

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde  
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vergleichende Analyse zur visuellen Bewertung des Präparationswinkels von studentischen  
Präparationen und der Auswertung über prepCheck®

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der  
Zahnmedizin  
der Universitätsmedizin  
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Sina Meinhardt  
aus Darmstadt

Mainz, 2025

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. Hansjörg Schild

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion: 25. Februar 2025

Für Nala und Napolino

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
1 Einleitung.....	1
1.1 Die zahnärztliche Präparation im modernen Zeitalter.....	1
1.2 Ziel der Dissertation.....	3
2 Literaturdiskussion.....	4
2.1 Der Konvergenzwinkel als wichtiger Präparationsparameter.....	4
2.2 Die Anwendung des digitalen Workflows in der zahnmedizinischen vorklinischen Ausbildung.....	12
2.2.1 Die zahnmedizinische vorklinische Ausbildung.....	12
2.2.2 Die digitale Analyse mittels <i>Computer Aided Learning</i> Software.....	16
3 Material und Methoden.....	22
3.1 Materialien.....	22
3.2 Auswahl der studentischen Präparationen.....	22
3.3 Studienfragebogen der Prüferinnen.....	27
3.4 Die Analyse des Präparationswinkels mittels prepCheck®.....	28
3.4.1 Digitalisierung der Präparation mittels CEREC Omnicam.....	28
3.4.2 Die prepCheck®-Analyse des Präparationswinkels.....	32
3.5 Die statistische Auswertung.....	35
3.5.1 Vorbereitung.....	35
3.5.2 Statistische Auswertung mittels SPSS.....	35
4 Ergebnisse.....	36
4.1 prepCheck® TOC-Analyse.....	36
4.1.1 prepCheck® TOC Analyse Zahn 34.....	36
4.1.2 prepCheck® TOC Analyse Zahn 36.....	38
4.2 prepCheck® vs. Visuelle Bewertung.....	39
4.2.1 Zahn 34.....	39
4.2.2 Zahn 36.....	43

4.2.3	Gesamtanalyse Zähne 34 und 36 .....	45
4.3	Einfluss der Berufserfahrung bei der Bewertung .....	49
4.3.1	Die Genauigkeit der visuellen Einschätzung der Oberärztinnen.....	49
4.3.2	Die Genauigkeit der visuellen Einschätzung der Assistenz Zahnärztinnen .....	50
5	Diskussion .....	52
5.1	Studienkohorte, Material und Methode .....	52
5.2	Ergebnisse .....	53
5.2.1	Deskriptive Statistikauswertung .....	53
5.2.2	prepCheck® vs. Visuelle Bewertung.....	54
5.2.3	Berufserfahrung .....	57
5.3	Lehren und Lernen mit den jungen Generationen .....	57
5.4	Limitationen.....	63
5.5	Aussicht .....	64
6	Zusammenfassung .....	65
7	Literaturverzeichnis.....	67
8	Danksagung.....	72
9	Tabellarischer Lebenslauf.....	73

## **Abkürzungsverzeichnis**

Abb. – Abbildung

AR – augmented reality

Bsp. – Beispiel

bzw. – beziehungsweise

bzgl. – bezüglich

CAL – Computer Aided Learning

CAD – Computer Aided Design

CAM – Computer Aided Manufacturing

CEREC – Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics oder Ceramic REConstruction

Etc. – et cetera

H0 – Nullhypothese

H1– Alternativhypothese

IOS – Intraoralscan

JGU Mainz – Johannes Gutenberg-Universität Mainz

L-B – Lingual-Bukkal

M-D – Mesial-Distal

m-d – mesio-distal

mm – Millimeter

µm – Mikrometer

OSCE – Objective Simulated Clinical Examinations

PCR – prepCheck® Report

SD – Standard-Deviation/ Standardabweichung

SE – Standard-Error/ Standardfehler

TOC – Total occlusal convergence

VR – virtual reality

vs. – versus

v-o – vestibulo-oral

° – Grad

3D – dreidimensional

Z1– erster Abschnitt der Zahnärztlichen Prüfung

Z2– zweiter Abschnitt der Zahnärztlichen Prüfung

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Retentions- und Widerstandsform .....	5
Abbildung 2: Die beiden Präparationswinkel $\alpha$ = mesiale (orange) Zahnfläche und $\beta$ = distale (blau) Zahnfläche. Der Präparationswinkel entsteht zwischen einer axialen Zahnfläche und der Zahnachse (weiß).....	7
Abbildung 3: Der Konvergenzwinkel $\gamma$ oder TOC (grün) beschrieben als „Winkel zwischen zwei gegenüberliegenden Oberflächen des Kegelstumpfes“ (1).....	7
Abbildung 4: Der Konvergenzwinkel in oro-vestibulärer Richtung (auch TOC Lingual-Bukkal (L-B) genannt) an einem präparierten Zahn 34.....	8
Abbildung 5: Der Konvergenzwinkel in mesio-distale Richtung (auch TOC Mesial-Distal (M-D) genannt) an einem präparierten Zahn 34.....	8
Abbildung 6: Phantomkopf KaVo® mit eingeschraubten frasaco®-Modellen .....	13
Abbildung 7: Mindeststumpfhöhe und Präparationswinkel zum Erhalt einer sicheren Retentions- und Widerstandsform.....	15
Abbildung 8: Phantomkopf KaVo®.....	24
Abbildung 9: Beispielfoto eines vorbereiteten Arbeitsplatzes der Studierenden.....	24
Abbildung 10: Gravierte Prüfungszähne der Firma frasaco® .....	25
Abbildung 11: frasaco®-Modelle .....	25
Abbildung 12: Bukkalregistrar: Beispiel einer Studierendenpräparation .....	26
Abbildung 13: Bukkalansicht: Beispiel einer Studierendenpräparation.....	26
Abbildung 14: Lingualansicht: Beispiel einer Studierendenpräparation .....	26
Abbildung 15: Studienfragebogen.....	28
Abbildung 16: CEREC AC.....	29
Abbildung 17: CEREC Omnicam .....	30
Abbildung 18: Beispiel Aufnahmeoberfläche CEREC.....	30
Abbildung 19: Bukkalregistrar.....	31
Abbildung 20: Ansicht Zahn 36 von bukkal: Präparationsgrenze festlegen in CEREC.....	31
Abbildung 21: Ansicht Zahn 36 von lingual .....	31
Abbildung 22: Ansicht Zahn 36 von okklusal.....	31
Abbildung 23: Eingezeichnete Okklusallinie in prepCheck®.....	32
Abbildung 24: Ansicht Zahn 36 von vestibulär: Winkelanalyse prepCheck®.....	33
Abbildung 25: Ansicht Zahn 36 von lingual: Winkelanalyse prepCheck®.....	33
Abbildung 26: Der zweiseitige prepCheck®-Report.....	34
Abbildung 27: Zahn 34: prepCheck® Analyse TOC Lingual-Bukkal .....	37
Abbildung 28: Zahn 34: prepCheck® Analyse TOC Mesial-Distal .....	37
Abbildung 29: Zahn 36: prepCheck® Analyse TOC Lingual-Bukkal .....	38
Abbildung 30: Zahn 36: prepCheck® Analyse TOC Mesial-Distal .....	39

Abbildung 31: Geschlechterverteilung der Studierenden ..... 53

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendete Studienmaterialien.....	22
Tabelle 2: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC L-B (prepCheck®) und visueller Prüferinneneinschätzung TOC L-B des Zahnes 34.....	41
Tabelle 3: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten (E) des TOC L-Bs des Zahnes 34 (4 Zellen rund 44% haben eine erwartete Häufigkeit <5).....	41
Tabelle 4: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC M-D (prepCheck®) und visueller Prüferinneneinschätzung TOC M-D des Zahnes 34 .....	42
Tabelle 5: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten (E) des TOC M-Ds des Zahnes 34 (4 Zellen rund 44% haben eine erwartete Häufigkeit <5).....	42
Tabelle 6: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC L-B (prepCheck®) und visueller Prüferinneneinschätzung TOC L-B des Zahnes 36.....	44
Tabelle 7: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten (E) des TOC L-Bs des Zahnes 36 (3 Zellen rund 33% haben eine erwartete Häufigkeit <5).....	44
Tabelle 8: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC M-D (prepCheck®) und visueller Prüferinneneinschätzung TOC M-D des Zahnes 36 .....	45
Tabelle 9: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten (E) des TOC M-Ds des Zahnes 36 (4 Zellen rund 44% haben eine erwartete Häufigkeit <5).....	45
Tabelle 10: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC L-B (prepCheck®) und visueller Prüferinneneinschätzung TOC L-B der Zähne 34 und 36.....	46
Tabelle 11: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten (E) des TOC L-Bs.....	46
Tabelle 12: Kreuztabelle der Chi-Quadrat-Anteile ( $\chi^2$ ) des TOC L-Bs .....	47
Tabelle 13: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC M-D (prepCheck®) und visueller Prüferinneneinschätzung TOC M-D der Zähne 34 und 36.....	47
Tabelle 14: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten (E) des TOC M-Ds.....	48
Tabelle 15: Kreuztabelle der Chi-Quadrat-Anteile ( $\chi^2$ ) des TOC M-Ds .....	48
Tabelle 16: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC L-B (prepCheck®) und visueller Einschätzung der Oberärztinnen TOC L-B der Zähne 34 und 36 .....	49
Tabelle 17: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten (E) des TOC L-Bs (Oberärztinnen) (2 Zellen rund 22% haben eine erwartete Häufigkeit <5).....	50
Tabelle 18: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC M-D (prepCheck®) und visueller Einschätzung der Oberärztinnen TOC M-D der Zähne 34 und 36.....	50
Tabelle 19: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten (E) des TOC M-Ds (Oberärztinnen) (1 Zelle rund 11% haben eine erwartete Häufigkeit <5).....	50
Tabelle 20: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC L-B (prepCheck®) und visueller Einschätzung der Assistenzärztinnen TOC L-B der Zähne 34 und 36.....	51

Tabelle 21: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten (E) des TOC L-Bs (Assistenzärztinnen) (5 Zellen rund 55% haben eine erwartete Häufigkeit <5).....	51
Tabelle 22: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC M-D (prepCheck®) und visueller Einschätzung der Assistenzärztinnen TOC M-D der Zähne 34 und 36 .....	51
Tabelle 23: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten (E) des TOC M-Ds (Assistenzärztinnen) (5 Zellen rund 55% haben eine erwartete Häufigkeit <5).....	52
Tabelle 24: Ergebnisse TOC Mittelwerte.....	54

# 1 Einleitung

## 1.1 Die zahnärztliche Präparation im modernen Zeitalter

Zu den Kernkompetenzen im Berufsalltag einer jeden Zahnärztin<sup>1</sup> gehört die zahnärztliche Präparation. In der restaurativen Zahnmedizin, zum Beispiel bei der Herstellung von Kronen, Brücken und weiteren festsitzenden prothetischen Restaurationen, spielt die Zahnpräparation eine entscheidende Rolle. Auch für den langfristigen Erhalt der Funktion, der mechanischen Retention und der Stabilität der Restauration ist eine adäquate Präparation des Zahnes unerlässlich. Zu den signifikanten Parametern einer zahnärztlichen Präparation gehören unter anderem der Präparationswinkel beziehungsweise (bzw.) Konvergenzwinkel, der Randabschlusstyp, der okklusale und axiale Substanzabtrag sowie die Oberflächenbeschaffenheit des präparierten Stumpfes. Weitere wichtige Faktoren, die es bei der Präparation abzuwägen gilt, sind die Art und das Material der geplanten Restauration und die individuellen anatomischen Verhältnisse des Patienten. Zur optimalen mechanischen Retention einer Krone ist der Präparationswinkel von besonderer Bedeutung. Die Respektierung des optimalen Präparationswinkels während der Präparation gewährleistet unter anderem die feste Verankerung der geplanten Versorgung gegen abziehende und extraaxiale Kräfte. Das Erlernen des Präparierens unter Berücksichtigung des richtigen Präparationswinkels steht deshalb früh auf dem Lehrplan der Zahnmedizinierenden. Hierfür werden die theoretischen als auch die praktischen Grundlagen von Dozentinnen (approbierte Zahnärztinnen) vermittelt. In den letzten Jahren hat sich dabei die Integration des digitalen Workflows in die Ausbildung der Studierenden zunehmend etabliert. Moderne Technologien, wie die digitale Abformung mittels Scanner (zum Beispiel CEREC Omnicam, Dentsply Sirona®) und die computerunterstützte Analyse der zahnärztlichen Arbeit mittels *Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing* (CAD/CAM), bieten hierbei eine große Unterstützung am Patienten, aber auch in der Studierendenausbildung am Phantomkopf. Die Einführung der Digitalen Abformung in Verbindung mit einer für Studierende entwickelten *Computer Aided Learning* (CAL)- Software in den Ausbildungsstätten der Zahnmedizinierenden bietet unter anderem die Option zur Analyse der Präparation nach deren Digitalisierung. Dies geschieht zum Beispiel mit Hilfe des *Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics* (CEREC)- Systems in Verbindung mit der CAL-Software „prepCheck®“ (Dentsply Sirona®, Bensheim, Deutschland) und hat viele Vorteile mit sich gebracht. Die Softwareanwendung prepCheck® bietet eine große Auswahl an Analyseoptionen für die zahnärztliche Präparation, welche für eine detaillierte und präzise

<sup>1</sup>In der folgenden Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschließlich die weibliche Form verwendet. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ausschließliche Verwendung der weiblichen Form geschlechtsunabhängig verstanden werden soll

Bewertung von präparierten Zahnstümpfen genutzt werden können – unter anderem die Möglichkeit einer automatischen Berechnung des Präparationswinkels bzw. Konvergenzwinkels oder *Total Occlusal Convergence* Winkels (TOC).

Die Studierenden, die unter der Approbationsordnung Zahnmedizin in Deutschland von 1955 studieren, erlernen in den Semestern eins bis fünf in den Lehrveranstaltungen des Kursus der technischen Propädeutik mit Demonstrationen sowie der Phantomkurse der Zahnersatzkunde mit Demonstrationen I und II die theoretischen Kenntnisse zum Präparationsdesign und wenden diese praktisch bei der Ausbildung am Phantomkopf an. Den Studierenden der Johannes Gutenberg-Universität Mainz (JGU Mainz) stehen im vorklinischen Lehrinstitut dauerhaft CEREC Bluecams und zeitweise CEREC Omnicams zum Erlernen der digitalen Abformung zur Verfügung. Im Anschluss an den Scan können die Studierenden ihre Präparation von der prepCheck®-Software analysieren lassen und stellen diese Analyse und Interpretation der angezeigten Werte der Kursbetreuerinnen (approbierte Zahnärztinnen) vor. Im Anschluss an die drei praktischen Kurse der Poliklinik für Zahnärztlichen Prothetik und Werkstoffkunde, Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten Mainz findet regulär nach dem bestandenen fünften Semester die Zahnärztliche Vorprüfung (nach Studienordnung von 2010 und Approbationsordnung von 1955) statt (1, 2). Ein wichtiger Aufgabenbestandteil der Zahnärztlichen Vorprüfung im Fach Zahnersatzkunde an der JGU Mainz, welches von Mitarbeiterinnen der Zahnärztlichen Prothetik und Werkstoffkunde geprüft wird, ist das selbstständige Präparieren am Phantomkopf. Die Bewertungen der praktischen Arbeiten inklusive der Präparationen erfolgt durch die vom Landesprüfungsamt Rheinland-Pfalz bestellten Prüferinnen. Die Prüferinnen bewerten hierbei unter anderem die zahnärztliche Präparation. Diese Beurteilung bzw. Benotung erfolgt klassischerweise ausschließlich visuell. Auch wenn die Studierenden relativ früh einen Einblick in den digitalen Workflow in ihrer Ausbildung erhalten und in die Nutzung von Präparationsanalyse-Systemen eingeführt werden, erfolgt bis zum heutigen Tag die Bewertung der Präparationen in der Zahnärztlichen Vorprüfung an der Vorklinik der JGU Mainz konventionell rein visuell durch die Prüferinnen. Ein Aspekt, den es in diesem Zusammenhang zu prüfen gilt, wäre, ob auch die Lehrkräfte von der digitalen Weiterentwicklung in der Zahnmedizin profitieren könnten. Durch die Digitalisierung der studentischen Präparationen und die Auswertung der Analysesoftware könnte es (in Zukunft) möglich sein, eine standardisierte Bewertung in den praktischen Kursen durchzuführen, was die Vergleichbarkeit und Objektivität der Beurteilung erhöhen würde. Zudem könnte die digitale Archivierung der studentischen Präparationen die Möglichkeit geben, Vergleichsstudien durchzuführen bzw. könnte der Studierenden ihr individueller Fortschritt visualisiert werden durch den Vergleich ihrer ersten Präparation mit den Präparationen aus höheren Semestern.

## 1.2 Ziel der Dissertation

Ziel dieser Arbeit ist die Evaluation der subjektiven visuellen Bewertung des Präparationswinkels von studentischen Präparationen der Kandidatinnen der Zahnärztlichen Vorprüfung und der Auswertung über die Analysesoftware „prepCheck®“. Die Bewertung der Präparation der Prüferinnen und eines Prüfers erfolgte rein visuell. Im Anschluss an die Bewertung wurden im Nachgang die Präparationen digitalisiert und mittels prepCheck® analysiert. Die Nullhypothese (H0) dieser Arbeit lautete: „Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den tatsächlichen *Total Occlusal Convergence* (TOC)-Werten, die durch das prepCheck®-System ermittelt wurden, und den visuellen Bewertungen der Prüferinnen“. Ziel ist die Überprüfung, ob die visuelle Beurteilung des Präparationswinkels verschiedener Prüferinnen mit den berechneten Präparationswinkeln der prepCheck®-Software übereinstimmen. Weiterhin soll der unterschiedliche Erfahrungsstand, im Sinne der Berufserfahrung der Prüferinnen, untereinander analysiert werden (Oberärztin versus (vs.) Assistenzärztin). Es stellt sich übergreifend die Frage, ob die rein visuelle Bewertung der Prüferinnen auch in der heutigen Zeit zur Bewertung des Präparationswinkels ausreichend ist oder durch digitale Tools unterstützt werden sollte.

## 2 Literaturdiskussion

### 2.1 Der Konvergenzwinkel als wichtiger Präparationsparameter

Die zahnärztliche Präparation ist ein wesentlicher Aspekt der restaurativen Zahnmedizin. Sie bildet das Fundament für ein langfristig zufriedenstellendes und erfolgreiches Ergebnis festsitzender prothetischer Restaurationen wie beispielsweise Kronen und Brücken. Somit ist eine adäquate Präparation ausschlaggebend für die langfristige Funktionalität der Restauration. Die Berücksichtigung der Retentions- und Widerstandsform des präparierten Zahnstumpfes gehören hierbei zu den zentralen Kriterien einer erfolgsversprechenden Präparation (3-5). Diese beiden Parameter, die Retentions- und die Widerstandsform, sind bei der Sicherung der Restauration gegen Abzug sowie gegen extraaxiale Kräfte von großer Wichtigkeit.

Die Retentionsform verhindert, dass eine indirekte Restauration entlang ihrer Einschubrichtung durch vertikale Abzugskräfte „abkippt“ und gelöst wird, während die Widerstandsform extraaxialen Belastungen der Restauration entgegenwirkt. Zu den Faktoren, die eine effektive Retentionsform beeinflussen, zählen die Stumpfhöhe, die Oberflächenbeschaffenheit des präparierten Stumpfes und der Konvergenzwinkel.

Die Einhaltung einer ausreichenden Präparationshöhe gilt als ausschlaggebend für die Retention der Krone. In Studien konnte gezeigt werden, dass eine Mindeststumpfhöhe von 3-4 Millimetern (mm) erforderlich ist, um eine ausreichende Retention sicherzustellen (4, 5). Es konnte nachgewiesen werden, dass diese Mindesthöhe von Studierenden und Generalisten der Zahnmedizin normalerweise eingehalten wird (6, 7). So zeigte beispielsweise Sato *et al.*, dass bei 63 Kronenpräparationen, durchgeführt von Zahnmedizinierenden der Tokyo Medical and Dental University, Japan, eine durchschnittliche Stumpfhöhe von 4,8mm bis 6,9mm erreicht wurde (6).

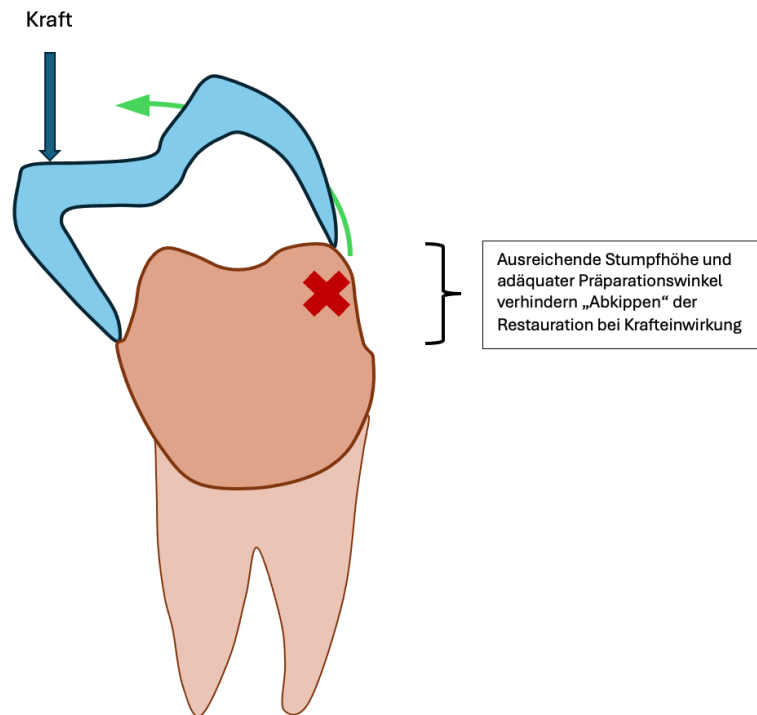


Abbildung 1: Die Retentions- und Widerstandsform

Um die Oberfläche für den Haftverbund und somit die Retention der Restauration zu vergrößern, können rauere Präparationswände von Vorteil sein (3, 8), wobei das in vielen Universitäten anerkannte Lehrbuch „Curriculum Prothetik“ empfiehlt, Rautiefen in der Präparation von  $>15$  Mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) zu vermeiden (5). Rauere Präparationsoberflächen sollten mittels Feinkorndiamanten geglättet werden (5). Um die Widerstandsform zu erhöhen, können sekundäre, retentiv wirkende Elemente wie Kästen, Rillen oder Stufen in die Präparation einbezogen werden (4, 5). Diese ergänzenden optionalen Elemente erhöhen die Widerstandsfähigkeit der Krone gegen horizontale Kräfte, was unter anderem durch eine experimentelle Studie der Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran bestätigt werden konnte (9).

Der in der Literatur als wichtigster Parameter zum Erreichen einer optimalen Retentions- und Widerstandsform beschriebene Faktor ist der Präparations- bzw. Konvergenzwinkel (5, 10). Es gilt eine möglichst parallele oder leicht konvergierend verlaufende Form der Präparation anzustreben (11, 12). Parallele oder leicht konische Zahnstumpfwände bieten den besten Widerstand gegenüber auftretenden Kräften an der Restauration. Anderenfalls würde ein übermäßig konvergierendes Präparationsdesign der axialen Wände die Widerstandsfähigkeit der prothetischen Restauration maßgeblich beeinträchtigen und kann zum Abkippen oder Lösen der konventionell zementierten Restauration führen (13, 14). Auch die Retention wird

durch einen optimalen Präparationswinkel maximiert. Zu große Konvergenzwinkel reduzieren die Retentionskraft erheblich (3, 15, 16), während zu kleine oder sogar divergierende Winkel, die Unterschnitte erzeugen, das Einsetzen der Restauration erschweren und ebenfalls nicht zu einer verbesserten Retention bei konventioneller Zementierung führen (17). Jorgensen *et al.* hat dabei erstmals in seiner Studie „*The Relationship Between Retention And Convergence Angle In Cemented Veneer Crowns*“ 1955 die enge Korrelation zwischen dem Konvergenzwinkel der Präparation und dem Retentionswert der konventionell zementierten Restauration experimentell durch Zugversuche bestätigen können. Je größer der Konvergenzwinkel, desto schlechter die Retention (3).

In der deutschsprachigen Literatur gibt es Unstimmigkeiten in der Definition und Verwendung der Begriffe Präparations-, Konus- und Konvergenzwinkel, was die Autorin J. Erhatic und der Autor F. Blankenstein in ihrem Review „*Der Stumpfpräparationswinkel für konventionelle Zementierung – Definition und Realisierbarkeit*“ zusammenfassten (18). Die Begrifflichkeiten werden in dieser Arbeit wie folgt definiert und gleichen damit der international üblichen Beschreibung. Der Konvergenzwinkel oder *Total Occlusal Convergence* (TOC) wurde 1955 von Jorgensen *et al.* beschrieben als „*Winkel zwischen zwei gegenüberliegenden Oberflächen des Kegelstumpfes*“ (3). Weitere ähnliche Beschreibungen sind in der Literatur zu finden. Zusammengefasst beschreibt der TOC den Kegelwinkel, welcher zwischen zwei gegenüberliegenden axialen Wänden einer Zahnpräparation, entsteht (4, 15, 18-20). Der Präparations- oder Konuswinkel beschreibt im Gegensatz dazu den Winkel, der zwischen der Längsachse des Zahnes und einer axialen Zahnfläche entsteht und entspricht somit dem halben Konvergenzwinkel (3, 15, 18).

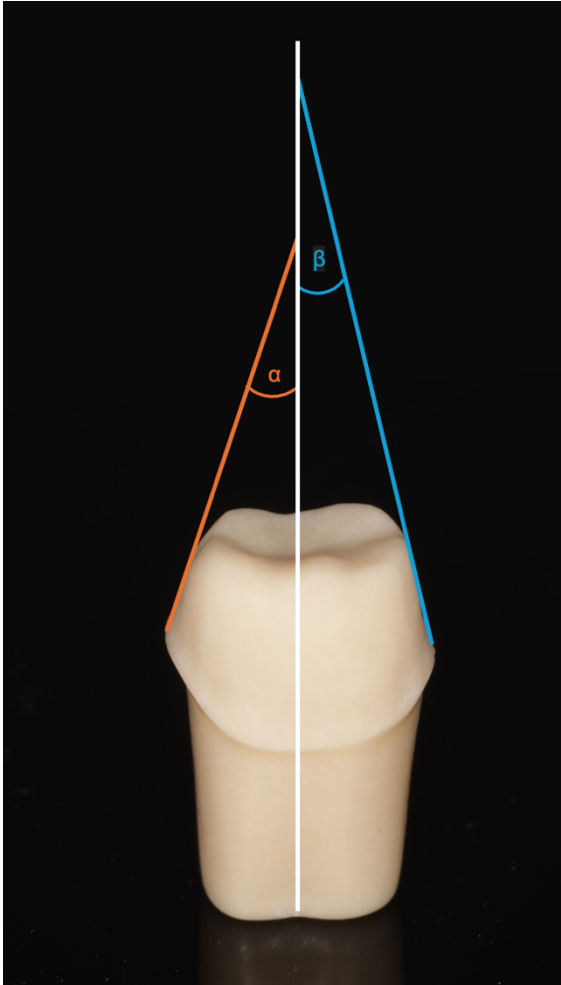


Abbildung 2: Die beiden Präparationswinkel  $\alpha$  = mesiale (orange) Zahnfläche und  $\beta$  = distale (blau) Zahnfläche. Der Präparationswinkel entsteht zwischen einer axialen Zahnfläche und der Zahnachse (weiß)

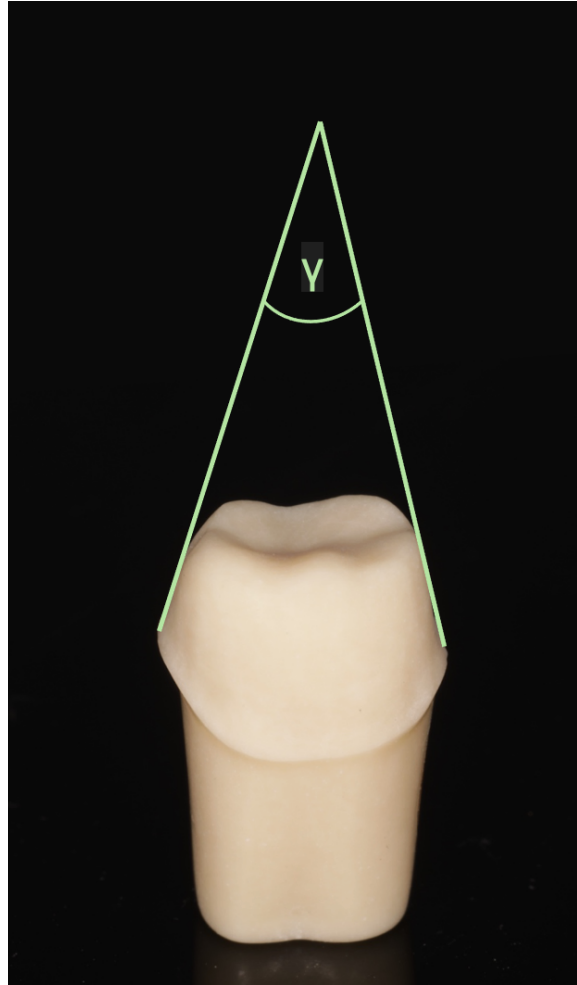


Abbildung 3: Der Konvergenzwinkel  $\gamma$  oder TOC (grün) beschrieben als „Winkel zwischen zwei gegenüberliegenden Oberflächen des Kegelstumpfes“ (1)

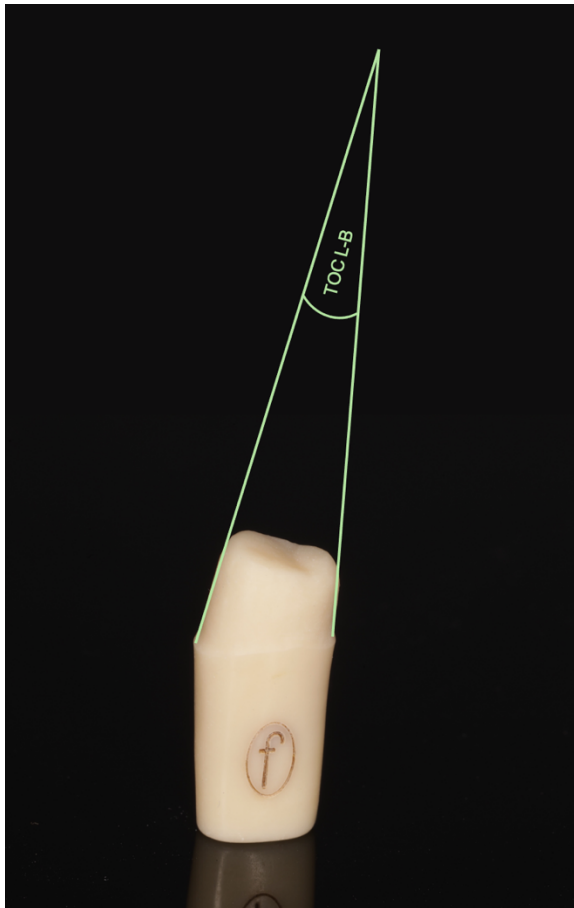


Abbildung 4: Der Konvergenzwinkel in oro-vestibulärer Richtung (auch TOC Lingual-Bukkal (L-B) genannt) an einem präparierten Zahn 34

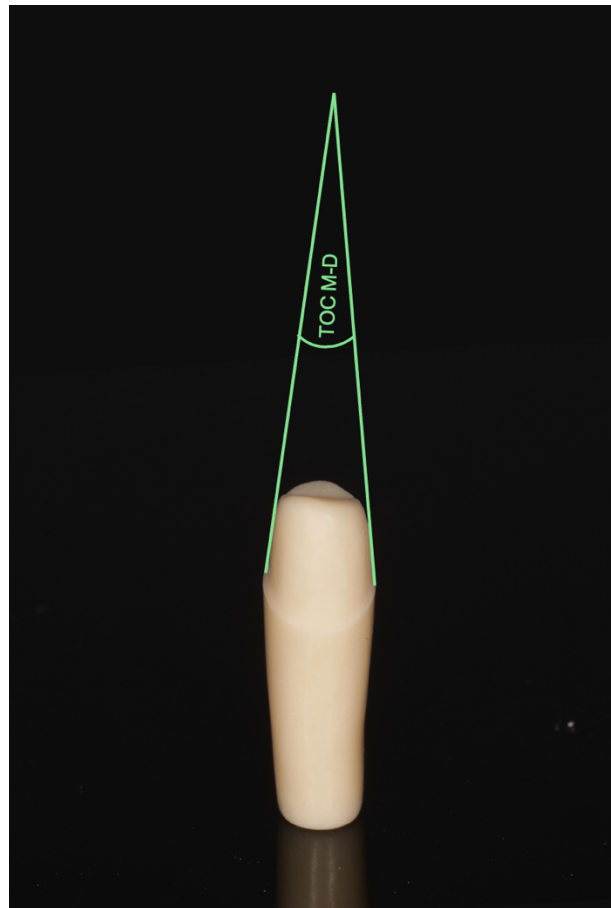


Abbildung 5: Der Konvergenzwinkel in mesio-distale Richtung (auch TOC Mesial-Distal (M-D) genannt) an einem präparierten Zahn 34

Die wissenschaftliche Literatur gibt nicht nur zu den Definitionen der Begrifflichkeiten unterschiedliche Angaben an, sondern zusätzlich auch unterschiedliche teils widersprüchliche Angaben zum optimalen Konvergenzwinkeln, wie verschiedene Reviews zeigen (10, 18, 21).

Vor dem Jahr 2000 wird der optimale Präparationswinkel mehrfach zwischen 2-5 Grad (°) postuliert, was einem Konvergenzwinkel von 4-10 Grad entspricht (8, 12, 14, 15, 17, 22-26). Bereits 1978 zeigten Ohm und Silness in einer klinischen Studie die Unterschiede zwischen Theorie und klinischem Alltag auf (27). Es wurden die Präparationen von Studierenden im letzten klinischen Jahr in der Studie evaluiert. Insgesamt wurden 93 vitale Zähne und 97 endodontisch behandelte Zähne für Kronen präpariert. Der Konvergenzwinkel der Präparationen wurde sowohl in vestibulär-orale (v-o) bzw. auch lingual-bukcale Richtung genannt als auch in mesio-distale (m-d) Richtung mikroskopisch gemessen. Bei den vitalen Zähnen wurden Konvergenzwinkel von ca. 19-23 Grad gemessen, während die avitalen Zähne nach Präparation Konvergenzwinkel von 12-22 Grad aufwiesen. Diese klinische Studie zeigte als eine der ersten, die deutlich höheren Winkel in der praktischen Umsetzung im Vergleich zu den Angaben der wissenschaftlichen Literatur.

Es wurde diskutiert, dass sich die höheren Konvergenzwinkel auf den geringen Erfahrungsstand der Studierenden zurückführen lassen. Dennoch zeigte sich in weiteren Studien, dass auch approbierte Zahnärztinnen die in der Literatur angegebenen Werte überschritten. So zeigte Norlander *et al.* in seiner Studie „*The taper of clinical preparations for fixed prosthodontics*“, dass sowohl Generalisten als auch spezialisierte zahnmedizinische Prothetikerinnen durchschnittlich in einem Konvergenzwinkel von 19,6 bzw. 20,1 Grad präparierten und somit ebenfalls die angestrebten 4-10 Grad deutlich überschritten (15). In den Ausbildungseinrichtungen als auch im klinischen Alltag zeigte sich früh, dass die theoretischen Winkelangaben kaum umgesetzt wurden. In den erwähnten Studien wurde jedoch nicht untersucht, ob die eingegliederten Restaurationen im Vergleich zu Versorgungen mit einer optimalen TOC-Präparation eine geringere Überlebensrate aufwiesen.

Weiterhin lassen sich signifikante Unterschiede der TOC-Winkel bei der Präparation von Oberkiefer- und Unterkieferzähnen feststellen; besonders, was die unterschiedlich erreichten TOC-Werte von Frontzahnpräparationen, Prämolaren und Molaren angeht. Dies wurde unter anderem in der klinischen Studie von Nordlander *et. al* von 1988 deutlich: Der durchschnittliche Konvergenzwinkel (gemessen in v-o Richtung und m-d Richtung) bei der Präparation von Unterkieferzähnen war generell größer (Frontzahn: v-o: 23,1°, m-d: 17,8°; Prämolare: v-o: 17,7°, m-d: 17,0°; Molar: v-o: 26,6°, m-d: 28°) im Vergleich zu den TOC-Werten von präparierten Oberkieferzähnen (Frontzahn: v-o: 19,0°, m-d: 14,3°; Prämolare: v-o: 14,6°, m-d: 16,6°; Molar: v-o: 23,4°, m-d: 22,4°). Weiterhin stellte sich heraus, dass Prämolaren kleinere TOC-Winkel aufwiesen als Frontzähne. Molaren-Präparationen zeigten die größten TOC-Werte (15). Zudem konnte nachgewiesen werden, dass die TOCs in vestibulo-oraler Richtung signifikant größer waren als die Konvergenzwinkel in mesio-distaler Richtung. Diese Ergebnisse, welche sowohl die Lokalisation der Zähne (TOC Prämolare < TOC Frontzahn < TOC Molar) als auch die Konvergenzwinkel gemessen im Vergleich TOC v-o größer TOC m-d betreffen, konnten auch in späteren Studien und Reviews bestätigt werden (10, 24, 28, 29). Die Erkenntnis, dass die in der Literatur beschriebenen Präparationswinkel in der Realität sowohl im universitären Umfeld als auch in den Zahnarztpraxen deutlich überschritten wurden, bestätigt sich in zahlreichen weiteren Studien vor den 2000-Jahren (6, 20, 30). In diesen Studien finden sich durchschnittlich erhöhte Konvergenzwinkel von bis zu 21° (6, 20, 30). Es wird interessanterweise bereits damals deutlich, dass in den Ausbildungsstätten signifikant niedrigere TOCs von den Studierenden erreicht wurden als von approbierten Zahnärztinnen in den Praxen (21, 30). Weiterhin zeigte sich, dass in Prüfungssituationen die erreichten TOCs der Studierenden noch einmal niedriger waren als in den Kursen (20).

Auch nach der Jahrhundertwende gab es diverse Studien, die die in den Lehrbüchern beschriebenen optimalen Präparationswinkel in Frage stellten bzw. deren Umsetzung im

zahnmedizinischen Alltag testeten. Auch hier zeigte sich, dass die theoretischen Werte nicht in der Praxis umgesetzt und deutlich überschritten wurden (7, 24, 28, 29, 31-34). Es fällt auf, dass die gemessenen Winkel nach der Jahrhundertwende im Durchschnitt tendenziell noch größer wurden. So zeigen sich in den betrachteten Studien zwischen 2001 und 2014 durchschnittliche TOCs von 10-26 Grad (7, 28, 29, 32-34). Zieht man das Review von Tiu *et al.* aus 2015 hinzu, ergaben sich über einen Zeitraum von 35 Jahren und 23 inkludierten Studien 7295 gemessene Konvergenzwinkel, die zwischen 7-37 Grad lagen (10).

2004 wurde von Ayad *et al.* eine interuniversitäre Studie zu den theoretisch gelehrt und praktisch umgesetzten Konvergenzwinkeln von Studierenden dreier Universitäten durchgeführt. Es wurden 499 Kronenpräparationen evaluiert. In der Theorie wurde ein Konvergenzwinkel von 4-12° empfohlen. Es wurden die TOC (lingual-bukkal und mesio-distal) von Studierenden der University of Tanta, Egypt, der King Abdulaziz University, Saudi Arabia und der Ohio State University, Columbus, Ohio gemessen. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen, wobei die kleinsten TOC-Angaben mit  $14,1^{\circ} \pm 3,8^{\circ}$  bei den saudi-arabischen Studierenden gemessen wurde. Die größten TOC-Werte erreichten die ägyptischen Studierenden mit TOCs, welche bei  $19,8^{\circ} \pm 10,0^{\circ}$  lagen. Zusammenfassend lagen 47% der Studierenden aus Saudi-Arabien, 35% der Studierenden aus Amerika und 23% der Studierenden aus Ägypten im empfohlenen Bereich von 4-12° (32). Aleisa *et al.* dokumentierte 2013 ebenfalls, dass die Studierendenpräparationen über den Lehrbuchempfehlungen bei durchschnittlich 18,56 Grad lagen. Es wurden sowohl Einzelzahnpräparationen als auch Brückenpräparationen in die Studie inkludiert. Nur rund 33% der Studierenden erreichte Konvergenzwinkel kleiner 12 Grad, wohingegen 40% der Studienteilnehmerinnen Konvergenzwinkel von größer 40 Grad präparierten (29). Rafeek *et al.* konnte die Überschreitung der in der Literatur angegebenen Winkelwerte in den Ausbildungsbetrieben sowohl am Phantom als auch am Patienten ebenfalls bestätigen, zeigte aber auch, dass die erreichten Winkel den Präparationen anderer Universitäten (United States of America, United Kingdom, Europa, Japan) ähnelten (35, 36).

Nicht nur Präparationen für Einzelzahnrestorationen wurden in der Literatur bezüglich (bzgl.) des Konvergenzwinkels untersucht; es lassen sich zusätzlich unterschiedliche Ergebnisse beim Vergleich der erreichten Konvergenzwinkel für Einzelzahnkronen gegenüber Brückenpfeilern nachweisen. Bei Aleisa *et al.* zeigte sich ein signifikanter Unterschied in den Werten von Brückenpfeilern (im Durchschnitt  $19,58^{\circ}$ ) im Vergleich zu Einzelzahnpräparationen (im Durchschnitt  $17,7^{\circ}$ ) (29).

Einige Studien untersuchten ihre Ergebnisse ebenfalls auf geschlechterspezifische Unterschiede der Studienteilnehmer und -teilnehmerinnen, diese spielten bei den erreichten Konvergenzwinkeln keine Rolle (33, 34, 37).

Das Einhalten der Retentionsform und somit der entsprechenden Konvergenzwinkel ist vor allem bei konventioneller Zementierung der Restauration von großer Bedeutung. Durch den heutzutage häufigen Einsatz von adhäsiven Verbundsystemen könnte somit die Annahme entstehen, dass die Konvergenzwinkel beim Präparationsdesign eine untergeordnete Rolle spielen. Es konnte jedoch nachgewiesen werden, dass das Frakturrisiko von Kronen ebenfalls abhängig vom Konvergenzwinkel sein kann. Dies zeigte eine Studie aus 2021 von Schriwer *et al* (38). Hierbei wurden CAD/CAM-gefertigte Modellstümpfe mit unterschiedlichen Konvergenzwinkeln (10°, 15°, 30°) mit Zirkonoxid-Kronen (3. Generation) versorgt und im Anschluss okklusaler Belastung ausgesetzt. Es zeigte sich unabhängig vom Zementspalt und obwohl die Wandstärken des Zirkonoxid bei erhöhten Konvergenzwinkel entsprechend höher waren, dass die Kronen der 30° angulierten Modellstümpfe bei geringerer Belastung frakturierten als die anderen Stümpfe (38). Dies zeigt die Wichtigkeit des Konvergenzwinkels auch in Zeiten der adhäsiven Verbundsysteme. Strain *et al.* dokumentierte in seinem Review zwar, dass bei Einsatz von Adhäsiven bei der definitiven Befestigung von prothetischen Restaurationen durch die verbesserte Haftfestigkeit („bond strength“) der Konvergenzwinkel für die Retention der Krone weniger wichtig ist als bei Verwendung konventioneller Zemente (21), jedoch wies Strain *et al.* auch darauf hin, dass höhere Konvergenzwinkel mit einem größeren Substanzabtrag korrelieren und zur Devitalisierung des Zahnes führen können, weshalb die Respektierung des optimalen Präparationswinkels auch heute noch wichtig ist bei der Ausbildung der Studierenden und im Praxisalltag (21). Da der Präparationswinkel zwangsläufig mit dem Substanzabtrag korreliert, gilt es darauf zu achten, nicht zu konisch und möglichst substanzschonend unter ausreichender Wasserkühlung zu präparieren (5, 39, 40). Das Risiko des Vitalitätsverlusts nach einer Präparation ist in der Literatur bekannt (41), gerade konservierend vorbehandelte Zähne hatten ein höheres Risiko der Pulpennekrose nach deren Präparation bzw. Überkronung, wie beispielsweise Kontakiotis *et al.* aufzeigte (42).

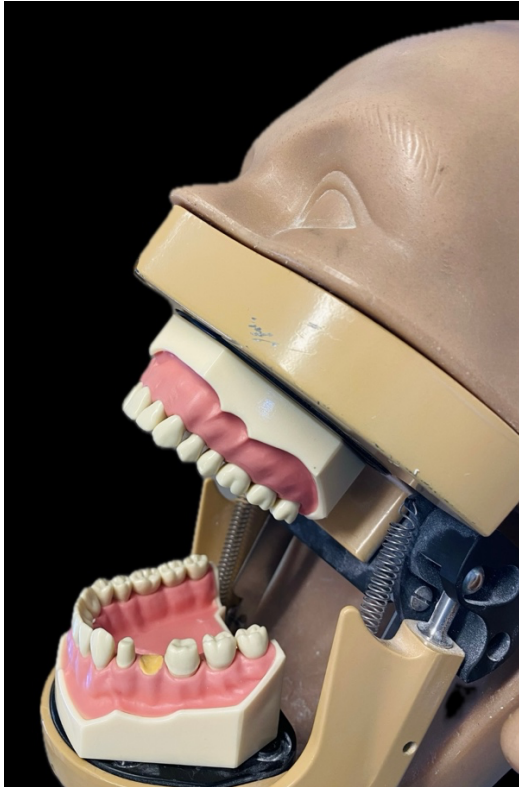
Eine Anpassung der optimalen Konvergenzwinkel in den deutschsprachigen gängigen Lehrbüchern fand bis heute jedoch nicht statt, auch wenn entsprechende Studien neue höhere Richtwerte zu den Konvergenzwinkeln bereits vor der Jahrhundertwende aufzeigten (22, 43). Die an der JGU Mainz als Lehrmeinung geltende Literatur gibt im „Curriculum Prothetik, Band II“ und „Zahnärztliche Propädeutik – Einführung in die Zahnheilkunde“ „ideale“ bzw. „anzustrebende Konvergenzwinkel der Vertikalfächen zur Zahnachse“ mit 3° bzw. 3-6° an (5, 40), wobei dies dem in dieser Arbeit definierten Präparationswinkel nicht Konvergenzwinkel entspricht. Das bedeutet, dass der optimale Konvergenzwinkel (zweier gegenüberliegender Seiten) mit 6° bzw. 6-12° angegeben werden würde. Zumindest die Empfehlungen der studienbasierten Publikationen wurden auf höhere klinisch akzeptable Konvergenzwinkel von 10-20 Grad nach oben korrigiert (4, 10, 21, 37).

In den betrachteten Studien wurden die Konvergenzwinkel mit unterschiedlichen Methoden ermittelt. Es gab keine einheitliche Vorgehensweise, die Messung der TOC-Werte unterliegt keiner Standardisierung (10, 21). Die Messung erfolgte sowohl manuell als auch digital. Zu den manuellen Methoden zur Messung der Konvergenzwinkel zählten die Projektion der Zahnstumpf-Silhouette mit anschließender Messung der TOC-Winkel nach Nachzeichnen der vergrößerten Darstellung der originalen Zahnkontur (6, 15). Alternativ wurden in mehreren Versuchsaufbauten die Winkel nach Fotografie der präparierten Zähne über das Foto manuell gemessen, teilweise auch mit Hilfe eines Mikroskops (20, 24, 28, 32). Diese Methoden werden als fehleranfällig angesehen (10). Die Digitalisierung in der Zahnmedizin gibt die Möglichkeit Präparationen zu scannen und digital auszuwerten. Einige Studien nutzten in ihrem Versuchsaufbau die Digitalisierung der präparierten Zähne sowie die 3D-Bildgebung, um im Anschluss die Konvergenzwinkel über den Gebrauch von digitalen Messmodulen zu ermitteln (7, 33, 34, 37). Seo *et al.* zeigte im Vergleich der Methoden, dass die über CAD-Software ermittelten Werte die höchste Reliabilität aufwiesen und sahen darin eine hilfreiche und zuverlässige Methode bei der Ermittlung und Evaluation der Konvergenzwinkel (44).

## **2.2 Die Anwendung des digitalen Workflows in der zahnmedizinischen vorklinischen Ausbildung**

### **2.2.1 Die zahnmedizinische vorklinische Ausbildung**

Die praktische Schulung von Zahnmedizinstudierenden in der Vorklinik ist ein maßgeblicher Bestandteil ihrer Ausbildung, da sie das Fundament für die klinischen Fertigkeiten legt, die in den klinischen Kursen und im späteren Berufsalltag benötigt werden. Ein grundlegender Bestandteil dieser praxisbezogenen Lehre ist die Arbeit am Modellpatienten, dem Phantomkopf, an welchem zahnmedizinische Übungen vorgenommen werden können. Die Schulung am Phantomkopf beginnt nach der „alten“ Approbationsordnung von 1955 bereits im ersten Semester und beinhaltet bis zur Zahnmedizinischen Vorprüfung drei praktische Kurse in der vorklinischen studentischen Ausbildung (Kursus der technischen Propädeutik mit Demonstrationen, Phantomkurs der Zahnersatzkunde mit Demonstrationen I und Phantomkurs der Zahnersatzkunde mit Demonstrationen II) à 20 Semesterwochenstunden (Studienordnung für den Studiengang Zahnmedizin an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz vom 7. September 2010, „Anlage: Studienplan für den ersten und zweiten Studienabschnitt der Zahnärztlichen Ausbildung“) (1, 2).



*Abbildung 6: Phantomkopf KaVo® mit eingeschraubten frasaco®-Modellen*

Kursbegleitend wird den Studierenden das notwendige theoretische Wissen vermittelt, das Voraussetzung für das Erlernen der praktischen Fertigkeiten ist, welche dann in den Phantomkursen gefördert und gefordert werden. Dazu gehören Lehrinhalte der Zahnärztlichen Prothetik und Werkstoffkunde, wie die verschiedenen Arten des Zahnersatzes, zum Beispiel Kronen und Brücken sowie deren Planung und Herstellung. Im Zuge dessen erlernen die Studierenden das Präparieren von Zähnen. Zu den vermittelten wichtigen Grundlagen der zahnärztlichen Präparation zählen der Schutz der Pulpa durch eine angemessene, zirkulär harmonische Präparationstiefe und -form, die Vermeidung unnötig hohen Substanzabtrags und damit einhergehend die Vermeidung der Schädigung der Zahnpulpa, die adäquate Einhaltung der Retentions- und Widerstandsform, die okklusale Einebnung entlang des ursprünglichen Höckerreliefs, das Beachten von gleichmäßigen und abgerundeten Zahnwänden zur Vermeidung von Spannungsspitzen, die klar definierten sauberen Präparationsränder, sowie der materialspezifische Substanzabtrag (5, 40). Weiterhin gilt es die ästhetischen Anforderungen, insbesondere im Frontzahnbereich zu berücksichtigen. Die Ausbildung umfasst idealerweise eine Kombination aus theoretischen Wissensgrundlagen, praktischen Demonstrationen durch die Kursbetreuerinnen (approbierte Zahnärztinnen), die Bereitstellung medialen Zusatzmaterials wie Foto- oder Videoanleitungen und den praktischen Übungen am Phantomkopf. Die theoretische Lehre zur Präparationstechnik beinhaltet unter anderem Vorlesungsinhalte zur Indikationsstellung von Zahnersatz, erläutert die verschiedenen Präparationstypen und nennt die biologischen als auch mechanischen

Anforderungen an eine zahnärztliche Präparation. Zudem werden die benötigten Instrumente und die unterschiedlichen Materialien des Zahnersatzes besprochen. Die theoretischen Kenntnisse werden durch praktische Lehreinheiten und Demonstrationen in Kleingruppen ergänzt. Die richtige Vorgehensweise bei der Präparation wird den Studierenden von approbierten Zahnärztinnen in Kleingruppen schrittweise am realistischen Zahnmodell im Phantomkopf gezeigt. Die interaktive Umsetzung dieser Demonstrationen ermöglicht es den Studierenden direkt Fragen zu stellen. Der Dialog zwischen Studierenden und Lehrkräften ist von großem Nutzen, um ein genaueres Verständnis für den richtigen Umgang mit den Instrumenten zu erlangen. Außerdem sind die Live-Demonstrationen wichtig für die Aneignung der geforderten manuellen Geschicklichkeit, das heißt das Erlernen präziser Handbewegungen und die für eine zahnärztliche Präparation nötige Fingerfertigkeit und der Schulung des richtigen Blickwinkels. Weiterhin spielt heutzutage multimediales Zusatzmaterial wie Kurzvideos eine immer wichtigere Rolle bei der Ausbildung, was Zitzmann *et al.* 2020 in ihrer Publikation „*Digital Undergraduate Education in Dentistry: A Systematic Review*“ zusammenfasst (45). So bestätigte Wu *et al.* eine deutliche Verbesserung nach Durchführung der prepCheck®-Analyse bei Veneerpräparationen der Studienteilnehmerinnen nach Videotraining (46). Gerade seit der COVID-Pandemie lassen sich online zur Verfügung gestellte Zusatzmaterialien und online Vorlesungen nicht mehr aus dem Ausbildungsalltag wegdenken (47, 48). Die visuelle Anleitung zur Präparation steht als Video online dauerhaft zur Verfügung und kann somit von den Studierenden jederzeit eingesehen werden, was gerade von der heutigen Generation vorausgesetzt wird (45).

Für die Einhaltung einer optimalen Retentions- und Widerstandsform des präparierten Zahnes gelten an der JGU Mainz die Vorgaben einer Stumpfhöhe von mind. 3-4mm, sowie ein idealer Präparationswinkel von 3-6 Grad, was einem Konvergenzwinkel von 6-12 Grad entspricht. Mit dieser Lehrmeinung folgt die JGU Mainz den Empfehlungen der Lehrbücher „Zahnärztliche Propädeutik – Einführung in die Zahnheilkunde“ sowie „Curriculum Prothetik“ (5, 40).

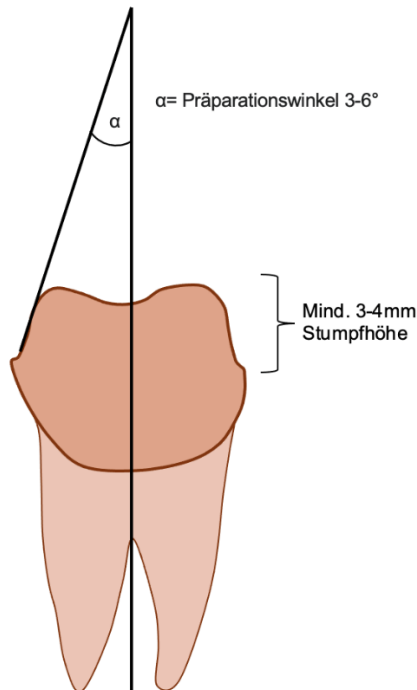


Abbildung 7: Mindeststumpfhöhe und Präparationswinkel zum Erhalt einer sicheren Retentions- und Widerstandsform

Das Arbeiten am Phantomkopf im vorklinischen Zahnlabor bietet die Möglichkeit in einem geschützten Rahmen zahnmedizinische Fertigkeiten zu entwickeln und zu perfektionieren, bevor die Studierenden ihr Können am Patienten beweisen müssen.

Die Beurteilung der durchgeführten Übungen durch approbierte Zahnärztinnen erscheint bei der Evaluation der Qualität der angefertigten prothetischen Arbeiten obligat. Zur Dokumentation des Lernprozesses und -fortschrittes der Studierenden ist die Bewertung von großer Relevanz. Konstruktives Feedback durch die visuelle Beurteilung der praktischen Arbeiten im vorklinischen Alltag soll den Studierenden dabei behilflich sein, ihre technischen Kompetenzen kontinuierlich weiterzuentwickeln. Die mündliche Rückmeldung mit Vorschlägen zu Verbesserungsmöglichkeiten, Markierungen an der Präparation im Zahnmodell oder Anmerkungen und Hilfestellung direkt am Phantomkopf sollen die Studierende dabei unterstützen, sich und ihre Arbeit kontinuierlich zu hinterfragen und ihr Können stetig zu verbessern.

Es konnte jedoch an anderen Universitäten nachgewiesen werden, dass das Feedback des Lehrpersonals häufig nicht konstant ist (49, 50). Unter anderem bemängelten Studierende eine fehlende Objektivität bei der rein konventionell visuellen Beurteilung der angefertigten Arbeiten, wie beispielsweise einer Präparation, und hinterfragten oftmals die Bewertung der Lehrkräfte. Hamil *et al.* bestätigte dies in einer Studie, bei der 95% der befragten Studierenden über eine wechselnde und variable Bewertung zwischen den Prüferinnen berichteten (51).

Zusätzlich problematisch dabei ist, dass Studierende sich oftmals besser selbst einschätzten als die Bewerterinnen (52) oder es keine oder nur wenig Übereinstimmung zwischen Lehrpersonalmeinung und Studierendenmeinung gab, wie beispielsweise von Mays *et al.* nachgewiesen werden konnte (53). Diese Diskrepanzen können zu Konflikten führen, welche aus Sicht der Studierenden mit der Subjektivität der Prüferinnen begründet werden und sie das Feedback in Frage stellen. Die mitunter großen Abweichungen zwischen der Selbstwahrnehmung/ -bewertung der Studierenden und der Beurteilung des Lehrpersonals wurde durch diverse Studien bestätigt. Nick *et al.* lies zu dieser Problematik 2009 Studierende als auch Lehrende Stumpfmodelle unterschiedlicher Konvergenzwinkel visuell bewerten und einordnen nach dem idealen, dem minimal und dem maximal akzeptierten Konvergenzwinkeln, ohne explizite Vorgabe nach dem optimalen Winkel. Ziel war es, die Genauigkeit der visuellen Beurteilung der TOCs der Studienteilnehmerinnen zu ermitteln, sowie die Winkel zu identifizieren, die am häufigsten als ideal, minimal und maximal akzeptabel ausgewählt wurden. Es wurden Modelle mit Konvergenzwinkeln zwischen -3 bis 30 Grad hergestellt. Es zeigte sich, gegensätzlich zu den vorherig genannten Studien, kein signifikanter Unterschied der Bewertungen von den Studierenden im Vergleich zum Lehrpersonal. Bei den meisten Modellen wurde der TOC visuell richtig eingeschätzt, wobei unterschätzte Winkelangaben die häufigste Fehlerquelle waren. Schätzungen von größeren TOCs waren von beiden Gruppen ungenauer als die Schätzungen kleinerer Konvergenzwinkel (54).

Abgesehen von der Wertung der Kursbetreuerinnen spielt das selbstständige Arbeiten und die Selbstevaluation heutzutage eine immer größere Rolle im Bildungs- und Arbeitsalltag (52, 53). Selbstevaluation bedeutet in diesem Zusammenhang die kritische Auseinandersetzung mit der eigenen Arbeit, bevor die Rückmeldung und Meinung des Lehrpersonals eingeholt wird. Dadurch soll eine differenzierte Selbstreflexion gefördert und das selbstständige Arbeiten und die Entscheidungsfähigkeit der Studierenden weiterentwickelt werden. Darüber hinaus bieten moderne Technologien in Zeiten von *Computer Aided Design*, *Computer Aided Manufacturing* (CAD/CAM) und *Computer Aided Learning* (CAL) neue Möglichkeiten, die Qualität der Arbeiten aber auch die Selbstreflexion der Studierenden zu fördern.

### 2.2.2 Die digitale Analyse mittels *Computer Aided Learning* Software

PrepCheck® ist eine CAL-Software der Firma Dentsply Sirona®, die in Zusammenarbeit mit der Goethe-Universität Frankfurt am Main 2014 entwickelt wurde und speziell für den Ausbildungsbetrieb und die Bewertung von Zahnpräparationen eingeführt wurde. Die Software verwendet zuvor generierte Daten von intraoralen Scannern wie der CEREC Omnicam und ist an das CEREC-System gebunden. Die prepCheck®- „App“ kann über das CEREC Acquisition

Center (AC), der mobilen Aufnahmeeinheit des CEREC Systems, gestartet werden. Für die Präparationsanalyse wird die Präparation bzw. die Modelle zuvor durch Scannen mittels Intraoralscanner digital erfasst. 2014 lag die Messgenauigkeit der Scanner schon bei  $19\mu\text{m}$  (55). Das Aufnahmeprinzip der CEREC Omnicam ist die Triangulation. Das Prinzip dieses Messverfahrens beruht auf dem geometrischen Zusammenhang von mehreren festen Punkten und Winkeln, um die Entfernung zu dem zu erfassenden Objekt zu ermitteln. Dabei wird von der LED-Lichtquelle des Scanners (mit bekannter Position) ein Streifenlichtmuster ausgesendet und auf das Objekt projiziert, um dann von der Oberfläche des Objekts wieder reflektiert zu werden. Die reflektierten Lichtpunkte werden auf den Kamerasensor des Scanners zurückgeworfen. Die Lichtquelle und der Sensor sind in einem gewissen bekannten Winkel fest zueinander positioniert. Durch die gemessenen Winkel der Reflexion und den bekannten Positionen der Lichtquelle und des Sensors lässt sich die Position des Punktes auf dem Objekt im Raum errechnen. Durch die kontinuierliche Videoaufnahme des Scanners und die stetige Messung und mathematische Ermittlung von reflektierten Punkten im Raum berechnet sich eine Punktwolke, die sich in ein dreidimensionales Koordinatensystem übertragen lassen. Durch die Zusammensetzung der Punktwolke wird von der Software ein vollständiges dreidimensionales (3D) Bild der gescannten Oberfläche erzeugt. Aus den gescannten Daten wird ein digitales 3D-Modell erstellt. Zusätzlich zur Präparation werden hierbei die mitgescannten umliegenden anatomischen Strukturen visualisiert. Anschließend werden die Daten in die prepCheck®-Software exportiert. In der Software werden verschiedene Parameter der Präparation über geometrische Analysealgorithmen ermittelt. Dabei ist die Vorgehensweise in den vorklinischen Kursen der JGU Mainz folgendermaßen: Die Studierende legt in der CEREC-Software einen fiktiven erfundenen Patienten an und wählt im Anschluss den Zahn sowie die Art der Restauration (Bsp.: Krone) und das geplante Material. Im weiteren Schritt folgt der Scan der Modelle mittels CEREC Bluecam/Omnicam. Mindestens die Präparation, die Nachbarzähne und deren Antagonisten müssen dabei komplett und ohne Datenlöcher im Scan erfasst werden. Die digitale Aufnahme der Kieferrelation (Bukkalregistrat) erfolgt durch Scannen der zusammengehaltenen Modelle in Okklusion. Nach dem Scanvorgang wird ein digitales Modell errechnet, wobei die virtuellen Modellachsen (Okklusionsebene, Mittellinie, et cetera (etc.)) überprüft bzw. manuell eingestellt werden müssen; der Präparationsrand wird von den Studierenden digital eingezeichnet und die Einschubrichtung über die Zahnachse festgelegt. Danach wird der fiktive Patientenfall in die prepCheck®-Software exportiert. Nach manuellem Festlegen der Okklusallinie in der Software, findet die Analyse statt. Folgende Parameter können über die prepCheck®-Software ermittelt und interaktiv von den Anwenderinnen ausgewählt werden: Das Erkennen und die Darstellung von Unterschnitten/Hinterschnitten, das Anzeigen der gemittelten TOC-Winkel (gemessen numerisch in Grad) oder aber die exakten Präparationswinkel einer markierten

gewünschten Stelle, die Festlegung des Randabschlusstyp unter Beachtung der minimal erforderlichen Materialstärken der geplanten Restauration, der Substanzabtrag (axiale Reduktion) bzw. der Abstand zum Gegenkiefer (okklusale Reduktion), die Messung der Präparationstiefen in verschiedenen Bereichen sowie die Beurteilung der Oberfläche auf Homogenität und Glättung (Oberflächenbeschaffenheit) insbesondere auch am Präparationsrand. Die zuvor über den sogenannten prepCheck®-Wizard konfigurierten Toleranzbereiche bzw. Standardwerte der verschiedenen Parameter werden in der Auswertung farbkodiert visualisiert, die Präparation wird im Ganzen vergrößert dargestellt. Zusammengefasst ermöglicht dies alles, Bereiche hervorzuheben, die nicht den festgelegten Standards entsprechen und an denen eventuell nachgearbeitet werden muss. Dabei entsprechen grün markierte Bereiche Stellen, die noch nicht innerhalb der vorgegebenen Idealwerte inklusive Toleranzbereich liegen, wobei diese durch Korrekturen der Präparation theoretisch noch erreicht werden könnten. Blau markierte Areale weisen darauf hin, dass „das Ergebnis im vorgegebenen Wertbereich liegt“, wohingegen rot markierte Präparationsgebiete anzeigen, dass diese Stellen nicht innerhalb der vorgegeben Wertbereiche liegen, aber auch keine Verbesserungen mehr zum Ausgleich vorgenommen werden können (56). Es wurde also schon zu viel Material durch den Schleifprozess entfernt.

Zum Erlernen der Bedienung der Scanner und Rechner sowie zum Kennenlernen der CEREC-Software wurde hierfür das CEREC-Curriculum deutschlandweit erstmalig im Jahr 2000 an der Universitätsmedizin Mainz realisiert (57). Im Zuge dessen bietet die JGU Mainz als Weiterentwicklung seit 2017 die Möglichkeit der zusätzlichen Verwendung von prepCheck® als digitales Hilfsmittel zur Kontrolle und Analyse von Präparationen den vorklinischen Studierenden an, um den Lernprozess und die Selbstevaluation weiter zu unterstützen. Im vorklinischen Zahnlabor stehen den Studierenden dauerhaft CEREC Bluecams und zeitbegrenzt Leihgeräte (CEREC Omnicams) zur Verfügung. Die Studierenden können ihre Präparationen mit Hilfe der CAL-Software analysieren lassen, bevor sie sich das Feedback der Dozentinnen einholen. Die Studierenden stellen im Anschluss an die Analyse diese den Dozentinnen vor und interpretieren die Werte auf gegebenenfalls (ggf.) notwendige Korrekturen oder, falls nötig, die Neuanfertigung der Präparation. Auch andere deutsche Universitäten, wie beispielsweise die Justus-Liebig-Universität Gießen, nutzen seit vielen Jahren digitale Analysetools für studentischen Präparationen im vorklinischen Studienabschnitt, wobei Schlenz *et al.* berichtete, dass die meisten deutschen Universitäten ihren Bewertungsschwerpunkt noch immer auf die konventionellen visuellen Beurteilungsmethoden legen (58). Laut der Broschüre „*Shaping the future CAD/CAM in university training*“ von Dentsply Sirona® arbeiteten 2019 28 von 30 deutschen Universitäten mit dem CEREC-System (57). Die Analyse wird interaktiv mit den Kursbetreuerinnen interpretiert und es werden, wenn nötig,

Tipps zur Korrektur gegeben. Falls die Korrekturen größeren Umfangs sein sollten bzw. der Zahn neu präpariert werden muss, wird die korrigierte Version bzw. Neuanfertigung nochmals eingescannt und analysiert. Die Option zahnmedizinische Arbeiten wiederholt zu üben und analysieren zu lassen, fördert eine stetige Wissenserweiterung und ein kompetenzbasiertes Lernkonzept. Die Daten werden an der JGU Mainz für weitere Forschungszwecke unter Beachtung des Datenschutzes digital archiviert. Sowohl das Ausbildungsniveau als auch die Effizienz der Lehre können durch die aggregierten Daten verbessert werden. PrepCheck® bietet zusätzlich eine Zusammenfassung der Präparationsanalyse in einem detaillierten PDF-Bericht, der die Analyseparameter nochmals für den individuellen Fall zusammenfasst, wodurch die Studierende ihre Präparation selbstständig überprüfen, evaluieren und verbessern kann. Weiterhin ist es möglich, der Studierenden eine optimale „Masterpräparation“ zu zeigen, sowie die Abweichungen der eigenen studentischen Arbeit von dieser Masterpräparation (59-61). Der Umgang mit der prepCheck®-Software wird von Sirona® als „leicht zu erlernendes System“ beschrieben (56). Die Anwenderfreundlichkeit des Systems wurde durch einige Studien bestätigt (62, 63), wie zum Beispiel eine Umfrage von Park *et al.* dokumentierte, bei der vor allem die Analysetools zur Ermittlung von Hinterschnitten sowie die Messung der TOC-Winkel von den Studierenden als „sehr hilfreich“ angesehen wurde (63). Schon 2014, im Jahr der Markteinführung von prepCheck®, sah Lenherr *et al.* großes Potenzial in der Software (62).

Die digitale Erfassung der Präparation bietet dementsprechend durch die Erstellung und Analyse des virtuellen Modells in Echtzeit ein sofortiges präzises und detailliertes Feedback, was in diversen Studien als sehr positiv bewertet wurde (64). Hierdurch soll die Lernkurve beschleunigt werden, da durch den Intraoralscan (IOS) eine zeitnahe Korrektur einzelner Präparationsaspekte nach vorheriger Analyse durch die Software und selbstständiger Interpretation der angezeigten Werte schnell und effizient durch die Studierende vorgenommen werden kann. Auf klassische Abformungen und die Fertigstellung eines konventionellen Gipsmodells oder das Feedback des Lehrpersonals muss so nicht mehr gewartet werden. Der Vergleich verschiedener Software-Anwendungen zeigt in der Anwendung eine hohe Korrelation bei der Auswertung untereinander und untermauert deren präzise Analyse (44, 65). CAL-Software können als Validierungsinstrument der Qualität der Präparation zur Hilfe genommen werden. Diese Programme bieten nicht nur detaillierte Analysen der Präparation, sondern ebenfalls reproduzierbares objektives Feedback, das den Studierenden helfen kann, die Präparationstechnik zu verbessern. Die objektive Bewertung durch die Software wird als ein Hauptvorteil genannt, da die automatisierte Analyse eine standardisierte Beurteilung bietet, unabhängig von menschlicher Befangenheit oder subjektiver Meinung (59, 62, 64, 66, 67). Alle Studierenden werden von der Software nach den gleichen Anforderungsgrundlagen bewertet. Dadurch wird die Vergleichbarkeit und Fairness

im praktischen Kursalltag, aber auch in Prüfungssituationen erhöht, dies wurde von Welk *et al.* bereits 2006 postuliert (66). Auch die Kalibrierung des Lehrpersonals untereinander kann durch Anwenden von CAL-Software verbessert werden (68), unter der Voraussetzung, dass auch das Lehrpersonal fortlaufende Schulungen erhält, worauf auch Dipl.-Ing. Roland Felber (ehemaliger Key Account manager Dentsply Sirona®) in seinem „train the trainer“-Konzept (der Broschüre „*Shaping the future CAD/CAM in university training*“, Dentsply Sirona® entnommen) hinweist (57).

Ein Hauptziel von CAL-Software, wie die prepCheck®-Anwendung, ist es, die Selbstevaluation der Studierenden zu fördern. Durch eine regelmäßige Anwendung und Selbstbewertung mit Hilfe der Software, verbessert sie die Lernkurve, da die Studierenden ihre Fortschritte auch langfristig nachverfolgen können und somit gezielt an Bereichen arbeiten können, die Verbesserungsbedarf aufweisen (61). Die Software hilft den Studierenden diese Bereiche zu erkennen und motiviert die Anwenderin ihre manuellen Kompetenzen aufzuwerten (61, 66, 69). In der bereits vorher zitierten Studie von Hamil *et al.* empfanden 90% der Studierenden die CAL-Software (in diesem Fall E4D Compare®, E4D Technologies, Richardson, Texas, USA) beim Fehlerverständnis hilfreich (51). Das selbstständige durch die Software unterstützte Erkennen von Fehlern und die Fähigkeit diese eigenständig zu korrigieren, kann zu allgemein präziseren und qualitativ besseren zahnmedizinischen Arbeiten führen. Diese Fähigkeiten helfen den Studierenden außerdem sich gezielter auf die tatsächlichen Anforderungen und Standards in der klinischen Praxis vorzubereiten und selbstständig die richtigen Entscheidungen zu treffen. Die Meinung des Lehrpersonals kann durch die Verwendung von CAL bestärkt werden, sodass sich Diskussionen bei Fehleinschätzungen seitens der Studierenden vermeiden lassen (52, 60). Kunkel *et al.* zeigte, dass die visuelle Bewertung der Dozentinnen zum Teil sogar besser ausfällt als die prepCheck®-Analyse und somit auch die tatsächlich ermittelten Konvergenzwinkel (64). Kunkel *et al.* sieht darin die Problematik, dass Studierende sich in ihrer überschätzten Selbstevaluation noch bestätigt fühlen, da die Präparation rein objektiv betrachtet schlechter zu bewerten wäre (64).

Ein weiterer Vorteil dem Lehrpersonal gegenüber ist es, dass Dozentinnen die Routinebewertung von Präparationen bei Etablierung der Softwareanwendung in den praktischen Kursen der CAL-Software überlassen und sich ggf. anderen relevanten Aspekten in der Lehre und der Kursbetreuung zuwenden können (56). Dies steigert die Gesamteffizienz der Ausbildungsstätte; die Dozentinnen werden entlastet und das menschliche Lehrpotential kann anderweitig effektiver genutzt werden.

Zusammengefasst zeigt sich also, dass die Anwendung von CAL-Software viele Vorteile bieten kann. Die Etablierung solcher Softwareprogramme in den Ausbildungseinrichtungen

soll zur Verbesserung der Präparationen im universitären Umfeld führen und somit die Ausbildung am Phantomkopf, aber auch am Patienten, auf den modernsten Stand der Technik bringen. Diverse Studien belegen allerdings auch, dass die alleinige Anwendung ohne Feedback des Lehrpersonals von den Studierenden abgelehnt wurde (61, 69), bzw. durch die alleinige Anwendung von CAL ohne Rückmeldung der Dozentinnen auch keine Verbesserung der Selbstevaluation der Studierenden auftrat (70).

Eine Anwendung der prepCheck®-Software als Bewertungstool in der Zahnärztlichen Vorprüfung, bei der die Studierenden ebenfalls präparieren müssen, ist an der JGU Mainz bisher nicht gebräuchlich gewesen. Es gilt herauszufinden, ob die konventionell visuellen Bewertungen präzise und ausreichend genug an der JGU Mainz sind oder ob die Bewertungen signifikant von den tatsächlichen prepCheck®-Werten abweichen, was ein Umdenken in den Bewertungsmethoden zu bedeuten hätte.

### 3 Material und Methoden

Nach erfolgreicher Teilnahme und Erbringung aller Leistungsnachweise des vorklinischen Studienabschnitts steht nach Abschluss des fünften Semesters nach Studienordnung von 2010 regulär die Zahnärztliche Vorprüfung an, welche Voraussetzung für die Zulassung zum zweiten Studienabschnitt der Zahnärztlichen Ausbildung (klinischer Bereich) ist (1). Bis dato stand die Präparation von Ober- und Unterkiefer Seitenzähnen (Prämolaren, Molaren) sowie Oberkiefer-Frontzähnen auf dem Lehrplan. Folglich haben alle Studierenden bis zum fünften Semester das Präparieren dieser Zähne mehrfach und über mehrere Kurse und Semester über geübt und gelernt.

#### 3.1 Materialien

Die untenstehende Tabelle zeigt die in dieser Studie verwendeten Materialien.

*Tabelle 1: Verwendete Studienmaterialien*

Prüfungszähne graviert (34 und 36)	frasaco®
Zahnmodelle Oberkiefer und Unterkiefer	AG3-Modelle frasaco®
Omnacam	Dentsply Sirona®
CEREC-Software Version 5.1.3	Dentsply Sirona®
prepCheck®-Software Version 5.0.1	Dentsply Sirona®
Analoger Fragebogen	

#### 3.2 Auswahl der studentischen Präparationen

Es wurden die Präparationen der Zähne 34 und 36 der Zahnärztlichen Vorprüfung von insgesamt 114 Studierenden analysiert, was einer Gesamtanzahl von 228 präparierten Zähnen ergibt. In die Studie mit eingeschlossen wurden alle Prüfungs-Präparationen der zur Prüfung angetretenen Teilnehmerinnen der Zahnärztlichen Vorprüfung (nach „Studienordnung für den Studiengang Zahnmedizin an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz“ von 2010 sowie „Approbationsordnung für Zahnärzte von 1955 - Fassung der vierten Verordnung zur Änderung der Prüfungsordnung für Zahnärzte“ von 1992 (1, 2)) der Durchgänge Zahnärztliche Vorprüfung Frühjahr 2021 (Teilnehmerinnen  $n=42$ ), Zahnärztliche Vorprüfung Herbst 2021 (Teilnehmerinnen  $n= 37$ ) und Zahnärztliche Vorprüfung Frühjahr 2022 (Teilnehmerinnen  $n=35$ ).

Die Teilnehmerinnen wurden, nach Vorlegen aller erforderlichen Nachweise, durch das Landesprüfungsamt in Gruppen eingeteilt, die Gruppen wurden wiederum an ebenfalls durch das Landesprüfungsamt bestellte Prüferinnen zugewiesen. Die Bewertungen der Durchgänge

Frühjahr 2021, Herbst 2021 und Frühjahr 2022 im Fach „Zahnersatzkunde“ wurden von insgesamt vier approbierten Zahnärztinnen und einem Zahnarzt, alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde der Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten Mainz, vorgenommen, darunter drei Oberärztinnen, eine Assistenz Zahnärztin und ein Assistenz Zahnarzt.

In allen drei Durchgängen hatten die Studierenden als Teil der mindestens vier Phantomarbeiten (§28 Approbationsordnung (2)) die Aufgabe, die Zähne 34 und 36 für eine Brückenrestauration (Vollgussrestauration) zum Ersatz von Zahn 35 zu präparieren. Die Präparation durch die Studierenden fand unter Prüfungsvoraussetzungen mit eingeschraubten AG3-Modellen der Firma frasaco® (frasaco® GmbH, Tettwang, Deutschland) im Phantomkopf (Firma KaVo®, Biberach an der Riß, Deutschland) statt. Zu Beginn der Prüfungswoche wurde der Zahn 35 von den Studierenden aus dem Modell entnommen, die entsprechende „Alveole“ mit Wachs oder Silikon verschlossen und die Prüfungszähne 34 und 36 (frasaco®, graviert) eingeschraubt. Nach Fertigstellung der Präparationen wurden am Ende des Prüfungszeitraums die Präparationen der Kandidatinnen von der jeweiligen durch das Landesprüfungsamt Rheinlandpfalz zugewiesenen Prüferinnen bewertet. Die Bewertung der Präparationen fand konventionell rein visuell jeweils durch die der Gruppe zugeteilten Prüferin statt. Zusätzlich hatten die Prüferinnen in den drei beschriebenen Prüfungsdurchgängen der Zahnärztlichen Vorprüfung einen Studienfragebogen auszufüllen. Die Gesamtbewertung der Leistungen der Studierenden während der sieben-tägigen Prüfung (nach Approbationsordnung §28 (2)) fand unabhängig von der Studie statt. Die Präparationen aller Teilnehmerinnen wurden im Anschluss an die Studie zur Qualitätssicherung personenbezogen archiviert, wie es die Regelung an der JGU Mainz vorgibt. Die Studierenden wurden angehalten mit denen in der Vorklinik Mainz gebräuchlichen Instrumentariensets und nach dem gelehrt und gelernten Vorgehen zu arbeiten.



Abbildung 8: Phantomkopf KaVo®



Abbildung 9: Beispielfoto eines vorbereiteten Arbeitsplatzes der Studierenden



Abbildung 10: Gravierte Prüfungszähne der Firma frasaco®



Abbildung 11: frasaco®-Modelle



*Abbildung 12: Bukkalregistrar: Beispiel einer Studierendenpräparation*



*Abbildung 13: Bukkalansicht: Beispiel einer Studierendenpräparation*



*Abbildung 14: Lingualansicht: Beispiel einer Studierendenpräparation*

### 3.3 Studienfragebogen der Prüferinnen

Den Prüferinnen wurde zu Beginn der Durchgänge ein Fragebogen ausgeteilt. In diesem Fragebogen wurde die Prüferinnen-Einschätzung des Präparationswinkels der Zähne 34 und 36 getrennt voneinander abgefragt. Die Konvergenzwinkel der Zähne 34 und 36 der Teilnehmerinnen der drei Durchgänge wurden hierbei getrennt voneinander beurteilt. Der Konvergenzwinkel wurde in zwei Richtungen beurteilt: In oro-vestibulärer Richtung (das entspricht der üblichen Beschreibung „Lingual-Bukkal“) sowie in mesio-distaler Richtung. Die Prüferinnen wurden gebeten zutreffendes pro Zahn (FDI: 34 und 36) je Betrachtungsrichtung anzukreuzen: „Die Präparation ist zu parallel oder weist Unterschnitte auf (Konvergenzwinkel  $<6^\circ$ )“ oder „Die Präparation liegt im Rahmen“ d.h. der Präparationswinkel ist optimal und liegt zwischen  $3-6^\circ$ , was einem Konvergenzwinkel von  $6-12^\circ$  entspricht oder „Die Präparation ist zu konisch“ ( $TOC > 12^\circ$ ) oder „Nicht einschätzbar“. Zusätzlich wurde die Meinung der Prüferinnen zur Gesamteinschätzung der Brückenpräparation 34-36 mittels folgender Ankreuzoptionen abgefragt: „Die Brücke wäre vermutlich so eingliederbar“, „keine gemeinsame Einschubrichtung“, „zu viel/zu wenig Substanzabtrag“. Abschließend wurde nach der Gesamtnote zur Brückenpräparation 34-36 gefragt, welche in Zahlenwerten angegeben werden konnte. Jede Prüferin hat die Bewertung der Präparation inklusive Fragebogen selbstständig und ohne Beisein weiterer Personen vorgenommen. Die Bewertung der Präparationen erfolgte bei allen Prüferinnen rein visuell, einmalig und im Rahmen des Bewertungsverfahrens als Teilnote der Gesamtprüfung der Zahnärztlichen Vorprüfung. Das Bewertungsverfahren lief folglich unabhängig von der Studie. Die Beantwortung des Fragebogens wurde mit circa 5-10 Minuten geschätzt.

**Vergleichende Analyse zur subjektiven Notenbewertung der Prüfer\*innen von studentischen Präparationen der Kandidaten/Kandidatinnen der Zahnärztlichen Vorprüfung Frühjahr 2022 und der prepCheck-Analyse**

Name des Prüfers: \_\_\_\_\_ Datum:

Name Studierende/r: \_\_\_\_\_ Gruppe: \_\_\_\_\_

**Bitte geben Sie eine subjektive Einschätzung durch entsprechendes Ankreuzen zur Präparation des/r Studierenden ab.**

**Einschätzung Zahnpräparation 34:**

	Oro-vestibuläre Betrachtung:	Mesio-Distale Betrachtung:
Die Präparation ist zu parallel oder weist Unterschnitte auf (Präparationswinkel < 3° entspricht Konvergenzwinkel <6°)		
Die Präparation liegt im Rahmen (Präparationswinkel 3°-6° entspricht Konvergenzwinkel 6°-12°)		
Die Präparation ist zu konisch (Präparationswinkel >6° entspricht Konvergenzwinkel >12°)		
Nicht einschätzbar.		

**Einschätzung Zahnpräparation 36:**

	Oro-vestibuläre Betrachtung:	Mesio-Distale Betrachtung:
Die Präparation ist zu parallel oder weist Unterschnitte auf (Präparationswinkel < 3° entspricht Konvergenzwinkel <6°)		
Die Präparation liegt im Rahmen (Präparationswinkel 3°-6° entspricht Konvergenzwinkel 6°-12°)		
Die Präparation ist zu konisch (Präparationswinkel >6° entspricht Konvergenzwinkel >12°)		
Die Präparation ist zu parallel oder weist Unterschnitte auf (Präparationswinkel < 3° entspricht Konvergenzwinkel <6°)		

**Gesamteinschätzung der Brückenpräparation 34-36:**

- Die Brücke wäre vermutlich so eingliederbar.
- Keine gemeinsame Einschubrichtung
- Zu viel/ zu wenig Substanzabtrag

**Gesamtnote der Brückenpräparation:**

1=sehr gut    2=gut    3=befriedigend    4=mangelhaft    5=nicht genügend    6=schlecht

Abbildung 15: Studienfragebogen

### 3.4 Die Analyse des Präparationswinkels mittels prepCheck®

#### 3.4.1 Digitalisierung der Präparation mittels CEREC Omnicam

Bevor die Präparationen der prepCheck®-Analyse unterzogen werden konnten, wurden sie digitalisiert. Dafür wurden alle Zähne mittels CEREC Omnicam als Teil der CEREC AC (Scanner, PC und Bildschirm in einer Einheit) einzeln eingescannt nach vorherigem Anlegen eines neuen Patienten mittels einer anonymisierten Nummer zwischen 1 und 114 und Anlegen eines neuen Falls: I) Einzelzahnkrone Zahn 34 und II) Einzelzahnkrone Zahn 36. Die beiden Brückenpfeiler wurden nicht gemeinsam beurteilt, da der mittlere Präparationswinkel und der TOC nur über die Einzelzahnrestauration von prepCheck® ermittelt werden kann.

Es wurden jeweils der Zahn 34 und der Zahn 36 nach der Präparation und nach abgeschlossener Notenvergabe eingescannt. So wurde sichergestellt, dass die Präparationsbewertung, wie in den Jahren zuvor, rein aufgrund der visuellen Einschätzung vorgenommen wurde und die Studie keinen Einfluss auf die Bewertung der Studierenden hatte.

Zahn 34 und Zahn 36 wurden als Einzelzahnrestaurationsfälle in der CEREC-Software 5.1.3 angelegt. Es wurden mindestens die Präparation, die Nachbarzähne und die Antagonisten mittels Omnicam digital erfasst und ein digitales 3D-Modell durch die CEREC-Software erstellt.

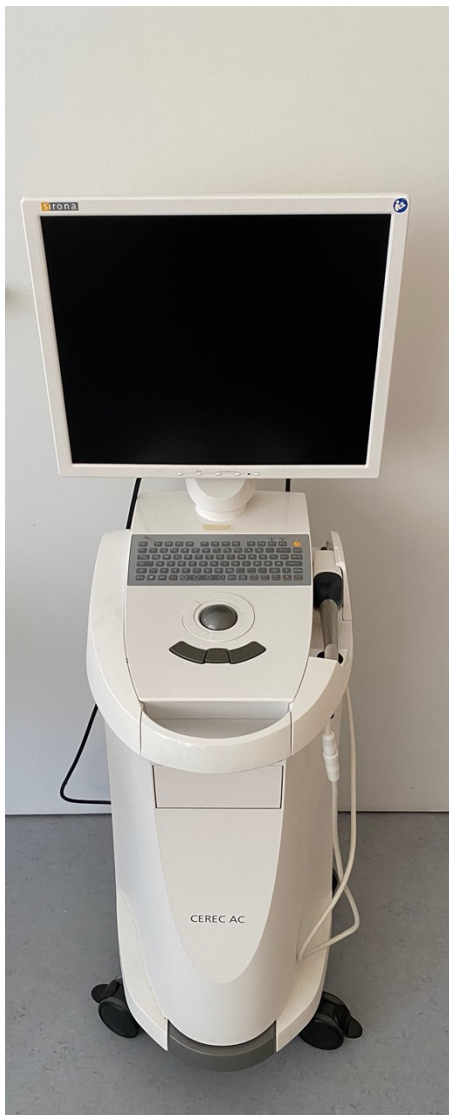


Abbildung 16: CEREC AC



Abbildung 17: CEREC Omnicam

Die verwendete Omnicam wurde werkseitig und bei Erstinbetriebnahme kalibriert.

Im Anschluss an den Scan wurden die Modellachsen überprüft bzw. korrigiert und die Präparationsgrenze mittels dem „magnetischen“ und „manuellen“ digitalen Zeichen-Werkzeug festgelegt. Weiterhin fand die Einstellung der Einschubachse mit Orientierung an der Zahnachse statt, bevor der Fall in CEREC zwischengespeichert wurde und in die prepCheck®-Software exportiert werden konnte. Die Einschubrichtung mit Orientierung an der Zahnachse und nicht etwa mit Orientierung an der Präparation ist wichtig, um die richtigen Winkel durch die Software ermitteln lassen zu können.

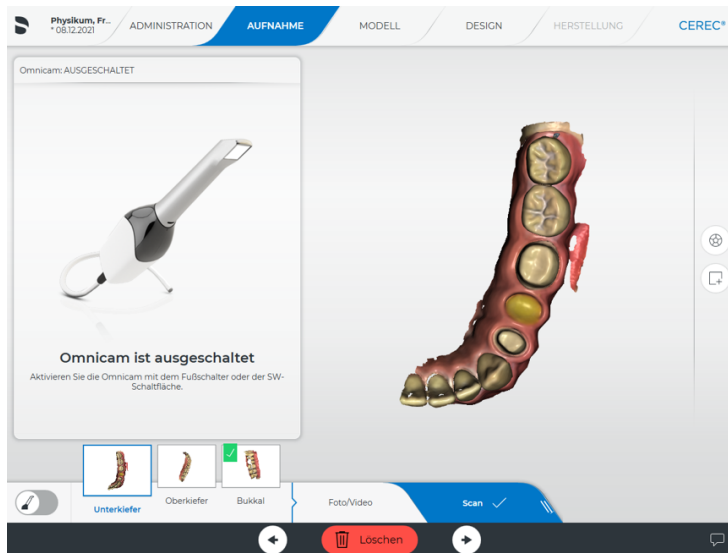


Abbildung 18: Beispiel Aufnahmeoberfläche CEREC

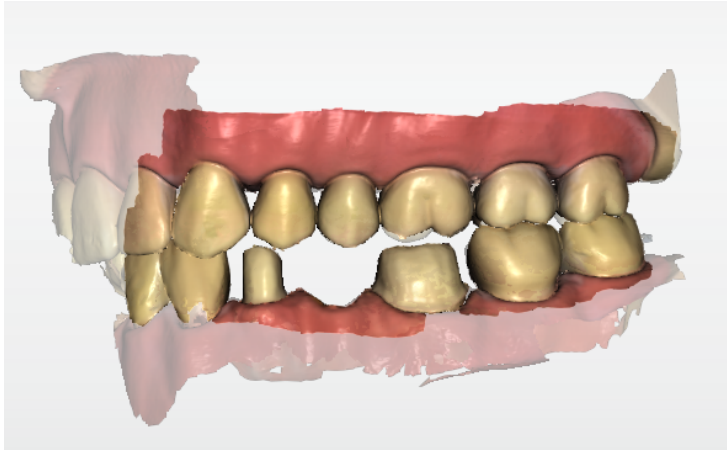


Abbildung 19: Bukkalregistrator

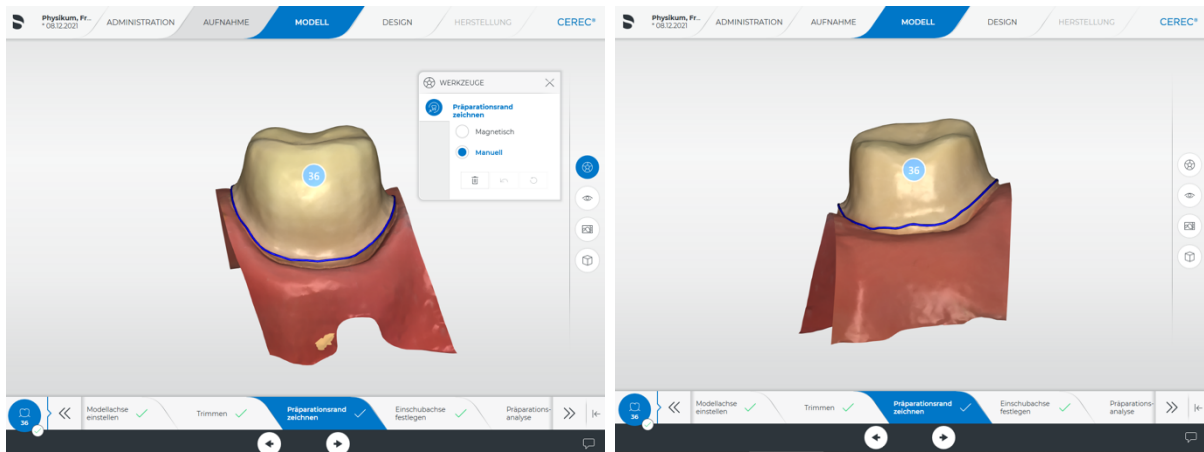


Abbildung 20: Ansicht Zahn 36 von bukkal: Abbildung 21: Ansicht Zahn 36 von lingual  
Präparationsgrenze festlegen in CEREC

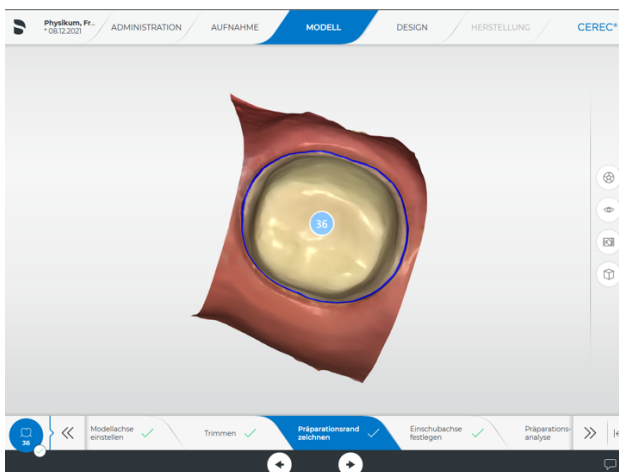


Abbildung 22: Ansicht Zahn 36 von okklusal

### 3.4.2 Die prepCheck®-Analyse des Präparationswinkels

Nach Import des angelegten CEREC-Falls wurde dieser über die hinterlegte „Default“-Einstellung in prepCheck® 5.0.1 geöffnet. In der „Default“-Einstellung sind Standardwerte von Präparationsparametern hinterlegt. Eine Überlagerung bzw. ein Vergleich mit einer Masterpräparation war für die Studie nicht notwendig, da in der Auswertung die reinen Zahlenwerte der Winkel betrachtet werden sollte. Auch die hinterlegten Standardwerte sind von untergeordneter Bedeutung, da sie lediglich für die Farbkodierung von Nutzen sind. Folgend seien jedoch vollständigshalber die werkseingestellten „Standard“-Werte zum Präparationswinkel kurz genannt. Der maximale Präparationswinkel wird lingual zirkulär und bukkal zirkulär mit  $12^\circ$  angegeben. Der minimale Präparationswinkel ist bei der Auswahl der Standardwerte lingual zirkulär und bukkal zirkulär mit  $4^\circ$  im prepCheck® Handbuch beschrieben. Dies entspricht nicht vollständig den Vorgaben der JGU Mainz, ist aber irrelevant für die mathematische Berechnung der Konvergenzwinkel. Bevor die prepCheck®-Software die Präparation des Zahnes 34 bzw. 36 analysieren konnte, wurde, wie oben beschrieben, manuell die Okklusallinie eingezeichnet.



Abbildung 23: Eingezeichnete Okklusallinie in prepCheck®

Anschließend wurde die Präparation auf die oben beschriebenen Parameter hin analysiert. In der Studie lag der Fokus vor allem auf dem TOC bzw. den gemittelten Präparationswinkeln. PrepCheck® misst die Winkel der Präparationsaußenwände und zeigt die TOC-Werte in einer Tabelle an. Hierfür werden die gegenüberliegenden Präparationswinkel zu einem Gesamtwinkel (TOC) von der Software addiert. Die Präparationswinkel werden als Winkel-Mittelwerte einer Seitenflächen zur Längsachse des Zahnes angezeigt und können ebenfalls der Tabelle entnommen werden (siehe prepCheck®-Handbuch (71)).

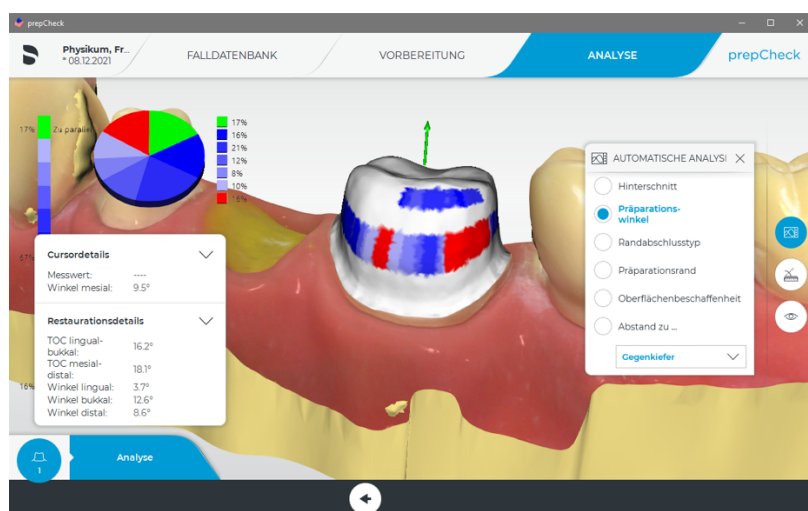


Abbildung 24: Ansicht Zahn 36 von vestibulär: Winkelanalyse prepCheck®

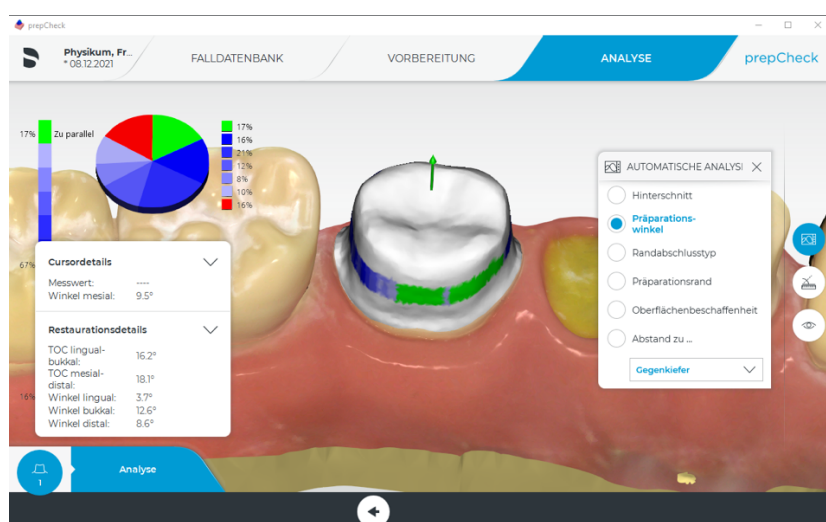


Abbildung 25: Ansicht Zahn 36 von lingual: Winkelanalyse prepCheck®

Dieser Ablauf wurde für alle Präparationen der drei Durchgänge der Zahnärztlichen Vorprüfung für den Zahn 34 und den Zahn 36 übernommen. Vollständigkeitshalber sei erwähnt, dass die prepCheck®-Software ebenfalls wichtige Informationen zu folgenden weiteren Präparationsparametern analysierte: Die Identifizierung von Unterschnitten, den Randabschlussstyp, den Substanzabtrag (axiale Reduktion) bzw. Abstand zum Gegenkiefer (okklusale Reduktion) und die Oberflächenbeschaffenheit insbesondere auch am Präparationsrand.

Nach Abschluss der Analyse wurde der prepCheck®-Report (PCR) erstellt. Es handelt sich hierbei um eine Zusammenfassung der Ergebnisse inklusive Fotos interessanter Teilbereiche der Präparation beispielsweise im PDF-Format.

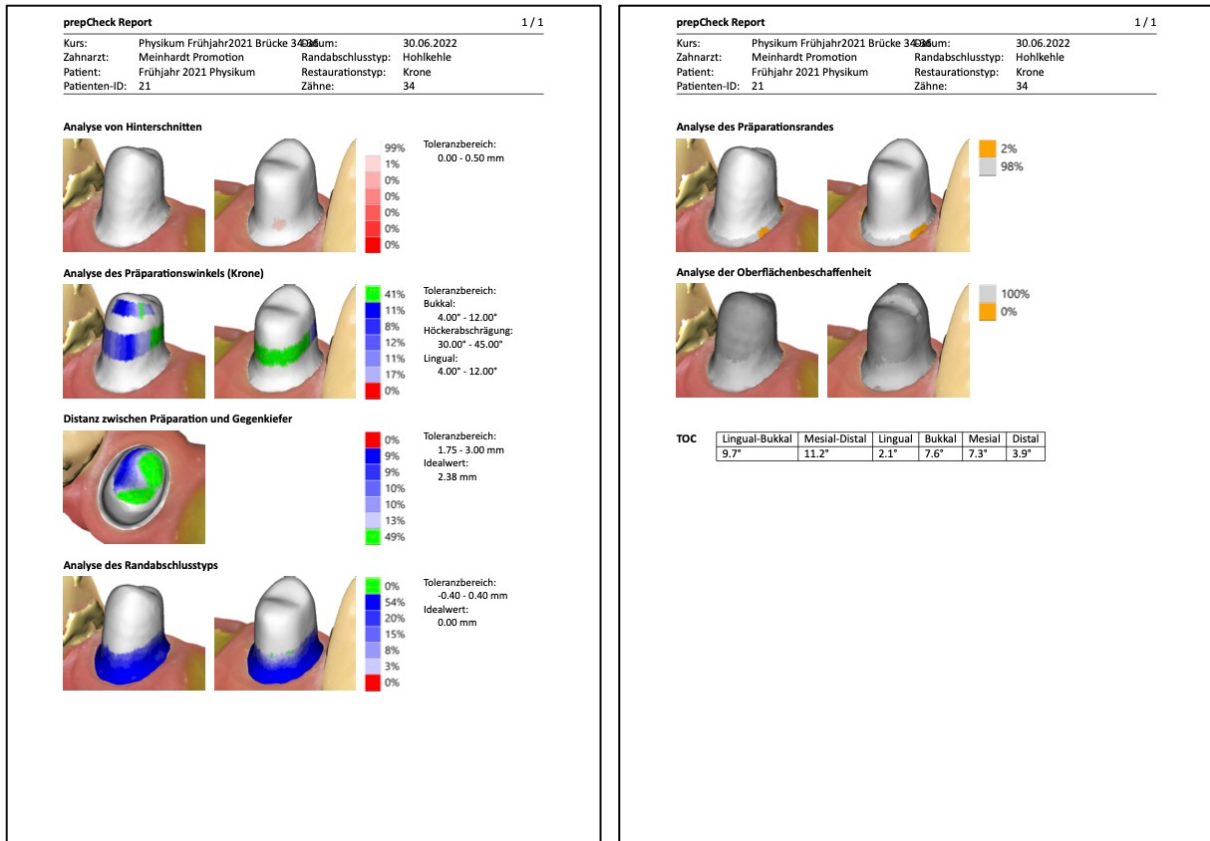


Abbildung 26: Der zweiseitige prepCheck®-Report

## 3.5 Die statistische Auswertung

### 3.5.1 Vorbereitung

Die Präparations- bzw. TOC-Winkel wurden von allen gescannten Zähnen ermittelt und die PCR im PDF-Format exportiert und gespeichert. Infolgedessen wurden die entsprechenden Winkelangaben in eine Excel-Tabelle anonymisiert übertragen. Die Zuordnung der Präparationsanalysen mit den Fragebögen fand über die Vergabe von Excel-generierten Zufallszahlen zwischen 1 und 114 statt. Die Excel-Tabelle umfasst pro anonymisierten Fall je die Beurteilung der oro-vestibulären (entspricht lingual-bukkal) und mesio-distalen Winkelschätzung des Fragebogens und die prepCheck®-TOC-Angaben jeweilig zum Zahn 34 und Zahn 36. Im Anschluss wurden je für Zahn 34 und Zahn 36 die tatsächlichen Werte kategorisiert und in einer Excel-Spalte in drei Gruppen unterteilt: Tatsächliche Werte TOC Bukkal-Lingual bzw. Mesial-Distal in die Gruppen „<6°“, „6-12°“ und „>12°“.

Für die vergleichende Statistik von prepCheck® vs. visuelle Bewertung wurden alle Präparationen, die als „nicht einschätzbar“ angegeben wurden, ausgeschlossen. Für den Zahn 34 waren das  $n=2$ , sodass die Statistik des Zahnes 34 mit  $n=112$  durchgeführt wurde. Für die statistische Analyse des Zahnes 36 konnten alle 114 Bewertungen miteingeschlossen werden ( $n=114$ ).

### 3.5.2 Statistische Auswertung mittels SPSS

Die statistische Auswertung fand mittels SPSS Statistics (Version 27 und 29.0.2.0) statt. Für die Ermittlung der Übereinstimmung zwischen den zwei Bewertungssystemen (prepCheck® vs. visuell) wurde die Kappa-Statistik verwendet. Zuerst wurden die Zähne 34 und 36 getrennt voneinander statistisch ausgewertet, wobei ebenfalls der TOC L-B und der TOC M-D getrennt voneinander mittels Cohens-Statistik auf Signifikanz zwischen prepCheck®-Analyse und Einschätzung der Bewerterinnen geprüft wurden.

Um einen genaueren Zusammenhang zwischen den prepCheck®-Messungen und den Einschätzungen der Prüferinnen zu erhalten, wurde Cohen`s Kappa für die Beobachtungen der Zähne 34 und 36 zusammengefasst einmal für die TOC L-B und einmal für die TOC M-D ermittelt und der Chi-Quadrat-Test durchgeführt.

Weiterhin wurde die Übereinstimmung zwischen erfahrenen Oberärztinnen und den Assistenz Zahnärztinnen in der Bewertung mittels Cohen`s Kappa analysiert.

Unabhängig davon wurden die durch prepCheck® errechneten Winkel mittels deskriptiver Statistik miteinander verglichen. Zahn 34 und Zahn 36 wurden unabhängig voneinander

betrachtet. Es wurden die Mittelwerte der TOC L-B und TOC M-D von Zahn 34 und Zahn 36 errechnet. Dies wurde zusätzlich geschlechtergetrennt untersucht mittels t-Test.

## 4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der oben beschriebenen Fragestellungen bezüglich der Analyse der errechneten prepCheck® TOC-Werte, des Vergleichs der visuellen Einschätzung der Prüferinnen mit den tatsächlichen TOC-Werten und des möglichen Einflusses des Erfahrungsstandes (Oberärztin vs. Assistenzärztin) dargestellt.

### 4.1 prepCheck® TOC-Analyse

#### 4.1.1 prepCheck® TOC Analyse Zahn 34

Die deskriptive Statistikauswertung ergab für die ermittelten TOC Winkel in Lingual-Bukkale Richtung einen Mittelwert ( $M$ ) von  $11,56^\circ \pm 5,78^\circ$  Standardabweichung ( $SD$ ) bei einem Maximalwert von  $TOC=30,1$  Grad und einem Minimalwert von  $TOC=-8,9$  Grad. Der Mittelwert des TOCs Mesial-Distal beträgt  $8,79^\circ \pm 5,86^\circ$   $SD$  dabei lag das Maximum bei  $TOC=26,3^\circ$  und das Minimum bei  $TOC=-5,2^\circ$ . Die statistische Auswertung für die prepCheck® Analyse an Zahn 34 ergab weiterhin für die Präparationswinkel der einzelnen Seitenwände für den TOC (entspricht in diesem Satz dem Präparationswinkel) Lingual einen Mittelwert von  $4,70^\circ \pm 4,50^\circ$   $SD$ , für den TOC Bukkal einen Mittelwert von  $6,85^\circ \pm 4,83^\circ$   $SD$ , für den TOC Mesial einen Mittelwert von  $6,45^\circ \pm 4,30^\circ$   $SD$ , sowie für den TOC Distal einen Mittelwert von  $2,32^\circ \pm 3,94^\circ$   $SD$ . Der größte TOC bzw. Präparationswinkel lag mit  $23,3^\circ$  an der mesialen Zahnwand, der kleinste wurden an der lingualen Zahnwand ermittelt mit  $-14,9^\circ$ .

Es ergab sich bei den weiblichen Teilnehmerinnen ( $n=80$ ) ein TOC-Mittelwert Lingual-Bukkal von  $10,8^\circ \pm 5,0^\circ$   $SD$  ( $SE=0,55$ ) sowie ein TOC-Mittelwert Mesial-Distal von  $8,1^\circ \pm 5,9^\circ$   $SD$  ( $SE=0,65$ ). Bei den männlichen Teilnehmern ( $n=34$ ) zeigt die statistische Auswertung einen TOC-Mittelwert Lingual-Bukkal von  $13,4^\circ \pm 7,1^\circ$   $SD$  ( $SE=1,21$ ) sowie ein TOC-Mittelwert Mesial-Distal von  $10,6^\circ \pm 5,6^\circ$   $SD$  ( $SE=0,95$ ). Zur Überprüfung, ob sich die TOC Mittelwerte der Präparationen von männlichen und weiblichen Studierenden signifikant unterschieden, wurde ein unabhängiger t-Test durchgeführt. Es ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied im t-Test ( $p_{TOC\ L-B}=0,026$  bzw.  $p_{TOC\ M-D}=0,037$  mit  $t_{2-seitig\ TOC\ L-B}=-2,255$  bzw.  $t_{2-seitig\ TOC\ M-D}=-2,114$  und  $df_{TOC\ L-B}=112$  bzw.  $df_{TOC\ M-D}=112$ ) zwischen den Mittelwerten im Vergleich der Präparationen von männlichen und weiblichen Studierenden.

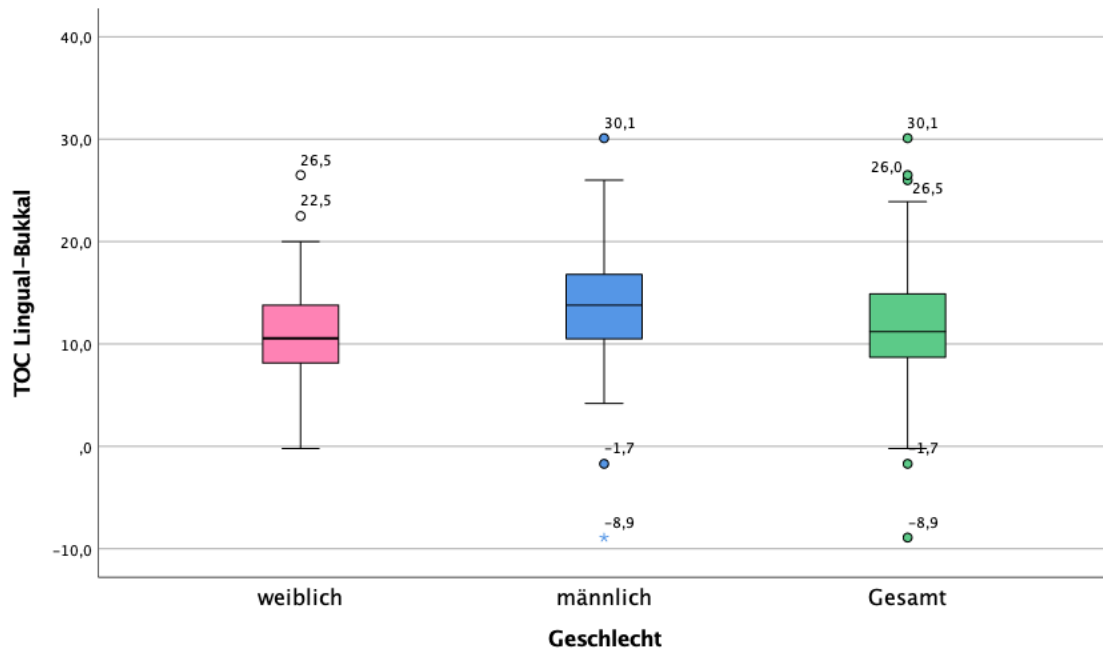


Abbildung 27: Zahn 34: prepCheck® Analyse TOC Lingual-Bukkal

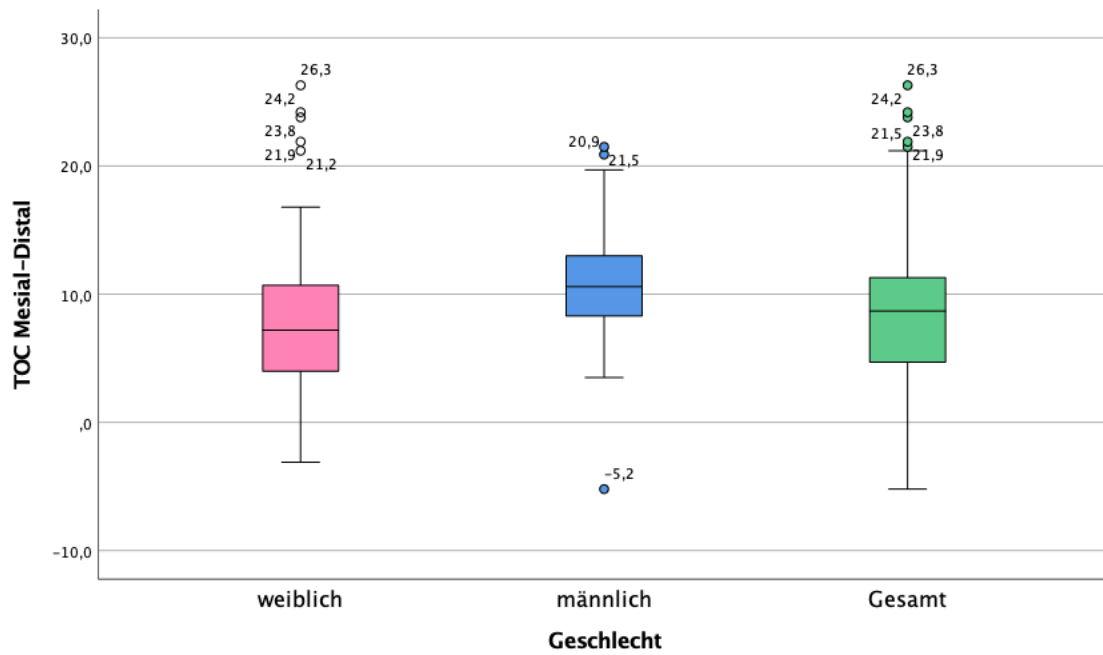


Abbildung 28: Zahn 34: prepCheck® Analyse TOC Mesial-Distal

## 4.1.2 prepCheck® TOC Analyse Zahn 36

Die deskriptive Statistikauswertung des Zahnes 36 ergab für die ermittelten TOC Winkel in Lingual-Bukkalen Richtung einen Mittelwert von  $13,25^\circ \pm 6,49^\circ$  SD bei einem Maximalwert von TOC= 34,7 Grad und einem Minimalwert von TOC= -2,4 Grad. Der Mittelwert des TOCs Mesial-Distal betrug  $14,53^\circ \pm 6,28^\circ$  SD, dabei lag das Maximum bei TOC=  $29,9^\circ$  und das Minimum bei TOC=  $-1,9^\circ$ . Die statistische Auswertung für die prepCheck® Analyse an Zahn 36 ergab weiterhin für die Präparationswinkel der einzelnen Seitenwände für den Winkel Lingual einen Mittelwert von  $3,24^\circ \pm 4,57^\circ$  SD, für den Winkel Bukkal einen Mittelwert von  $10,01^\circ \pm 5,27^\circ$  SD, für den Winkel Mesial einen Mittelwert von  $8,98^\circ \pm 4,41^\circ$  SD, sowie für den Winkel Distal einen Mittelwert von  $5,54^\circ \pm 3,31^\circ$  SD. Der größte Präparationswinkel wurde an der bukkalen Zahnwand ermittelt mit maximal  $24,6^\circ$  und der kleinste wurde an der lingualen Zahnwand ermittelt mit minimal  $-7,3^\circ$ . Es ergab sich bei den weiblichen Teilnehmerinnen ( $n=80$ ) ein TOC-Mittelwert Lingual-Bukkal von  $12,05^\circ \pm 5,42^\circ$  SD ( $SE= 0,60$ ) sowie ein TOC-Mittelwert Mesial-Distal von  $13,47^\circ \pm 5,76^\circ$  SD ( $SE=0,64$ ). Bei den männlichen Teilnehmern ( $n=34$ ) zeigt die statistische Auswertung einen TOC-Mittelwert Lingual-Bukkal von  $16,9^\circ \pm 7,9^\circ$  SD ( $SE=1,35$ ) sowie ein TOC-Mittelwert Mesial-Distal von  $17,0^\circ \pm 6,8^\circ$  SD ( $SE=1,17$ ). Anschließend wurde ebenfalls ein unabhängiger t-Test durchgeführt, welcher einen statistisch signifikanten Unterschied bei  $p_{TOC\ L-B}= 0,01$  bzw.  $p_{TOC\ M-D}=0,005$  und  $t_{2-seitig\ TOC\ L-B}=-2,69$  bzw.  $t_{2-seitig\ TOC\ M-D}=-2,84$  sowie  $df_{TOC\ L-B}=46,705$  bzw.  $df_{TOC\ M-D}=112$  zwischen den Mittelwerten der Präparationen der männlichen und weiblichen Teilnehmerinnen ergab.

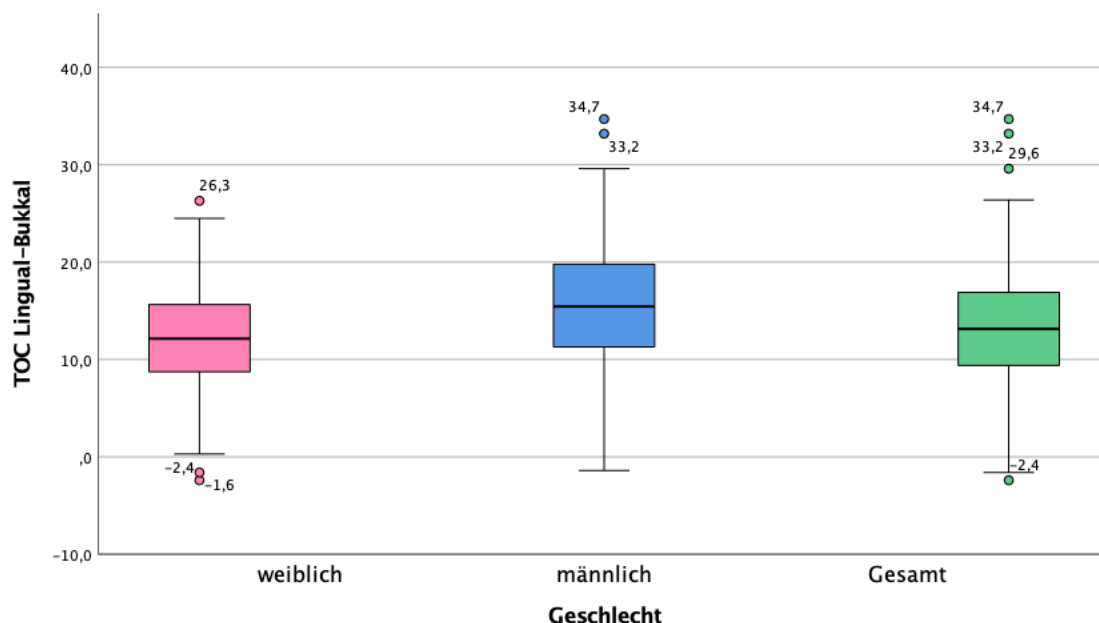


Abbildung 29: Zahn 36: prepCheck® Analyse TOC Lingual-Bukkal

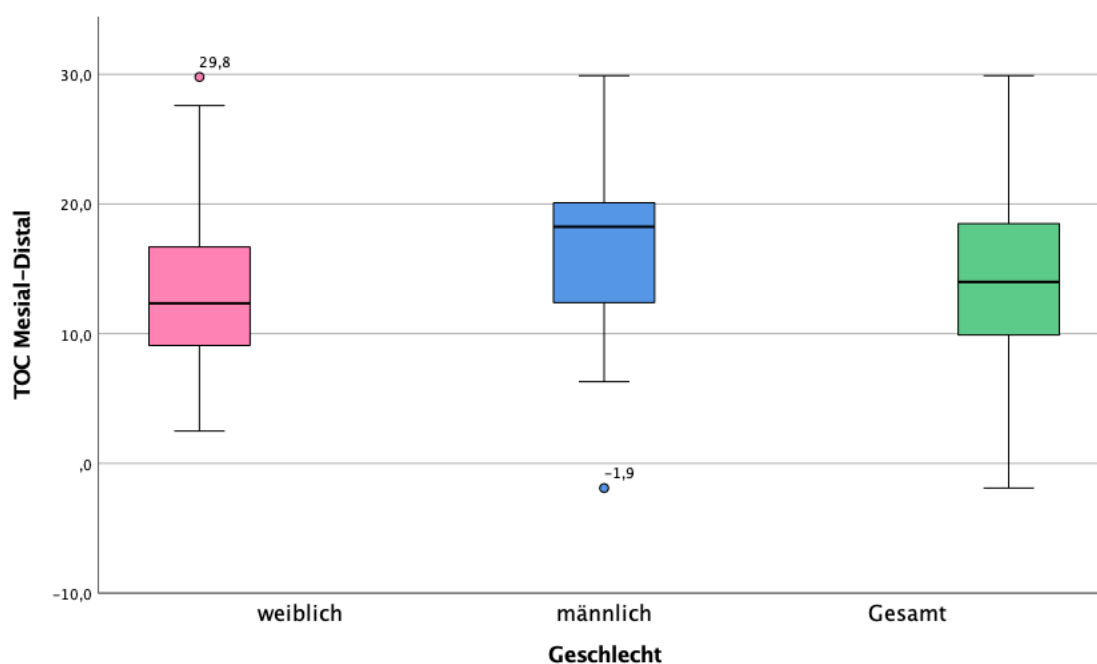


Abbildung 30: Zahn 36: prepCheck® Analyse TOC Mesial-Distal

## 4.2 prepCheck® vs. Visuelle Bewertung

Die vorliegende Analyse untersuchte die Nullhypothese: „Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den tatsächlichen *Total Occlusal Convergence* (TOC)-Werten, die durch das prepCheck®-System ermittelt wurden, und den visuellen Bewertungen der Prüferinnen“. Die Übereinstimmung zwischen den von prepCheck® ermittelten tatsächlichen *Total Occlusal Convergence* (TOC)-Werten und den visuellen Beurteilungen durch Prüferinnen von studentischen Präparationen im Rahmen der Zahnärztlichen Vorprüfung (drei Durchgänge) wurde analysiert. Die statistische Auswertung umfasste die getrennte Betrachtung der TOC-Werte in den Dimensionen Lingual-Bukkal und Mesial-Distal mittels Kreuztabellen und der Berechnung der Cohen's Kappa-Statistik sowie für die Zähne 34 und 36 zusammengefasst der Chi-Quadrat-Test für jeweils die TOCs L-B und TOCs M-D.

### 4.2.1 Zahn 34

Die statistische Auswertung zum Vergleich der tatsächlichen TOC-Werte (durch prepCheck® ermittelt) und der visuellen Bewertung der Prüferinnen wurde getrennt voneinander für TOC L-B und TOC M-D mittels Kreuztabellen und Kappa-Statistik vorgenommen und betrachtet.

Für den Vergleich der Prüferinnen-Einschätzung mit den kategorisierten tatsächlichen prepCheck®-Werten zum Total Occlusal Convergence Winkel Lingual-Bukkal ergaben sich

folgende Ergebnisse: Es gab vier Fälle, in denen sowohl die tatsächliche Messung als auch die Einschätzung der Prüferinnen in der Kategorie „Die Präparation ist zu parallel ( $<6^\circ$ )“ lag (entspricht rund 26%). In der Kategorie: optimaler Präparationsbereich „ $6^\circ$ - $12^\circ$ “ stimmten 35 Präparationen sowohl in der tatsächlichen Messung als auch in der Einschätzung der Prüferinnen überein, was einem Anteil von rund 79% entspricht. Darüber hinaus wurden 19 Ereignisse dokumentiert, in denen sowohl die Analyse durch prepCheck® als auch die Einschätzung der Prüferinnen bei  $>12^\circ$  (Kategorie „Die Präparation ist zu konisch“) lag, was einem Anteil von rund 36% entspricht. Doppelte Differenzen, zwischen den tatsächlichen Werten und den visuellen Einschätzungen, was sowohl Über- als auch Unterschätzungen angeht, gab es keine. Dies hätte bedeutet, dass beispielsweise der tatsächliche Wert  $<6^\circ$  gewesen wäre, aber visuell mit  $>12^\circ$  von den Prüferinnen eingeschätzt (überschätzt) worden wäre. Es ließen sich jedoch einfache Differenzen feststellen. 11 von 15 (entspricht rund 73%) beobachteten tatsächlichen Winkeln  $<6^\circ$  wurden visuell im Bereich von  $6^\circ$ - $12^\circ$  eingeordnet, also überschätzt. Unterschätzt visuell eingeordnet wurden von den Prüferinnen 34 von 53 Fällen (entspricht rund 64%) der tatsächlichen TOC L-B  $>12^\circ$ . Insgesamt zeigten neun Fälle (zwei Unterschätzungen und sieben Überschätzungen) eine einfache Differenz zu den tatsächlichen TOC Winkeln im Bereich  $6^\circ$ - $12^\circ$ , was rund 20% der Fälle dieser Kategorie entspricht. Tabelle 2 zeigt die Kreuztabelle mit den insgesamt 112 bewerteten Präparationen des Zahnes 34.

Tabelle 2: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC L-B (prepCheck®) und visueller Prüferinneneinschätzung TOC L-B des Zahnes 34

Prüferinneneinschätzung TOC L-B					
Tatsächlicher TOC L-B (prepCheck®)		< 6°	6-12°	> 12°	Total
	< 6°	4	11	0	15
	6-12°	2	35	7	44
	> 12°	0	34	19	53
Total		6	80	26	112

Da die erwarteten Häufigkeiten ( $E$ ) in rund 44% der Felder  $<5$  liegen, wurde auf den Chi-Quadrat-Test verzichtet (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten ( $E$ ) des TOC L-Bs des Zahnes 34 (4 Zellen rund 44% haben eine erwartete Häufigkeit  $<5$ )

	<6°	6-12°	>12°
<6°	12.714	0.007	3.482
6-12°	0.054	0.405	1.011
>12°	2.839	0.392	3.644

Die Kappa-Statistik zeigte ein geringes Maß der Übereinstimmung ( $kappa=0,200$ ) zwischen den errechneten TOC L-Bs und den Einschätzungen der Prüferinnen (Bewertungen  $n=112$ ) mit einem Standardfehler von  $SE=0,070$ . Bei einem  $p$ -Wert von  $p<0,001$  zeigte sich, dass die geringe Übereinstimmung signifikant ist.

Für den Vergleich der Prüferinnen-Einschätzung mit den kategorisierten tatsächlichen prepCheck®-Werten zum TOC Mesial-Distal wurden ähnliche Ergebnisse beobachtet. Die Kreuztabelle zeigte, dass es neun Fälle (entspricht rund 24% in dieser Kategorie) gab, bei denen der prepCheck® ermittelte TOC M-D der Kategorie „Die Präparation ist zu parallel“ ( $<6^\circ$ ) auch der Prüferinnen-Einschätzung entsprach. Es zeigten sich 43 Präparationen, in denen der tatsächliche Winkel und die Einschätzung der Prüferinnen der Kategorie „Die Präparation liegt im Rahmen“ ( $6^\circ$ - $12^\circ$ ) übereinstimmten, was einem Anteil von rund 83% entspricht. Weiterhin wurden neun Fälle beobachtet (entspricht rund 39% der Fälle dieser Kategorie), bei denen die kategorisierten tatsächlichen prepCheck®-Messungen und die visuelle Einschätzung  $>12^\circ$  („Die Präparation ist zu konisch“) entsprachen. Für die Betrachtung des TOC M-Ds ließ sich ein Fall mit einer doppelten Differenz feststellen (tatsächlicher TOC lag bei  $>12^\circ$  bei einer

visuellen Einschätzung von  $<6^\circ$ ). 28 von 37 Beobachtungen (rund 75%) der Kategorie „Die Präparation ist zu parallel“ wiesen eine einfache Differenz bzw. Überschätzung auf. 13 von 23 Fällen der Kategorie „Die Präparation ist zu konisch“ zeigten in der visuellen Einschätzung eine einfache Differenz bzw. Unterschätzung auf, was einem prozentualen Anteil von rund 56% dieser Kategorie entsprach. Neun von 52 Fällen der Kategorie TOC „6°-12°“ zeigten in der visuellen Bewertung eine einfache Differenz (drei Unterschätzungen und sechs Überschätzungen), was einen Anteil von rund 17% darstellt. Die Werte wurden der untenstehenden Kreuztabelle (Tabelle 4) entnommen.

Tabelle 4: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC M-D (prepCheck®) und visueller Prüferinneneinschätzung TOC M-D des Zahnes 34

Prüferinneneinschätzung TOC M-D					
Tatsächlicher TOC M-D (prepCheck®)		$< 6^\circ$	6-12°	$> 12^\circ$	Total
	$< 6^\circ$	9	28	0	37
	6-12°	3	43	6	52
	$> 12^\circ$	1	13	9	23
Total		13	84	15	112

Da die erwarteten Häufigkeiten ( $E$ ) in mehreren Feldern  $<5$  liegen (rund 44%), wurde auf den Chi-Quadrat-Test verzichtet (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten ( $E$ ) des TOC M-Ds des Zahnes 34 (4 Zellen rund 44% haben eine erwartete Häufigkeit  $<5$ )

	$<6^\circ$	6-12°	$>12^\circ$
$<6^\circ$	4.295	27.750	4.955
6-12°	6.032	38.970	6.998
$>12^\circ$	2.673	17.280	3.047

Die Kappa-Statistik zum TOC M-D zeigte eine geringe Übereinstimmung ( $kappa=0,223$ ) bei einem Standardfehler von  $SE=0,071$  zwischen den tatsächlichen TOC M-D Werten und den Einschätzungen der Prüferinnen (Bewertungen  $n=112$ ). Bei einem p-Wert von  $p<0,001$  sind auch diese Ergebnisse statistisch signifikant. Es zeigte sich bei der statistischen Auswertung des TOC M-Ds wie auch bei der statistischen Auswertung des TOC L-Bs eine geringe, statistisch signifikante Übereinstimmung zwischen prepCheck® und den Prüferinnen.

Die Ergebnisse beider Kreuztabellen zeigen eine statistisch signifikante geringe Übereinstimmung zwischen den tatsächlichen Winkelwerten (durch prepCheck® ermittelt) und den visuellen Einschätzungen der Prüferinnen bei der Analyse des TOC L-Bs und der Analyse des TOC M-Ds.

#### 4.2.2 Zahn 36

Die statistische Auswertung des Zahnes 36 zum Vergleich der mittels prepCheck® ermittelten TOC-Werte und der visuellen Bewertung der Prüferinnen wurde ebenfalls getrennt voneinander für TOC L-B und TOC M-D mittels Kreuztabellen und Kappa-Statistik vorgenommen und betrachtet.

Für den Vergleich der Prüferinnen-Einschätzung mit den kategorisierten errechneten prepCheck®-Werten zum TOC Winkel L-B ergaben sich folgende Ergebnisse: Es zeigten sich sechs Präparationen, in denen sowohl die prepCheck®-Analyse als auch die Einschätzung der Prüferinnen in der Kategorie „Die Präparation ist zu parallel (<6°)“ lag, was einem Anteil von rund 54% entspricht. In 28 Fällen (entspricht rund 78%) der Kategorie „6-12°“ stimmte die tatsächliche Messung mit der Einschätzung der Prüferinnen überein. Es zeigten sich 18 Beobachtungen, was einem prozentualen Anteil von rund 27% in dieser Kategorie entspricht, in denen die tatsächliche prepCheck®-Winkelmessung bei >12° lag und dies auch korrekt von den Prüferinnen angegeben wurde (Kategorie „Die Präparation ist zu konisch“). Es ließen sich 4 Ereignisse mit doppelten Differenzen zwischen tatsächlichen TOC-Werten und visueller Einschätzung feststellen (tatsächlicher Wert >12° bei visueller Einschätzung von <6°). Fünf von 11 Fällen (rund 45%) der Kategorie „Die Präparation ist zu parallel“ und 45 von 67 Fällen (rund 67%) der Kategorie „Die Präparation ist zu konisch“ zeigten eine einfache Differenz zwischen tatsächlichen TOC und visueller Einschätzung der Prüferinnen. Insgesamt acht Fälle der Kategorie „6-12°“ zeigten ebenfalls eine einfache Differenz (drei Unterschätzungen und fünf Überschätzungen), was einen prozentualen Anteil von rund 22% darstellt. Tabelle 6 zeigt die Kreuztabelle mit den insgesamt 114 bewerteten Präparationen des Zahnes 36.

Tabelle 6: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC L-B (prepCheck®) und visueller Prüferinneneinschätzung TOC L-B des Zahnes 36

Prüferinneneinschätzung TOC L-B					
Tatsächlicher TOC L-B (prepCheck®)		< 6°	6-12°	> 12°	Total
	< 6°	6	5	0	11
	6-12°	3	28	5	36
	> 12°	4	45	18	67
Total		13	78	23	114

Da die erwarteten Häufigkeiten ( $E$ ) in rund 33% der Felder  $<5$  liegen, wurde auf den Chi-Quadrat-Test verzichtet (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten ( $E$ ) des TOC L-Bs des Zahnes 36 (3 Zellen rund 33% haben eine erwartete Häufigkeit  $<5$ )

	<6°	6-12°	>12°
<6°	1.255	7.525	2.220
6-12°	4.109	24.640	7.252
>12°	7.636	45.835	13.528

Die anschließend durchgeführte Kappa-Statistik zeigte ein geringes Maß der Übereinstimmung ( $k=0,169$ ) zwischen den kategorisierten prepCheck®-Werten und den visuellen Bewertungen der Prüferinnen (Bewertungen  $n=114$ ) mit einem Standardfehler von  $SE=0,062$ . Bei einem  $p$ -Wert von  $p=0,003$  zeigte sich, dass die geringe Übereinstimmung signifikant ist.

Ähnliche Ergebnisse ließen sich beim Vergleich der Prüferinnen-Einschätzung mit den kategorisierten tatsächlichen prepCheck®-Werten zum TOC M-D feststellen. Die untenstehende Kreuztabelle (Tabelle 8) zeigt, dass es zwei Präparationen (rund 50% dieser Gruppe) der Kategorie „Die Präparation ist zu parallel“ ( $<6^\circ$ ) gab, bei denen der prepCheck® ermittelte TOC M-D auch der Prüferinnen-Bewertung entsprach. Es ließen sich 36 Fälle beobachten, in denen der tatsächliche Winkel und die Einschätzung der Prüferinnen der Kategorie „Die Präparation liegt im Rahmen“ ( $6^\circ$ - $12^\circ$ ) übereinstimmten, was in dieser Kategorie rund 90% entspricht. Weiterhin gab es 23 Ereignisse (entspricht rund 33%) der Kategorie  $>12^\circ$  („Die Präparation ist zu konisch“), bei denen der kategorisierte prepCheck®-Winkel der visuellen Einschätzung der Prüferinnen entsprachen. Es ließen sich vier Fälle mit doppelter Differenz zwischen den tatsächlichen TOC M-D und der Einschätzung der

Prüferinnen feststellen (Unterschätzungen). Zwei von vier Fällen (50%) der Kategorie „Die Präparation ist zu parallel“ und 43 von 70 Fällen (entspricht rund 61%) der Gruppe „Die Präparation ist zu konisch“ zeigten eine einfache Differenz zwischen prepCheck®-Werten und visueller Beurteilung. Insgesamt ließen sich vier Ereignisse (drei Unterschätzungen und eine Überschätzung) mit einfacher Differenz in der Kategorie „6°-12°“ feststellen, was einem prozentualen Anteil von 10% in dieser Gruppe entspricht.

Tabelle 8: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC M-D (prepCheck®) und visueller Prüferinneneinschätzung TOC M-D des Zahnes 36

Prüferinneneinschätzung TOC M-D					
Tatsächlicher TOC M-D (prepCheck®)		< 6°	6-12°	> 12°	Total
	< 6°	2	2	0	4
	6-12°	3	36	1	40
	> 12°	4	43	23	70
Total		9	81	24	114

Da die erwarteten Häufigkeiten ( $E$ ) in mehreren Feldern  $<5$  liegen (rund 44%), wurde auf den Chi-Quadrat-Test verzichtet (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten ( $E$ ) des TOC M-Ds des Zahnes 36 (4 Zellen rund 44% haben eine erwartete Häufigkeit  $<5$ )

	<6°	6-12°	>12°
<6°	0.316	2.842	0.842
6-12°	3.158	28.421	8.421
>12°	5.526	49.737	14.737

Die Auswertung der Kappa-Statistik ergab für Zahn 36 TOC M-D einen Kappa-Wert von  $k=0,249$  ( $SE=0,057$ ). Dieser Wert zeigte ebenfalls wie schon bei den anderen Analysen eine moderate Übereinstimmung zwischen den prepCheck® ermittelten TOC M-D Werten und der Einschätzung der Prüferinnen. Bei einem p-Wert von  $p<0,001$  ergab sich auch für die Analyse des TOC M-Ds des Zahnes 36 ein statistisch signifikantes Ergebnis.

#### 4.2.3 Gesamtanalyse Zähne 34 und 36

Um die Voraussetzungen für den Chi-Quadrat-Test zu erfüllen, wurden die TOC L-Bs beider Zähne zusammengefasst und statistisch ausgewertet, sowie anschließend die TOC M-Ds beider Zähne für insgesamt  $n=226$  Zähne. Die Kreuztabelle ergab sich aus den

zusammengefassten Werten der Zähne 34 und 36 und sah für den TOC L-B folgendermaßen aus:

Tabelle 10: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC L-B (prepCheck®) und visueller Prüferinneneinschätzung TOC L-B der Zähne 34 und 36

Prüferinneneinschätzung TOC L-B					
Tatsächlicher TOC L-B (prepCheck®)		< 6°	6-12°	> 12°	Total
	< 6°	10	16	0	26
	6-12°	5	63	12	80
	> 12°	4	79	37	120
Total		19	158	49	226

Die Analyse der Kappa-Statistik ergab für den TOC L-B der beiden Zähne ( $n=226$ ) einen statistisch signifikanten Kappa-Wert von  $k=0,182$  ( $SE=0,047$ ) bei  $p<0,001$ . Dieser Wert deutet auf eine geringe Übereinstimmung zwischen den tatsächlichen prepCheck-Werten und den visuellen Einschätzungen der Prüferinnen, was den TOC L-B beider Zähne betrifft, hin. Das hatten die vorherigen Kreuztabellen bereits gezeigt. Die Verteilung der Beobachtungen der einzelnen Kategorien wurde hier kombiniert für den TOC L-B beider Zähne dargestellt. Um die Abweichungen innerhalb der Felder besser einschätzen zu können, wurden die erwarteten Häufigkeiten ( $E$ ) pro Feld der Kreuztabelle sowie die einzelnen Chi-Quadrat-Anteile ( $\chi^2$ ) errechnet, was sich aus den nachstehenden Tabellen (Tabelle 11 und 12) ergab.

Tabelle 11: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten ( $E$ ) des TOC L-Bs

	<6°	6-12°	>12°
<6°	2.186	18.177	5.637
6-12°	6.726	55.929	17.345
>12°	10.088	83.894	26.018

Die Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten ( $E$ ) zeigte ein von neun Feldern mit einem Wert  $<5$  (in diesem Feld gab es insgesamt zu wenig Daten), was 11,1% entspricht, sodass der Chi-Quadrat-Test gültig ist.

Tabelle 12: Kreuztabelle der Chi-Quadrat-Anteile ( $\chi^2$ ) des TOC L-Bs

	<6°	6-12°	>12°
<6°	27.935	0.261	5.637
6-12°	0.443	0.894	1.647
>12°	3.674	0.285	4.636

Es zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede zwischen den tatsächlichen Werten und der visuellen Einschätzung der Prüferinnen. Der Chi-Quadrat-Wert von insgesamt  $\chi^2=45,412$  bei  $df=4$  und  $p<0,001$  ist statistisch hochsignifikant. Bei genauerer Betrachtung zeigten sich bei der Analyse der Winkel prepCheck® vs. Visuelle Bewertung der Gruppe <6° und der Winkel der Kategorie >12° Chi-Quadrat-Werte >3,84, in diesen Bereichen sind die tatsächlichen Werte und die visuelle Einschätzung statistisch signifikant unterschiedlich. Zusammenfassend ging aus den Tabellen hervor, dass in der Kategorie „Die Präparation ist zu parallel“ signifikant hohe Abweichungen zwischen den prepCheck®-Werten und den visuellen Einschätzungen für den TOC L-B auftraten ( $\chi^2 >27$ ). Die niedrigen Chi-Quadrat-Werte in den Feldern rund um die Kategorie des optimalen Präparationswinkels von 6-12° sprachen für konsistente Bewertungen in diesem Bereich.

Für die beiden Zähne 34 und 36 zeigte sich für den TOC M-D bei  $n=226$  eine ähnliche statistische Auswertung. Die untenstehende Tabelle ergab sich aus der Zusammenfassung der beiden Zähne für den TOC M-D. Mit Hilfe der Kreuztabelle wurden im Anschluss wiederum die erwarteten Häufigkeiten pro Feld ermittelt, sowie die Kreuztabelle der einzelnen Chi-Quadrat-Anteile (Tabelle 13 und 14).

Tabelle 13: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC M-D (prepCheck®) und visueller Prüferinneneinschätzung TOC M-D der Zähne 34 und 36

		Prüferinneneinschätzung TOC M-D			
Tatsächlicher TOC M-D (prepCheck®)		< 6°	6-12°	> 12°	Total
	< 6°	11	30	0	41
	6-12°	6	79	7	92
	> 12°	5	56	32	93
Total		22	165	39	226

Anhand der Kreuztabelle errechnete sich für  $n=226$  ein Kappa-Wert von  $k=0,251$  bei  $SE=0,046$  und  $p<0,001$ . Die Werte sind also wie oben bereits beschrieben statistisch signifikant unterschiedlich mit nur einer geringen Übereinstimmung.

Tabelle 14: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten ( $E$ ) des TOC M-Ds

	<6°	6-12°	>12°
<6°	3.991	29.934	7.075
6-12°	8.956	67.168	15.876
>12°	9.053	67.898	16.049

Die Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten ( $E$ ) zeigte ebenfalls ein von neun Feldern mit einem Wert <5, was 11,1% entspricht, sodass der Chi-Quadrat-Test auch für den TOC M-D gültig ist.

Tabelle 15: Kreuztabelle der Chi-Quadrat-Anteile ( $\chi^2$ ) des TOC M-Ds

	<6°	6-12°	>12°
<6°	12.308	0.000	7.075
6-12°	0.976	2.084	4.963
>12°	1.815	2.085	15.855

Die Ergebnisse für den TOC M-D ähnelten denen des TOC L-Bs. Es ließen sich ebenfalls statistisch signifikante Unterschiede zwischen den tatsächlichen Werten und der visuellen Einschätzung der Prüferinnen feststellen, was der Chi-Quadrat-Wert von insgesamt  $\chi^2=47,160$  bei  $df=4$  und  $p<0,001$  zeigt. Im Detail zeigten sich bei der Auswertung der tatsächlichen Winkel im Vergleich zur visuellen Prüferinneneinschätzung in der Gruppe <6°, dass die Prüferinnen diese Winkel häufig überschätzten und es somit signifikante Unterschiede in der Bewertung gab ( $\chi^2=12,308$ , d.h. Chi-Quadrat-Wert >3,84). Die Kategorie der Winkel >12° zeigte einen noch höheren Chi-Quadrat-Wert mit  $\chi^2=15,855$ , in diesen Bereichen zeigten sich somit ebenfalls statistisch signifikante Unterschiede zwischen den prepCheck® Werten und den Prüferinnenbewertungen. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit der Auswertung der TOC L-Bs. Weiterhin ging aus den Tabellen hervor, dass die Kategorie des optimalen Präparationswinkels von 6°-12° und die dazugehörigen relativ niedrigen Chi-Quadrat-Werte <3,84 eine bessere Übereinstimmung der visuellen Bewertung und prepCheck® aufwiesen.

### 4.3 Einfluss der Berufserfahrung bei der Bewertung

Zur Ermittlung der Beurteilungsgenauigkeit von Oberärztinnen im Vergleich zu Assistenzzahnärztinnen erschien es als Nebenfrage sinnvoll, die Daten nach dem Stand der Berufserfahrung von Oberärztinnen und Assistenzärztinnen getrennt voneinander zu betrachten und zu vergleichen. Um zu testen, ob die berufserfahrenen Oberärztinnen eine höhere Übereinstimmung in ihrer visuellen Winkel-Bewertung mit den kategorisierten prepCheck®-Winkeln aufweisen als Assistenzzahnärztinnen, wurden Kreuztabellen erstellt und Cohen`s Kappa der beiden Gruppen getrennt voneinander ermittelt. Um die Analyse zu präzisieren, wurden die Winkel TOC L-B und TOC M-D getrennt voneinander jedoch zusammengefasst für alle Zähne (Zähne 34 und 36) analysiert. Da in mehreren Kreuztabellen der erwarteten Häufigkeiten  $E < 5$  ist, wurde auf den Chi-Quadrat-Test verzichtet, die erwarteten Häufigkeitstabellen wurden jedoch vollständigkeithalber gelistet. Die drei in dieser Arbeit betrachteten Durchgänge der Zahnärztlichen Vorprüfung wurden von insgesamt drei Oberärztinnen und zwei sich in der Assistenzzeit befindenden Zahnärztinnen geprüft. Die Auswertung mittels Microsoft Excel (16.89.1) ergab eine Gesamtanzahl von Oberärztinnen bewerteten präparierten Zähnen 34 und 36 von  $n=171$  (Ausschluss: ein Zahn als „nicht einschätzbar“ bewertet) und eine Gesamtanzahl von Assistenzzahnärztinnen bewerteten präparierten Zähnen 34 und 36 von  $n=55$  (Ausschluss: ein Zahn als „nicht einschätzbar“ gewertet). Für diese Analyse wurden 226 von 228 präparierten Stümpfen miteingeschlossen.

#### 4.3.1 Die Genauigkeit der visuellen Einschätzung der Oberärztinnen

Nach der Filterung der Daten nach den oberärztlichen visuellen Bewertungen ( $n=171$ ) zeigt die untenstehende Kreuztabelle (Tabelle 12) die Verteilung der tatsächlichen TOC L-Bs (der Zähne 34 und 36) mit der Einschätzung der Oberärztinnen. Daraus ergibt sich anschließend Cohen`s Kappa mit  $k=0,213$  (bei  $SE=0,059$ ), was einer statistisch relevanten geringen Übereinstimmung zwischen den objektiven prepCheck®-Werten und den Bewertungen der Oberärztinnen entspricht ( $p < 0,001$ ).

Tabelle 16: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC L-B (prepCheck®) und visueller Einschätzung der Oberärztinnen TOC L-B der Zähne 34 und 36

		Oberärztinneneinschätzung TOC L-B			
		< 6°	6-12°	> 12°	Total
Tatsächlicher TOC L-B (prepCheck®)	< 6°	8	11	0	19
	6-12°	4	48	9	61
	> 12°	3	57	31	91
Total		15	116	40	171

Tabelle 17: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten (E) des TOC L-Bs (Oberärztinnen) (2 Zellen rund 22% haben eine erwartete Häufigkeit <5)

	<6°	6-12°	>12°
<6°	1.669	12.895	4.436
6-12°	5.359	41.431	14.210
>12°	7.973	61.674	21.355

Die Ergebnisse bestätigten sich für die Betrachtung der TOC M-D. Für den TOC M-D ergab sich Kappa-Wert von  $k=0,229$  mit  $SE=0,053$  bei  $p<0,001$ , was ebenfalls einer statistisch signifikanten geringen Übereinstimmung zwischen den Bewertungsmethoden entsprach. Der Kappa-Wert war für die TOC M-D Winkel etwas höher als für die TOC L-B.

Tabelle 18: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC M-D (prepCheck®) und visueller Einschätzung der Oberärztinnen TOC M-D der Zähne 34 und 36

Oberärztinneneinschätzung TOC M-D					
Tatsächlicher TOC M-D (prepCheck®)		< 6°	6-12°	> 12°	Total
	< 6°	10	25	0	35
	6-12°	5	58	6	69
	> 12°	5	41	21	67
Total		20	124	27	171

Tabelle 19: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten (E) des TOC M-Ds (Oberärztinnen) (1 Zelle rund 11% haben eine erwartete Häufigkeit <5)

	<6°	6-12°	>12°
<6°	4.093	25.365	5.543
6-12°	8.062	49.525	10.412
>12°	7.844	48.110	10.045

#### 4.3.2 Die Genauigkeit der visuellen Einschätzung der Assistenzzahnärztinnen

Nach der Filterung der Daten nach den durch Assistenzzahnärztinnen bewerteten präparierten Zahnstümpfen 34 und 36 ( $n=55$ ) wurde zunächst der TOC L-B analysiert mittels Kreuztabelle und Cohen`s Kappa.

Tabelle 20: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC L-B (prepCheck®) und visueller Einschätzung der Assistenzärztinnen TOC L-B der Zähne 34 und 36

Assistenzärztinneneinschätzung TOC L-B					
Tatsächlicher TOC L-B (prepCheck®)		< 6°	6-12°	> 12°	Total
	< 6°	2	5	0	7
	6-12°	1	15	3	19
	> 12°	1	21	7	29
Total		4	41	10	55

Tabelle 21: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten (E) des TOC L-Bs (Assistenzärztinnen) (5 Zellen rund 55% haben eine erwartete Häufigkeit <5)

	<6°	6-12°	>12°
<6°	0.509	5.216	1.276
6-12°	1.382	14.145	3.473
>12°	2.109	21.638	5.251

Da der Cohen's Kappa-Wert für den TOC L-B bei  $k=0,116$  lag mit  $SE=0,089$  und  $p=0,149$ , zeigt sich hier eine statistisch nicht signifikante schwache Übereinstimmung zwischen den gemessenen prepCheck®-Werten und den Bewertungen der Assistenzzahnärztinnen.

Für die Analyse der TOC M-D Winkel ergaben sich folgende Tendenzen: Es wurde ein kappa-Wert von  $k=0,312$  bei  $SE=0,094$  und  $p<0,001$  anhand der untenstehenden Tabelle ermittelt, was einer statistisch signifikanten geringen Übereinstimmung zwischen den objektiven Werten und den subjektiven Bewertungen der Assistenzzahnärztinnen für den TOC M-D entspricht.

Tabelle 22: Kreuztabelle zum tatsächlichen TOC M-D (prepCheck®) und visueller Einschätzung der Assistenzärztinnen TOC M-D der Zähne 34 und 36

Assistenzärztinneneinschätzung TOC M-D					
Tatsächlicher TOC M-D (prepCheck®)		< 6°	6-12°	> 12°	Total
	< 6°	1	5	0	6
	6-12°	1	21	1	23
	> 12°	0	15	11	26
Total		2	41	12	55

Tabelle 23: Kreuztabelle der erwarteten Häufigkeiten (E) des TOC M-Ds (Assistenzärztinnen) (5 Zellen rund 55% haben eine erwartete Häufigkeit <5)

	<6°	6-12°	>12°
<6°	0.218	4.473	1.309
6-12°	0.836	17.179	5.486
>12°	0.945	19.348	6.205

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Kappa-Werte der Oberärztinnen für TOC L-B und TOC M-D sehr ähnlich sind ( $k_{TOC\ L-B} = 0,213$  und  $k_{TOC\ M-D} = 0,229$ ), wohingegen die Assistenzärztinnen für die TOC L-B eine geringere Übereinstimmung haben als für die TOC M-D, wobei die größte als auch niedrigste Übereinstimmung im Vergleich Oberärztinnen vs. Assistenzärztinnen bei den Assistenzärztinnen lag (größte Übereinstimmung TOC M-D  $k = 0,312$ , niedrigste Übereinstimmung  $k = 0,116$ ). Es sollte bei der Interpretation dieser Werte allerdings bedacht werden, dass die Ergebnisse bei den Assistenzärztinnen beim TOC L-B statistisch nicht signifikant waren.

## 5 Diskussion

### 5.1 Studienkohorte, Material und Methode

In der vorliegenden Studie sollten die visuellen Bewertungen der Prüferinnen mit den mittels prepCheck® ermittelten TOC-Werten verglichen werden, um zu evaluieren, ob die Prüfungsbewertungen objektiv mittels Software gleichwertig zu der visuellen subjektiven Bewertung stehen. Der Einsatz digitaler Bewertungssoftware konnte bereits in mehreren Studien positiv bewertet werden. Es wurden 228 Zähne in drei aufeinander folgenden Zahnärztlichen Vorprüfungen mittels Prüfungsbogen visuell bewertet und anschließend digital analysiert. Um einen einheitlichen Studienaufbau zu garantieren, wurden bewusst Prüfungspräparationen von drei aufeinander folgenden Durchgängen gewählt. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass dieselben Zähne unter den gleichen Voraussetzungen und unter denselben Bedingungen präpariert wurden.

Insgesamt wurden die Präparationen von 80 weiblichen Studierenden und 34 männlichen Studierenden bewertet, das entspricht einer Geschlechterverteilung von 70% zu 30%.

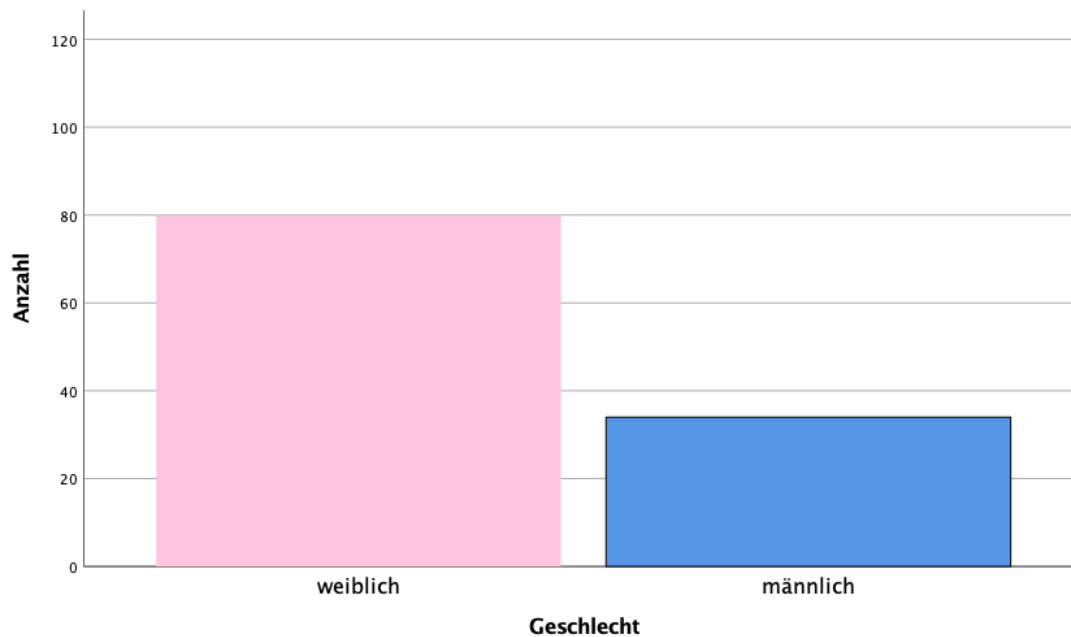


Abbildung 31: Geschlechterverteilung der Studierenden

Die Geschlechterverteilung entspricht der üblichen Semesteraufteilung an der JGU Mainz im Fach Zahnmedizin. Die Geschlechteranalyse ist hier allerdings kritisch zu werten, da sie nicht schriftlich dokumentiert/ abgefragt wurde. Das Geschlecht „divers“ ist zudem bei der Einteilung nicht vertreten.

## 5.2 Ergebnisse

### 5.2.1 Deskriptive Statistikauswertung

Die deskriptive Statistikauswertung zeigt im Vergleich des Zahnes 34 (Prämolar) und des Zahnes 36 (Molar) generell kleinere TOC-Winkel bei der Präparation der Prämolaren. Für die Präparation der Zähne 34 bestätigt sich in dieser Arbeit ebenfalls die Vermutung vorher genannter Studien, der größeren TOC-Winkel in lingual-bukkaler Richtung im Vergleich zu den TOC-Winkeln in mesial-distaler Richtung. Diese Resultate korrelieren mit den genannten Erkenntnissen der Studien von Nordlander *et al.*, Tiu *et al.*, Yoon *et. al*, Al-omari *et al.* und Aleisa *et al.* (10, 15, 24, 28, 29). Interessanterweise liegen die errechneten TOC-Mittelwerte aller Präparationen der Teilnehmerinnen dieser Arbeit im oder nahezu im vorgegeben optimalen Konvergenzwinkelbereich von 6-12°. Hierfür seien nochmals die Mittelwert-Ergebnisse der TOC tabellarisch aufgezeigt:

Tabelle 24: Ergebnisse TOC Mittelwerte

	$M_{TOC\ L-B} \pm SD$	$M_{TOC\ M-D} \pm SD$
Prämolar 34	11,56° ± 5,78°	8,79° ± 5,86°
Molar 36	13,25° ± 6,49°	14,53° ± 6,28°

Vollständigkeitshalber sei unter kritischem Vorbehalt bezüglich der Geschlechteranalyse erwähnt, dass die erreichten Konvergenzwinkel für die Zähne 34 und 36 sowohl für die erreichten TOC L-Bs als auch für die TOC M-Ds der weiblichen Teilnehmerinnen signifikant kleiner waren als die der männlichen Teilnehmer.

Zusammengefasst unterstreicht die deskriptive Auswertung dieser Arbeit die Resultate vorangegangener Studien bezüglich der Signifikanz TOC Prämolar kleiner TOC Molar und TOC L-B größer TOC M-D (10, 15, 24, 28, 29). Anders als in den meisten in der Literaturdiskussion erwähnten Studien liegt der Mittelwert aller TOC nahezu an der universitären Anforderung eines optimalen TOC-Winkels von 6-12°.

### 5.2.2 prepCheck® vs. Visuelle Bewertung

Die Ergebnisse der Cohen's Kappa Statistik und der Auswertung der Kreuztabellen der Zähne 34 und 36 verdeutlichen, dass die Nullhypothese dieser Arbeit abgelehnt werden muss. Die statistische Auswertung lässt darauf schließen, dass es eine bestimmte Similarität zwischen den objektiven Messungen der TOC-Werte (prepCheck®) und den visuellen Einschätzungen gibt. Die Kappa-Werte zeigen jedoch, dass diese Übereinstimmung nur gering ist, was so interpretiert werden kann, dass die visuelle Beurteilung des Öfftens von den kategorisierten prepCheck® ermittelten Werten abweicht. Weiterhin zeigt sich im Vergleich „Prämolar vs. Molar“ eine etwas bessere Übereinstimmung (im Vergleich der Kappa-Werte) zwischen den Prüferinnen-Bewertungen und den tatsächlichen prepCheck®-Werten bei Betrachtung der TOC L-B der Prämolaren ( $k=0,200$ ) im Vergleich zu den Molaren ( $k=0,169$ ). Dies könnte darauf hindeuten, dass Prüferinnen bei der Bewertung der TOCs Lingual-Bukkal von Prämolaren etwas besser in der Lage sind, diese Winkel visuell richtig einzuordnen, möglicherweise aufgrund der besseren visuellen Sichtbarkeit. Interessanterweise ist die Übereinstimmung (Vergleich der Kappa-Werte) bei Betrachtung der TOCs M-D bei den Molaren ( $k=0,249$ ) etwas besser als bei den Prämolaren ( $k=0,223$ ).

Zusammenfassend lassen die statistischen Ergebnisse vermuten, dass die Prüferinnen tendenziell konsistent bei ihren Bewertungen sind, auch wenn diese Bewertungen nicht genau mit den tatsächlichen kategorisierten Werten übereinstimmen. Trotz der statistischen

Signifikanz ist die Übereinstimmung gering, was ein Hinweis darauf sein kann, dass es systematische Unterschiede zwischen den tatsächlichen Messungen und den Einschätzungen der Prüferinnen gibt. Es zeigt sich dementsprechend, dass die Prüferinnen in einem gewissen, aber begrenzten Maße, die tatsächlichen Werte richtig einschätzen. Die visuellen Einschätzungen ist in einigen Bereichen gut, insbesondere bei tatsächlichen TOC-Werten der Kategorie „6-12°“ mit Übereinstimmungen der prepCheck®-Angaben mit der visuellen Einschätzung von rund 78% (Zahn 36 L-B) bis hin zu 90% (Zahn 36 M-D). In dieser Kategorie zeigen sich zudem die geringsten einfachen Differenzen zwischen prepCheck® und visueller Bewertung. Es gibt jedoch auch große Abweichungen bei den tatsächlichen Werten TOC kleiner 6° und größer 12°. Kleine Winkel werden oftmals überschätzt (prozentuale Anteile der Kategorie „<6°“ entspricht rund 45-75% der Fälle), große Winkel werden häufig unterschätzt (rund 56-67% der Fälle der Kategorie „>12°“). Hierbei lässt sich feststellen, dass die prozentual größeren einfachen Differenzen zwischen den tatsächlichen Werten und den visuellen Einschätzungen der Prüferinnen bei Zahn 34 die Kategorie „Die Präparation ist zu parallel“ betreffen, hier werden die Winkel oftmals überschätzt. Bei Zahn 36 betrifft dies die Kategorie „Die Präparation ist zu konisch“, was bedeutet, dass hier die Winkel oft unterschätzt werden. Doppelte Differenzen zwischen den tatsächlichen TOC und der visuellen Einschätzung lassen sich (glücklicherweise) nur selten feststellen. Generell könnten die systematischen Unterschiede zwischen den Prüferinnen auf verschiedene Faktoren zurückzuführen sein, wie beispielsweise individuelle subjektive Unterschiede in der visuellen Einschätzung oder mangelnde Kalibrierung der Prüferinnen. Die kombinierten TOC-Werte beider Zähne verdeutlichen, dass die Prüferinnen extreme Winkel weniger korrekt einschätzen. Zwischen den TOC L-Bs und TOC M-Ds lässt sich feststellen, dass der TOC M-D insgesamt eine höhere Abweichung in der Gruppe „Die Präparation ist zu konisch“ aufweist, wohingegen bei den TOC L-Bs die Abweichungen in der Kategorie „Die Präparation ist zu parallel“ höher war. Außerdem lässt sich feststellen, dass der optimale Präparationsbereich von 6-12° häufig korrekt erkannt wird, was sich aus den niedrigen Chi-Quadrat-Werten in den entsprechenden Feldern ergibt, wobei der TOC L-B eine höhere Übereinstimmung in dieser Gruppe im Vergleich zu den TOC M-D aufweist.

Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse die Notwendigkeit einer besseren Kalibrierung der Prüferinnen, um die Übereinstimmung mit den objektiven Messungen zu verbessern oder gerade wenn es um Prüfungssituationen geht, eine ergänzende Messmethode zur Verbesserung der Objektivität einzusetzen.

Zusätzlich zu der in dieser Arbeit sich bestätigenden festgestellten Subjektivität konventioneller (visueller) Bewertungsmethoden spricht Miyazono *et al.* auch die Problematik der inkonstanten visuellen Bewertung der Dozentinnen an (50): Fünf Lehrkräfte bewerteten visuell nach vorheriger Kalibrierung untereinander insgesamt 100 Präparationen von

Studierenden. Im Anschluss wurden alle Präparationen noch einmal von den Prüferinnen anhand der prepCheck®-Analyse bewertet. Es zeigte sich, dass sowohl die Übereinstimmung der Bewertung innerhalb einer Prüferin als auch die Bewertungen im Vergleich zwischen allen Prüferinnen signifikant besser war bei Implementierung der prepCheck®-Analyse in die Bewertung im Vergleich zur rein visuellen Bewertung. Für alle Prüferinnen zeigte sich ein signifikanter Bewertungsunterschied bei rein visueller und digitaler Bewertung der Präparationen (50). Zum selben Schluss kamen auch Schepke *et al.* (72) und Kwon *et al.* (73): Die rein visuellen Beurteilungen von Präparationen wiesen deutliche Unterschiede zwischen unterschiedlichen Bewerterinnen und auch innerhalb einer Prüferin auf. Mit Hilfe von prepCheck® zeigten sich nur geringe Abweichungen in der Bewertung zwischen den Prüferinnen (72, 73). Matthisson *et al.* zeigte zusätzlich, dass sich die Meinungen zur Präparationsbewertung von Studierenden und Lehrpersonal deutlich annäherten bei der Nutzung von prepCheck® auf ca. 76% Übereinstimmung (52). Diese Ergebnisse sowie die Bestätigung der Subjektivität visueller Bewertungen durch diese Arbeit zeigen, dass die Anwendung von prepCheck® als zusätzliches Lern- und Bewertungstool nützlich sein kann, um die universitäre Lehre objektiver zu gestalten. Vorangegangene Studien haben in der Umfrage mittels Fragebögen nachgewiesen, dass Studierende die Bewertung der Dozentinnen als wichtiger empfinden als die Bewertung via CAL-Analyse (58, 70, 74). Es wird eine Implementierung solcher CAL-Software in den Kursalltag als zusätzliches Lehrmedium verlangt (58, 62, 65), sodass die Vorteile der CAL-Software zur selbstständigen Präparationskontrolle und die Vorteile des verbalen konstruktiven Feedbacks des Lehrpersonals insgesamt die Lehre und Qualität der Ausbildung auf einen höheren Standard setzen (72). Die Ergebnisse dieser Arbeit sowie vorangegangener Studien bestätigen, dass die Kombination aus objektiven Messungen und der visuellen Beurteilung sinnvoll ist und zu einer genaueren und zuverlässigeren Bewertung der TOC-Werte führen könnte. In einer Studie von Gratton *et al.* legte eine Umfrage dar, dass 62% der Studierenden die Integration von CAL-Software in den Lehrplan als positiv bewerteten, obwohl circa 55% der Befragten dem Erlernen des Umgangs mit diesen Softwaresystemen negativ gegenüber eingestellt waren (65). Weiterhin bemängelten einige Studien, dass das Erlernen solcher digitalen Anwendungen viel Zeit benötigt und der Einsatz nur sinnvoll sein kann, wenn genügend Scanner zur Verfügung stehen (62, 67, 72). Auch die Finanzierung und Instandhaltung der teuren Gerätschaften wurde immer wieder kritisiert (66, 67). Nachteilig kann weiterhin angesehen werden, dass es ebenfalls studienbasierte Daten gibt, die zu dem Ergebnis kamen, dass digitale CAL-Software keinen verbesserten Lernprozess oder eine Verbesserung der Selbstevaluation erbrachten (49, 75).

### 5.2.3 Berufserfahrung

Ein weiterer interessanter Nebenaspekt in dieser Studie war die Frage, ob es Unterschiede in der Genauigkeit der visuellen Bewertung zwischen den Prüferinnen-Gruppen Oberärztin vs. Assistenzärztin gibt und ob eine der beiden Gruppen die Präparationswinkel bzw. Konvergenzwinkel besser einschätzen kann, das heißt, mit den gemessenen kategorisierten prepCheck®-Winkeln eher übereinstimmt. Die statistische Auswertung zeigt, dass für diese Studie die visuellen Bewertungen der Oberärztinnen für den TOC L-B beider Zähne besser mit den prepCheck®-Werten übereinstimmen ( $k=0,213$ ) als die visuelle Einschätzung der Assistenzärztinnen ( $k=0,116$ ). Der TOC-MD wurde interessanterweise von den Assistenzärztinnen besser und mit prepCheck® kongruierend eingeschätzt als von den Oberärztinnen ( $k_{TOC\ M-D\ Assistenzärztinnen}=0,312$  vs.  $k_{TOC\ M-D\ Oberärztinnen}=0,229$ ), wobei es zu beachten gilt, dass es große Differenzen in der Anzahl der bewerteten Zähne pro Gruppe (Oberärztin/Assistenzärztin) gab mit  $n_{Oberärztin}=171$  vs.  $n_{Assistenzärztin}=55$ , außerdem war das Ergebnis der TOC L-B der Assistenzärztinnen nicht signifikant. Ein allgemeiner Trend, dass entweder Oberärztinnen oder Assistenzärztinnen konstant anhaltend besser bzw. präziser bewerten würden, lässt sich nicht erkennen. Schlussfolgernd zeigen die Ergebnisse, dass die Berufserfahrung keinen allgemein gültigen signifikanten Einfluss auf die Präzision der Bewertung hat. Die Fähigkeit, den TOC-Winkel korrekt visuell einzuschätzen, ist bei beiden Gruppen ähnlich.

## 5.3 Lehren und Lernen mit den jungen Generationen

Durch die aktuelle Um- und Neugestaltung der Approbationsordnung sowie Studienordnung in der Zahnmedizin (Umsetzung an der JGU Mainz seit 2021), die unter anderem die Einheitlichkeit und Gleichwertigkeit der zahnmedizinischen Ausbildung in Deutschland aufwerten soll, zeigt sich ein deutliches Umdenken, was die Gestaltung der Kurse als auch der Prüfungssituationen angeht. Ein grundlegender Aspekt ist die Schaffung objektiver Prüfungen durch die Einführung standardisierter Prüfungsbögen. Traditionellerweise waren Prüfungen in den mündlichen und praktischen Bereichen häufig subjektiv, da sie in hohem Maße an die individuelle Einschätzung der Prüferinnen gebunden waren. Dies führte zu inkonsistenten Bewertungen und potenziellen Ungerechtigkeiten. Um dies zukünftig zu vermeiden, sieht die neue Approbationsordnung die objektive Gestaltung von Prüfungen und deren Bewertungen vor.

Die Forderung nach mehr Objektivität in zahnmedizinischen Prüfungen ist jedoch nicht neu. 1975 wurde von Harden *et al.* an der University of Dundee, Schottland die sogenannten „Objective Simulated Clinical Examinations“ kurz OSCE-Prüfungen eingeführt (76). Diese

gelten als Goldstandard für klinische Prüfungen, da sie viele wesentliche medizinische als auch psychologische Aspekte im medizinischen Alltag abfragt unter der Einhaltung vorgegebener Bewertungsrubriken (77). Es geht bei diesen Prüfungen um die Kombination aus auswendig gelerntem Fakten-Wissen, dessen Verständnis und richtige Anwendung auf die in der Prüfung geschilderte Problematik („*problem solving*“), sowie die adäquate Patienteninteraktion durch simulierte Patientenfälle. OSCE-Prüfungen gelten als objektiv und die Bewertung der einzelnen Rubriken wird im Vorfeld durch Punkte festgelegt, sodass Zielsetzungen eindeutiger definiert werden können (76). Simulierte Patientenfälle, die durch Schauspielerinnen nachgeahmt werden, helfen dabei, die Patientenfälle für alle Prüflinge auf demselben oder zumindest auf einem ähnlichen Leistungsniveau abzufragen. Im Vergleich zu beispielweise Multiple Choice-Prüfungen wird der Studierenden mehr Wissen abverlangt (76). Die Leistung der Studierenden kann untereinander als auch im zeitlichen Verlauf miteinander verglichen werden, was als weiterer Vorteil der OSCE-Prüfungen gilt (76). 52,2% der 1000 befragten Studierenden sahen in der Studie von Gandhi *et al.* nach Einführung und Durchführung von OSCE-Prüfungen diese als faire Prüfungsmethode an (77). Die Studie charakterisiert die OSCE-Prüfungen als Ressource-sparend und zeiteffizient (77). Auch Graham *et al.* schildert eine positive Rückmeldung von Seiten der Studierenden bezüglich der Förderung des kritischen Denkens, der Förderung der Fähigkeit, Probleme nach systematischer Vorgehensweise zu analysieren und zu lösen, sowie die richtige Beurteilung relevanter klinischer Kompetenzen (78). Stoopler *et al.* sieht weiterhin Potential die OSCE-Prüfungen online stattfinden zu lassen (79). Wie der Name „OSCE“ schon sagt, liegt der Schwerpunkt dieser Prüfungsmethode allerdings eher auf klinischen Fragestellungen. Um eine höhere Objektivität auch im vor- und präklinischen Prüfungsalltag zu etablieren, sieht die „neue“ Approbationsordnung nach §33 und §36 strukturierte und im Aufbau standardisierte, im Vorfeld angefertigte und durch eine Prüfungskommission überprüfte „strukturierte Bewertungsbögen mit einer vorgegebenen Musterlösung“ in den mündlichen Prüfungen des ersten und zweiten Abschnitts der Zahnärztlichen Prüfung (Z1, Z2) vor (80). Die Objektivität und Standardisierung wird unter anderem durch die Anfertigung von Prüfungsbögen für die mündlichen Prüfungen sowie Checklisten für den praktischen Anteil erreicht. Diese Maßnahmen sollen die Ausbildung fairer und transparenter machen. Anforderungskriterien für die einzelnen praktischen Übungen in den praktischen Kursen wurden an der Präklinik der JGU Mainz seit dem Sommersemester 2024 eingeführt und stetig weiterentwickelt. Die Studierenden können so jederzeit nachlesen, welche Kriterien ihre praktischen Arbeiten erfüllen müssen, um zum einen ein ausreichendes zahnmedizinischen Niveau zu erfüllen als auch zum Bestehen des praktischen Kursanteils auszureichen. Die Einführung von zuvor erstellten Prüfungsfragen inklusive vorher definierter Notenschlüssel und Punktesysteme soll dabei durch die Vorgabe klar definierte Kriterien und Bewertungsmaßstäbe sicherstellen, dass

alle Studierenden unter den gleichen Bedingungen geprüft und objektiv bewertet werden. Neben den Prüfungsbögen wurden im Vorfeld für die praktischen Aufgabenanteile Checklisten inklusive Punktevergabesystem mit entsprechendem „Notenschlüssel“ erstellt, was die einheitliche Bewertung der unterschiedlichen Prüferinnen verbessern soll, um ein hohes Maß an Objektivität zu gewährleisten. Ebenso wie die bereits erwähnten OSCE-Prüfungen erfordert das Erstellen der Prüfungsfragen im Vorfeld viel Zeit, was an dieser Form der Prüfungen nachteilig angesehen werden kann (76), auch wenn die eigentliche Bewertung während und nach der Prüfung als zeiteffizienter beschrieben wird. Durch die Integration einer großen Anzahl von Fragebögen für die strukturierten mündlichen Prüfungen über die Zeit wird dieser Nachteil sicherlich verbessert, da die Prüferinnen auf einen großen Fragepool zurückgreifen können, ohne dass sich Fragen in den Prüfungsdurchgängen ständig wiederholen. Die zahnärztliche Präparation ist weiterhin wichtiger Ausbildungsbestandteil im Zahnmedizinstudium und wird auch in Zukunft in den praktischen Kursen gelehrt und in Prüfungen bewertet. Dafür erscheint es sinnvoll technische Hilfsmittel wie die CAL-Software prepCheck® einzusetzen, da diese Technologien subjektive Einflüsse minimieren sowie präzise, reproduzierbare und nachvollziehbare Ergebnisse produzieren können. An der JGU Mainz wird prepCheck® in den vorklinischen Kursen von den Studierenden verwendet. Bluecams stehen dauerhaft im Kurs zur Verfügung. Die Anwendung der Bluecams wird jedoch heutzutage als zeitintensiv und frustrierend von den Studierenden der Universität in Mainz bewertet. Die Nutzung der Omnicams ist leider zeitbegrenzt, da die Geräte nur in einem kurzen Zeitraum als Leihgabe zur Verfügung stehen. Mit den Omnicams zeigen die Studierenden jedoch deutlich mehr Motivation bei der Anwendung und berichten von einem großen Nutzen von prepCheck®. Die Sirona®-Website selbst erwähnt zum Scanvorgang nur noch die CEREC Primescan und CEREC Omnicam. Auch wenn die Anschaffung und Wartung von Scannern und Software kostenintensiv ist, ist es wichtig, dass die universitäre Ausbildung auch in Sachen Ausstattung auf einem modernen und aktuellen Stand ist. Die Problematik ist den Verantwortlichen der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde und dem Zahnlabor der JGU Mainz bekannt und es ist bereits geplant, die Vor- und Präklinik mit neuen Geräten (CEREC Primescan) auszustatten.

Ein weiterer wichtiger Aspekt in Zeiten der Reform der Approbationsordnung ist, dass es bislang erhebliche Unterschiede in den Studieninhalten und Prüfungsanforderungen an den verschiedenen deutschen Universitäten gab, die durch die Einführung eines einheitlicheren Curriculums und die Neuauflage des Gegenstandskatalogs Zahnmedizin verbessert werden sollen, sodass alle Studierenden besser vergleichbare Inhalte und Kompetenzen erwerben. Die feste Etablierung objektiver Messmethoden, wie sie CAL-Software bieten, scheint damit obligat. Zusätzlich dazu fordert Zitzmann *et al.* für den internationalen Austausch eine Standardisierung des Studiums (45). Die Neugestaltung der Approbationsordnung kann

erstmalig dazu beitragen, den Austausch und die Kooperation zwischen den zahnmedizinischen Fakultäten zu fördern durch beispielsweise gemeinsame Projekte und den interdisziplinären Austausch.

Die heutige Ausbildung der als „Millennials“ und „Generation Z“ bezeichneten Generationen bedürfen ebenfalls neuer innovativer Ansätze. In der Literatur wird die Generation Z ähnlich wie die Millennials als multitaskingfähig beschrieben (81). Die Generation Z aber auch schon die Millennials sind stark von Technologien geprägt und erwarten deren Integration in die Lernumgebung (PowerPoint-Präsentationen, Videoanleitungen, Virtuelle Simulationen zum Beispiel SIMODONT® Dental Trainer, Apps etc.). Das Lernen via E-Learning und Nutzen von interaktiven Plattformen sowie weiteren digitalen Ressourcen wird von diesen Generationen als Selbstverständlichkeit angesehen (81-83). Es wird die Integration moderner Technologien in den Ausbildungsalltag gefordert (83, 84). Diese Generationen bevorzugen flexible Bildungsangebote durch ein weites Spektrum von visuellen und interaktiven Lernmöglichkeiten. Online-Kurse, hybride Lernangebote und die online-Bereitstellung einer Vielzahl von weiterführenden Lernmaterialien sind für sie attraktiv, da sie den persönlichen Lernstilen und spezifischen Zeitplänen der Studierenden gerecht werden. Kontinuierliche, sofortige und konstruktive Resonanz durch das Lehrpersonal wird aber ebenso gefordert, genauso wie die individuelle Unterstützung und der empathische Umgang mit viel Verständnis durch die Dozentinnen (82, 83, 85). Ein generationsbedingtes Umdenken der im Alter fortgeschrittenen und lange im Beruf etablierten Mentorinnen und klassischen Lehrmethoden muss daher stattfinden (81, 85).

Einige Studien zeigen eine verminderte mentale Widerstandsfähigkeit der Studierenden der jungen Generationen, die im täglichen Umgang mit den Studierenden bedacht werden muss (82, 86, 87). Fehlende Geduld, eine reduzierte Aufmerksamkeitsspanne, Sorge um die individuelle (Berufs-)zukunft und mangelndes Vertrauen in sich selbst neue Dinge auszuprobieren sind charakteristische Schwächen der Z-Generation (81, 82) und könnten auf die politischen und ökonomischen Unsicherheiten, die weltweite Bedrohung durch Gewalt und die Corona-Pandemie zurückzuführen sein, da diese Generation mit den genannten Krisen aufgewachsen sind, und müssen bei der Strukturierung der Ausbildung beachtet werden (48, 82). Pandemiebedingt wurde die Lehre international an die Herausforderungen bezüglich des Lockdowns durch beispielsweise die Einführung des remote-Arbeitens und die hybride Lehre angepasst. Durch die Pandemie wurde die Lehre der Universitäten gezwungenermaßen internetbasiert umgestellt und somit auch modernisiert. Farrokhi *et al.* nennt in diesem Zusammenhang durch die pandemiebedingte Einschränkung des Lebens an den Universitäten als auch weltweit im öffentlichen Raum, sowie durch die Kontaktbeschränkungen und zeitweiser Schließungen öffentlicher Institutionen nicht nur die Einführung hybrider Lehre (zum Beispiel virtueller interaktiver online-Unterricht, online-Informations- und

Kommunikationsplattformen wie Moodle, virtuelle Netzwerke mit Online-Veranstaltungen, Social Media, online-Examen, etc.), sondern ebenfalls zur Qualitätssicherung der Lehre die Möglichkeit tragbarer mobiler Geräte und Ausstattung, um den praktischen Lehranteil nicht einstellen zu müssen (88). Zusätzlich wird in dieser Studie ebenfalls darauf hingewiesen, dass die Zeit der Pandemie zu hohem mentalem Stress der Studierenden geführt hat und COVID-bedingte psychologische Hilfe angeboten werden sollte (88). Eine mobile zahnmedizinische Ausstattung wie beispielsweise Phantomköpfe kann auch im häuslichen Umfeld angebracht werden. Diese Möglichkeit wird auch von Galibourg *et al.* positiv bewertet (89). Fast alle vor- und präklinischen praktischen Übungen könnten räumlich distanziert somit zuhause durchgeführt werden. Tragbare Phantomköpfe, welche an einem einfachen Tisch befestigt werden können, sind im Vergleich zu Simulatoren kostengünstiger, leichter und kompakter. In Kombination mit online (live-)Unterricht mit den Lehrenden sieht Galibourg *et al.* eine Möglichkeit praktische Kurse im Ganzen aus den Universitäten auszulagern. Diese Idee ist bedingt durch die Abstandsregelung während Corona-Zeiten entstanden und hätte sowohl eine massive Platzersparnis in den Räumlichkeiten und Laboratorien der Universitäten zur Folge, könnte jedoch auch unabhängig von der Pandemie dazu beitragen, dass jede Studierende selbstständig und zeitlich unabhängig frei zu Hause praktisch üben und lernen könnte (89). Während Corona-Zeiten wurde in Folge von eingeschränktem Zugang der Studierenden zu Übungsräumen eine tragbare Lehr- und Lernplattform namens DenTeach® (Tactile Robotics Ltd., Winnipeg, Kanada) entwickelt (90). Das System bietet verschiedene Arbeitsbereiche („workstations“) und verbindet „augmented videos“, Audiosignale und taktile bzw. haptische Rückmeldung durch spezielle Handstücke (RealFeel™-Technologie) und arbeitet zudem Cloud-basiert. Die generierten Daten von Lehrpersonal- und Studierenden-Arbeitsplätzen werden miteinander verknüpft, synchronisiert und gespeichert, wodurch dieses Lehrmodell rein digital oder auch hybrid angewendet werden kann. Vorteile von DenTeach® sind die realistische Lernumgebung im Home-Training und die Kombination aus präziser Hardware und moderner Software mit ergänzendem teils virtuellem Lehrmaterial als auch mit der Möglichkeit der Kommunikation zwischen Betreuerinnen und Studierenden (90). Weiterhin sieht Cheng *et al.* DenTeach® als gute Möglichkeit die Qualität der praktischen Ausbildung bei reduzierten praktischen Lehrangeboten, wie sie auch in Mainz durch den aktuell geltenden Stundenplan vorgegeben wird, zu halten. Außerdem wird die Verbesserung der Effizienz der Lehre und die Objektivität durch standardisierte Messmethoden, die in der Lernplattform hinterlegt sind, als positiv bewertet (90).

Eine weitere Errungenschaft in der Digitalisierung der zahnmedizinischen Ausbildung und Schaffung objektiver Bewertungsmethoden ist die Entwicklung von virtual reality (VR) und augmented reality (AR). Besonders der SIMODONT® Dental Trainer (Moog Industrial Group, Amsterdam), der perioSim©, als Prototyp für die Ausbildung in der zahnmedizinischen

Parodontologie (entwickelt von der University of Illinois at Chicago, USA) und virtuelle Lehre mittels VR-Brillen sind hierbei zu nennen. Der SIMODONT® Dental Trainer ist ein hochmoderner virtueller Simulator, der die 3D-Visualisierung und das haptische Feedback miteinander kombiniert. Der Simulator ist mit einem Handstück, welches taktile Rückmeldung gibt, ausgestattet und ermöglicht dadurch, Texturen und Widerstand verschiedener Oberflächen und Materialien an die Benutzerin weiterzugeben. Der Simulator soll die benötigte Feinmotorik und die Bewegungen der Hände in Abstimmung mit den visuellen Informationen der Anwenderin bei verschiedenen virtuellen zahnmedizinischen Eingriffen verbessern. Durch die vibro-taktile Datenmessung bieten solche Simulatoren quantitative objektive Ergebnisse, anstelle der subjektiven Rückmeldung „zu viel“ oder „zu wenig“ in Bezug auf Druck oder die Umdrehungszahl der Instrumente (90). Dabei arbeiten die Studierenden in einer virtuellen dreidimensionalen Umgebung und können eine Vielzahl an Trainingsszenarien verschiedener Schwierigkeitsgrade durchführen. Die Übungen beinhalten konservierende, zahnerhaltende Maßnahmen als auch prothetische und chirurgische Eingriffe. Das Präparieren ist Teil dieser möglichen Übungen und bietet objektive Ergebnisse ähnlich der prepCheck®-Analyse. Der SIMODONT® Dental Trainer gibt objektives und präzises Echtzeit-Feedback bei der Ausführung der Arbeit (45, 90, 91). Selbstkorrekturen oder Wiederholungen durch die Studierende sind somit schnell und effektiv umsetzbar, zudem wird die bereits angesprochene Selbstevaluation gefördert (91). Die Lernfortschritte für das Aufzeigen der individuellen Performance und die Langzeitverfolgung über die Speicherung der Daten und Ergebnisse sind vorteilhaft. Die Nutzung des SIMODONT® Dental Trainers bietet eine neue Lehrmethodik, die mehr und mehr zur Anwendung in den Universitäten kommt und die theoretisch unabhängig von stundenplanvorgegebenen praktischen Arbeitszeiten ist, da sie nicht auf die Anwesenheit von Lehrkräften angewiesen ist. Zudem kann die Benutzerin selbstbestimmt in ihrem eigenen Lerntempo üben (91). Leung *et al.* sieht zudem eine Verbesserung der Präzision der Rückmeldung des Lehrpersonals, da bei Verwendung des SIMONDONT® Dental Trainers die Arbeitsweise und -schritte aufgezeichnet und vom Personal gesichtet werden können (91). So kann gezielter auf Fehler hingewiesen werden. Die Effektivität des SIMODONT® Dental Trainers als zusätzliches Lehrinstrument wurde bereits in mehreren Studien bestätigt (45, 90-93). So zeigte beispielsweise Yuan *et al.*, dass die Kombination aus klassischen Phantomkopf-Übungen und Übungen am SIMODONT® Dental Trainer zu signifikant besseren Ergebnissen bei der Präparation von Zugangskavitäten führte (93). Auch die Anwendung von VR-Brillen, z.B. bei der virtuellen prothetischen Fallplanung, wird in der Literatur als nützliches „Add-on“ in der zahnmedizinischen Ausbildung genannt (94). Zusammenfassend zeigt sich, dass Simulatoren wie der SIMODONT® Dental Trainer oder die Nutzung von VR-Brillen die Effektivität der präklinischen Lehre verbessern können. Die zur Verfügungstellung von CAL in freien Übungszeiten mit 24/7-Zugang wird zunehmend bei

abnehmender praktischer Kurszeit wichtig, um die Effektivität der Ausbildung zu fördern (67, 74). Gerade Studierende, die manuelle Schwierigkeiten haben und schlechte Bewertungen erhielten, evaluierten im Vergleich zu besser bewerteten Studierenden die prepCheck®-Software als sehr hilfreich im Lernprozess (63).

Generell wurde bei den jungen Generationen festgestellt, dass der Fokus in den Lernmethoden auf (foto-) grafisches Lernen anstelle des klassischen Lesens von Lehrbüchern zur Motivation und Aufmerksamkeit gesetzt werden sollte (82). Dazu zählen Medien wie Präsentationen, Videos, Fotos, Simulationen oder CAL-Programme. Der Einsatz dieser Medien kann sowohl in Präsenz als auch Online erfolgen. Simulationstrainings sieht Chicca *et al.* als Ersatzmöglichkeit auch in Bezug auf das Erlernen richtiger Patientenkommunikation und würde dem Lehrpersonal wiederum viel Zeit ersparen (82). Internetbasierte digitale Lehransätze können z.B. die hybride Lehre, virtuelle Gruppenarbeiten oder Online-Tutorien, Webinare, die Integration von virtueller Realität und augmented Realität, digitale durch künstliche Intelligenz unterstützte Radiologie, Lern-Apps mit ggf. auch spielerischem Ansatz z.B. mit Quiz sowie Youtube-Videos und Social Media sein (45, 82, 84, 95, 96). Auch projektbasiertes Lernen wird in diesem Zusammenhang genannt (82). Die Bereitstellung von Online Modulen verschiedenster Art mit Download- und Upload-Möglichkeit fördern das Selbststudium. Nicht alle neuen Lernmethoden müssen zwangsläufig für jedes zahnmedizinische Fach oder Übung sinnvoll sein, das Portfolio dieser genannten neuen Herangehensweisen in der Lehre können und müssen von den Lehrenden passend gewählt und genutzt werden (82). Zitzmann *et al.* fordert darüber hinaus bundesweit einheitlich akzeptierte digitale Lehrstandards (45).

## 5.4 Limitationen

Die Anzahl der analysierten Durchgänge und Anzahl der Studienteilnehmerinnen ist exemplarisch und könnte zur Bestätigung der Ergebnisse in einer größeren Kohorte und über einen längeren Zeitraum wiederholt werden. Der analoge Fragebogen umfasste nur den Präparationsparameter TOC L-B und M-D. Da prepCheck® jedoch auch die mittleren Winkel der einzelnen Zahnwände ausrechnet, wäre die Erweiterung des Fragebogens um diese Winkel auch interessant. Weiterhin bezieht sich die Notenbewertung der Präparation auf die Gesamtpräparation und nicht nur auf den Konvergenzwinkel, da weitere Einflussgrößen wie der Substanzabtrag und die Einschubrichtung der Gesamtpräparation der Brücke 34 auf 36 sowie andere Präparations-Parameter eine wichtige Rolle bei der Notenfindung spielen. Diese Kriterien, wie sie beispielsweise von prepCheck® analysiert werden, umfassen Unterschnitte, Oberflächenbeschaffenheit und Substanzabtrag und wurden in der Studie nicht beachtet. Das

Landesprüfungsamt bestellt die Prüferinnen für die jeweiligen staatlichen Prüfungen aus einem gewissen „Prüferinnen-Pool/-Bestand“, weswegen es zu einer ungleichen Anzahl an oberärztlichen Prüferinnen (Anzahl: drei) und Assistenzzahnärztinnen (Anzahl: zwei) über die drei beobachteten Durchgänge der Zahnärztlichen Vorprüfung kam. Um die Ergebnisse im Vergleich des Erfahrungsstandes „versierte Oberärztinnen vs. Assistenzzahnärztinnen“ eindeutig belegen zu können, benötigt es weiterer Studien idealerweise mit einer gleichmäßigeren Verteilung bzgl. der Berufserfahrung der Prüferinnen und ähnlich großer Fallzahlen. In dieser Studie war die Verteilung der Fälle zwischen den Gruppen sehr unterschiedlich ( $n_{\text{Oberärztinnen}}=171$  vs.  $n_{\text{Assistenzärztinnen}}=55$ ) und gerade die Anzahl der durch Assistenzzahnärztinnen bewerteten Zähne zu gering für einen allgemeinen Trend, weshalb es weiterer Studien zur Überprüfung bedarf. Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass das Lehrpersonal sich innerhalb des Teams stetig kalibrieren sollte, um den Studierenden eine einheitliche objektive Rückmeldung geben zu können. Eine zusätzliche Befragung der Studierenden zum Umgang mit der CAL-Software könnte in weiteren Studien sinnvoll sein, gerade bei Befragung der Studierenden, die unter der neuen Approbationsordnung studieren und deren Generationen auf eine Innovation der „alten Schule“ durch moderne Lehr- und Lernmethoden, wie bereits beschrieben, insistieren. Dies alles gilt es in weiteren Studien zu erforschen, um die Lehre auf einen modernen Entwicklungsstand zu aktualisieren für eine optimale Qualität der Ausbildung.

## 5.5 Aussicht

Wie bereits beschrieben kann die Verbindung moderner Technologien in den face-to-face Ausbildungsalltag die Qualität der Ausbildung der jungen Generationen verbessern (84, 97). Die Etablierung von CAL-Software wie prepCheck®, E4D Compare® oder Dental Teacher™ (KaVo®, Biberach, Deutschland) in den Kurs- aber auch in den Bewertungsalltag an der JGU Mainz sollte zeitnah umgesetzt werden, auch wenn dies eine hohe finanzielle Belastung der Universität durch Anschaffung neuer Geräte und einer modernen Arbeitseinrichtung bedeutet. Die heutzutage nötige Vergrößerung der technischen Infrastruktur an den Universitäten, benötigt (in Zukunft) Zugang zu technischem Support (45). Sinnvoll wäre es außerdem den Studierenden 24/7-Zugang zu den Geräten zum selbstständigen Üben zu gewähren. Zusätzlich sollte darauf geachtet werden, dass die CAD/CAM und CAL-Anwendungen auf einem aktuellen Stand sind und sowohl Studierende als auch Mentorinnen regelmäßig und eingehend in deren richtigen und kompetenten Umgang geschult werden. Dies alles sind Faktoren, die es beim Lehren und Lernen mit den jungen Generationen umzusetzen gilt.

Zukünftig wäre es interessant, eine Population von Studierenden zu Beginn des Studiums und nach ihrer letzten Prüfung in Bezug auf den Lernerfolg beim Präparieren unter neuen modernen Lernmethoden, inklusive Nutzung von CAL-Software, e-Learning-Methoden, Simulatoren wie SIMODONT® Dental Trainer und VR- bzw. AR-unterstützten Lehrmodulen, zu untersuchen. Gerade in Zeiten von Lehrkräftemangel durch Einsparung in den Personalkosten und einem höheren gemeldeten Krankheitsstand in der Bevölkerung, also auch unter den Dozentinnen, ist die Etablierung neuer zusätzlicher Lernmethoden als Ressource- und zeitsparende Maßnahme als auch zur Aufrechterhaltung einer hohen Qualität der Ausbildung obligat (82, 91). Zudem erscheint es sinnig, Simulatoren und CAL-Software zur Entlastung des Personals und für mehr Flexibilität und Individualität in der Lehre einzusetzen (45, 67, 90, 91, 98). Ein weiterer Vorteil, welcher als denkbar und sinnvoll erscheint bei der Nutzung von neuen modernen Lehr- und Lernmethoden, wäre der unkomplizierte kommunikative (Daten-)Austausch interuniversitär innerhalb Deutschlands. Es könnte sich beispielsweise herausstellen, dass die Lehrmethoden einer Universität zu deutlich besseren Ergebnissen des TOCs bei den Studierenden führen, zum Beispiel durch die feste Integration von weiteren Technologien, wie etwa dem SIMODONT® Dental Trainer, in das Curriculum. Sollte dies der Fall sein, könnten diese zusätzlichen Technologien und Lehrmethoden ebenfalls an den anderen Universitäten etabliert werden. Auch eine internationale interuniversitäre Zusammenarbeit könnte in Betracht gezogen werden, um nach dem „best practices“-Prinzip in allen im Austausch stehenden Universitäten die Lehre kontinuierlich zu verbessern und optimale Lehrbedingungen für die Studierenden zu schaffen

## **6 Zusammenfassung**

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse dieser Arbeit, dass die konventionelle Bewertungsmethode der visuellen Beurteilung der TOCs eine gewisse Übereinstimmung mit den objektiven Messungen durch die prepCheck®-Software aufweist, jedoch trotz dieser Similaritäten signifikante Differenzen bestehen. Die Beobachtungen deuten auf die Notwendigkeit weiterer Verbesserungen in der Beurteilungspraxis und die feste Etablierung einer zusätzlichen objektiven Bewertungsmethode mittels CAL-Software gerade in Prüfungssituationen hin. Die dieser Arbeit zugrunde liegende Nullhypothese muss somit verworfen werden. Die alleinige Anwendung von CAL für die Studierenden im Kursalltag erscheint nicht ausreichend, sie muss ebenso fester Bestandteil als zusätzliche Bewertungsmethode in Prüfungssituationen werden.

Die Nutzung von prepCheck® oder anderen modernen CAL-Anwendungen und modernen hybriden Lehrmethoden im Kursalltag aber auch in Prüfungssituationen kann eine Menge von

Vorteilen bieten. Gerade in Bezug auf die die Qualität der Ausbildung und einer gerechten und akkuraten Bewertung erscheint die Etablierung von objektiven Bewertungstools vielversprechend. Diese Objektivität dient ebenfalls der Qualitätssicherung bzw. -verbesserung, welche die Innovationsfähigkeit der Universitäten fördern. In diesem Zusammenhang sei ebenfalls erwähnt, dass sich moderne und neue Lehrmethoden positiv auf die individuelle Produktivität und die Lernprozesse auswirken können. Digitale Lehransätze werden von den Studierenden als auch Lehrenden heutzutage als motivierend, stimulierend und positiv bezüglich der individuellen Konfigurierbarkeit betrachtet (45, 98). Gleichmaßen wir aber auch eine pragmatisch konstruktive, transparente und rationale Lehre gefordert (82). CAL-Software und Simulatoren können durch ihre Standardisierung von Bewertungs- und Analyseprozessen und das verfügbare objektive Feedback, als auch durch die Unterstützung durch datengesicherte Übungsabläufe bedeutend dazu beitragen, den gesamten Ausbildungsprozess in der Zahnmedizin zu modernisieren und zu optimieren. Das betrifft nicht nur die persönliche manuelle Geschicklichkeits- und Kompetenzentwicklung einer jeden Studierenden, sondern auch im Gesamtkontext die universale Sicherung des Lehrniveaus der zahnmedizinischen Ausbildungseinrichtungen. Zusätzlich dazu wird dieses Konzept dem Anspruch der jungen Generationen gerecht. Weitere Studien bzgl. des optimalen Einsatzes der digitalen Technologien in der Lehre an der JGU Mainz sollten in Zukunft durchgeführt werden, um die Lehre für die Zahnmedizinierenden bestmöglich und auf dem neusten Stand der Technik zu gestalten.

## 7 Literaturverzeichnis

1. Urban R. Studienordnung für den Studiengang Zahnmedizin an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz 2010 [Available from: [https://www.um-mainz.de/typo3temp/secure\\_downloads/23556/0/da53c0bd6e9bd6323067dc7c66cac3c15a87bcb0/Studienordnung\\_Zahnmedizin-11-05-31.pdf](https://www.um-mainz.de/typo3temp/secure_downloads/23556/0/da53c0bd6e9bd6323067dc7c66cac3c15a87bcb0/Studienordnung_Zahnmedizin-11-05-31.pdf)].
2. APPROBATIONSORDNUNG FÜR ZAHNÄRZTE 1955 [Available from: [https://www.um-mainz.de/typo3temp/secure\\_downloads/23556/0/459a3404e492c707be3cc7d99db12e6191fa4264/AppO\\_Zahnmedizin.pdf](https://www.um-mainz.de/typo3temp/secure_downloads/23556/0/459a3404e492c707be3cc7d99db12e6191fa4264/AppO_Zahnmedizin.pdf)].
3. JØRgensen KD. The relationship between retention and convergence angle in cemented veneer crowns. *Acta Odontol Scand.* 1955;13(1):35-40.
4. Goodacre CJ, Campagni WV, Aquilino SA. Tooth preparations for complete crowns: an art form based on scientific principles. *J Prosthet Dent.* 2001;85(4):363-76.
5. Kern MW, S.; Heydecke, G.; Witkowski, S.; Türp, J.C.; Strub, J.R. Curriculum Prothetik. 5. überarbeitete und erweiterte Auflage ed: Quintessence Publishing; 2022 2022. 440 p.
6. Sato T, Al Mutawa N, Okada D, Hasegawa S. A clinical study on abutment taper and height of full cast crown preparations. *J Med Dent Sci.* 1998;45(3):205-10.
7. Güth JF, Wallbach J, Stimmelmayer M, Gernet W, Beuer F, Edelhoff D. Computer-aided evaluation of preparations for CAD/CAM-fabricated all-ceramic crowns. *Clin Oral Investig.* 2013;17(5):1389-95.
8. Koeck B. Praxis der Zahnheilkunde - Kronen- und Brückenprothetik. München; Stuttgart; Jena; Lübeck; Ulm: Urban & Fischer Verlag; 1999.
9. Farshad B, Ehsan G, Mahmoud S, Reza K, Mozhdeh B. Evaluation of resistance form of different preparation features on mandibular molars. *Indian J Dent Res.* 2013;24(2):216-9.
10. Tiu J, Al-Amleh B, Waddell JN, Duncan WJ. Clinical tooth preparations and associated measuring methods: a systematic review. *J Prosthet Dent.* 2015;113(3):175-84.
11. Hupfaut L. Praxis der Zahnheilkunde - Festsitzender Zahnersatz. München: Urban & Schwarzenberg; 1993.
12. Shillingburg HH, S.; Whitsett, L. Grundlagen der Kronen- und Brückenprothetik. Berlin: Buch- und Zeitschriftenverlag „Die Quintessenz“; 1977.
13. Trier AC, Parker MH, Cameron SM, Brousseau JS. Evaluation of resistance form of dislodged crowns and retainers. *J Prosthet Dent.* 1998;80(4):405-9.
14. Körber K. Zahnärztliche Prothetik. Stuttgart; New York: Thieme; 1995.
15. Nordlander J, Weir D, Stoffer W, Ochi S. The taper of clinical preparations for fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent.* 1988;60(2):148-51.
16. Kaufman EG, Coelho DH, Colin L. Factors influencing the retention of cemented gold castings. *The Journal of prosthetic dentistry.* 1961;11(3):487-502.
17. Wilson AH, Jr., Chan DC. The relationship between preparation convergence and retention of extracoronal retainers. *J Prosthodont.* 1994;3(2):74-8.
18. Erhatic JB, F. Der Stumpfpräparationswinkel für konventionelle Zementierung – Definition und Realisierbarkeit. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift.* 2013(68):170-6.
19. Leempoel PJ, Lemmens PL, Snoek PA, van 't Hof MA. The convergence angle of tooth preparations for complete crowns. *J Prosthet Dent.* 1987;58(4):414-6.
20. Noonan JE, Jr., Goldfogel MH. Convergence of the axial walls of full veneer crown preparations in a dental school environment. *J Prosthet Dent.* 1991;66(5):706-8.
21. Strain KJ, Mackie J, Bonsor SJ, Macfarlane TV. Crown Taper Angles Achieved by Dental Students: A Systematic Review. *J Dent Educ.* 2018;82(11):1203-12.
22. Parker MH, Calverley MJ, Gardner FM, Gunderson RB. New guidelines for preparation taper. *J Prosthodont.* 1993;2(1):61-6.
23. Parker MH, Gunderson RB, Gardner FM, Calverley MJ. Quantitative determination of taper adequate to provide resistance form: concept of limiting taper. *J Prosthet Dent.* 1988;59(3):281-8.
24. Yoon SS, Cheong C, Preisser J, Jr., Jun S, Chang BM, Wright RF. Measurement of total occlusal convergence of 3 different tooth preparations in 4 different planes by dental students. *J Prosthet Dent.* 2014;112(2):285-92.

25. Marxkors R. Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik. 3ed. Köln, München: Deutscher Zahnärzte Verlag; 2000.
26. Fuhr KR, Th. Kronenprothetik. München; Wien; Baltimore: Urban und Schwarzenberg; 1996.
27. Ohm E, Silness J. The convergence angle in teeth prepared for artificial crowns. *J Oral Rehabil.* 1978;5(4):371-5.
28. Al-Omari WM, Al-Wahadni AM. Convergence angle, occlusal reduction, and finish line depth of full-crown preparations made by dental students. *Quintessence Int.* 2004;35(4):287-93.
29. Aleisa K, Al-Dwairi ZN, Alwazzan K, Al-Moither M, Al-Shammari M, Lynch E. Convergence angles of clinical tooth preparations achieved by dental students at King Saud University, Saudi Arabia. *J Dent Educ.* 2013;77(9):1154-8.
30. Annerstedt A, Engström U, Hansson A, Jansson T, Karlsson S, Liljhagen H, et al. Axial wall convergence of full veneer crown preparations. Documented for dental students and general practitioners. *Acta Odontol Scand.* 1996;54(2):109-12.
31. Poon BK, Smales RJ. Assessment of clinical preparations for single gold and ceramometal crowns. *Quintessence Int.* 2001;32(8):603-10.
32. Ayad MF, Maghrabi AA, Rosenstiel SF. Assessment of convergence angles of tooth preparations for complete crowns among dental students. *J Dent.* 2005;33(8):633-8.
33. Alhazmi M, El-Mowafy O, Zahran MH, Uctasli S, Alkumru H, Nada K. Angle of convergence of posterior crown preparations made by predoctoral dental students. *J Dent Educ.* 2013;77(9):1118-21.
34. Marghalani TY. Convergence angles of metal ceramic crowns prepared by dental students. *J Prosthet Dent.* 2014;112(5):1250-6.
35. Rafeek RN, Marchan SM, Seymour KG, Zou LF, Samarawickrama DY. Abutment taper of full cast crown preparations by dental students in the UWI School of Dentistry. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2006;14(2):63-6.
36. Rafeek RN, Smith WA, Seymour KG, Zou LF, Samarawickrama DY. Taper of full-veneer crown preparations by dental students at the University of the West Indies. *J Prosthodont.* 2010;19(7):580-5.
37. Amine M, Wahid HO, Fahi S, Lehmouddi S, Hamza M, Elarabi S. Assessment of Convergence Angle of Tooth Preparations for Complete Crowns Among Dental Students: Typodont vs Simulator. *Int J Dent.* 2022;2022:7615892.
38. Schriwer C, Gjerdet NR, Arola D, Øilo M. The effect of preparation taper on the resistance to fracture of monolithic zirconia crowns. *Dent Mater.* 2021;37(8):e427-e34.
39. Gente M. Empfehlungen zur Verringerung des Risikos des Vitalitätsverlustes bei Überkronung: Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift; 2007 [Gemeinsame Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde/DGZPW und der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde/DGZMK V 1.0]. Available from: [https://www.dgzmk.de/documents/10165/1936281/Empfehlungen\\_zur\\_Verringerung\\_des\\_Risikos\\_des\\_Vitalitaetsverlustes\\_bei\\_Ueberkronung.pdf/94caf08d-1e30-475e-96f0-dce32b731348](https://www.dgzmk.de/documents/10165/1936281/Empfehlungen_zur_Verringerung_des_Risikos_des_Vitalitaetsverlustes_bei_Ueberkronung.pdf/94caf08d-1e30-475e-96f0-dce32b731348).
40. Wenz H-JH, E. Zahnärztliche Propädeutik. 14. Auflage ed: Deutsche Zahnärzte Verlag; 2018. 420 p.
41. Kerschbaum T. Das Risiko des Vitalitätsverlustes nach einer Überkronung: Deutsche Gesellschaft für Zahn-,Mund- und Kieferheilkunde; 1998 [Available from: [https://www.dgzmk.de/documents/10165/1936687/Das\\_Risiko\\_des\\_Vitalitaetsverlustes\\_nach\\_einer\\_Ueberkronung.pdf/2f2555bd-0afc-40e1-8399-7211b838be80](https://www.dgzmk.de/documents/10165/1936687/Das_Risiko_des_Vitalitaetsverlustes_nach_einer_Ueberkronung.pdf/2f2555bd-0afc-40e1-8399-7211b838be80)].
42. Kontakiotis EG, Filippatos CG, Stefopoulos S, Tzanetakis GN. A prospective study of the incidence of asymptomatic pulp necrosis following crown preparation. *Int Endod J.* 2015;48(6):512-7.
43. Smith CT, Gary JJ, Conkin JE, Franks HL. Effective taper criterion for the full veneer crown preparation in preclinical prosthodontics. *J Prosthodont.* 1999;8(3):196-200.

44. Seo YJ, Kwon TK, Han JS, Lee JB, Kim SH, Yeo IS. The reliability of an easy measuring method for abutment convergence angle with a computer-aided design (CAD) system. *J Adv Prosthodont.* 2014;6(3):185-93.
45. Zitzmann NU, Matthisson L, Ohla H, Joda T. Digital Undergraduate Education in Dentistry: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(9).
46. Wu QJ, Wang X, Jin D, Zhang ZS, Jiang F, Wen J, et al. Validation of Digital Evaluation in Systematic Training on Tooth Preparation in Aesthetic Veneer Rehabilitation. *Chin J Dent Res.* 2021;24(1):55-60.
47. Meng L, Hua F, Bian Z. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): Emerging and Future Challenges for Dental and Oral Medicine. *J Dent Res.* 2020;99(5):481-7.
48. Marshall AL, Wolanskyj-Spinner A. COVID-19: Challenges and Opportunities for Educators and Generation Z Learners. *Mayo Clin Proc.* 2020;95(6):1135-7.
49. Kwon SR, Hernández M, Blanchette DR, Lam MT, Gratton DG, Aquilino SA. Effect of Computer-Assisted Learning on Students' Dental Anatomy Waxing Performance. *J Dent Educ.* 2015;79(9):1093-100.
50. Miyazono S, Shinozaki Y, Sato H, Isshi K, Yamashita J. Use of Digital Technology to Improve Objective and Reliable Assessment in Dental Student Simulation Laboratories. *J Dent Educ.* 2019;83(10):1224-32.
51. Hamil LM, Mennito AS, Renné WG, Vuthiganon J. Dental students' opinions of preparation assessment with E4D compare software versus traditional methods. *J Dent Educ.* 2014;78(10):1424-31.
52. Matthisson L, Zitzmann NU, Zaugg LK, Joda T. Potential of intraoral optical scanning to evaluate motor skills' improvement for tooth preparation: A prospective cohort study. *Eur J Dent Educ.* 2022;26(4):669-75.
53. Mays KA, Levine E. Dental students' self-assessment of operative preparations using CAD/CAM: a preliminary analysis. *J Dent Educ.* 2014;78(12):1673-80.
54. Nick DR, Clark M, Miler J, Ordelheide C, Goodacre C, Kim J. The ability of dental students and faculty to estimate the total occlusal convergence of prepared teeth. *J Prosthet Dent.* 2009;101(1):7-12.
55. Felber R. Die digitale Zahnheilkunde in Forschung und Lehre - Mit der CAD/CAM-Technologie erschließen sich neue Möglichkeiten zur objektiven Bewertung von Präparationen in der studentischen Ausbildung  
. *Digital Dental Magazin.* 2014:60-7.
56. : Dentsply Sirona; [Available from: <https://www.dentsplysirona.com/de-de/entdecken/produktmarken-entdecken/prepcheck.html>].
57. GmbH SDS. Shaping the future - CAD/CAM in university training2019 29.07.2024. Available from: [dentsplysirona.com/clinics](https://www.dentsplysirona.com/clinics).
58. Schlenz MA, Michel K, Wegner K, Schmidt A, Rehmann P, Wöstmann B. Undergraduate dental students' perspective on the implementation of digital dentistry in the preclinical curriculum: a questionnaire survey. *BMC Oral Health.* 2020;20(1):78.
59. Wolgin M, Frank W, Kielbassa AM. Development of an analytical prepCheck-supported approach to evaluate tutor-based assessments of dental students' practical skills. *Int J Comput Dent.* 2018;21(4):313-22.
60. Wolgin M, Grabowski S, Elhadad S, Frank W, Kielbassa AM. Comparison of a prepCheck-supported self-assessment concept with conventional faculty supervision in a pre-clinical simulation environment. *Eur J Dent Educ.* 2018;22(3):e522-e9.
61. Jorquera G, Sánchez JP, Sampaio CS, Atria P, Fernández E. Improvement preclinical and clinical skills for dental preparations using assisted training software. *Eur J Dent Educ.* 2021;25(4):856-63.
62. Lenherr P, Marinello CP. [prepCheck computer-supported objective evaluation of students preparation in preclinical simulation laboratory]. *Swiss Dent J.* 2014;124(10):1085-92.
63. Park CF, Sheinbaum JM, Tamada Y, Chandiramani R, Lian L, Lee C, et al. Dental Students' Perceptions of Digital Assessment Software for Preclinical Tooth Preparation Exercises. *J Dent Educ.* 2017;81(5):597-603.

64. Kunkel TC, Engelmeier RL, Shah NH. A comparison of crown preparation grading via PrepCheck versus grading by dental school instructors. *Int J Comput Dent.* 2018;21(4):305-11.
65. Gratton DG, Kwon SR, Blanchette DR, Aquilino SA. Performance of two different digital evaluation systems used for assessing pre-clinical dental students' prosthodontic technical skills. *Eur J Dent Educ.* 2017;21(4):252-60.
66. Welk A, Splieth C, Wierinck E, Gilpatrick RO, Meyer G. Computer-assisted learning and simulation systems in dentistry - a challenge to society. *Int J Comput Dent.* 2006;9(3):253-65.
67. Schitteck M, Mattheos N, Lyon HC, Attström R. Computer assisted learning. A review. *Eur J Dent Educ.* 2001;5(3):93-100.
68. Esser C, Kerschbaum T, Winkelmann V, Krage T, Faber FJ. A comparison of the visual and technical assessment of preparations made by dental students. *Eur J Dent Educ.* 2006;10(3):157-61.
69. Kozarowska A, Larsson C. Implementation of a digital preparation validation tool in dental skills laboratory training. *Eur J Dent Educ.* 2018;22(2):115-21.
70. Corne P, Joseph D, Hirtz P, Durand JC, Fages M, Vincent M, et al. Study of the use in autonomy of intraoral scanning systems to optimise dental students' performances in fixed prosthodontics practical learning in second year. *Eur J Dent Educ.* 2023;27(4):888-97.
71. GmbH SDS. prepCheck 5.0.x Vollautomatische 3D-Analyse von Zahnpräparationen und appliziertem Füllungsmaterial [PDF]. Bensheim2020. Available from: <https://www.dentsplysirona.com/content/dentsply-sirona-dt/de/de/customer-support/download-center/download-details.html?assetPath=/content/dam/master/product-procedure-brand-categories/cerec/product-categories/software/prepcheck/ifu/CER-IFU-prepCheck-5.0.x-DE-6455377-2020-03-13.pdf>.
72. Schepke U, van Wulfften Palthe ME, Meisberger EW, Kerdijk W, Cune MS, Blok B. Digital assessment of a retentive full crown preparation-An evaluation of prepCheck in an undergraduate pre-clinical teaching environment. *Eur J Dent Educ.* 2020;24(3):407-24.
73. Kwon SR, Restrepo-Kennedy N, Dawson DV, Hernandez M, Denehy G, Blanchette D, et al. Dental anatomy grading: comparison between conventional visual and a novel digital assessment technique. *J Dent Educ.* 2014;78(12):1655-62.
74. Stoilov M, Trebess L, Klemmer M, Stark H, Enkling N, Kraus D. Comparison of Digital Self-Assessment Systems and Faculty Feedback for Tooth Preparation in a Preclinical Simulation. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(24).
75. Gratton DG, Kwon SR, Blanchette D, Aquilino SA. Impact of Digital Tooth Preparation Evaluation Technology on Preclinical Dental Students' Technical and Self-Evaluation Skills. *J Dent Educ.* 2016;80(1):91-9.
76. Harden RM, Stevenson M, Downie WW, Wilson GM. Assessment of clinical competence using objective structured examination. *Br Med J.* 1975;1(5955):447-51.
77. Gandhi P, Singh HP, Chaturvedi S, Gondhalekar RV, Halappa TS, Gandhi V. Assessment of Perception of Dental Students to OSCE Exams: A Cross-Sectional Study. *J Pharm Bioallied Sci.* 2023;15(Suppl 2):S1311-s3.
78. Graham R, Zubiaurre Bitzer LA, Mensah FM, Anderson OR. Dental student perceptions of the educational value of a comprehensive, multidisciplinary OSCE. *J Dent Educ.* 2014;78(5):694-702.
79. Stoopler ET, Tanaka TI, Sollecito TP. Hospital-based dental externship during COVID-19 pandemic: Think virtual! *Spec Care Dentist.* 2020;40(4):393-4.
80. Approbationsordnung für Zahnärzte und Zahnärztinnen (ZApprO) 2019 [Available from: <https://www.gesetze-im-internet.de/zappro/BJNR093310019.html#BJNR093310019BJNG000200000>].
81. Turner A. Generation Z: Technology and Social Interest. *The Journal of Individual Psychology.* 2015(71):103-13.
82. Jennifer Chicca TS. Connecting with Generation Z: Approaches in Nursing Education. *Teaching and Learning in Nursing.* 2018;Volume 13(Issue 3):180-4.
83. Shorey S, Chan V, Rajendran P, Ang E. Learning styles, preferences and needs of generation Z healthcare students: Scoping review. *Nurse Educ Pract.* 2021;57:103247.

84. Bock A, Kniha K, Goloborodko E, Lemos M, Rittich AB, Möhlhenrich SC, et al. Effectiveness of face-to-face, blended and e-learning in teaching the application of local anaesthesia: a randomised study. *BMC Med Educ.* 2021;21(1):137.
85. Mohr KA, Mohr ES. Understanding Generation Z students to promote a contemporary learning environment. *Journal on empowering teaching excellence.* 2017;1(1):9.
86. Twenge JM, Joiner TE, Rogers ML, Martin GN. Increases in Depressive Symptoms, Suicide-Related Outcomes, and Suicide Rates Among U.S. Adolescents After 2010 and Links to Increased New Media Screen Time. *Clinical Psychological Science.* 2018;6:17 - 3.
87. Twenge JM, Cooper AB, Joiner TE, Duffy ME, Binau SG. Age, period, and cohort trends in mood disorder indicators and suicide-related outcomes in a nationally representative dataset, 2005-2017. *J Abnorm Psychol.* 2019;128(3):185-99.
88. Farrokhi F, Mohebzi SZ, Farrokhi F, Khami MR. Impact of COVID-19 on dental education- a scoping review. *BMC Med Educ.* 2021;21(1):587.
89. Galibourg A, Maret D, Monsarrat P, Nasr K. Impact of COVID-19 on dental education: How could pre-clinical training be done at home? *J Dent Educ.* 2020;84(9):949.
90. Cheng L, Kalvandi M, McKinstry S, Maddahi A, Chaudhary A, Maddahi Y, et al. Application of DenTeach in Remote Dentistry Teaching and Learning During the COVID-19 Pandemic: A Case Study. *Front Robot AI.* 2020;7:611424.
91. Leung AL, Yeung C, Chu S, Wong AW, Yu OY, Chu CH. Use of Computer Simulation in Dental Training with Special Reference to Simodont. *Dent J (Basel).* 2021;9(11).
92. Haroon Z, Azad AA, Sharif M, Aslam A, Arshad K, Rafiq S. COVID-19 Era: Challenges and Solutions in Dental Education. *J Coll Physicians Surg Pak.* 2020;30(10):129-31.
93. Yuan CY, Wang XY, Dong YM, Gao XJ. [Effect of digital virtual simulation system for preclinical teaching of access and coronal cavity preparation]. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 2021;56(5):479-84.
94. Liebermann A, Bjelopavlovic M, Rauch A, Schlenz MA, Erdelt K. Assessment of a virtual prosthetic case planning environment for dental education - A multicentric analysis. *Eur J Dent Educ.* 2024;28(1):275-86.
95. Rapp AK, Healy MG, Charlton ME, Keith JN, Rosenbaum ME, Kapadia MR. YouTube is the Most Frequently Used Educational Video Source for Surgical Preparation. *J Surg Educ.* 2016;73(6):1072-6.
96. Tackett S, Slinn K, Marshall T, Gaglani S, Waldman V, Desai R. Medical Education Videos for the World: An Analysis of Viewing Patterns for a YouTube Channel. *Acad Med.* 2018;93(8):1150-6.
97. Haridy R, Abdalla MA, Kaisarly D, Gezawi ME. A cross-sectional multicenter survey on the future of dental education in the era of COVID-19: Alternatives and implications. *J Dent Educ.* 2021;85(4):483-93.
98. Anwar A, Mansoor H, Faisal D, Khan HS. E-Learning amid the COVID-19 Lockdown: Standpoint of Medical and Dental Undergraduates. *Pak J Med Sci.* 2021;37(1):217-22.

## **8 Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei allen bedanken, die mich bei dieser Arbeit unterstützt haben. Vielen Dank an meine Familie und meine Freunde für die stetige Unterstützung und Motivation während dieser Zeit.