item exkludiert worden
2.6	0,888
2.7	0,888
2.8	0,888
2.9	0,892
3.1	0,886
3.2	0,884
3.3	0,886
3.4	0,887
4.1	0,892
4.2	0,883
5.1	0,886
5.2	0,887
5.3	0,887
6.1	0,902
6.2	0,881
6.3	0,885
7.1	0,881
7.2	0,885
7.3	0,898
7.4	0,881
7.5	0,883

In vergleichbaren Studien wurden ähnliche Werte für Cronbachs Alpha erreicht. So ergaben in der Studie von Behr die Items aus einem ähnlichen Fragebogen einen Wert von 0,87 (Behr 2021). Höhne erhielt in seiner Umfrage zu gedruckten Modellzähnen für die Übung der korrekten Präparation für Stiftaufbauten ein Cronbachsches Alpha von 0,85 (Höhne et al. 2020a).

Subsumierend kann von einer zufriedenstellenden internen Konsistenz des Fragebogens ausgegangen werden.

#### **4.3.1.1 Eigenschaften von Druckzähnen im Vergleich zu KaVo-Zähnen**

In diesem Abschnitt des Fragebogens sollte Aufschluss über die Meinung der Studierenden zu den Druckzähnen im Vergleich zu KaVo-Zähnen gewonnen werden. Hier wurde die Härte der Druckzähne im Vergleich zu KaVo-Zähnen nur als „befriedigend“ eingestuft und bei den Verbesserungsvorschlägen in den offenen Fragen siebenmal als zu weich kritisiert. Das verwendete Harz, Dental Model Resin, soll nach

Herstellerangaben in Härte und Farbe Zahnmodelle aus Gips ähneln (Formlabs 2017). Nachdem Gips im Allgemeinen wesentlich weicher ist als herkömmliche Standardmodellzähne wie beispielsweise der Firma KaVo oder Frasaco, erklärt sich hieraus die Kritik der Studierenden. Der gleiche Punkt wurde auch in vorausgegangenen Studien kritisiert: In der Arbeit von Nassri et al. bemängelten 33% der Teilnehmer die Härte von Modellzähnen für die zahnmedizinische Lehre (Nassri et al. 2008) und bei Al-Sudani gaben 63% an, dass die geringe Härte der Modellzähne das Instrumentieren erschwert (Al-Sudani et al. 2017). Ein anderer Ansatz zur Herstellung von Modellzähnen konnte hingegen zufriedenstellende Härtegrade erzielen. So stellten Razavian et al. Modellzähne für die endodontische Ausbildung aus akrylischem Harz mit einem Füllstoff aus Bariumsulfat und Aluminiumoxid her, dessen Härte die Autoren als zufriedenstellend einstufen (Razavian et al. 2021). Einige Studierende gaben in den offenen Fragen zudem an, dass die Härte nicht nur der von KaVo-Zähnen ähneln sollte, sondern auch Echtzähne besser imitieren sollte. Einen interessanten Ansatz dazu lieferte eine Arbeitsgruppe aus Zürich. Sie stellte Modellzähne nach dem Verfahren des magnetisch unterstützten Schlickergusses vor, bei dem die exakte Härte von Echtzähnen imitiert werden konnte. Dazu wurde eine Suspension mit magnetisch geladenen Keramikplättchen unter Einwirkung eines Magnetfeldes ausgehärtet. Die magnetische Orientierung der anschließend gebrannten Keramikplättchen führte zu einer Härte der Schichten, die vergleichbar mit der von echtem Dentin und Schmelz war (Le Ferrand et al. 2015). Limitiert wird dieser Ansatz allerdings durch die physiologisch variierende Härte von Zahnhartsubstanz. So konnte Montoya eine Korrelation zwischen höherem Alter und steigender Dentinhärte feststellen (Montoya et al. 2015). Yahyazadehfar kam in ihrem Review zur Härte von Schmelz zu dem gleichen Schluss und führten als Grund dafür den Verlust von Proteinen aus der Schmelzmatrix an. Des Weiteren konnte die Autorin feststellen, dass die Dehydrierung von Dentin zu geringerer Härte desselben führt (Yahyazadehfar et al. 2014). Diesen physiologischen Variationen in der Härte von Zahnhartsubstanz kann durch universell hergestellte Zahnmodelle nicht Rechnung getragen werden, sodass die Imitation der Härte von echten Zähnen nur beschränkt möglich wäre. Dennoch sollte es Ziel folgender Studien zu gedruckten Modellzähnen für die zahnmedizinische Lehre sein, härtere Zähne zu entwerfen. Diese könnten dann sowohl Standardmodellzähne, als auch echte Zähne besser imitieren.

#### **4.3.1.2 Eigenschaften der Druckzähne mit integrierter Präparation und ihre Auswirkung auf die Präparationsqualität**

In diesem Kapitel sollte die Beschaffenheit der Druckzähne mit integrierter Präparation untersucht werden. Die hier aufgeführten Aspekte dürften ebenfalls die Hypothese „Die Anwendung der zweischichtigen Übungszähne bringt Vorteile beim Präparationsergebnis“ beeinflusst haben. Ein Aspekt, der diesbezüglich im Fragebogen thematisiert wurde, war die farbliche Erkennbarkeit der Präparation. Diese wurde im Fragebogen zwar mit einer durchschnittlichen Note von 1,5 beurteilt, in den offenen Fragen wünschten sich allerdings drei Studierende eine andere Farbe der gedruckten Zähne beziehungsweise der jeweils helleren Zahnschicht, zum Beispiel weiß.

Ein Lösungsansatz hierfür wäre die Verwendung des Permanent Crown Resin von Formlabs (RS-F2-PC-PKG). Dieses Harz ist ein „zahnfarbenes, keramikgefülltes Kunstharz für den 3D-Druck von permanenten Einzelkronen, Inlays, Onlays und Veneers“ (Formlabs 2021c). Gezielt für den Einsatz am Patienten hergestellt, ist das Permanent Crown Resin in den Vita-Farben A2, A3, B1 und C3 erhältlich und imitiert somit die natürlichen Zahnfarben. Auf diese Weise könnten die Übungszähne noch realitätsnäher gestaltet werden und zusätzlich der Farbkontrast der zweischichtigen Übungszähne noch deutlicher hervorgehoben werden, weil das Permanent Crown Resin mit seinen weißen Zahnfarben heller ist, als das sandfarbene Model Resin. Die Farbe eines natürlichen Zahnes wird allerdings überwiegend durch die Farbe des Dentins bestimmt (Bosch et al. 1995; Muia 1983). Dieses wird an jeder Stelle der natürlichen Zahnkrone von einer unterschiedlich dicken Schicht Schmelz bedeckt, sodass sich ein für natürliche Zähne charakteristischer Farbverlauf ergibt (Farci et al. 2021; Terry et al. 2002). Durch die Herstellung aus nur einem Harz könnte dieser nicht wiedergegeben werden. Dennoch könnte durch den Einsatz von weißem Harz die Realitätsnähe der Übungszähne und der Kontrast zwischen den einzelnen Schichten erheblich gesteigert werden, sodass in weiteren Studien auch der Einsatz von Harzen in zahnähnlicher Farbe wie beispielsweise das Permanent Crown Resin in der zahnmedizinischen Lehre untersucht werden sollte.

Weiter gaben vier Teilnehmer an, dass sich die dunkle, mit Harz aufgeklebte Schicht von selbst ablöse, wenn sie nur noch eine geringe Dicke hätte. Eine Ursache dafür könnte das verwendete Klebematerial – Black photopolymer resin – sein. Dieses Material wurde für den stereolithographischen 3D-Druck hergestellt (Formlabs 2021a). Dabei wird das Material bei der vom Hersteller vorgesehenen Verarbeitung unter direkter Lichteinwirkung während des Druckvorganges angehärtet und nach Beendigung des

Drucks im Form Cure ebenfalls unter direkter Lichteinwirkung als zusammenhängendes Werkstück komplett durchgehärtet. Bei der Verwendung des Harzes als Kleber trifft das Licht nicht direkt auf das zu härtende Harz, sondern wird vorher teilweise durch die umgebenden, bereits ausgehärteten Schichten absorbiert. Nach Thome et al. erfolgt diese Absorption umso stärker, umso dunkler das Material ist (Thomé et al. 2007). Beim Verkleben der beiden Schichten des Übungszahnes befand sich auf der einen Seite der Klebestelle eine dünne, aber sehr dunkle Schicht des Black photopolymer Resin. Diese dürfte das Licht stark absorbiert haben. Auf der anderen Seite befand sich eine dickere Schicht des etwas helleren Dental Model resin. Beide Schichten könnten hierbei zu einer ausgeprägten Reduktion der Lichtintensität geführt haben, sodass das Black photopolymer resin womöglich nicht ausreichend lichtgehärtet wurde. In der Folge könnte der Klebeverbund bei der mechanischen Belastung des Präparierens in wenigen Fällen versagt haben. Um diesen Punkt zu optimieren, könnten Epoxidharze eingesetzt werden. Diese werden bereits als hochleistungsfähiger Klebstoff unter anderem in der Windkraft, Luftfahrt und Automobilindustrie eingesetzt und finden zudem Anwendung in der Stereolithographie (Sprenger 2020). In weiteren Studien sollte die Funktionalität von Epoxidharzen zum Verkleben der Schichten von 3D-gedruckten Übungszähnen für die zahnmedizinische Lehre untersucht werden.

Nachdem die zweischichtigen Übungszähne wie oben beschrieben in Farbe und Klebung modifiziert wurden, sollte erneut eruiert werden, ob die Studierenden mit ihnen ein besseres Präparationsergebnis als mit einschichtigen Übungszähnen erzielen.

#### ***4.3.1.3 Eigenschaften des Anschauungsmodells***

Die Eigenschaften des Anschauungsmodells wurden von den Studierenden insgesamt mit einer Note von 1,7 für gut befunden.

Dabei sollte das Anschauungsmodell in der vorliegenden Studie das Erlernen der korrekten Veneerpräparation unterstützen. Der Vorteil der dreidimensionalen Anschauungsmodelle gegenüber etablierten zweidimensionalen Visualisierungen ist die Möglichkeit, das Modell auch haptisch erfassen zu können. Klatzky et al. stellten fest, dass Berührung fundamental für unsere Beobachtung und unser Verständnis der physischen Welt ist (Klatzky et al. 1992). In einer folgenden Arbeit wiesen die Autoren die Unabdingbarkeit des Fühlens von Gegenständen für das volle Verständnis der dritten Dimension nach (Klatzky et al. 2011). So können die Studierenden die dritte Dimension der Präparation durch das Fühlen des Anschauungsmodells genau erfassen und werden folglich dabei unterstützt, eine korrekte dreidimensionale Präparation in der geforderten

Präzision anzufertigen. Zusätzlich zu den haptischen Eindrücken konnten die Studierenden das Anschauungsmodell auch visuell erkunden. Nach Hansson et al. sind visuelle und haptische Empfindungen im somatosensorischen Kortex eng miteinander verbunden und verstärken sich bei Übereinstimmung gegenseitig (Hansson et al. 2009). Somit dürften sich in der vorliegenden Studie die visuellen und haptischen Eindrücke des Anschauungsmodells und der Beispielspräparation überlagert und gegenseitig intensiviert haben, woraus sich ein umfassenderes Verständnis der korrekten Präparationsform ableiten lässt. Aus diesem Vorteil von dreidimensionalen Anschauungsmodellen ergab sich bereits in vorherigen Studien eine positive Auswirkung auf den Lerneffekt: Studierende in anatomischen Kursen konnten anatomische Formen besser begreifen, wenn diese auch haptisch an dreidimensionalen Modellen erkundet wurden (Reid et al. 2019; Shapiro et al. 2020). Soares et al. erteilten den gleichen Studierenden zweimal die gleiche Unterrichtsstunde zur korrekten Präparation. Einmal wurden dabei konventionelle Unterrichtsmaterialien eingesetzt, und ein weiteres Mal kamen 3D-gedruckte Modelle der entsprechenden Präparation zum Einsatz. Mit Hilfe eines Fragebogens konnte gezeigt werden, dass die Verwendung der dreidimensionalen Modelle positive Auswirkungen auf die Qualität der Lehre hatte (Soares et al. 2013).

#### ***4.3.1.4 Psychologische Einflüsse auf das Evaluationsverhalten der Studierenden***

Im folgenden Abschnitt sollen mögliche Einflussfaktoren auf die Bewertung der Zweischichttechnik durch die Studierenden eruiert werden. So konnten in vorherigen Studien bereits Zusammenhänge zwischen der Motivation der Studierenden und ihrem Evaluationsverhalten hergestellt werden. Berger et al. zeigte, dass die Ergebnisse der Evaluation mit dem initialen Interesse der Teilnehmer am Kursinhalt korreliert (Berger et al. 2003). In weiteren Studien konnte ein Zusammenhang zwischen der Kursanwesenheit und der Leistung in Prüfungen des entsprechenden Kurses, die sekundär auf das Interesse am Lehrinhalt schließen lässt, und den Ergebnissen der Evaluation festgestellt werden (Marsh et al. 1975; Raupach et al. 2012; Schiekirka et al. 2015). Die Teilnehmer des praktischen Kurses nahmen freiwillig ohne Aufwandsentschädigung an der Lehrveranstaltung teil. Daraus könnte geschlossen werden, dass die Studierenden dem Kursinhalt großes Interesse entgegenbrachten. In der Folge könnte die Bewertung der Zweischichttechnik durch die Studierenden in der vorliegenden Studie positiver ausgefallen sein. Zukünftige Studien sollten in etablierte universitäre Kurse integriert werden, sodass auch Teilnehmer mit geringerem Interesse

den Fragebogen beantworten. Auf diese Weise könnte die eigentliche Zielgruppe (alle Studierenden der Zahnmedizin) noch besser abgebildet werden.

Des Weiteren konnte Stewart feststellen, dass Fragen bessere Bewertungen erhalten, wenn sie positiv formuliert sind (Stewart et al. 2004). In dem hier angewandten Fragebogen waren alle Items mit Ausnahme von 6.1 und 7.3 auf den Benefit der Zweischichttechnik ausgerichtet, was die Ergebnisse der Evaluation ebenfalls positiv beeinflusst haben könnte. Um diesen Effekt zu umgehen, könnte in weiteren Studien Fragebögen zum Einsatz kommen, die Items in unterschiedlichen Formulierungen enthalten.

#### **4.3.1.5 Zusammenfassende Betrachtung der Ergebnisse des Fragebogens**

Im Fragebogen wurden die Eigenschaften der Übungszähne im Vergleich zu KaVo-Zähnen insgesamt mit einer Note von 1,92 ( $\pm 0,87$ ) beurteilt. Die Beschaffenheit der zweischichtigen Übungszähne erhielt eine Durchschnittsnote von 1,73 ( $\pm 0,87$ ), die des Anschauungsmodells eine 1,7 ( $\pm 0,75$ ). Die Studierenden waren mit dem Lernergebnis zufrieden ( $2,0 \pm 0,71$ ) und schätzten auch den Lernprozess als gut ein  $2,3 (\pm 1,29)$ . Somit wurde die Hypothese „Die Studierenden schätzen die Zweischichttechnik als gute Lehrmethode ein“ bestätigt. Limitierend auf die Bekräftigung der Hypothese wurde allerdings moniert, dass die Übungszähne zu weich waren, die Farbe zahnähnlicher gestaltet werden sollte und dass sich die obere Schicht teils ablöste, wenn sie nur noch dünn war. Trotz dieser Limitationen war das Feedback für die Zweischichttechnik überaus positiv. Folglich sollte in weiteren Studien die Zweischichttechnik als neue Methode zur Lehre der Veneerpräparation erneut untersucht werden, nachdem diese Fehlerquellen wie oben beschrieben behoben wurden.

#### **4.3.2 Beurteilung der Lernkurve**

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Lernerfolg zu untersuchen, den die Studierenden durch das Präparieren der gedruckten Zähne im Rahmen des praktischen Kurses verzeichnen konnten. Um sich diesem Thema zu nähern, wurde die folgende Haupthypothese untersucht:

Die Studierenden können durch die in Zweischichttechnik gedruckten Zähne mit integriertem Veneer die korrekte Präparation eines Veneers besser erlernen als mit Standardmodellzähnen.

Durch die Lernkurve der beiden Versuchsgruppen wurde diese Hypothese nicht bestätigt. Für beide Versuchsgruppen ergab sich ein negativer Wert für  $\Delta L$ , was einer Verschlechterung der Präparationen während des praktischen Kurses entspricht und die statistische Auswertung auf Unterschiede zwischen dem ersten und dem vierten Präparationsdurchgang ergab in keiner der beiden Versuchsgruppen signifikante Ergebnisse. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass es relativ lange dauert, vier bis fünf Veneers zu präparieren. Nach Schmidt ist die feinmotorische Leistung anfällig für Fluktuationen durch unter anderem fehlende Motivation, Stress und Müdigkeit. So kann die Leistung nach zu langer Übungszeit durch Ermüdung und Langeweile abnehmen, was zur Folge hat, dass der Lernerfolg unterschätzt wird (Schmidt et al. 2008). Das entspräche den in Kapitel 3.2.4 dargestellten Ergebnissen: Die gute Leistung bei den ersten Präparationsdurchgängen nahm im Laufe des praktischen Kurses mit zunehmender Ermüdung und Langeweile über die immergleiche Präparationsform ab. Um diesem Problem entgegenzuwirken könnten folgende Studien zu 3D-gedruckten Modellzähnen an mehreren Terminen oder – wie bereits oben beschrieben – in einen bestehenden Kurs integriert durchgeführt werden.

Stress als limitierender Faktor für die Präparationsleistung der Studierenden dürfte hingegen nur in individuellen Fällen von Bedeutung gewesen sein. Nach Hauser sind Studierende im vorklinischen Abschnitt mit weniger Stress belastet, wenn Bewertungen in größeren zeitlichen Abständen oder nur in qualitativer Form gegeben werden (Hauser et al. 2009). Nachdem die Leistung der Studierenden im hier durchgeführten praktischen Kurs aber nicht bewertet wurde, konnte Stress in der Folge keine generelle Ursache für eine schlechtere Leistung darstellen.

Einen weiteren Ansatz, weshalb auch innerhalb der über den Kurs abnehmenden Leistungen die Versuchsgruppe A nicht besser abschnitt als die Versuchsgruppe B, lieferte eine Teilnehmerin in den offenen Fragen des Fragebogens: Die Studierenden könnten sich während des Bearbeitens der zweischichtigen Übungszähne in ihrer Präparation sehr stark auf die integrierte Grenze fokussiert haben. So könnte die Überlegung, wie die korrekte Veneerpräparation auszusehen habe, hinter dem Fokus auf das reine Abtragen der oberen Schicht zurückgeblieben sein. Auch durch die in wenigen Fällen auftretende Delamination der letzten Schicht könnte dieser Vorgang verstärkt worden sein. Zudem wurde in den offenen Fragen angegeben, dass die schwarze Schicht härter sei, als der restliche Zahn. Das hätte zur Folge, dass man am einfarbig gedruckten Zahn die zuvor am zweischichtigen Übungszahn erarbeitete Technik nicht beibehalten könnte. Somit wäre es möglich, dass die Studierenden der

Gruppe A für die Präparation der darauffolgenden einschichtigen Übungszähnen weniger gelernt hatten, als die Teilnehmer der Gruppe B. Folglich sollte in weiteren Studien zu zweischichtigen Übungszähnen unbedingt die Delamination einer dünnen Restschicht verhindert werden, indem beispielsweise wie in Kapitel 4.3.1.2 bereits angeregt Epoxidharze zum Einsatz kommen. Zudem sollten für den zweischichtigen Übungszahn Kunstharze verwendet werden, die in ihrer Härte aufeinander abgestimmt sind.

#### **4.3.3 Diskussion der Abhängigkeit der Präparationsqualität von der Selbsteinschätzung der Studierenden**

Die Hypothese „*Die Studierenden, die ihre manuellen Fertigkeiten als besonders gut einschätzen, präparieren besser*“ wurde ebenfalls nicht bestätigt. Im Vergleich zu den Studierenden, die sich selbst für ihre manuellen Fertigkeiten eine Note von 3 oder schlechter gaben, schnitten die Studierenden mit hoher Selbsteinschätzung mit einem GMW+/- von 0,17 (+/- 0,07) um 0,01 Punkte nicht signifikant besser ab. Ähnliche Ergebnisse beschrieb Sears in seinem Systematic Review: Die Selbsteinschätzung von Studierenden und Arbeitenden im Gesundheitssektor konnte in objektiven klinischen Tests nicht bestätigt werden (Sears et al. 2014). Dabei ist die akkurate Beurteilung der eigenen Stärken und Schwächen eine der Haupteigenschaften von effizient Lernenden (Boud 1987; Schön 1987; Ward et al. 2002). Hieraus ergibt sich die Frage, wie Methoden zur Selbstbeurteilung effizienter gestaltet werden können. Ward präsentiert hierfür Methoden zur Kalibrierung der Selbsteinschätzung (Ward et al. 2002). Zhou schlägt in ihrem Review den Ansatz vor, dass Studierende sich nicht selbst von einem System testen lassen, sondern dass sie sich durch das Auswählen und Gestalten von Tests selbst prüfen (Zhou 2012). Regehr stellte einen Fragebogen vor, bei dem Eigenschaften, die die Qualität der vorher durchgeführten Aufgabe beschreiben, mit Ziffern von eins bis zehn beurteilt werden sollten. Anschließend sollten die Eigenschaften, die am besten und am schlechtesten beurteilt worden waren, auf einer Skala eingeordnet werden. Zwischen diese Eigenschaften sollten im nächsten Schritt die restlichen Items skaliert werden. Dieser Fragebogen half den Studierenden, ihre Selbsteinschätzung zu strukturieren und wurde in der Studie von Regehr positiv bewertet (Regehr et al. 1996). In der vorliegenden Studie wurde die Selbsteinschätzung der Studierenden nicht anhand von vorgegebenen Kriterien und Skalen strukturiert. Stattdessen wurde ausschließlich die Frage zur Einschätzung der manuellen Fertigkeiten in Schulnoten beantwortet. In folgenden Studien zur Präparation von gedruckten Übungszähnen sollte die

Selbsteinschätzung der Studierenden gegebenenfalls durch vorgegebene Kriterien und Skalen besser kalibriert werden.

#### **4.3.4 Zusammenfassung von bisherigen Ergebnissen zu zweischichtigen Übungszähnen**

Im folgenden Abschnitt sollen die Ergebnisse von Behr und Jentzsch, in denen sehr ähnliche Methoden wie in der vorliegenden Arbeit zum Einsatz kamen, mit den hier neu gewonnenen Ergebnissen verglichen werden.

In der Studie von Jentzsch präparierten 35 Zahnmedizinstudierende des dritten Semesters Molaren, bei denen die Schicht einer Vollkrone in einem anderen Harz gedruckt war als der Rest des Zahnes. Ebenfalls in einem praktischen Kurs mit identischem Ablauf wie in der vorliegenden Studie sollte so die korrekte Präparation von Vollkronen effizienter gelehrt werden und die „Malen-nach-Zahlen“-Methode als mögliche Ergänzung der vorklinischen Lehre erprobt werden (Jentzsch 2021). Hierfür kamen ebenfalls ein Fragebogen und eine digitale Auswertung der präparierten Zähne zum Einsatz.

In dem von Jentzsch angewandten Fragebogen, der dem der vorliegenden Studie ähnelt, wurden vergleichbare Ergebnisse erzielt wie in der aktuellen Arbeit. Die Studierenden äußerten sich sehr zufrieden mit den Druckzähnen im Vergleich zu KaVo-Zähnen ( $\bar{x} = 2,2 \pm 0,11$ ), beurteilten den zweischichtigen Übungszahn und das Anschauungsmodell ebenfalls als gut ( $\bar{x} = 2,0 \pm 0,27$  bzw.  $\bar{x} = 1,8 \pm 0,18$ ) und schätzten den Lernprozess mit einer Gesamtnote von 2,2 ( $\pm 0,13$ ) auf diesen Abschnitt des Fragebogens ebenfalls als gut ein. Auch in den offenen Fragen wurden ähnliche Aspekte wie in der vorliegenden Studie angegeben: das Abplatzen einer dünnen Restschicht des schwarzen Harzes und die geringe Härte der Zähne. Als Grund für die bemängelte Delamination führte Jentzsch einen Fehler einer Charge an. Dieser Grund konnte in der vorliegenden Studie ausgeschlossen werden, sodass eher die Notwendigkeit zur Optimierung des Klebeverbundes gegeben scheint.

Im Gegensatz zur vorliegenden Studie konnte Jentzsch einen größeren Lernerfolg der Versuchsgruppe mit zweischichtigen Übungszähnen als der Kontrollgruppe mit einschichtigen Übungszähnen feststellen. Ausnahmen waren dabei der nicht einsehbare Bereich distal am Molaren und der mesiale Bereich, der vom Nachbarzahn zu separieren war. Hier schnitten beide Gruppen gleich gut ab. Beide Situationen traten in der vorliegenden Studie nicht auf, weil die Veneerpräparation ausschließlich labial am Frontzahn erfolgte und den Kontaktpunkt zum Nachbarzahn nicht einschloss. Somit

kann in diesem Punkt kein Vergleich gezogen werden. Die Kontrollgruppe, die fünfmal den einschichtigen Übungszahn präparierte, verschlechterte sich bei Jentzsch ebenso wie in der vorliegenden Studie. Auch Jentzsch führt dafür die fehlende Motivation der Studierenden an, repetitiv so viele Zähne zu präparieren. In der Studie wird allerdings das im Gegensatz zur Versuchsgruppe fehlende Feedback der Kontrollgruppe als Ursache für die mangelnde Motivation angegeben. In der vorliegenden Studie konnte dieser Aspekt widerlegt werden: Falls es sich als Ursache für die abnehmende Leistung der Kontrollgruppe um fehlendes Feedback handelt, so fehlt dieses auch in der Versuchsgruppe. Somit wäre die Zweischichttechnik beziehungsweise die „Malen-nach-Zahlen“-Methode obsolet.

In der Studie von Behr präparierten ebenfalls Zahnmedizinstudierende Übungszähne, die nach der „Malen-nach-Zahlen“-Methode gefertigt waren. Im Gegensatz zu Jentzsch nahmen hier allerdings 42 Studierende des klinischen Studienabschnitts teil und präpariert wurde anstatt einer Vollkrone im Molarenbereich eine einflügelige Adhäsivbrücke aus Keramik am Frontzahn. Auf diese Weise sollte unter anderem untersucht werden, ob diese Präparationsart mit der „Malen-nach-Zahlen“-Methode schneller erlernt werden könne, ob diese Übungszähne realitätsnäher, kostengünstiger und individualisierbarer seien als Standardmodellzähne und ob somit etablierte Lehrmethoden unterstützt werden können (Behr 2021). Diesem Ziel näherte sich Behr mit vergleichbaren Methoden wie Jentzsch und die Autorin der vorliegenden Studie.

Der Fragebogen dieser Studie lieferte ebenfalls ähnliche Ergebnisse wie die aktuelle Arbeit: Der Druckzahn im Vergleich zu KaVo-Zähnen erhielt eine Durchschnittsnote von 2,0, der zweischichtige Übungszahn und das Anschauungsmodell wurden ebenfalls als gut befunden ( $\emptyset 1,7/ \emptyset 1,9$  bzw.  $\emptyset 2,0/ \emptyset 1,8/ \emptyset 1,8$ ) und auch der Lernerfolg wurde mit zweischichtigen Übungszähnen ( $\emptyset 2,1$ ) besser eingeschätzt als mit KaVo-Modellzähnen ( $\emptyset 3,0$ ). In den offenen Fragen wurden zusätzlich zu den bei Jentzsch und den in der vorliegenden Studie angegebenen Aspekten eine klebrige Konsistenz des Harzes durch das Präparieren angegeben. Weiter wurde eine Konzentration auf die Grenze zwischen den beiden Schichten anstatt auf die korrekte Präparationsform aufgeführt. Dieser Aspekt wurde auch in der vorliegenden Untersuchung gefunden und bereits in Kapitel 4.3.2 als mögliche Ursache für den ausbleibenden Lernerfolg der Versuchsgruppe A herausgearbeitet.

Die digitale Auswertung von Behr ergab in Übereinstimmung mit der vorliegenden Studie keinen besseren Lernerfolg der Versuchsgruppe A. Während der ersten beiden

Präparationsdurchgänge konnte sich die Versuchsgruppe hier zwar der idealen Präparationsform annähern, jedoch konnte diese Entwicklung bei der Präparation der einschichtigen Übungszähne nicht beibehalten werden.

Es kann zusammenfassend festgestellt werden, dass die Studierenden die neue Lehrmethode der zweischichtigen Übungszähne beziehungsweise der „Malen-nach-Zahlen“-Methode als vorteilhaft einschätzen. Die digitale Auswertung der Präparationen konnte diese Einschätzung allerdings nur in einer der drei Studien unterstützen.

## 5 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit präparierten Studierende 3D-gedruckte Übungszähne, in denen die korrekte Präparation eines Veneers farblich abgesetzt war. Die neue Lehrmethode wurde durch die Teilnehmer in einem Fragebogen evaluiert und zusätzlich wurden die Präparationen digital mit einer Referenzpräparation verglichen. Die Teilnehmer des praktischen Kurses schätzten die Zweischichttechnik als gute Lehrmethode ein ( $\bar{x} = 2,0 \pm 0,37$ ) und gaben an, beim Erlernen der korrekten Präparation motiviert worden zu sein. Das Feedback im Fragebogen könnte unter anderem durch großes Interesse der Teilnehmer an den Inhalten des praktischen Kurses oder durch positiv formulierte Fragen besser ausgefallen sein.

Die digitale Auswertung der präparierten Zähne konnte unter den Limitationen der vorliegenden Studie keine signifikant schlechtere Präparationsqualität nach zweimaligem Präparieren von einschichtigen Modellzähnen als nach zweimaligem Präparieren von zweischichtigen Übungszähnen nachweisen ( $p = 0,91$ ). Als Ursache wurden Mängel der Zweischichttechnik eruiert: Delamination einer dünnen Restschicht schwarzen Harzes und ein zu geringer Farbunterschied zwischen den beiden Schichten. Um die Zweischichttechnik zu verbessern, sollten in folgenden Studien alternative Klebstoffe wie beispielsweise Epoxidharze zum Einsatz kommen und die weiße Schicht in einer Farbe gedruckt werden, die mehr natürlichen Zähnen entspricht.

Der Lernerfolg der Studierenden erwies sich durch in Zweischichttechnik gedruckte Zähne mit integriertem Veneer nicht besser als durch einschichtige Modellzähne ( $\Delta L_A = -0,01$ ;  $\Delta L_B = -0,03$ ). Der Unterschied zwischen den Präparationsergebnissen des ersten und vierten Durchgangs war allerdings nicht signifikant (Gruppe A:  $\bar{x} = 0,17 \pm 0,07 \rightarrow \bar{x} = 0,18 \pm 0,05$ ,  $p = 0,317$ ; Gruppe B:  $\bar{x} = 0,15 \pm 0,07 \rightarrow \bar{x} = 0,18 \pm 0,09$ ,  $p = 0,066$ ). Gründe hierfür könnten unter anderem Ermüdung und sinkende Motivation während des praktischen Kurses gewesen sein. Diesem Problem könnte Rechnung getragen werden, indem folgende Studien an mehreren Terminen durchgeführt werden. Auch eine mögliche Fokussierung der Studierenden auf das Ablösen der oberen Schicht sowie die unterschiedliche Härte der beiden Schichten könnten einen besseren Lernerfolg mit zweischichtigen Übungszähnen verhindert haben.

Die Teilnehmer, die ihre manuellen Fertigkeiten als besonders gut einschätzen, präparierten mit einer durchschnittlichen mittleren absoluten Abweichung von  $0,17 \pm 0,07$  nicht signifikant besser als die Teilnehmer mit geringer Selbsteinschätzung, welche eine mittlere absolute Abweichung von  $0,16 \pm 0,05$  ( $p = 0,967$ ) erreichten.

## 6 Literatur

- Albuquerque, P. P.; Moreno, M. B. P.; Nishida, A. C.; Rodrigues, E.; Kiyohara, C.; Francci, C. E. (2018): Prefabricated resin veneer: A case report of a simplified restorative technique. In: *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, 12 (2), S. 140–145. <https://doi.org/10.15171/joddd.2018.022>.
- AlJazairy, Y. H. (2021): Survival Rates for Porcelain Laminate Veneers: A Systematic Review. In: *European Journal of Dentistry*, 15 (2), S. 360–368. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1715914>.
- Allothman, Y.; Bamasoud, M. S. (2018): The Success of Dental Veneers According To Preparation Design and Material Type. In: *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 6 (12), S. 2402–2408. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2018.353>.
- Al-Saud, L. M. (2021): The utility of haptic simulation in early restorative dental training: A scoping review. In: *Journal of dental education*, 85 (5), S. 704–721. <https://doi.org/10.1002/jdd.12518>.
- Al-Sudani, D. I.; Basudan, S. O. (2017): Students' perceptions of pre-clinical endodontic training with artificial teeth compared to extracted human teeth. In: *European Journal of Dental Education*, 21 (4), 72-75. <https://doi.org/10.1111/eje.12223>.
- Ashworth, P.; Davis, L. G.; Spriggs, L. S. (1996): Personal change resulting from porcelain veneer treatment to improve the appearance of the teeth. In: *Psychology, Health & Medicine*, 1 (1), S. 57–69. <https://doi.org/10.1080/13548509608400006>.
- Bakr, M. M.; Massey, W.; Alexander, H. (2014): Students' evaluation of a 3dVR haptic device (Simodont). Does early exposure to haptic feedback during preclinical dental education enhance the development of psychomotor skills? EBSCO Information Services. Online verfügbar unter <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authType=crawler&jrnl=09758437&an=123360856&h=ab2xskoz63s0bhutar6sjna2prnex%2fpuguxqifgz%2fzidotcbvp3ongllhjdnpakafslveaskfhs6vqfpdpk3aa%3d%3d&crl=c>, zuletzt geprüft am 01.05.2023.
- Bartels, J.; Backhaus, J.; Kickuth, R.; Fluck, F.; König, S.; Augustin, A. (2020): Innovationen in der Lehre messbar machen: Psychometrische Validierung des Messinstrumentes „Radio-Prak“ am Beispiel eines klinisch-praktischen Seminars

- der interventionellen Radiologie. In: *Der Radiologe*, 60 (4), S. 342–350.  
<https://doi.org/10.1007/s00117-019-00631-y>.
- Behr, G. (2021): Die „Malen nach Zahlen“ Methode zur Lehre der Präparation einer einflügeligen Adhäsivbrücke aus Zirkoniumdioxidkeramik. Dissertation, Universität Würzburg (Hrsg.).
- Berger, U.; Schleussner, C.; Strauss, B. (2003): Umfassende Lehrevaluation in der Medizin - eine Aufgabe für die psychosozialen Fächer? In: *PPmP - Psychotherapie · Psychosomatik · Medizinische Psychologie*, 53 (2), S. 71–78.  
<https://doi.org/10.1055/s-2003-36966>.
- Besl, P. J.; McKay, N. D. (1992): Method for registration of 3-D shapes. In: *Sensor Fusion IV: Control Paradigms and Data Structures*, Friday 1 November 1991, Boston, MA, S. 586–606. <https://doi.org/10.1117/12.57955>.
- 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. In: *Journal of Prosthodontics*, 28 (2), 545-547.  
<https://doi.org/10.1111/jopr.12918>.
- Bosch, J. J. ten; Coops, J. C. (1995): Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. In: *Journal of Dental Research*, 74 (1), S. 374–380. <https://doi.org/10.1177/00220345950740011401>.
- Boud, D. (1987): *Developing Student Autonomy in Learning*. Taylor and Francis.
- Brosius, F. (2011): *SPSS 19*. Heidelberg: mitp. ISBN: 9783826690389.
- Burch, N. (1970): *Four stages of competency*. Gordon Training International.
- Burke T. F. J. (2012): Survival rates for porcelain laminate veneers with special reference to the effect of preparation in dentin: a literature review. In: *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 24 (4), S. 257–265.  
<https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2012.00517.x>.
- Calamia, J. R. (1983): Etched porcelain facial veneers: a new treatment modality based on scientific and clinical evidence. In: *The New York journal of dentistry*, 53 (6), S. 255–259.
- Chan, D. C. N.; Chung, A. K.-H.; Haines, J.; Yau, E. H.-T.; Kuo, C.-C. (2011): The accuracy of optical scanning: influence of convergence and die preparation. In: *Operative Dentistry*, 36 (5), S. 486–491. <https://doi.org/10.2341/10-067-L>.

- Cheng, S.; Marras, I.; St. Zafeiriou; Pantic, M. (2017): Statistical non-rigid ICP algorithm and its application to 3D face alignment. In: *Image and Vision Computing*, 58, S. 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2016.10.007>.
- Dawood, A.; Marti Marti, B.; Sauret-Jackson, V.; Darwood, A. (2015): 3D printing in dentistry. In: *British Dental Journal*, 219 (11), S. 521–529. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2015.914>.
- Dentsply Sirona (2021): inEos X5. Scan with InLab. Online verfügbar unter <https://www.dentsplysirona.com/en-us/categories/lab/cad-cam-equipment-dental-lab/scan.html>, zuletzt geprüft am 09.11.2021.
- Dhaliwal, H. K.; Allen, M.; Kang, J.; Bates, C.; Hodge, T. (2015): The effect of using an audience response system on learning, motivation and information retention in the orthodontic teaching of undergraduate dental students: a cross-over trial. In: *Journal of Orthodontics*, 42 (2), S. 123–135. <https://doi.org/10.1179/1465313314Y.0000000129>.
- Dumfahrt, H.; Schäffer, H. (2000): Porcelain laminate veneers. A retrospective evaluation after 1 to 10 years of service: Part II - Clinical results. In: *The International journal of prosthodontics*, 13 (1), S. 9–18.
- Eaton, K. A.; Reynolds, P. A.; Grayden, S. K.; Wilson, N. H. F. (2008): A vision of dental education in the third millennium. In: *British Dental Journal*, 205 (5), S. 261–271. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2008.736>.
- Elhennawy, K.; Schwendicke, F. (2016): Managing molar-incisor hypomineralization: A systematic review. In: *Journal of Dentistry*, 55, S. 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2016.09.012>.
- Emir, F.; Ayyildiz, S. (2019): Evaluation of the trueness and precision of eight extraoral laboratory scanners with a complete-arch model: a three-dimensional analysis. In: *Journal of prosthodontic research*, 63 (4), S. 434–439. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2019.03.001>.
- Ender, A.; Zimmermann, M.; Mehl, A. (2019): Accuracy of complete- and partial-arch impressions of actual intraoral scanning systems in vitro. In: *International journal of computerized dentistry*, 22 (1), S. 11–19.

- Etemad-Shahidi, Y.; Qallandar, O. B.; Evenden, J.; Alifui-Segbaya, F.; Ahmed, K. E. (2020): Accuracy of 3-Dimensionally Printed Full-Arch Dental Models: A Systematic Review. In: *Journal of clinical medicine*, 9 (10). <https://doi.org/10.3390/jcm9103357>.
- Ezra, E.; Sharir, M.; Efrat, A. (2008): On the performance of the ICP algorithm. In: *Computational Geometry*, 41 (1-2), S. 77–93. <https://doi.org/10.1016/j.comgeo.2007.10.007>.
- Fahad, M.; Dickens, P.; Gilbert, M. (2013): Novel polymeric support materials for jetting based additive manufacturing processes. In: *Rapid Prototyping Journal*, 19 (4), S. 230–239. <https://doi.org/10.1108/13552541311323245>.
- Farci, F.; Soni, A. (2021): *Histology, Tooth*. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- Formlabs (2017): *Dental Model Resin - DataSheet*. Online verfügbar unter <https://dental-media.formlabs.com/datasheets/DentalModel-DataSheet.pdf>, zuletzt geprüft am 28.10.2021.
- Formlabs (2021a): *Black Resin*. Online verfügbar unter <https://formlabs.com/de/shop/black-resin/>, zuletzt geprüft am 07.11.2021.
- Formlabs (2021b): *Model Resin*. Online verfügbar unter <https://dental.formlabs.com/de/shop/materials/dental-model-resin/>, zuletzt geprüft am 05.09.2021.
- Formlabs (2021c): *Permanent Crown Resin*. Online verfügbar unter <https://dental.formlabs.com/de/shop/permanent-crown-resin/>, zuletzt geprüft am 07.11.2021.
- Formlabs (2021d): *Form Wash und Form Cure: Automatisiertes Post-Processing*. Online verfügbar unter <https://formlabs.com/de/post-processing/wash-cure/>, zuletzt geprüft am 05.09.2021.
- Friedman, M. J. (1993): Current state-of-the-art porcelain veneers. In: *Current opinion in cosmetic dentistry*, S. 28–33.
- Gambon, D. L.; Brand, H. S.; Veerman, E. C. I. (2012): Dental erosion in the 21st century: what is happening to nutritional habits and lifestyle in our society? In: *British Dental Journal*, 213 (2), S. 55–57. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2012.613>.
- Ghiselli, E. E. (1963): Moderating effects and differential reliability and validity. In: *Journal of Applied Psychology*, 47 (2), S. 81–86. <https://doi.org/10.1037/h0047177>.

- GOM Inspect (2021): Download. Online verfügbar unter <https://www.gom-inspect.com/de/download.php>, zuletzt geprüft am 11.11.2021.
- Gomes, G.; Perdigão, J. (2014): Prefabricated composite resin veneers - a clinical review. In: *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 26 (5), S. 302–313. <https://doi.org/10.1111/jerd.12114>.
- González de Villambrosia, P.; Martínez-Rus, F.; García-Orejas, A.; Salido, M. P.; Pradies, G. (2016): In vitro comparison of the accuracy (trueness and precision) of six extraoral dental scanners with different scanning technologies. In: *The Journal of prosthetic dentistry*, 116 (4), 543-550.e1. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.01.025>.
- Gresnigt, M. M.; Cune, M. S.; Jansen, K.; van der Made, S. A.; Özcan, M. (2019): Randomized clinical trial on indirect resin composite and ceramic laminate veneers: Up to 10-year findings. In: *Journal of Dentistry*, 86, S. 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.06.001>.
- Groves, R. M. (1989): *Survey Errors and Survey Costs*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0471725277>.
- Hansson, T.; Nyman, T.; Björkman, A.; Lundberg, P.; Nylander, L.; Rosén, B.; Lundborg, G. (2009): Sights of touching activates the somatosensory cortex in humans. In: *Scandinavian journal of plastic and reconstructive surgery and hand surgery*, 43 (5), S. 267–269. <https://doi.org/10.3109/02844310903123056>.
- Hari, M.; Poovani, S. (2017): Porcelain laminate veneers: A review. In: *Journal of Advanced Clinical & Research Insights*, 4 (6), S. 187–190. <https://doi.org/10.15713/ins.jcri.190>.
- Hauser, A. M.; Bowen, D. M. (2009): Primer on Preclinical Instruction and Evaluation. In: *Journal of dental education*, 73 (3), S. 390–398. <https://doi.org/10.1002/j.0022-0337.2009.73.3.tb04711.x>.
- Hilgers, R.-D.; Bauer, P.; Scheiber, V. (2007): *Einführung in die Medizinische Statistik*. Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-33944-1>.
- Höhne, c.; Dickhaut, N.; Schmitter, M. (2020a): Introduction of a new teaching concept for dentin post preparation with 3D printed teeth. In: *European Journal of Dental Education*, 24 (3), S. 499–506. <https://doi.org/10.1111/eje.12528>.

- Höhne, c.; Rammler, T.; Schmitter, M. (2021): 3D Printed Teeth with Included Veneer Preparation Guide. In: *Journal of Prosthodontics*, 30 (1), S. 51–56.  
<https://doi.org/10.1111/jopr.13250>.
- Höhne, c.; Schmitter, M. (2019a): 3D Printed Teeth for the Preclinical Education of Dental Students. In: *Journal of dental education*, 83 (9), S. 1100–1106.  
<https://doi.org/10.21815/JDE.019.103>.
- Höhne, c.; Schwarzbauer, R.; Schmitter, M. (2019b): 3D Printed Teeth with Enamel and Dentin Layer for Educating Dental Students in Crown Preparation. In: *Journal of dental education*, 83 (12), S. 1457–1463. <https://doi.org/10.21815/JDE.019.146>.
- Höhne, c.; Schwarzbauer, R.; Schmitter, M. (2020b): Introduction of a new teaching concept for crown preparation with 3D printed teeth. In: *European Journal of Dental Education*, 24 (3), S. 526–534. <https://doi.org/10.1111/eje.12532>.
- Holz, D.; Ichim, A. E.; Tombari, F.; Rusu, R. B.; Behnke, S. (2015): Registration with the Point Cloud Library: A Modular Framework for Aligning in 3-D. In: *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 22 (4), S. 110–124.  
<https://doi.org/10.1109/MRA.2015.2432331>.
- Horn, H. R. (1983): Porcelain laminate veneers bonded to etched enamel. In: *Dental clinics of North America*, 27 (4), S. 671–684.
- Ibrahim, D.; Broilo, T. L.; Heitz, C.; Oliveira, M. G. de; Oliveira, H. W. de; Nobre, S. M. W.; dos Santos Filho, J. H. G.; Silva, D. N. (2009): Dimensional error of selective laser sintering, three-dimensional printing and PolyJet models in the reproduction of mandibular anatomy. In: *Journal of cranio-maxillo-facial surgery: official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery*, 37 (3), S. 167–173.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcms.2008.10.008>.
- Image Navigation (2016): DentSim is the industry leader in augmented reality dental simulation helping dental students around the world improve their skills. Online verfügbar unter <https://image-navigation.com/home-page/dentsim/>, zuletzt geprüft am 30.04.2023.
- Ireland, A. J.; McNamara, C.; Clover, M. J.; House, K.; Wenger, N.; Barbour, M. E.; Alemzadeh, K.; Zhang, L.; Sandy, J. R. (2008): 3D surface imaging in dentistry - what we are looking at. In: *British Dental Journal*, 205 (7), S. 387–392.  
<https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2008.845>.

- Ishida, Y.; Miyasaka, T. (2016): Dimensional accuracy of dental casting patterns created by 3D printers. In: *Dental Materials Journal*, 35 (2), S. 250–256.  
<https://doi.org/10.4012/dmj.2015-278>.
- Jankar, A. S.; Kale, Y.; Kangane, S.; Ambekar, A.; Sinha, M.; Chaware, S. (2014): Comparative evaluation of fracture resistance of Ceramic Veneer with three different incisal design preparations - An In-vitro Study. In: *Journal of International Oral Health*, 6 (1), S. 48–54.
- Jentzsch, A. (2021): Die „Malen nach Zahlen“ Methode zur Verbesserung der Präparation einer Vollgusskrone der Studenten, Universität Würzburg (Hrsg.).
- Joiner, A. (2004): Tooth colour: a review of the literature. In: *Journal of Dentistry*, 32 Suppl 1, S. 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2003.10.013>.
- Joiner, A.; Luo, W. (2017): Tooth colour and whiteness: A review. In: *Journal of Dentistry*, 67S, S3-S10. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.09.006>.
- Kabisch, M.; Ruckes, C.; Seibert-Grafe, M.; Blettner, M. (2011): Randomized controlled trials: part 17 of a series on evaluation of scientific publications. In: *Deutsches Arzteblatt international*, 108 (39), S. 663–668.  
<https://doi.org/10.3238/arztebl.2011.0663>.
- Kalton, G.; Schuman, H. (1982): The Effect of the Question on Survey Responses: A Review. In: *Journal of the Royal Statistical Society*, 145 (1), S. 42.  
<https://doi.org/10.2307/2981421>.
- Kessler, A.; Hickel, R.; Reymus, M. (2020): 3D Printing in Dentistry - State of the Art. In: *operative dentistry*, 45 (1), S. 30–40.
- Kikuchi, H.; Ikeda, M.; Araki, K. (2013): Evaluation of a virtual reality simulation system for porcelain fused to metal crown preparation at Tokyo Medical and Dental University. In: *Journal of dental education*, 77 (6), S. 782–792.
- Klatzky, R. L.; Lederman, S. J. (1992): Stages of manual exploration in haptic object identification. In: *Perception & psychophysics*, 52 (6), S. 661–670.  
<https://doi.org/10.3758/bf03211702>.
- Klatzky, R. L.; Lederman, S. J. (2011): Haptic object perception: spatial dimensionality and relation to vision. In: *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 366 (1581), S. 3097–3105.  
<https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0153>.

- Kolling, M. (2021): Validierung eines Fragebogens zur Ermittlung der Qualität und des Lernerfolgs 3D-gedruckter Zähne in der endodontischen Ausbildung. Dissertation, Julius-Maximilians-Universität (Hrsg.), zuletzt geprüft am 24.09.2021.
- Koo, S.; Kim, A.; Donoff, R. B.; Karimbux, N. Y. (2015): An initial assessment of haptics in preclinical operative dentistry training. In: *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*, 6 (1), S. 69–76. <https://doi.org/10.1111/jicd.12065>.
- Krebs, D.; Menold, N. (2014): Handbuch der empirischen Sozialforschung. In: Baur, N.; Blasius, J. (Hrsg.): *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN: 3531178091.
- Kreulen, C. M.; Creugers, N.; Meijering, A. C. (1998): Meta-analysis of anterior veneer restorations in clinical studies. In: *Journal of Dentistry*, 26 (4), S. 345–353. [https://doi.org/10.1016/S0300-5712\(97\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0300-5712(97)00023-7).
- Kustra, P.; Dobroś, K.; Zarzecka, J. (2021): Making use of three-dimensional models of teeth, manufactured by stereolithographic technology, in practical teaching of endodontics. In: *European Journal of Dental Education*, 25 (2), S. 299–304. <https://doi.org/10.1111/eje.12604>.
- Le Ferrand, H.; Bouville, F.; Niebel, T. P.; Studart, A. R. (2015): Magnetically assisted slip casting of bioinspired heterogeneous composites. In: *Nature Materials*, 14 (11), S. 1172–1179. <https://doi.org/10.1038/nmat4419>.
- Lee, H.; Fehmer, V.; Kwon, K.-R.; Burkhardt, F.; Pae, A.; Sailer, I. (2020a): Virtual diagnostics and guided tooth preparation for the minimally invasive rehabilitation of a patient with extensive tooth wear: A validation of a digital workflow. In: *The Journal of prosthetic dentistry*, 123 (1), S. 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.11.023>.
- Lee, M.; Moseley, A.; Refshauge, K. (1990): Effect of feedback on learning a vertebral joint mobilization skill. In: *Physical Therapy*, 70 (2), 97-102; discussion 103-4. <https://doi.org/10.1093/ptj/70.2.97>.
- Lee, S. J.; Kim, S.-W.; Lee, J. J.; Cheong, C. W. (2020b): Comparison of Intraoral and Extraoral Digital Scanners: Evaluation of Surface Topography and Precision. In: *Dentistry journal*, 8 (2). <https://doi.org/10.3390/dj8020052>.

- Li, P.; Wang, R.; Wang, Y.; Gao, G. (2019): Fast Method of Registration for 3D RGB Point Cloud with Improved Four Initial Point Pairs Algorithm. In: *Sensors* (Basel, Switzerland), 20 (1). <https://doi.org/10.3390/s20010138>.
- Liang, X.; Liao, W.; Cai, H.; Jiang, S.; Chen, S. (2018): 3D-Printed Artificial Teeth: Accuracy and Application in Root Canal Therapy. In: *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 14 (8), S. 1477–1485. <https://doi.org/10.1166/jbn.2018.2599>.
- Lugassy, D.; Levanon, Y.; Rosen, G.; Livne, S.; Fridenberg, N.; Pilo, R.; Brosh, T. (2020): Does Augmented Visual Feedback from Novel, Multicolored, Three-Dimensional-Printed Teeth Affect Dental Students' Acquisition of Manual Skills? In: *Anatomical Sciences Education*, 14 (5), S. 629–640. <https://doi.org/10.1002/ase.2014>.
- Machado, A. N.; Coelho-de-Souza, F. H.; Rolla, J. N.; Erhardt, M. C. G.; Demarco, F. F. (2014): Direct or indirect composite veneers in anterior teeth: which method causes higher tooth mass loss? An in vitro study. In: *General dentistry*, 62 (6), S. 55–57.
- Manhart, J. (2011): Frontzahnästhetik in Perfektion mit adhäsiv befestigten Keramikveneers. In: *Schweiz Monatsschr Zahnmed* Vol. 121 1/2011, S. 27–37.
- Margaret J Cox; Barry F Quinn; Marjoke Verroorn; Paul Wesselink (2015): Evidence from the Dental Education Communities TEL research; review of the field. In: *Journal of Dental Research*, 94 (B).
- Marsh, H. W.; Fleiner, H.; Thomas, C. S. (1975): Validity and usefulness of student evaluations of instructional quality. In: *Journal of Educational Psychology*, 67 (6), S. 833–839. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.67.6.833>.
- Melchels, F. P. W.; Feijen, J.; Grijpma, D. W. (2010): A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering. In: *Biomaterials*, 31 (24), S. 6121–6130. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2010.04.050>.
- Mesko, M. E.; Sarkis-Onofre, R.; Cenci, M. S.; Opdam, N. J.; Loomans, B.; Pereira-Cenci, T. (2016): Rehabilitation of severely worn teeth: A systematic review. In: *Journal of Dentistry*, 48, S. 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2016.03.003>.
- Methani, M. M.; Revilla-León, M.; Zandinejad, A. (2020): The potential of additive manufacturing technologies and their processing parameters for the fabrication of all-ceramic crowns: A review. In: *Journal of esthetic and restorative dentistry : official*

- publication of the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et al.], 32 (2), S. 182–192. <https://doi.org/10.1111/jerd.12535>.
- Miller, G. E. (1990): The Assessment of Clinical Skills / Competence / Performance. In: *Academic Medicine*, S. 63–67.
- Mirghani, I.; Mushtaq, F.; Allsop, M. J.; Al-Saud, L. M.; Tickhill, N.; Potter, C.; Keeling, A.; Mon-Williams, M. A.; Manogue, M. (2018): Capturing differences in dental training using a virtual reality simulator. In: *European Journal of Dental Education*, 22 (1), S. 67–71. <https://doi.org/10.1111/eje.12245>.
- Montoya, C.; Arango-Santander, S.; Peláez-Vargas, A.; Arola, D.; Ossa, E. A. (2015): Effect of aging on the microstructure, hardness and chemical composition of dentin. In: *Archives of Oral Biology*, 60 (12), S. 1811–1820. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2015.10.002>.
- Muia, P. (1983): Paul Muia explains his four dimensional tooth color system. In: *Quintessence of dental technology*, 7 (1), S. 57–62.
- Murbay, S.; Neelakantan, P.; Chang, J. W. W.; Yeung, S. (2020): 'Evaluation of the introduction of a dental virtual simulator on the performance of undergraduate dental students in the pre-clinical operative dentistry course'. In: *European Journal of Dental Education*, 24 (1), S. 5–16. <https://doi.org/10.1111/eje.12453>.
- Murray, P. (1999): Fundamental issues in questionnaire design. In: *Accident and Emergency Nursing*, 7 (3), S. 148–153. [https://doi.org/10.1016/S0965-2302\(99\)80074-5](https://doi.org/10.1016/S0965-2302(99)80074-5).
- Nassri, M. R. G.; Carlik, J.; Da Silva, C. R. N.; Okagawa, R. E.; Lin, S. (2008): Critical analysis of artificial teeth for endodontic teaching. In: *Journal of applied oral science*, 16 (1), S. 43–49. <https://doi.org/10.1590/S1678-77572008000100009>.
- Nayar, S. K.; Musto, L.; Baruah, G.; Fernandes, R.; Bharathan, R. (2020): Self-Assessment of Surgical Skills: A Systematic Review. In: *Journal of surgical education*, 77 (2), S. 348–361. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2019.09.016>.
- Nesbitt, K. (2003): *Designing multi-sensory displays for abstract data*, University of Sydney (Hrsg.).
- Nulty, A. B. (2021): A Comparison of Full Arch Trueness and Precision of Nine Intra-Oral Digital Scanners and Four Lab Digital Scanners. In: *Dentistry journal*, 9 (7), S. 75. <https://doi.org/10.3390/dj9070075>.

- Nunally, J. C.; Bernstein, I. H. (1978): *Psychometric Theory*. New York: McGraw-Hill.
- Oppenheim, A. N. (1976): *Questionnaire design and attitude measurement*. London: Heinemann. ISBN: 0435826751.
- Padilla, N.; Sinha, D. N.; Mitthra, S.; Anuradha, B.; Pia, J. C.; Subbiya, A.; Sangeetha, S.; Shakila, R.; Reddy, T. V. K.; Nikose, S. S.; Nikose, D.; Yan, Z.-F.; Liu, N.-X.; Mao, X.-X.; Li, Y.; Li, C.-T.; Nagpal, M.; Chawla, N.; Mohanty, S.; Satyarup, D.; Nagarajappa, R.; Mahapatra, I.; Dalai, R. P.; Sahu, S.; Jena, M.; Dhar, U.; Qureshi, N. A.; Aldossari, D. S.; Salem, S. O.; Makkawi, A. A.; Sharma, B. B.; Singh, T.; Varma, M.; Agarwal, A.; Mittal, G.; Agarwal, P.; Mittal, S. R.; Kulkarni, S. M.; Mali, J. D.; Naik, D.; Okoye, L. O.; Ekwueme, O.-E. C. (2020): *Challenges in Disease and Health Research Vol. 3*. Book Publisher International (a part of SCIENCEDOMAIN International). <https://doi.org/10.9734/bpi/cdhr/v3>.
- Paolo, A. M.; Bonaminio, G. A.; Gibson, C.; Partridge, T.; Kallail, K. (2000): Response rate comparisons of e-mail- and mail-distributed student evaluations. In: *Teaching and Learning in Medicine*, 12 (2), S. 81–84. [https://doi.org/10.1207/S15328015TLM1202\\_4](https://doi.org/10.1207/S15328015TLM1202_4).
- Persson, A.; Andersson, M.; Oden, A.; Sandborgh-Englund, G. (2006): A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner. In: *The Journal of prosthetic dentistry*, 95 (3), S. 194–200. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2006.01.003>.
- Peumans, M.; van Meerbeek, B.; Lambrechts, P.; Vanherle, G. (2000): Porcelain veneers: a review of the literature. In: *Journal of Dentistry*, 28 (3), S. 163–177. [https://doi.org/10.1016/S0300-5712\(99\)00066-4](https://doi.org/10.1016/S0300-5712(99)00066-4).
- Pohlenz, P.; Gröbe, A.; Petersik, A.; Sternberg, N. von; Pflesser, B.; Pommert, A.; Höhne, K.-H.; Tiede, U.; Springer, I.; Heiland, M. (2010): Virtual dental surgery as a new educational tool in dental school. In: *Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery*, 38 (8), S. 560–564. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2010.02.011>.
- Porst, R. (2014): *Fragebogen. Ein Arbeitsbuch*. Wiesbaden: Springer. ISBN: 3658021179.
- Pouhaër, M.; Picart, G.; Baya, D.; Michelutti, P.; Dautel, A.; Pérard, M.; Le Clerc, J. (2021): Design of 3D-printed macro-models for undergraduates' preclinical practice

- of endodontic access cavities. In: *European Journal of Dental Education*.  
<https://doi.org/10.1111/eje.12709>.
- Prüfungsordnung für Zahnärzte: BGBl. I vom 26.01.1955 S. 37. Zuletzt geändert durch Artikel 11 G. v. 15.08.2019 BGBl. I S. 1307; aufgehoben durch Artikel 2 V. v. 08.07.2019 BGBl. I S. 933.
- Quinn, F.; Keogh, P.; McDonald, A.; Hussey, D. (2003): A pilot study comparing the effectiveness of conventional training and virtual reality simulation in the skills acquisition of junior dental students. In: *European Journal of Dental Education*, 7 (1), S. 13–19. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0579.2003.00264.x>.
- Rammstedt, B. (2010): Reliabilität, Validität, Objektivität. In: Wolf, C.; Best, H. (Hrsg.): *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 239–258. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-92038-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-531-92038-2_11).
- Raupach, T.; Schiekirka, S.; Münscher, C.; Beißbarth, T.; Himmel, W.; Burckhardt, G.; Pukrop, T. (2012): Piloting an outcome-based programme evaluation tool in undergraduate medical education. In: *GMS Zeitschrift für medizinische Ausbildung*, 29 (3), Doc44. <https://doi.org/10.3205/zma000814>.
- Razavian, H.; Hanjani, K. (2021): A new teaching model with artificial teeth containing simulated pulpal tissue. In: *Dental research journal*, 18, S. 19.
- Regehr, G.; Hodges, B.; Tiberius, R.; Lofchy, J. (1996): Measuring self-assessment skills an innovative relative ranking model. In: *Academic Medicine*, 1996 (71(10)), S. 52–54.
- Reid, S.; Shapiro, L.; Louw, G. (2019): How Haptics and Drawing Enhance the Learning of Anatomy. In: *Anatomical Sciences Education*, 12 (2), S. 164–172. <https://doi.org/10.1002/ase.1807>.
- Revilla-León, M.; Özcan, M. (2019): Additive Manufacturing Technologies Used for Processing Polymers: Current Status and Potential Application in Prosthetic Dentistry. In: *Journal of Prosthodontics*, 28 (2), S. 146–158. <https://doi.org/10.1111/jopr.12801>.
- Reymus, M.; Fotiadou, C.; Hickel, R.; Diegritz, C. (2018): 3D-printed model for hands-on training in dental traumatology. In: *International Endodontic Journal*, 51 (11), S. 1313–1319. <https://doi.org/10.1111/iej.12947>.

- Reymus, M.; Fotiadou, C.; Kessler, A.; Heck, K.; Hickel, R.; Diegritz, C. (2019): 3D printed replicas for endodontic education. In: *International Endodontic Journal*, 52 (1), S. 123–130. <https://doi.org/10.1111/iej.12964>.
- Reymus, M.; Hickel, R.; Keßler, A. (2020): Accuracy of CAD/CAM-fabricated bite splints: milling vs 3D printing. In: *Clinical Oral Investigations*, 24 (12), S. 4607–4615. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03329-x>.
- Richman, W. L.; Kiesler, S.; Weisband, S.; Drasgow, F. (1999): A meta-analytic study of social desirability distortion in computer-administered questionnaires, traditional questionnaires, and interviews. In: *Journal of Applied Psychology*, 84 (5), S. 754–775. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.84.5.754>.
- Rizan, C.; Ansell, J.; Tilston, T. W.; Warren, N.; Torkington, J. (2015): Are general surgeons able to accurately self-assess their level of technical skills? In: *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 97 (8), S. 549–555. <https://doi.org/10.1308/rcsann.2015.0024>.
- Rusinkiewicz, S.; Levoy, M. (2001): Efficient variants of the ICP algorithm. In: *Proceedings Third International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (Third International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling)*, 28 May-1 June 2001, Quebec City, Que., Canada, S. 145–152. <https://doi.org/10.1109/IM.2001.924423>.
- Schiefele, U.; Pekrun, R. (1997): Psychologische Modelle des fremdgesteuerten und selbstgesteuerten Lernens. In: *Enzyklopädie der Psychologie. Band 2: Psychologie des Lernens und der Instruktion*, S. 249–278. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/289963672\\_Psychologische\\_Modelle\\_des\\_fremdgesteuerten\\_und\\_selbstgesteuerten\\_Lernens](https://www.researchgate.net/publication/289963672_Psychologische_Modelle_des_fremdgesteuerten_und_selbstgesteuerten_Lernens).
- Schiekirka, S.; Raupach, T. (2015): A systematic review of factors influencing student ratings in undergraduate medical education course evaluations. In: *BMC Medical Education*, 15 (1), S. 30. <https://doi.org/10.1186/s12909-015-0311-8>.
- Schmidt, R. A.; Wrisberg, C. A. (2008): *Motor Learning and Performance. A Situation-based Learning Approach*. Human Kinetics. ISBN: 9780736069649.
- Schön, D. A. (1987): *Educating the reflective practitioner: Toward a new design for teaching and learning in the professions*. Online verfügbar unter <https://psycnet.apa.org/record/1987-97655-000>.

- Schuman, H.; Presser, S. (1979): The Open and Closed Question. In: *American Sociological Review*, 44 (5), S. 692. <https://doi.org/10.2307/2094521>.
- Sears, K.; Godfrey, C. M.; Luctkar-Flude, M.; Ginsburg, L.; Tregunno, D.; Ross-White, A. (2014): Measuring competence in healthcare learners and healthcare professionals by comparing self-assessment with objective structured clinical examinations: a systematic review. In: *JBI Database of Systematic Reviews and Implementation Reports*, 12 (11), S. 221–272. <https://doi.org/10.11124/jbisrir-2014-1605>.
- Shahroom, N. S. B.; Mani, G.; Ramakrishnan, M. (2019): Interventions in management of dental fluorosis, an endemic disease: A systematic review. In: *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 8 (10), S. 3108–3113. [https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc\\_648\\_19](https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_648_19).
- Shapiro, L.; Bell, K.; Dhas, K.; Branson, T.; Louw, G.; Keenan, I. D. (2020): Focused Multisensory Anatomy Observation and Drawing for Enhancing Social Learning and Three-Dimensional Spatial Understanding. In: *Anatomical Sciences Education*, 13 (4), S. 488–503. <https://doi.org/10.1002/ase.1929>.
- Sigrist, R.; Rauter, G.; Riener, R.; Wolf, P. (2013): Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: a review. In: *Psychonomic Bulletin & Review*, 20 (1), S. 21–53. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0333-8>.
- Simodont Dental Trainer (2022): Home - Simodont Dental Trainer - Taking away limits in dental education. Online verfügbar unter <https://www.simodontdentaltrainer.com/>, zuletzt geprüft am 30.04.2023.
- Soares, P. V.; Almeida Milito, G. de; Pereira, F. A.; Reis, B. R.; Soares, C. J.; Sousa Menezes, M. de; Freitas Santos-Filho, P. C. de (2013): Rapid prototyping and 3D-virtual models for operative dentistry education in Brazil. In: *Journal of dental education*, 77 (3), S. 358–363.
- Solaberrieta, E.; Otegi, J. R.; Goicoechea, N.; Brizuela, A.; Pradies, G. (2015): Comparison of a conventional and virtual occlusal record. In: *The Journal of prosthetic dentistry*, 114 (1), S. 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.01.009>.
- Son, K.; Lee, W.-S.; Lee, K.-B. (2021): Effect of Different Software Programs on the Accuracy of Dental Scanner Using Three-Dimensional Analysis. In: *International*

- Journal of Environmental Research and Public Health, 18 (16), S. 8449.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph18168449>.
- Sprenger, S. (2020): Nanosilica-Toughened Epoxy Resins. In: *Polymers*, 12 (8), S. 1777. <https://doi.org/10.3390/polym12081777>.
- Stewart, T. J.; Frye, A. W. (2004): Investigating the use of negatively phrased survey items in medical education settings: common wisdom or common mistake? In: *Academic Medicine*, 79 (10), 18-20. <https://doi.org/10.1097/00001888-200410001-00006>.
- Stratasys (2021): Cleaning and post processing with Stratasys SUP706. Online verfügbar unter <https://www.stratasys.com/explore/video/cleaning-and-post-processing-sup706>, zuletzt geprüft am 05.09.2021.
- Streiner, D. L. (2003): Starting at the beginning: an introduction to coefficient alpha and internal consistency. In: *Journal of Personality Assessment*, 80 (1), S. 99–103. [https://doi.org/10.1207/S15327752JPA8001\\_18](https://doi.org/10.1207/S15327752JPA8001_18).
- Taji, S.; Seow, W. K. (2010): A literature review of dental erosion in children. In: *Australian Dental Journal*, 55 (4), 358-67. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2010.01255.x>.
- Tavakol, M.; Dennick, R. (2011): Making sense of Cronbach's alpha. In: *International Journal of Medical Education*, 2, S. 53–55. <https://doi.org/10.5116/ijme.4dfb.8dfd>.
- Terry, D. A.; Geller, W.; Tric, O.; Anderson, M. J.; Tourville, M.; Kobashigawa, A. (2002): Anatomical form defines color: function, form, and aesthetics. In: *Practical procedures & aesthetic dentistry: PPAD*, 14 (1), 59-67; quiz 68.
- Thomé, T.; Steagall, W.; Tachibana, A.; Braga, S. R. M.; Turbino, M. L. (2007): Influence of the distance of the curing light source and composite shade on hardness of two composites. In: *Journal of applied oral science*, 15 (6), S. 486–491. <https://doi.org/10.1590/S1678-77572007000600006>.
- Tribst, J. P. M.; Alves, L. M. M.; Piva, A. M. d. O. D.; Melo, R. M. de; Borges, A. L. S.; Paes-Junior, T. J. A.; Bottino, M. A. (2019): Reinforced Glass-ceramics: Parametric Inspection of Three-Dimensional Wear and Volumetric Loss after Chewing Simulation. In: *Brazilian dental journal*, 30 (5), S. 505–510. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201902699>.

- Vafaei, F.; Firouz, F.; Mohajeri, M.; Hashemi, R.; Ghorbani Gholiabad, S. (2021): In vitro Comparison of the Accuracy (Precision and Trueness) of Seven Dental Scanners. In: *Journal of Dentistry*, 22 (1), S. 8–13.  
<https://doi.org/10.30476/DENTJODS.2020.83485.1047>.
- Verordnung zur Neuregelung der zahnärztlichen Ausbildung: BGBl. I vom 08.07.2019 S.933. Zuletzt geändert durch Artikel 1 V. v. 22.09.2021 BGBl. I S. 4335.
- Wang, D.; Li, T.; Zhang, Y.; Hou, J. (2016): Survey on multisensory feedback virtual reality dental training systems. In: *European Journal of Dental Education*, 20 (4), S. 248–260. <https://doi.org/10.1111/eje.12173>.
- Ward, M.; Gruppen, L.; Regehr, G. (2002): Measuring self-assessment: current state of the art. In: *Advances in health sciences education : theory and practice*, 7 (1), S. 63–80. <https://doi.org/10.1023/a:1014585522084>.
- Webb, P. A. (2000): A review of rapid prototyping (RP) techniques in the medical and biomedical sector. In: *Journal of Medical Engineering & Technology*, 24 (4), S. 149–153. <https://doi.org/10.1080/03091900050163427>.
- Weber, T. (2017): *Memorix Zahnmedizin*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag. Online verfügbar unter <https://eref.thieme.de/ebooks/1848631>.
- Wei, S. H.; Tang, E. (1989): Laminate veneers for the aesthetic restoration of anterior teeth. In: *Annals of the Royal Australasian College of Dental Surgeons*, 10, S. 148–159.
- Wierinck, E.; Puttemans, V.; Swinnen, S.; van Steenberghe, D. (2005): Effect of augmented visual feedback from a virtual reality simulation system on manual dexterity training. In: *European Journal of Dental Education*, 9 (1), S. 10–16.  
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0579.2004.00351.x>.
- Wierinck, E.; Puttemans, V.; van Steenberghe, D. (2006): Effect of reducing frequency of augmented feedback on manual dexterity training and its retention. In: *Journal of Dentistry*, 34 (9), S. 641–647. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2005.12.005>.
- Williams, R. G.; Klamen, D. A.; Mcgaghie, W. C. (2003): Cognitive, social and environmental sources of bias in clinical performance ratings. In: *Teaching and Learning in Medicine*, 15 (4), S. 270–292.  
[https://doi.org/10.1207/S15328015TLM1504\\_11](https://doi.org/10.1207/S15328015TLM1504_11).

- Yahyazadehfar, M.; Ivancik, J.; Majd, H.; An, B.; Zhang, D.; Arola, D. (2014): On the Mechanics of Fatigue and Fracture in Teeth. In: *Applied Mechanics Reviews*, 66 (3), S. 308031–3080319. <https://doi.org/10.1115/1.4027431>.
- Zhou, M. (2012): From “Self-Tested” to “Self-Testing”. In: Graf, S. (Hrsg.): *Intelligent and adaptive learning systems. Technology enhanced support for learners and teachers*. Hershey, Pa: IGI Global, S. 119–132. <https://doi.org/10.4018/978-1-60960-842-2.ch008>.
- Zimmermann, M.; Ender, A.; Attin, T.; Mehl, A. (2018): Accuracy of Buccal Scan Procedures for the Registration of Habitual Intercuspation. In: *Operative Dentistry*, 43 (6), S. 573–580. <https://doi.org/10.2341/17-272-C>.
- Zitzmann, N. U.; Matthisson, L.; Ohla, H.; Joda, T. (2020): Digital Undergraduate Education in Dentistry: A Systematic Review. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (9). <https://doi.org/10.3390/ijerph17093269>.

## Appendix

### I Abkürzungsverzeichnis

3D	.....	<i>dreidimensional</i>
CAD	.....	<i>Computer-Aided-Design</i>
ICP	.....	<i>Iterative closest point algorithm, Iterative closest point algorithm</i>
IPA	.....	<i>Isopropanol</i>
N	.....	<i>Anzahl aller Punkte</i>
P <sub>1</sub>	.....	<i>Punkte mit zu geringem Substanzabtrag</i>
P <sub>2</sub>	.....	<i>Punkte mit zu hohem Substanzabtrag</i>
STL	.....	<i>standard tessellation language</i>
$\Delta L$	.....	<i>Lernerfolg, Lernerfolg</i>

## II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Kompetenzpyramide nach Miller.....	4
Abbildung 2	Der mehrschichtig gedruckte Zahn nach Lugassy.....	6
Abbildung 3	Die fertig gedruckten Zähne.....	9
Abbildung 4	Darstellung der von Thomas Weber empfohlenen Präparation für Keramikveneers. ....	11
Abbildung 5	Das Druckerzubehör.....	14
Abbildung 6	Die einzelnen Schritte des Klebevorgangs.....	15
Abbildung 7	Darstellung der im praktischen Kurs eingesetzten Druckmaterialien. ....	18
Abbildung 8	Dreidimensionale Darstellung digitalisierter Zähne aus dem praktischen Kurs. ....	22
Abbildung 9	Die in drei Patches aufgeteilte Referenzpräparation als CAD-Element in GOM-Inspect.....	24
Abbildung 10	Darstellung des Flächenvergleichs einer Kurspräparation auf dem CAD- Element.....	25
Abbildung 11	Darstellung der Punkte mit positiver Abweichung.....	26
Abbildung 12	Beispiel eines Box-Whisker-Plot Diagramms.....	30
Abbildung 13	Die Ergebnisse des geschlossenen Teils des Fragebogens in einem gestapeltem Säulendiagramm.....	32
Abbildung 14	Graphische Darstellung der ersten beiden Präparationsdurchgänge ...	37
Abbildung 15	Graphische Darstellung der letzten beiden Präparationsdurchgänge. ...	39
Abbildung 16	Vergleich der Präparationsqualität zwischen den beiden Vergleichsgruppen. ....	41
Abbildung 17	Graphische Darstellung der Lernkurven von Gruppe A und Gruppe B.	42
Abbildung 18	Graphische Darstellung des Vergleichs der Studierenden mit geringer und hoher Selbsteinschätzung. ....	43
Abbildung 19	Schema der Stereolithographie.....	47
Abbildung 20	Schematische Darstellung der cloud-to-mesh und der cloud-to-cloud- method nach Reymus. ....	55

### III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.	Druckeigenschaften des Form 2 Druckers. ....	13
Tabelle 2.	Technische Daten des Form Cure (851976006622, Formlabs Inc.) .....	16
Tabelle 3.	Die Ergebnisse für $GMW_{+/-}$ der Gruppen A und B bei Zahn 1 und 2.....	38
Tabelle 4.	Die Ergebnisse für $GMW_{+/-}$ der Gruppen A und B bei Zahn 3 und 4.....	40
Tabelle 9	Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors der beiden Versuchsgruppen in jedem Präparationsdurchgang. 41	41
Tabelle 5.	Die Werte für Cronbachs Alpha nach den einzelnen Items. ....	57
Tabelle 7.	Die Antworten auf die Items des Fragebogens. ....	10
Tabelle 8.	Die Auswertung der in Versuchsgruppe A präparierten Zähne. ....	14
Tabelle 9.	Die Auswertung der in Versuchsgruppe B präparierten Zähne. ....	16

## IV Herstellerverzeichnis

3D-Analysesoftware	GOM Inspect (Version 2019) GOM GmbH 38122 Braunschweig, Deutschland
3D-CAD-Software	Autodesk Inventor (Version 2019) Autodesk Inc. San Rafael, CA 94903, USA
3D-Drucker	Form 2 (FL-PKG-F2-WS) Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
Aushärtegerät	Form Cure (PACFL000080) Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
Drucksoftware	PreForm (Version 2.19.3) Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
Entspiegelungsspray	Helling 3D-Laserscanning Entspiegelungsspray Helling GmbH Spökerdamm 2, 25436 Heidgraben, Deutschland
Füllmaterial	Blue Dentsply Sirona York, PA 17404, USA

Harze	Dental Model photopolymer resin (RS-F2-DMBE-02), Grey photopolymer resin (RS-F2-GPGR-04), Black photopolymer resin (RS-F2-GPBK-04) Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
Präparationsinstrumente	Torpedo (879L.314.014), Rillenschleifer (868B.314.018), Torpedo mit Rotring (8879L.314.014), Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, 32657 Lemgo, Deutschland
Reinigungsalkohol	100 % Isopropanol VWR International 19087 Radnor, PA, USA
Reinigungsgerät	Form Wash (PACFL000081) Formlabs Inc. Somerville, MA 02143, USA
Scanner	inEos X5 Scanner (724157) Dentsply Sirona York, PA 17404, USA
Scansoftware	inLab SW (Version 18.0) Dentsply Sirona York, PA 17404, USA
Simulationseinheiten	DSE Compact KaVo Dental GmbH, 88400 Biberach an der Riß, DE

Statistikprogramm	IBM SPSS Statistics (Version 25) IBM Corporation Armonk, NY 10504-1722, USA
Tabellenkalkulationsprogramm	Microsoft Excel, (Office 365 MSO 64-Bit) Microsoft Corporation Redmond, WA 98052-6399, USA
Übungsmodelle	Studienmodell (623 0401)  KaVo Dental 88400 Biberach an der Riß, Deutschland Studienmodell Frasaco 88069 Tettnang, Deutschland
Umfragesoftware	EvaSys Electric Paper Evaluationssysteme GmbH 21337, Lüneburg, Deutschland
Zuschneidesoftware	Meshmixer 3.5 Autodesk Inc. San Rafael, CA 94903, USA

# V Originalien

## V.1 Fragebogen

# MUSTER

EvaSys	Veneer	
Universitätsklinikum Würzburg		Dr. Christian Höhne
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik		

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

---

**1. Einleitung**

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

**2. Personenbezogene Daten**

2.1 Bitte geben Sie Ihre Nummer (Testatzettel) an.  
.....

2.2 Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an.  weiblich  männlich

2.3 Bitte geben Sie Ihr Alter an.  
.....

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

2.5 Wenn ja, welche?

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

2.6 Die zahntechnische Arbeit im vorklinischen Kurs fällt mir leicht.	<input type="checkbox"/>					
2.7 Ich habe große Freude an den praktischen Inhalten des Studiums der Zahnmedizin.	<input type="checkbox"/>					
2.8 So schätze ich meine manuellen Fertigkeiten ein.	<input type="checkbox"/>					
2.9 Ich hatte im Verlauf des vorklinischen Kurses genügend Gelegenheit KaVo Zähne zu beschleifen.	<input type="checkbox"/>					

**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 (mangelhaft).

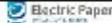
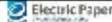
	1	2	3	4	5	6
3.1 Härte der Zähne	<input type="checkbox"/>					
3.2 geeignete Übungsmöglichkeit	<input type="checkbox"/>					
3.3 faire Prüfungsbedingungen	<input type="checkbox"/>					
3.4 einfache Handhabung	<input type="checkbox"/>					

---

F1406ZU0P1PL0V006.01.2020, Seite 1/3

# MUSTER

# MUSTER

EvaSys	Veneer	
<b>4. Eigenschaften der Druckzähne mit Präparation</b>		
<b>4. Eigenschaften der Druckzähne mit Präparation [Fortsetzung]</b>		
Bewerten Sie die Zähne in Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 6 (mangelhaft).		
		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"/>
<b>5. Eigenschaften des Anschauungsmodells mit präpariertem Zahn</b>		
Bewerten Sie die Zähne in Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 6 (mangelhaft).		
		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"/>
<b>6. Einschätzung zum Lernergebnis</b>		
Bewerten Sie die Zähne in Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 6 (mangelhaft).		
		1   2   3   4   5   6
	Mein subjektiver Lernerfolg ...	
6.1	... war mit KaVo Zähnen am größten.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6.2	... war mit den Druckzähnen mit eingebauter Präparation am größten.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Nach dem Kurs fühle ich mich ...	
6.3	... gut vorbereitet auf das Präparieren von Zähnen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<b>7. Einschätzung zum Lernprozess</b>		
Bewerten Sie die Zähne in Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 6 (mangelhaft).		
		1   2   3   4   5   6
7.1	Die Druckzähne haben in mir Enthusiasmus geweckt, meine Fähigkeiten in der Präparation von Zähnen zu verbessern.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
7.2	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"/>
7.3	Ich hatte das Gefühl durch den KaVo Zahn das Präparieren besser und schneller zu lernen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
7.4	Ich hatte das Gefühl durch den Zahn mit eingebauter Präparation das Präparieren besser und schneller zu lernen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
7.5	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"/>
<b>8. Offene Fragen</b>		
EvaSys	Veneer	

# MUSTER

## 8. Offene Fragen [Fortsetzung]

8.1 Was könnte man an den Druckzähnen noch verbessern?

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

**Vielen Dank für Ihre Teilnahme!**

## V.2 Originalien des Fragebogens

Tabelle 7. Die Antworten auf die Items des Fragebogens.

Jeder Bogen entspricht einem Kursteilnehmer. Die Inhalte der Items können im Kapitel 8.2.1 eingesehen werden.

Bogen	Frage	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2	3.3	3.4
1		5	w	27	nein		3	2	3	2	3	2	2	2
2		11	m	25	nein		4	4	3	3	3	2	2	2
3		2	m	30	nein		2	1	2	2	2	2	2	2
4		11	w	24	nein		5	4	4	2	5	3	2	2
5		20	m	29	nein		2	2	3	3	4	2	2	2
6		19	m	32	nein		2	2	2	2	4	2	2	2
7		14	w	24	nein		4	4	4	4	2	1	1	1
8		22	w	26	nein		1	1	1	1	2	1	1	1
9		24	m	30	nein		2	1	3	2	2	2	1	2
10		16	w	25	nein		2	2	2	4	2	1	2	1
11		8	m	32	nein		3	2	2	4	4	2	3	3
12		6	w	26	nein		3	1	2	2	2	1	1	1
13		21	m	24	nein		5	4	4	4	2	2	2	2
14		4	m	23	nein		3	4	3	1	2	2	2	2
15		26	m	23	nein		2	2	2	2	2	2	1	2
16		13	w	27	ja	Zahntechnik	1	1	1	1	3	1	2	2
17		3	m	25	nein		2	1	1	1	2	1	1	1
18		1	m	27	ja	Zahntechnik	1	1	2	2	2	1	1	1
19		7	w	23	nein		2	1	2	2	2	2	2	2
20		17	m	50	nein		2	3	2	3	3	2	2	2
21		12	w	22	nein		3	2	3	4	3	1	1	1
22		10	w	22	nein		2	3	3	1	3	1	1	1
23		18	m	46	nein		3	2	2	3	2	1	1	1
24		23	w	22	nein		3	2	3	2	4	3	4	1
25		11	w	24	nein		2	1	2	3	2	1	1	1
26		28	w	26	ja	ZFA	2	1	2	1	3	2	2	2
27		25	w	23	nein		3	3	2	2	4	2	2	2
28		29	m	24	nein		2	2	4	2	2	2	2	2
29		33	w	26	nein		3	1	3	1	2	1	1	1
30		31	m	25	nein		3	1	2	1	4	1	1	1
31		34	m	23	nein		1	1	1	3	4	2	2	1
32		32	m	32	nein		2	1	2	1	1	1	1	1
33		36	w	24	nein		4	3	3	3	4	3	3	3
34		35	w	24	nein		2	2	3	4	3	1	2	2
35		39	w	25	nein		3	2	3	3	2	1	1	1
36		40	w	22	nein		2	2	2	3	3	2	2	1
37		30	w	22	nein		4	3	3	2	2	2	1	1
38		37	m	21	nein		3	2	2	2	4	2	2	2
39		38	w	22	nein		2	2	2	3	3	2	2	1
40		42	m	26	nein		3	3	3	1	3	1	2	0

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

Bogen	8.1	8.2
	1	
	2	
	3 Farbe zahnähnlicher	
	4	
	5	
	6 Härte	Genauerer Präparieren
	7	
	8	
	9	
	Die schwarze Farbe blättert bei der Veneer-Präp	
	10 ab, wenn sie dünn ist	Der Substanzabtrag ist gut erlernbar!
	11 Härter machen.	
	12	Ähnlicheres Gefühl wie echtzahn
	13	Einschätzen der Schichtstärke
	14 Schwarzes Ding löst sich teilweise beim präppen ab	
	15	
	16 Härte, Farbe	
	17	
	etwas näher an der natürlichen Härte des	
	18 Schmelzes bzw. des Dentins	wirtschaftlicher für die Studenten
	19	
	20	
	21 Etwas härter	Gute Kontrolle für Substanzabtrag Man sieht genau wie viel Substanzabtrag richtig ist Gute Möglichkeit
	22	
	23 Vom Patienten ausgedrückt	
	Leider hat sich der schwarze Kunststoff teilweise	
	am Ende wie eine Haut abgelöst, dadurch hat	
	man sich mehr darauf konzentriert Kunststoff zu	Ideale Präp theoretisch vorgeben in dem Fall, die kleinen Zusatz Modelle gut zur Veranschaulichung
	24 entfernen als die Präparation selbst zu formen	
	25	
	26 Bessere Finierbarkeit.	Günstiger für den Studenten.
	27	
	28	
	29	
	30	Mehr Variabilität bzgl Zahnform Mehr Fallsimulationen möglich
	31 Härte erhöhen => Dentin/Schmelz	Veranschaulichung Kein subjektive Bewertung durch verschiedene Lehrveranstaltungen bzw Ausbildung der Zahnärzte
	32 Ränder an der präp besser abrunden	
	33	
	34	
	Die schwarze eingebaute Präparation ist härter	Fairness Mehr Übung Günstiger
	35 als der Druckzahn. Wenn man zuerst am	Bessere Kontrolle

Druckzahn präpariert kann man seine Technik nicht übernehmen, weil das Material härter ist.

Verbund zwischen dunkler und Heller Farbe des Druckzahnes -> dunkles Material platzt

**36** zum Teil einfach ab

**37** Die Härte

Individuelle Lernbedingungen, mehr Vielfalt

**38** Andere Farben, zum Beispiel weiß

Neue Lehrmethoden, gleichzeitiges Erlernen mehrerer Präparationsarten

**39**

**40**

### V.3 Auswertung der Präparationen des praktischen Kurses

Tabelle 8. Die Auswertung der in Versuchsgruppe A präparierten Zähne.

Aufgelistet sind die Gesamtzahl der Messpunkte, die Anzahl der positiven (P1) und negativen (P2) Punkte, die Mittelwerte der positiven (MW+) und negativen (MW-) Werte, die Mittelwerte bezogen auf die entsprechende Fläche (AMW+/-) und die Gesamtabweichung (GMW+/-).

Student	Zahn	P	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	MW (+)	MW (-)	AMW (+)	AMW (-)	GMW (+/-)
1	1	24123	17808	6315	0,210	-0,062	0,16	-0,02	0,17
1	2	24123	21437	2686	0,218	-0,082	0,19	-0,01	0,20
1	3	24123	15767	8356	0,214	-0,140	0,14	-0,05	0,19
1	4	24123	17415	6708	0,157	-0,059	0,11	-0,02	0,13
1	5	24123	2442	21681	0,037	-0,077	0,00	-0,07	0,07
3	1	24123	11614	12509	0,149	-0,155	0,07	-0,08	0,15
3	2	24123	14516	9607	0,227	-0,214	0,14	-0,09	0,22
3	3	24123	10589	13534	0,103	-0,172	0,05	-0,10	0,14
3	4	24123	9534	14589	0,134	-0,209	0,05	-0,13	0,18
3	5	24123	1614	22509	0,037	-0,154	0,00	-0,14	0,15
5	1	24123	14399	9724	0,122	-0,103	0,07	-0,04	0,11
5	2	24123	14827	9296	0,214	-0,119	0,13	-0,05	0,18
5	3	24123	17208	6915	0,214	-0,064	0,15	-0,02	0,17
5	4	24123	17340	6783	0,214	-0,082	0,15	-0,02	0,18
5	5	24123	3884	20239	0,02	-0,175	0,00	-0,15	0,15
7	1	24123	11052	13071	0,263	-0,242	0,12	-0,13	0,25
7	2	24123	13285	10838	0,228	-0,149	0,13	-0,07	0,19
7	3	24123	14105	10018	0,222	-0,174	0,13	-0,07	0,20
7	4	24123	13043	11080	0,182	-0,186	0,10	-0,09	0,18
7	5	24123	1238	22885	0,021	-0,158	0,00	-0,15	0,15
9	1	24123	10970	13153	0,15	-0,175	0,07	-0,10	0,16
9	2	24123	8891	15232	0,141	-0,156	0,05	-0,10	0,15
9	3	24123	9501	14622	0,155	-0,166	0,06	-0,10	0,16
9	4	24123	12781	11342	0,125	-0,174	0,07	-0,08	0,15
9	5	24123	655	23468	0,033	-0,216	0,00	-0,21	0,21
11	1	24123	17824	6299	0,184	-0,063	0,14	-0,02	0,15
11	2	24123	14815	9308	0,195	-0,054	0,12	-0,02	0,14
11	3	24123	6064	18059	0,126	-0,105	0,03	-0,08	0,11
11	4	24123	9285	14838	0,150	-0,240	0,06	-0,15	0,21
11	5	24123	1912	22211	0,030	-0,147	0,00	-0,14	0,14
13	1	24123	13938	10185	0,146	-0,185	0,08	-0,08	0,16
13	2	24123	13625	10498	0,204	-0,187	0,12	-0,08	0,20
13	3	24123	14838	9285	0,266	-0,155	0,16	-0,06	0,22
13	4	24123	14637	9486	0,219	-0,123	0,13	-0,05	0,18
13	5	24123	3160	20963	0,011	-0,069	0,00	-0,06	0,06
15	1	24123	5319	18804	0,044	-0,327	0,01	-0,25	0,26
15	2	24123	15342	8781	0,196	-0,125	0,12	-0,05	0,17
15	3	24123	5100	19023	0,047	-0,329	0,01	-0,26	0,27

15	4	24123	6875	17248	0,050	-0,378	0,01	-0,27	0,28
15	5	24123	1463	22660	0,034	-0,147	0,00	-0,14	0,14
17	1	24123	5760	18363	0,082	-0,143	0,02	-0,11	0,13
17	2	24123	11851	12272	0,11	-0,082	0,05	-0,04	0,10
17	3	24123	3716	20407	0,048	-0,163	0,01	-0,14	0,15
17	4	24123	2428	21695	0,053	-0,293	0,01	-0,26	0,27
17	5	24123	587	23536	0,03	-0,448	0,00	-0,44	0,44
19	1	24123	6175	17948	0,070	-0,146	0,02	-0,11	0,13
19	2	24123	2082	22041	0,023	-0,242	0,00	-0,22	0,22
19	3	24123	6279	17844	0,148	-0,169	0,04	-0,13	0,16
19	4	24123	10228	13895	0,157	-0,145	0,07	-0,08	0,15
19	5	24123	11066	13057	0,155	-0,128	0,07	-0,07	0,14
21	1	24123	13779	10344	0,129	-0,071	0,07	-0,03	0,10
21	2	24123	6039	18084	0,175	-0,209	0,04	-0,16	0,20
21	3	24123	7960	16163	0,149	-0,147	0,05	-0,10	0,15
21	4	24123	10339	13784	0,149	-0,120	0,06	-0,07	0,13
21	5	24123	1824	22299	0,033	-0,222	0,00	-0,21	0,21
23	1	24123	8523	15600	0,072	-0,092	0,03	-0,06	0,08
23	2	24123	9817	14306	0,103	-0,155	0,04	-0,09	0,13
23	3	24123	5774	18349	0,083	-0,157	0,02	-0,12	0,14
23	4	24123	12445	11678	0,135	-0,159	0,07	-0,08	0,15
23	5	24123	1194	22929	0,019	-0,113	0,00	-0,11	0,11
25	1	24123	13371	10752	0,119	-0,083	0,07	-0,04	0,10
25	2	24123	18903	5220	0,177	-0,060	0,14	-0,01	0,15
25	3	24123	14397	9726	0,170	-0,079	0,10	-0,03	0,13
25	4	24123	11605	12518	0,138	-0,083	0,07	-0,04	0,11
25	5	24123	1891	22232	0,031	-0,160	0,00	-0,15	0,15
27	1	24123	18436	5687	0,324	-0,063	0,25	-0,01	0,26
27	2	24123	18205	5918	0,272	-0,062	0,21	-0,02	0,22
27	3	24123	17252	6871	0,222	-0,083	0,16	-0,02	0,18
27	4	24123	18379	5744	0,263	-0,058	0,20	-0,01	0,21
27	5	24123	2681	21442	0,024	-0,125	0,00	-0,11	0,11
29	1	24123	6048	18075	0,143	-0,192	0,04	-0,14	0,18
29	2	24123	3600	20523	0,137	-0,180	0,02	-0,15	0,17
29	3	24123	5107	19016	0,098	-0,245	0,02	-0,19	0,21
29	4	24123	3373	20750	0,066	-0,231	0,01	-0,20	0,21
29	5	24123	1743	22380	0,024	-0,146	0,00	-0,14	0,14
31	1	24123	18397	5726	0,212	-0,056	0,16	-0,01	0,17
31	2	24123	16861	7262	0,215	-0,138	0,15	-0,04	0,19
31	3	24123	17911	6212	0,241	-0,074	0,18	-0,02	0,20
31	4	24123	17590	6533	0,271	-0,068	0,20	-0,02	0,22
31	5	24123	6333	17790	0,013	-0,049	0,00	-0,04	0,04
33	1	24123	18508	5615	0,184	-0,059	0,14	-0,01	0,15
33	2	24123	17668	6455	0,128	-0,067	0,09	-0,02	0,11
33	3	24123	16468	7655	0,156	-0,066	0,11	-0,02	0,13
33	4	24123	13529	10594	0,147	-0,069	0,08	-0,03	0,11

33	5	24123	1487	22636	0,033	-0,169	0,00	-0,16	0,16
35	1	24123	17101	7022	0,256	-0,082	0,18	-0,02	0,21
35	2	24123	17472	6651	0,293	-0,103	0,21	-0,03	0,24
35	3	24123	15199	8924	0,154	-0,134	0,10	-0,05	0,15
35	4	24123	17576	6547	0,282	-0,070	0,21	-0,02	0,22
35	5	24123	1223	22900	0,029	-0,173	0,00	-0,16	0,17
37	1	24123	11825	12298	0,072	-0,101	0,04	-0,05	0,09
37	2	24123	5292	18831	0,076	-0,124	0,02	-0,10	0,11
37	3	24123	8015	16108	0,061	-0,071	0,02	-0,05	0,07
37	4	24123	8692	15431	0,071	-0,067	0,03	-0,04	0,07
37	5	24123	1562	22561	0,026	-0,182	0,00	-0,17	0,17
39	1	24123	18070	6053	0,314	-0,068	0,24	-0,02	0,25
39	2	24123	18081	6042	0,342	-0,09	0,26	-0,02	0,28
39	3	24123	16840	7283	0,342	-0,087	0,24	-0,03	0,27
39	4	24123	16160	7963	0,312	-0,108	0,21	-0,04	0,24
39	5	24123	1256	22867	0,017	-0,167	0,00	-0,16	0,16

*Tabelle 9. Die Auswertung der in Versuchsgruppe B präparierten Zähne.*

*Aufgelistet sind die Gesamtzahl der Messpunkte, die Anzahl der positiven (P1) und negativen (P2) Punkte, die Mittelwerte der positiven (MW+) und negativen (MW-) Werte, die Mittelwerte bezogen auf die entsprechende Fläche (AMW+/-) und die Gesamtabweichung (GMW+/-).*

<b>Student</b>	<b>Zahn</b>	<b>P</b>	<b>P<sub>1</sub></b>	<b>P<sub>2</sub></b>	<b>MW (+)</b>	<b>MW (-)</b>	<b>AMW (+)</b>	<b>AMW (-)</b>	<b>GMW (+/-)</b>
2	1	24123	2086	22037	0,028	-0,111	0,00	-0,10	0,10
2	2	24123	2911	21212	0,022	-0,137	0,00	-0,12	0,12
2	3	24123	15781	8342	0,157	-0,07	0,10	-0,02	0,13
2	4	24123	9902	14221	0,117	-0,114	0,05	-0,07	0,12
4	1	24123	3068	21055	0,01	-0,09	0,00	-0,08	0,08
4	2	24123	3842	20281	0,02	-0,12	0,00	-0,10	0,10
4	3	24123	12337	11786	0,13	-0,10	0,07	-0,05	0,11
4	4	24123	16249	7874	0,20	-0,06	0,13	-0,02	0,15
6	1	24123	4431	19692	0,02	-0,09	0,00	-0,08	0,08
6	2	24123	3809	20314	0,02	-0,17	0,00	-0,15	0,15
6	3	24123	4603	19520	0,10	-0,16	0,02	-0,13	0,15
6	4	24123	2487	21636	0,12	-0,14	0,01	-0,13	0,14
8	1	24123	2909	21214	0,02	-0,15	0,00	-0,14	0,14
8	2	24123	1678	22445	0,04	-0,11	0,00	-0,10	0,10
8	3	24123	8491	15632	0,10	-0,09	0,04	-0,06	0,10
8	4	24123	7738	16385	0,10	-0,13	0,03	-0,09	0,12
10	1	24123	1547	22576	0,03	-0,20	0,00	-0,19	0,19
10	2	24123	1661	22462	0,03	-0,32	0,00	-0,30	0,30
10	3	24123	1658	22465	0,11	-0,35	0,01	-0,33	0,33
10	4	24123	1516	22607	0,04	-0,40	0,00	-0,37	0,37

12	1	24123	1826	22297	0,02	-0,10	0,00	-0,09	0,10
12	2	24123	5339	18784	0,01	-0,05	0,00	-0,04	0,04
12	3	24123	13111	11012	0,13	-0,19	0,07	-0,08	0,15
12	4	24123	7913	16210	0,12	-0,13	0,04	-0,09	0,13
14	1	24123	310	23813	0,03	-0,17	0,00	-0,17	0,17
14	2	24123	1761	22362	0,02	-0,14	0,00	-0,13	0,13
14	3	24123	17561	6562	0,16	-0,06	0,12	-0,02	0,13
14	4	24123	12170	11953	0,10	-0,09	0,05	-0,05	0,10
16	1	24123	1789	22334	0,04	-0,14	0,00	-0,13	0,13
16	2	24123	1820	22303	0,03	-0,13	0,00	-0,12	0,12
16	3	24123	5581	18542	0,05	-0,19	0,01	-0,15	0,16
16	4	24123	6355	17768	0,06	-0,15	0,01	-0,11	0,12
18	1	24123	1774	22349	0,03	-0,15	0,00	-0,14	0,14
18	2	24123	2927	21196	0,01	-0,20	0,00	-0,17	0,17
18	3	24123	1715	22408	0,03	-0,34	0,00	-0,32	0,32
18	4	24123	1737	22386	0,04	-0,42	0,00	-0,39	0,39
20	1	24123	1928	22195	0,03	-0,14	0,00	-0,13	0,13
20	2	24123	1226	22897	0,03	-0,16	0,00	-0,15	0,16
20	3	24123	8242	15881	0,09	-0,12	0,03	-0,08	0,11
20	4	24123	5207	18916	0,11	-0,27	0,02	-0,21	0,24
22	1	24123	3235	20888	0,05	-0,34	0,01	-0,30	0,30
22	2	24123	3108	21015	0,01	-0,20	0,00	-0,18	0,18
22	3	24123	7473	16650	0,10	-0,19	0,03	-0,13	0,16
22	4	24123	2856	21267	0,08	-0,31	0,01	-0,28	0,29
24	1	24123	2209	21914	0,03	-0,11	0,00	-0,10	0,10
24	2	24123	1096	23027	0,02	-0,16	0,00	-0,15	0,16
24	3	24123	2010	22113	0,02	-0,19	0,00	-0,18	0,18
24	4	24123	2051	22072	0,11	-0,34	0,01	-0,31	0,32
26	1	24123	1853	22270	0,04	-0,14	0,00	-0,12	0,13
26	2	24123	2370	21753	0,02	-0,14	0,00	-0,13	0,13
26	3	24123	3331	20792	0,04	-0,19	0,01	-0,17	0,17
26	4	24123	3620	20503	0,07	-0,26	0,01	-0,22	0,23
28	1	24123	1671	22452	0,09	-0,37	0,01	-0,34	0,35
28	2	24123	1775	22348	0,03	-0,18	0,00	-0,17	0,17
28	3	24123	8435	15688	0,10	-0,12	0,03	-0,08	0,11
28	4	24123	10030	14093	0,10	-0,11	0,04	-0,06	0,10
30	1	24123	3856	20267	0,01	-0,14	0,00	-0,12	0,12
30	2	24123	1623	22500	0,02	-0,16	0,00	-0,15	0,15
30	3	24123	13827	10296	0,07	-0,06	0,04	-0,03	0,06
30	4	24123	3789	20334	0,04	-0,18	0,01	-0,15	0,15
32	1	24123	1677	22446	0,03	-0,26	0,00	-0,24	0,24
32	2	24123	1875	22248	0,03	-0,34	0,00	-0,31	0,31
32	3	24123	10745	13378	0,09	-0,10	0,04	-0,05	0,09
32	4	24123	16679	7444	0,12	-0,08	0,08	-0,02	0,10
34	1	24123	2039	22084	0,03	-0,10	0,00	-0,09	0,09
34	2	24123	1582	22541	0,03	-0,18	0,00	-0,16	0,17

<b>34</b>	3	24123	12817	11306	0,08	-0,10	0,04	-0,05	0,09
<b>34</b>	4	24123	2245	21878	0,04	-0,16	0,00	-0,14	0,15
<b>36</b>	1	24123	1963	22160	0,03	-0,10	0,00	-0,09	0,09
<b>36</b>	2	24123	1636	22487	0,02	-0,15	0,00	-0,14	0,14
<b>36</b>	3	24123	11237	12886	0,10	-0,12	0,05	-0,07	0,11
<b>36</b>	4	24123	12304	11819	0,19	-0,12	0,10	-0,06	0,15
<b>38</b>	1	24123	1893	22230	0,04	-0,17	0,00	-0,16	0,16
<b>38</b>	2	24123	1620	22503	0,03	-0,17	0,00	-0,16	0,16
<b>38</b>	3	24123	12528	11595	0,16	-0,15	0,09	-0,07	0,16
<b>38</b>	4	24123	17098	7025	0,16	-0,10	0,11	-0,03	0,14
<b>40</b>	1	24123	2703	21420	0,05	-0,11	0,01	-0,10	0,10
<b>40</b>	2	24123	1555	22568	0,02	-0,13	0,00	-0,12	0,12
<b>40</b>	3	24123	14725	9398	0,19	-0,07	0,11	-0,03	0,14
<b>40</b>	4	24123	17104	7019	0,21	-0,08	0,15	-0,02	0,17

## **VI Danksagung**

Mein erster Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Professor Schmitter. Durch die Bereitstellung der Ressourcen und der Idee hat er mir die Dissertation überhaupt erst ermöglicht. Bei der statistischen Analyse und der Verschriftlichung der Dissertation stand er mir mit großer Erfahrung und Übersicht zur Seite.

Ein großer Dank geht an Herrn Oberarzt Dr. Höhne. Er unterstützte mich sowohl bei der Durchführung der Versuche, als auch bei der Publikation und der statistischen Analyse. Ohne seine schnelle und praktische Hilfe wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Ebenso stand Herr Axel Schurig mir bei der statistischen Analyse mit Rat und Tat zur Seite und vermittelte mir gute Übersicht über die durchzuführenden Tests. Hierfür möchte ich mich herzlich bedanken.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie, meinen Freundinnen und Freunden, meinen Lektorinnen und Lektoren sowie meinen Wegbegleitern bedanken. Ohne sie alle hätte ich dieses Projekt nicht abschließen können. Danke!

## **VIII Publikation**

Journal of Prosthodontics

**„3D Printed Teeth with Included Veneer Preparation Guide“**

Christian Höhne, Tanja Rammler, Marc Schmitter

doi: 10.1111/jopr.1 3250