

Aus dem Institut für Medizinische Lehre und Ausbildungsforschung  
Vorstand: Prof. Dr. med. Sarah König  
in Zusammenarbeit mit der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie  
der Medizinischen Fakultät der Universität Würzburg

# **Validierung eines Fragebogens zur Ermittlung der Qualität und des Lernerfolgs 3D-gedruckter Zähne in der endodontischen Ausbildung**

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

**Markus Kolling**

aus

Bad Staffelstein

Würzburg, Februar 2021

Referentin: Prof. Dr. med. Sarah König  
Korreferent: Prof. Dr. med. dent. Gabriel Krastl  
Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 25. März 2021

Der Promovend ist Zahnarzt.

Für Michael

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Studium der Zahnmedizin an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg .....	1
1.1.1	Aufbau des Zahnmedizinstudiums.....	1
1.1.2	Einordnung des Kurses.....	1
1.2	Relevanz der Wurzelkanalbehandlung .....	3
1.3	Simulation in der zahnmedizinischen Ausbildung.....	3
1.4	Sinn und Zweck von Evaluationen .....	4
1.5	Fragebogenkonstruktion .....	6
1.6	Hypothesen .....	9
<b>2</b>	<b>Material und Methoden.....</b>	<b>11</b>
2.1	Studiendesign .....	11
2.2	Organisation und Durchführung.....	12
2.2.1	Pilotierungsstudie – Wintersemester 2017/18 .....	12
2.2.2	Validierungsstudie – Sommersemester 2018 und Wintersemester 2018/19 ....	12
2.3	Fragebogenentwicklung.....	13
2.3.1	Pilotierungsstudie.....	13
2.3.2	Validierungsstudie.....	15
2.4	Übungsmodelle für die Wurzelkanalbehandlung .....	16
2.4.1	Plexiglasblock.....	16
2.4.2	Extrahierte Zähne .....	17
2.4.3	3D-gedruckter Zahn .....	19
2.5	Leistungsdaten .....	20
2.5.1	Praktische Testate .....	20
2.5.2	Klausur.....	22
2.6	Statistik.....	23
2.6.1	Fragebogentestung.....	23
2.6.2	Evaluation .....	24
2.6.3	Varianzanalyse .....	24
2.7	Ethikantrag.....	25
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>26</b>
3.1	Überblick über die Datenerhebung.....	26
3.2	Pilotierungsstudie .....	26
3.2.1	Personendaten .....	26
3.2.2	Voraussetzungen für den Kurs .....	26
3.2.3	Fragebogentestung.....	27
3.2.4	Subjektives Lernergebnis .....	31

3.2.5	Übungsmöglichkeiten.....	31
3.2.6	Bewertung der didaktischen Qualität.....	32
3.2.7	Freitextkommentare.....	32
3.2.8	Varianzanalyse .....	33
3.2.9	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	35
3.3	Validierungsstudie .....	37
3.3.1	Personendaten .....	37
3.3.2	Voraussetzungen für den Kurs .....	37
3.3.3	Fragebogentestung.....	38
3.3.4	Subjektives Lernergebnis .....	42
3.3.5	Übungsmöglichkeiten.....	43
3.3.6	Bewertung der didaktischen Qualität.....	44
3.3.7	Freitextkommentare.....	45
3.3.8	Varianzanalyse .....	46
<b>4</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>51</b>
4.1	Fragebogentestung.....	52
4.1.1	Objektivität.....	52
4.1.2	Validität.....	53
4.1.3	Reliabilität.....	54
4.2	3D-gedruckte Zähne in der endodontischen Ausbildung .....	56
4.2.1	Studierende bewerten die Eigenschaften des 3D-gedruckten Zahns im Vergleich zum echten Zahn gleich wie die Eigenschaften des Plexiglasblocks im Vergleich zum echten Zahn (H1) .....	57
4.2.2	Studierende bewerten den Lernprozess zur Präparation von Wurzelkanälen nach dem Üben mit dem 3D-gedruckten Zahn gleich wie nach dem Üben mit dem echten Zahn (H2).....	58
4.3	Leistungsabhängige Beantwortung der Items.....	58
4.3.1	Basierend auf den Ergebnissen der praktischen Testate und der Klausur sind signifikante Unterschiede in der Beantwortung der quantifizierbaren Items zwischen den Leistungsgruppen (High, Medium und Low Performer) festzustellen (H3) .....	58
4.4	Stärken- und Schwächenanalyse.....	60
4.4.1	Studienkollektiv und Rahmenbedingungen .....	60
4.4.2	Studiendesign und Testverfahren .....	62
4.4.3	Der verwendete Fragebogen war nicht kreuzvalidiert .....	63
4.5	Konsequenzen für Forschung und Lehre .....	63
4.5.1	Ausblick auf die Fragebogenentwicklung für 3D-gedruckte Zähne.....	63
4.5.2	Ausblick für die Entwicklung 3D-gedruckter Zähne .....	64
4.5.3	Ausblick auf die Verwendung und Entwicklung 3D-gedruckter Zähne für die endodontische Ausbildung.....	65
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>68</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>72</b>

<b>7</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>79</b>
	7.1 Informationsschrift und Einwilligungserklärung .....	79
	7.2 Fragebogen Pilotierungsstudie .....	82
	7.3 Fragebogen Validierungsstudie .....	88
	7.4 Ethik-Antrag .....	94
	7.5 Studienprotokoll .....	100
	7.6 Validierungsstudie Person-Item Map.....	103
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>104</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>105</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>106</b>
	<b>Danksagung</b> .....	<b>108</b>
	<b>Lebenslauf</b> .....	<b>109</b>

## **1 Einleitung**

### **1.1 Studium der Zahnmedizin an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg**

#### **1.1.1 Aufbau des Zahnmedizinstudiums**

Das Zahnmedizinstudium an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg entspricht einem Regelstudiengang und folgt der Approbationsordnung für Zahnmediziner aus dem Jahr 1955 (Webseite Bundesanzeiger - Prüfungsordnung für Zahnärzte). Die Regelstudienzeit beträgt zehn Semester und unterteilt sich in fünf vorklinische und fünf klinische Semester. Nach dem zweiten Semester findet die naturwissenschaftliche Vorprüfung in den Fächern Biologie, Physik und Chemie statt. Der vorklinische Abschnitt endet mit dem Bestehen der zahnärztlichen Vorprüfung in den Fächern Anatomie, Physiologie, Physiologische Chemie und Zahnersatzkunde. Im Anschluss folgt der klinische Abschnitt. Das sechste, siebte und zehnte Semester widmen sich vor allem der Zahnerhaltung und Parodontologie, während der Schwerpunkt im achten und neunten Semester vor allem in der Prothetik angesiedelt ist. Im sechsten Semester wird die Grundlagenkompetenz für die Patientenbehandlung vermittelt, die im siebten und zehnten Semester in der Zahnerhaltung im Fokus der Ausbildung der Zahnmedizinistudierenden liegt.

Vergleichbare Kenntnisse und Fertigkeiten wie die Präparation von Zähnen für Brücken, Kronen und Teleskope, die für die klinischen Semester in der Prothetik nötig sind, werden bereits im vorklinischen Abschnitt in den Kursen „zahnmedizinische Propädeutik“ sowie „Phantomkursus der Zahnersatzkunde 1 und 2“ vermittelt. Direkt an das zehnte Semester schließt sich die zahnärztliche Prüfung an. Eine bestandene zahnärztliche Prüfung ermöglicht die Approbation zum Zahnarzt bzw. zur Zahnärztin. Für den Erhalt der Kassenzulassung ist eine zweijährige Vorbereitungszeit nachzuweisen (Bäune, Meschke et al. 2008).

#### **1.1.2 Einordnung des Kurses**

Der „Phantomkursus der Zahnerhaltungskunde (einschließlich Parodontologie)“, in dem die Studie zu dieser Dissertationsarbeit durchgeführt wurde, findet im sechsten Semester und damit direkt im Anschluss an das bestandene Physikikum statt (Abbildung 1). Die Durchfüh-

Der Kurs obliegt der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie. Der Kurs bereitet die Studierenden auf die Patientenbehandlung im Rahmen des „Kursus und Poliklinik der Zahnerhaltung und Parodontologie 1 und 2“ im siebten und zehnten Semester vor (De Moor, Hülsmann et al. 2013). Dabei werden die Grundlagen für die konservierende Behandlung am Patienten und an der Patientin in den folgenden klinischen Semestern vermittelt, insbesondere die Präparation für Teilkronen, Inlays, Wurzelkanalbehandlungen, Kariesexkavation und Füllungen. Parallel dazu werden die theoretischen Hintergründe zu den praktischen Arbeiten in Vorlesungen und Seminaren gelehrt.

Der „Phantomkursus der Zahnerhaltungskunde (einschließlich Parodontologie)“ nimmt dabei eine besondere Rolle im zahnmedizinischen Studium ein, da er der letzte Kurs am „Phantom“<sup>1</sup> ist, bevor die Behandlung an Patienten und Patientinnen beginnt. Die Präparation der Zähne findet bis zu diesem Zeitpunkt anhand von Modellzähnen (Frasaco, Tettang, Deutschland) statt. Das Üben der Wurzelkanalbehandlung erfolgt zu Beginn mit einwurzeligen (Flex Master Übungsblock, V040245, VDW, München, Deutschland) und zweiwurzeligen (Wurzelkanal-Studienmodell ohne klinische Krone, S1-U4, J. Morita, Tokyo, Japan) Plexiglasblöcken ohne klinische Krone. Im Anschluss findet das Üben an extrahierten echten Zähnen statt, die in der dentalen Simulationseinheit verankert werden können (Spentst and Kahn 1979).

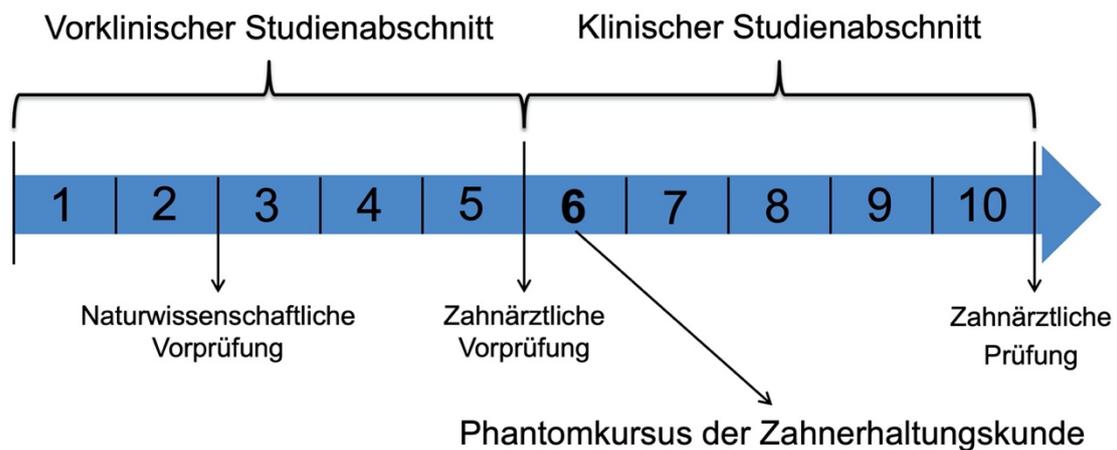


Abbildung 1: Studienverlauf Zahnmedizin an der Universität Würzburg

<sup>1</sup> Im „Phantomkursus der Zahnerhaltungskunde (einschließlich Parodontologie)“, im Kursus „zahnmedizinische Propädeutik“ sowie im „Phantomkursus der Zahnersatzkunde 1 und 2“ findet die Behandlung an Übungsmodellen statt. Diese sind im Phantomkopf, einer Nachbildung des menschlichen Kopfes, befestigt, welcher Teil der dentalen Simulationseinheit ist. Damit soll eine möglichst realitätsnahe Behandlungssituation simuliert werden, in der die Studierenden die Behandlung optimal üben können.

## 1.2 Relevanz der Wurzelkanalbehandlung

Als Alternative zu chirurgischen Maßnahmen stellt eine Wurzelkanalbehandlung eine zahn-erhaltende Therapie dar (Tsesis, Nemkowsky et al. 2010, Zitzmann, Krastl et al. 2010). Irreversible Pulpitis und Pulpanekrose sind dabei die häufigsten Indikationen für eine Wurzelkanalbehandlung (Bjørndal, Laustsen et al. 2006, Wigsten, Jonasson et al. 2019). Bei dieser Therapie geht Zahnhartsubstanz zwangsläufig durch den Zugang zu den Wurzelkanälen verloren (Connert, Krug et al. 2019). Die Erfolgsquote einer Wurzelkanalbehandlung wird nach mehr als sechs Jahren mit 84% angegeben (Torabinejad, Anderson et al. 2007). Die Prävalenz wurzelkanalbehandelter Zähne liegt in verschiedenen Studien im Bereich von 2,3-5,5% (Cleen, Schuurs et al. 1993, Buckley and Spangberg 1995, Kirkevang, Hörsted-Bindslev et al. 2001). Insbesondere mit dem Alter steigt der Therapiebedarf (Hugoson and Koch 1979). Außerdem stellten Studien fest, dass technisch zufriedenstellende Wurzelkanalbehandlungen nur in 30-40% der untersuchten Fälle vorlagen (Allard and Palmqvist 1986, Petersson, Petersson et al. 1986, Eckerbom, Andersson et al. 1987, Eriksen, Bjertness et al. 1988, Eckerbom, Andersson et al. 1989, Ödesjö, Helldén et al. 1990, Imfeld 1991, Eckerbom 1993). Typische Komplikationen bei einer Wurzelkanalbehandlung sind z.B. Bruch von feinen Instrumenten im Wurzelkanal, Perforation eines Wurzelkanals (Via falsa), Verletzung des Nervs, Eröffnung der Kieferhöhle oder Über- bzw. Unterfüllen des Wurzelkanals (Strindberg 1956, Seltzer, Bender et al. 1967, Lin, Skribner et al. 1992, Habl, Bodenwinkler et al. 2005). Eine qualitativ hochwertige und auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft basierende Ausbildung legt den Grundstein, um eine suffiziente und dauerhafte Wurzelkanalbehandlung durchzuführen (Lin, Rosenberg et al. 2005). Der Forschung auf diesem Gebiet kommt somit eine besondere Stellung zu.

## 1.3 Simulation in der zahnmedizinischen Ausbildung

Brockhaus definiert Simulation im wissenschaftlichen Kontext als modellhafte Darstellung oder Nachbildung eines Systems, die es erlaubt, Untersuchungen oder Manipulationen vorzunehmen, die am eigentlichen System zu gefährlich, zu teuer oder unmöglich sind (Webseite Brockhaus - Simulation (Wissenschaft)). Entsprechende Übungsmodelle bzw. Geräte werden als Simulatoren bezeichnet. In der Zahnmedizin ermöglicht die Simulation Lernenden anhand von verschiedenen Übungsmodellen, irreversible und invasive Eingriffe zu üben (Buchanan 2001). Sie ist in der präklinischen, zahnmedizinischen Ausbildung weit verbreitet,

da sie einen geschützten Raum zur Vorbereitung für zukünftige Patientenbehandlungen schafft (Green and Klausner 1984, Suvinen, Messer et al. 1998, Chan, Frazier et al. 2000). Erste Anfänge der Simulation in der zahnmedizinischen Ausbildung finden sich bereits im 1840 als Teil der Universität von Maryland (Baltimore, USA) gegründeten Baltimore College of Dental Surgery (Murtomaa 2009). Dort wurden extrahierte echte Zähne als Übungsmodell verwendet, deren Verfügbarkeit jedoch gering war, da diese vornehmlich zu Zahnersatz verarbeitet wurden (Engelmeier 2003). Im Jahr 1894 entwickelte Oswald Fergus den ersten Phantomkopf (Fugill 2013). Die Weiterentwicklung dieses und die Möglichkeit der Verankerung des Phantomkopfes in einer dentalen Simulationseinheit ermöglicht heutzutage, reale Patientensituationen zu simulieren. Studierende können hier neben der reinen Therapie der Zähne insbesondere den Umgang mit Spiegel und Bohrer, das ergonomische Sitzen sowie die korrekte Abstützung der Hand beim Präparieren trainieren (Perry, Bridges et al. 2015). Erst gegen Ende des 20. Jahrhunderts etablierte sich der Einsatz von harzbasierten Kunststoffzähnen, wodurch der Mangel an ausreichenden extrahierten echten Zähnen überwunden wurde. Heutzutage finden die extrahierten echten Zähne meist nur noch Verwendung, wenn anatomische und charakteristische Merkmale der echten Zähne beim Üben besonders wichtig sind, wie dies in der endodontischen Ausbildung der Fall ist.

#### **1.4 Sinn und Zweck von Evaluationen**

Zur Qualitätssicherung, aber auch zur Weiterentwicklung der Lehre wird von der Universität Würzburg zur ständigen Evaluation aufgerufen. Hierbei wird in §1 der Evaluationsordnung unter anderem hervorgehoben, dass die Qualität in Lehre und Studium gefördert sowie qualitätssichernde und -fördernde Maßnahmen entwickelt werden sollen (Webseite Universität Würzburg - Evaluationsordnung).

Der Begriff „Evaluation“ wird häufig als Synonym für wissenschaftliche Evaluation bzw. Evaluationsforschung verwendet (Döring and Bortz 2016). „Unter Evaluation wird eine wissenschaftliche Dienstleistung verstanden, die sich mit der systematischen und transparenten Bewertung eines Gegenstandes beschäftigt“ (Widmer and De Rocchi 2012). Die Evaluation

nutzt sozialwissenschaftliche Methoden, um einen Evaluationsgegenstand bzw. ein Evaluationsobjekt<sup>2</sup> unter Berücksichtigung der relevanten Anspruchsgruppen<sup>3</sup> anhand bestimmter Evaluationskriterien zu ihren Ausprägungen zu bewerten (Döring and Bortz 2016).

Dabei erfüllt die Evaluation fünf Funktionen:

1. Erkenntnisfunktion: hierbei geht es darum, Wirkeigenschaften von Evaluationsgegenständen zu sammeln.
2. Lern- und Dialogfunktion: die Studierenden reflektieren durch die Evaluation die Lernprozesse, die zum Lernerfolg führen und treten mit den Dozierenden in Dialog.
3. Optimierungsfunktion: die Evaluation soll Erkenntnisse liefern, die zur zielgerichteten Verbesserung des Unterrichts bzw. der Lehre beitragen: „evaluation’s most important purpose is not to prove but to improve“ (Stufflebeam 2000).
4. Entscheidungsfunktion: diese bietet die Möglichkeit, verschiedene Evaluationsgegenstände zu unterscheiden und auf dieser Grundlage die Implementierung oder Weiterentwicklung fortzusetzen oder abzubrechen. Das Evaluationsteam sollte die Ergebnisse zu einer Praxisempfehlung verdichten, die auf Grundlage einer unabhängigen wissenschaftlichen Bewertung gründet, die jedoch allenfalls eine Entscheidungshilfe darstellen kann (Döring and Bortz 2016).
5. Legitimationsfunktion: Entwicklung und Durchführung einer Intervention, Kontrolle sowie Legitimation nach Außen (Stockmann 2000).

Übertragen auf die vorliegende Arbeit bedeutet dies, dass die Eignung der 3D-gedruckten Zähne als Unterrichtsmaterial aus der Sichtweise der Studierenden beurteilt wird (Erkenntnisfunktion). Ferner können die Evaluationsergebnisse Aufschlüsse über mögliche Änderungen im didaktischen Design des Unterrichts, Vor- und Nachteile der Verwendung der 3D-gedruckten Zähne gegenüber extrahierten echten Zähnen bzw. den bisher zur Übung verwendeten Plexiglasblöcken liefern und Anlass für eine flächendeckende Implementierung geben (Optimierungs- und Entscheidungsfunktion). Die Evaluation der 3D-gedruckten Zähne durch die Studierenden kann den Prozess des Lernens und dessen Wirksamkeit im Sinne des Lernerfolgs widerspiegeln (Lernfunktion). Hierbei ist von einem Austausch zwischen Studierenden und Dozierenden zu dem 3D-gedruckten Zahn auszugehen (Dia-

---

<sup>2</sup> Das Evaluationsobjekt bezeichnet den Untersuchungsgegenstand, auf den sich eine Evaluation bezieht.

<sup>3</sup> Z.B. Studienteilnehmende und Patient/innen.

logfunktion). Die Validierung des Fragebogens strebt eine langfristige Implementierung dieses und insbesondere auch eine Etablierung der 3D-gedruckten Zähne an (Legitimationsfunktion).

Evaluation beabsichtigt eine wissenschaftlich fundierte, unabhängige Bewertung von Produkten, Maßnahmen oder Gegenständen hinsichtlich verschiedener Bewertungskriterien, etwa Effektivität, Effizienz, Akzeptanz oder Nachhaltigkeit, die als Stütze für Entscheidungen pro bzw. kontra einer entsprechenden Maßnahme überzeugend begründet werden (Scriven 1972, Döring and Bortz 2016). Aus diesem Grund wird als Forschungsfrage dieser Studie die Akzeptanz der 3D-gedruckten Zähne im konkreten Vergleich mit den bisherigen Übungsmodellen (Plexiglasblock, echte Zähne) gewählt.

Die Ergebnisse der Evaluation sollen dazu dienen, Hinweise für die Verbesserung von Maßnahmen und Produkten zu geben. Des Weiteren stellen sie eine Entscheidungshilfe über die Nutzung oder Nichtnutzung bzw. über die Weiterführung einer Intervention dar (Döring and Bortz 2016). Somit soll die studentische Lehre durch den Einsatz von 3D-gedruckten Zähnen nachhaltig verbessert werden.

## 1.5 Fragebogenkonstruktion

Bei der Fragebogenkonstruktion lassen sich drei wesentliche Bereiche unterscheiden:

1. Entwicklung des Fragebogens;
2. Empirische Überprüfung des Fragebogens;
3. Normierung<sup>4</sup> und/oder Cut-Off-Wert-Ermittlung<sup>5</sup> der endgültigen Fragebogenversion (Bühner 2011).

Die ersten beiden Punkte werden in der vorliegenden Arbeit adressiert. Da der Schwerpunkt dieser Arbeit auf der Erlangung allgemeiner Erkenntnisse und weniger auf einzelnen Personen und deren Einordnung ins Kollektiv liegt, soll der dritte Punkt Teil zukünftiger Untersuchungen sein.

1. Als erstes fand die Entwicklung des Fragebogens statt, wobei folgende Punkte berücksichtigt wurden:

---

<sup>4</sup> Zur Normierung werden Testergebnisse einer Eichstichprobe in Normtabellen zusammengefasst, um Vergleichswerte zur normierten Testwertinterpretation zu gewinnen (Moosbrugger and Kelava 2012).

<sup>5</sup> Der Cut-Off-Wert bezeichnet den Schwellenwert einer Merkmalsausprägung. Unter- oder überschreitet die Merkmalsausprägung eines Merkmalsträgers diesen Grenzwert, wird diese Person jeweils einer anderen Gruppe zugeordnet (Moosbrugger and Kelava 2012).

- Festlegen der Zielgruppe: diese stand a priori fest, es folgte lediglich die Überlegung, welche Kovariaten eine Rolle spielen könnten. Kovariaten bezeichnen Variablen wie zum Beispiel das Geschlecht, die zum Zeitpunkt der Erhebung unveränderlich sind, sich aber auf das Ergebnis auswirken könnten. Ein prominentes Beispiel ist die Mathematikleistung in Abhängigkeit des Migrationshintergrundes bei den PISA-Studien (Entorf and Minoiu 2004). Um die Notwendigkeit der Verwendung einer Kovariate zu ermitteln, wurden die Ergebnisse der Evaluation systematisch analysiert. Darüber hinaus lag der Fokus der Studie nicht auf leistungsdeterminierenden Faktoren bei der Arbeit mit Zähnen, sondern im Vergleich unterschiedlicher Übungsmodelle als UnterrichtsmEDIUM.
- Wahl des Itemformats<sup>6</sup>: bei der Wahl des Item- bzw. Fragenformats galt es zu definieren, welche Arten von Fragen bei der Konstruktion des Fragebogens aufgenommen werden. Es wurden sowohl gebundene als auch freie Antwortformate in die Erhebung integriert. Bei den gebundenen Antwortformaten wurden sowohl das semantische Differential als auch die Likert-Skala verwendet.
- Zunächst wurde ein fünfstufiges semantisches Differential realisiert. Im Rahmen der Ergebnisauswertung sollte überprüft werden, ob die Studierenden diese Differenzierung leisten konnten.

Es gibt mehrere Aspekte bei der Formulierung von Items zu beachten: keine Begriffe mit mehreren Bedeutungen, keine doppelten Verneinungen, keine negativ gepolten Items, keine Verallgemeinerungen, keine Abkürzungen und die Definition von Fremdwörtern (Moosbrugger and Kelava 2012). Dies wurde in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt. Da alle Begriffe auf die Zielgruppe adaptiert und damit geläufig waren, war eine Definition von Fremdwörtern nicht notwendig.

2. Bei dem entwickelten Fragebogen handelte es sich um ein Messinstrument zur Evaluation. Die Evaluation in Form des Fragebogens war hierbei wie ein psychologischer Test zu betrachten, weshalb die empirische Überprüfung des Testentwurfs folgende drei **Hauptgütekriterien** berücksichtigte:

---

<sup>6</sup> Unter Items versteht man einzelne Fragen eines Fragebogens.

- Objektivität

Unter Objektivität versteht man den Grad, in dem die Ergebnisse eines Tests unabhängig vom Untersucher bzw. der Untersucherin sind. Es wird die Durchführungsvon der Auswertungs- und Interpretationsobjektivität unterschieden (Bühner 2011). Die Durchführungsobjektivität fordert, dass durch eindeutige Instruktionen die Durchführungsbedingungen des Tests für die Teilnehmenden bei jeder Testung gleich sind. Dies wurde in der vorliegenden Studie dadurch berücksichtigt, indem jedes Mal derselbe Ablauf gewährleistet wurde. Die Auswertungsobjektivität gibt vor, dass die Auswertung der Fragebögen unabhängig von den Auswertenden ist. Dies war in der vorliegenden Studie dadurch gesichert, dass die Umfragen durch EvaSys® (Electric Paper Evaluations Systeme GmbH, Lüneburg, Deutschland) elektronisch ausgewertet wurden. Von EvaSys® nicht eindeutig erkannte Antwortfelder wurden manuell ausgewertet. Die Interpretationsobjektivität beschreibt, dass unterschiedliche Auswertenden zur gleichen Beurteilung der Testergebnisse kommen. Dies sollte in der vorliegenden Studie durch eine ausreichend große Normstichprobe gewährleistet werden.

- Validität

Validität bezeichnet den Umstand, ob wirklich das gemessen wird, was man zu messen vorgibt. Es werden drei Validitätsarten unterschieden: Inhaltsvalidität, Kriteriumsvalidität und Konstruktvalidität.

Die Inhaltsvalidität gibt vor, dass ein Test bzw. ein Testitem das zu messende Merkmal auch wirklich bzw. ausreichend erfasst. Sie wird in der Regel „aufgrund logischer und fachlicher Überlegungen“ bestimmt und „mit oder ohne Einschränkungen akzeptiert oder verworfen“ (Michel and Conrad 1982). Zur Wahrung der Inhaltsvalidität waren bei der Erstellung des Fragebogens ein Expertenteam, bestehend aus einer Professorin der Medizindidaktik, einem Professor der Zahnerhaltung, zwei Psychologinnen (Diplom & Bachelor of Science) sowie einem Assistenzarzt der Zahnerhaltung beteiligt, die gemeinsam übungskritische Aspekte beim Üben mit Zähnen identifizierten. Die Generierung einer repräsentativen Anzahl von Items wurde ebenfalls berücksichtigt. Die Kriteriumsvalidität schafft einen Zusammenhang aus der Testleistung mit einem oder mehreren Kriterien (z.B. Leistungsnachweis). In diese Studie flossen zur Überprüfung der Kriteriumsvalidität Leistungsdaten in Form der Ergebnisse der manuellen Testate sowie einer Klausur ein. Die Konstruktvalidität trifft

Aussage darüber, wie angemessen ein Test das erfasst, was er zu messen beansprucht (Bühner 2011). Eine Unterkategorie der Konstruktvalidität stellt die differenzielle Validität dar, die Gruppenunterschiede untersucht. In der vorliegenden Studie wurden die Antworten der Leistungsgruppen miteinander verglichen, um somit Divergenzen zwischen den einzelnen Gruppen festzustellen.

- Reliabilität

Reliabilität beschreibt den Grad der Genauigkeit, mit dem ein Test ein bestimmtes Merkmal misst, unabhängig davon, ob er dieses Merkmal auch zu messen beansprucht (Bühner 2011). Es wird die interne Konsistenz von der Retest-Reliabilität bzw. Stabilität sowie der Paralleltestreliabilität bzw. Äquivalenz unterschieden.

In der vorliegenden Studie wurden die interne Konsistenz und die Retest-Reliabilität betrachtet. Als Maß für die interne Konsistenz diente Cronbachs  $\alpha^7$ . Die Retest-Reliabilität beschreibt, dass der Test zu zwei verschiedenen Testzeitpunkten durchgeführt und miteinander verglichen wird. Hierfür wurden die Daten der einzelnen Semester im Rahmen der Validierungsstudie miteinander in Bezug gesetzt.

## 1.6 Hypothesen

Das Erlernen der Fertigkeit, eine Behandlung von Wurzelkanälen durchzuführen, stellt eine Kernkompetenz in der zahnmedizinischen Ausbildung dar. Sie gilt als wesentliche Grundlage für die zukünftige Patientenbehandlung. Vor dem Hintergrund der neu eingeführten 3D-gedruckten Zähne stellt sich die Frage, inwieweit Studierende durch den Einsatz dieser in ihrer Ausbildung profitieren.

Hierzu sollte im Rahmen der prospektiven Evaluationsstudie ein passender Fragebogen entwickelt, psychometrisch getestet und validiert werden. Inhaltliches Ziel war es, die Vor- und Nachteile 3D-gedruckter Zähne für den zahnmedizinischen Unterricht, insbesondere im Vergleich zu extrahierten Zähnen, zu erheben und Verbesserungsmöglichkeiten für 3D-gedruckte Zähne zu eruieren. Es wurde untersucht, ob das Abschneiden in den praktischen Testaten und der Klausur signifikanten Einfluss auf die Beantwortung der Items nahm.

---

<sup>7</sup> Cronbachs  $\alpha$  stellt einen Koeffizienten für die interne Konsistenz dar. Er berechnet sich durch die Korrelation der Items untereinander (Cronbach 1951).

Neben der Testung des Fragebogens auf Objektivität, Validität und Reliabilität sind Gegenstand dieser Studie folgende Hypothesen:

1. Hypothese (H1): Studierende bewerten die Eigenschaften des 3D-gedruckten Zahns im Vergleich zum echten Zahn gleich wie die Eigenschaften des Plexiglasblocks im Vergleich zum echten Zahn.
2. Hypothese (H2): Studierende bewerten den Lernprozess zur Präparation von Wurzelkanälen nach dem Üben mit dem 3D-gedruckten Zahn gleich wie nach dem Üben mit dem echten Zahn.
3. Hypothese (H3): Basierend auf den Ergebnissen der praktischen Testate und der Klausur sind signifikante Unterschiede in der Beantwortung der quantifizierbaren Items zwischen den Leistungsgruppen (High, Medium und Low Performer) festzustellen.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Studiendesign

Die prospektive Studie wurde an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg in Zusammenarbeit des Instituts für Medizinische Lehre und Ausbildungsforschung und der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie während des Phantomkurses der Zahnerhaltungskunde (einschließlich Parodontologie) durchgeführt. Der Phantomkursus der Zahnerhaltungskunde (einschließlich Parodontologie) untersteht in der Durchführung einem leitenden Oberarzt (Privatdozent) und wird zusammen mit seinem Team von Assistenzärztinnen und Assistenzärzten sowie einem Oberarzt betreut. Der Fokus des Kurses liegt dabei auf der Ausbildung in den Bereichen Präparationsübungen, Füllungen sowie Endodontologie (Abbildung 2). Das Erlernen der Wurzelkanalbehandlung erstreckt sich über das gesamte Semester. Der theoretische Hintergrund zur praktischen Arbeit wird in Vorlesungen vermittelt. Die gelernten manuellen Fertigkeiten und theoretischen Fähigkeiten werden anhand von praktischen Testaten bzw. Klausuren geprüft.

Die Datenerhebung fand in drei aufeinanderfolgenden Semestern statt. Die erste Kohorte (Wintersemester 2017/18) wurde als Pilotierungsstudie, die zweite und dritte Kohorte (Sommersemester 2018 und Wintersemester 2018/19) als Validierungsstudie betrachtet. Wo es statistisch möglich war, wurden die Daten zusammengeführt.

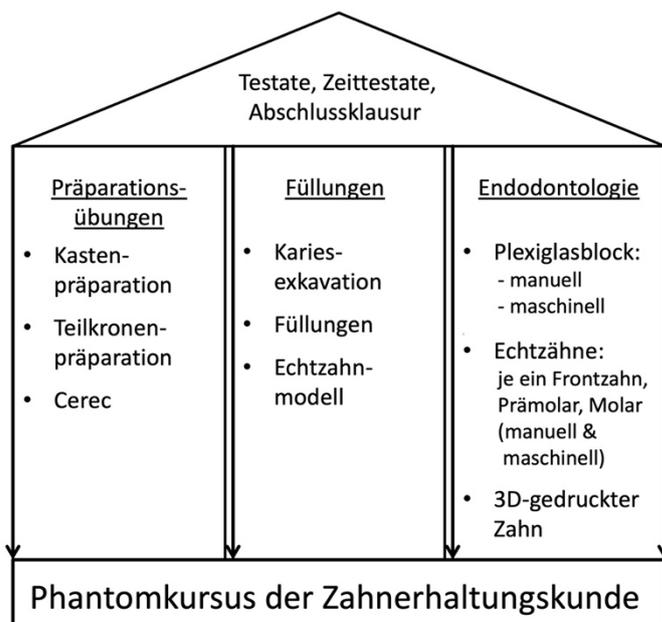


Abbildung 2: Aufbau Phantomkursus der Zahnerhaltungskunde

## **2.2 Organisation und Durchführung**

In allen Semestern wurden die Studierenden vor der Ausbildung an den 3D-gedruckten Zähnen detailliert über die Studie informiert. Alle Studierenden erhielten eine Informationsschrift sowie die Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Studie (Anhang 7.1). Besonders wurde betont, dass die Teilnahme an der Studie freiwillig ist und den Studierenden keinerlei Nachteile entstehen, wenn sie nicht teilnehmen. Die unterschriebenen Einwilligungserklärungen wurden eingesammelt und stellten die Voraussetzung zur Aufnahme in die Studie dar. Mit der Einwilligungserklärung bestätigten die Studierenden, dass sowohl die Leistungsdaten (Klausur- und Testatergebnisse) als auch die Angaben des ausgefüllten Fragebogens für die Studie verwendet werden durften. Nach vollständiger Erhebung der Daten führte der Studienleiter die Leistungsdaten mit den Fragebogenergebnissen anhand eines Pseudonyms zusammen und löschte das Zuordnungsmerkmal. Im weiteren Verlauf erfolgte die Auswertung lediglich am anonymisierten Datensatz.

### **2.2.1 Pilotierungsstudie – Wintersemester 2017/18**

Das Erlernen der Wurzelkanalbehandlung fand zunächst an ein- und zweiwurzigen Plexiglasblöcken sowie im Anschluss an extrahierten echten Zähnen sowohl manuell als auch maschinell statt. Danach folgte die Aufklärung der Studierenden über die Studie, bevor diese mit der Aufbereitung der 3D-gedruckten Zähne beginnen konnten. Nach abgeschlossener Bearbeitung der 3D-gedruckten Zähne erfolgte die Befragung der Studierenden mittels des Fragebogens. Praktische Testate zur manuellen und maschinellen Aufbereitung fanden anhand des einwurzigen Plexiglasblocks statt. Das theoretische Wissen zu den praktischen Fertigkeiten wurde mittels einer Multiple-Choice-Klausur (MC-Klausur) überprüft.

### **2.2.2 Validierungsstudie – Sommersemester 2018 und Wintersemester 2018/19**

In der Validierungsstudie waren die Reihenfolge der Übungsmodelle zum Erlernen der Wurzelkanalbehandlung, die Aufklärung der Studierenden über die Studie, die Befragung mittels des Fragebogens und die Erhebung der Leistungsdaten identisch zur Pilotierungsstudie.

## 2.3 Fragebogenentwicklung

### 2.3.1 Pilotierungsstudie

Zusammen mit dem zuvor genannten Expertenteam und dem Verfasser der Dissertationsschrift wurde der Fragebogen der Pilotierungsstudie erstellt (Anhang 7.2). Der Fragebogen erfasste in acht unterschiedlichen Dimensionen die Bewertung der Übungsmodelle sowie persönliche Informationen der Studierenden (Tabelle 1). Zur Beantwortung der Items standen den Studierenden Antwortmöglichkeiten mit fünfstufiger Likert-Skala, fünfstufigem semantischen Differential und offenen Fragen zur Verfügung. Die fünfstufige Likert-Skala reichte dabei von 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft voll zu“. Es bestand die Möglichkeit, keine Angabe zu tätigen, was mit 0 gewertet wurde. Die linke Antwortmöglichkeit des semantischen Differentials wurde mit 1, die rechte Antwortmöglichkeit mit 5 und die mittlere „identische“ Antwortmöglichkeit mit 3 gewertet. Beim Geschlecht wurde „weiblich“ mit 1 und „männlich“ mit 2 gewertet. Konnte eine zuvor abgeschlossene Ausbildung im zahntechnischen Bereich bejaht werden, wurde dies mit 1 gewertet; im Falle einer Verneinung wurde dies mit 2 gewertet. Die Auswertung der offenen Fragen fand auf qualitativer Basis statt. Der Fragebogen wurde mittels EvaSys® angelegt, die Umfrage erfolgte papierbasiert.

Tabelle 1: In Dimensionen unterteilter Fragebogen der Pilotierungsstudie

<b>Personendaten</b>	
2.1 Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an.	weiblich <input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/>
2.2 Bitte geben Sie Ihr Alter an.	_____
2.3 Haben Sie vor dem Zahnmedizinstudium eine Ausbildung im zahntechnischen Bereich abgeschlossen?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
2.4 Wenn ja, welche?	_____
<b>Voraussetzungen</b>	<div style="display: flex; justify-content: space-between; text-align: center;"> <span>trifft gar nicht zu</span> <span>trifft wenig zu</span> <span>trifft teilweise zu</span> <span>trifft ziemlich zu</span> <span>trifft voll zu</span> <span>keine Angabe</span> </div>
2.5 Die zahntechnische Arbeit in den vorklinischen Kursen fiel mir leicht.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2.6 Ich habe große Freude an den praktischen Inhalten des Studiums der Zahnmedizin.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2.7 Ich schätze meine manuellen Fertigkeiten als sehr gut/hoch ein.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2.8 Ich hatte Schwierigkeiten, Echtzähne in externen Praxen bzw. Kliniken zu besorgen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2.9 Ich hatte im Verlauf des vergangenen Kurses genügend geeignete Echtzähne für die geplanten Übungen zur Verfügung.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<b>Eigenschaften im Vergleich von 3D gedrucktem Zahn zu echtem Zahn</b>	
Meiner Meinung nach gilt, dass der Druckzahn <sup>8</sup> im Vergleich zum Echtzahn <sup>9</sup> ...	

<sup>8</sup> Druckzahn bezeichnet den 3D-gedruckten Zahn.

<sup>9</sup> Echtzahn bezeichnet den extrahierten echten Zahn.

		identisch		
3.1	härter ist.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	weicher ist.	
3.2	stärker röntgenopak ist.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	weniger röntgenopak ist.	
3.3	weitere Wurzelkanäle hat.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	engere Wurzelkanäle hat.	
3.4	besser geeignet zum Üben ist.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schlechter geeignet zum Üben ist.	
3.5	fairer für Prüfungen ist.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unfairer für Prüfungen ist.	
3.6	besser geeignet für praktische Prüfungen ist.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schlechter geeignet für praktische Prüfungen ist.	
3.7	einfacher in der Handhabung ist.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	aufwändiger in der Handhabung ist.	
Der Druckzahn verfügt über...				
3.8	eine gute Farbdiskriminierung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	eine schlechte Farbdiskriminierung	
3.9	eine realitätsnahe Konsistenz des Pulpainhaltes	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	keine realitätsnahe Konsistenz des Pulpainhaltes	
3.10	sichtbare anatomische Landmarken	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	keine sichtbaren anatomischen Landmarken	
3.11	eine nachvollziehbare Wurzelkanalmorphologie	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	keine nachvollziehbare Wurzelkanalmorphologie	
3.12	einen realitätsnahen taktilen Eindruck beim Präparieren	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	keinen realitätsnahen taktilen Eindruck beim Präparieren	
<b>Eigenschaften im Vergleich von Plexiglasblock zu echtem Zahn</b>				
Meiner Meinung nach gilt, dass der Plexiglasblock im Vergleich zum Echtzahn...				
		identisch		
4.1	härter ist.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	weicher ist.	
4.2	stärker röntgenopak ist.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	weniger röntgenopak ist.	
4.3	weitere Wurzelkanäle hat.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	engere Wurzelkanäle hat.	
4.4	besser geeignet zum Üben ist.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schlechter geeignet zum Üben ist.	
4.5	fairer für Prüfungen ist.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unfairer für Prüfungen ist.	
4.6	besser geeignet für praktische Prüfungen ist.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schlechter geeignet für praktische Prüfungen ist.	
4.7	einfacher in der Handhabung ist.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	aufwändiger in der Handhabung ist.	
Der Plexiglasblock verfügt über...				
4.8	eine nachvollziehbare Wurzelkanalmorphologie	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	keine nachvollziehbare Wurzelkanalmorphologie	
4.9	einen realitätsnahen taktilen Eindruck beim Präparieren	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	keinen realitätsnahen taktilen Eindruck beim Präparieren	
<b>Subjektives Lernergebnis</b>				
			trifft gar nicht zu	
			trifft wenig zu	
			trifft teilweise zu	
			trifft ziemlich zu	
			trifft voll zu	
				keine Angabe
5.1	Mein subjektiver Lernerfolg nach der Arbeit mit den Druckzähnen war im Vergleich zur Arbeit mit dem Echtzahn deutlich höher.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
5.2	Mein subjektiver Lernerfolg nach der Arbeit mit den Druckzähnen war im Vergleich zur Arbeit mit dem Plexiglasblöckchen deutlich höher.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
5.3	Das Üben mit dem Echtzahn ist im Vergleich zu den Druckzähnen sehr ähnlich.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
5.4	Jetzt nach dem Kurs fühle ich mich richtig fit in der Behandlung von Wurzelkanälen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
<b>Übungsmöglichkeiten</b>				
			trifft gar nicht zu	
			trifft wenig zu	
			trifft teilweise zu	
			trifft ziemlich zu	
			trifft voll zu	
				keine Angabe



## 2.4 Übungsmodelle für die Wurzelkanalbehandlung

### 2.4.1 Plexiglasblock

Das Erlernen der Wurzelkanalbehandlung erfolgte im Phantomkursus der Zahnerhaltungskunde (einschließlich Parodontologie) anfänglich an einwurzeligen (Flex Master Übungsblock, V040245, VDW, München, Deutschland/ Abbildung 3) und zweiwurzeligen (Wurzelkanal-Studienmodell ohne klinische Krone, S1-U4, J. Morita, Tokyo, Japan) Plexiglasblöcken. Diese transparenten Blöcke sind aus Kunststoff, haben keine klinische Krone und weisen ungefärbte Wurzelkanäle auf. Diese mussten von den Studierenden zunächst manuell mittels Handfeilen (u.a. Kerr-/Hedström-Feilen) und anschließend an neuen Plexiglasblöcken maschinell aufbereitet werden. Die Arbeitsschritte unterteilten sich dabei in die IAF<sup>10</sup>, die MAF<sup>11</sup>, die FF<sup>12</sup>, die Ca(OH)<sub>2</sub>-Einlage<sup>13</sup>, den Masterpoint<sup>14</sup>, die Wurzelkanalfüllung und deren Röntgenkontrolle und waren den ärztlichen Kursbetreuenden vorzuzeigen und von diesen zu testieren. Die Wurzelkanäle wurden mittels AH Plus® (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) und Guttapercha gefüllt. Abhängig von der Qualität der einzelnen Schritte der Wurzelkanalbehandlung wurde den Studierenden die erfolgreiche Durchführung durch die ärztliche Kursbetreuung bestätigt oder der Arbeitsschritt musste wiederholt werden. Im Anschluss fand nach dem gleichen Vorgehen die maschinelle Wurzelkanalbehandlung statt, wobei hier die MAF und Kanalaufbereitung zeitgleich testiert wurden. Den Studierenden standen dabei der Endomotor Silver Reciproc (VDW, München, Deutschland) sowie X-Smart Plus (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) zur Verfügung. NiTi-Feilen<sup>15</sup> (u.a. Reciproc®, Reciproc blue®; beide VDW, München, Deutschland und WaveOne GOLD®; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) wurden für die Aufbereitung in den Größen ISO 25 und 40 verwendet. Die Feilen wurden mit dem Reciproc-Programm des Endo-

---

<sup>10</sup> IAF = Initial Apical File, stellt das Wurzelkanalinstrument dar, das ohne Aufbereitung des Wurzelkanals die Arbeitslänge erreicht und im apikalen (zur Wurzelspitze hin) Bereich klemmt.

<sup>11</sup> MAF = Master Apical File, stellt das Wurzelkanalinstrument dar, mit dem die apikale Präparation beendet wird.

<sup>12</sup> FF = Finale File, sie wird mittels Step-back-Technik erzielt und kommt nur bei der manuellen Aufbereitung zur Anwendung. Der Wurzelkanal wird durch die Verwendung größerer ISO-Größen der Feilen konischer. Pro ISO-Größe wird das Instrument 1 mm kürzer als die MAF in den Kanal eingeführt. Die FF sollte drei bis vier ISO-Größen größer sein als die MAF.

<sup>13</sup> Ca(OH)<sub>2</sub> = Calciumhydroxid-Einlage, wurde nur bei der maschinellen Aufbereitung verwendet.

<sup>14</sup> Masterpoint = Wurzelfüllstift, der die Arbeitslänge erreicht und apikal leicht klemmt (sog. „tug-back“).

<sup>15</sup> NiTi-Feilen = Nickel-Titan-Feilen.

motors betrieben und waren vor der Behandlung durch den Motor zu kalibrieren. Die jeweiligen Arbeitsschritte mussten erneut den ärztlichen Kursbetreuenden zur Überprüfung vorgelegt werden.

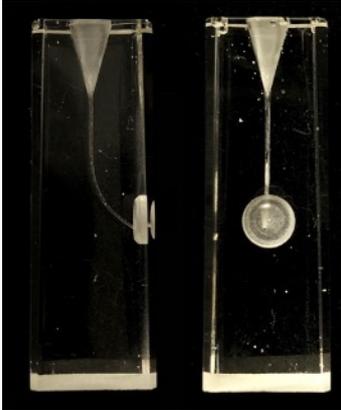


Abbildung 3: Plexiglasblock (Flex Master Übungsblock)

#### 2.4.2 Extrahierte Zähne

Das Erlernen der Wurzelkanalbehandlung fand auch an extrahierten echten Zähnen statt. Pro Person wurden hierfür mindestens zwei Frontzähne, zwei Prämolaren und zwei Molaren benötigt, jeweils ein Zahn für die manuelle und ein Zahn für die maschinelle Aufbereitung. Die Studierenden mussten sich um die Beschaffung der extrahierten echten Zähne selbst kümmern. Diese konnten nicht käuflich erworben werden. Es bedurfte der Zuarbeit von zahnmedizinischen Praxen, die extrahierte Zähne für die spätere Verwendung im Phantomkursus der Zahnerhaltungskunde (einschließlich Parodontologie) aufbewahrten. Die Extraktion eines Zahns stellt meist die letzte Therapiemöglichkeit dar, weshalb die Qualität der extrahierten Zähne variiert. Bei einer durchschnittlichen Teilnahme von 40 bis 50 Studierenden am Phantomkursus der Zahnerhaltungskunde (einschließlich Parodontologie) pro Semester wurden somit mindestens 250 bis 300 extrahierte echte Zähne für die endodontische Ausbildung benötigt.

Zu Beginn mussten die Studierenden ein Ausgangsröntgenbild für jeden Zahn anfertigen und bewerten, ob dieser für den Kurs geeignet war. Bereits wurzelkanalbehandelte Zähne, stark gekrümmte Kanäle oder große kariöse Läsionen an der Wurzel stellten eine Kontraindikation für die Verwendung im Kurs dar. Die geeigneten Zähne wurden den Studierenden von den ärztlichen Kursbetreuenden nach Kontrolle des Ausgangsröntgenbilds testiert. Zur

Simulation möglichst realer Bedingungen der Wurzelkanalbehandlung wurde jeder der extrahierten echten Zähne in eine Halterung für den Phantomkopf überführt. Mittels SR Ivoclar (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein), einem kalthärtenden Kunststoff, wurden die extrahierten echten Zähne in die Halterung eingebettet, welche dann am Phantomkopf verankert werden konnte (Abbildung 4). Jeder Arbeitsschritt der Wurzelkanalbehandlung wie das Ausgangsröntgenbild, der endodontische Zugang, die Überprüfung des Gleitpfads, die NMA<sup>16</sup>, die MAF und FF<sup>17</sup> bzw. maschinelle Kanalaufbereitung, der Masterpoint, die Wurzelkanalfüllung und deren Röntgenkontrolle musste den ärztlichen Kursbetreuenden vorgezeigt und von diesen attestiert werden. Die verwendeten Materialien und Instrumente zur Aufbereitung und Füllung waren identisch zur Aufbereitung der Plexiglasblöcke. Zur Simulation realer Bedingungen wurde bei dem maschinell aufbereiteten Molaren die Ca(OH)<sub>2</sub>-Einlage provisorisch mit Cavit G<sup>18</sup> (3M Deutschland GmbH, Neuss, Deutschland) und IRM<sup>19</sup> (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) verschlossen. Dieses wurde danach wieder von den Studierenden entfernt, die Kanäle gespült und mit dem Anpassen des Masterpoints begonnen. Zuletzt fand die Endabnahme aller wurzelkanalbehandelter Zähne der Studierenden durch die Kursleitung statt. Falls die Kanalaufbereitung und Füllung nicht qualitativ zufriedenstellend waren, musste die jeweilige Arbeit wiederholt werden.



Abbildung 4: Echtzahnmodell für endodontische Ausbildung

---

<sup>16</sup> NMA = Nadelmessaufnahme, ist ein Röntgenbild zur Bestimmung der Kanallänge des Wurzelkanals mittels der IAF. Zur röntgenologischen Darstellung sollte die IAF mindestens ISO Größe 15 besitzen.

<sup>17</sup> MAF und FF nur bei der manuellen Aufbereitung.

<sup>18</sup> Cavit G ist eine provisorische Verschlussmasse.

<sup>19</sup> IRM steht für *Intermediate Restorative Material*, ein temporäres Füllungsmaterial.

### 2.4.3 3D-gedruckter Zahn

Als 3D-gedruckter Zahn wurde ein von der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie selbstdesignter Prämolare verwendet (Abbildung 5). Ein Micro-CT-Datensatz eines ersten Unterkiefer-Prämolaren mit einem Wurzelkanalsystem vom Vertucci-Typ I<sup>20</sup> diente als Grundlage für das Design (Yushkevich, Piven et al. 2006). Der Datensatz wurde in einen STL-Datensatz<sup>21</sup> konvertiert und anschließend erfolgte die Modifikation des Wurzelkanalsystems mittels ITK Snap (Open Source, V3.6.0, 3D-Bildsegmentierungssoftware) und Blender (Open Source, 3D-Grafiksoftware) zu einem Vertucci-Typ V (Vertucci 1984). Der 3D-gedruckte Zahn wies damit die Besonderheit auf, dass sich der Hauptkanal im mittleren Drittel der Wurzel in einen zweiten lingualen Wurzelkanal aufzweigte. Dabei handelt es sich um eine häufig vorkommende Morphologie des ersten Unterkiefer-Prämolaren (Liu, Li et al. 2013). Nach dem Pilotdruck am klinikeigenen Stereolithografie-3D-Drucker (Form 2, Formlabs, Somerville, USA), wurde der definitive Druck im MJM-Druckverfahren<sup>22</sup> (3D medical print, Labor Lenzing, Österreich) durchgeführt. Im Wintersemester 2017/18 und Sommersemester 2018 wurden die 3D-gedruckten Zähne durch das externe Labor gedruckt. Seit dem Wintersemester 2018/19 wurden die 3D-gedruckten Zähne durch den klinikeigenen 3D-Drucker (Objet 30 Dental Prime, Stratasys, Eden Prairie, Minnesota, USA) im MJM-Druckverfahren mit dem Material VeroWhitePlus sowie dem Stützmaterial SUP705 (beide Stratasys, Eden Prairie, Minnesota, USA) hergestellt. Das Vorgehen der Aufbereitung durch die Studierenden war dabei gleich dem Vorgehen bei den extrahierten echten Zähnen. Vor der Behandlung mussten die Studierenden die 3D-gedruckten Zähne in die Halterung für den Phantomkopf mittels SR Ivolen (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) einbetten. Anschließend folgte das Ausgangsröntgenbild, der endontische Zugang, die NMA, die MAF, die FF und der Masterpoint. Das Füllen des Kanals war nicht Bestandteil der Bearbeitung des 3D-gedruckten Zahns. Die einzelnen Schritte wurden wiederum durch die ärztlichen Kursbetreuenden testiert. Zur Validierungsstudie wurde der Wurzelkanaldurchmesser des 3D-gedruckten Zahns leicht minimiert, vergleichbar einem obliterierten Wurzelkanal. Dadurch wurde überprüft, ob das angepasste Merkmal mittels des Fragebogens messbar war und ob dadurch die Härte des 3D-gedruckten Zahns höher eingeschätzt wurde.

---

<sup>20</sup> Die Klassifikation nach Vertucci teilt unterschiedliche Wurzelkanalmorphologien in verschiedene Typen ein (Vertucci 1984).

<sup>21</sup> STL-Datensatz = Stereolithographie-Datensatz, bezeichnet ein Dateiformat für den 3D-Druck (Kai, Jacob et al. 1997).

<sup>22</sup> MJM-Druckverfahren = Multi Jet Modeling Druckverfahren.



Abbildung 5: 3D-gedruckter Zahn in verschiedenen Ansichten

Querschnitt (a), Querschnitt mit markierter Pulpa (b), frontal (c), lingual (d), mesial (e), distal (f), okkusal (g). Bild a und b von Stefan Keß.

## 2.5 Leistungsdaten

Die berücksichtigten Leistungsdaten standen im direkten Bezug zum Erlernen der Wurzelkanalbehandlung. Sie umfassten die manuellen Fertigkeiten in Form von zwei praktischen Testaten mit Zeitbegrenzung sowie die theoretischen Kenntnisse anhand einer Klausur. Basierend auf den Ergebnissen dieser drei Leistungserhebungen wurden die Studierenden für die Varianzanalyse in Leistungsgruppen eingeteilt.

### 2.5.1 Praktische Testate

Die erlernten Fertigkeiten der Studierenden zur Wurzelkanalbehandlung wurden in zwei Testaten mit Zeitbegrenzung überprüft. Beide Testate fanden am einwurzeligen Plexiglasblock statt. Die geforderte Arbeitslänge der Aufbereitung der Wurzelkanäle sollte einen Millimeter kürzer als die Kanallänge sein. Die Studierenden hatten vor dem Testat die Möglichkeit, die Kanallänge unter dem Mikroskop mit einer K-Feile (VDW, München, Deutschland) in der Größe 10/.02 zu überprüfen. Die Plexiglasblöcke wurden von den Studierenden mit ihrer Platznummer markiert und abgegeben, sodass diese den Studierenden zum Testat wieder zugeordnet werden konnten. Jeder einzelne Plexiglasblock wurde von den ärztlichen Kursbetreuenden unter dem Mikroskop (EZ4D, Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Deutschland) eingescannt (Abbildung 6). Die Auflösung der Bilder betrug 148,9 Pixel/mm bzw. 6,72  $\mu\text{m}/\text{Pixel}$  (Hofmann 2019). Eine spezielle Halterung mit Führungsschiene sollte die Reproduzierbarkeit der Aufnahmen gewährleisten. Anschließend wurden die Plexiglasblöcke zirkulär mit undurchsichtigem Klebeband beklebt, um eine Überprüfung der Aufbereitung durch die Studierenden während des Testats zu verhindern. Im ersten Testat mit Zeitbegren-

zung wurde eine manuelle Wurzelkanalaufbereitung durchgeführt, im zweiten eine maschinelle. Die Studierenden hatten jeweils 45 Minuten (manuelle Aufbereitung) bzw. 30 Minuten (maschinelle Aufbereitung) Zeit. Zum Spülen des Kanals wurde vor und während der Wurzelkanalaufbereitung Leitungswasser mit einer dünnen Kanüle in den Kanal gebracht. Nach der Bearbeitung wurden die Plexiglasblöcke eingesammelt, das Klebeband entfernt und erneut eingescannt (Abbildung 7). Die Qualität der Aufbereitung konnte unter Verwendung eines Bildanalyseprogramms (Sigma Scan Pro 5.0, SPSS, Chicago, IL, USA) bestimmt werden. Die Bewertung fand anschließend durch die Kursleitung statt. Studierenden, die das Testat nicht auf Anhieb bestanden hatten, wurden bis zu zwei Wiederholungsversuche unter denselben Zeit- und Bewertungskriterien gewährt.



Abbildung 6: Mikroskop (links) & Führungsschiene (rechts) zum Scannen

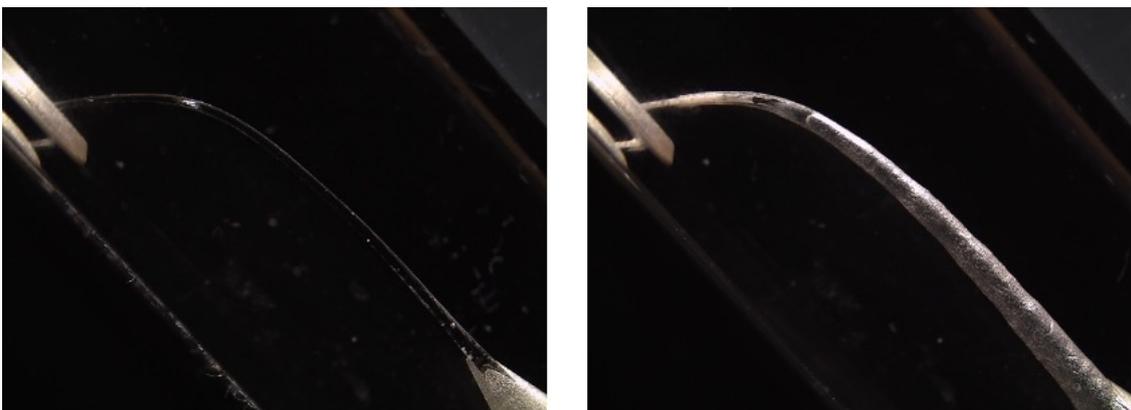


Abbildung 7: Plexiglasblock vor (links) und nach (rechts) der Bearbeitung

### 2.5.2 Klausur

Am Ende des Kurses fand eine Abschlussklausur über die Lehrinhalte der Vorlesungen sowohl der Zahnerhaltung als auch der Parodontologie statt. Bei dieser papierbasierten MC-Klausur entfielen 25 Fragen auf die Zahnerhaltung und 15<sup>23</sup> bzw. 20<sup>24</sup> Fragen auf die Parodontologie. Die Bearbeitungszeit pro Frage betrug zwei Minuten, also insgesamt 80 bzw. 90 Minuten. Richtig beantwortete Fragen wurden mit einem Punkt gewertet. Bei Fragen, bei denen mehrere Antwortmöglichkeiten richtig waren, wurde ein halber Punkt gewertet, wenn maximal ein Kreuz von der richtigen Antwort abwich. Pro Frage gab es vier bis fünf Antwortmöglichkeiten. Die Grenze zum Bestehen der Klausur lag bei 60% und entsprach somit 27 (Wintersemester 2017/18) bzw. 24 (Sommersemester 2018) Punkten. Im Wintersemester 2018/19 lag diese Grenze aufgrund einer geringeren Durchschnittsleistung der Studierenden bei 56,25% bzw. 22,5 Punkten. Der Kurs galt als nicht bestanden und musste wiederholt werden, wenn die Klausur in der ersten Wiederholung oder ein Testat mit Zeitbegrenzung in der zweiten Wiederholung nicht bestanden wurde. Ausschließlich Klausurergebnisse von Fragen aus der Zahnerhaltung gingen in die Auswertung der Studie ein, da diese im direkten Zusammenhang mit den praktischen Fertigkeiten zur Wurzelkanalbehandlung standen.

#### Klausurbeispielfrage:

In einem ersten Molar im Unterkiefer ist ein Kanal in der distalen Wurzel zu finden. Welche Tatsache(n) deutet/deuten darauf hin, dass sich in der distalen Wurzel ein zweiter Kanal befindet? (*KPrim-Frage*<sup>25</sup>)

- A) Bei der Nadelmessaufnahme liegt das Instrument exzentrisch im Kanal (*richtig*)
- B) Der Kanal ist klein und rund (*richtig*)
- C) Der Kanal hat einen anderen Querschnitt als die beiden in der mesialen Wurzel gefundenen Kanäle (*falsch*)
- D) Der Kanal liegt in bucco-lingualer Richtung im bukkalen Wurzeldrittel (*richtig*)

---

<sup>23</sup> 15 Fragen aus dem Gebiet der Parodontologie im Sommersemester 2018 und Wintersemester 2018/19.

<sup>24</sup> 20 Fragen aus dem Gebiet der Parodontologie im Wintersemester 2017/18.

<sup>25</sup> Bei KPrim-Fragen müssen die Studierenden jede Antwortmöglichkeit auf korrekte Aussage prüfen und dieser zustimmen oder diese ablehnen.

## 2.6 Statistik

Zunächst wurde der entwickelte Fragebogen psychometrisch getestet und für die Befragung im Rahmen der Validierungsstudie validiert. Es flossen die Daten der Studierenden ein, die der Studie zugestimmt, den ausgefüllten Fragebogen abgegeben sowie an der Klausur teilgenommen hatten. Darüber hinaus wurde der 3D-gedruckte Zahn im Vergleich zum Plexiglasblock und zum extrahierten echten Zahn evaluiert. Anschließend wurden Unterschiede in der Bewertung der Items, basierend auf der leistungsabhängigen Gruppeneinteilung, untersucht. Die statistische Analyse fand mittels IBM SPSS 25.0, 26.0 und 27.0 (IBM SPSS, Armonk, New York, USA) und R (R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich) statt. Das Signifikanzniveau wurde auf 5,00%, 1,00% und 0,10% gesetzt. Die statistische Berechnung erfolgte dabei für das Partial Credit Model (PCM) sowie die Person Item Map in Zusammenarbeit mit Frau Joy Backhaus, einer Psychologin (Bachelor of Science) des Instituts für Medizinische Lehre und Ausbildungsforschung.

### 2.6.1 Fragebogentestung

Für die deskriptive Itemanalyse wurden die Itemschwierigkeit, die Itemtrennschärfe und die Standardabweichung der Items bestimmt. Da sich die Standardabweichung unmittelbar aus der Varianz ableitet, die Metrik der ursprünglichen Werte jedoch behält und damit leichter interpretierbar ist, wurde auf die Varianz verzichtet (Moosbrugger and Kelava 2012).

Zur Überprüfung der Reliabilität wurde die interne Konsistenz nach Cronbach berechnet. In der klassischen Testtheorie soll die Itemtrennschärfe über 0,3 und der  $\alpha$ -Wert über 0,7 liegen (Nunally and Bernstein 1978, Möltner, Schellberg et al. 2006). Für Antworten des semantischen Differentials wurde die Itemschwierigkeit der probabilistischen Testtheorie berechnet, die zwischen +/- 2 liegen soll (Moosbrugger and Kelava 2012, Bond, Yan et al. 2020). Die Berechnung erfolgte mittels PCM, wobei die Thresholds die einzelnen Schwellen abbilden (Masters 1982, Strobl 2015). Dies erlaubte anhand der Schwellenparameter zu überprüfen, ob die Studierenden in der Lage waren, hinreichend zwischen den Polen zu differenzieren und die Skalen adäquat auszunutzen (Masters and Wright 1997). Bei einem gut differenzierten Itemformat steigen die Werte der Schwellen von links nach rechts, vom niedrigsten zum höchsten Wert; bei reversierten Schwellenparametern ist dies nicht der Fall (Bond, Yan et al. 2020). Die Itemschwierigkeit der probabilistischen Testtheorie lässt sich direkt auf

die Personenfähigkeit beziehen. Die Personenfähigkeit beeinflusst, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Item richtig beantwortet werden kann. Bei einer Personenfähigkeit, die gleich der Itemschwierigkeit ist, kann dieses Item zu 50% richtig von der Person gelöst werden (Moosbrugger and Kelava 2012). Zur Erzielung valider Schlüsse wurde die Stichprobengröße berechnet (Döring and Bortz 2016). Es wurde ein mittelgroßer Effekt mit Cohens  $\delta = 0,5$ <sup>26</sup>, eine  $\alpha$ -Fehler-Wahrscheinlichkeit von 0,05 und eine Teststärke von 0,95 angenommen. Somit ergab sich für die Pilotierungsstudie eine Stichprobengröße von 45 Studierenden und für die Validierungsstudie eine Stichprobengröße von 90 Studierenden.

### 2.6.2 Evaluation

Zur Überprüfung der **Hypothesen H1** und **H2** fand eine inhaltliche Analyse der Items auf Grundlage der deskriptiven Parameter statt. Die Mittelwerte (MW)  $\pm$  Standardabweichung (SA) sowie Minimum und Maximum der Auswertung der Variablen der Likert-Skalen wurden angegeben. Die Daten wurden quer- und längsschnittlich auf signifikante Unterschiede hin mittels t-Test<sup>27</sup> bzw. dem für nicht parametrisch verteilte Daten empfohlenen Welch-Test<sup>28</sup> untersucht (Brown and Forsythe 1974, Ruxton 2006, Kubinger, Rasch et al. 2009). Bei der querschnittlichen Betrachtung standen Gruppenunterschiede im Fokus, die Aufschluss über die differentielle Validität geben sollten. Die im nächsten Abschnitt beschriebene einfaktorische Varianzanalyse (ANOVA) sowie die einfaktorische Kovarianzanalyse (ANCOVA) bezogen hierfür die erhobenen Leistungsdaten in die Auswertung ein.

### 2.6.3 Varianzanalyse

Die Analyse schloss mit der Untersuchung der Leistungsdaten und Überprüfung der Validität und der **Hypothese H3** ab. Statistisch wurde hierfür eine ANOVA bzw. eine ANCOVA berechnet. Die einfaktorische ANOVA ermöglicht es, den Einfluss eines unabhängigen Faktors auf einen abhängigen Faktor zu betrachten (Bühner and Ziegler 2009). Im vorliegenden Fall war der Faktor die leistungsabhängige Einteilung in Gruppen mit den Merkmalen High,

---

<sup>26</sup> Der angenommene Effekt bzw. die Stärke hängt nach Cohen auch vom Untersuchungsgegenstand ab (Bortz and Schuster 2010). Cohen gibt als grobe anzunehmende Richtwerte für kleine Effekte  $\delta = 0,2$ , für mittelgroße Effekte  $\delta = 0,5$  und für große Effekte  $\delta = 0,8$  vor (Cohen 2013).

<sup>27</sup> Bei dem auf der t-Verteilung beruhenden t-Test handelt es sich um einen Signifikanztest, der zur Unterscheidung zwischen Mittelwerten eingesetzt wird (Sedlmeier and Renkewitz 2008).

<sup>28</sup> Beim Welch-Test handelt es sich um einen adaptierten t-Test, der zur Unterscheidung zwischen Mittelwerten eingesetzt wird. Im Vergleich zum t-Test weist der Welch-Test eine größere Reliabilität bei Stichproben mit ungleichen Varianzen oder ungleichen Gruppengrößen auf (Ruxton 2006).

Medium und Low Performer. Die abhängige Variable war die Beantwortung der Fragebogenitems. So wurde in Hypothese H3 überprüft, ob zwischen den Leistungsgruppen signifikante Unterschiede in der Beantwortung der quantifizierbaren Items festzustellen waren. Bei der ANCOVA wird eine weitere Variable in das Modell aufgenommen, die eventuell Einfluss auf die abhängige Variable hat – die sogenannte Kovariate. Mittels der ANCOVA wird sichergestellt, dass ein Effekt nicht auf eine dritte („störende“) Variable zurückzuführen ist. Durch Verwendung der Kovariate wird die Varianz innerhalb der Gruppe reduziert. Zur Ermittlung bzw. zum Ausschluss einer Kovariate wurden bei der Beurteilung der Übungsmodelle unabhängige, signifikante Unterschiede zwischen den Semestern der Validierungsstudie bestimmt und als Kovariate in die Berechnung aufgenommen. Als Post-hoc-Test wurde in beiden Studien der Scheffé-Test angewendet. Dieser ermöglichte die Untersuchung, zwischen welchen Leistungsgruppen signifikante Unterschiede in der Bewertung bestanden. Der Fragebogen konnte damit sowohl auf Kriteriumsvalidität (Leistungsdaten) als auch auf differentielle Validität (Gruppenunterschiede) als Teil der Konstruktvalidität untersucht werden.

## **2.7 Ethikantrag**

Das Studienprotokoll wurde der Ethik-Kommission mit der Antragsnummer 269/18 vorgelegt (Anhang 7.4 und 7.5). Auf dessen Grundlage beurteilte die Ethik-Kommission das beantragte Vorhaben als „Evaluierung von Lehrmethoden“, für welches kein Votum erforderlich ist. Es bestanden keine Bedenken gegen das Projekt. Zum Umgang mit den erhobenen Daten sollte zudem der behördliche Datenschutzbeauftragte eingebunden werden. Der Aufforderung wurde bereits vor der Beantragung auf Beratung bei der Ethik-Kommission nachgekommen.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Überblick über die Datenerhebung

In der Pilotierungsstudie wurde zunächst überprüft, ob der Fragebogen zur Beantwortung der Hypothesen geeignet, für das Studienkollektiv angemessen formuliert und passend zum Ablauf des Kurses konzipiert war. In der Validierungsstudie galt es, den auf die Ergebnisse der Pilotierungsstudie angepassten Fragebogen hinsichtlich der Gütekriterien zur Fragebogenkonstruktion zu überprüfen. Die Einschätzung der Studierenden zur Verwendung 3D-gedruckter Zähne in der endodontischen Ausbildung floss in die Überprüfung der Hypothesen (H1-H3) ein. Die Leistungsergebnisse der Testate und der Klausur wurden dabei berücksichtigt.

#### 3.2 Pilotierungsstudie

##### 3.2.1 Personendaten

Zur Charakterisierung der Studierenden der Pilotierungsstudie wurden Personendaten erhoben. An der Pilotierungsstudie nahmen 41 Studierende teil, von denen 70,73% weiblich waren. Der approximierte Stichprobenumfang wurde damit leicht unterschritten. Das Durchschnittsalter lag bei  $24,45 \pm 3,41$  Jahren und variierte von 21 bis 36 Jahren. Im Median waren die Studierenden 23,00 Jahre alt. Mit 82,93% hatten die Studierenden mehrheitlich keine zahntechnische Ausbildung abgeschlossen.

##### 3.2.2 Voraussetzungen für den Kurs

Studierende stimmten den Items aus Tabelle 2 überwiegend zu. Fragen zur Schwierigkeit, extrahierte echte Zähne in externen Praxen zu besorgen sowie genügend geeignete extrahierte echte Zähne für die Übungen im Phantomkursus zur Verfügung zu haben, wiesen die größten Standardabweichungen ( $SA \pm 1,24$  bzw.  $1,26$ ) auf.

Tabelle 2: Studentische Selbsteinschätzung zu den Voraussetzungen des Kurses

Item	n	MW $\pm$ SA	Min.	Max.
2.5 Die zahntechnische Arbeit in den vorklinischen Kursen fiel mir leicht.	41	$3,32 \pm 0,93$	1	5
2.6 Ich habe große Freude an den praktischen Inhalten des Studiums der Zahnmedizin.	40	$4,35 \pm 0,74$	2	5
2.7 Ich schätze meine manuellen Fertigkeiten als sehr gut/hoch ein.	41	$3,85 \pm 0,65$	3	5

2.8 Ich hatte Schwierigkeiten, Echtzähne in externen Praxen bzw. Kliniken zu besorgen.	41	2,98 ± 1,24	1	5
2.9 Ich hatte im Verlauf des vergangenen Kurses genügend geeignete Echtzähne für die geplanten Übungen zur Verfügung.	41	3,61 ± 1,26	1	5

Ergebnisse sind als n, MW mit SA und Ausnutzung der Skala angegeben. Einschätzung erfolgte mittels einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Werten 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft voll zu“. Enthaltungen waren möglich. Aufgrund fehlender Werte und/oder Enthaltungen variiert die Zahl der Teilnehmenden.

### 3.2.3 Fragebogentestung

#### 3.2.3.1 Evaluation der Eigenschaften von 3D-gedrucktem Zahn und Plexiglasblock im Vergleich zu echten Zähnen

Im direkten Vergleich der Eigenschaften des 3D-gedruckten Zahns und des Plexiglasblocks zum extrahierten Zahn zeigten die studentischen Bewertungen signifikante Unterschiede (Tabelle 3). Der Plexiglasblock wurde im Vergleich zum 3D-gedruckten Zahn härter, stärker röntgenopak und besser geeignet zum Üben eingeschätzt ( $p \leq 0,001$ ).

Tabelle 3: Bewertungsergebnisse des jeweiligen Vergleichs von 3D-gedrucktem Zahn und Plexiglasblock zum extrahierten Zahn

	<b>3D-gedruckter Zahn vs. extrahierter Zahn</b>	<b>Plexiglasblock vs. extrahierter Zahn</b>	
<b>Item</b>	<b>MW ± SA</b>	<b>MW ± SA</b>	<b>p-Wert</b>
3.1 / 4.1 Härte	4,24 ± 0,86	2,90 ± 1,37	≤0,001
3.2 / 4.2 Röntgenopazität	4,85 ± 0,53	3,50 ± 1,27	≤0,001
3.3 / 4.3 Wurzelkanaldurchmesser	3,03 ± 1,07	3,50 ± 1,09	ns
3.4 / 4.4 Eignung zum Üben	3,80 ± 0,98	3,24 ± 1,22	≤0,001
3.5 / 4.5 Fairness für Prüfungen	1,98 ± 0,96	2,22 ± 1,17	ns
3.6 / 4.6 Eignung für praktische Prüfungen	3,10 ± 1,14	2,88 ± 1,24	ns
3.7 / 4.7 Handhabung	2,95 ± 1,07	3,08 ± 1,37	ns
3.11 / 4.8 Wurzelkanalmorphologie	2,25 ± 0,97	2,51 ± 1,19	ns
3.12 / 4.9 taktiler Eindruck beim Präparieren	3,54 ± 1,27	3,40 ± 1,30	ns
3.8 Farbdiskriminierung	3,87 ± 1,13	N/A	N/A
3.9 Konsistenz Pulpainhalt	3,71 ± 1,19	N/A	N/A
3.10 anatomische Landmarken	3,53 ± 1,24	N/A	N/A

Ergebnisse sind angegeben als MW mit SA. Die Bewertung fand mittels eines fünfstufigen semantischen Differentials statt: die linke Antwortoption wurde mit 1, die mittlere Antwortoption „identisch“ mit 3 und die rechte Antwortoption mit 5 gewertet. Das Signifikanzniveau der p-Werte ist wie angegeben. „ns“ steht für „nicht signifikant“, Werte mit N/A waren nicht verfügbar.

#### 3.2.3.2 Antwortoptionen

Die Ergebnisse des PCM, das die Daten des Vergleichs der Eigenschaften von 3D-gedrucktem Zahn und Plexiglasblock zu echten Zähnen darstellt, finden sich in Tabelle 4. Alle Items wiesen eine mittlere Itemschwierigkeit im geforderten Bereich zwischen +/- 2 auf. Die

Itemschwierigkeit der probabilistischen Testtheorie lässt sich direkt auf die Personenfähigkeit beziehen. Die Person-Item Map zeigte, dass der Großteil der Pilotierungskohorte eine Personenfähigkeit zwischen 0 und 1 aufwies (Abbildung 8). Je höher die Personenfähigkeit ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass das Item korrekt gelöst wird. In der vorliegenden Studie konnten im Umkehrschluss Items mit einer negativen Itemschwierigkeit einfacher von den Teilnehmenden gelöst werden. Die Schwellen zeigen, wie einfach/schwierig es für die Teilnehmenden war, anstelle der gewählten Antwort eine andere zu wählen. Je größer eine Schwelle war, desto schwieriger war es für die Teilnehmenden, diese Antwortoption zu wählen. Beispielsweise war es bei Item 3.3 am einfachsten, anstelle der ganz linken Antwort die zweite Antwort von links zu wählen. Hingegen war es sehr schwierig für die Teilnehmenden, anstatt der mittleren Antwort die zweite Antwortoption von rechts zu wählen. Die Analyse des semantischen Differentials ergab, dass mit Ausnahme der Items 3.3, 3.4 und 3.11 in 85,71% aller Fälle reversierte Schwellenparameter vorlagen. Die Reversierung der Schwellenparameter lässt darauf schließen, dass die Studierenden Schwierigkeiten hatten, zwischen den Antwortoptionen zu unterscheiden. Aus diesem Grund wurden die Antwortoptionen für die anschließende Validierungsstudie von einem fünfstufigen zu einem dreistufigen semantischen Differential angepasst.

Tabelle 4: Schwellenwerte der Items des semantischen Differentials, basierend auf den Antwortoptionen und Itemschwierigkeiten

Item	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	Location
3.1*	N/A	0,50	-2,01	0,26	-0,41
3.2*	N/A	25,16	-26,14	-2,30	-1,09
3.3	-0,96	-0,36	0,98	1,03	0,17
3.4	-1,07	-0,95	-0,47	0,87	-0,40
3.5*	-0,04	1,37	1,43	1,08	0,96
3.6*	-1,26	0,74	-0,56	2,00	0,23
3.7*	-0,20	-0,61	0,65	2,04	0,47
3.8*	-1,56	-0,02	-0,53	0,22	-0,47
3.9*	-0,22	-0,24	-0,81	0,73	-0,13
3.10*	-1,51	1,80	-1,88	0,95	-0,16
3.11	-0,89	1,07	1,14	N/A	0,44
3.12*	-0,25	0,58	-1,26	0,99	0,02
4.1*	-0,46	2,10	-1,58	1,30	0,34
4.2*	-1,31	0,16	0,11	0,08	-0,24
4.3*	-0,33	-1,56	0,88	0,30	-0,18
4.4*	-1,61	0,97	-0,51	0,98	-0,04
4.5*	-0,18	1,30	1,01	0,38	0,63
4.6*	-0,46	0,41	0,17	1,26	0,35
4.7*	-0,47	1,50	-1,28	1,18	0,23
4.8*	-0,29	0,80	0,30	1,74	0,64
4.9*	-1,72	0,45	-0,74	1,99	0,00

\* = reversierte Schwellenparameter,  $b_1$  ist die Schwelle von der linken Antwortoption zur zweiten Antwortoption von links,  $b_2$  ist die Schwelle von der zweiten Antwortoption von links zu „identisch“,  $b_3$  ist die Schwelle von „identisch“ zur zweiten Antwortoption von rechts,  $b_4$  ist die Schwelle von der zweiten Antwortoption von rechts zur rechten Antwortoption, Location stellt die probabilistische Itemschwierigkeit dar, Schwellen mit N/A konnten nicht berechnet werden.

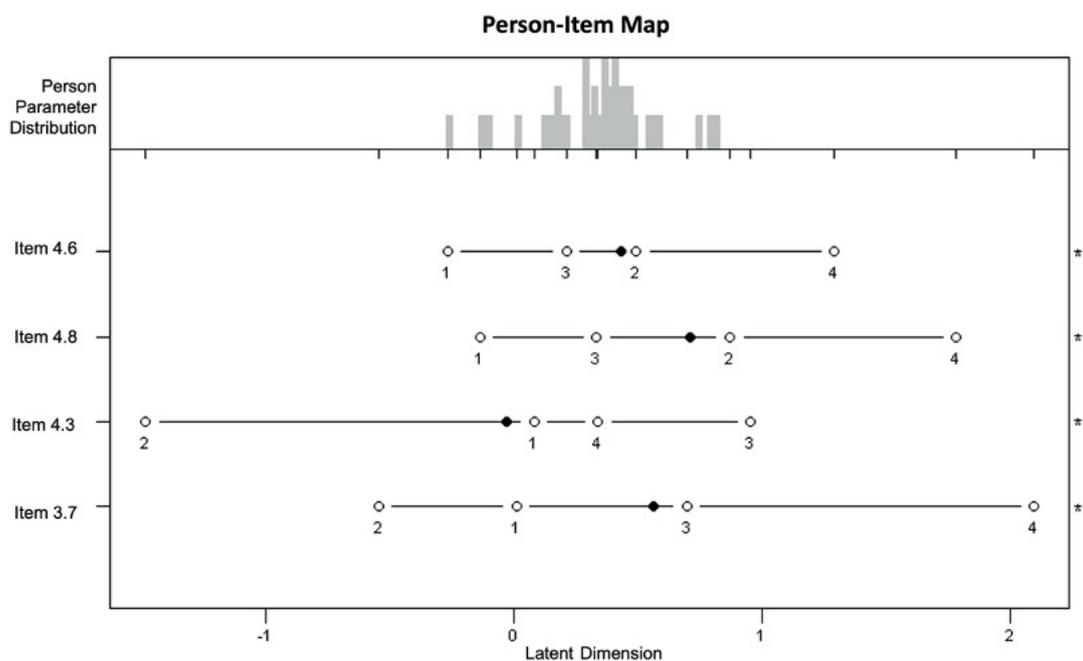


Abbildung 8: Person-Item Map zu ausgewählten Items

Person Parameter Distribution gibt die Verteilung der Personenfähigkeit zu allen Items des semantischen Differentials an. Latent Dimension gibt die Itemschwierigkeit an. Die vier aufgeführten Items wurden zur Darstellung reversierter Schwellenparameter (durch \* gekennzeichnet) beispielhaft ausgewählt. Ausgefüllte Kreise zeigen die Location und somit die probabilistische Itemschwierigkeit, nicht ausgefüllte Kreise die Schwellenwerte der Items (Tabelle 4).

### 3.2.3.3 Reliabilität

Insgesamt fielen die Ergebnisse für die gesamte, nicht differentiell berechnete Skala zufriedenstellend aus (Tabelle 5 und Tabelle 6). Für einen besseren Vergleich zu den Ergebnissen der Validierungsstudie fand die Berechnung auf Grundlage eines dreistufigen semantischen Differentials statt. Die Daten wurden dafür entsprechend gruppiert. Die Antwortoption „identisch“ entsprach dem Wert 2, davon linke Antwortoptionen dem Wert 1 bzw. davon rechte Antwortoptionen dem Wert 3. Cronbachs  $\alpha$  betrug für den Vergleich von 3D-gedrucktem zu extrahiertem Zahn wenig zufriedenstellende 0,44. Als Ursachen für den niedrigen  $\alpha$ -Wert ließen sich die Items 3.3, 3.5 und 3.7 identifizieren. Für eine sinnvolle Berechnung des  $\alpha$ -Koeffizienten mussten diese invertiert<sup>29</sup> werden. Ebenso musste Item 4.3 zur sinnvollen Berechnung des  $\alpha$ -Koeffizienten invertiert werden. Der  $\alpha$ -Wert für alle Items des

<sup>29</sup> Durch die Invertierung wird die Skala vertauscht. Beispiel: Aus Antwort 1 wird 3 und aus 3 wird Antwort 1.

semantischen Differentials fiel mit 0,73 gut aus. Im Vergleich zur deskriptiven Analyse stieg der Mittelwert durch die Invertierung der Items 3.3, 3.5, 3.7 und 4.3. Die Itemtrennschärfe fiel bei Item 3.1, 3.2, 3.5, 3.6, 3.10, 3.11, 4.3 und 4.5 kleiner 0,3 aus. Der standardisierte und nicht standardisierte  $\alpha$ -Wert (= „ $\alpha$  ohne das Item“) wurde miteinander verglichen. Da sich die Werte nur in der zweiten Nachkommastelle unterschieden, ist nachfolgend nur der nicht standardisierte  $\alpha$ -Wert aufgeführt.

Tabelle 5: Deskriptive Ergebnisse und Itemkennwerte der studentischen Bewertungen zu Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu extrahiertem Zahn

Item	n	MW $\pm$ SA	$\alpha$ (ohne das Item)	Itemtrennschärfe
3.1 Härte	41	2,80 $\pm$ 0,56	0,62	0,260
3.2 Röntgenopazität	41	2,95 $\pm$ 0,31	0,63	0,190
3.3 Wurzelkanaldurchmesser*	40	2,00 $\pm$ 0,78	0,59	0,410
3.4 Eignung zum Üben	41	2,59 $\pm$ 0,67	0,59	0,460
3.5 Fairness für Prüfungen*	41	2,70 $\pm$ 0,60	0,62	0,200
3.6 Eignung für praktische Prüfungen	41	2,10 $\pm$ 0,92	0,66	0,070
3.7 Handhabung*	41	2,02 $\pm$ 0,79	0,67	-0,030
3.8 Farbdiskriminierung	38	2,54 $\pm$ 0,76	0,56	0,560
3.9 Konsistenz Pulpainhalt	41	2,51 $\pm$ 0,78	0,61	0,390
3.10 anatomische Landmarken	40	2,35 $\pm$ 0,92	0,63	0,200
3.11 Wurzelkanalmorphologie	40	1,43 $\pm$ 0,68	0,63	0,220
3.12 taktiler Eindruck beim Präparieren	41	2,41 $\pm$ 0,87	0,58	0,490
Cronbachs $\alpha$ gesamt = 0,63				

Ergebnisse sind als n, MW mit SA, Cronbachs  $\alpha$ , wenn Item weggelassen und Itemtrennschärfe angegeben. \* kennzeichnet invertierte Items inklusive invertiertem MW. Die Bewertung fand mittels eines fünfstufigen semantischen Differentials statt. Das Antwortformat wurde zur Berechnung auf ein dreistufiges semantisches Differential reduziert. Die linke Antwortoption wurde mit 1 gewertet, die mittlere Antwortoption „identisch“ mit 2, die rechte Antwortoption mit 3. Aufgrund fehlender Werte variiert die Zahl der Teilnehmenden.

Tabelle 6: Deskriptive Ergebnisse und Itemkennwerte der studentischen Bewertungen zu Eigenschaften im Vergleich von Plexiglasblock zu extrahiertem Zahn

Item	n	MW $\pm$ SA	$\alpha$ (ohne das Item)	Itemtrennschärfe
4.1 Härte	40	1,95 $\pm$ 0,99	0,60	0,375
4.2 Röntgenopazität	38	2,26 $\pm$ 0,86	0,62	0,311
4.3 Wurzelkanaldurchmesser*	40	2,33 $\pm$ 0,69	0,68	0,053
4.4 Eignung zum Üben	41	2,12 $\pm$ 0,93	0,54	0,626
4.5 Fairness für Prüfungen	41	1,44 $\pm$ 0,74	0,68	0,054
4.6 Eignung für praktische Prüfungen	40	1,93 $\pm$ 0,89	0,57	0,471
4.7 Handhabung	40	2,08 $\pm$ 0,97	0,60	0,352
4.8 Wurzelkanalmorphologie	41	1,68 $\pm$ 0,85	0,62	0,317
4.9 taktiler Eindruck beim Präparieren	40	2,33 $\pm$ 0,86	0,59	0,423
Cronbachs $\alpha$ gesamt = 0,66				

Ergebnisse sind als n, MW mit SA, Cronbachs  $\alpha$ , wenn Item weggelassen und Itemtrennschärfe angegeben. \* kennzeichnet invertierte Items inklusive invertiertem MW. Die Bewertung fand mittels eines fünfstufigen semantischen Differentials statt. Das Antwortformat wurde zur Berechnung auf ein dreistufiges semantisches Differential reduziert. Die linke Antwortoption wurde mit 1 gewertet, die mittlere Antwortoption „identisch“ mit 2, die rechte Antwortoption mit 3. Aufgrund fehlender Werte variiert die Zahl der Teilnehmenden.

### 3.2.4 Subjektives Lernergebnis

Studierende gaben an, dass die 3D-gedruckten Zähne im Vergleich zum Plexiglasblock mehr zum subjektiven Lernerfolg beitrugen als die 3D-gedruckten Zähne im Vergleich zu echten Zähnen (Tabelle 7).

Tabelle 7: Deskriptive Ergebnisse der Dimension „subjektives Lernergebnis“

Item	n	MW ± SA	Min.	Max.
5.1 Lernerfolg Druckzahn Vergleich Echtzahn	39	2,18 ± 0,91	1	4
5.2 Lernerfolg Druckzahn Vergleich Plexiglasblock	39	3,26 ± 1,25	1	5
5.3 Ähnlichkeit Üben Druck-/Echtzahn	41	2,39 ± 0,89	1	4
5.4 Selbsteinschätzung Fertigkeiten Wurzelkanalbehandlung	41	2,98 ± 1,26	1	5

Ergebnisse sind als n, MW mit SA und Ausnutzung der Skala angegeben. Einschätzung erfolgte mittels einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Werten 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft voll zu“. Enthaltungen waren möglich. Aufgrund fehlender Werte und/oder Enthaltungen variiert die Zahl der Teilnehmenden.

### 3.2.5 Übungsmöglichkeiten

In dieser Dimension konnten Studierende ihre Einschätzung zu den Übungsmöglichkeiten angeben (Tabelle 8). Bei den Itempaaren 6.1 bis 6.6 bestanden signifikante Unterschiede bei Fragen zu Enthusiasmus, dem Erlernen feinmotorischer Fertigkeiten und der räumlichen Vorstellung (Abbildung 9). Am wenigsten konnten sich Studierende die gesamte endodontische Ausbildung an 3D-gedruckten Zähnen vorstellen. Nach Auswertung der Daten war geplant, den Kursablauf für die Validierungsstudie auf die Reihenfolge Plexiglasblock, 3D-gedruckter Zahn und echter Zahn anzupassen. Infolgedessen wurde das entsprechende Item 6.8 für den Fragebogen der Validierungsstudie entfernt. Die geplante Änderung der Reihenfolge der Bearbeitung konnte für die Validierungsstudie jedoch nicht implementiert werden.

Tabelle 8: Deskriptive Ergebnisse der Dimension „Übungsmöglichkeiten“

Item	n	MW ± SA	Min.	Max.
6.1 Enthusiasmus echte Zähne	39	3,92 ± 0,93	1	5
6.2 motorische Fertigkeiten echte Zähne	41	4,51 ± 0,51	4	5
6.3 räumliche Vorstellung echte Zähne	40	4,35 ± 0,53	3	5
6.4 Enthusiasmus 3D-gedruckte Zähne	40	2,80 ± 1,16	1	5
6.5 motorische Fertigkeiten 3D-gedruckte Zähne	40	3,05 ± 1,11	1	5
6.6 räumliche Vorstellung 3D-gedruckte Zähne	39	3,26 ± 0,99	1	5
6.7 Zugang Wurzelkanäle 3D-gedruckter Zahn schwierig	41	3,39 ± 1,16	1	5
6.8 Reihenfolge Bearbeitung	38	3,05 ± 1,51	1	5
6.9 gesamte endodontische Ausbildung an 3D-gedruckten Zähnen	39	1,72 ± 1,08	1	5
6.10 gesamte restaurative Ausbildung an 3D-gedruckten Zähnen	40	2,25 ± 1,24	1	5

Ergebnisse sind als n, MW mit SA und Ausnutzung der Skala angegeben. Einschätzung erfolgte mittels einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Werten 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft voll zu“. Enthaltungen waren möglich. Aufgrund fehlender Werte und/oder Enthaltungen variiert die Zahl der Teilnehmenden.

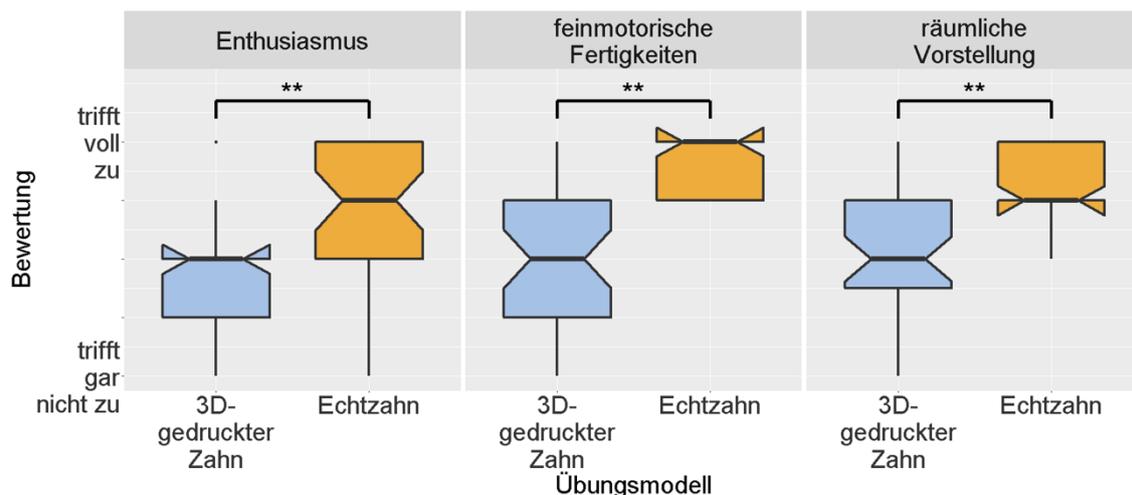


Abbildung 9: Studentische Einschätzung von Enthusiasmus, feinmotorischen Fertigkeiten und räumlicher Vorstellung im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu echtem Zahn

Im gekerbten Box-Plot entspricht der fette horizontale Strich dem Median, die Einkerbung über und unter dem Median entspricht dem Konfidenzintervall, die erste Quartile liegt im Bereich der vertikalen Linie und endet am unteren Rand der Box, die vierte Quartile liegt im Bereich der vertikalen Linie und beginnt am oberen Rand der Box, mindestens 50% der Daten entfallen auf den Bereich innerhalb der Box, Ausreißer sind als Punkte angegeben, \*\* = signifikante Unterschiede  $\leq 0,001$ .

### 3.2.6 Bewertung der didaktischen Qualität

Die Daten zur Bewertung der didaktischen Qualität wiesen eine negative Schiefe auf und wurden somit insgesamt eher sehr positiv bewertet (Tabelle 9). Die Organisation des Kurses wurde vergleichsweise am geringsten bewertet.

Tabelle 9: Studentische Bewertung der didaktischen Qualität

Item	n	MW $\pm$ SA	Min.	Max.
7.1 Die Dozierenden des Kurses kennen sich mit der Durchführung von Wurzelkanalbehandlungen hervorragend aus.	41	4,66 $\pm$ 0,48	4	5
7.2 Ich konnte von den Dozierenden wertvolle Hilfestellungen erhalten.	41	4,63 $\pm$ 0,49	4	5
7.3 Ich wurde von den Dozierenden gut betreut.	41	4,71 $\pm$ 0,46	4	5
7.4 Der Kurs war gut organisiert.	41	3,95 $\pm$ 0,97	1	5
7.5 Ich hatte ausreichend Übungsmöglichkeiten.	41	4,24 $\pm$ 0,86	2	5

Ergebnisse sind als n, MW mit SA und Ausnutzung der Skala angegeben. Einschätzung erfolgte mittels einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Werten 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft voll zu“. Enthaltungen waren möglich.

### 3.2.7 Freitextkommentare

Den Studierenden wurden drei offene Fragen gestellt, die qualitativ ausgewertet wurden. Etwa 50% der Studierenden gaben auf die Frage zu Verbesserungsvorschlägen des 3D-gedruckten Zahns an, dass die Röntgenopazität erhöht werden solle. Ungefähr 25% wünschten eine Erhöhung der Festigkeit des 3D-gedruckten Zahns und haben darauf hingewiesen, dass

das Material der Pulpa zu weich war. Eine realitätsnähere Anpassung der Zahnfarbe für eine bessere Unterscheidung zwischen Schmelz und Dentin wurde von ca. 15% angegeben. Einzelnennungen schlugen ein stärker ausgeprägtes Höcker-Fissuren-Relief vor und wünschten sich eine größere Auswahl an 3D-gedruckten Zähnen zur Übung.

Die Vorteile der echten extrahierten Zähne in der zahnärztlichen Ausbildung sahen die Studierenden vor allem in der realistischeren und authentischeren Haptik, Form und visuellen Darstellung. Sie wurden als praxisnah beschrieben, insbesondere durch die individuelle Morphologie und die bessere Unterscheidung zwischen Schmelz und Dentin. Gute Röntgenopazität und größere Härte hinterließen bei den Studierenden ein gutes Gefühl und vermittelten Sicherheit als Grundlage für die Patientenbehandlung. Die Vorteile der 3D-gedruckten Zähne in der zahnärztlichen Ausbildung sahen die Studierenden vor allem in der Flexibilität, besondere und schwierige Wurzelkanalmorphologien intensiv und in unbegrenzter Anzahl zu üben. Somit könnten vor allem die motorischen Fertigkeiten erlernt werden. Das Sammeln von extrahierten Zähnen entfällt. Die Reproduzierbarkeit und standardisierte Herstellung sorgen dafür, dass alle Studierenden die gleichen Probleme lösen, sich darüber austauschen und gegenseitig helfen können sowie ausreichend geeignete Zähne zur Verfügung haben. Sie wurden deshalb als besonders fair für Prüfungen empfunden. Außerdem wurden die 3D-gedruckten Zähne hygienischer eingeschätzt. Schließlich wurde der Wunsch nach einer direkten Befestigung der 3D-gedruckten Zähne in einem Kiefermodell geäußert.

### 3.2.8 Varianzanalyse

#### 3.2.8.1 Klausur

Die Einteilung der Studierenden in High, Medium und Low Performer fand anhand der Perzentile der Klausurergebnisse statt (Tabelle 10). Von maximal 25 Punkten in der Klausur der Zahnerhaltung wurden minimal 10,5 und maximal 24 Punkte von den Studierenden erzielt. Der Mittelwert lag bei  $19,53 \pm 2,71$  Punkten, im Median wurden 20,25 Punkte erzielt. Insgesamt wurden 40 Datensätze berücksichtigt.

Tabelle 10: Gruppierung der Studierenden in High, Medium und Low Performer anhand der Klausurergebnisse

Perzentile	$\geq 75\%$	$75\% > 25\%$	$\leq 25\%$
Klausurergebnis	$\geq 21,50$ Punkte	$21,50 > 17,50$ Punkte	$\leq 17,50$ Punkte
Einteilung (Performer)	High	Medium	Low

Im Rahmen der Berechnung mittels einer ANOVA zeigte sich, dass der Haupteffekt der leistungsabhängigen Einteilung der Studierenden (High, Medium und Low Performer) auf die Beantwortung bei einigen Items der Dimensionen „Personendaten“ sowie „Eigenschaften im Vergleich von Plexiglasblock zu echtem Zahn“ signifikant war (Tabelle 11). Der Post-hoc-Test zeigte, zwischen welchen Leistungsgruppen signifikante Unterschiede in der Beantwortung der Items bestanden. Diese zeigten sich insbesondere im Vergleich von Low Performern zu High und Medium Performern.

Tabelle 11: Vergleich der Beantwortung der Items zwischen den Leistungsgruppen der Einteilung anhand der Klausurergebnisse

Item mit Haupteffekt	p-Wert	Unterschiede der Beantwortung zwischen den Leistungsgruppen (MW $\pm$ SA)			
		High Performer	Medium Performer	Low Performer	p-Wert
2.3	$\leq 0,01$	2,00 $\pm$ 0,00		1,50 $\pm$ 0,53	$\leq 0,05$
			1,89 $\pm$ 0,32	1,50 $\pm$ 0,53	$\leq 0,01$
4.8	$\leq 0,05$	2,17 $\pm$ 0,84		1,20 $\pm$ 0,63	$\leq 0,05$
4.9	$\leq 0,01$	2,82 $\pm$ 0,41		1,60 $\pm$ 0,84	$\leq 0,01$
			2,44 $\pm$ 0,86	1,60 $\pm$ 0,84	$\leq 0,05$

Ergebnisse sind angegeben als Nummer des Items im Fragebogen, Signifikanzniveau der p-Werte wie aufgeführt, Leistungsgruppe basierend auf Grundlage der Perzentile der Klausurergebnisse sowie MW mit SA der genannten Leistungsgruppe. Eine abgeschlossene Ausbildung im zahntechnischen Bereich wurde bei Item 2.3 mit 1, keine mit 2 gewertet. Einschätzung der Items 4.8 und 4.9 mittels einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Werten 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft voll zu“.

### 3.2.8.2 Praktische Testate

Studierende wurden leistungsabhängig sowohl im manuellen als auch im maschinellen Testat eingeteilt (Tabelle 12). Die Gruppierung der Teilnehmenden in High, Medium und Low Performer wurde durch die Anzahl der Wiederholungsversuche definiert. Da das maschinelle Testat spätestens nach dem ersten Wiederholungsversuch von allen Studierenden bestanden wurde, lagen bei diesem nur die zwei Leistungsgruppen High und Low Performer vor. Für beide Testate konnten 41 Datensätze berücksichtigt werden.

Tabelle 12: Gruppierung der Studierenden in High, Medium und Low Performer anhand der Ergebnisse der praktischen Testate

Wiederholungsversuche	0	1	1	2
Manuelles Testat	23	12		6
Maschinelles Testat	28		13	
Einteilung (Performer)	High	Medium	Low	Low

Nach der Einteilung des maschinellen Testats lagen nur zwei Leistungsgruppen vor, weshalb ein Welch-Test zur Berechnung verwendet wurde (Tabelle 13). Low Performer hatten im Vergleich zu High Performern weniger genügend geeignete echte Zähne für die Übungen im

Kurs zur Verfügung. Zudem schätzten Low Performer gegenüber High Performern den Zugang zu den Wurzelkanälen des 3D-gedruckten Zahns signifikant einfacher ein.

Tabelle 13: Vergleich der Beantwortung der Items zwischen den Leistungsgruppen der Einteilung anhand der Ergebnisse des maschinellen Testats

Item	Unterschiede der Beantwortung zwischen den Leistungsgruppen (MW $\pm$ SA)		
	High Performer	Low Performer	p-Wert
2.9	3,86 $\pm$ 1,33	3,08 $\pm$ 0,95	$\leq 0,05$
6.7	3,68 $\pm$ 0,95	2,77 $\pm$ 1,36	$\leq 0,05$

Ergebnisse sind angegeben als Nummer des Items im Fragebogen, Leistungsgruppe basierend auf Grundlage der Einteilung des maschinellen Testats, MW mit SA der genannten Leistungsgruppe sowie Signifikanzniveau der p-Werte wie aufgeführt. Einschätzung der Items 2.6 und 6.7 mittels einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Werten 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft voll zu“.

Die Daten nach Einteilung des manuellen Testats wurden mit einer ANOVA berechnet (Tabelle 14). Es zeigte sich, dass der Haupteffekt der leistungsabhängigen Einteilung der Studierenden in High, Medium und Low Performer auf die Beantwortung der Items in den Dimensionen „Personendaten“, „Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu echtem Zahn“ sowie „Bewertung der didaktischen Qualität“ teilweise signifikant war. Der Post-hoc-Test zeigte, dass zwischen den Leistungsgruppen der High und Medium Performer signifikante Unterschiede in der Beantwortung der Items bestanden.

Tabelle 14: Vergleich der Beantwortung der Items zwischen den Leistungsgruppen der Einteilung anhand der Ergebnisse des manuellen Testats

Item mit Haupteffekt	p-Wert	Unterschiede der Beantwortung zwischen den Leistungsgruppen (MW $\pm$ SA)		
		High Performer	Medium Performer	p-Wert
2.3	$\leq 0,05$			ns
3.1	$\leq 0,05$	2,96 $\pm$ 0,21	2,42 $\pm$ 0,90	$\leq 0,05$
7.4	$\leq 0,05$	4,17 $\pm$ 0,83	3,33 $\pm$ 1,07	$\leq 0,05$

Ergebnisse sind angegeben als Nummer des Items im Fragebogen, Signifikanzniveau der p-Werte wie aufgeführt, Leistungsgruppe basierend auf Grundlage der Einteilung des manuellen Testats sowie MW mit SA der genannten Leistungsgruppe. Einschätzung des Items 3.1 anhand eines dreistufigen semantischen Differentials, wobei die linke Antwortoption mit 1 und die rechte Antwortoption mit 3 gewertet wurde. Einschätzung des Items 7.4 mittels einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Werten 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft voll zu“. „ns“ steht für „nicht signifikant“.

### 3.2.9 Zusammenfassung der Ergebnisse

#### 3.2.9.1 Fragebogentestung

Die drei Hauptgütekriterien der Fragebogentestung (Objektivität, Validität und Reliabilität) wurden bei der Pilotierungsstudie berücksichtigt. Die Anzahl der an der Studie teilnehmen-

den Studierenden lag im Rahmen der errechneten Stichprobengröße. In der Fragebogendimension „Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu echtem Zahn“ stieg der  $\alpha$ -Wert nach Invertierung dreier Items von 0,44 auf akzeptable 0,63. Der  $\alpha$ -Wert für die Dimension „Eigenschaften im Vergleich von Plexiglasblock zu echtem Zahn“ betrug nach Invertierung eines Items zufriedenstellende 0,66. Der  $\alpha$ -Wert für alle Items des semantischen Differentials fiel mit 0,73 gut aus. Die Analyse der Antwortoptionen des fünfstufigen semantischen Differentials ergab, dass bei vielen Items reversierte Schwellenparameter vorlagen, weshalb die Antwortoptionen für die Validierungsstudie auf ein dreistufiges semantisches Differential reduziert wurden. Außerdem wurde der Fragebogen um einen direkten Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu Plexiglasblock ergänzt. Da geplant war, die Reihenfolge der Bearbeitung der Übungsmodelle zu ändern, wurde Item 6.8 aus dem Fragebogen der Validierungsstudie entfernt. Die Varianzanalyse konnte im Rahmen der Untersuchung der Kriteriumsvalidität nachweisen, dass der Haupteffekt der leistungsabhängigen Einteilung der Studierenden (High, Medium und Low Performer) auf die Beantwortung der Items teilweise signifikant war. Ebenso wurden bei der Untersuchung auf differentielle Validität signifikante Unterschiede in der Beantwortung der Items zwischen den Leistungsgruppen nach den drei Leistungseinteilungen (Klausur, maschinelles und manuelles Testat) nachgewiesen.

### 3.2.9.2 Evaluation

Die Personendaten ergaben, dass 41 Studierende an der Pilotierungsstudie teilnahmen. Davon waren 70,73% weiblich und insgesamt hatten 82,93% keine zahntechnische Ausbildung abgeschlossen. In der Fragebogendimension „Vorerfahrung“ fiel die Standardabweichung ( $\pm 1,24$  bzw. 1,26) für die Frage zu Beschaffung von extrahierten echten Zähnen und ausreichender Verfügbarkeit geeigneter extrahierter echter Zähne am größten aus. Im direkten Vergleich der Eigenschaften des 3D-gedruckten Zahns und des Plexiglasblocks zum extrahierten Zahn zeigten die studentischen Bewertungen signifikante Unterschiede. Der Plexiglasblock wurde im Vergleich zum 3D-gedruckten Zahn härter, stärker röntgenopak und besser geeignet zum Üben eingeschätzt ( $p \leq 0,001$ ). Studierende gaben bei der Fragebogendimension „subjektives Lernergebnis“ an, dass die 3D-gedruckten Zähne im Vergleich zum Plexiglasblock mehr zum subjektiven Lernerfolg beitrugen als die 3D-gedruckten Zähne im Vergleich zu echten Zähnen. In der Beantwortung der Übungsmöglichkeiten bestanden bei den Itempaaren (6.1-6.6) Unterschiede bei Fragen zu Enthusiasmus, dem Erlernen feinmotorischer Fertigkeiten und der räumlichen Vorstellung zwischen 3D-gedruckten und echten

Zähnen ( $p \leq 0,001$ ). Die Daten zur Bewertung der didaktischen Qualität wiesen eine negative Schiefe auf und wurden somit sehr positiv bewertet. Die Erhöhung der Festigkeit sowie der Härte des 3D-gedruckten Zahns wurden als häufigste Verbesserungsvorschläge in der Dimension „offene Fragen“ genannt. Diese Eigenschaften wurden als Vorteile bei den echten Zähnen hervorgehoben. Außerdem gaben die echten Zähne den Studierenden ein subjektives Sicherheitsgefühl für die spätere Patientenbehandlung. Die größten Vorteile 3D-gedruckter Zähne sahen Studierende in der Flexibilität, besondere und schwierige Wurzelkanalmorphologien intensiv und in unbegrenzter Anzahl zu üben.

Abschließend ließ sich feststellen, dass der Fragebogen geeignet war, die drei Hypothesen zu überprüfen. Er war zudem für die Teilnehmenden angemessen formuliert und passend für den Kurs konzipiert. In der Validierungsstudie wurde er mit den zuvor genannten Änderungen verwendet.

### **3.3 Validierungsstudie**

Die Ergebnisse der Fragebogentestung und Evaluation wurden im gleichen Stil der Pilotierungsstudie aufgeführt.

#### **3.3.1 Personendaten**

An der Validierungsstudie nahmen 88 Personen teil, davon waren 77,27% weiblich. Die geforderte Anzahl an Teilnehmenden wurde um zwei unterschritten. Im Sommersemester 2018 nahmen 59 Studierende, im Wintersemester 2018/19 29 Studierende an der Studie teil. Das Durchschnittsalter lag bei  $23,45 \pm 2,73$  Jahren und variierte von 20 bis 31 Jahren. Im Median waren die Studierenden 22,00 Jahre alt. Die Mehrheit (93,18%) hatte zuvor keine zahntechnische Ausbildung abgeschlossen.

#### **3.3.2 Voraussetzungen für den Kurs**

Studierende stimmten dem Item 2.6, das die Freude an den praktischen Inhalten des Studiums der Zahnmedizin erfragte, überwiegend zu, weshalb dieses eine negative Schiefe aufwies (Tabelle 15). Fragen zur Schwierigkeit, extrahierte echte Zähne in externen Praxen zu besorgen sowie genügend geeignete extrahierte echte Zähne für die Übungen im Phantomkursus

zur Verfügung zu haben, wiesen identisch zur Pilotierungsstudie die größten Standardabweichungen ( $SA \pm 1,23$  bzw.  $1,12$ ) auf. Im Vergleich zu den Ergebnissen der Pilotierungsstudie fielen die Ergebnisse der Validierungsstudie ähnlich aus.

Tabelle 15: Studentische Selbsteinschätzung zu den Voraussetzungen des Kurses

Item	n	MW $\pm$ SA	Min.	Max.
2.5 Die zahntechnische Arbeit in den vorklinischen Kursen fiel mir leicht.	88	3,43 $\pm$ 0,83	2	5
2.6 Ich habe große Freude an den praktischen Inhalten des Studiums der Zahnmedizin.	86	4,26 $\pm$ 0,72	3	5
2.7 Ich schätze meine manuellen Fertigkeiten als sehr gut/hoch ein.	86	3,62 $\pm$ 0,77	1	5
2.8 Ich hatte Schwierigkeiten, Echtzähne in externen Praxen bzw. Kliniken zu besorgen.	88	3,07 $\pm$ 1,23	1	5
2.9 Ich hatte im Verlauf des vergangenen Kurses genügend geeignete Echtzähne für die geplanten Übungen zur Verfügung.	88	3,58 $\pm$ 1,12	1	5

Ergebnisse sind als n, MW mit SA und Ausnutzung der Skala angegeben. Einschätzung erfolgte mittels einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Werten 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft voll zu“. Enthaltungen waren möglich. Aufgrund fehlender Werte und/oder Enthaltungen variiert die Zahl der Teilnehmenden.

### 3.3.3 Fragebogentestung

#### 3.3.3.1 Evaluation der Eigenschaften von 3D-gedrucktem Zahn und Plexiglasblock im Vergleich zu echten Zähnen sowie von 3D-gedrucktem Zahn im Vergleich zu Plexiglasblöcken

Die Evaluation der Eigenschaften von 3D-gedrucktem Zahn und Plexiglasblock im Vergleich zu echten Zähnen zeigte signifikante Unterschiede in der Bewertung bei den Itempaaren 3.1/4.1 bis 3.4/4.4 sowie 3.6/4.6 bis 3.11/4.8 auf (Tabelle 16). Der **Hypothese H1** „Studierende bewerten die Eigenschaften des 3D-gedruckten Zahns im Vergleich zum echten Zahn gleich wie die Eigenschaften des Plexiglasblocks im Vergleich zum echten Zahn“ konnte deshalb nur teilweise zugestimmt werden. Bei den Items 3.5/4.5 (Fairness bei Prüfungen) sowie Items 3.12/4.9 (taktiler Eindruck beim Präparieren) konnte die Hypothese verifiziert werden. Die Auswertung der neu aufgenommenen Dimension „Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu Plexiglasblock“ zeigte, dass insbesondere bei der Härte und der Röntgenopazität Unterschiede bestanden (Tabelle 17). Die im Rahmen der restlichen Items abgefragten Eigenschaften wurden durch die Studierenden weitgehend „identisch“ bewertet.

Tabelle 16: Bewertungsergebnisse des jeweiligen Vergleichs von 3D-gedrucktem Zahn und Plexiglasblock zum extrahierten Zahn

	3D-gedruckter Zahn vs. extrahierter Zahn	Plexiglasblock vs. extrahierter Zahn	
Item	MW ± SA	MW ± SA	p-Wert
3.1 / 4.1 Härte	2,80 ± 0,53	1,62 ± 0,82	≤0,001
3.2 / 4.2 Röntgenopazität	2,80 ± 0,56	2,40 ± 0,72	≤0,001
3.3 / 4.3 Wurzelkanaldurchmesser	2,40 ± 0,66	2,15 ± 0,72	≤0,05
3.4 / 4.4 Eignung zum Üben	2,70 ± 0,53	2,28 ± 0,80	≤0,001
3.5 / 4.5 Fairness für Prüfungen	1,82 ± 0,81	1,66 ± 0,84	ns
3.6 / 4.6 Eignung für praktische Prüfungen	2,41 ± 0,80	1,99 ± 0,86	≤0,001
3.7 / 4.7 Handhabung	2,38 ± 0,65	1,85 ± 0,89	≤0,001
3.11 / 4.8 Wurzelkanalmorphologie	1,77 ± 0,77	1,52 ± 0,81	≤0,05
3.12 / 4.9 taktiler Eindruck beim Präparieren	2,41 ± 0,76	2,47 ± 0,73	ns
3.8 Farbdiskriminierung	2,54 ± 0,70	N/A	N/A
3.9 Konsistenz Pulpainhalt	2,02 ± 0,86	N/A	N/A
3.10 anatomische Landmarken	2,35 ± 0,76	N/A	N/A

Ergebnisse sind angegeben als MW mit SA. Die Bewertung fand mittels eines dreistufigen semantischen Differentials statt. Die linke Antwortoption wurde mit 1, die mittlere Antwortoption „identisch“ mit 2 und die rechte Antwortoption mit 3 gewertet. Das Signifikanzniveau der p-Werte ist wie angegeben. „ns“ steht für „nicht signifikant“, Werte mit N/A waren nicht verfügbar.

Tabelle 17: Deskriptive Ergebnisse der studentischen Bewertung zu Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu extrahiertem Zahn

Item	n	MW ± SA	Min.	Max.
5.1 Härte	87	2,72 ± 0,58	1	3
5.2 Röntgenopazität	83	2,41 ± 0,68	1	3
5.3 Wurzelkanaldurchmesser	88	2,24 ± 0,77	1	3
5.4 Eignung zum Üben	87	1,90 ± 0,82	1	3
5.5 Fairness für Prüfungen	87	2,03 ± 0,74	1	3
5.6 Eignung für praktische Prüfungen	88	1,97 ± 0,79	1	3
5.7 Handhabung	87	2,33 ± 0,74	1	3

Ergebnisse sind als n, MW mit SA und Ausnutzung der Skala angegeben. Die Bewertung fand mittels eines dreistufigen semantischen Differentials statt. Die linke Antwortoption wurde mit 1, die mittlere Antwortoption „identisch“ mit 2 und die rechte Antwortoption mit 3 gewertet. Aufgrund fehlender Werte variiert die Zahl der Teilnehmenden.

### 3.3.3.2 Antwortoptionen

Die Analyse des PCM ergab, dass die Anzahl der reversierten Schwellenparameter von 85,71% in der Pilotierungsstudie auf 53,57% abnahm (Tabelle 18). Durch die Anpassung zu einem dreistufigen semantischen Differential lagen nur zwei Schwellen vor, was zu einer Verbesserung der Antwortoptionen beitrug. Die Itemschwierigkeit lag bei allen 28 Items im geforderten Bereich von +/- 2. Die Personenfähigkeit fiel im Vergleich zur Pilotierungsstudie höher aus und lag überwiegend im Bereich zwischen 0 und 2 (Anhang 7.6). Es wurde deshalb untersucht, ob die reversierten Schwellenparameter auf Personen mit extremen

Kreuzungsverhalten (z.B. verärgerte, lustlose oder unzufriedene Personen) zurückzuführen waren. Zur Identifizierung wurden die Personenparameter auf signifikante Chi-Quadrat-Werte<sup>30</sup> analysiert. Bei einer Festsetzung des Signifikanzniveaus auf 0,05 führte dies zu keiner nennenswerten Veränderung.

Tabelle 18: Schwellenwerte der Items des semantischen Differentials, basierend auf den Antwortoptionen und Itemschwierigkeiten

Item	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	Location
3.1*	-0,23	-2,11	-1,17
3.2*	0,29	-2,39	-1,05
3.3	-1,34	0,19	-0,57
3.4*	0,11	-0,74	-0,31
3.5	0,58	0,68	0,63
3.6*	0,12	-0,74	-0,31
3.7	-1,41	0,30	-0,56
3.8*	-0,55	-0,73	-0,64
3.9*	0,53	0,04	0,29
3.10	-0,37	-0,20	-0,29
3.11	0,48	0,99	0,74
3.12*	-0,33	-0,44	-0,38
4.1*	1,37	0,40	0,88
4.2	-0,67	-0,16	-0,41
4.3	-0,65	0,67	0,01
4.4*	1,46	0,20	0,83
4.5*	1,46	0,20	0,83
4.6*	0,53	0,15	0,34
4.7*	1,17	-0,10	0,53
4.8*	2,00	0,06	1,03
4.9*	-0,45	-0,54	-0,49
5.1*	-0,58	-1,47	-1,02
5.2	-1,03	0,03	-0,50
5.3	-0,34	0,14	-0,10
5.4	0,45	0,54	0,50
5.5	-0,37	0,88	0,26
5.6	0,12	0,65	0,39
5.7	-0,58	-0,01	-0,30

\* = reversierte Schwellenparameter, b<sub>1</sub> ist die Schwelle von der linken Antwortoption zu „identisch“, b<sub>2</sub> ist die Schwelle von „identisch“ zur rechten Antwortoption, Location stellt die probabilistische Itemschwierigkeit dar.

### 3.3.3.3 Reliabilität

Die Ergebnisse lagen in einem vergleichbaren Bereich zur Pilotierungsstudie (Tabelle 19, 20, 21). Cronbachs  $\alpha$  betrug für den Vergleich der Eigenschaften von 3D-gedrucktem zu extrahiertem Zahn 0,66. Für den Vergleich Plexiglasblock zu echtem Zahn lag der  $\alpha$ -Wert bei 0,63. Zur sinnvollen Berechnung dieses  $\alpha$ -Werts musste Item 4.1 invertiert werden. Der Vergleich der Eigenschaften zwischen 3D-gedrucktem Zahn und Plexiglasblock lieferte einen  $\alpha$ -

<sup>30</sup> Die Chi-Quadrat-Werte werden mittels Chi-Quadrat-Test berechnet. Dieser setzt die berechneten und erwarteten Antworthäufigkeiten ins Verhältnis (Moosbrugger and Kelava 2012).

Wert von 0,76 und lag damit in einem sehr guten Bereich. Insgesamt fiel der nicht differenziert betrachtete Overall-Wert mit 0,78 gut aus. Der standardisierte und nicht standardisierte  $\alpha$ -Wert (= „ $\alpha$  ohne das Item“) wurde miteinander verglichen. Da sich die Werte nur in der zweiten Nachkommastelle unterschieden, ist nachfolgend nur der nicht standardisierte  $\alpha$ -Wert aufgeführt. Die Trennschärfe lag bei den Items 3.1, 3.2, 3.10, 3.11, 4.1, 4.2 4.3 5.1 und 5.2 unter 0,3.

Die Retest-Reliabilität für den Fragebogen wurde sowohl anhand der Mittelwerte als auch anhand der Summen der Antworten berechnet. Um die größtmögliche Anzahl der Daten miteinander zu korrelieren, wurden zur Berechnung die Semester als eigenständige Kohorten betrachtet. Dabei wurden Studierende des Wintersemester 2017/18 als erste Kohorte, des Sommersemesters 2018 als zweite Kohorte und des Wintersemester 2018/19 als dritte Kohorte definiert. Da es nur wenige fehlende Werte gab, wurden diese durch den Mittelwert der jeweiligen Kohorte ersetzt. Insgesamt war ein niedriger Korrelationskoeffizient kleiner gleich 0,15 zwischen allen Semestern festzustellen. Es fiel ein signifikanter Unterschied zwischen der ersten und zweiten sowie zwischen der ersten und dritten Kohorte für den Vergleich Plexiglasblock zu echtem Zahn auf. Unter Berücksichtigung des Mittelwerts der Antwortmöglichkeiten lag der Unterschied bei  $p=0,040$  beim Vergleich der ersten zur zweiten Kohorte bzw.  $p=0,017$  beim Vergleich der ersten zur dritten Kohorte. Berücksichtigte man stattdessen die Summe der Antwortmöglichkeiten, lag der Unterschied zwischen erster und zweiter Kohorte bei  $p=0,047$  bzw. zwischen erster und dritter Kohorte bei  $p=0,010$ .

Tabelle 19: Deskriptive Ergebnisse und Itemkennwerte der studentischen Bewertungen zu Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu extrahiertem Zahn

Item	n	MW $\pm$ SA	$\alpha$ (ohne das Item)	Itemtrennschärfe
3.1 Härte	87	2,80 $\pm$ 0,53	0,63	0,299
3.2 Röntgenopazität	83	2,80 $\pm$ 0,56	0,67	0,086
3.3 Wurzelkanaldurchmesser	86	2,40 $\pm$ 0,66	0,62	0,362
3.4 Eignung zum Üben	88	2,70 $\pm$ 0,53	0,65	0,216
3.5 Fairness für Prüfungen	88	1,82 $\pm$ 0,81	0,63	0,340
3.6 Eignung für praktische Prüfungen	88	2,41 $\pm$ 0,80	0,62	0,394
3.7 Handhabung	88	2,38 $\pm$ 0,65	0,63	0,311
3.8 Farbdiskriminierung	87	2,54 $\pm$ 0,70	0,63	0,326
3.9 Konsistenz Pulpainhalt	87	2,02 $\pm$ 0,86	0,63	0,336
3.10 anatomische Landmarken	86	2,35 $\pm$ 0,76	0,66	0,145
3.11 Wurzelkanalmorphologie	87	1,77 $\pm$ 0,77	0,64	0,260
3.12 taktiler Eindruck beim Präparieren	87	2,35 $\pm$ 0,76	0,60	0,513
Cronbachs $\alpha$ gesamt = 0,66				

Ergebnisse sind als n, MW mit SA, Cronbachs  $\alpha$ , wenn Item weggelassen und Itemtrennschärfe angegeben. Die Bewertung fand mittels eines dreistufigen semantischen Differentials statt. Die linke Antwortoption wurde mit 1 gewertet, die mittlere Antwortoption „identisch“ mit 2, die rechte Antwortoption mit 3. Aufgrund fehlender Werte variiert die Zahl der Teilnehmenden.

Tabelle 20: Deskriptive Ergebnisse und Itemkennwerte der studentischen Bewertungen zu Eigenschaften im Vergleich von Plexiglasblock zu extrahiertem Zahn

Item	n	MW $\pm$ SA	$\alpha$ (ohne das Item)	Itemtrennschärfe
4.1 Härte*	85	2,40 $\pm$ 0,82	0,64	0,088
4.2 Röntgenopazität	80	2,40 $\pm$ 0,72	0,67	-0,050
4.3 Wurzelkanaldurchmesser	87	2,15 $\pm$ 0,72	0,65	0,050
4.4 Eignung zum Üben	88	2,28 $\pm$ 0,80	0,54	0,484
4.5 Fairness für Prüfungen	88	1,66 $\pm$ 0,84	0,55	0,463
4.6 Eignung für praktische Prüfungen	87	1,99 $\pm$ 0,86	0,55	0,462
4.7 Handhabung	88	1,85 $\pm$ 0,89	0,53	0,510
4.8 Wurzelkanalmorphologie	87	1,52 $\pm$ 0,81	0,57	0,377
4.9 taktile Eindruck beim Präparieren	86	2,47 $\pm$ 0,73	0,55	0,439
Cronbachs $\alpha$ gesamt = 0,63				

Ergebnisse sind als n, MW mit SA, Cronbachs  $\alpha$ , wenn Item weggelassen und Itemtrennschärfe angegeben. \* kennzeichnet invertierte Items inklusive invertiertem MW. Die Bewertung fand mittels eines dreistufigen semantischen Differentials statt. Die linke Antwortoption wurde mit 1 gewertet, die mittlere Antwortoption „identisch“ mit 2, die rechte Antwortoption mit 3. Aufgrund fehlender Werte variiert die Zahl der Teilnehmenden.

Tabelle 21: Deskriptive Ergebnisse und Itemkennwerte der studentischen Bewertungen zu Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu Plexiglasblock

Item	n	MW $\pm$ SA	$\alpha$ (ohne das Item)	Itemtrennschärfe
5.1 Härte	87	2,72 $\pm$ 0,58	0,76	0,230
5.2 Röntgenopazität	83	2,41 $\pm$ 0,68	0,76	0,230
5.3 Wurzelkanaldurchmesser	88	2,24 $\pm$ 0,77	0,73	0,380
5.4 Eignung zum Üben	87	1,90 $\pm$ 0,82	0,70	0,540
5.5 Fairness für Prüfungen	87	2,03 $\pm$ 0,74	0,67	0,670
5.6 Eignung für praktische Prüfungen	88	1,97 $\pm$ 0,79	0,69	0,600
5.7 Handhabung	87	2,33 $\pm$ 0,74	0,67	0,660
Cronbachs $\alpha$ gesamt = 0,76				

Ergebnisse sind als n, MW mit SA, Cronbachs  $\alpha$ , wenn Item weggelassen und Itemtrennschärfe angegeben. Die Bewertung fand mittels eines dreistufigen semantischen Differentials statt. Die linke Antwortoption wurde mit 1 gewertet, die mittlere Antwortoption „identisch“ mit 2, die rechte Antwortoption mit 3. Aufgrund fehlender Werte variiert die Zahl der Teilnehmenden.

### 3.3.4 Subjektives Lernergebnis

Erneut gaben Studierende an, dass die 3D-gedruckten Zähne im Vergleich zum Plexiglasblock mehr zum subjektiven Lernerfolg beitrugen als die 3D-gedruckten Zähne im Vergleich zu echten Zähnen (Tabelle 22). Weitere Ergebnisse fielen auf vergleichbarem Niveau analog zur Pilotierungsstudie aus.

Tabelle 22: Deskriptive Ergebnisse der Dimension „subjektives Lernergebnis“

Item	n	MW $\pm$ SA	Min.	Max.
6.1 Lernerfolg Druckzahn Vergleich Echtzahn	86	1,98 $\pm$ 0,84	1	5
6.2 Lernerfolg Druckzahn Vergleich Plexiglasblock	86	3,27 $\pm$ 1,31	1	5
6.3 Ähnlichkeit Üben Druck-/Echtzahn	87	2,51 $\pm$ 1,02	1	4
6.4 Selbsteinschätzung Fertigkeiten Wurzelkanalbehandlung	87	2,75 $\pm$ 0,85	1	5

Ergebnisse sind als n, MW mit SA und Ausnutzung der Skala angegeben. Einschätzung erfolgte mittels einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Werten 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft voll zu“. Enthaltungen waren möglich. Aufgrund fehlender Werte und/oder Enthaltungen variiert die Zahl der Teilnehmenden.

### 3.3.5 Übungsmöglichkeiten

Erneut bestanden zwischen den Itempaaren (7.1-7.6) Unterschiede in der Bewertung der Studierenden bei Fragen zu Enthusiasmus, dem Erlernen feinmotorischer Fertigkeiten und der räumlichen Vorstellung ( $p \leq 0,001$ ) (Tabelle 23 und Abbildung 10). Die **Hypothese H2** „Studierende bewerten den Lernprozess zur Präparation von Wurzelkanälen nach dem Üben mit dem 3D-gedruckten Zahn gleich wie nach dem Üben mit dem echten Zahn“ musste folglich abgelehnt werden. Wie in der Pilotierungsstudie konnten sich Studierende nach dem Üben mit dem 3D-gedruckten Zahn die gesamte endodontische Ausbildung an diesem nur schwer vorstellen. Der Zugang zu den Wurzelkanälen des 3D-gedruckten Zahns der Validierungsstudie wurde im Vergleich zu echten Zähnen schwieriger eingeschätzt als in der Pilotierungsstudie. Insgesamt fiel die Bewertung der Items zum Lernerfolg etwas geringer aus.

Tabelle 23: Deskriptive Ergebnisse der Dimension „Übungsmöglichkeiten“

Item	n	MW $\pm$ SA	Min.	Max.
7.1 Enthusiasmus echte Zähne	88	3,72 $\pm$ 0,96	1	5
7.2 motorische Fertigkeiten echte Zähne	87	4,37 $\pm$ 0,73	2	5
7.3 räumliche Vorstellung echte Zähne	88	4,26 $\pm$ 0,86	1	5
7.4 Enthusiasmus 3D-gedruckte Zähne	88	2,57 $\pm$ 0,96	1	5
7.5 motorische Fertigkeiten 3D-gedruckte Zähne	87	2,84 $\pm$ 0,98	1	5
7.6 räumliche Vorstellung 3D-gedruckte Zähne	88	2,89 $\pm$ 0,99	1	5
7.7 Zugang Wurzelkanäle 3D-gedruckter Zahn schwierig	87	3,75 $\pm$ 1,06	1	5
7.8 gesamte endodontische Ausbildung an 3D-gedruckten Zähnen	87	1,64 $\pm$ 0,86	1	4
7.9 gesamte restaurative Ausbildung an 3D-gedruckten Zähnen	81	2,00 $\pm$ 1,08	1	5

Ergebnisse sind als n, MW mit SA und Ausnutzung der Skala angegeben. Einschätzung erfolgte mittels einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Werten 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft voll zu“. Enthaltungen waren möglich. Aufgrund fehlender Werte und/oder Enthaltungen variiert die Zahl der Teilnehmenden.

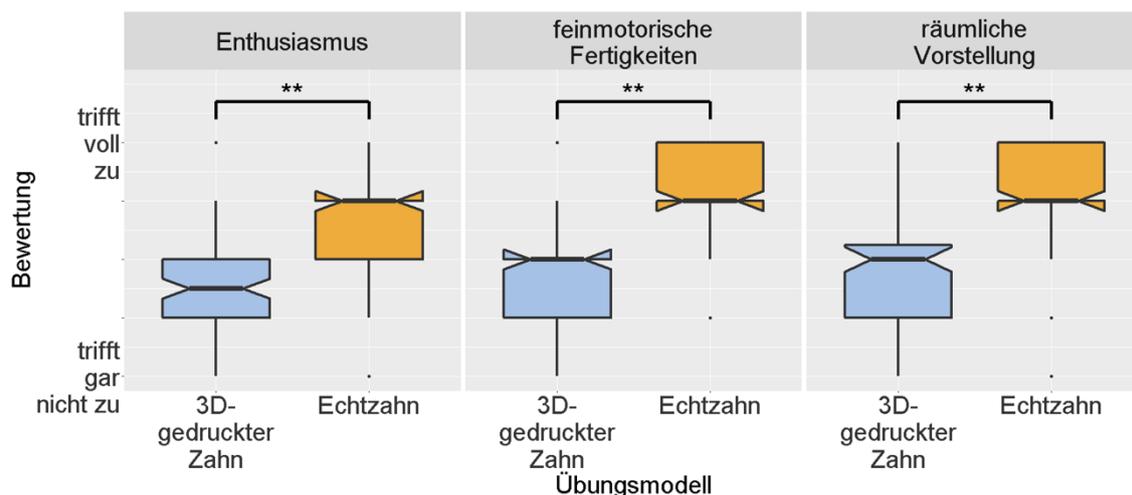


Abbildung 10: Studentische Einschätzung von Enthusiasmus, feinmotorischen Fertigkeiten und räumlicher Vorstellung im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu echtem Zahn

Im gekerbten Box-Plot entspricht der fette horizontale Strich dem Median, die Einkerbung über und unter dem Median entspricht dem Konfidenzintervall, die erste Quartile liegt im Bereich der vertikalen Linie und endet am unteren Rand der Box, die vierte Quartile liegt im Bereich der vertikalen Linie und beginnt am oberen Rand der Box, mindestens 50% der Daten entfallen auf den Bereich innerhalb der Box, Ausreißer sind als Punkte angegeben, \*\* = signifikante Unterschiede  $\leq 0,001$ .

### 3.3.6 Bewertung der didaktischen Qualität

Auf niedrigerem Niveau als in der Pilotierungsstudie wurde die didaktische Qualität überwiegend positiv bewertet (Tabelle 24). Jedoch beantwortete die Kohorte des Wintersemesters 2018/19 vier von fünf Items signifikant schlechter als das Sommersemester 2018 (Tabelle 25). Auf hohem Niveau wurde die Organisation des Kurses erneut am niedrigsten beurteilt, wobei keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Semestern festzustellen waren.

Tabelle 24: Studentische Bewertung der didaktischen Qualität

Item	n	Min.	Min.	Max.
8.1 Die Dozierenden des Kurses kennen sich mit der Durchführung von Wurzelkanalbehandlungen hervorragend aus.	88	$4,20 \pm 0,73$	2	5
8.2 Ich konnte von den Dozierenden wertvolle Hilfestellungen erhalten.	88	$4,00 \pm 1,06$	1	5
8.3 Ich wurde von den Dozierenden gut betreut.	87	$3,94 \pm 1,02$	1	5
8.4 Der Kurs war gut organisiert.	88	$3,16 \pm 0,99$	1	5
8.5 Ich hatte ausreichend Übungsmöglichkeiten.	87	$3,48 \pm 1,07$	1	5

Ergebnisse sind als n, MW mit SA und Ausnutzung der Skala angegeben. Einschätzung erfolgte mittels einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Werten 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft voll zu“. Enthaltungen waren möglich. Aufgrund fehlender Werte und/oder Enthaltungen variiert die Zahl der Teilnehmenden.

Tabelle 25: Studentische Bewertung der didaktischen Qualität zwischen den Semestern

Item	Sommersemester 2018				Wintersemester 2018/19				p-Wert
	n	MW $\pm$ SA	Min.	Max.	n	MW $\pm$ SA	Min.	Max.	
8.1	59	4,41 $\pm$ 0,65	2	5	29	3,79 $\pm$ 0,73	2	5	$\leq 0,001$
8.2	59	4,31 $\pm$ 0,92	2	5	29	3,38 $\pm$ 1,08	1	5	$\leq 0,001$
8.3	58	4,21 $\pm$ 0,97	1	5	29	3,41 $\pm$ 0,95	1	5	$\leq 0,001$
8.4	59	3,22 $\pm$ 1,00	1	5	29	3,03 $\pm$ 0,98	1	5	ns
8.5	59	3,64 $\pm$ 1,08	1	5	28	3,14 $\pm$ 0,97	1	5	$\leq 0,05$

Ergebnisse sind angegeben als n, MW mit SA, Ausnutzung der Skala sowie aufgeführtem p-Wert. Einschätzung erfolgte mittels einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Werten 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft voll zu“. Enthaltungen waren möglich. Aufgrund fehlender Werte und/oder Enthaltungen variiert die Zahl der Teilnehmenden. „ns“ steht für „nicht signifikant“.

### 3.3.7 Freitextkommentare

Etwa ein Drittel der Studierenden nutzte die Möglichkeit, Verbesserungsvorschläge für den 3D-gedruckten Zahn zu machen. Dabei entfiel die häufigste Nennung auf die Erhöhung der Röntgenopazität sowie die Steigerung der Härte und die farbige Gestaltung des 3D-gedruckten Zahns. Wie in der Pilotierungsstudie wünschten sich Studierende einen besseren farbigen Unterschied zwischen Zahnhartsubstanz und Pulpa. Obwohl das Item 6.8 der Pilotierungsstudie, das die Reihenfolge der Bearbeitung der Übungsmodelle erfragte, im Fragebogen der Validierungsstudie nicht enthalten war, wünschten sich Studierende einen geänderten Kursablauf. So sollte vor den echten Zähnen mit dem 3D-gedruckten Zahn geübt werden. Ebenso wurde der Wunsch geäußert, dass für die Bearbeitung des 3D-gedruckten Zahns mehr Zeit zur Verfügung stehen und dafür die Bearbeitungszeit des Plexiglasblocks reduziert werden solle. Die Vorteile der echten Zähne sahen die Studierenden mit ca. 80% der Nennungen in der realitätsnahen Konsistenz dieser. Die bessere farbige Diskriminierung und Röntgenopazität wurde am zweit- und dritthäufigsten genannt. Einzelnennungen schätzten die Möglichkeit, bei echten Zähnen bestehende Füllungen und vorherrschende kariöse Läsionen auszutauschen bzw. mit zu behandeln. Weitere Einzelnennungen würdigten die hohe Varianz der Morphologie der Wurzelkanäle, die Ehrgeiz bei der Behandlung wecken würde. Der Wechsel von Übungsmodellen aus Kunststoff hin zu echten Zähnen wurde als Fortschritt gewertet. Die Verwendung der Plexiglasblöcke schien einigen Studierenden als überholt. Als Vorteile der 3D-gedruckten Zähne wurde am häufigsten die Reproduzierbarkeit und standardisierte Herstellung genannt. Da alle Studierenden damit die gleichen Ausgangsbedingungen hätten, würden sich die 3D-gedruckten Zähne besser für die praktischen Testate eignen. Studierende lobten den 3D-gedruckten Zahn, der im Vergleich zum Plexiglasblock deutlich realistischer wäre, da eine Trepanation sowie die Suche nach Wurzelkanälen

nötig sei. Die Behandlung von schwierigen Wurzelkanalmorphologien sei mit 3D-gedruckten Zähnen möglich. Außerdem würde das teilweise schwierige Sammeln geeigneter echter Zähne entfallen. Eine Einzelnennung wünschte sich für die ersten Versuche durchsichtige 3D-gedruckte Zähne zum Üben unter Sicht.

### 3.3.8 Varianzanalyse

Für die Varianzanalyse wurde zunächst bestimmt, ob externe Faktoren Einfluss auf die Bewertung der Studierenden hatten. Hierzu wurden die Angaben der zwei Kohorten der Validierungsstudie mittels t-Test auf signifikante Unterschiede untersucht. Dieser ergab, dass signifikante Unterschiede bei den Items 8.1-8.3 und 8.5 zwischen den Semestern vorlagen (Tabelle 25). Die signifikanten Unterschiede zwischen den Semestern waren evident für die Verwendung einer Kovariate. Zur Bildung der Kovariate wurden die signifikanten Variablen addiert und durch die Anzahl der addierten Items geteilt. Daraus wurde der Mittelwert gebildet, der als Kovariate bei der Berechnung berücksichtigt wurde. Die zur Berechnung verwendete ANCOVA korrigierte somit den signifikanten Einfluss der unterschiedlichen Kursbewertung zwischen den Semestern auf die Beantwortung der Items. Als Teil der Kriteriumsvalidität konnte damit erstens überprüft werden, ob das Gesamtmodell signifikant war und ob ein Haupteffekt der leistungsabhängigen Einteilung der Studierenden (High, Medium und Low Performer) auf die Beantwortung der Items signifikant war oder ob dieser sich auf die Kovariate zurückführen ließ. Zweitens wurden im Rahmen der Untersuchung der differentiellen Validität leistungsabhängige Gruppenunterschiede in der Bewertung der Items bestimmt.

#### 3.3.8.1 Klausur

In der Validierungsstudie konnten die Klausurergebnisse von 87 Studierenden berücksichtigt werden. Es konnten 25 Punkte aus der Zahnerhaltung erzielt werden. Davon wurden maximal 22 und minimal 8,5 Punkte (entspricht 34,00% der maximalen Punktzahl) erreicht. Der Mittelwert lag bei  $16,53 \pm 2,94$ , im Median wurden 17 Punkte erzielt. Die Kohorte des Sommersemesters 2018 schnitt mit  $17,26 \pm 2,56$  Punkten besser ab als die Kohorte des Wintersemesters 2018/19 mit  $15,07 \pm 3,15$  Punkten. Die Grenze zum Bestehen der Klausur lag im Sommersemester 2018 bei 60,00% der maximalen Punktzahl bzw. im Wintersemester 2018/19 bei 56,25%, zusammengefasst aus den Punkten der Zahnerhaltung und Parodon-

tologie. Betrachtet man dies für die Zahnerhaltung gesondert, entsprachen 60,00% 15 Punkten. Diese Punktzahl wich nur wenig vom Mittelwert des Wintersemesters 2018/19 mit 15,07 ab. Für die Einteilung der Studierenden wurden beide Semester zur Validierungsstudie zusammengefasst und anhand der Perzentile der Klausurergebnisse in High, Medium und Low Performer eingeteilt (Tabelle 26).

Tabelle 26: Gruppierung der Studierenden in High, Medium und Low Performer anhand der Klausurergebnisse

Perzentile	$\geq 75\%$	$75\% > 25\%$	$\leq 25\%$
Klausurergebnis	$\geq 19,00$ Punkte	$19,00 > 14,50$ Punkte	$\leq 14,50$ Punkte
Einteilung (Performer)	High	Medium	Low

Es zeigte sich, dass das Gesamtmodell bei einem Teil der Items signifikant war (Tabelle 27). Haupteffekte auf die Beantwortung der Items in den Fragebogendimensionen „Voraussetzungen“, „Eigenschaften im Vergleich von Plexiglasblock zu echtem Zahn“, „Übungsmöglichkeiten“ sowie „Bewertung der didaktischen Qualität“ wurden nachgewiesen, die auf die leistungsabhängige Einteilung sowie insbesondere auf die Kovariate zurückzuführen waren. Ebenso wurden zwischen den drei Leistungsgruppen signifikante Unterschiede in der Beantwortung der Items in den Fragebogendimensionen „Personendaten“, „Voraussetzungen“, „Eigenschaften im Vergleich von Plexiglasblock zu echtem Zahn“, „subjektives Lernergebnis“, „Übungsmöglichkeiten“ sowie „Bewertung der didaktischen Qualität“ nachgewiesen.

Tabelle 27: Vergleich der Beantwortung der Items zwischen den Leistungsgruppen der Einteilung anhand der Klausurergebnisse

Item	G <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	Unterschiede zwischen den Leistungsgruppen (MW $\pm$ SA)			
	p-Wert	p-Wert	p-Wert	High Performer	Medium Performer	Low Performer	p-Wert
2.2	ns	ns	ns	22,23 $\pm$ 2,37	23,80 $\pm$ 3,03		$\leq 0,05$
2.5	ns	ns	ns		3,61 $\pm$ 0,79	3,18 $\pm$ 0,98	$\leq 0,05$
2.6	$\leq 0,01$	$\leq 0,001$	ns				ns
4.1	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	ns				ns
4.2	ns	ns	ns		2,51 $\pm$ 0,68	2,09 $\pm$ 0,75	$\leq 0,05$
4.5	$\leq 0,05$	ns (0,057)	ns	1,40 $\pm$ 0,74		1,94 $\pm$ 0,93	$\leq 0,05$
6.2	ns	ns	ns	2,81 $\pm$ 1,33	3,52 $\pm$ 1,27		$\leq 0,05$
7.2	$\leq 0,001$	$\leq 0,001$	ns				ns
7.3	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	ns				ns
7.8	ns (0,061)	ns	$\leq 0,05$	1,95 $\pm$ 1,07		1,32 $\pm$ 0,47	$\leq 0,05$
8.1	$\leq 0,001$	$\leq 0,001$	ns	3,99 $\pm$ 0,59	4,28 $\pm$ 0,83		$\leq 0,05$
8.2	$\leq 0,001$	$\leq 0,001$	ns				ns
8.3	$\leq 0,001$	$\leq 0,001$	ns				ns
8.4	$\leq 0,001$	$\leq 0,001$	ns				ns

8.5	≤0,001	≤0,001	ns				ns
-----	--------	--------	----	--	--	--	----

„G<sub>1</sub>“ steht für Gesamtmodell, „H<sub>1</sub>“ steht für Haupteffekt der Kovariate, „H<sub>2</sub>“ steht für Haupteffekt der Einteilung in Leistungsgruppen auf Grundlage der Perzentile der Klausurergebnisse, „ns“ steht für „nicht signifikant“. Ergebnisse sind angegeben als Nummer des Items im Fragebogen, Signifikanzniveau der p-Werte wie aufgeführt, Leistungsgruppe sowie MW mit SA der genannten Leistungsgruppe. Angabe des Alters bei Item 2.2. Einschätzung der Items 2.5, 6.2, 7.8 und 8.1 mittels einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Werten 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft voll zu“. Einschätzung der Items 4.2 und 4.5 anhand eines dreistufigen semantischen Differentials, wobei die linke Antwortoption mit 1 und die rechte Antwortoption mit 3 gewertet wurde.

### 3.3.8.2 Praktische Testate

Daten von 88 Studierenden konnten für die Gruppeneinteilung anhand der Ergebnisse der praktischen Testate untersucht werden (Tabelle 28). Diese wiesen bereits eine Gruppierung durch die Anzahl der Wiederholungsversuche auf. Durch die geringe Zahl an Studierenden, die das maschinelle Testat ein bzw. zweimal wiederholen mussten, wurden beide Gruppen zur Kohorte der Low Performer zusammengefasst. Diese repräsentierten 5,68% aller Teilnehmenden. Im manuellen Testat repräsentierten die High Performer 62,50%, die Medium Performer 28,41% und die Low Performer 9,09% aller Studierenden.

Tabelle 28: Gruppierung der Studierenden in High, Medium und Low Performer anhand der Ergebnisse der praktischen Testate

Wiederholungsversuche	0	1	1	2
Manuelles Testat	55	25		8
Maschinelles Testat	83		3	2
Einteilung	High	Medium	Low	Low

Für beide leistungsabhängigen Einteilungen wurde eine ANCOVA berechnet. Wie in Kapitel 3.3.8.1 beschrieben, wurde zunächst untersucht, ob das Gesamtmodell signifikant war. Die Signifikanz des Haupteffekts wurde für die leistungsabhängige Einteilung sowie die Kovariate der Items analysiert. Nach der leistungsabhängigen Einteilung basierend auf den Daten des maschinellen Testats war das Gesamtmodell in den Fragebogendimensionen „Voraussetzungen“, „Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn und Plexiglasblock zu echtem Zahn“, „Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu Plexiglasblock“, „Übungsmöglichkeiten“ sowie „Bewertung der didaktischen Qualität“ signifikant (Tabelle 29). Zudem zeigten sich Haupteffekte, die primär auf die Kovariate zurückzuführen waren. Anders bei Item 4.5 der Fragebogendimension „Eigenschaften im Vergleich von Plexiglasblock zu 3D-gedrucktem Zahn“: hier war der Haupteffekt aufgrund der leistungsabhängigen Einteilung signifikant. Einzig bei diesem Item bestand ein signifikanter Unterschied in der Beantwortung zwischen den Leistungsgruppen.

Tabelle 29: Beantwortung der Items zwischen den Leistungsgruppen der Einteilung anhand der Ergebnisse des maschinellen Testats

Item	G <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	Unterschiede zwischen den Leistungsgruppen (MW ± SA)		
	p-Wert	p-Wert	p-Wert	High Performer	Low Performer	p-Wert
2.6	≤0,01	≤0,001	ns			ns
3.1	≤0,05	≤0,01	ns			ns
4.1	≤0,05	≤0,05	ns			ns
4.5	≤0,05	ns	≤0,05	1,61 ± 0,81	2,46 ± 0,89	≤0,05
4.9	≤0,05	≤0,01	ns			ns
5.4	≤0,05	≤0,05	ns			ns
7.2	≤0,001	≤0,001	ns			ns
7.3	≤0,05	≤0,01	ns			ns
8.1	≤0,001	≤0,001	ns			ns
8.2	≤0,001	≤0,001	ns			ns
8.3	≤0,001	≤0,001	ns			ns
8.4	≤0,001	≤0,001	ns			ns
8.5	≤0,001	≤0,001	ns			ns

„G<sub>1</sub>“ steht für Gesamtmodell, „H<sub>1</sub>“ steht für Haupteffekt der Kovariate, „H<sub>2</sub>“ steht für Haupteffekt der Einteilung in Leistungsgruppen auf Grundlage des maschinellen Testats, „ns“ steht für „nicht signifikant“. Ergebnisse sind angegeben als Nummer des Items im Fragebogen, Signifikanzniveau der p-Werte wie aufgeführt, Leistungsgruppe sowie MW mit SA der genannten Leistungsgruppe. Einschätzung des Items 4.5 anhand eines dreistufigen semantischen Differentials, wobei die linke Antwortoption mit 1 und die rechte Antwortoption mit 3 gewertet wurde.

Basierend auf den Daten des manuellen Testats war das Gesamtmodell für alle Fragebogendimensionen außer „subjektives Lernergebnis“ signifikant (Tabelle 30). Zudem zeigten sich Haupteffekte, die sowohl auf die Kovariate als auch auf die Anzahl an benötigten Wiederholungsversuchen im manuellen Testat zurückzuführen waren. Bei Item 5.3 lag sowohl ein signifikanter Haupteffekt der Kovariate als auch der leistungsabhängigen Einteilung vor. Darüber hinaus wurden zwischen den drei Leistungsgruppen signifikante Unterschiede in der Beantwortung der Items nachgewiesen.

Tabelle 30: Vergleich der Beantwortung der Items zwischen den Leistungsgruppen der Einteilung anhand der Ergebnisse des manuellen Testats

Item	G <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	Unterschiede zwischen den Leistungsgruppen (MW ± SA)			
	p-Wert	p-Wert	p-Wert	High Performer	Medium Performer	Low Performer	p-Wert
2.2	≤0,05	ns	≤0,05	22,77 ± 2,34	24,64 ± 3,07		≤0,01
2.3	≤0,001	ns	≤0,001	2,00 ± 0,00	1,76 ± 0,44		≤0,001
					1,76 ± 0,44	2,00 ± 0,00	≤0,05
2.6	≤0,001	≤0,001	ns	4,38 ± 0,65	4,04 ± 0,76		≤0,05
3.1	≤0,05	≤0,01	ns				ns
3.3	≤0,01	ns	≤0,01	2,57 ± 0,54	2,03 ± 0,79		≤0,001
				2,55 ± 0,57	2,16 ± 0,62		≤0,01
3.7	≤0,01	ns	≤0,01			1,88 ± 0,84	≤0,01
				2,55 ± 0,57			≤0,01
3.9	ns	ns	≤0,05		1,76 ± 0,78	2,63 ± 0,74	≤0,05
4.3	ns	ns	ns	2,07 ± 0,70		2,63 ± 0,74	≤0,05

4.5	≤0,05	≤0,05	ns				ns
4.7	≤0,05	ns	≤0,05	1,72 ± 0,85		2,62 ± 0,74	≤0,01
					1,91 ± 0,93	2,62 ± 0,74	≤0,05
4.9	≤0,01	≤0,01	ns				ns
5.3	≤0,01	≤0,05	≤0,05	2,42 ± 0,74	1,92 ± 0,79		≤0,01
5.4	≤0,05	≤0,05	ns				ns
7.2	≤0,001	≤0,001	ns				ns
7.3	≤0,05	≤0,01	ns				ns
8.1	≤0,001	≤0,001	ns				ns
8.2	≤0,001	≤0,001	ns				ns
8.3	≤0,001	≤0,001	ns				ns
8.4	≤0,001	≤0,001	ns				ns
8.5	≤0,001	≤0,001	ns				ns

„G<sub>1</sub>“ steht für Gesamtmodell, „H<sub>1</sub>“ steht für Haupteffekt der Kovariate, „H<sub>2</sub>“ steht für Haupteffekt der Einteilung in Leistungsgruppen auf Grundlage des manuellen Testats, „ns“ steht für „nicht signifikant“. Ergebnisse sind angegeben als Nummer des Items im Fragebogen, Signifikanzniveau der p-Werte wie aufgeführt, Leistungsgruppe sowie MW mit SA der genannten Leistungsgruppe. Angabe des Alters bei Item 2.2. Eine abgeschlossene Ausbildung im zahntechnischen Bereich wurde bei Item 2.3 mit 1, keine mit 2 gewertet. Einschätzung des Items 2.6 mittels einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Werten 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft voll zu“. Einschätzung der Items 3.3, 3.7, 3.9, 4.3, 4.7 und 5.3 anhand eines dreistufigen semantischen Differentials, wobei die linke Antwortoption mit 1 und die rechte Antwortoption mit 3 gewertet wurde.

Der Fragebogen wurde auf Inhalts-, Kriteriums- und Konstruktvalidität überprüft. Unter zusätzlicher Berücksichtigung der Ergebnisse der interferenzstatistischen Auswertung der ANCOVA konnte festgestellt werden, dass der Fragebogen Merkmale eines validen Messinstruments aufwies. Zusätzlich konnten bei allen leistungsabhängigen Einteilungen der Studierenden signifikante Gruppenunterschiede in der Bewertung festgestellt werden. Der **Hypothese H3** „Basierend auf den Ergebnissen der praktischen Testate und der Klausur sind signifikante Unterschiede in der Beantwortung der quantifizierbaren Items zwischen den Leistungsgruppen (High, Medium und Low Performer) festzustellen“ konnte deshalb zugestimmt werden.

## 4 Diskussion

Übungsmodelle sind zum Erlernen der manuellen Fertigkeiten in der endodontischen Ausbildung essentiell. Zur Simulation der Patientenbehandlung haben sich in der Vergangenheit Plexiglasblöcke und extrahierte echte Zähne etabliert. Durch den 3D-Druck und die Verwendung von 3D-gedruckten Zähnen eröffnen sich neue Möglichkeiten in der endodontischen Ausbildung (Kröger, Dekiff et al. 2017). Zur Überprüfung der Qualität der 3D-gedruckten Zähne und des Lernerfolgs bei den Studierenden im Vergleich zu den bisherigen Übungsmodellen sollten standardisierte und psychometrisch getestete Fragebögen verwendet werden. Ein solcher Fragebogen lag zum Zeitpunkt der Studie in der deutschsprachigen Literatur nicht vor.

In dieser Studie wurde ein Messinstrument zur Beurteilung von 3D-gedruckten Zähnen für die endodontische Ausbildung entwickelt sowie die verwendeten 3D-gedruckten Zähne evaluiert. Der entwickelte Fragebogen wurde längsschnittig mittels Pilotierungs- und Validierungsstudie auf wesentliche Hauptgütekriterien getestet. Die Kennzahlen wiesen auf statistischer Ebene auf robuste Ergebnisse hin. Bedeutsame Parameter wie die probabilistische Schwierigkeit, Trennschärfe, Standardabweichung, Reliabilität und Validität lagen in einem guten Bereich und sprechen für ein repräsentatives Ergebnis (Möltner, Schellberg et al. 2006, Bond, Yan et al. 2020). Die probabilistische Itemschwierigkeit lag für Items des semantischen Differentials in der Pilotierungs- sowie Validierungsstudie im Bereich von +/-2. Die höhere Personenfähigkeit der Validierungsstudie deutet darauf hin, dass die Items für die Studierenden leichter zu beantworten waren. Ursächlich hierfür könnte einerseits die Anpassung des Übungsmodells gewesen sein, die dazu führte, dass die Studierenden die jeweiligen Items einfacher beurteilen konnten. Andererseits verfolgte die Reduktion des Antwortformats das Ziel, dass Studierende mit diesem einfacher zurechtkommen (Linacre and Wright 2000, Bond, Yan et al. 2020). Letzterer Effekt könnte sich in der vorliegenden Arbeit positiv ausgewirkt haben. Im Rahmen der Evaluation wurden zwei Hypothesen verifiziert, davon eine mit Einschränkungen. Eine dritte Hypothese wurde abgelehnt.

Insgesamt lassen die Ergebnisse darauf schließen, dass sich der Fragebogen zur Beurteilung weiterer 3D-gedruckter Zähne eignet. Außerdem kann der verwendete Fragebogen als Vorlage für die Entwicklung und psychometrische Testung weiterer Fragebögen für 3D-gedruckte Zähne dienen.

## 4.1 Fragebogentestung

Der Fragebogen wurde auf wesentliche Hauptgütekriterien getestet. Die Ergebnisse werden im Folgenden diskutiert.

### 4.1.1 Objektivität

In der vorliegenden Studie konnte nicht ausgeschlossen werden, dass die Durchführungsobjektivität durch Zusammenarbeit der Studierenden oder Fragen an die Dozierenden beeinflusst wurde. Konkrete Hinweise gab es hierfür allerdings nicht. Andererseits ist ein Ziel von Evaluation die Lern- und Dialogfunktion, welche hier teilweise im Kontrast zur Durchführungsobjektivität steht (Döring and Bortz 2016). Zusätzlich nimmt die Reihenfolge der Fragen Einfluss auf die Bewertung (Krebs and Menold 2014). So führt die Beantwortung einer spezifischen Frage und danach einer allgemeinen Frage zum gleichen Thema zu einer Exklusion der spezifischen Antwort (Rammstedt 2010). Zur Vermeidung dieses Effekts soll zunächst die allgemeine und im Anschluss die spezifische Frage gestellt werden. Die Items 3.5, 3.6, 4.5, 4.6, 5.5 und 5.6 erfragten jeweils Eigenschaften zur Eignung des Übungsmodells für Prüfungen. Dabei wurde berücksichtigt, dass zunächst die allgemeine und im Anschluss die spezifische Frage gestellt wurde. Ein Effekt zwischen der Pilotierungs- und Validierungsstudie durch das Entfernen des Items 6.8, das die Reihenfolge der Bearbeitung der Übungsmodelle erfragte, ist möglich. Da das Item aber keinen direkten Bezug zu den vorherigen Items hatte, wird der Effekt als gering eingeschätzt (Rammstedt 2010). Generell wird die Auswertungsobjektivität bei Items im Multiple-Choice-Format als problemlos angesehen (Moosbrugger and Kelava 2012). Zur Erhöhung der Auswertungsobjektivität sind möglichst wenige Antworten händisch zu übertragen und klare Regeln zur händischen Eingabe vorzugeben (Rammstedt 2010). Durch die elektronische Auswertung der Fragebögen wurde dies entsprechend berücksichtigt. Trotz mehrmaliger Instruktion zeigte sich, dass einige Studierende ungeeignete Stifte zum Ausfüllen der Fragebögen verwendeten, was dazu führte, dass bei einzelnen Personen eine große Anzahl an Antworten manuell übertragen werden musste. Geringe Schwankungen der Anzahl der Antworten können deshalb auf den Umstand der Auswertung zurückzuführen sein. Eine digitale Befragung per Smartphone oder Tablet könnte solche Effekte reduzieren. Jedoch ermöglichte die papierbasierte Befragung eine Zusammenführung der Fragebögen mit den jeweiligen Leistungsdaten. Ein geeignetes digitales System, das die Verknüpfung der Fragebögen mit den Leistungsdaten erlaubt, stand zum Zeitpunkt der Studie nicht zur Verfügung. Andererseits wurden Antworten, die mit „keine

Angabe“ angekreuzt wurden, ebenfalls als fehlende Werte angesehen und reduzierten damit die gesamte Zahl der Antworten eines Items. Außer bei Item 7.9 wurde diese Antwortoption in der Regel nur von ein bis drei Studierenden je Item gewählt. Aufgrund der geringen Anzahl fand deshalb keine gesonderte Darstellung statt. Zur Wahrung der Interpretationsobjektivität sind die Ergebnisse gegenüber Vergleichswerten oder Normen zu untersuchen, sodass die Interpretation unabhängig von den Untersuchenden ist (Bortz and Döring 2006, Moosbrugger and Kelava 2012). Das Erreichen der benötigten Stichprobengröße in der Pilotierungs- und Validierungsstudie stellte ein hohes Maß an Interpretationsobjektivität sicher.

#### **4.1.2 Validität**

Im Rahmen dieser Studie wurde nachgewiesen, dass der entwickelte Fragebogen Eigenschaften eines validen Messinstruments aufwies.

Zur Berücksichtigung der Inhaltsvalidität soll bei der Erstellung des Fragebogens ein „Itemuniversum“ inklusive entsprechender Skala für das zu erfassende Merkmal definiert werden (Cronbach and Meehl 1955, Rammstedt 2010). Dabei gilt es zu beachten, dass die Inhaltsvalidität kaum auf objektive Kriterien überprüft werden kann (Krebs and Menold 2014). Deshalb kommt der Beurteilung der Items durch Expertinnen und Experten eine Schlüsselrolle bei der Überprüfung auf Inhaltsvalidität zu (Moosbrugger and Kelava 2012). Das heterogene Expertenteam aus den Bereichen der Medizindidaktik, Zahnmedizin und Psychologie gewährleistete die relevanten Facetten zur Wahrung der Inhaltsvalidität der Items. Zusätzlich wurde der Fragebogen erfolgreich in der Pilotierungsstudie getestet.

Bei der Überprüfung der Kriteriumsvalidität soll der Fragebogen einem möglichst objektiven Kriterium gegenüberstehen (Krebs and Menold 2014). In dieser Studie dienten die Ergebnisse der Klausur bzw. der praktischen Testate als objektives Kriterium. Außerdem wurde der Einfluss der Kovariate untersucht. In der Validierungsstudie war die Signifikanz des Haupteffekts überwiegend auf die Kovariate zurückzuführen. Die subjektiv empfundene Qualität der didaktischen Betreuung nahm somit direkt Einfluss auf die Beantwortung der Items. Wie zu erwarten, zeigte sich dies bei Item 2.6, das die Freude an praktischen Inhalten des Studiums der Zahnmedizin erfragte. Übereinstimmend hierzu identifizierte Schiekirka die studentische Zufriedenheit mit der Lehre und die Schwierigkeit der Klausur als Einflussfaktoren auf die Bewertung, die unabhängig von einem objektiv hochwertigen Lehrangebot

sind (Schiekirka and Raupach 2015). Von Seiten der Dozierenden konnten keine wesentlichen Änderungen im Kursablauf zwischen den Semestern identifiziert werden. Die geringere Einschätzung der didaktischen Qualität könnte deshalb eher auf die geringere Leistung in der Klausur der Teilnehmenden der Validierungsstudie zurückzuführen sein (Kapitel 3.3.8.1). Jedoch nahm bei einem Teil der Items aus den Fragebogendimensionen „Personendaten“, „Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn und Plexiglasblock zu echtem Zahn“, „Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu Plexiglasblock“ sowie „Übungsmöglichkeiten“ das Abschneiden in den Prüfungen direkten Einfluss auf die Beantwortung. Als ursächlich hierfür konnten die Gruppenunterschiede im Rahmen der Untersuchung auf differentielle Validität identifiziert werden. Die Ergebnisse werden im Rahmen des Kapitels 4.3.1 diskutiert.

#### **4.1.3 Reliabilität**

Im Rahmen dieser Studie wurde nachgewiesen, dass der entwickelte Fragebogen Merkmale eines reliablen Messinstruments aufwies.

Die Invertierung weniger Items in beiden Kohorten kam dem Ziel nach einer adäquaten Berechnung des  $\alpha$ -Werts nach (Ghiselli 1963). Anders als in der Pilotierungsstudie mussten in der Validierungsstudie die Items 3.3, 3.5 und 3.7 nicht invertiert werden, um auf einen  $\alpha$ -Wert von 0,66 zu kommen. Dies kann in der Anpassung des Wurzelkanaldurchmessers zwischen Pilotierungs- und Validierungsstudie begründet sein. Gestützt wird dies durch den Vergleich der Mittelwerte zwischen den Kohorten. Die Mittelwerte der Validierungsstudie spiegelten den Effekt der Invertierung aus der Pilotierungsstudie bereits wider und machten eine Invertierung obsolet. Zur sinnvollen Berechnung der Reliabilität der Fragebogendimension „Eigenschaften im Vergleich von Plexiglasblock zu echtem Zahn“ musste Item 4.1, das die Härte des Plexiglasblocks im Vergleich zum echten Zahn erfragte, in der Validierungsstudie invertiert werden. Anders als in der Pilotierungsstudie ( $1,95 \pm 0,99$ ) beurteilten Studierende im Mittel die Härte mit  $1,62 \pm 0,82$ . Da der Plexiglasblock standardisiert hergestellt wird, sollte sich dieser konstant in der Einschätzung verhalten. Somit könnte die unterschiedliche Bewertung auf die verwendeten echten Zähne zurückzuführen sein. Studien zeigten, dass die mechanischen Eigenschaften des Dentins insbesondere vom Grad der Hydrierung abhängen (Jameson, Hood et al. 1993, Kahler, Swain et al. 2003). Huang konnte in einer Studie hingegen feststellen, dass die Dehydrierung des Dentins nach einer endodontischen Behandlung per se nicht zu einer Schwächung der Zug- und Druckfestigkeit des Zahns führt

(Huang, Schilder et al. 1992). Womöglich haben die Eigenschaften der echten Zähne Einfluss auf die Bewertung genommen. Unter Betrachtung der Kriteriumsvalidität hatte zusätzlich die Kovariate bei der Leistungseinteilung nach der Klausur sowie dem maschinellen Test direkten Einfluss auf die Beurteilung des Items 4.1. Es scheint deshalb so, als hätte die subjektive, didaktische Qualität Einfluss auf die Beurteilung der Härte des Plexiglasblocks. Darüber hinaus wurden in der Fragebogendimension „Eigenschaften im Vergleich von Plexiglasblock zu echtem Zahn“ die Items 4.1, 4.2 und 4.3 identifiziert, die sich negativ auf den  $\alpha$ -Wert auswirkten. Durch Entfernen des jeweiligen Items würde der  $\alpha$ -Wert auf 0,64, 0,67 bzw. 0,65 steigen. Auffällig war hierbei, dass Item 4.2 den  $\alpha$ -Wert am stärksten reduziert und zusätzlich am wenigsten von den Teilnehmenden beantwortet wurde. Es scheint, als hätten die Teilnehmenden Schwierigkeiten gehabt, das Item ausreichend zu beurteilen. Neben Effekten auf den  $\alpha$ -Wert fällt zudem die geringe Itemtrennschärfe einiger Items auf. Ursächlich hierfür könnte insbesondere bei Item 4.1 die statistische Invertierung sein (Suárez-Alvarez, Pedrosa et al. 2018). Andererseits könnte die Ursache auch darin liegen, dass die Items 3.2, 4.1-4.3, 5.1 und 5.2 stärker nach der mechanischen Beschaffenheit des Übungsmodells fragten. Betrachtet man die deskriptiven Werte der genannten Items, fällt auf, dass die Mittelwerte dieser Items insbesondere in der Fragebogendimension „Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu echtem Zahn“ sowie „Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu Plexiglasblock“ am stärksten von der „identischen“ Einschätzung (= Wert 2) abwichen. Andererseits könnte die geringe Itemtrennschärfe evident dafür sein, dass die erfragten Merkmale nur geringfügig ausgeprägt waren. Dies sollte bei Items zum 3D-gedruckten Zahn Anlass für spezifische Verbesserungen des Übungsmodells geben.

Die in der vorliegenden Studie untersuchte Retest-Reliabilität ergab geringe Korrelationen zwischen den Kohorten und stellte sich als wenig geeignetes Maß heraus. Diese waren dabei teilweise zu erwarten, da der 3D-gedruckte Zahn zwischen der Pilotierungs- und der Validierungsstudie angepasst wurde (Moosbrugger and Kelava 2012). Außerdem konnten signifikante Unterschiede zwischen den Kohorten in der Korrelation der Daten beim Vergleich von Plexiglasblock zu echtem Zahn festgestellt werden. Da der Plexiglasblock unverändert blieb, sind diese Effekte voraussichtlich auf den echten Zahn zurückzuführen. Wie bereits im vorherigen Abschnitt erwähnt, könnte dies darauf deuten, dass es sich bei den echten Zähnen um ein instabiles Messobjekt in der subjektiven Einschätzung ihrer Eigenschaften handeln könnte. Auch ein Effekt durch die gering beurteilte Betreuung der dritten Kohorte im Vergleich zur ersten und zweiten Kohorte könnte Einfluss auf die Ergebnisse genommen

haben (Schiekirka and Raupach 2015). Wie die Analyse der Person-Item Map der Validierungsstudie ergab, fiel der Einfluss von Personen mit extremem Kreuzungsverhalten gering aus. In weiteren Studien sollte deshalb untersucht werden, ob die subjektive Einschätzung der Eigenschaften von echten Zähnen sich als instabiles Messobjekt erneut darstellt. Für eine sinnvolle Berechnung der Retest-Reliabilität sollte bei weiteren Studien darauf geachtet werden, dass das Übungsmodell in den zu untersuchenden Kohorten identisch ist. Da die Halbierungsreliabilität und die Paralleltestreliabilität nicht Teil dieser Studie waren, sollten diese in zukünftigen Studien untersucht werden.

## **4.2 3D-gedruckte Zähne in der endodontischen Ausbildung**

Sowohl in der Pilotierungs- als auch in der Validierungsstudie beantworteten Studierende das Item 2.8 zur Frage nach Schwierigkeiten, echte Zähne in externen Praxen zu besorgen, im Mittel mit „trifft teilweise zu“. 39,00% der Studierenden der Pilotierungsstudie gaben bei dem gleichen Item an „trifft ziemlich zu“ bzw. „trifft voll zu“. In der Validierungsstudie lag dieser Wert bei 35,22%. Item 2.9, das fragte, ob die Studierenden genügend geeignete echte Zähne für die Übungen im Kurs zur Verfügung hatten, wurde überwiegend mit „trifft teilweise zu“ bzw. „trifft ziemlich zu“ beantwortet. Sowohl in der Pilotierungs- als auch in der Validierungsstudie fielen die große Standardabweichung bei den Items auf, was darauf hindeutet, dass einige Studierende größere Schwierigkeiten hatten, echte Zähne zu besorgen und ausreichend geeignete echte Zähne zur Verfügung zu haben. Vor dem Hintergrund der Hauptextraktionsgründe von Zähnen fällt auf, dass meist ausgeprägte kariöse Läsionen ursächlich sind (Reich and Hiller 1993, Morita, Kimura et al. 1994, Caldas Jr, Marcenes et al. 2000, Chestnutt, Binnie et al. 2000). Sie entsprachen damit seltener den Qualitätsanforderungen für die Verwendung im Phantomkursus und eigneten sich folglich wenig zum Üben der Wurzelkanalbehandlung. Dies unterstreicht die Notwendigkeit für qualitativ hochwertige und in ausreichender Zahl zur Verfügung stehende Übungsmodelle wie 3D-gedruckte Zähne.

#### 4.2.1 Studierende bewerten die Eigenschaften des 3D-gedruckten Zahns im Vergleich zum echten Zahn gleich wie die Eigenschaften des Plexiglasblocks im Vergleich zum echten Zahn (H1)

Aufgrund in beiden Kohorten vorkommender signifikanter Unterschiede in der Einschätzung der Eigenschaften des 3D-gedruckten Zahns gegenüber dem Plexiglasblock bei einigen Items konnte **Hypothese H1** nur teilweise bestätigt werden.

Bei gleichbleibenden Materialeigenschaften des Druckmaterials wiesen beide Kohorten signifikante Unterschiede in der Einschätzung bezüglich Härte, Röntgenopazität und Eignung zum Üben auf. Die Annahme einer Erhöhung der Härte durch Reduktion des Wurzelkanals musste revidiert werden. Stattdessen ist davon auszugehen, dass diese zusätzlich zu einem signifikanten Unterschied bei der Einschätzung des Wurzelkanaldurchmessers führte. Diese Änderung könnte wiederum Einfluss auf die Bewertung der Handhabung und damit auf die Eignung für praktische Prüfungen genommen haben. Der signifikante Unterschied in der nachvollziehbaren Wurzelkanalmorphologie ließ sich vor allem auf die veränderte Einschätzung des 3D-gedruckten Zahns zurückführen, da die Einschätzung gegenüber dem Plexiglasblock weitestgehend identisch zur Pilotierungsstudie blieb. Eine mögliche Erklärung dafür könnte sein, dass den Teilnehmenden der Validierungsstudie die Besonderheit des Wurzelkanalsystems des 3D-gedruckten Zahns nicht hinreichend verständlich war (Vertucci 2005). Da die Studierenden aller Kohorten über den 3D-gedruckten Zahn gleich aufgeklärt wurden und jederzeit Fragen zum 3D-gedruckten Zahn an die Dozierenden richten konnten, ist davon jedoch nur bedingt auszugehen. Andererseits könnten die engen Wurzelkanäle und die aufwändigere Kanalmorphologie der 3D-gedruckten Zähne die Schwierigkeit so stark erhöht haben, dass diese von den Studierenden unattraktiver im Vergleich zu den Plexiglasblöcken angesehen wurden (Stropko 1999). Betrachtete man hingegen die Fragebogendimension „Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu Plexiglasblock“ fällt auf, dass Studierende die Eigenschaften der beiden Übungsmodelle weitestgehend „identisch“ einschätzten. Unterschiede zwischen den Übungsmodellen ließen sich dabei vor allem auf Materialeigenschaften wie Härte und Röntgenopazität zurückführen. Ähnlich sieht es bei der Beantwortung der Items zum subjektiven Lernerfolg aus. Hierbei schnitten die 3D-gedruckten Zähne im Vergleich zum Plexiglasblock besser ab als im Vergleich zu den echten Zähnen. Zudem bewies der Fragebogen seine Zuverlässigkeit, da der reduzierte Wurzelkanaldurchmesser des 3D-gedruckten Zahns messbaren Einfluss auf die Antworten der Studierenden der Validierungsstudie nahm.

#### **4.2.2 Studierende bewerten den Lernprozess zur Präparation von Wurzelkanälen nach dem Üben mit dem 3D-gedruckten Zahn gleich wie nach dem Üben mit dem echten Zahn (H2)**

Sowohl in der Pilotierungsstudie als auch der Validierungsstudie zeigten sich signifikante Unterschiede in der Einschätzung gegenüber dem Enthusiasmus, der motorischen Fertigkeiten und der räumlichen Vorstellung zwischen 3D-gedrucktem und echtem Zahn. Aufgrund der grafischen Auswertung der Pilotierungsstudie, dem gleichen Kursablauf zwischen den Kohorten und dem nur geringfügig angepassten 3D-gedruckten Zahn war dieses Ergebnis in der Validierungsstudie zu erwarten (Chambers 2018). Dies deckte sich mit den Ergebnissen der offenen Fragen. Einerseits vermittelten die echten Zähne mehr Selbstsicherheit für die zukünftige Patientenbehandlung, andererseits wurden die realeren mechanischen Eigenschaften des echten Zahns hervorgehoben. In einer Studie von Luz wurden u.a. mechanische Eigenschaften von Plexiglasblöcken und Modellzähnen gegenüber echten Zähnen eingeschätzt (Luz, de S. Ourique et al. 2015). Sowohl Studierende als auch Expertinnen und Experten schätzten die mechanischen Eigenschaften der Übungsmodelle ungleich gegenüber den von echten Zähnen ein. Somit könnten die signifikanten Unterschiede in dieser Studie auf die Qualität und Materialeigenschaften des 3D-gedruckten Zahns zurückzuführen sein. Der **Hypothese H2** konnte deshalb nicht zugestimmt werden. In zukünftigen Studien sollte untersucht werden, ob realere mechanische Eigenschaften positiven Einfluss auf den Lernprozess nehmen.

### **4.3 Leistungsabhängige Beantwortung der Items**

In der Studie wurde untersucht, welchen Einfluss die Zugehörigkeit zu einer Leistungsgruppe auf die Beantwortung der jeweiligen Items nahm. Leistungsabhängige Effekte auf die Beantwortung von Fragebögen wurden hierbei bereits in anderen Studien untersucht (Barkur, Govindan et al. 2013).

#### **4.3.1 Basierend auf den Ergebnissen der praktischen Testate und der Klausur sind signifikante Unterschiede in der Beantwortung der quantifizierbaren Items zwischen den Leistungsgruppen (High, Medium und Low Performer) festzustellen (H3)**

Die durchgeführte Varianzanalyse diente im Rahmen der Untersuchung auf differentielle Validität dazu, Gruppenunterschiede in der Beantwortung der Items zu identifizieren. In der

Pilotierungs- wie in der Validierungsstudie wurden signifikante Gruppenunterschiede festgestellt. Der **Hypothese H3** konnte deshalb zugestimmt werden.

Sowohl nach der leistungsabhängigen Gruppeneinteilung anhand der Klausur als auch anhand der Ergebnisse des manuellen Testats konnten signifikante Gruppenunterschiede in der Validierungsstudie festgestellt werden, die auf das Alter der Teilnehmenden zurückführbar waren. Dieses Ergebnis unterschied sich damit von den Ergebnissen der Pilotierungsstudie. Die Tatsache, dass keine geschlechtsspezifischen Unterschiede in beiden Kohorten festgestellt wurden, deckt sich mit der Beobachtung anderer Studien. Während einige Studien einen negativen Einfluss zwischen Alter und akademischer Leistung feststellen (Clark and Ramsay 1990), zeigen andere Studien, dass ältere Studierende mit klaren Zukunftsvorstellungen besser abschneiden (McInnis, James et al. 1995). Haist untersuchte in einer Studie den Zusammenhang von Alter und Geschlecht auf die Leistung und die damit verbundenen Schwierigkeiten im Medizinstudium (Haist, Wilson et al. 2000). Dabei war ein signifikanter Einfluss von Alter und Geschlecht auf die beiden Variablen festzustellen. Die Gruppen der weiblichen Studierenden über 23 Jahren und die der männlichen Studierenden unter 23 Jahren schnitten am besten ab. Hingegen konnte in einer Studie von McKenzie kein Einfluss des Alters auf den Grade Point Average - vergleichbar mit dem Notendurchschnitt - festgestellt werden (McKenzie and Schweitzer 2001). Es ist somit nicht auszuschließen, dass es sich in dieser Studie um einen einmaligen Effekt handelt, insbesondere vor dem Hintergrund, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen High und Low Performern sowie zwischen Medium und Low Performern feststellbar waren. Die unterschiedliche Einschätzung gegenüber mechanischen Eigenschaften wie Röntgenopazität oder Wurzelkanaldurchmesser könnte in der Zugehörigkeit zu einer Leistungsgruppe begründet liegen. Dies zeigte auch eine Studie, die die Selbsteinschätzung der Leistung von Studienteilnehmenden mit ihrer tatsächlichen Leistung verglich (Krueger and Mueller 2002). Dabei wurde festgestellt, dass Unterschiede in der Selbsteinschätzung der Leistung zwar auf Messfehler zurückführbar sein könnten, da im Vergleich zu High Performern Low Performer mehr Raum haben, ihre Leistung höher einzuschätzen als sie wirklich ist. Andererseits könnte dies aber auch daran liegen, dass Low Performer zu selbstsicher sind, da sie geringere metakognitive Fähigkeiten haben könnten. Eine weitere Studie stellte fest, dass Low Performer ihre Leistungsfähigkeit im Vergleich zu High Performern überschätzen (Miller and Geraci 2011). Allerdings zeigte sich,

dass Low Performer weniger Vertrauen in diese Einschätzung haben, weshalb davon ausgegangen werden kann, dass sich Studierende ihren geringeren Fähigkeiten in gewissem Maße bewusst sind.

## **4.4 Stärken- und Schwächenanalyse**

Im folgenden Kapitel werden die Rahmenbedingungen bzw. der Aufbau der Studie auf der einen Seite und inhaltliche Aspekte auf der anderen Seite kritisch beleuchtet.

### **4.4.1 Studienkollektiv und Rahmenbedingungen**

Zur Realisierung der Stichprobengröße und der Erhöhung der Teststärke fand die Studie in drei aufeinanderfolgenden Semestern mit 29 bis 59 Studierenden pro Semester statt. Die Unterschreitung des approximierten Stichprobenumfangs der Pilotierungs- und Validierungsstudie um wenige Studierende war aufgrund der bei 0,95 angesetzten Teststärke statistisch unproblematisch (Hallahan and Rosenthal 1996). Es gingen nur Daten von Studierenden ein, die mit allen Übungsmodellen geübt hatten. Studierende, die das Semester während des Kurses verlassen haben, konnten nicht an der Studie teilnehmen.

Jedoch wurden auch Schwachstellen der Studie deutlich. Die Vorstellung der Studie fand während der Kurs- bzw. Vorlesungszeiten statt. Dort herrschte zwar eine Anwesenheitspflicht, die aber nicht gesondert überprüft wurde. Dieser Umstand kann jedoch vernachlässigt werden, da nur Studierende mit ausgefüllter Einwilligungserklärung an der Studie teilnehmen konnten. Beim Verteilen der Einwilligungserklärung wurden auch die Information zur Studie (Anhang 7.1) verteilt. Studierende erhielten den Fragebogen, nachdem sie mit allen drei Übungsmodellen gearbeitet hatten. Abhängig von der Schnelligkeit der Studierenden im Kurs war dies bei einigen Studierenden früher, bei anderen später der Fall. Im Wintersemester 2018/19 führt dieser Umstand erstmalig dazu, dass 12 Studierende nicht vor Ende des Semesters mit allen drei Übungsmodellen üben konnten. Die Übung am 3D-gedruckten Zahn fand bei dieser Gruppe deshalb erst in der „Vorwoche“ des darauffolgenden Semesters statt. Dies zeigte sich auch bei Item 8.5; hier stimmten Studierende des Wintersemesters 2018/19 der Aussage, dass sie ausreichend Übungsmöglichkeit hatten, signifikant weniger zu als Studierende des Sommersemester 2018. Dieser Störfaktor ging deshalb in die Berechnung der Kovariate ein. Andererseits könnte diese längere Pause und der damit verbundene Ab-

stand zur Arbeit mit dem Plexiglasblock bzw. dem echten Zahn Einfluss auf die Einschätzung der Bewertung der einzelnen Übungsmodelle gehabt haben. Betrachtet man dies vor dem Hintergrund der Vergessenskurve nach Ebbinghaus, relativiert sich dieser Umstand wieder. Ebbinghaus zeigte in seiner Forschung, dass nach wenigen Tagen bis Wochen nach dem Lernprozess ein Großteil der Informationen nicht reproduziert werden konnte (Ebbinghaus 1885). Allerdings bleibt ein Teil des Gelernten auf einem relativ stabilen Niveau längerfristig in Erinnerung (Gerrig and Zimbardo 2008). Durch den Ablauf der Bearbeitung (Plexiglasblock – echter Zahn – 3D-gedruckter Zahn) lag auch bei den übrigen Studienteilnehmenden eine Zeitspanne zwischen der Bearbeitung der jeweiligen Übungsmodelle. Daher konnte davon ausgegangen werden, dass der Umstand der späteren Bearbeitung der 3D-gedruckten Zähne von zwölf Studierenden im Wintersemester 2018/19 auf die Bewertung zu vernachlässigen war.

Der hohe Anteil an weiblichen Teilnehmenden der Pilotierungs- und Validierungsstudie könnte Einfluss auf die Bewertung der mechanischen Eigenschaften genommen haben. So zeigte sich in einer Studie von Hyde, dass Frauen insgesamt eine negativere Selbsteinschätzung gegenüber ihrer mathematischen-räumlichen Kompetenzen aufweisen (Hyde, Fennema et al. 1990). Boyle und Kothe konnten in ihren Studien ebenfalls Leistungsunterschiede zwischen den Geschlechtern feststellen (Boyle and Santelli 1986, Kothe, Korbmacher et al. 2012). Einmaleffekte können in den zitierten Studien nicht ausgeschlossen werden.

Die leistungsabhängige Einteilung der Studierenden war insbesondere bei den praktischen Testaten durch die vorgegebene Gruppierung limitiert. Eine Einteilung nach Perzentilen war somit nicht realisierbar. Zudem war es möglich, dass Studierende je nach Leistungsart (Klausur, manuelles bzw. maschinelles Testat) in unterschiedliche Gruppen (High/Medium/Low) eingruppiert wurden.

Innerhalb der Validierungsstudie ließen sich Leistungsunterschiede zwischen den Semestern feststellen, die womöglich Einfluss auf die Bewertung der Dozierenden hatten (Schiekirka and Raupach 2015). Um diesen Effekt auf die Bewertung der Übungsmodelle zu berücksichtigen, wurde eine Kovariate verwendet. Nach kritischer Reflexion und Überprüfung mit der Kursleitung ließen sich keine strukturellen oder organisatorischen Unterschiede im Vergleich zu vorangegangenen Semestern feststellen. Auch das Niveau der Klausurfragen entsprach dem vergleichbarer Klausuren in der Vergangenheit. Dennoch zeigte das Wintersemester

2018/19 hier im Vergleich zum Sommersemester 2018 eine geringere Leistung (Kapitel 3.3.8.1).

#### 4.4.2 Studiendesign und Testverfahren

Bis auf wenige einstellige Ausnahmen nahmen alle Studierende des jeweiligen Semesters an der Studie teil. Die tatsächliche Semestergröße wich dabei um Studierende ab, die z.B. das Semester vorzeitig abgebrochen haben. Die sehr hohe Rücklaufquote der Fragebögen von in der Regel 100% in allen drei Semestern ließ sich voraussichtlich auf zwei Umstände zurückführen (Baruch and Holtom 2008). Erstens entstand den Studierenden durch die Teilnahme an der Studie kein Mehraufwand. Sie mussten im regulären Kurs mit allen Übungsmodellen, inklusive 3D-gedrucktem Zahn, üben. Andererseits konnte der Fragebogen zur regulären Kurszeit ausgefüllt werden. Die Studierenden mussten somit keine Freizeit dafür verwenden. Schlussendlich trug auch der Umstand dazu bei, dass die Studie im Rahmen eines Dissertationsprojektes stattfand und ein hohes Interesse bei den Studierenden gegenüber 3D-gedruckten Zähnen bestand (Saleh and Bista 2017). Das Interesse der Studierenden ist umso wichtiger, als dieses die Evaluationsergebnisse beeinflussen kann (Chen and Hoshower 2003).

Limitierend in der Einschätzung des 3D-gedruckten Zahns könnte sein, dass die Studierenden durchschnittlich nur an einem 3D-gedruckten Zahn geübt hatten. Allerdings erhielten die Studierenden auf Nachfrage bzw. bei fatalen Fehlern der Aufbereitung zusätzliche 3D-gedruckte Zähne.

Der Wechsel des 3D-Druckers könnte Einfluss auf die Bewertung des 3D-gedruckten Zahns gehabt haben. Ursprünglich sollten die 3D-gedruckten Zähne ab dem Sommersemester 2018 vom klinikeigenen Drucker gedruckt werden. Dies konnte allerdings erst für das Wintersemester 2018/19 umgesetzt werden. Da sich zwischen dem klinikfremden und dem klinikeigenen 3D-gedruckten Zahn keine wesentlichen Änderungen ergeben haben, sollten Einflussfaktoren dadurch als gering angesehen werden.

Die Reihenfolge der Bearbeitung der Übungsmodelle könnte möglicherweise Einfluss auf die Einschätzung gehabt haben. Gu zeigte in einer Studie, dass die Reihenfolge des Erlernens einer Fertigkeit Einfluss auf die praktische Anwendung nehmen kann (Gu, Lian et al. 2019).

#### **4.4.3 Der verwendete Fragebogen war nicht kreuzvalidiert**

Der verwendete Fragebogen wurde im Rahmen dieser Studie entwickelt und zum ersten Mal auf seine psychometrische Güte getestet; er war somit nicht kreuzvalidiert. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass zum Erhebungszeitpunkt kein geeignetes vorpubliziertes Messinstrument existierte.

### **4.5 Konsequenzen für Forschung und Lehre**

Anhand der detaillierten Analyse und anschließender Diskussion lassen sich eindeutige Implikationen für Fragebögen zur Evaluation 3D-gedruckter Zähne in der endodontischen Ausbildung sowie zur Entwicklung 3D-gedruckter Zähne und deren Verwendung in der endodontischen Ausbildung ableiten. Diese sind im Folgenden dargestellt.

#### **4.5.1 Ausblick auf die Fragebogenentwicklung für 3D-gedruckte Zähne**

Aus den Ergebnissen der Fragebogentestung werden Empfehlungen für die Entwicklung und Verwendung 3D-gedruckter Zähne in der endodontischen Ausbildung abgeleitet. In einer Studie von Nassri bewerteten 18 Professorinnen und Professoren der Endodontie die Eigenschaften von Modellzähnen (Smile Factory, Mogi das Cruzes, Sao Paulo, Brasilien) für die endodontische Ausbildung (Nassri, Carlik et al. 2008). Den Teilnehmenden stand hierfür ein Fragebogen mit 14 Items zur Verfügung. Jedes Item konnte auf einer vierstufigen Skala von „exzellent“ bis „schwach“ bewertet werden. Der Gesamteindruck des Modellzahns sollte mit einer Note von null bis zehn bewertet werden, wobei null die schlechteste Note darstellte. In der Auswertung fiel auf, dass die Skalenbreite nur bei einem Item vollständig genutzt wurde. Bis auf drei weitere Items verteilen sich die übrigen Antworten auf die Antwortmöglichkeiten „exzellent“ und „zufriedenstellend“. Alternativ hätte in dieser sowie in den beiden folgenden Studien ein dreistufiges semantisches Differential zur Beantwortung der Items verwendet werden können. In einer Studie von Al-Sudani wurde für den Vergleich von Modellzähnen zu extrahierten echten Zähnen ein Fragebogen mit acht Items verwendet (Al-Sudani and Basudan 2017). Bei sieben Items wurden drei Antwortmöglichkeiten (einfacher vs. identisch vs. schwieriger) vorgegeben. Sollte der Modellzahn schwieriger eingeschätzt werden, bestand die Möglichkeit, die Auswahl zu begründen. Inhaltlich bezogen sich die Fragen u.a. auf die Härte, die Schwierigkeit der Bearbeitung und das Auffinden des Pul-

pencavums. Beim achten Item sollten die Teilnehmenden vorgegebene Vorteile von Modellzähnen im Vergleich zu echten Zähnen in die für sie relevanteste Reihenfolge bringen. In einer Studie von Reymus konnten die Studierenden die Eigenschaften eines 3D-gedruckten Zahns im Vergleich zu echten Zähnen anhand von elf Items im Multiple-Choice-Format bewerten (Reymus, Fotiadou et al. 2019). Inhaltlich bezogen sich die Fragen u.a. auf die unterschiedlichen Behandlungsschritte, die Röntgenopazität und mechanische Eigenschaften. Abschließend wurde nach den Vorteilen 3D-gedruckter Zähne gegenüber echten Zähnen gefragt.

Übertragen auf diese Studie kann der entwickelte Fragebogen als Grundlage für die Evaluation 3D-gedruckter Zähne in der endodontischen Ausbildung verwendet werden. Darüber hinaus sollte der Fragebogen in weiteren Studien auf die Paralleltestreliabilität untersucht werden (Himme 2007). Abhängig von neuen Eigenschaften des 3D-gedruckten Zahns (z.B. kariösen Läsionen), könnte dieser um spezifische Items erweitert werden. Neben Studierenden sollte der Fragebogen zusätzlich an examinierten Zahnärztinnen und Zahnärzten getestet werden.

#### **4.5.2 Ausblick für die Entwicklung 3D-gedruckter Zähne**

Aus den Ergebnissen dieser Studie werden Empfehlungen für die Entwicklung neuer 3D-gedruckter Zähne abgeleitet. 3D-gedruckte Zähne eröffnen neue Möglichkeiten, unterschiedliche klinische Szenarien standardisiert zu üben (Kröger, Dekiff et al. 2017). In der zitierten Studie wurden drei verschiedene Übungsmodelle gedruckt, u.a. ein Modell mit insuffizienter Krone und kariösen Defekten des Zahns. Studierende des vierten Studienjahrs, die bereits klinische Erfahrung hatten, übten daran und evaluierten anschließend die Modelle. 64% der Teilnehmenden gaben an, dass sie sich eine Gingiva zur Imitierung des Zahnfleisches wünschten. Insgesamt wurden die verwendeten Modelle positiv bewertet, die farbliche Abweichung der Übungsmodelle wurde bei dieser Studie wenig kritisch von den Studierenden gesehen. In einer Studie von Höhne wurde ein 3D-gedruckter Zahn entwickelt und ebenfalls an Studierenden des vierten Studienjahrs, die bereits über klinische Erfahrung verfügten, getestet (Höhne and Schmitter 2019). Der 3D-gedruckte Zahn wies eine Pulpa und kariöse Läsionen auf. Studierende mussten diese entfernen und bei Eröffnung der Pulpa eine direkte Überkappung durchführen, bevor der Zahn gefüllt wurde. Anschließend fand eine Evaluation statt. Der 3D-gedruckte Zahn wurde dabei insgesamt als „gut“ bewertet und für geeignet zum Üben und zur Verwendung bei Prüfungen befunden. In den Freitextangaben wurde der

Wunsch nach einem härteren Material sowie einer besseren Unterscheidung von Schmelz zu Dentin geäußert. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der hier zugrundeliegenden Untersuchung. In einer weiteren Studie von Höhne wurde ein 3D-gedruckter Zahn mit eigener Schmelzschicht entwickelt und evaluiert (Höhne, Schwarzbauer et al. 2019). Sowohl die Abweichung der Härte als auch der farbliche Unterschied zwischen Dentin und Schmelz wurden mit „gut“ bewertet. Bezüglich des Lernerfolgs schnitten die echten Zähne am besten ab, gefolgt von 3D-gedruckten Zähnen und im Anschluss von den bisher verwendeten Modellzähnen. Dass die echten Zähne insgesamt am positivsten bewertet wurden, konnte auch im Rahmen dieser Studie festgestellt werden.

Übertragen auf die vorliegende Arbeit, könnten 3D-gedruckte Zähne entwickelt werden, die neben einem vollständigen Wurzelkanalsystem kariöse Läsionen oder insuffiziente Kronen aufweisen. Auch sollten diese einen Materialunterschied zwischen Schmelz und Dentin besitzen. Zur Verankerung solcher 3D-gedruckter Zähne sollte als Halterung ein Kiefermodell inklusive Gingiva entwickelt werden.

#### **4.5.3 Ausblick auf die Verwendung und Entwicklung 3D-gedruckter Zähne für die endodontische Ausbildung**

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse dieser Studie und dem zuvor genannten Kapitel (4.5.2) wird im Folgenden auf die Verwendung 3D-gedruckter Zähne in der endodontischen Ausbildung eingegangen. In einer Studie von Reymus wurden 3D-gedruckte Zähne für die endodontische Ausbildung entwickelt und an Studierenden des dritten und vierten Studienjahrs getestet (Reymus, Fotiadou et al. 2019). Zur Erhöhung der Röntgenopazität wurde dem Ausgangsmaterial der 3D-gedruckten Zähne Bariumsulfat zugesetzt. Studierende sollten die Eigenschaften der 3D-gedruckten Zähne mit denen von echten Zähnen vergleichen. Die 3D-gedruckten Zähne wurden zu 60% als „vergleichbar“ zu echten Zähnen eingeschätzt. Außerdem schnitten die Verfügbarkeit, die Gleichbehandlung durch standardisierte Ausbildung und die einfachere Handhabung positiv ab. Letztere wurde auf die Härte des verwendeten Materials zurückgeführt. Hier wäre eine Kombination der Antworten mit den Leistungsdaten der Studierenden wünschenswert gewesen. Inhaltlich kam die Studie teilweise zu ähnlichen Ergebnissen. In einer Studie von Luz wurden Plexiglasblöcke und Modellzähne (Smile Factory, Mogi das Cruzes, Sao Paulo, Brasilien) mit extrahierten echten Zähnen von zehn Studierenden des fünften Studienjahrs und zehn Endodontologinnen bzw. Endodontologen mit mindestens fünfjähriger Facherfahrung manuell aufbereitet und anschließend

bewertet (Luz, de S. Ourique et al. 2015). Die Anatomie, Pulpakammerform, Kanalform und -größe sowie das Röntgenbild wurden bei den Modellzähnen signifikant positiver von den Studierenden sowie von den Endodontologinnen und Endodontologen eingeschätzt. Andererseits wurden die Plexiglasblöcke von den Endodontologinnen und Endodontologen positiver bewertet. Dabei wurde in der Studie festgestellt, dass die Plexiglasblöcke aufgrund ihrer stärker gekrümmten und schmaleren Wurzelkanäle besser die komplexe klinische Realität abbilden, was zu einer positiveren Einschätzung der Endodontologinnen und Endodontologen führen könnte. Aufgrund der schwierigeren Anatomie der Wurzelkanäle des 3D-gedruckten Zahns könnten die Studierenden diesen weniger positiv eingeschätzt haben. In einer Studie von Al Sudani wurden Modellzähne (Acadental, Overland Park, Kansas, USA) mit extrahierten echten Zähnen in der vorklinischen endodontischen Ausbildung verglichen (Al-Sudani and Basudan 2017). Insgesamt bevorzugten Studierende die echten Zähne gegenüber den Modellzähnen. Bis auf die Füllung wurden alle Arbeitsschritte der Aufbereitung bei den Modellzähnen als schwieriger eingeschätzt. Die größten Vorteile der Modellzähne sahen die Studierenden in deren Verfügbarkeit, Standardisierung und Hygiene. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen dieser Untersuchung. In einer Studie von Tchorz wurden Gruppenunterschiede in der Ausführung der Wurzelkanalbehandlung untersucht (Tchorz, Brandl et al. 2015). Dabei wurden im vorklinischen Kurs zwei Gruppen gebildet: eine, die vorher an Plexiglasblöcken und extrahierten Zähnen geübt hat und eine, die an Plexiglasblöcken und Modellzähnen geübt hat. In der späteren Patientenbehandlung ließ sich kein signifikanter Unterschied in der Qualität der Wurzelfüllung zwischen den beiden Gruppen feststellen. Jene Untersuchung könnte auch mit 3D-gedruckten Zähnen durchgeführt werden.

Übertragen auf die vorliegende Arbeit lässt sich feststellen, dass Studierende großes Potenzial in der Verwendung von 3D-gedruckten Zähnen in der endodontischen Ausbildung sehen. Die Verfügbarkeit, standardisierte Ausbildung und erhöhte Hygiene wurden hierbei am stärksten geschätzt. Ebenso sollte die Röntgenopazität durch die Verwendung von Röntgenkontrastmitteln oder zukünftig entwickelte Materialien der von echten Zähnen angeglichen werden. Durch jene Anpassungen ist von einer identischeren Bewertung von 3D-gedruckten Zähnen gegenüber echten Zähnen auszugehen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei Studierenden überwiegend ein Interesse an Simulationsmodellen besteht, die Bewertung dieser aber meist geringer ausfällt als beim Original (Luz, de S. Ourique et al. 2015, Al-Sudani and Basudan 2017). Vor dem Hintergrund, dass Studierende ihr Studium aufgenommen haben, um an echten Patienten und Patientinnen zu behandeln und bereits ab dem ersten Semester

an Kunststoffzähnen üben, kann der Umstieg auf echte extrahierte Zähne als Fortschritt in Richtung Patientenbehandlung gesehen werden. Eine positivere Bewertung der echten Zähne war deshalb zu erwarten. Betrachtet man hingegen ausschließlich den 3D-gedruckten Zahn gegenüber dem Plexiglasblock, fiel der geringere Unterschied zwischen den Übungsmodellen auf. Insbesondere beim subjektiven Lernerfolg schnitt der 3D-gedruckte Zahn im Vergleich zum Plexiglasblock besser ab als im Vergleich zum echten Zahn.

Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Studie wird empfohlen, neue 3D-gedruckte Zähne mit verbesserten Materialeigenschaften und unterschiedlichen Zahntypen zu entwickeln, in der endodontischen Ausbildung zu erproben und systematisch anhand psychometrisch gesteter und validierter Fragebögen zu evaluieren.

## 5 Zusammenfassung

### Einleitung

Als Alternative zu chirurgischen Maßnahmen stellt eine Wurzelkanalbehandlung eine zahn-erhaltende Therapie dar, die nach mehr als sechs Jahren eine Überlebensrate des Zahns von 84% aufweist (Torabinejad, Anderson et al. 2007, Tsesis, Nemkowsky et al. 2010, Zitzmann, Krastl et al. 2010). Eine qualitativ hochwertige Ausbildung legt den Grundstein, um eine suffiziente und dauerhafte Wurzelkanalbehandlung durchzuführen, weshalb ihr eine besondere Aufmerksamkeit zukommt (Lin, Rosenberg et al. 2005). In der studentischen Ausbildung von Fertigkeiten für die Wurzelkanalbehandlung haben sich zur Simulation möglichst realer Patientensituationen verschiedene Übungsmodelle etabliert, die von Plexiglasblöcken bis hin zu extrahierten echten Zähnen reichen (Perry, Bridges et al. 2015). Dank der Möglichkeiten des 3D-Drucks werden neue, 3D-gedruckte Zähne als Simulationsmodell in der Ausbildung von Studierenden der Zahnmedizin eingesetzt (Höhne and Schmitter 2019, Reymus, Fotiadou et al. 2019). Zur Ermittlung der Qualität und des Lernerfolgs anhand von 3D-gedruckten Zähnen in der endodontischen Ausbildung wurde ein Fragebogen entwickelt und validiert sowie der verwendete 3D-gedruckte Zahn evaluiert.

### Material und Methoden

Zur Beantwortung der Fragestellungen fand eine Pilotierungsstudie im Wintersemester 2017/18 mit 41 Studierenden und eine Validierungsstudie im Sommersemester 2018 und Wintersemester 2018/19 mit 88 Studierenden im sechsten Fachsemester statt. In beiden Kohorten wurde die Wurzelkanalbehandlung anhand von Plexiglasblöcken, extrahierten echten Zähnen sowie mit 3D-gedruckten Zähnen geübt. Abschließend wurden die Übungsmodelle mittels Fragebogen evaluiert. Der mit einem Expertenteam erstellte Fragebogen erfasste in acht unterschiedlichen Dimensionen sowohl Personendaten, Voraussetzungen, Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn und Plexiglasblock zu echtem Zahn, subjektives Lernergebnis, Übungsmöglichkeiten, Bewertung der didaktischen Qualität als auch Freitextkommentare. In Analogie zu einem psychologischen Test wurden die Gütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität untersucht. Hierzu wurden Leistungsdaten der Studierenden in Form von Ergebnissen einer Klausur bzw. aus zwei praktischen Testaten berücksichtigt. Der Fragebogen wurde für die Validierungsstudie um eine neunte Dimension, die die Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu Plexiglasblock erfasste, ergänzt und das

Antwortformat von einem fünfstufigen auf ein dreistufiges semantisches Differential angepasst.

### **Ergebnisse**

Die Pilotierungsstudie ergab, dass der Fragebogen angemessen für die Erfassung des Kurses konzipiert war. Für die Skalen des semantischen Differentials lag Cronbachs  $\alpha$  als Maß für die Reliabilität in einem zufriedenstellenden Bereich. Studierende bewerteten viele Eigenschaften des 3D-gedruckten Zahns im Vergleich zum echten Zahn sowie auch die Eigenschaften des Plexiglasblocks im Vergleich zum echten Zahn unterschiedlich ( $p \leq 0,05$ ). Der 3D-gedruckte Zahn fiel im Vergleich zum Plexiglasblock weitgehend identisch aus. Die extrahierten echten Zähne wurden bei Items zu Enthusiasmus, zum Erlernen feinmotorischer Fertigkeiten sowie zur räumlichen Vorstellung positiver bewertet als die 3D-gedruckten Zähne ( $p \leq 0,001$ ). Im Rahmen der Überprüfung auf Kriteriumsvalidität wurde bei vielen Items nachgewiesen, dass sich die leistungsabhängige Einteilung auf die Beantwortung der Items auswirkte ( $p \leq 0,05$ ). Die Untersuchung auf differentielle Validität zeigte, dass zwischen den drei Leistungsgruppen (High, Medium, Low Performer) Unterschiede in der Beantwortung der Items vorlagen ( $p \leq 0,05$ ).

### **Fazit**

Die Kennzahlen des getesteten Fragebogens wiesen auf statistisch robuste Ergebnisse hin. Er ist deshalb zur Evaluation von 3D-gedruckten Zähnen in der endodontischen Ausbildung geeignet. Obwohl sich die verbesserungswürdigen Materialeigenschaften auf die Bewertung des 3D-gedruckten Zahns auswirkten, waren diese den Plexiglasblöcken beim subjektiven Lernerfolg überlegen. Insbesondere in Anbetracht neuer Materialien sowie vielfältiger Übungsmöglichkeiten sprechen die Ergebnisse für eine Implementierung und Weiterentwicklung der 3D-gedruckten Zähne in der endodontischen Ausbildung.

### **Ausblick**

3D-gedruckte Zähne sollten flächendeckend in die endodontische Ausbildung integriert werden. Insbesondere vor dem Hintergrund einer ganzheitlichen, realitätsnahen Ausbildung besteht Forschungsbedarf im Hinblick auf deren Weiterentwicklung. Zukünftige Modifikationen und Verbesserungen der 3D-gedruckten Zähne müssen qualitätsgesichert evaluiert werden.

## **Abstract**

### **Introduction**

With a tooth survival rate of 84% after a six-year period, a root-canal treatment represents a conservative therapeutic alternative to surgical interventions (Torabinejad, Anderson et al. 2007, Tsesis, Nemkowsky et al. 2010, Zitzmann, Krastl et al. 2010). Attention should be paid to a high-quality education in particular, as it lays the foundation to perform a sufficient and long-lasting root-canal treatment (Lin, Rosenberg et al. 2005). Different training models in students' training of skills to perform a root-canal treatment have been established in order to simulate a realistic patient situation, ranging from resin blocks to extracted teeth (Perry, Bridges et al. 2015). Thanks to the possibility of 3D-printing, new 3D-printed teeth are being used as a simulation model in training of dental students (Höhne and Schmitter 2019, Reymus, Fotiadou et al. 2019). To determine the quality and learning success with 3D-printed teeth in endodontic training, a questionnaire was developed and validated, and the utilized 3D-printed tooth was evaluated.

### **Materials and Methods**

In order to answer the central research questions of this study, a pilot study took place in the winter term of 2017/18 with 41 students, and a validation study took place in the summer term of 2018 and in the winter term 2018/19 with 88 students in their respective sixth semester. The root-canal treatment in both cohorts was practiced with resin blocks, extracted real teeth and 3D-printed teeth. Finally, the training models were evaluated using a questionnaire. The questionnaire was developed with a team of experts and included eight different categories, comprising personal data, conditions for the course, comparison of characteristics between a 3D-printed tooth, a resin block and an extracted tooth, estimated learning outcome, effects of training, evaluation of the didactic quality of the course, and free commentaries. Quality criteria like objectivity, reliability, and validity were investigated in accordance with a psychological test. Therefore, students' performance data of one written exam and two practical exams were taken into account. A ninth category, asking for the comparison of the characteristics between a 3D-printed tooth and a resin block was added, and the 5-step semantic differential was collapsed to a 3-step semantic differential in the questionnaire of the validation study.

## Results

The pilot study revealed that the questionnaire was appropriately designed to capture the course. Cronbach's  $\alpha$ , as a measure of reliability, was in a satisfactory range for the scales of the semantic differential. Many characteristics were rated differently by the students for the comparison of the 3D-printed tooth with the extracted tooth as well as for the comparison of the resin block with the extracted tooth ( $p \leq 0.05$ ). The 3D-printed tooth was rated identically to the resin block in most parts. Extracted real teeth were rated more positively compared to 3D-printed teeth for items asking about enthusiasm, learning of fine motor skills and spatial awareness ( $p \leq 0.001$ ). As part of the verification of the criterion validity, it was proven for many items that the performance-based classification had an effect on the answering of the items ( $p \leq 0.05$ ). The verification of the differential validity showed that differences in the answering of the items were detectable between the three performance-based groups (high, medium, and low performer).

## Conclusion

The key figures of the tested questionnaire indicated statistically robust results. It is therefore suitable for the evaluation of 3D-printed teeth in endodontic training. Although we could detect an impact of the material properties that should be improved after the evaluation of the 3D-printed tooth, the 3D-printed tooth was still rated superior compared to the resin block for the estimated learning outcome. Keeping upcoming new materials and the diverse range of exercise options in mind, the results speak in favor of implementing and further developing 3D-printed teeth for endodontic training.

## Perspective

3D-printed teeth should be integrated into endodontic education throughout. Taking a holistic and realistic training into consideration, there is a need for research with regard to the further development of 3D-printed teeth. Future modifications and improvements of 3D-printed teeth must be evaluated in a quality-assured manner.

## 6 Literaturverzeichnis

- Al-Sudani, D. and S. Basudan (2017). Students' perceptions of pre-clinical endodontic training with artificial teeth compared to extracted human teeth. European Journal of Dental Education **21**(4): 72-75.
- Allard, U. and S. Palmqvist (1986). A radiographic survey of periapical conditions in elderly people in a Swedish county population. Dental Traumatology **2**(3): 103-108.
- Barkur, R. R., S. Govindan and A. Kamath (2013). Correlation between academic achievement goal orientation and the performance of Malaysian students in an Indian medical school. Education for Health **26**(2): 98.
- Baruch, Y. and B. C. Holtom (2008). Survey response rate levels and trends in organizational research. Human Relations **61**(8): 1139-1160.
- Bäune, S., A. Meschke and S. Rothfuß (2008). Zulassungsverordnung für Vertragszahnärzte (Zahnärzte-ZV). Kommentar zur Zulassungsverordnung für Vertragsärzte und Vertragszahnärzte (Ärzte-ZV, Zahnärzte-ZV): 18-33.
- Bjørndal, L., M. Laustsen and C. Reit (2006). Root canal treatment in Denmark is most often carried out in carious vital molar teeth and retreatments are rare. International Endodontic Journal **39**(10): 785-790.
- Bond, T., Z. Yan and M. Heene (2020). Applying the Rasch model: Fundamental measurement in the human sciences, Routledge.
- Bortz, J. and N. Döring (2006). Quantitative Methoden der Datenerhebung. Forschungsmethoden und Evaluation, Springer: 137-293.
- Bortz, J. and C. Schuster (2010). Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler, Springer.
- Boyle, A. and J. Santelli (1986). Assessing psychomotor skills: the role of the Crawford Small Parts Dexterity Test as a screening instrument. Journal of Dental Education **50**(3): 176-179.
- Brown, M. B. and A. B. Forsythe (1974). The small sample behavior of some statistics which test the equality of several means. Technometrics **16**(1): 129-132.
- Buchanan, J. A. (2001). Use of simulation technology in dental education. Journal of Dental Education **65**(11): 1225-1231.
- Buckley, M. and L. S. Spangberg (1995). The prevalence and technical quality of endodontic treatment in an American subpopulation. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology **79**(1): 92-100.
- Bühner, M. (2011). Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion, Pearson Education Deutschland GmbH.
- Bühner, M. and M. Ziegler (2009). Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler, Pearson Education Deutschland GmbH.
- Caldas Jr, A., W. Marcenes and A. Sheiham (2000). Reasons for tooth extraction in a Brazilian population. International Dental Journal **50**(5): 267-273.
- Chambers, J. M. (2018). Graphical methods for data analysis, CRC Press.
- Chan, D., K. Frazier and W. Caughman (2000). Simulation with preclinical operative dentistry course: three-year retrospective results. Journal of Dental Education **64**(3): 224.

- Chen, Y. and L. B. Hoshower (2003). Student evaluation of teaching effectiveness: An assessment of student perception and motivation. Assessment & Evaluation in Higher Education **28**(1): 71-88.
- Chestnutt, I., V. Binnie and M. Taylor (2000). Reasons for tooth extraction in Scotland. Journal of Dentistry **28**(4): 295-297.
- Clark, E. and W. Ramsay (1990). Problems of retention in tertiary education. Education Research and Perspectives **17**(2): 47-59.
- Cleen, M. D., A. Schuur, P. Wesselink and M. K. Wu (1993). Periapical status and prevalence of endodontic treatment in an adult Dutch population. International Endodontic Journal **26**(2): 112-119.
- Cohen, J. (2013). Statistical power analysis for the behavioral sciences, Academic press.
- Connert, T., R. Krug, F. Eggmann, I. Emsermann, A. ElAyouti, R. Weiger, S. Kühl and G. Krastl (2019). Guided endodontics versus conventional access cavity preparation: a comparative study on substance loss using 3-dimensional-printed teeth. Journal of Endodontics **45**(3): 327-331.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. Psychometrika **16**(3): 297-334.
- Cronbach, L. J. and P. E. Meehl (1955). Construct validity in psychological tests. Psychological Bulletin **52**(4): 281.
- De Moor, R., M. Hülsmann, L. L. Kirkevang, J. Tanalp and J. Whitworth (2013). Undergraduate curriculum guidelines for endodontology. International Endodontic Journal **46**(12): 1105-1114.
- Döring, N. and J. Bortz (2016). Forschungsmethoden und Evaluation, Springer.
- Ebbinghaus, H. (1885). Über das Gedächtnis: Untersuchungen zur experimentellen Psychologie, Duncker & Humblot.
- Eckerbom, M. (1993). Prevalence and technical standard of endodontic treatment in a Swedish population. A longitudinal study. Swedish Dental Journal. Supplement **93**: 1-45.
- Eckerbom, M., J. E. Andersson and T. Magnusson (1987). Frequency and technical standard of endodontic treatment in a Swedish population. Dental Traumatology **3**(5): 245-248.
- Eckerbom, M., J. E. Andersson and T. Magnusson (1989). A longitudinal study of changes in frequency and technical standard of endodontic treatment in a Swedish population. Dental Traumatology **5**(1): 27-31.
- Engelmeier, R. L. (2003). The history and development of posterior denture teeth—introduction, part I. Journal of Prosthodontics **12**(3): 219-226.
- Entorf, H. and N. Minoiu (2004). PISA results: what a difference immigration law makes. Discussion Paper Series **1021**.
- Eriksen, H. M., E. Bjertness and D. Brstavik (1988). Prevalence and quality of endodontic treatment in an urban adult population in Norway. Dental Traumatology **4**(3): 122-126.
- Fugill, M. (2013). Defining the purpose of phantom head. European Journal of Dental Education **17**(1): 1-4.

Gerrig, R. J. and P. G. Zimbardo (2008). Psychologie, Pearson Education Deutschland GmbH.

Ghiselli, E. E. (1963). Moderating effects and differential reliability and validity. Journal of Applied Psychology **47**(2): 81.

Green, T. G. and L. H. Klausner (1984). Clinic simulation and preclinical performance. Journal of Dental Education **48**(12): 665-668.

Gu, M., M. Lian, C. Gong, L. Chen and S. Li (2019). The teaching order of using direct laryngoscopy first may improve the learning outcome of endotracheal intubation: A preliminary, randomized controlled trial. Medicine **98**(21).

Habl, C., A. Bodenwinkler and H. Stürzlinger (2005). Wurzelkanalbehandlung an Molaren. Schriftenreihe Health Technology Assessment **Bd. 18**.

Haist, S. A., J. F. Wilson, C. L. Elam, A. V. Blue and S. E. Fosson (2000). The effect of gender and age on medical school performance: an important interaction. Advances in Health Sciences Education **5**(3): 197-205.

Hallahan, M. and R. Rosenthal (1996). Statistical power: Concepts, procedures, and applications. Behaviour Research and Therapy **34**(5-6): 489-499.

Himme, A. (2007). Gütekriterien der Messung: Reliabilität, Validität und Generalisierbarkeit. Methodik der empirischen Forschung, Springer: 375-390.

Hofmann, N. (2019). Both operator and heat treatment determine the centring ability of Reciprocity® files in vitro. Clinical Oral Investigations **23**(2): 697-706.

Höhne, C. and M. Schmitter (2019). 3D printed teeth for the preclinical education of dental students. Journal of Dental Education **83**(9): 1100-1106.

Höhne, C., R. Schwarzbauer and M. Schmitter (2019). 3D Printed Teeth with Enamel and Dentin Layer for Educating Dental Students in Crown Preparation. Journal of Dental Education **83**(12): 1457-1463.

Huang, T.-J. G., H. Schilder and D. Nathanson (1992). Effects of moisture content and endodontic treatment on some mechanical properties of human dentin. Journal of Endodontics **18**(5): 209-215.

Hugoson, A. and G. Koch (1979). Oral health in 1000 individuals aged 3-70 years in the community of Jönköping, Sweden. A review. Swedish Dental Journal **3**(3): 69.

Hyde, J. S., E. Fennema, M. Ryan, L. A. Frost and C. Hopp (1990). Gender comparisons of mathematics attitudes and affect: A meta-analysis. Psychology of Women Quarterly **14**(3): 299-324.

Imfeld, T. N. (1991). Prevalence and quality of endodontic treatment in an elderly urban population of Switzerland. Journal of Endodontics **17**(12): 604-607.

Jameson, M., J. Hood and B. Tidmarsh (1993). The effects of dehydration and rehydration on some mechanical properties of human dentine. Journal of Biomechanics **26**(9): 1055-1065.

Kahler, B., M. V. Swain and A. Moule (2003). Fracture-toughening mechanisms responsible for differences in work to fracture of hydrated and dehydrated dentine. Journal of Biomechanics **36**(2): 229-237.

- Kai, C. C., G. G. Jacob and T. Mei (1997). Interface between CAD and rapid prototyping systems. Part 1: a study of existing interfaces. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology **13**(8): 566-570.
- Kirkevang, L. L., P. Hörsted-Bindslev, D. Ørstavik and A. Wenzel (2001). Frequency and distribution of endodontically treated teeth and apical periodontitis in an urban Danish population. International Endodontic Journal **34**(3): 198-205.
- Kothe, C., H. Korbmacher, J. Hissbach, D. Ithaler, B. Kahl-Nieke, G. Reibnegger and W. Hampe (2012). Welche Fähigkeiten brauchen Zahnmedizin-studierende? Auswahltests in Hamburg und Graz. Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift **67**(4): 254-259.
- Krebs, D. and N. Menold (2014). Gütekriterien quantitativer Sozialforschung. Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung, Springer: 425-438.
- Kröger, E., M. Dekiff and D. Dirksen (2017). 3D printed simulation models based on real patient situations for hands-on practice. European Journal of Dental Education **21**(4): 119-125.
- Krueger, J. and R. A. Mueller (2002). Unskilled, unaware, or both? The better-than-average heuristic and statistical regression predict errors in estimates of own performance. Journal of Personality and Social Psychology **82**(2): 180.
- Kubinger, K. D., D. Rasch and K. Moder (2009). Zur Legende der Voraussetzungen des t-Tests für unabhängige Stichproben. Psychologische Rundschau **60**(1): 26-27.
- Lin, L. M., P. A. Rosenberg and J. Lin (2005). Do procedural errors cause endodontic treatment failure? The Journal of the American Dental Association **136**(2): 187-193.
- Lin, L. M., J. E. Skribner and P. Gaengler (1992). Factors associated with endodontic treatment failures. Journal of Endodontics **18**(12): 625-627.
- Linacre, J. M. and B. D. Wright. (2000). WINSTEPS: Multiple-Choice, Rating Scale and Partial Credit Rasch Analysis. Zugriff am 24.01.2021, auf <https://www.winsteps.com/winsteps.htm>.
- Liu, N., X. Li, N. Liu, L. Ye, J. An, X. Nie, L. Liu and M. Deng (2013). A micro-computed tomography study of the root canal morphology of the mandibular first premolar in a population from southwestern China. Clinical Oral Investigations **17**(3): 999-1007.
- Luz, D. d. S., F. de S. Ourique, R. K. Scarparo, F. V. Vier-Pelisser, R. D. Morgental, S. B. Waltrick and J. A. de Figueiredo (2015). Preparation time and perceptions of Brazilian specialists and dental students regarding simulated root canals for endodontic teaching: a preliminary study. Journal of Dental Education **79**(1): 56-63.
- Masters, G. N. (1982). A Rasch model for partial credit scoring. Psychometrika **47**(2): 149-174.
- Masters, G. N. and B. D. Wright (1997). The partial credit model. Handbook of modern item response theory, Springer: 101-121.
- McInnis, C., R. James and C. McNaught (1995). First Year on Campus: Diversity in the Initial Experiences of Australian Undergraduates, Centre for the Study of Higher Education University of Melbourne.

- McKenzie, K. and R. Schweitzer (2001). Who succeeds at university? Factors predicting academic performance in first year Australian university students. Higher Education Research & Development **20**(1): 21-33.
- Michel, L. and W. Conrad (1982). Theoretische Grundlagen psychometrischer Tests. Grundlagen psychologischer Diagnostik **1**: 1-129.
- Miller, T. M. and L. Geraci (2011). Unskilled but aware: Reinterpreting overconfidence in low-performing students. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition **37**(2): 502.
- Möltner, A., D. Schellberg and J. Jünger (2006). Grundlegende quantitative Analysen medizinischer Prüfungen. GMS Zeitschrift für Medizinische Ausbildung **23**(3): 2006-2023.
- Moosbrugger, H. and A. Kelava (2012). Testtheorie und Fragebogenkonstruktion, Springer.
- Morita, M., T. Kimura, M. Kanegae, A. Ishikawa and T. Watanabe (1994). Reasons for extraction of permanent teeth in Japan. Community Dentistry and Oral Epidemiology **22**(5PT1): 303-306.
- Murtomaa, H. (2009). Dental education in Europe. European Journal of Dentistry **3**(1): 1.
- Nassri, M. R. G., J. Carlik, C. R. N. d. Silva, R. E. Okagawa and S. Lin (2008). Critical analysis of artificial teeth for endodontic teaching. Journal of Applied Oral Science **16**(1): 43-49.
- Nunnally, J. C. and I. H. Bernstein (1978). Psychometric theory, New York: McGraw-Hill.
- Ödesjö, B., L. Helldén, L. Salonen and K. Langeland (1990). Prevalence of previous endodontic treatment, technical standard and occurrence of periapical lesions in a randomly selected adult, general population. Dental Traumatology **6**(6): 265-272.
- Perry, S., S. M. Bridges and M. F. Burrow (2015). A review of the use of simulation in dental education. Simulation in Healthcare **10**(1): 31-37.
- Petersson, K., A. Petersson, B. Olsson, J. Hakansson and A. Wennberg (1986). Technical quality of root fillings in an adult Swedish population. Dental Traumatology **2**(3): 99-102.
- Rammstedt, B. (2010). Reliabilität, Validität, Objektivität. Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse, Springer: 239-258.
- Reich, E. and K. A. Hiller (1993). Reasons for tooth extraction in the western states of Germany. Community Dentistry and Oral Epidemiology **21**(6): 379-383.
- Reymus, M., C. Fotiadou, A. Kessler, K. Heck, R. Hickel and C. Diegritz (2019). 3D printed replicas for endodontic education. International Endodontic Journal **52**(1): 123-130.
- Ruxton, G. D. (2006). The unequal variance t-test is an underused alternative to Student's t-test and the Mann-Whitney U test. Behavioral Ecology **17**(4): 688-690.
- Saleh, A. and K. Bista (2017). Examining Factors Impacting Online Survey Response Rates in Educational Research: Perceptions of Graduate Students. Journal of MultiDisciplinary Evaluation **13**(2): 63-74.
- Schiekirka, S. and T. Raupach (2015). A systematic review of factors influencing student ratings in undergraduate medical education course evaluations. BMC Medical Education **15**(1): 30.
- Scriven, M. (1972). Die Methodologie der Evaluation, R. Piper & Co. Verlag.

Sedlmeier, P. and F. Renkewitz (2008). Forschungsmethoden und Statistik in der Psychologie, Pearson Studium München.

Seltzer, S., I. Bender, J. Smith, I. Freedman and H. Nazimov (1967). Endodontic failures—An analysis based on clinical, roentgenographic, and histologic findings: Part II. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology **23**(4): 517-530.

Spent, A. and H. Kahn (1979). The use of a plastic block for teaching root canal instrumentation and obturation. Journal of Endodontics **5**(9): 282-284.

Stockmann, R. (2000). Evaluation in Deutschland. Evaluationsforschung, Springer: 11-40.

Strindberg, L. Z. (1956). The dependence of the results of pulp therapy on certain factors—an analytical study based on radiographic and clinical follow-up examination. Acta Odontol Scand **14**: 1-175.

Strobl, C. (2015). Das Rasch-Modell: Eine verständliche Einführung für Studium und Praxis, Rainer Hampp Verlag.

Stropko, J. J. (1999). Canal morphology of maxillary molars: clinical observations of canal configurations. Journal of Endodontics **25**(6): 446-450.

Stufflebeam, D. L. (2000). The CIPP model for evaluation. Evaluation models, Springer: 279-317.

Suárez-Alvarez, J., I. Pedrosa, L. M. Lozano Fernández, E. García-Cueto, M. Cuesta and J. Muñiz (2018). Using reversed items in Likert scales: A questionable practice. Psicothema **30**: 149-158.

Suvinen, T. I., L. B. Messer and E. Franco (1998). Clinical simulation in teaching preclinical dentistry. European Journal of Dental Education **2**(1): 25-32.

Tchorz, J., M. Brandl, P. Ganter, L. Karygianni, O. Polydorou, K. Vach, E. Hellwig and M. Altenburger (2015). Pre-clinical endodontic training with artificial instead of extracted human teeth: does the type of exercise have an influence on clinical endodontic outcomes? International Endodontic Journal **48**(9): 888-893.

Torabinejad, M., P. Anderson, J. Bader, L. J. Brown, L. H. Chen, C. J. Goodacre, M. T. Kattadiyil, D. Kutsenko, J. Lozada and R. Patel (2007). Outcomes of root canal treatment and restoration, implant-supported single crowns, fixed partial dentures, and extraction without replacement: a systematic review. The Journal of Prosthetic Dentistry **98**(4): 285-311.

Tsisis, I., C. Nemkowsky, E. Tamse and E. Rosen (2010). Preserving the natural tooth versus extraction and implant placement: making a rational clinical decision. Refu'at ha-peh veha-shinayim (1993) **27**(1): 37-46, 75.

Vertucci, F. J. (1984). Root canal anatomy of the human permanent teeth. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology **58**(5): 589-599.

Vertucci, F. J. (2005). Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. Endodontic Topics **10**(1): 3-29.

Webseite Brockhaus - Simulation (Wissenschaft). Zugriff am 24.01.2021, auf <https://brockhaus.de/ecs/enzy/article/simulation-wissenschaft>.

Webseite Bundesanzeiger - Prüfungsordnung für Zahnärzte. Bundesgesetzblatt Teil I (1955) 37-52. Zugriff am 24.01.2021, auf

[http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBI&jumpTo=bgbl155s0037.pdf](http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl155s0037.pdf).

Webseite Universität Würzburg - Evaluationsordnung. Zugriff am 24.01.2021, auf [https://www.uni-wuerzburg.de/fileadmin/aml\\_veroeffentlichungen/2018/2018-13.pdf](https://www.uni-wuerzburg.de/fileadmin/aml_veroeffentlichungen/2018/2018-13.pdf).

Widmer, T. and T. De Rocchi (2012). Evaluation: Grundlagen, Ansätze und Anwendungen, Rüegger Verlag.

Wigsten, E., P. Jonasson, EndoReCo and T. Kvist (2019). Indications for root canal treatment in a Swedish county dental service: patient-and tooth-specific characteristics. International Endodontic Journal **52**(2): 158-168.

Yushkevich, P. A., J. Piven, H. C. Hazlett, R. G. Smith, S. Ho, J. C. Gee and G. Gerig (2006). User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. Neuroimage **31**(3): 1116-1128.

Zitzmann, N. U., G. Krastl, H. Hecker, C. Walter, T. Waltimo and R. Weiger (2010). Strategic considerations in treatment planning: deciding when to treat, extract, or replace a questionable tooth. The Journal of Prosthetic Dentistry **104**(2): 80-91.

## 7 Anhang

### 7.1 Informationsschrift und Einwilligungserklärung

Ansprechpartner/Studienleiter:  
Oberarzt Dr. med. dent. Sebastian Soliman  
Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie  
Pleicherwall 2, D-97080 Würzburg  
E-Mail: soliman\_s@ukw.de

#### **Information zur Studie „Validierung eines Fragebogens zur Ermittlung der Qualität und des Lernerfolgs 3D-gedruckter Zähne in der endodontischen Ausbildung“**

Sehr geehrte Studierende,

im Wintersemester 2018/19 nehmen Sie am Phantomkursus der Zahnerhaltungskunde teil. Die endodontologische Ausbildung fand bis dato klassisch anhand von „Morita Simulationsblöckchen“ bzw. im Anschluss mit der Aufbereitung von extrahierten Echtzähnen statt. Neuerdings ist es möglich, Zähne mit der pulpalen Morphologie am Computer zu modellieren und diese im Anschluss dreidimensional zu drucken. Bei diesen 3D-gedruckten Zähnen besteht der Vorteil darin, dass sie individuell anpassbar sowie reproduzierbar sind und ihre Morphologie beliebig variiert werden kann. Somit ist es möglich, ganz unterschiedliche Szenarien wie zum Beispiel einen MB2-Kanal des OK Molaren zu simulieren und zu üben. Sie haben die Möglichkeit im Rahmen dieser curricularen Lehrveranstaltung an 3D-gedruckten Zähnen zu arbeiten.

Wir führen eine Studie zur Qualitätssicherung und Ausbildungsforschung durch, in der die Auswirkungen dieses neuen Übungsmodells wissenschaftlich untersucht werden sollen.

Dazu möchten wir Sie am Ende des Kurses zur Einschätzung Ihrer Erfahrung mit den verschiedenen Übungsmodellen befragen. Wir werden Ihnen Fragebögen vorlegen und Sie darum bitten, diese auszufüllen. Ferner möchten wir Ihre Leistungsergebnisse (MC-Klausur und Testate) mit den Fragebögenantworten verknüpfen, um dadurch besser abzuschätzen, ob es Unterschiede in der Bewertung der 3D-gedruckten Zähne gibt.

Ziel der Untersuchung ist es nicht, Ihre persönlichen Leistungen zu bewerten, sondern die aufgestellten wissenschaftlichen Hypothesen zu überprüfen, sowie Effekte und mögliche Hindernisse der gedruckten Zähne systematisch zu analysieren. Es ist uns wichtig zu erfahren, was Ihnen die Aufbereitung der gedruckten Zähne genau gebracht hat und welche Erkenntnisse Sie daraus erlangt haben. Aus dieser Ergründung Ihrer Einschätzung möchten wir Verbesserungsmöglichkeiten für zukünftige gedruckte Zähne ableiten, um damit diese sowie die gesamte endodontische Ausbildung zu optimieren.

Die Fragebögen werden durch eine von EvaSys® erstellte individuelle Nummer pseudonymisiert und an die Teilnehmenden verteilt. Daraufhin führt der Studienleiter die Leistungsdaten mit dem jeweiligen Pseudonym zusammen. Durch Entfernen der individuellen Nummer wird die Datei anschließend anonymisiert. Die Durchführung der Studie geschieht auf der Grundlage der Bestimmungen der Datenschutzgrundverordnung. Der Erheber der Daten unterliegt der Schweigepflicht und ist auf das Datengeheimnis verpflichtet. Die Arbeit dient allein wissenschaftlichen Zwecken. Alle im Studienverlauf erhobenen Daten werden auf gesicherten Speichermedien hinterlegt und vertraulich behandelt.

Die Einwilligung ist freiwillig und kann jederzeit und ohne Angabe von Gründen von Ihnen widerrufen werden. Wenn Sie sich gegen eine Teilnahme entscheiden, erwachsen Ihnen hieraus keine Nachteile.

**Kurz gesagt:** diese Studie hat keinen Einfluss auf Ihre Notengebung, sie findet pseudonymisiert statt und dient der Evaluation bzw. Lehrforschung (Doktorarbeit)

**Wir bedanken uns für Ihre Bereitschaft, an dieser Studie teilzunehmen.**

Oberarzt Dr. med. dent. Sebastian Soliman  
Studienleiter

Mit Ihrer Teilnahme an der Studie „Validierung eines Fragebogens zur Ermittlung der Qualität und des Lernerfolgs 3D-gedruckter Zähne in der endodontischen Ausbildung“ erteilen Sie Ihre Einwilligung in die Verarbeitung personenbezogener Daten durch das Universitätsklinikum Würzburg.

Universitätsklinikum Würzburg (UKW), Anstalt des öffentlichen Rechts,  
Josef-Schneider-Straße 2, 97080 Würzburg, Tel.: 0931-201-0, oder E-Mail: info@ukw.de.

Das UKW hat einen Datenschutzbeauftragten bestellt. An ihn können Sie sich mit allen Anliegen rund um Ihre Daten wenden oder auch mit einer Beschwerde über Datenschutzverstöße. Seine Kontaktdaten lauten wie folgt:

- Datenschutzbeauftragter des Universitätsklinikums Würzburg,  
Josef-Schneider-Straße 11, 97080 Würzburg, E-Mail: datenschutz@ukw.de.

Zudem haben Sie das Recht auf Beschwerde bei der Datenschutzaufsichtsbehörde. Für das UKW ist dies der Bayerische Landesbeauftragte für den Datenschutz, Postfach 22 12 19, 80502 München, E-Mail: poststelle@datenschutz-bayern.de

Gemäß der DSGVO ergeben sich für Sie folgende **Rechte** bezogen auf die Ihre personenbezogenen Daten:

- Sie haben das Recht auf Widerruf. Ihre personenbezogenen Daten werden in diesem Fall gelöscht. Die Rechtmäßigkeit der Verarbeitung dieser Daten bis zum Zeitpunkt Ihres Widerrufs wird dadurch nicht berührt.
- Sie haben im Grundsatz das Recht auf Auskunft; sollten unrichtige personenbezogene Daten verarbeitet werden, haben Sie ein Recht auf Berichtigung. Bei Vorliegen der gesetzlichen Voraussetzungen können Sie die Löschung personenbezogener Daten, die Einschränkung der Verarbeitung oder die Datenübertragung verlangen, sowie Widerspruch gegen die Verarbeitung einlegen. Sollten Sie diese Rechte gegenüber dem UKW geltend machen, wird geprüft, ob die gesetzlichen Voraussetzungen erfüllt sind.

**Einwilligungserklärung für Studierende zur Studie**

*„Validierung eines Fragebogens zur Ermittlung der Qualität und des Lernerfolgs 3D-gedruckter Zähne in der endodontischen Ausbildung“*

**Bitte eintragen:\***

Teilnahmenummer:

Nachname:

Vorname:

\*Diese personenbezogenen Angaben werden separat aufbewahrt und dienen lediglich der Einwilligungserklärung.

Ich wurde von der Projektkoordination vollständig über Wesen, Bedeutung und Tragweite der Studie aufgeklärt. Ich hatte die Möglichkeit, Fragen zu stellen, habe falls erforderlich Antworten erhalten und diese verstanden.

Die Verwendung meiner Angaben setzt vor der Teilnahme an der Studie folgende freiwillig abgegebene Einwilligungserklärung voraus, d.h. ohne die nachfolgende Einwilligung kann ich nicht an der Studie teilnehmen.

Ich willige damit ein, dass im Rahmen dieser Studie erhobene Daten in Papierform und auf elektronischen Datenträgern aufgezeichnet werden. Die Auswertung erfolgt in anonymisierter Form. Die Daten sind vor unberechtigtem Zugriff geschützt. Die Einwilligung kann jederzeit ohne Angabe von Gründen widerrufen werden.

Ich habe die Informationen zur Studie erhalten. Hiermit willige ich in die Teilnahme an der Studie ein.

Würzburg, den \_\_\_\_\_  
Ort und Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift der/des Studienteilnehmenden

Würzburg, den \_\_\_\_\_  
Ort und Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Studienverantwortlichen

## 7.2 Fragebogen Pilotierungsstudie

# MUSTER

EvaSys	Phantomkurs Endontologie: Druckzähne vs. Echtzähne	

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 dem Vergleich der Verwendung von Echtzähnen und Druckzähnen (iDENTical) in der endodontischen Ausbildung beschäftigt, möchten wir gerne von Ihnen erfahren, wie Sie die Arbeit mit diesen beiden Zahnarten einschätzen. Bitte beantworten Sie sorgfältig die nachfolgenden Fragen.

### 2. Personenbezogene Daten

2.1 Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an.  weiblich  männlich

2.2 Bitte geben Sie Ihr Alter an.

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

2.4 Wenn ja, welche?

	<i>trifft gar nicht zu</i>	<i>trifft wenig zu</i>	<i>trifft teilweise zu</i>	<i>trifft ziemlich zu</i>	<i>trifft voll zu</i>	<i>keine Angabe</i>
2.5 Die zahntechnische Arbeit in den vorklinischen Kursen fiel mir leicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.6 Ich habe große Freude an den praktischen Inhalten des Studiums der Zahnmedizin.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.7 Ich schätze meine manuellen Fertigkeiten als sehr gut/hoch ein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.8 Ich hatte Schwierigkeiten, Echtzähne in externen Praxen bzw. Kliniken zu besorgen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.9 Ich hatte im Verlauf des vergangenen Kurses genügend geeignete Echtzähne für die geplanten Übungen zur Verfügung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 3. Die Ausprägung der Eigenschaften im Vergleich zum Echtzahn

F13157U0P1PLOV0
05.02.2018, Seite 1/6

# MUSTER

# MUSTER

## 3. Die Ausprägung der Eigenschaften im Vergleich zum Echtzahn [Fortsetzung]

Bitte schätzen Sie folgende **Eigenschaften der Druckzähne im Vergleich zum verwendeten Echtzahn** ein. Wenn Sie der Meinung sind, dass beide Zahnarten identisch sind, kreuzen Sie das mittlere Kästchen an. Wenn eine Ausprägung zu der einen oder anderen Eigenschaft besteht, dann entscheiden Sie sich, welchem Pol Sie näher oder ganz zustimmen.

Meiner Meinung nach gilt, dass der Druckzahn im Vergleich zum Echtzahn...

			identisch			
3.1	härter ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	weicher ist.
3.2	stärker röntgenopak ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	weniger röntgenopak ist.
3.3	weitere Wurzelkanäle hat.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	enge Wurzelkanäle hat.
3.4	besser geeignet zum Üben ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	schlechter geeignet zum Üben ist.
3.5	fairer für Prüfungen ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unfairer für Prüfungen ist.
3.6	besser geeignet für praktische Prüfungen ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	schlechter geeignet für praktische Prüfungen ist.
3.7	einfacher in der Handhabung ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	aufwändiger in der Handhabung ist.

Der Druckzahn verfügt über...

3.8	eine gute Farbdiskriminierung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	eine schlechte Farbdiskriminierung
3.9	eine realitätsnahe Konsistenz des Pulpainhaltes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	keine realitätsnahe Konsistenz des Pulpainhaltes
3.10	sichtbare anatomische Landmarken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	keine sichtbaren anatomischen Landmarken
3.11	eine nachvollziehbare Wurzelkanalmorphologie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	keine nachvollziehbare Wurzelkanalmorphologie
3.12	einen realitätsnahen taktilen Eindruck beim Präparieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	keinen realitätsnahen taktilen Eindruck beim Präparieren

# MUSTER

## 4. Die Ausprägung der Eigenschaften für die Plexiglasblöckchen im Vergleich zum Echtzahn

Bitte schätzen Sie folgende **Eigenschaften der Plexiglasblöckchen im Vergleich zum verwendeten Echtzahn** ein. Wenn Sie der Meinung sind, dass beide Zahnarten identisch sind, kreuzen Sie das mittlere Kästchen an. Wenn eine Ausprägung zu der einen oder anderen Eigenschaft besteht, dann entscheiden Sie sich, welchem Pol Sie näher oder ganz zustimmen.

Meiner Meinung nach gilt, dass der Plexiglasblock im Vergleich zum Echtzahn...

			<i>identisch</i>			
4.1	härter ist.	<input type="checkbox"/>				
4.2	stärker röntgenopak ist.	<input type="checkbox"/>				
4.3	weitere Wurzelkanäle hat.	<input type="checkbox"/>				
4.4	besser geeignet zum Üben ist.	<input type="checkbox"/>				
4.5	fairer für Prüfungen ist.	<input type="checkbox"/>				
4.6	besser geeignet für praktische Prüfungen ist.	<input type="checkbox"/>				
4.7	einfacher in der Handhabung ist.	<input type="checkbox"/>				

Der Plexiglasblock verfügt über...

4.8	eine nachvollziehbare Wurzelkanalmorphologie	<input type="checkbox"/>				
4.9	einen realitätsnahen taktilen Eindruck beim Präparieren	<input type="checkbox"/>				

# MUSTER

## 5. Einschätzung zum Lernergebnis

		<i>trifft gar nicht zu</i>	<i>trifft wenig zu</i>	<i>trifft teilweise zu</i>	<i>trifft ziemlich zu</i>	<i>trifft voll zu</i>	<i>keine Angabe</i>
5.1	Mein subjektiver Lernerfolg nach der Arbeit mit den Druckzähnen war im Vergleich zur Arbeit mit dem Echtzahn deutlich höher.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.2	Mein subjektiver Lernerfolg nach der Arbeit mit den Druckzähnen war im Vergleich zur Arbeit mit dem Plexiglasblöckchen deutlich höher.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.3	Das Üben mit dem Echtzahn ist im Vergleich zu den Druckzähnen sehr ähnlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.4	Jetzt nach dem Kurs fühle ich mich richtig fit in der Behandlung von Wurzelkanälen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 6. Einschätzung zum Lernprozess

		<i>trifft gar nicht zu</i>	<i>trifft wenig zu</i>	<i>trifft teilweise zu</i>	<i>trifft ziemlich zu</i>	<i>trifft voll zu</i>	<i>keine Angabe</i>
6.1	Die echten Zähne haben in mir Enthusiasmus geweckt, die Wurzelkanalbehandlung zu erlernen und zu meistern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.2	Die echten Zähne waren sehr hilfreich beim Erlernen der zugrundliegenden fein-motorischen Fertigkeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.3	Die echten Zähne haben mir die räumliche Vorstellung bei der Wurzelkanalbehandlung erleichtert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.4	Der gedruckte Zahn hat in mir Enthusiasmus geweckt, die Wurzelkanalbehandlung zu erlernen und zu meistern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.5	Der gedruckte Zahn war sehr hilfreich beim Erlernen der zugrundliegenden fein-motorischen Fertigkeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.6	Der gedruckte Zahn hat mir die räumliche Vorstellung bei der Wurzelkanalbehandlung erleichtert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.7	Der Zugang zu den Wurzelkanälen war bei dem gedruckten Zahn schwierig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.8	Im Nachhinein hätte ich es besser gefunden, erst mit den gedruckten Zähnen zu üben und dann mit den Echtzähnen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.9	Ich kann mir die gesamte endodontische Ausbildung mit den Druckzähnen vorstellen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.10	Ich kann mir die gesamte restaurative Ausbildung (Druckzähne mit Kariesläsionen) mit den Druckzähnen vorstellen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

# MUSTER

# MUSTER

EvaSys

Phantomkurs Endontologie: Druckzähne vs. Echtzähne

 Electric Paper  
KALKULATIONSFORMEN

## 7. Dozierende und Betreuung

	<i>trifft gar nicht zu</i>	<i>trifft wenig zu</i>	<i>trifft teilweise zu</i>	<i>trifft ziemlich zu</i>	<i>trifft voll zu</i>	<i>keine Angabe</i>
7.1 Die Dozierenden des Kurses kennen sich mit der Durchführung von Wurzelkanalbehandlungen hervorragend aus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.2 Ich konnte von den Dozierenden wertvolle Hilfestellungen erhalten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.3 Ich wurde von den Dozierenden gut betreut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.4 Der Kurs war gut organisiert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.5 Ich hatte ausreichend Übungsmöglichkeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 8. Offene Fragen

8.1 Was könnte man zukünftig an den Modellzähnen noch verbessern?

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

# MUSTER

EvaSys

Phantomkurs Endontologie: Druckzähne vs. Echtzähne



## 8. Offene Fragen [Fortsetzung]

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

**Vielen Dank für Ihre Teilnahme!**

### 7.3 Fragebogen Validierungsstudie

# MUSTER

EvaSys	Phantomkurs Endontologie: Druckzähne vs. Echtzähne SoSe18	Electric Paper SWW
--------	---	-----------------------

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 dem Vergleich der Verwendung von Echtzähnen und Druckzähnen (iDENTical) in der endodontischen Ausbildung beschäftigt, möchten wir gerne von Ihnen erfahren, wie Sie die Arbeit mit diesen beiden Zahnarten einschätzen. Bitte beantworten Sie sorgfältig die nachfolgenden Fragen.

#### 2. Personenbezogene Daten

2.1 Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an.  weiblich  männlich

2.2 Bitte geben Sie Ihr Alter an.

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

2.4 Wenn ja, welche?

		<i>trifft gar nicht zu</i>	<i>trifft wenig zu</i>	<i>trifft teilweise zu</i>	<i>trifft ziemlich zu</i>	<i>trifft voll zu</i>	<i>keine Angabe</i>
2.5 Die zahntechnische Arbeit in den vorklinischen Kursen fiel mir leicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.6 Ich habe große Freude an den praktischen Inhalten des Studiums der Zahnmedizin.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.7 Ich schätze meine manuellen Fertigkeiten als sehr gut/hoch ein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.8 Ich hatte Schwierigkeiten, Echtzähne in externen Praxen bzw. Kliniken zu besorgen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.9 Ich hatte im Verlauf des vergangenen Kurses genügend geeignete Echtzähne für die geplanten Übungen zur Verfügung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

# MUSTER



# MUSTER

## 4. Die Ausprägung der Eigenschaften im Vergleich zum Echtzahn

Bitte schätzen Sie folgende **Eigenschaften der Plexiglasblöckchen im Vergleich zum verwendeten Echtzahn** ein. Wenn Sie der Meinung sind, dass beide Zahnarten identisch sind, kreuzen Sie das mittlere Kästchen an. Wenn eine Ausprägung zu der einen oder anderen Eigenschaft besteht, dann entscheiden Sie sich, welchem Pol Sie näher oder ganz zustimmen.

Meiner Meinung nach gilt, dass der Plexiglasblock im Vergleich zum Echtzahn...

		<i>identisch</i>	
4.1	härter ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> weicher ist.
4.2	stärker röntgenopak ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> weniger röntgenopak ist.
4.3	weitere Wurzelkanäle hat.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> enge Wurzelkanäle hat.
4.4	besser geeignet zum Üben ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> schlechter geeignet zum Üben ist.
4.5	fairer für Prüfungen ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> unfairer für Prüfungen ist.
4.6	besser geeignet für praktische Prüfungen ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> schlechter geeignet für praktische Prüfungen ist.
4.7	einfacher in der Handhabung ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> aufwändiger in der Handhabung ist.

Der Plexiglasblock verfügt über...

		<input type="checkbox"/>	
4.8	eine nachvollzie- hbare Wurzelkana- lmorphologie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> keine nach- vollziehbare Wurzelkana- lmorphologie
4.9	einen realitätsnahen taktilen Eindruck beim Präparieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> keinen reali- tätsnahen taktilen Eindruck beim Präparieren

# MUSTER

## 5. Die Ausprägung der Eigenschaften im Vergleich zum Plexiglasblock

Bitte schätzen Sie folgende **Eigenschaften der Druckzähne im Vergleich zum verwendeten Plexiglasblock** ein. Wenn Sie der Meinung sind, dass beide Zahnarten identisch sind, kreuzen Sie das mittlere Kästchen an. Wenn eine Ausprägung zu der einen oder anderen Eigenschaft besteht, dann entschieden Sie sich, welchem Pol Sie näher oder ganz zustimmen.

Meiner Meinung nach gilt, dass der Druckzahn im Vergleich zum Plexiglasblock...

		<i>identisch</i>	
5.1	härter ist. <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> weicher ist.
5.2	stärker röntgenopak ist. <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> weniger röntgenopak ist.
5.3	weitere Wurzelkanäle hat. <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> enge Wurzelkanäle hat.
5.4	besser geeignet zum Üben ist. <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> schlechter geeignet zum Üben ist.
5.5	fairer für Prüfungen ist. <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> unfairer für Prüfungen ist.
5.6	besser geeignet für praktische Prüfungen ist. <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> schlechter geeignet für praktische Prüfungen ist.
5.7	einfacher in der Handhabung ist. <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> aufwändiger in der Handhabung ist.

## 6. Einschätzung zum Lernergebnis

		<i>trifft gar nicht zu</i>	<i>trifft wenig zu</i>	<i>trifft teilweise zu</i>	<i>trifft ziemlich zu</i>	<i>trifft voll zu</i>	<i>keine Angabe</i>
6.1	Mein subjektiver Lernerfolg nach der Arbeit mit den Druckzähnen war im Vergleich zur Arbeit mit dem Echtzahn deutlich höher.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.2	Mein subjektiver Lernerfolg nach der Arbeit mit den Druckzähnen war im Vergleich zur Arbeit mit dem Plexiglasblöckchen deutlich höher.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.3	Das Üben mit dem Echtzahn ist im Vergleich zu den Druckzähnen sehr ähnlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.4	Jetzt nach dem Kurs fühle ich mich richtig fit in der Behandlung von Wurzelkanälen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

# MUSTER

## 7. Einschätzung zum Lernprozess

	<i>trifft gar nicht zu</i>	<i>trifft wenig zu</i>	<i>trifft teilweise zu</i>	<i>trifft ziemlich zu</i>	<i>trifft voll zu</i>	<i>keine Angabe</i>
7.1 Die echten Zähne haben in mir Enthusiasmus geweckt, die Wurzelkanalbehandlung zu erlernen und zu meistern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.2 Die echten Zähne waren sehr hilfreich beim Erlernen der zugrundliegenden fein-motorischen Fertigkeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.3 Die echten Zähne haben mir die räumliche Vorstellung bei der Wurzelkanalbehandlung erleichtert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.4 Der gedruckte Zahn hat in mir Enthusiasmus geweckt, die Wurzelkanalbehandlung zu erlernen und zu meistern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.5 Der gedruckte Zahn war sehr hilfreich beim Erlernen der zugrundliegenden fein-motorischen Fertigkeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.6 Der gedruckte Zahn hat mir die räumliche Vorstellung bei der Wurzelkanalbehandlung erleichtert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.7 Der Zugang zu den Wurzelkanälen war bei dem gedruckten Zahn schwierig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.8 Ich kann mir die gesamte endodontische Ausbildung mit den Druckzähnen vorstellen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.9 Ich kann mir die gesamte restaurative Ausbildung (Druckzähne mit Kariesläsionen) mit den Druckzähnen vorstellen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 8. Dozierende und Betreuung

	<i>trifft gar nicht zu</i>	<i>trifft wenig zu</i>	<i>trifft teilweise zu</i>	<i>trifft ziemlich zu</i>	<i>trifft voll zu</i>	<i>keine Angabe</i>
8.1 Die Dozierenden des Kurses kennen sich mit der Durchführung von Wurzelkanalbehandlungen hervorragend aus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.2 Ich konnte von den Dozierenden wertvolle Hilfestellungen erhalten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.3 Ich wurde von den Dozierenden gut betreut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.4 Der Kurs war gut organisiert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.5 Ich hatte ausreichend Übungsmöglichkeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

# MUSTER

# MUSTER

EvaSys

Phantomkurs Endontologie: Druckzähne vs. Echtzähne SoSe18



## 9. Offene Fragen

9.1 Was könnte man zukünftig an den Modellzähnen noch verbessern?

9.2 Welche Vorteile bieten Ihrer Meinung nach die Echtzähne in der zahnärztlichen Ausbildung?

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

**Vielen Dank für Ihre Teilnahme!**

## 7.4 Ethik-Antrag

Eingang:	
AZ	

*Ethik Beratung Antrag\_Druckzähne\_Kolling\_Markus.doc*

### ANTRAG AUF BERATUNG

eines FORSCHUNGSVORHABENS nach § 15 der Berufsordnung für Ärzte in Bayern durch die Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät der Universität Würzburg

#### I. ALLGEMEINE ANGABEN

1	Datum der Antragstellung: <b>07.11.2018</b>
2	Bezeichnung des Vorhabens: <b>Validierung eines Fragebogens zur Ermittlung der Qualität und des Lernerfolgs 3D-gedruckter Zähne in der endodontischen Ausbildung</b>
3	Antragsteller Name: Prof. Dr. med. Sarah König, MME Klinik/Institut: Institut für Med. Lehre und Ausbildungsforschung Anschrift: Josef-Schneider-Str. 2 / D6, 97074 Würzburg Tel.: 0931-20155220 Funk: Mail: koenig_sarah@ukw.de  Daten zur Berufsausbildung Ort u. Zeitpunkt der Erteilung der Approbation als Arzt: 2000 ggf. Zeitpunkt der Erteilung der Berufsausübungsgenehmigung: (gilt vor allem bei Ausländern) Studienerfahrung: seit mehr als 10 Jahren in Lehrforschung
4	weitere Untersucher vor Ort (Name, Klinik): Prof. Dr. med. dent. Gabriel Krastl; Klinikdirektor der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie PD Dr. med. dent. Norbert Hofmann, Leitender Oberarzt der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie Julian Volland; Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie Alexander Winkler; Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
5	Klinik, Institut, oder selbstständige Abteilung, wo das Vorhaben durchgeführt werden soll: Institut für Medizinische Lehre und Ausbildungsforschung Direktor/-in der Klinik, Leiter/-in des Instituts oder der selbstständigen Abteilung: Prof. Dr. med. Sarah König
6	<input checked="" type="checkbox"/> monozentrisches Forschungsvorhaben <input type="checkbox"/> multizentrisches Forschungsvorhaben <input type="checkbox"/> der Antragsteller ist Leiter/Koordinator der Prüfung <input checked="" type="checkbox"/> Leiter der Prüfung: Oberarzt Dr. med. dent. Sebastian Soliman, Zahnerhaltung und Parodontologie, Universitätsklinikum Würzburg

7	<p>Finanzierung durch:</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Mittel aus dem Staatshaushalt Bayerns (z.B. Haushaltsmittel der Universitäten oder Ministerien), und zwar: Universität Würzburg und Universitätsklinikum Würzburg; Software "EvaSys" zur Qualitätssicherung - Campulizenz der Universität Würzburg, Lizenz für Rechenoperationen (SPSS) durch das Institut für Medizinische Lehre und Ausbildungsforschung des Universitätsklinikum Würzburg, Software "R" für Rechenoperationen als open source Datei</p> <p><input type="checkbox"/> Mittel sonstiger Dritter, und zwar:</p> <p>Für die Tätigkeit der Kommission werden - außer für den Freistaat Bayern selbst - Gebühren erhoben. Diese richten sich nach den gültigen Gebührenrichtwerttabellen.</p>
---	---

## II. BESCHREIBUNG DES VORHABENS:

1	<p>Zweck des Vorhabens: Bedeutung für die Heilkunde:  Mit dem Aufkommen des 3D-Drucks in der Industrie ist es möglich, diese neue Methode auch für die zahnmedizinische Ausbildung zu verwenden. Die endodontologische Ausbildung fand bis dato klassisch anhand von „Morita Simulationsblöckchen“ bzw. im Anschluss mit der Aufbereitung von extrahierten Echtzähnen statt. Neuerdings ist es möglich, Zähne mit der pulpalen Morphologie am Computer zu modellieren und diese im Anschluss dreidimensional zu drucken. Bei diesen 3D-gedruckten Zähnen besteht der Vorteil darin, dass sie individuell anpassbar sowie reproduzierbar sind und ihre Morphologie beliebig variiert werden kann. Somit ist es möglich, ganz unterschiedliche Szenarien wie zum Beispiel einen MB2-Kanal des OK Molaren zu simulieren und zu üben.  Ziel ist es, einen Fragebogen zu entwickeln und zu validieren, mit dem der Lernerfolg an 3D-gedruckten Zähnen messbar wird. Dadurch können die gedruckten Zähne auf ihre Effektivität hin geprüft und der Lernerfolg belegbar gemacht werden. Die Validierung und Messbarkeit dieser neuen Übungsmöglichkeit zur Erlangung besserer praktischer Fertigkeiten kommt damit der gesamten endodontischen Ausbildung zugute.</p>						
2	<p>geplanter Beginn des Vorhabens: WiSe 2018/19  voraussichtliche Dauer des Vorhabens: ca. 3 Semester  Zahl der Versuchspersonen: ca. 100  Geschlecht der Versuchspersonen: weiblich/männlich  Alter der Versuchspersonen: über 18 Jahre  Die Versuchspersonen nehmen nicht an anderen Versuchsvorhaben teil.</p>						
3	<p>Bei dem beantragten Vorhaben handelt es sich um ein/e/en</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td><input type="checkbox"/> diagnostische Prüfung</td> <td><input type="checkbox"/> ausschließlich wissenschaftl. Versuch</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> therapeutische Prüfung</td> <td><input type="checkbox"/> gemischtes Vorhaben</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Verträglichkeitsprüfung</td> <td></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> diagnostische Prüfung	<input type="checkbox"/> ausschließlich wissenschaftl. Versuch	<input type="checkbox"/> therapeutische Prüfung	<input type="checkbox"/> gemischtes Vorhaben	<input type="checkbox"/> Verträglichkeitsprüfung	
<input type="checkbox"/> diagnostische Prüfung	<input type="checkbox"/> ausschließlich wissenschaftl. Versuch						
<input type="checkbox"/> therapeutische Prüfung	<input type="checkbox"/> gemischtes Vorhaben						
<input type="checkbox"/> Verträglichkeitsprüfung							
4	<p><b>nein</b> Die Strahlenschutzverordnung und/oder die Röntgenverordnung</p>						

	<p>finden/findet Anwendung bei dem beantragten Forschungsvorhaben. Findet die StrSchV oder RöV Anwendung, dann hat der Antragsteller angemessen zu begründen, dass ein zwingendes Bedürfnis für die Durchführung der Studie besteht.</p> <p><input type="checkbox"/> ein Antrag beim Bundesamt für Strahlenschutz wurde am _____ gestellt.</p> <p><input type="checkbox"/> ein entsprechender Antrag wird beim Bundesamt für Strahlenschutz gestellt.</p> <p><input type="checkbox"/> ein Bescheid des Bundesamts für Strahlenschutz liegt vor (Kopie ist als Anlage beigefügt).</p>
5 a	<p>Steht das Vorhaben mit der aktuellen Fassung der Deklaration von Helsinki in Einklang? <b>ja</b></p>
5 b	<p>Könnte in bestimmter Hinsicht ein Grenzfall gegeben sein? <b>nein</b></p>
6 a	<p>Gegenstand der Studie und ihre Ziele; Angabe der Hypothesen (Primär und ggf. Sekundärhypothesen), die untersucht werden sollen.</p> <p>Ziel ist es, einen Fragebogen zu validieren. Im Rahmen der Überprüfung der differentiellen Validität gehört es dazu, zu erfahren, inwieweit die gedruckten Zähne zum Lernerfolg der Studierenden beitragen und welche Studierenden besonders davon profitieren. Hierzu sollen rechnerisch zwei Gruppen (sog. High- und Lowperformer), basierend auf den praktischen und theoretischen Leistungen im Kurs, gebildet und die Einschätzungen der Studierenden verglichen werden. Aus den Ergebnissen der Fragebögen möchten wir Verbesserungsmöglichkeiten für zukünftig gedruckte Zähne ableiten und für die Zielgruppe(n) das optimale Material für den Erwerb praktischer Fertigkeiten entwickeln. Der Fragebogen soll hierzu im teststatistischen Sinne psychometrisch getestet werden, sodass er auch für zukünftige, neu designte Druckzähne verwendet werden kann. Im Zentrum stehen folgende Fragestellungen:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wie schneiden die gedruckten Zähne im Vergleich zu den verwendeten Echtzähnen ab?</li> <li>2. Wie schneiden die gedruckten Zähne im Vergleich zu den verwendeten "Morita Simulationsmodellen" ab?</li> <li>3. Wie schätzen die Studierenden den persönlichen Lernerfolg des jeweils verwendeten Übungsmodells ein?</li> <li>4. Verbesserungsvorschläge: Wie kann der Druckzahn weiterentwickelt werden, um die Lehre und damit die endodontische Ausbildung der Studierenden zu verbessern?</li> <li>5. Lassen sich Gruppen herausbilden, die besser/schlechter mit den gedruckten Zähnen zurecht kommen? Welche Gruppe (High-/Lowperformer) profitiert besonders von den gedruckten Zähnen? Welche Gruppe schätzt die Zähne wie ein?</li> <li>6. Evaluation des Lernzuwachses der Studierenden. Dazu wird die Einschätzung der Kompetenz zu ausgewählten Lernzielen als Zweipunktabfrage (aktuell nach dem Kurs und retrospektiv vor dem Kurs) erhoben.</li> </ol> <p>Um den Einfluss einzelner Faktoren genau zu definieren, werden alle</p>

	<p>erhobenen Daten statistisch ausgewertet. Die aufgestellten wissenschaftlichen Hypothesen werden überprüft und es werden Wirkmechanismen und mögliche Hindernisse systematisch analysiert.</p>
6 b	<p>Angaben zu geplanten statistischen Analysen mit biometrischer Begründung der Fallzahlen.</p> <p>Veränderungen werden mittels t-test bzw. dem für nicht parametrisch verteilte Daten empfohlenen Welch-test quer- und längsschnittlich auf signifikante Unterschiede hin betrachtet. Bei einer mittleren Effektstärke (Cohens <math>d = .50</math>), einer alpha-Fehler-Wahrscheinlichkeit von <math>.05</math> und einer Power von <math>.95</math> wird eine Stichprobengröße von 45 im Längsschnitt und eine Stichprobengröße von 90 im Querschnitt benötigt. Unter Berücksichtigung beider Aspekte mit anschließender Bonferroni-Korrektur kann diese Fallzahl abgedeckt werden.</p>
6 c	<p>Datenschutzangaben (z.B. Angaben zum Schutz der Geheimhaltung der erhobenen und gespeicherten Daten, Dokumente und ggf. Proben).</p> <p>Die Speicherung aller pseudonymisierten Daten erfolgt auf passwortgeschützten Dienstrechnern des Universitätsklinikums Würzburg. Die in Papierform vorliegenden unterzeichneten Einwilligungserklärungen werden in einem Ordner unter Verschluss aufbewahrt. Die wissenschaftliche Auswertung erfolgt ohne jeglichen Bezug zur Person.</p> <p>Hier wird der Ablauf von Pseudonymisierung zu Anonymisierung beschrieben: Für die statistische Berechnung und um die Verknüpfung mit den entsprechenden Leistungsdaten (Bewertung/Note der praktischen Arbeiten und Klausurergebnisse) zu gewährleisten, ist es nötig, die Fragebögen pseudonymisiert an die Studierenden zu verteilen und von diesen ausfüllen zu lassen. Die Fragebögen enthalten dazu eine von EvaSys erstellte, individuelle arabische Nummer. Diese ermöglicht es dem Studienleiter, die Leistungsdaten mit dem jeweiligen Fragebogen zusammenzuführen. Die zusammengeführte Datei wird dann durch Entfernen der individuellen Nummern anonymisiert. Hinsichtlich dieses Vorgehens fand eine Beratung mit Herrn Reiter, dem Datenschutzbeauftragten des Universitätsklinikums Würzburg statt. Dieser hat keine datenschutzrechtlichen Bedenken.</p> <p>Die Teilnahme an der Studie ist für die Studierenden freiwillig. Es entstehen keinerlei Konsequenzen für die Nicht-/Teilnahme. Die Einwilligung kann jederzeit und ohne Angabe von Gründen widerrufen werden.</p>
6 d	<p>Sind alle anderen für Menschen ungefährliche Erprobungsmöglichkeiten ausgeschöpft? <b>ja</b></p>
6 e	<p>Wurden bereits oder werden z. Zt. gleichartige oder ähnliche Vorhaben durch Sie selbst oder durch andere ForscherInnen durchgeführt? <b>nein</b></p> <p>Wenn ja, bitte Ergebnisse angeben.</p>
7 a	<p>Voraussichtlicher Nutzen des Vorhabens für die Heilkunde:</p> <p>Der Nutzen für die Praxis liegt in einem methodisch fundierten und längerfristig nutzbaren Evaluationskonzept und Messung des Lernerfolgs,</p>

7 b	<p>das für zukünftige Testungen an neu designten Druckzähnen zum Einsatz kommen kann. Der voraussichtliche Nutzen ist die Verbesserung der gedruckten Zähne und damit einhergehend der bessere Erwerb der taktilen Fähigkeiten der Studierenden bzw. Kursteilnehmenden. Dadurch können schwierige Kanalmorphologien beliebig häufig geübt werden, bevor das Lernen der praktischen Fertigkeit in der Behandlung am Patienten beginnt. Somit profitieren potenziell nicht nur die Studierenden bzw. Kursteilnehmenden durch den Zuwachs ihrer praktischen Fähigkeiten, sondern auch die Patienten durch versiertere Behandelnde.</p> <p>Voraussichtlicher Nutzen des Vorhabens für die Versuchspersonen: Die Studierenden lernen, reflektieren und erfahren, wie sie schwierige Kanalmorphologien erkennen und erfolgreich behandeln können. Sie erlangen dadurch Kompetenzen für die Ausübung ihres Berufes.</p>
8 a	<p>Mögliche Komplikationen und Risiken für die Versuchspersonen, Abschätzbarkeit der Risiken: keine</p>
8 b	<p>Kontrollmöglichkeiten und Gegenmittel; Möglichkeiten der Früherkennung von Komplikationen: nicht zutreffend</p>
9	<p>Auf welche Art (schriftlich/mündlich) und in welchem Umfang (insb. über Art und Wahrscheinlichkeit der Risiken; Rücktrittsrecht) erfolgt die Aufklärung der Versuchspersonen (erforderlichenfalls: und/oder der gesetzlichen Vertreter) bzw. ist bereits erfolgt? (Formblätter) mündliche und schriftliche Informationen, siehe Anlagen</p>
10	<p>Wie erfolgt die Einwilligung der Versuchspersonen und/oder, wenn nötig, der gesetzlichen Vertreter? (Formblätter vorlegen) Es werden Einwilligungserklärungen eingeholt (siehe Anlage). Zusätzlich erfolgt eine mündliche Aufklärung über die Studie.</p>
11	<p>Besteht eine Versicherung für die Studienteilnehmer?</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> ja; Nicht erforderlich, da es sich nicht um biomedizinische Forschung am oder Eingriffe in die Psyche beim Menschen handelt. Die teilnehmenden Studierenden sind im Rahmen des Studiums versichert (Bayerische Landesunfallkasse).</p> <p>Es handelt sich um die Evaluation einer nicht-invasiven Intervention (neues Material im Kurs), die im Rahmen eines curricularen Lehrveranstaltung stattfindet (ohne Mehraufwand für die Studierenden). Im eigentlichen Sinne kann das Projekt als qualitätssichernde Maßnahme verstanden werden.</p> <p><input type="checkbox"/> nein;</p>
12	Anlagen



## 7.5 Studienprotokoll

### **Information zur Studie „Validierung eines Fragebogens zur Ermittlung der Qualität und des Lernerfolgs 3D-gedruckter Zähne in der endodontischen Ausbildung“**

Sehr geehrte Studierende,

im Wintersemester 2018/19 nehmen Sie am „Phantomkursus der Zahnerhaltungskunde (einschließlich Parodontologie)“ teil, der unter anderem die endodontische Ausbildung umfasst. Hierbei werden Sie 3D-gedruckten Zähnen lernen. Wir führen eine Studie zur Qualitätssicherung und Ausbildungsforschung durch, in der die Auswirkungen dieses neuen Übungsmodells wissenschaftlich untersucht werden sollen. Hiermit möchten wir Sie über die Studie informieren und Sie bitten, in die Teilnahme einzuwilligen.

#### **Hintergrund**

Mit dem Aufkommen des 3D-Drucks in der Industrie ist es möglich, diese neue Methode auch für die zahnmedizinische Ausbildung zu verwenden. Die endodontologische Ausbildung fand bis dato klassisch anhand von „Morita Simulationsmodellen“ bzw. im Anschluss mit der Aufbereitung von extrahierten Echtzähnen statt. Neuerdings ist es möglich, Zähne mit der pulpalen Morphologie am Computer zu modellieren und diese im Anschluss dreidimensional zu drucken. Bei diesen 3D-gedruckten Zähnen besteht der Vorteil darin, dass sie individuell anpassbar sowie reproduzierbar sind und ihre Morphologie beliebig variiert werden kann. Somit ist es möglich, ganz unterschiedliche Szenarien wie zum Beispiel einen MB2-Kanal des OK Molaren zu simulieren und zu üben.

#### **Ziele und Inhalt der Studie**

Sie haben die Möglichkeit, im Rahmen dieser curricularen Lehrveranstaltung an 3D-gedruckten Zähnen zu üben. Wir führen eine Studie durch, in der die Ausbildungseffekte dieses neuen Übungsmodells wissenschaftlich untersucht werden sollen. Ausgewählte Abschnitte und Thesen werden im Rahmen einer Dissertation bearbeitet bzw. analysiert. Dazu möchten wir Sie am Ende des Kurses um die Einschätzung Ihrer Erfahrung mit den verschiedenen Übungsmodellen bitten. Wir werden Ihnen Fragebögen vorlegen und Sie darum bitten, diese auszufüllen.

Wir möchten erfahren, inwieweit die gedruckten Zähne zum Lernerfolg der Studierenden beitragen und welche Studierenden besonders davon profitieren. Hierzu sollen rechnerisch zwei Gruppen (sog. High- und Lowperformer), basierend auf den praktischen und theoretischen Leistungen im Kurs gebildet und die Einschätzungen der Studierenden verglichen werden. Aus den Ergebnissen der Fragebögen möchten wir Verbesserungsmöglichkeiten für zukünftig gedruckte Zähne ableiten. Der Fragebogen soll hierzu auch teststatistisch geprüft werden, sodass er für zukünftige, neu designte Druckzähne bzw. praktische Ausbildungsmodelle verwendet werden kann. Im Zentrum stehen Fragestellungen wie z.B. das Abschneiden der gedruckten Zähne im Vergleich zu den verwendeten Echtzähnen bzw. der Vergleich der Druckzähne gegenüber der verwendeten „Morita Simulationsmodellen“. Um den Einfluss einzelner Faktoren genau zu definieren, werden die erhobenen Daten statistisch ausgewertet. Die aufgestellten wissenschaftlichen Hypothesen werden überprüft und es werden Wirkmechanismen und mögliche Hindernisse systematisch analysiert.

### **Rechtliche, ethische Aspekte und Datenschutz**

Alle Befragungen im Rahmen der Studie werden papierbasiert oder online durchgeführt. Sie basieren auf Fragebögen bzw. Fragenkatalogen, die valide sind und den psychometrischen Standards der aktuellen Wissenschaft entsprechen.

Wir werden von Ihnen auch soziodemographische und berufliche Daten (Geschlecht, Alter, Berufserfahrung) erheben. Die Erfassung von Daten, die eindeutige Rückschlüsse auf Ihre Person ermöglichen, findet nicht statt.

Sie werden gebeten, von persönlichen Sichtweisen, Einstellungen, Lernerfolgen, Selbsteinschätzungen, Wahrnehmungen, Erfahrungen und möglichen Einflüssen mit Bezug auf die gedruckten Zähne zu berichten.

Die Teilnahme an der Studie ist freiwillig. Sie können Ihre Einwilligung jederzeit und ohne Angabe von Gründen widerrufen. Bei Rücktritt von der Studie werden wir Sie fragen, ob Sie mit der Auswertung des bereits gewonnenen Datenmaterials einverstanden sind. Anderenfalls werden wir dieses vernichten.

Die Umfragen werden mittels EvaSys® erhoben, als Papierumfrage oder elektronischer Fragebogen. Das System an sich arbeitet anonym, d.h. es findet keine Zuordnung zu einer bestimmten Person statt. Die Datenerfassung im Kurs erfolgt in pseudonymisierter Form, d.h. die Fragebögen und praktischen Testate sind Ihnen durch eine arabische Nummer zugeordnet, die jedoch keine Rückschlüsse auf Ihre Person ermöglicht.

Dem Studienleiter ist es durch die Nummer möglich, alle Daten mit dem Pseudonym zusammenzuführen. Die zusammengeführte Datei wird dann durch Entfernen der individuellen Nummern und weitere statistische Verarbeitung der Rohdaten (Rechnen, Analysieren), sowie das Einteilen in High-Low-Performergruppen aufgrund der Kohortengröße komplett anonymisiert. Hinsichtlich der Art der Pseudonymisierung fand eine Beratung mit Herrn Reiter, dem Datenschutzbeauftragten des Universitätsklinikum Würzburg statt. Dieser hat keine datenschutzrechtlichen Bedenken. Die Speicherung aller Daten erfolgt auf passwortgeschützten Rechnern des Universitätsklinikums Würzburg.

Nach der detaillierten wissenschaftlichen Auswertung der Ergebnisse sind zeitnahe Publikationen in Fachzeitschriften geplant. Die Studie wird in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki in ihrer aktuellen Fassung durchgeführt. Für das Studienvorhaben wurde ein Antrag bei der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität Würzburg zur berufsrechtlichen Beratung vorgelegt.

Risiken für die Studienteilnahme sind nicht ersichtlich. Die Mitglieder des Studienteams sind sich jedoch bewusst, dass in der vorliegenden Studie auch sensible Daten zu Ihren persönlichen Erfahrungen und Einschätzungen erhoben werden. Deswegen wurde diese Problematik im Studienteam kritisch diskutiert und die Fragen auf den zur Realisierung der Studienziele erforderlichen Umfang beschränkt. Ihre Angaben und alle vertraulichen Informationen unterliegen den Bestimmungen des Bundesdatenschutzgesetzes (BDSG).

Während der Studie werden Informationen von Ihnen erhoben und elektronisch gespeichert. Im Rahmen einer Einwilligungserklärung werden Sie darüber informiert, dass die Daten lediglich zu Evaluations- und Forschungszwecken genutzt und nicht an Dritte weitergegeben werden. Als Rechtsgrundlage für die Erhebung, Verarbeitung und Nutzung der Daten ist der Art. 17 Abs. 2 Nr. 2 BayDSG relevant. Eine Weitergabe der Daten erfolgt nur an Mitglieder des Studienteams, die diese zur Kommunikation und Auswertung benötigen. Dritte erhalten keinen Einblick in die Originaldateien.

Für eventuelle Rückfragen stehen wir Ihnen gern zur Verfügung:

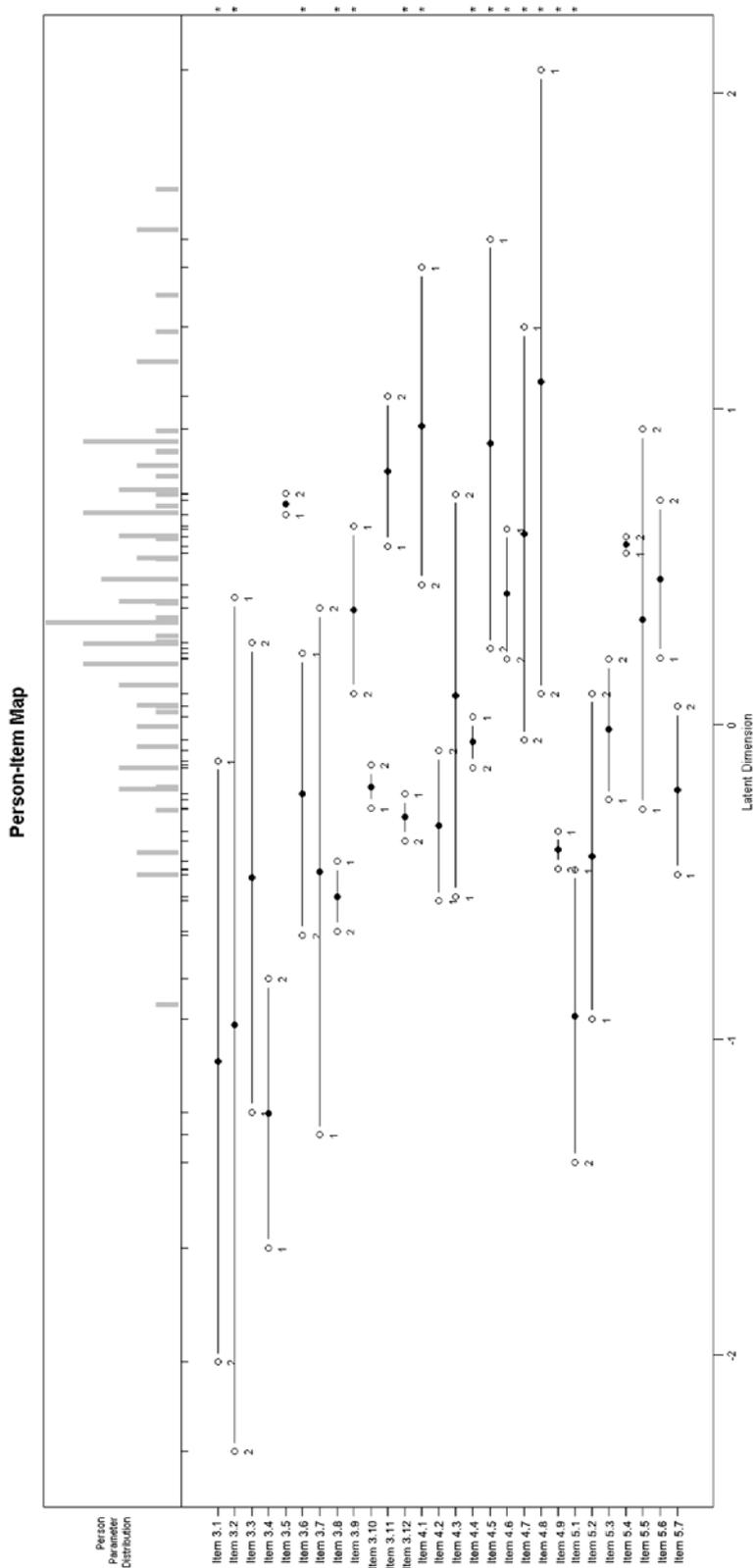
Dr. med. dent. **Sebastian Soliman**  
Oberarzt der Poliklinik für Zahnerhaltung  
Pleicherwall 2, 97080 Würzburg  
Tel. +49 (0) 931/201-72420  
E-Mail: soliman\_s@ukw.de

**Julian Volland**  
Zahnarzt der Poliklinik für Zahnerhaltung  
Pleicherwall 2, 97080 Würzburg  
Tel. +49 (0) 931/201-72420  
E-Mail: volland\_j@ukw.de

In Kooperation mit:

Univ.-Prof. Dr. med. **Sarah König**, MME  
Lehrstuhl Medizinische Lehre und Ausbildungsforschung  
Josef-Schneider-Str. 2/D6; 97080 Würzburg  
Tel. + 49 (0)931/201-55220  
E-Mail: koenig\_sarah@ukw.de

## 7.6 Validierungsstudie Person-Item Map



## Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	<i>analysis of variance</i> (Varianzanalyse)
ANCOVA	<i>analysis of covariance</i> (Kovarianzanalyse)
IRM	<i>Intermediate Restorative Material</i> (temporäres Füllungsmaterial)
MW	Mittelwert
n	Absolute Anzahl
N/A	<i>not available</i> (nicht verfügbar)
ns	Nicht signifikant
PCM	Partial Credit Model
p-Wert	Signifikanzwert
SA	Standardabweichung

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Studienverlauf Zahnmedizin an der Universität Würzburg .....	2
Abbildung 2: Aufbau Phantomkursus der Zahnerhaltungskunde.....	11
Abbildung 3: Plexiglasblock (Flex Master Übungsblock) .....	17
Abbildung 4: Echtzahnmodell für endodontische Ausbildung .....	18
Abbildung 5: 3D-gedruckter Zahn in verschiedenen Ansichten .....	20
Abbildung 6: Mikroskop (links) & Führungsschiene (rechts) zum Scannen .....	21
Abbildung 7: Plexiglasblock vor (links) und nach (rechts) der Bearbeitung .....	21
Abbildung 8: Person-Item Map zu ausgewählten Items .....	29
Abbildung 9: Studentische Einschätzung von Enthusiasmus, feinmotorischen Fertigkeiten und räumlicher Vorstellung im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu echtem Zahn.....	32
Abbildung 10: Studentische Einschätzung von Enthusiasmus, feinmotorischen Fertigkeiten und räumlicher Vorstellung im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu echtem Zahn.....	44

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: In Dimensionen unterteilter Fragebogen der Pilotierungsstudie .....	13
Tabelle 2: Studentische Selbsteinschätzung zu den Voraussetzungen des Kurses .....	26
Tabelle 3: Bewertungsergebnisse des jeweiligen Vergleichs von 3D-gedrucktem Zahn und Plexiglasblock zum extrahierten Zahn .....	27
Tabelle 4: Schwellenwerte der Items des semantischen Differentials, basierend auf den Antwortoptionen und Itemschwierigkeiten .....	28
Tabelle 5: Deskriptive Ergebnisse und Itemkennwerte der studentischen Bewertungen zu Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu extrahiertem Zahn .....	30
Tabelle 6: Deskriptive Ergebnisse und Itemkennwerte der studentischen Bewertungen zu Eigenschaften im Vergleich von Plexiglasblock zu extrahiertem Zahn .....	30
Tabelle 7: Deskriptive Ergebnisse der Dimension „subjektives Lernergebnis“ .....	31
Tabelle 8: Deskriptive Ergebnisse der Dimension „Übungsmöglichkeiten“ .....	31
Tabelle 9: Studentische Bewertung der didaktischen Qualität .....	32
Tabelle 10: Gruppierung der Studierenden in High, Medium und Low Performer anhand der Klausurergebnisse .....	33
Tabelle 11: Vergleich der Beantwortung der Items zwischen den Leistungsgruppen der Einteilung anhand der Klausurergebnisse .....	34
Tabelle 12: Gruppierung der Studierenden in High, Medium und Low Performer anhand der Ergebnisse der praktischen Testate .....	34
Tabelle 13: Vergleich der Beantwortung der Items zwischen den Leistungsgruppen der Einteilung anhand der Ergebnisse des maschinellen Testats .....	35
Tabelle 14: Vergleich der Beantwortung der Items zwischen den Leistungsgruppen der Einteilung anhand der Ergebnisse des manuellen Testats .....	35
Tabelle 15: Studentische Selbsteinschätzung zu den Voraussetzungen des Kurses .....	38
Tabelle 16: Bewertungsergebnisse des jeweiligen Vergleichs von 3D-gedrucktem Zahn und Plexiglasblock zum extrahierten Zahn .....	39
Tabelle 17: Deskriptive Ergebnisse der studentischen Bewertung zu Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu extrahiertem Zahn .....	39
Tabelle 18: Schwellenwerte der Items des semantischen Differentials, basierend auf den Antwortoptionen und Itemschwierigkeiten .....	40
Tabelle 19: Deskriptive Ergebnisse und Itemkennwerte der studentischen Bewertungen zu Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu extrahiertem Zahn .....	41
Tabelle 20: Deskriptive Ergebnisse und Itemkennwerte der studentischen Bewertungen zu Eigenschaften im Vergleich von Plexiglasblock zu extrahiertem Zahn .....	42
Tabelle 21: Deskriptive Ergebnisse und Itemkennwerte der studentischen Bewertungen zu Eigenschaften im Vergleich von 3D-gedrucktem Zahn zu Plexiglasblock .....	42
Tabelle 22: Deskriptive Ergebnisse der Dimension „subjektives Lernergebnis“ .....	43
Tabelle 23: Deskriptive Ergebnisse der Dimension „Übungsmöglichkeiten“ .....	43
Tabelle 24: Studentische Bewertung der didaktischen Qualität .....	44
Tabelle 25: Studentische Bewertung der didaktischen Qualität zwischen den Semestern .....	45
Tabelle 26: Gruppierung der Studierenden in High, Medium und Low Performer anhand der Klausurergebnisse .....	47
Tabelle 27: Vergleich der Beantwortung der Items zwischen den Leistungsgruppen der Einteilung anhand der Klausurergebnisse .....	47

Tabelle 28: Gruppierung der Studierenden in High, Medium und Low Performer anhand der Ergebnisse der praktischen Testate .....	48
Tabelle 29: Beantwortung der Items zwischen den Leistungsgruppen der Einteilung anhand der Ergebnisse des maschinellen Testats .....	49
Tabelle 30: Vergleich der Beantwortung der Items zwischen den Leistungsgruppen der Einteilung anhand der Ergebnisse des manuellen Testats .....	49

## **Danksagung**

Besonderer Dank gilt meiner Doktormutter Frau Prof. Dr. med. Sarah König. Bei ihr möchte ich mich für die hervorragende Betreuung dieser Arbeit bedanken, insbesondere für die allzeit konstruktive und fördernde Kommunikation und die vielen gemeinsamen Gespräche, durch welche der Abschluss dieser Arbeit erst möglich wurde.

Ebenso gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. med. dent. Gabriel Krastl sowie Herrn Priv.-Doz. Dr. med. dent. Norbert Hofmann, die dieses interdisziplinäre Dissertationsprojekt stets unterstützten und bei Rückfragen zur Verfügung standen.

Mein Dank gilt auch Herrn ZA Stefan Keß, der durch die Ent- und Weiterentwicklung des 3D-gedruckten Zahns das Forschungsvorhaben erst ermöglichte.

Für die statistische Beratung möchte ich mich im besonderen Maße bei Frau B.Sc. Joy Backhaus für die gemeinsamen Gespräche, ihre kreativen Anregungen und fachliche Kompetenz bedanken. Sie konnte mir allzeit weiterhelfen und stand mir unterstützend zur Seite.

Als Teil des Expertenteams und als Ansprechperson für die Fragebogenentwicklung gilt mein Dank Frau Dipl.-Psych. Sonia Sippel.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn Dr. med. dent. Sebastian Soliman für die Funktion und Aufgaben des Studienleiters bedanken. Genauso wie bei Herrn ZA Julian Volland und Herrn Dr. med. dent. Alexander Winkler für die freundliche Hilfe bei der Organisation und Durchführung der Testung.

Zuletzt gilt mein besonderer Dank meinem Partner, Herrn M.A. Michael Schneider, insbesondere für die Unterstützung und den Zuspruch während des gesamten Dissertationsvorhabens. Im Speziellen möchte ich mich bei ihm für das ausführliche Lektorat und viele wertvolle Hinweise bedanken.

## Lebenslauf