

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung, Parodontologie, Endodontologie,
Präventive Zahnmedizin und Kinderzahnheilkunde
(Leiter: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Thomas Kocher)
im Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
(Geschäftsführender Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Karl-Friedrich Krey)
der Universitätsmedizin der Universität Greifswald

**„Evaluation der Vermittlung des
zahnmedizinischen deklarativen und non-deklarativen Wissens
durch die Anwendung computergestützter Patientensimulatoren“**

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Zahnmedizin
(Dr. med. dent.)
der
Universitätsmedizin
der
Universität Greifswald
Greifswald
2021

vorgelegt von: Moritz Rosenwinkel
geb. am: 30.03.1992 in Bremen

Dekan: Prof. Dr. med. Karlhans Endlich

1. Gutachter: Prof. Dr. Alexander Welk

2. Gutachter: Prof. Dr. Rainer Haak

(3. Gutachter:)

Ort, Raum: Greifswald, Hörsaal ZZMK Zahnklinik Greifswald

Tag der Disputation: 12.10.2021

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Die Entwicklung innerhalb der zahnmedizinischen Ausbildung	1
1.2 Der Weg der konventionellen Lehre zur Virtual Reality	4
1.3 Computergestützte Patientensimulatoren	5
1.3.1 Definition der „Virtual - und Augmented Reality“	5
1.3.2 Simulatoren in der zahnmedizinischen Ausbildung	5
1.3.3 DentSim™ – E-Learning in der zahnmedizinischen Ausbildung	6
1.4 Theorien des multimedialen Lernens	9
1.4.1 Lerntheorie: Kognitivismus als Teil der Kognition	10
1.5 Wissensmanagement	14
1.5.1 Deklaratives/Explizites Wissen in der zahnmedizinischen Ausbildung	14
1.5.2 Non-Deklaratives/Implizites Wissen i. d. zahnmedizinischen Ausbildung	15
1.5.3 Wissensmodellierung - “Knowledge Engineering”	20
1.6 Zielsetzung der Arbeit	21
2. Material und Methoden	22
2.1 DentSim™ und konventionelle Lehre	22
2.2 Studiendesign und Kohortenbildung	23
2.2.1 Präparationstest und Visualisierungs-Leistungsprüfsystem	25
2.2.2 Versuchsablauf des praktischen Teils	28
2.2.3 Versuchsablauf des theoretischen Teils	33
2.3 Auswertung	35
2.3.1 Auswertung des Vorwissens	36
2.3.2 Auswertung des praktischen Teils	39
2.3.3 Auswertung des theoretischen Teils	42
2.4 Angewandte statistische Verfahren	44
3. Ergebnisse	45
3.1 Praktischer Teil	45
3.1.1 Deskriptive Statistik der Präparationsqualität	45
3.1.2 Statistische Auswertung der Präparationsqualität	50
3.1.3 Deskriptive Statistik des Präparationsprozesses	54
3.1.4 Statistische Auswertung des Präparationsprozesses	56

3.2 <i>Theoretischer Teil</i>	58
3.2.1 Deskriptive Statistik des Endtestats – Erkennen der Abweichungen	58
3.2.2 Statistische Auswertung des Endtestats	62
3.2.3 Korrelation zwischen Visualisierungs-Leistungsprüfsystem und Abweichungserkennungs-Rate	64
4. Diskussion	65
4.1 <i>Diskussion der Materialien und Methoden</i>	66
4.1.1 Probanden	66
4.1.2 Vorbereitung der Probanden	67
4.1.3 Untersuchungsgegenstand	68
4.1.4 Durchführung und Auswertung des praktischen Teils	69
4.1.5 Durchführung und Auswertung des theoretischen Teils	72
4.2 <i>Diskussion der Ergebnisse</i>	76
4.2.1 Praktischer Teil – Diskussion der Ergebnisse der Qualitätsanalyse	76
4.2.2 Praktischer Teil – Diskussion der Ergebnisse der Prozessanalyse	78
4.2.3 Praktischer Teil - Zusammenfassung	81
4.3.1 Theoretischer Teil – Diskussion des Endtestates	84
4.3.2 Theoretischer Teil – Diskussion der Korrelation zwischen Visualisierungs-Leistungsprüfsystem und Abweichungserkennungs-Rate	88
5. Schlussfolgerung / Ausblick	89
6. Zusammenfassung	90
7. Abbildungsverzeichnis	92
8. Tabellenverzeichnis	93
9. Literaturverzeichnis	94
10. Anhang	103

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Abw	Abweichung
AbwER	Abweichungserkennungs-Rate
AR	Augmented Reality
CAL	Computer-assisted-learning (Computer-assistiertes-Lernen)
CATLM	kognitiv-affektive Theorie des Lernens mit Medien von Moreno
DG	DentSim TM -trainierte Gruppe / Versuchsgruppe
ICC	Intra-Class-Correlation (Intraklassen-Korrelation)
KG	konventionell-trainierte Gruppe / Kontroll-Gruppe
KKP	Korrelations-Koeffizient nach Pearson
KP	Knotenpunkt
KZG	Langzeitgedächtnis
LZG	Kurzzeitgedächtnis
Modell _k	Modellzahn aus Gips mit vorgegebener Kavität
POL	Problemorientiertes Lernen
Tab.	Tabelle
VLPS	Visualisierungs-Leistungsprüfsystem
VR	Virtual Reality
36o	36 F _{A1} I (o) (Amalgam-Kavität)
37mo	37 F _{A2} II (mo) (Amalgam-Kavität)

1. Einleitung

1.1 Die Entwicklung innerhalb der zahnmedizinischen Ausbildung

Die Integration neuer Technologien in das medizinische Curriculum ist weltweit verbreitet. Ziv et al. (2003) berichten in einer Studie, dass die Anwendung klinischer Patientensimulatoren in der Lehre zu einer Verbesserung der Fertigkeiten führt, ohne dabei echte Patienten zu gefährden.

In den letzten 30 Jahren wurden immer mehr Computersimulatoren in Hochrisiko-Bereichen, in denen kleinste Fehler schwerwiegende Folgen haben können, integriert. Einen beispielhaften Erfolg stellt der Einsatz von Flugsimulatoren während der Ausbildung junger Piloten dar (Allerton 2010). Im Gesundheitswesen findet diese Technik schon seit mehr als 20 Jahren immer häufiger Anwendung (Ota et al. 1995, Euliano et al. 1997, Larsson et al. 1997, Reinig et al. 1997, Lamkin-Kennard 1998, Issenberg et al. 1999). Speziell im Fachbereich der Chirurgie macht man sich die Vorteile von simulierten klinischen Fällen zunutze, um die manuellen Fertigkeiten zu verbessern, situative Entscheidungsfindung zu trainieren und alle Geschehnisse zu evaluieren (Issenberg 2007, Pike et al. 2015, White et al. 2016). Die „Virtual Reality“ bzw. „Augmented Reality“-Simulatoren ermöglichen den Studierenden, in ihrem ganz individuellen Tempo Fortschritte zu machen, wobei jeder einzelne Schritt zu Übungszwecken unendlich wiederholbar ist (Ruthenbeck et al. 2015).

Das Ziel der zahnmedizinischen Lehre ist es, die individuelle Entwicklung so weit zu fördern, bis jeder einzelne Studierende fähig ist sicher und selbstständig zu arbeiten (Plasschaert et al. 2007, Cowpe et al. 2010). Dieser Grad an Kompetenz konzipiert sich aus deklarativem und non-deklarativem zahnmedizinischem Wissen (kognitive Fähigkeiten), handwerklichen Fertigkeiten und einer professionellen Einstellung – Faktoren, die bei einem frisch graduierten Zahnmediziner zu einem Mindestmaß vorhanden sein sollten. Daher müssen sich die Zahnmedizinistudenten neben dem stetig wachsenden medizinischen Wissen auch die für die Behandlung der Patienten notwendigen kognitiv-motorischen Fähigkeiten aneignen (Welk et al. 2008).

Die Herausforderung besteht darin, innerhalb der vorgeschriebenen Zeit einen möglichst hohen Ausbildungsstandard zu erreichen (Al-Saud et al. 2017), da die Studierenden der Zahnmedizin im Gegensatz zu ihren Kommilitonen der Medizin bereits zu einem frühen Zeitpunkt des Studiums invasive Behandlungen am Patienten durchführen.

Der computergestützte dentale Patientensimulator DentSim™ (Navigation Image Navigation Ltd. / USA) (Abb. 1) mit seiner hochentwickelten 3-D-Präzisionselektronik, in deren Mittelpunkt äußerst genaue und berührungslos arbeitende optisch-elektronische Sende- und Empfangseinheiten stehen (Welk et al. 2004), bietet ein multimediales Lernumfeld mit einem hohen Grad an Audio-Visualität, Interaktivität und Komplexität (Zheng et al. 2014). Hierdurch können in Form des problemorientierten Lernens (POL) auch die zeit- und kostenintensiven konventionellen Ausbildungsmaßnahmen zur Vermittlung der für das äußerst präzise intraorale Arbeiten notwendigen hohen Auge-Hand-Koordinationsfähigkeiten klinisch bezogener und effektiver gestaltet werden (Roy et al. 2017).

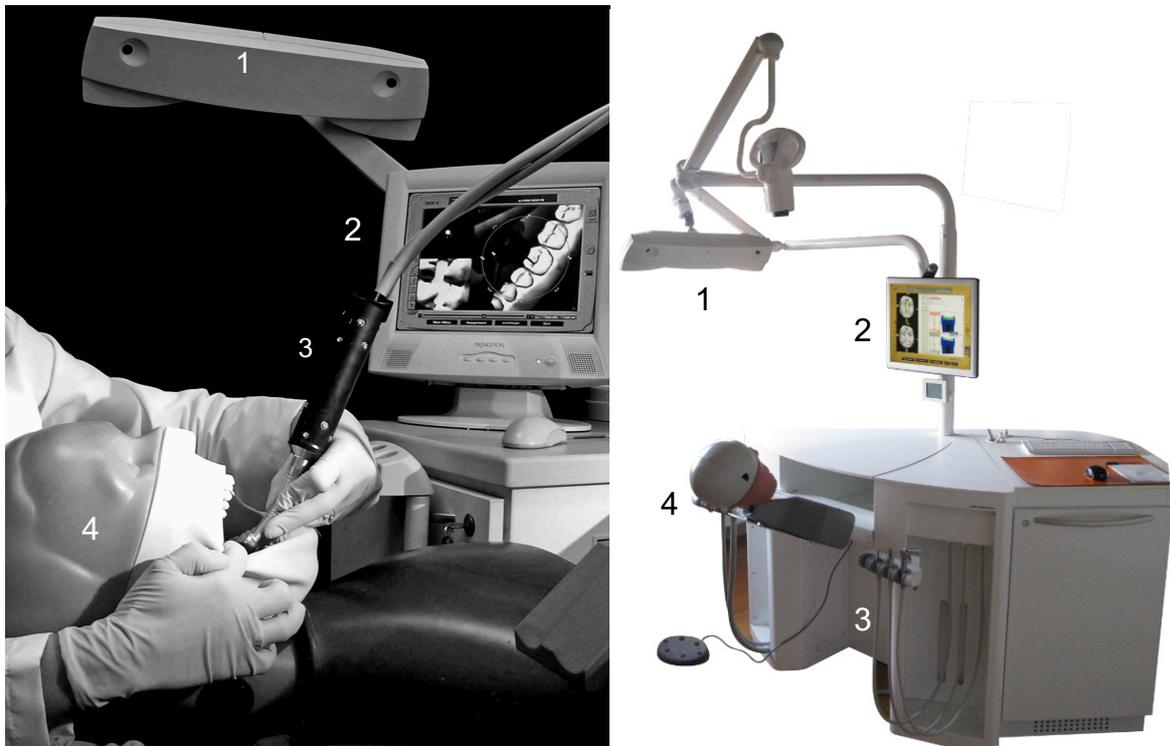


Abb. 1: DentSim™-Einheit Phantomkopf: Links: ältere Version; Rechts: neuere Version;

1: Kamera mit Infrarot-LEDs 2: Feedback-Bildschirm 3: Winkelstück mit Elektroden 4: Phantom-Kopf.

(Links: Urbankova, 2010b, Rechts: <http://dentsimlab.com/>)

Das POL, durch klinisch relevante Bezüge, sowie das selbstständige Arbeiten durch die digitale Tutorenfunktion helfen bei der effizienten Wissensvermittlung. An der „University of Tennessee’s College of Dentistry“ wurde die DentSim™-Technologie bereits erfolgreich in das Curriculum integriert (Welk et al. 2008, Hollis et al. 2011).

Eine Studie an Studierenden der Zahnmedizin des fünften Fachsemesters zur Effektivitätsüberprüfung der VR/AR Technologie zeigte zum Teil signifikante Verbesserungen in einzelnen Teilschritten einer Kronenpräparation innerhalb der Versuchsgruppe (Kikuchi et al. 2013).

Einer der großen Vorteile von DentSim™ gegenüber den konventionellen Patientensimulatoren ist der Transfer des zweidimensionalen Wissens in das dreidimensionale räumliche Arbeiten und die Übertragung der dreidimensionalen Präparation in eine einfach zu internalisierende zweidimensionale digitale Fehleranalyse. Darüber hinaus erfolgt die simultane elektronische Aufzeichnung der Präparation, die zur Fehler- und Effektivitätsanalyse des Präparationsprozesses herangezogen werden kann (Welk et al. 2004). Die Auswirkungen dieser beiden Optionen auf die Aneignung des deklarativen und non-deklarativen zahnmedizinischen Wissens sind von großem Interesse.

Im Gegensatz zu der weit verbreiteten Annahme, dass bei den Präparationsübungen die motorische Komponente die entscheidende ist, steht gerade am Anfang der Präparationsübungen eher die Kognition im Mittelpunkt. Die kognitive Leistung besteht darin, dass sowohl die Kavitätenform, die durch die Ausdehnung der Karies und den Anforderungen des verwendeten Materials bestimmt wird, als auch die Handlungs- und Bewegungsrepräsentation als mentale Zielgrößen der durchzuführenden Präparation in Bezug zu dem behandelnden Zahn initial aufgebaut werden muss.

1.2 Der Weg der konventionellen Lehre zur Virtual Reality

Simulatoren sind in der Zahnmedizin schon immer essentieller Bestandteil der klinischen Ausbildung von Studierenden. Der Phantomkopf in seiner ursprünglichsten Form wurde von Oswald Fergus im Jahr 1894 entwickelt (Fugill 2013) (Abb. 2). Die Urform von 1894 findet sich in stark modifizierter Form noch heute wieder, wobei sich mittlerweile die einzelnen Kiefer sowie jeder individuelle Zahn austauschen lassen, sodass ein häufiges Wiederholen einzelner Schritte möglich wird, ohne dabei einen Patienten durch mögliche Fehler zu schaden. Die relativ realistische Simulation führte zur weltweiten Integration in zahnmedizinische Curricula.

Weniger verbreitet ist dagegen die Symbiose aus der VR bzw. AR und dentalen Simulatoren (Perry et al. 2015). Ein Beispiel hierfür ist DentSim™, welches in dieser Studie stellvertretend für computergestützte Simulatoren eine gesonderte Rolle einnimmt.

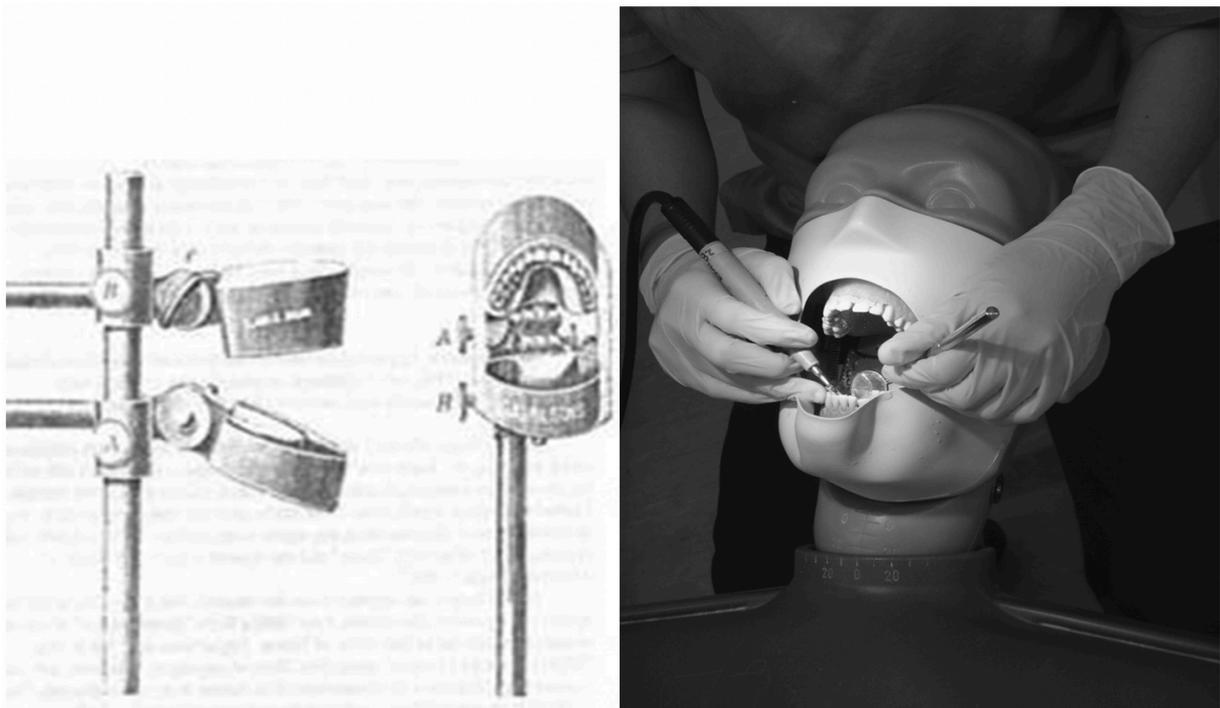


Abb. 2: Links: Frühzeitiges Phantommodell. Rechts: Phantomkopf heute. (Perry, 2015)

1.3 Computergestützte Patientensimulatoren

1.3.1 Definition der „Virtual - und Augmented Reality“

Die Basis der computergestützten Ausbildungssysteme stellt die „Virtual Reality“ bzw. virtuelle Realität (VR) dar. Sie ist eine durch den Computer geschaffene dreidimensionale Kopie der Realität. Die Darstellung dieser artifiziellen Umgebung erfolgt über Großbildleinwände, gesonderte Räume (Cave Automatic Virtual Environment, kurz CAVE) oder speziellen Head-Mounted-Displays (VR-Brillen). Ein wichtiger Punkt der VR-Technik ist die Interaktion mit dem Gesehenen. Diese reicht von simplen Bewegungen in der simulierten Welt, bis hin zu komplexen Arbeitsabläufen sowie Ausbildungsmethoden, wie sie beispielsweise bei zahnmedizinischen Simulatoren (Bsp.: Simodont® Dental Trainer) zu finden sind. Für diese Art der Interaktion werden speziell entwickelte Eingabegeräte benötigt (Bendel 2018).

In diesem Zusammenhang lässt sich der modernere Begriff der „Augmented Reality“ (AR) vorstellen. Die AR stellt im Gegensatz zur reinen VR die reale Welt nicht rein digital dar, sondern erweitert die bereits existierende Welt um virtuelle Aspekte (Markgraf 2018). DentSim™ ist ein sehr gutes Beispiel für die durch Kameras erfasste Umgebung, welche durch virtuelle Objekte erweitert wird (siehe Kapitel „1.3.3 DentSim™ – E-Learning in der zahnmedizinischen Ausbildung“).

1.3.2 Simulatoren in der zahnmedizinischen Ausbildung

Die Einführung von computergestützten bzw. VR/AR-Simulatoren in der Zahnmedizin begann Ende der 90er Jahre in Nord-Amerika und Europa (Buchanan et al. 2000). Sie ebneten den Weg für eine neue Generation von dentalen Ausbildungs-Simulatoren und stellen eine mögliche Alternative zu den konventionellen Phantomköpfen dar. Eines der ersten Geräte war die DentSim™-Einheit der Firma DenX (Israel), aus der später die Firma Image Navigation Ltd (New York, USA) hervorgegangen ist. Sie kombiniert die Phantomkopfeinheit mit den 3D-Visualisierungen der AR. Seitdem wurde weltweit eine Vielzahl an VR/AR Simulatoren entwickelt (Mihaela et al. 2011). Sie dienen nicht nur der Präparationsübung, sondern bieten beispielsweise Modelle der Dentition für präzise 3D-Messungen (Lee et al. 2012), helfen bei der Planung und

Durchführung oralchirurgischer Eingriffe und unterstützen durch Simulationssoftware die Diagnostik und Behandlung von parodontalen Erkrankungen. In der Ausbildung finden sich unter anderem Simulatoren für das Erlernen von Extraktionen (Mihaela et al. 2011) und der richtigen Durchführung von Lokalanästhesien (Lee et al. 2012). Die Entwicklung in Japan zeigt roboterartige Patientensimulationen mit eigenständiger Bewegung, Speichelsimulation und sprachlicher Interaktion mit dem Zahnmedizinierenden (Eaton et al. 2008, Tanzawa et al. 2011). Außerdem wird diese fortschreitende Entwicklung genutzt, um softwarebasierende Lerneinrichtungen für Zahnmedizinierende zu schaffen (Eaton et al. 2008). Durch diese Fortschritte ist es möglich, das Erlernen klinisch relevanter Fähigkeiten deutlich früher in das Curriculum zu integrieren. Durch die Einführung computergestützter Dentalsimulatoren, wie beispielsweise des DentSims™, sind Zahnmedizinierende erstmals in der Lage, autonom, also ohne das Feedback eines Assistenten, Präparationen auszuführen. Sie bekommen durch die computergestützte Simulation alle essentiellen Informationen in Echtzeit vermittelt (Perry et al. 2015).

1.3.3 DentSim™ – E-Learning in der zahnmedizinischen Ausbildung

Das E-Learning oder auch „Elektronisches Lernen“ wurde von Michael Kerres (2001) als jegliche Form des Lernens definiert, welche elektronische oder digitale Medien für die Darstellung von Lerninhalten nutzen bzw. als Ergänzung der zwischenmenschlichen Kommunikation dienen. Als Synonyme haben sich auch Begriffe wie multimediales Lernen, „computer-assisted-learning“ oder „computer-based-training“ (CAS und CAL) etabliert (Kerres 2001). Dieser Definition folgend, ist die DentSim™-Einheit ebenfalls als Teil der E-Learning-Umgebung zu kategorisieren.

Die DentSim™-Einheit (Limited Navigation Ltd., New York, USA) ist der weltweite Marktführer für dentale Patientensimulatoren und nutzt die AR-Technologie. Die erste Einheit kam 1997 auf den Markt. Seitdem wurde DentSim™ fortlaufend entwickelt. Zum Zeitpunkt der Datenerhebung (im Jahr 2002) stellte es die am weitesten entwickelte Form der VR/AR basierenden Patientensimulatoren dar. Die Zahnmedizinierenden werden sowohl in Qualität als auch in Effizienz während ihrer Ausbildung an der Phantomkopfeinheit durch das DentSim™-Gerät in Echtzeit analysiert. Die kontinuierliche audio-visuelle Feedback-Funktion vermittelt in Echtzeit Informationen über

Kavitätentiefe, -breite und -form, richtige Präparationswinkel und eventuelle Unebenheiten. DentSim™ setzt sich aus einem vollbeweglichen Torso und einem Kopf samt weiterentwickeltem Artikulator zusammen, welche im Zusammenspiel eine lebensnahe Patientenbewegung imitieren sollen (Abb. 1).

Der Kopf der Phantompuppe besitzt einen herausnehmbaren Ober- und Unterkiefer mit einzelnen austauschbaren Kunststoffzähnen. Das optische System des DentSim™ benutzt eine Kamera, um die mit infrarot LEDs ausgestatteten Instrumente der Einheit und die der Kiefer in ihrer Position wahrzunehmen. Die Kamera, oberhalb des Studierenden platziert, lokalisiert nach Signalaufnahme die genaue Position des Winkelstücks bzw. des Bohrers. Diese Informationen werden an den systemeigenen Computer übertragen und in ein virtuelles, farbkodiertes 3D-Konstrukt des Zahnes umgewandelt. Auf funktioneller Ebene bietet das DentSim™ einige Ergänzungen zur herkömmlichen Phantomkopfeinheit. Um eine möglichst realitätsnahe Simulation im Sinne eines Problemorientierten Lernens zu generieren, werden dem Benutzer alle klinisch relevanten Informationen inklusive eines Röntgenbildes angezeigt. Eine Echtzeit-Simulation stellt die Bewegungen und Präparation auf dem Bildschirm dar.

Die Tutorfunktion des DentSim™ bietet kontinuierliches Feedback, welches die Anwender unmittelbar auf etwaige Fehler hinweist. Zudem besteht die Möglichkeit der Fehlerevaluation mittels virtuellen Videomitschnitten zusammen mit einem geschulten Assistenten, wodurch die subjektive Beurteilungsform der konventionellen Lehrgangsangelegenheit wird (Burnett et al. 1988). Denn solange die Lehrkörper der konventionellen Lehre non-deklaratives/implizites Wissen (siehe Kapitel 1.5.2.) bei der Bewertung anwenden, kann eine Transparenz nicht gewährleistet werden, was wiederum zu Unsicherheiten innerhalb der Studierenden hinsichtlich der gängigen Lehrmeinung führt (Fugill 2012). Eine automatische Qualitäts- und Prozessanalyse gewährt eine direkte Einschätzung der Arbeit des Benutzers. Die Echtzeit-Simulation der Präparation ermöglicht eine fortlaufende Evaluation der eigenen Arbeit. DentSim™ stellt die genaue Bewegung während der Präparation auf dem Monitor dar. Ein Fenster auf dem Monitor zeigt eine 3D-Ansicht des zu präparierenden Zahnes, welcher sich fortlaufend je nach Substanzabtrag in seiner Morphologie verändert (siehe Abb. 3). Eine farbliche Kodierung der Zahnschichten (Schmelz = Grau; Dentin = Gelb; Karies = Grün; Pulpa = Rot) lässt eine Orientierung des Zahnabtrages zu (siehe Abb. 3 links oben) (DentSim™ Navigation Handbuch).

Einleitung

Zusammengefasst bietet DentSim™ eine Form der theoretischen Wissensvermittlung, welche Züge des POL nutzt. Entscheidend ist die virtuelle Umgebung, die einen Transfer von zweidimensionalem Wissen in dreidimensionales räumliches Arbeiten ermöglicht (Abb.3 oben) und die Komplexität einer dreidimensionalen Welt in eine einfach zu internalisierende zweidimensionale Ebene überträgt (Abb. 3 unten).

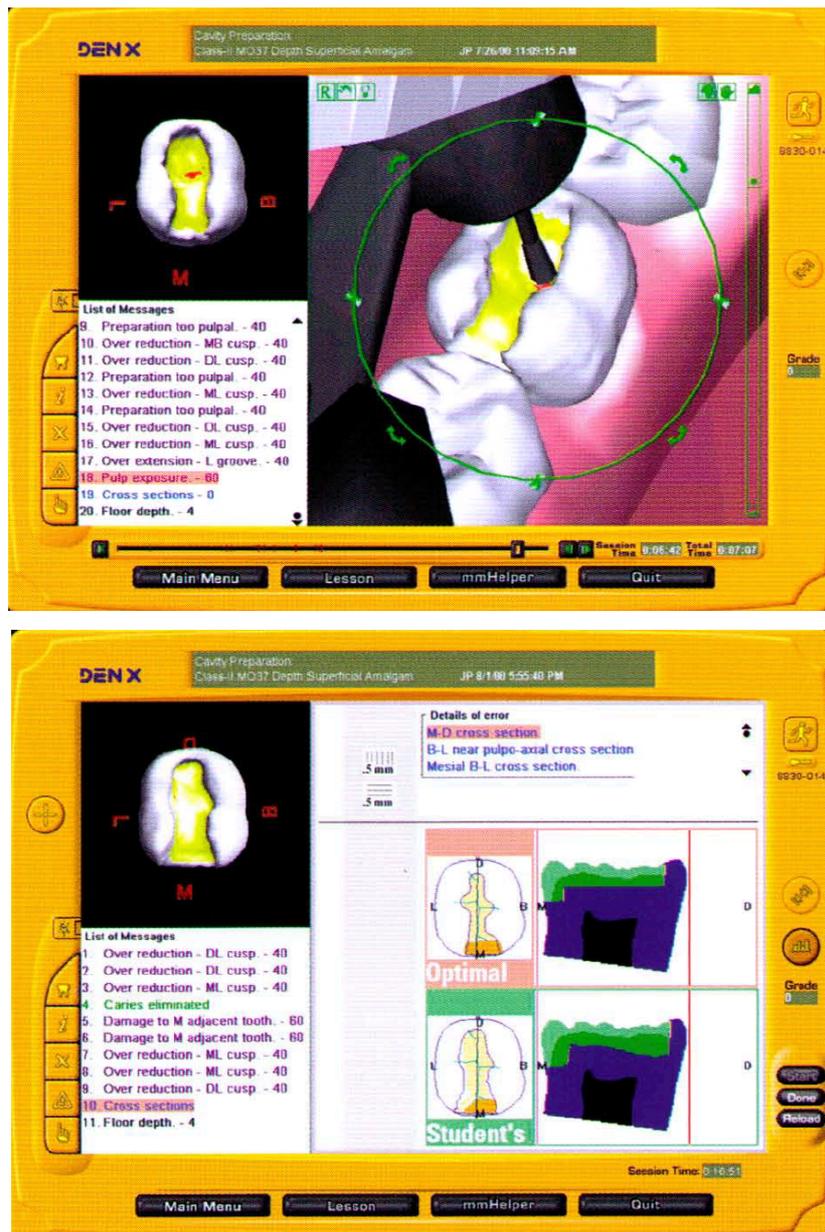


Abb. 3: Darstellung DentSim™ Softwareoberfläche. oben: Präparationsanalyse mit Nervenschädigung (rot) unten: Vergleichsanalyse der Kavitätenausdehnung/form. (Welk et al. 2004)

1.4 Theorien des multimedialen Lernens

Es existieren verschiedene relevante Theorien zum Design von E-Learning-Umgebungen. Durch eine Vielzahl verschiedener Erklärungsversuche ergibt sich eine große Varianz an Empfehlungen, wie eine multimediale Lernumgebung gestaltet werden sollte. Zu den drei wichtigen Hauptströmungen zählen neben dem Behaviorismus und dem Konstruktivismus der für diese Studie sehr wichtige Kognitivismus als Teil der Kognition. Als Grundlage dient das derzeit anerkannteste Gedächtnismodell nach Baddeley (Vereinfachtes und modifiziertes Modell siehe Abb. 4) (Baddeley et al. 2015).



Abb. 4: Vereinfachtes Gedächtnismodell. (abgeleitet von Wiki-Community, 2009)

Aus psychologischer Sicht ist es möglich, die Gedächtnisarten sowohl nach ihrer Art des Inhalts als auch nach ihrer Speicherdauer zu unterscheiden. In Bezug auf die Speicherdauer lassen sich das Ultrakurzzeitgedächtnis (sensorische Gedächtnis/Speicher), das Kurzzeitgedächtnis (KZG) und das Langzeitgedächtnis (LZG) unterscheiden. In den folgenden Kapiteln wird dann weiter auf die Informationsaufnahme, -verarbeitung und -speicherung eingegangen. Vor allem die Gliederung des Langzeitgedächtnisses in das deklarative Gedächtnis, erworben durch explizites Lernen, und in das non-deklarative/implizite Gedächtnis, erworben durch implizites Lernen, ist essentiell für diese Studie. Aus diesem Grund werden nachfolgend die nötigen lerntheoretischen Kenntnisse vermittelt, um den Grundgedanken dieser Studie besser nachvollziehen zu können.

1.4.1 Lerntheorie: Kognitivismus als Teil der Kognition

Der Begriff des Kognitivismus, als eine der Hauptströmungen im Bereich der Lerntheorien, stammt aus der Kognitionspsychologie. Es ist eine klare Abgrenzung zu den Strömungen des Behaviorismus' und dem Konstruktivismus' zu treffen (Holzinger 2000). Die Kognitionspsychologie befasst sich mit der Kognition, welche in ihrer einfachsten Betrachtungsweise die „Fähigkeit zur Wahrnehmung und zielgerichteten Interpretation der Lebenswelt“ ist (Feess et al. 2018).

Ein Beispiel zur Verdeutlichung: Die Kognition bezieht sich auf das Wissen hinter einer Bewegung, also ist während des Anhebens einer Tasse dem ausführenden Individuum bewusst, welche Kraft für das Anheben erforderlich ist (Wissen über das Material und den möglichen Inhalt der Tasse). Eine mögliche Übertragung auf die Zahnmedizin ist die Durchführung einer Kavitäten-Präparation. Das Wissen über Material, Schleifer, Umdrehungen und andere Parameter lassen uns den richtigen Anpressdruck (die aufzuwendende Kraft) für die Präparation einschätzen.

Die kognitiven Gedankengänge innerhalb unseres psychischen Systems werden als gedankliche bzw. rationale Prozesse verstanden. Dem gegenüber stehen aktivierende Konzepte wie Emotion, Motivation und Einstellung. Zusammengefasst beziehen sich alle kognitiven Prozesse auf die Informationsaufnahme. Diese beinhaltet die Wahrnehmung, die Beurteilung des Wahrgenommenen, die Speicherung des Wahrgenommenen im Gedächtnis und die Verknüpfung dieser Gedächtnisinhalte zu einem System des Wissens (Feess et al. 2018). Die „kognitiv-affektive Theorie des Lernens mit Medien von Moreno“ (CATLM) bietet einen guten Ansatz, den Prozess des Lernens nachzuvollziehen und anschließend die Konzepte des generierten Wissens zu verstehen.

1.4.1.1 Kognitiv-affektive Theorie des Lernens mit Medien von Moreno

Das Erlernen von Fertigkeiten ist ein komplexer Prozess, vor allem unter Betrachtung der Art und Weise, wie sich Zahnärzte bzw. Zahnmedizin studierende neues klinisches Wissen aneignen. Die Form der Informationen kann verbaler, geschriebener oder bildhafter Natur sein. Bevor neue Prozedere bzw. klinische Abläufe durchgeführt werden, müssen sie einstudiert und trainiert werden. Die geschriebene und gesprochene Sprache wird oft als Grundstein der Kommunikation zwischen menschlichen Individuen assoziiert und gilt als wichtiger Teil im Prozess des Lernens. Sie spielt jedoch bei der Erlernung neuer Fertigkeiten eine untergeordnete Rolle, denn zusätzlich erfolgt die Informationsaufnahme über visuelle, taktile oder perzeptuell-motorische Lernkanäle (Raelin 2007). Der Begriff „perzeptuell-motorisch“ beschreibt hierbei schon einen Teil des impliziten Lernens, also eine motorische Bewegung, welche durch häufige Wiederholung und der damit verbundenen Erfahrung erlernt wird (siehe 1.5.2).

Die Diskrepanz zwischen sprachbasiertem (deklarativem/propositionalem) und nicht-sprachbasiertem (non-deklarativem/prozeduralem) Lernen ist fest in unsere westliche Kultur integriert. Es begegnet uns im Alltag bei der Unterscheidung zwischen Wissen und Fertigkeiten, Unterricht und Training sowie „Wissen, dass“ (deklaratives Wissen) und „Wissen, wie“ (non-deklaratives, prozedurales Wissen) (Ryle 1963). Es scheint sowohl eine physiologische als auch eine kulturelle Begründung dafür zu geben. Neurophysiologen vermuten, dass das menschliche Gehirn mehr als ein solitäres Lernsystem nutzt. So gibt es eine sehr verbreitete Theorie über „ein frontal-basiertes explizites System, das logisches Denken verwendet und auf dem Arbeitsgedächtnis und erhöhter Aufmerksamkeit beruht“ (Ashby et al. 2005) sowie ein größtenteils implizit und non-verbales/prozedurales Lernsystem, lokalisiert in den Basalganglien, welches einen anderen Gedächtnistyp nutzt (Maddox et al. 2004, Zeithamova et al. 2006).

Die „kognitiv-affektive Theorie des Lernens mit Medien von Moreno“ (CATLM) ist neben der „Cognitive Load Theorie“ (CLT) und der „kognitiven Theorie multimedialen Lernens“ (CTML) (Mayer 2005, Moreno et al. 2007) die Theorie, welche am ehesten die Lernprozesse der Probanden dieser Studie beschreibt (Abb. 5).

Einleitung

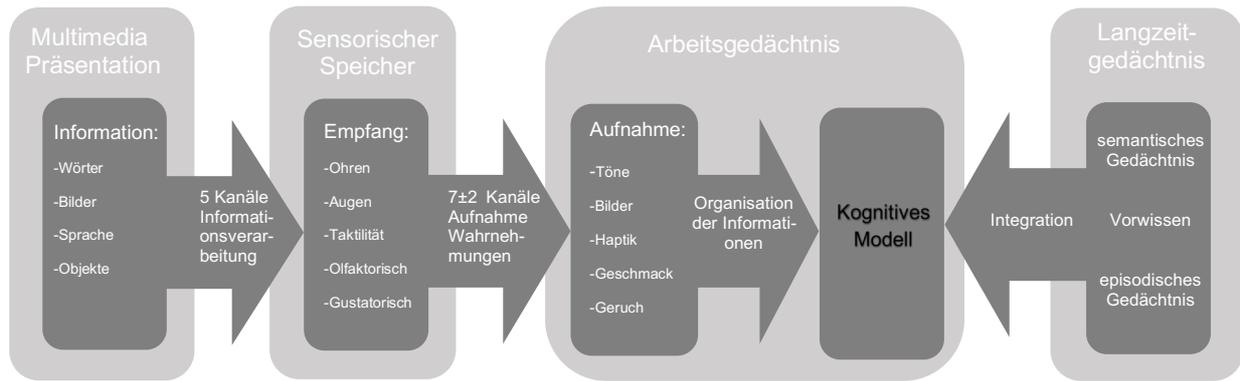


Abb. 5: Erweitertes System der CATLM (nach Baddeley). (Rey, 2009)

Die erweiterte CATLM basiert auf vier verschiedenen erweiterten Grundannahmen:

- 1) Die erste Annahme bezieht sich auf die Informationsverarbeitung des Menschen mittels fünf Kanälen (siehe Abb. 5). Diese Kanäle führen Informationen über einen auditiv/verbalen, visuellen/bildhaften, taktilen, olfaktorischen und gustatorischen Weg an unsere Gedächtnisstruktur (Abb. 5) (Robinson 2004, Rey 2009). Die anfängliche Zweiteilung der Kanäle in einen visuellen und auditiven Kanal basierend auf der „Dualen Koordinationstheorie“ von Paivio (Paivio 1986) und einer früheren Version des Arbeitsgedächtnis-Modells nach Baddeley (Baddeley 1992) wurde an neue Erkenntnisse im Feld der Lerntheorien angepasst und um die taktile, olfaktorische und gustatorische Ebene erweitert. Es ist zu beachten, dass der Lernende Informationen, welche durch den einen Kanal aufgenommen wurden, in den anderen konvertieren kann. So ist es möglich, dass ein gesprochener Sachverhalt in ein mentales Bild transformiert wird (Mayer 2005). Die Taktilität als weitere Möglichkeit der Informationsaufnahme ist im Rahmen der zahnmedizinischen Lehre von besonderer Bedeutung.

- 2) Die zweite Annahme betrifft die begrenzte Kapazität an Kanälen des Arbeitsgedächtnisses zur Informationsverarbeitung (Muthukumar 2005). Die maximale Aufnahmekapazität des Arbeitsgedächtnisses beträgt 7 ± 2 Kanäle (Millersche Zahl) und ist somit stark begrenzt (Miller 1956). Die begrenzte Anzahl an Kanälen bedarf sogenannter Monitorstrategien (Mayer 2005), welche sich mit der zentralen Exekutiven (Komponente des Arbeitsgedächtnisses) (Baddeley 1992) oder der modernen Intelligenztheorie (Sternberg 1990) in Verbindung bringen lassen. Auf Grundlage dieser zweiten Annahme bedarf es einer Kontrolle des Informationsflusses, um den Lernenden kognitiv nicht zu überfordern (Rey 2009).
- 3) Die dritte Annahme geht von einer aktiven Informationsverarbeitung des Menschen aus. Dabei befassen sich die Lernenden aktiv mit dem Lernmaterial, um Verknüpfungen mit ihren vorhandenen Erfahrungen zu erstellen (Mayer 2005). Dieser Gedanken findet sich auch bei anderen Wissenschaftlern wieder (Bruner 1961, Neisser 1967, Wittrock 1989)
- 4) Das deklarative Langzeitgedächtnis wird differenziert, indem eine Unterscheidung zwischen dem episodischen und dem semantischen Gedächtnis stattfindet (Greenberg et al. 2010). Vor allem der semantische Teil des Gedächtnisses, welcher personenunabhängiges Faktenwissen enthält, ist für diese Studie relevant und bedarf einer ergänzenden Beschreibung (siehe Kapitel 1.5).

1.5 Wissensmanagement

Im Folgenden wird der Begriff des „Wissens“ genauer definiert, da ein Grundverständnis für die Studie essentiell ist. Der Begriff des Wissensmanagements als Teil der Kognition umfasst den Erwerb (siehe Kapitel 1.4), die Entwicklung, den Transfer und die Nutzung von Wissen. Er geht über das reine Informationsmanagement hinaus (Beerheide et al. 2011). Für eine Generierung von Wissen sind Informationen eine notwendige Voraussetzung. Aus diesem Grund sind Informationen, im Gegensatz zu reinem Wissen, wie Güter handelbar. Konträr zur Information („know-what“ bzw. Fluss von Nachrichten) entsteht Wissen nicht durch bloße Anhäufung von Informationen, sondern durch Integration mit bereits vorhandenem Wissen („know-why“) (siehe Abb. 5). Erst durch eine Interpretation auf Basis von Vorwissen ist es möglich, Informationen in echtes Wissen zu transformieren und in den alltäglichen Gebrauch einzufügen, wodurch Wissen unverkäuflich wird (siehe auch CATLM) (Kogut et al. 1992). Außerdem muss Wissen auch non-verbale Komponenten umfassen, welche Kommunikation und soziale Interaktion ermöglichen. Polanyi (Polanyi 1964) stellt die wegweisende Theorie auf, analog zur Einteilung des LZG in ein deklaratives und non-deklaratives Gedächtnis (siehe Abb. 4), Wissen in eine in ein explizite (deklaratives) und implizite (non-deklaratives, prozedurales) Komponente zu unterteilen (Frost 2018).

1.5.1 Deklaratives/Explizites Wissen in der zahnmedizinischen Ausbildung

Der Begriff des deklarativen/expliziten Wissens bildet das gegenteilige Element zum im Anschluss beschriebenen non-deklarativen/impliziten Wissen. Polanyi (1964) führte das bereits erwähnte Klassifikationssystem ein und definierte den Begriff des expliziten Wissens als eindeutig codiertes und aus diesem Grund via Zeichen (Sprache und Schrift) frei kommunikationsfähiges Gut. Es stellt konträr zum impliziten Wissen ein verbalisiertes Regel- und Faktenwissen mit Dokumentationen und Anleitungen dar. In der Zahnmedizin sind Lehrbücher, Skripte und Vorlesungen Beispiele für eine deklarative Wissensvermittlung bzw. Faktenwissen wie Präparationsrichtlinien, Medikamentennamen oder Materialeigenschaften Beispiele für deklaratives Wissen als solches. Auf den einzelnen Studierenden bezogen, spricht man von „embrained knowledge“, also dem individuellen, expliziten Wissen. Per Definition ist bewusstes Wissen eben

solches, welches von den eigenen konzeptionellen Fähigkeiten abhängt und bei Notwendigkeit aktiviert werden kann. Das bereits erwähnte Faktenwissen zu den einzelnen Präparationen wäre ein Beispiel (Gradzahlen, Tiefenangaben etc.) (Frost 2018).

1.5.2 Non-Deklaratives/Implizites Wissen i. d. zahnmedizinischen Ausbildung

Konzepte des Non-Deklarativen/Impliziten Wissens

Bevor der Terminus des non-deklarativen/impliziten Wissens auf die Zahnmedizin angewendet werden kann, muss das grundlegende Konzept verstanden werden und bedarf einer detaillierten Definition.

Das implizite Wissen hat im Alltag eine wichtige Aufgabe. Es lässt uns Gesichter wiedererkennen und Metaphern verstehen (Stake 2000). Der Begriff „Implizit“ beschreibt hierbei unser unterbewusst eingesetztes Wissen. Es weist auf den Unterschied zwischen dem propositionalen (sprachbasierten) und dem prozeduralen (nicht-sprachbasierten) Wissen hin, in dem non-deklaratives/implizites Wissen vornehmlich Bestandteil des prozeduralen Teils ist.

In den letzten Jahren wurde viel über die Bedeutung des impliziten Wissens auf das Lernen diskutiert (Molander 1992, Eraut 2000). Dennoch sind in der zahnmedizinischen Literatur wenige Hinweise auf etwaige Denkansätze zu finden (Chambers 1998, Kinchin et al. 2008). Auf Grundlage der Debatten haben sich unterschiedliche Konzepte entwickelt (Barbiero 2004). Eine in der Literatur übliche Unterscheidung beruht auf unserer Fähigkeit, implizites Wissen verbal auszudrücken. Die wichtigsten Bedeutungen werden im Folgenden genauer beschrieben (Fugill 2012).

- 1) Die erste wichtige Zuordnung des Begriffs „Implizit“ bezieht sich auf das Wissen, welches im Handeln einer Fachkraft verborgen liegt oder als innerhalb von Produkten, Verfahren, Prozessen und Organisationen verdeckt implementiert angesehen wird (De Cossart et al. 2005). Dieses sehr bekannte, durch Nonaka und Takeuchi verfeinerte Konzept (Nonaka et al. 1995), ursprünglich entwickelt von Friedrich August Hayek, taucht in der Literatur hauptsächlich in Bereichen der Wirtschaft, des Humankapitals und des Wissensmanagements auf. Grundlegend befasst es sich damit, wie viel von der Expertise eines Unternehmens

Einleitung

schriftlich fixiert ist und wie viel sich lediglich in den Köpfen der Angestellten befindet und nur mittels verbalen Austauschs weitergegeben wird. Es ist auch bekannt als SECI-Modell (siehe Abb. 4: Sozialisation, Externalisation, Kombination, Internalisation).

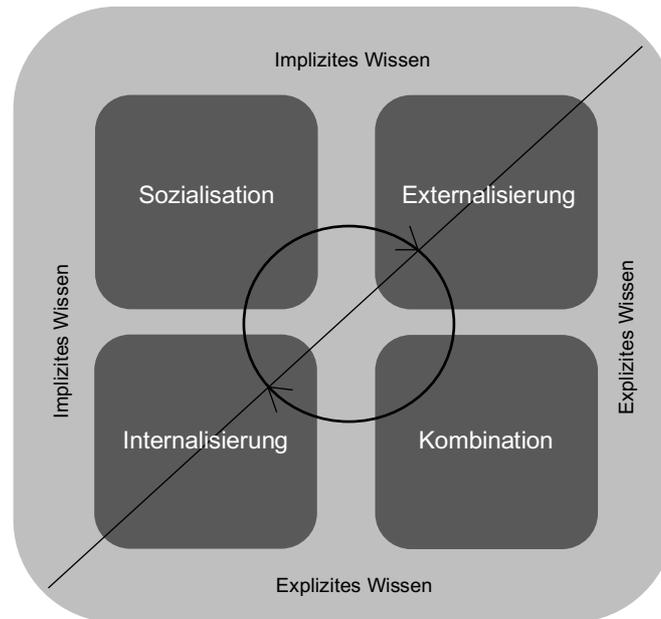


Abb. 6: SECI-Modell nach Takeuchi. (Wiki-Community 2006)

Es ist wichtig zu wissen, dass dieses erwähnte implizite Wissen schriftlich fixiert werden kann, dies jedoch nur selten passiert (Externalisierung). Anstelle von Manuskripten existieren sogenannte „ungeschriebene Gesetze“ – auch in der Zahnmedizin werden Gedanken und Erfahrungen häufig als „ungeschriebene Gesetze“ weitergegeben (Sozialisation) (Fugill 2012). Auf diese Art weitergegebenes Wissen und Fertigkeiten sind wichtig für die Identität einer Berufsgruppe (Lave et al. 1991, Duguid 2005).

In der Praxis kommt es häufig vor, dass ursprünglich explizit erlernte Fertigkeiten und Wissen durch häufige Anwendung in das Unterbewusstsein und damit in implizites Wissen übergehen (Internalisierung). Die Artikulation dieses Wissens ist sehr schwierig und kommt selten vor, was im klinischen Bereich genutzte Formulierungen wie „Ich weiß nicht warum, es ist einfach so“ oder „Für mich hat es immer funktioniert“ aufkommen lässt (Fugill 2012). Im Sinne der CATLM bedeutet dies, dass der Studierende, welcher bereits über explizites Vorwissen in der Thematik verfügt, jenes mit neu erlangtem Wissen vereint. Dieser Prozess wird laut SECI-Modell als „Kombination“ betrachtet (siehe Abb. 7).

- 2) Die zweite wichtige Zuordnung des Begriffs „Implizit“ bezieht sich auf Wissen, welches in keiner Situation verbalisiert bzw. fixiert werden kann. Polanyi (Polanyi 1958) führt hier als Beispiel den Erklärungsversuch des Fahrradfahrens an. Jeder Mensch, der Rad fahren kann, wird meistens bei dessen Erklärungsversuch scheitern, da dem Erklärenden in den allermeisten Fällen die physikalischen und anatomischen Informationen fehlen. Mit anderen Worten besitzen wir „Wissen, von dem wir nicht wissen, dass wir es haben“ (De Cossart et al. 2005). Generell lässt sich jegliches Wissen visuellen, rhinogenen, haptischen, propriozeptiven und akustischen Ursprungs als implizit kategorisieren, da eine verbale Umschreibung niemals den gleichen Informationsgehalt hätte (Janik 1988). Fugill sagt, dass man die Niveauunterschiede innerhalb der Studierenden mit diesem Wissenskonzept begründen kann (Fugill 2012). Im Kontext des klinischen Abschnitts entwickelt jeder Studierende der Zahnmedizin sein eigenes Repertoire an Wissen, welches nach oben genanntem Konzept sowohl aus dem erlernten expliziten als auch dem unterbewussten impliziten Wissen besteht (Horst et al. 2009).

Die beiden beschriebenen Konzepte berücksichtigen die Existenz von nicht kodiertem Wissen. Um die Auswirkung des non-deklarativen/impliziten Wissens auf die zahnmedizinische Lehre vollständig zu verstehen, muss man berücksichtigen, dass einige Lehr- und Lerninhalte ebenfalls auf indirektem, implizitem Weg vermittelt werden. Ein Beispiel ist die Behandler-Patienten-Kommunikation des Assistenten, welche dem Studierenden oft als Orientierung dient. Es kann vorkommen, dass Studierende Teile dieser Interaktion kopieren, womit der Assistent bzw. Lehrer indirekt Wissen vermittelt hat (Eraut 2000). Dieses implizite Lernen ist definiert als „Akquirierung von Wissen unabhängig von der eigentlichen Absicht des Lernens und ohne das Bewusstsein dessen Inhalt“ (Reber 1993).

Anwendung in der Zahnmedizin

Die beiden Konzepte sollten bei der Betrachtung von Lehrinhalten und -konzepten der Zahnmedizin berücksichtigt werden, denn das Erlernen klinischer relevanter Fertigkeiten ist häufig prozedural und damit ein Teil des non-deklarativen/impliziten Wissens. Konsequenter Weise ergeben sich durch die Schwierigkeit der verbalen Expression von Lehrinhalten sprachliche Barrieren zwischen Assistenten und Studierenden (Fugill 2012).

- 1) Das Konzept Nonakas und Takeuchis (Abb. 7), welches der beruflichen Praxis zugrunde liegt, erlaubt eine Artikulation des Wissens. Obgleich Wege existieren, die „ungeschriebenen Gesetze“ der klinischen Lehre zu fixieren (Kinchin et al. 2008), liegt es in der Verantwortung der Lehrenden, das notwendige Wissen zu entschlüsseln und zu vermitteln. Im Kontext zwischen Lerntheorien und dem Verständnis von Wissen und dessen Vermittlung ist es wichtig für diese Studie, den Unterschied zwischen „Digital Immigrants“ und „Digital Natives“ zu verstehen. „Digital Immigrants“ sind Menschen, welche vor dem Zeitalter der neuzeitlichen Digitalisierung (Computer, Internet, Smartphone etc.) aufgewachsen sind, wohingegen Digital Natives eine Welt ohne Internet und Smartphones nicht kennen. Momentan zählen die meisten Lehrkörper noch zu den „Digital Imigrants“, wohingegen die meisten Studenten zu der Generation der „Digital Natives“ zählen (Nieding et al. 2015). Hierbei werden völlig neue Anforderungen an die Lehre gestellt. Es stellt sich eine Art des Generationskonflikts dar. Welk zeigte, dass je älter ein verantwortlicher Lehrkörper ist, desto geringer ist seine Erfahrung mit digitalen Lehrformen (Welk et al. 2005). Die Herausforderung bei der Entschlüsselung des Wissens durch die Lehrkörper ist eine Anpassung an das vorherrschende Niveau der Studierenden (Welk et al. 2008, Fugill 2012). Man kann der Literatur alternative Arten der Vermittlung von Wissen entnehmen (Sternberg 1999, Horst et al. 2009). Das von den grundlegenden Lehrmethoden abstammende Konzept der kognitiven Lehre wird beispielsweise über sein ursprüngliches Einsatzgebiet hinaus auch zur Vermittlung ausbildungsbedingt akademisch-theoretischen und praktischen Lehrinhalten verwendet (Taylor et al. 1999). Aus diesem komplexen Konzept ergeben sich "die Beobachtung des Meisters, der den Zielprozess ausführt, Versuche, den Zielprozess mit Coaching durchzuführen ... und eine zunehmend unabhängige Praxis, während

der das Coaching des Meisters abnimmt" (Cope 2005). Außerdem gehören die Selbstreflexion, die Verbalisierung dieser und das Experimentieren dazu. Das Kernstück des Konzepts bildet das Feedback an den Lernenden. Es muss klar gestellt werden, nach welchem Prinzip Arbeiten der Studenten akzeptabel bzw. inakzeptabel bewertet werden. Solange die Lehrkörper jedoch implizites Wissen bei der Bewertung anwenden, kann eine Transparenz nicht gewährleistet werden, was wiederum zu Unsicherheiten innerhalb der Studierenden hinsichtlich der gängigen Lehrmeinung führt (Fugill 2012). DentSim™, zum Beispiel, kann diese Subjektivität durch sein kontinuierliches neutrales Feedback umgehen (Buchanan 2001).

- 2) Das zweite vorgestellte Konzept beschreibt das Wissen als non-verbale Fertigkeiten, welche ohne eine Verbalisierung auskommen müssen. Die Vermittlung non-verbaler Wissens muss über andere Lernkanäle durchgeführt werden. Beispiele für eine nonverbale Wissensvermittlung bzw. non-verbales Lernen innerhalb der Zahnmedizin wären das Beobachten, Live-Demonstrationen, wiederholendes Training (zB. am Phantomkopf), die Selbstreflektion und das Experimentieren (siehe CATLM). Dem Konzept folgend müssen diese Punkte Bestandteil der zahnmedizinischen Lehre sein (Fugill 2012). Im Fall von non-verbalem Wissen spricht man auch von „embodied Knowledge“ (Frost 2018).

1.5.3 Wissensmodellierung - "Knowledge Engineering"

"This transfer and transformation of problem-solving expertise from a knowledge source to a program is the heart of the expert-system development process."
(Brachman et al. 1983)

Wie im Jahr 1983 von Brachman schon passend formuliert, bietet die heutige Zeit die Möglichkeit viel deklaratives/explizites (dokumentiertes) und non-deklaratives/implizites Wissen („ungeschriebene Gesetze der Kliniker“) an Studierende zu vermitteln. Besondere Stellung nehmen in dieser Studie die oben beschriebenen computergestützten Ausbildungssysteme wie beispielsweise DentSim™ ein (siehe Kapitel „DentSim™ – E-Learning“). Im Bereich des „Knowledge Engineering“ wird versucht, die Komplexität des deklarativen und non-deklarativen Wissens zu strukturieren und mit Hilfe von Informationssystemen zu vermitteln. Die Wissensmodellierung umfasst vier zentrale Säulen: die Erfassung des Wissens, die Abbildung des Wissens im Computer, die computerbasierte Verarbeitung des Wissens und die Darstellung von Wissen.

Innerhalb des Knowledge Engineering stellt das problemorientierte Lernen (POL) einen Vermittlungsweg dar. Eine der wichtigsten Eigenschaften dieser Lernform ist das weitestgehend eigenständige Lösen von vorgegebenen Problemen. Wie oben beschrieben, kann der Studierende sämtliche notwendigen Informationen der DentSim™-Einheit entnehmen. Vor allem das selbstbestimmende Lernen, die frühen klinischen Bezüge und die ständigen Evaluationen durch die DentSim™-Einheit sollen die Selbstreflexion des Studierenden schulen. Welk et al. konnten schon 2008 den erhöhten Anspruch an die Lehre durch eine neue Generation Studierender nachweisen. Sie zeigten, dass sich die Vorkenntnisse im Umgang mit Computern und ihrer digitalen Umgebung deutlich erhöht haben. Zudem konnten sie nachweisen, dass eben diese Digital Natives (Kapitel 1.5.2) eine sehr hohe Erwartungshaltung gegenüber der Lehre ausgebildet haben. Der Einsatz computergestützter Lehrmethoden wird praktisch als obligat betrachtet und eingefordert (Welk et al. 2008).

Im späteren klinischen Abschnitt ist die Fähigkeit seine eigene Leistung richtig einzuschätzen von essentieller Bedeutung. Auf Grundlage aller bereits beschriebenen Annahmen entstehen mehrere Hypothesen, welche es in dieser Arbeit zu verifizieren gilt.

1.6 Zielsetzung der Arbeit

Das Modell der Wissensmodellierung veranlasst auch die Zahnmedizin schon seit Einführung der ersten computergestützten Simulatoren zum Umdenken, vor allem bezüglich der Lehrkonzepte im sensibelsten Bereich der Ausbildung – dem Übergang zwischen Vorklinik und Klinik. Diese Studie verwendet DentSim™ als Beispiel eines VR/AR-Simulators und stellt diesen der konventionellen Lehrmethode (Vorlesungen und Demonstrationen) gegenüber. Allgemein soll gezeigt werden, ob Studierende ohne Hilfe eines Kursassistenten mit DentSim™ eine Präparation erlernen können. Anders als in den bisherigen Untersuchungen hinsichtlich der Effektivität von VR/AR-Simulatoren, welche in einer Vielzahl vorhanden sind (Buchanan et al. 2000, Buchanan 2001, Welk et al. 2003, Urbankova 2010), befasst sich die Studie damit, die Vermittlung des expliziten/deklarativen und impliziten/non-deklarativen Wissens losgelöst von der Akquirierung motorischer Fähigkeiten zu sehen. Die Untersuchung gliedert sich in einen praktischen und theoretischen Teil.

Der praktische Teil dient der Vermittlung des deklarativen und non-deklarativen Wissens (Lerntheorie siehe Kapitel 1.4). Die konventionell unterrichteten Probanden und die DentSim™-trainierten Probanden werden anhand der Präparationsqualität und des Präparationsprozesses evaluiert. Es gilt zu untersuchen, ob nach kurzer Zeit schon erste Unterschiede zwischen den Gruppen zu erkennen sind.

Im theoretischen Teil wird überprüft, ob das multimediale Lernumfeld des DentSims™ mit den virtuellen zwei- und dreidimensionalen Vergleichsmöglichkeiten zwischen vorgegebener und präparierter Kavität im Vergleich zur konventionellen Ausbildung zu einem höheren deklarativen und non-deklarativen Wissen in Form einer höheren Fehler- bzw. Abweichungserkennungsrate (AbwER) führt. Dieser theoretische Teil bildet das Kernstück der Studie und zielt auf die Hauptfrage der Studie ab, ob DentSim™ zu einer äquivalenten oder höheren Wissensretention führt. Ein positives Ergebnis würde zu einer weiteren Legitimation des Einsatzes der DentSim™-Einheit innerhalb der zahnmedizinischen Lehre führen. Abschließend lässt sich durch den zu Beginn der Untersuchungen durchgeführten Visualisierungs-Intelligenztest ermitteln, ob Zusammenhänge zwischen einer erhöhten Visualisierungsentelligenz und einer erhöhten Wissensretention durch das multimediale Lernumfeld bestehen.

2. Material und Methoden

Die Evaluierung der Vermittlung zahnmedizinisch deklarativem und non-deklarativem Wissens durch computergestützte Patientensimulatoren basiert auf den Erkenntnissen früherer Studien im Bereich der computergestützten Ausbildungssimulatoren (Welk et al. 2000, Hollis et al. 2011, Tanzawa et al. 2011). Es wird ein Vergleich einer konventionellen und einer multimedialen Lernumgebung am Beispiel des computergestützten Patientensimulators (DentSim™) in der vorklinischen Ausbildung der Universitätsmedizin Greifswald durchgeführt. Derzeit wird an der Universität konventionell gelehrt – Vorlesungen, angepasst an aktuelle Erkenntnisse, dienen der theoretischen Wissensvermittlung. Die Einweisung für den praktischen Teil findet dann im Phantomraum der Universitätsmedizin statt, in dem ebenfalls sämtliche Präparationsübungen im Rahmen des Phantomkurses III des regulären Curriculums durchgeführt werden. Der Kurs wird von einem erfahrenen Assistenten geleitet. Die Versuchsbedingungen sollten für die Versuchs- und Kontrollgruppe sehr ähnlich sein, wobei die Versuchsgruppe alle praktischen Teile mit Hilfe des DentSims™ absolviert. Der theoretische Teil ist für beide Gruppen gleich strukturiert.

2.1 DentSim™ und konventionelle Lehre

Der zentrale Bestandteil der Studie ist der bereits erläuterte computergestützte Patientensimulator DentSim™ (Limited Navigation Ltd., New York), an welchem beide Probandengruppen ausnahmslos alle Präparationen durchgeführt haben. Für die Kontrollgruppe wird die DentSim™-Einheit so eingestellt, dass sie den Eigenschaften einer konventionellen Phantomeinheit entspricht. Die Grundlage für sämtliche Präparationen und anschließenden Analysen des praktischen und theoretischen Teils der Kontroll- und DentSim™-Gruppe (KG und DG) bilden die bereits vorhandenen DentSim™-Vorlagen (UPenn – Beginners / Version, siehe Anhang B).

Die verwendeten Kunststoffzähne stammen von der Firma KaVo (Leutkirch, Deutschland) und die Diamantschleifer von der Firma Komet (Gebrüder Brasseler GmbH & Co. in Lemgo, Deutschland).

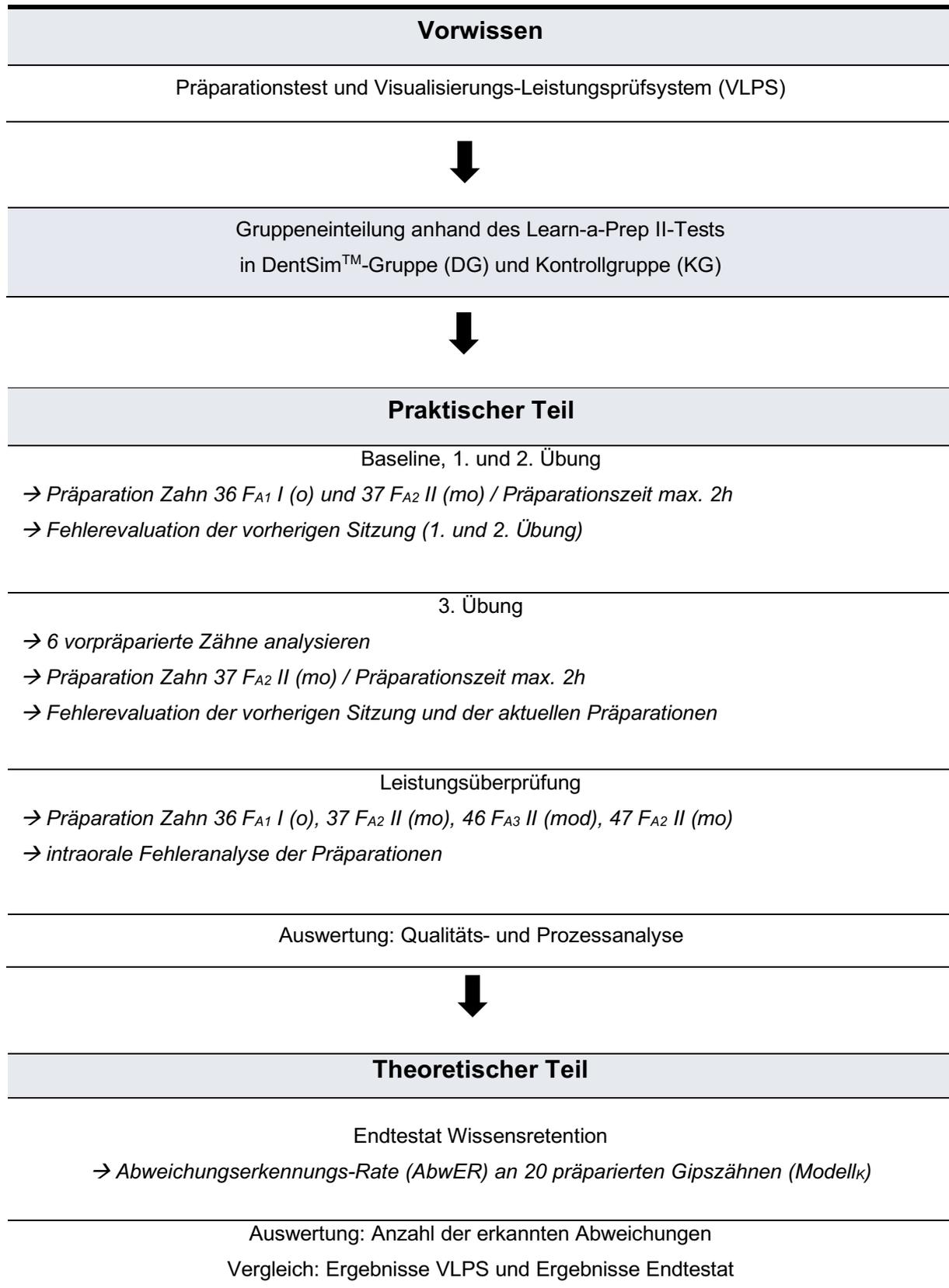
Die KG wurde nach dem aktuellen Curriculum unterrichtet (Stand: 2001). Ein langjährig erfahrener Kursassistent hat eine Einführungsvorlesung zu den Präparationen via Overhead-Projektor (Folien nach DentSim™-Vorgabe) gehalten. Zusätzlich wurden Unterlagen zum Selbststudium an die KG verteilt.

2.2 Studiendesign und Kohortenbildung

Die Grundlage der Studie bildet ein analytisches Test-Kontroll-Studiendesign mit stratifizierter Randomisierung bezüglich der initialen Präparationsfähigkeiten durch einen Learn-a-Prep-II Tests (siehe Tab. 1). Die Probanden setzen sich ausschließlich aus dem zweiten Fachsemester der Zahnmedizin des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (ZZMK) der Universitätsmedizin Greifswald zusammen. Insgesamt handelt es sich dabei um 42 Studierende, aufgeteilt in zwei Gruppen (jeweils 21 Studenten). Zur Verhinderung von externen Einflüssen auf studienrelevante Fragestellungen wurde die Präparationsübungen im zweiten Fachsemester, in dem keine studien-spezifischen Vorlesungen bzw. praktischen Kurse stattfanden, durchgeführt.

Grundsätzlich findet eine Trennung des Versuchsaufbaus in einen praktischen und in einen theoretischen Teil statt (siehe Tab. 1). Der praktische Teil dient der Qualitäts- und Prozessanalyse. Der theoretische Teil dient vornehmlich der Überprüfung des im Laufe der Studie erworbenen deklarativen und non-deklarativen Wissens.

Tab. 1: Studiendesign: Evaluation der Wissensvermittlung.



2.2.1 Präparationstest und Visualisierungs-Leistungsprüfsystem

Die homogene Verteilung der Probanden auf DentsimTM- und Kontrollgruppe erfolgt durch eine stratifizierte Randomisierung anhand eines Präparationstests (Learn-A-Prep II). Das nachfolgende VLPS soll die Visualisierungsintelligenz der Studierenden erfassen und dient zur Überprüfung von eventuellen Einflüssen der individuellen Visualisierungsintelligenz auf die Abweichungserkennungs-Rate (AbwER) (siehe Kapitel 3.2.3).

2.2.1.1 Präparationstest

Jeder Proband präpariert die auf der dreischichtigen „Learn-A-Prep II“-Kunststoffplatte (Whip-Mix, Louisville, USA) vorgezeichneten Kavitäten-Umrissformen in einer farblich vorgegebenen Schichttiefe nach. Der Block mit unterschiedlichen Farbmarkierungen zur Tiefenanalyse versucht, unterschiedliche Materialschichten zu imitieren (Schmelz, Dentin, Pulpa). Anhand des Learn-A-Prep II-Tests lassen sich Rückschlüsse auf die initiale Hand-Augen-Koordination und das manuelle Geschick während des Präparierens der Studierenden ziehen.



Abb. 7: Learn-A-Prep II-Platte zur Simulation des Zahnaufbaus. Die unterschiedlichen Schichten sind farblich abgegrenzt (rot: Pulpa; gelb: Dentin; weiß: Schmelz). (Homepage Whip-Mix)

Die Studierenden müssen an den Learn-A-Prep II-Platten 9 Kavitäten präparieren, wobei die letzten drei jeweils in maximal 30 Minuten fertiggestellt sein mussten. Vor Beginn der Übung erhielten alle Studierenden eine Einführung in Ergonomie und Präparationstechniken. Die Präparation wurde mittels rotem Winkelstück unter Wasserkühlung (24 LS, KaVo, D-Biberach; Drehzahlbereich: 40000-250000 U/min) und zylindrischen Diamanten (314.835.010 KR, 314.836.012 KR, 314.837.014 KR, Komet, Lemgo) der Körnung 90 µm durchgeführt. Die letzten drei Kavitäten auf der Lern-A-Prep II-Platte wurden anhand folgenden individuellen Qualitätsparametern (Tab. 5) bewertet:

Tab. 2: Kriterien für die Auswertung der Lern-A-Prep II -Platten.

Beurteilung der Randqualität		max. 6 Pkt.
glatt/rau	= 1 Pkt	
Randabschluss	= 3 Pkt.	
Parallelwandung	= 2 Pkt.	
Beurteilung der Präparationstiefe		max. 3 Pkt.
Beurteilung der Bodenqualität		max. 4 Pkt.
glatt/rau	= 1 Pkt.	
keine Perforation der nächsten Schicht	= 3 Pkt.	
Gesamt-Punktzahl		max. 13 Pkt.

2.2.1.2. Visualisierungs-Leistungsprüfsystem (VLPS)

Die Studie soll außerdem untersuchen, ob es einen Unterschied in der visuellen Intelligenz der beiden Gruppen gab bzw. ob Probanden mit erhöhter visueller Intelligenz besser von der multimedialen Lernumgebung des DentSims™ in Form erhöhter Abweichungserkennungs-Raten (AbwER) profitieren. Außerdem lässt sich durch eine Überprüfung der Visualisierungsintelligenz ausschließen, dass ein Ungleichgewicht zwischen den beiden Gruppen herrscht und dadurch eine Verzerrung der AbwER hätte entstehen könnte. Um die Studie zu komplementieren wurden Untertests des Leistungsprüfsystems (LPS) durchgeführt. Das ursprüngliche LPS wurde von Prof. Horn (Horn 1983) entwickelt und stellt noch heute in modifizierter Form (LPS-2, 2013) einen häufig durchgeführten Intelligenztest in Deutschland dar. Diese Studie bedient sich der Untertests 7,8,9 und 10, welche im LPS für die Ermittlung der räumlich-visuellen Basiskompetenzen sowie für die Abstraktionsfähigkeit zuständig sind. Für jeden Untertest gibt es begleitend schriftliche Instruktionen und eine Zeitvorgabe, die von den Aufsichtspersonen vor jedem Untertest an die Studierenden vermittelt wurden (siehe Anhang B). Die Abbildung 9 zeigt einen exemplarischen Ausschnitt der Untertests. Im Untertest 7 wird das Erkennen von Regelmäßigkeiten erfasst, Untertest 8 und 9 sollen das räumliche Vorstellungsvermögen erfassen, wohingegen Untertest 10 das Erkennen des Wesentlichen in einer Figur, die Introversion und die geistige Unabhängigkeit erfassen soll.

Als zusätzliche Hilfestellung ist in jede erste Zeile eines jeden Tests ein Lösungsbeispiel integriert. Die anderen Teile des LPS sind für diese Studie irrelevant. Die Konzeption des Tests und die Auswertung fand in Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Bildungsforschung (Frau Prof. Dr. Stern) statt.

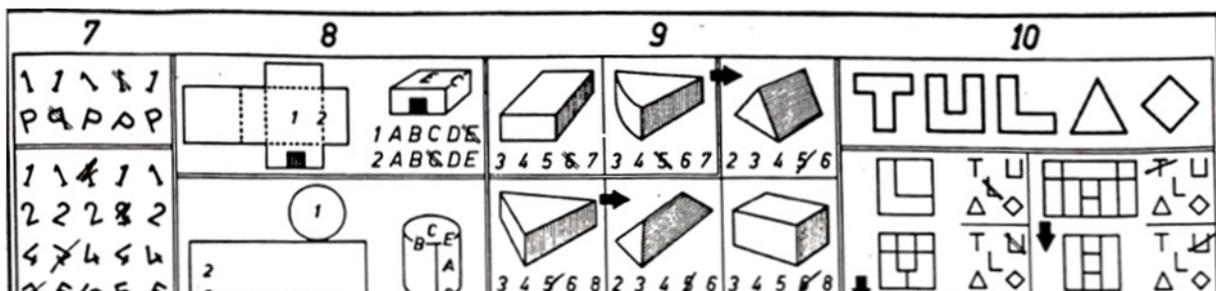


Abb. 8: Leistungsprüfsystem – Untertest 7,8,9,10 für räumliches Vorstellungsvermögen. (abgeleitet von Horn 1983)(vollständige Version, siehe Anhang B)

2.2.2 Versuchsablauf des praktischen Teils

Der praktische Teil ist in seinem Aufbau für die Baseline, die Übungen und den Abschlusstest sehr ähnlich. Die Studierenden werden währenddessen durch Tutoren überwacht und in ergonomische Haltung und Arbeitsweise mit der DentSimTM-Einheit eingewiesen. Die praktischen Arbeiten der Leistungsüberprüfung werden hinsichtlich ihrer Qualität von zwei erfahrenen Instruktoren unabhängig voneinander beurteilt. Die Qualitätsparameter wurden vorher definiert und die suffiziente Kalibrierung der beiden Instruktoren anhand eines ICC überprüft.

Die DentSimTM-Gruppe (DG) darf während der Präparation alle multimedialen Funktionen der Präparationseinheit nutzen (siehe Kapitel 1.3.3).

Die Kontroll-Gruppe (KG) darf die multimedialen Funktionen während der Präparation nicht nutzen. Außerdem darf die KG während der Präparation eines Zahnes maximal ein bis zwei Fragen zur Präparation stellen. Die Limitation der Anzahl der Fragen soll den derzeitigen Betreuungsschlüssel von 20:1 (Studenten: Assistent) an der Universität Greifswald simulieren.

Allgemein gilt für beide Gruppen eine Begrenzung der Zeit (2h) und Anzahl von Zähnen, d.h. jede zu präparierende Kavität muss in einer bestimmten Zeit fertiggestellt werden.

2.2.2.1. Die Baseline

Nach der stratifizierten Randomisierung dient die Baseline dazu, die anfänglichen Präparationsfertigkeiten der Studierenden zu dokumentieren. Die erhobenen Daten stellen einen wichtigen Referenzwert dar, um Leistungssteigerungen zu analysieren. Die Baseline sowie die erste und die zweite Übung haben einen sehr ähnlichen Ablauf. Vor Ort folgt ein Betreuer festgelegten Anweisungen der Versuchsleiter.

Es ist zu beachten, dass der DG nur DentSim™-spezifische Fragen erlaubt sind, wohingegen der KG ein bis zwei Fragen zur Präparation gestattet sind. Die Bildschirme der Tracking-Computer müssen auf ihre Funktion überprüft werden, da die Aufnahmen essentiell für die spätere Analyse sind. Für die KG muss der Tutor die Displaydarstellung des großen und kleinen virtuellen Zahnes am DentSim™-Gerät so vergrößern und verdrehen, dass er für den Studenten nicht erkennbar ist. Vor der eigentlichen Baseline-Präparation hat der Student fünf Minuten Zeit für eine Probepräparation an 36, danach wird der Übungszahn gegen den zu präparierenden Baseline-Zahn getauscht. Eine fortlaufende Kontrolle der Einstellungen des DentSims™ des Tutors ist für eine fehlerfreie Datengewinnung wichtig. Ansonsten haben in der Baseline beide Gruppen unter denselben Bedingungen präpariert. Als Baseline wurden die Zähne 36 F_{A1} I (o) und 37 F_{A2} II (mo) für Amalgam präpariert.

2.2.2.2 Die erste und zweite Übung

Die erste und zweite Übung sind gleich strukturiert. Zu Beginn findet die Analyse der beim letzten Mal präparierten Zähne mit Hilfe des anwesenden Tutors statt. Ansonsten ist er für Notfälle (Fehlfunktionen etc.) oder DentSim™-spezifische Fragen der Studenten jederzeit erreichbar. Jeder Student erhält nochmals eine Einweisung in die ergonomische Sitzhaltung und die Haltung des Instruments mit extra- bzw.- intraoraler Abstützung (CAVE: DentSim™-Kamerafeld).

Für die anfängliche Analyse der präparierten Zähne aus der letzten Sitzung werden diese an die DG ausgehändigt und mit Hilfe der „previous session“-Funktion des DentSims™ detailliert analysiert. Des Weiteren füllen die Studierenden einen Operationalisierungsparameter-Bogen für die Prozessanalyse aus (siehe Anhang B). Der KG werden ebenfalls die präparierten Zähne ausgegeben, mit Hilfe des Tutors

konventionell analysiert und anschließend sofort wieder eingesammelt und verpackt. Die Zeit für die Anfangsanalyse beträgt ca. 15 min für Zahn 36 F_{A1} I (o) und ca. 20 min für Zahn 37 F_{A2} II (mo). In beiden Übungen werden die Zähne 36 F_{A1} I (o) und 37 F_{A2} II (mo) für Amalgam präpariert.

Tab. 3: Zusammenfassung Ablauf Übungen 1&2.

Der Ablauf für die D-Gruppe
<ul style="list-style-type: none">- Auswertung des beim letzten Mal präparierten Zahnes 36 F_{A1} I (o) (nach Auswertungsanweisungen auf der Rückseite des Präparationsprotokolls mit Ausfüllen des Operationalisierungsparameter-Bogens)- <u>erneute</u> Präparation des Zahnes 36 F_{A1} I (o)- Auswertung des beim letzten Mal präparierten Zahnes 37 F_{A2} II- <u>erneute</u> Präparation des Zahnes 37 F_{A2} II- falls am Ende noch Zeit sein sollte (jeder Student muss die zwei Stunden voll ausnutzen), erfolgt die Auswertung der an diesem Tag präparierten Zähne
Der Ablauf für die K-Gruppe
<ul style="list-style-type: none">- Auswertung der letzten Präparation mit Tutor- Anschließendes Wiedereinsammeln der Zähne- Präparation der neuen Zähne 36 F_{A1} I (o) und 37 F_{A2} II- Verpacken und Beschriftung der neuen Zähne mit: „Codenummer des Studenten und Leistungsüberprüfung <i>Semester / Jahr</i>“

2.1.2.3 Dritte Übung

Die dritte Übung unterscheidet sich von ersten und zweiten Übung. Vor der eigentlichen Präparationsübung müssen die Studierenden 6 bereits präparierte Zähne analysieren und die gemachten Fehler erkennen und benennen. Dazu wurde dem Studierenden jeweils der entsprechende Zahn gegeben und eine gruppenspezifische Analyse durchgeführt. Die 6 Zähne wurden zuvor durch die Tutoren an der DentSim™-Einheit präpariert.

Die DG nutzt zur Analyse der 6 Zähne die entsprechende „previous session“-Funktion. Dabei vergleicht der Studierende den präparierten Zahn mit dem virtuellen Abbild des Zahnes und auch der virtuellen Idealkavität (UPenn – Beginner / Procedere des DentSims™). Der Studierende soll vor allem die Fehler am real-präparierten Zahn erkennen. Die nicht erkannten Fehler werden anschließend dem Studierenden direkt am präparierten Zahn gezeigt und zusätzlich mittels grafischer Darstellung des Fehlers an der DentSim™-Einheit visualisiert. Die Studenten der KG erhalten ebenfalls den entsprechenden Zahn, um die eingebauten Fehler zu analysieren. Die nicht erkannten Fehler werden dem Studierenden konventionell durch den Tutor am Untersuchungsobjekt gezeigt.

Nach der oben beschriebenen Untersuchung der 6 Zähne erfolgt eine weitere Analyse der in der vorherigen Übung präparierten Zähne. Die DG erhält wieder ihre präparierten Zähne und wertet diese mit Hilfe der „previous-session“-Funktion aus. Bei der Auswertung gibt der Tutor nur DentSim™-spezifische Anweisungen bzw. Hilfestellungen. Anders als bei der ersten und zweiten Übung müssen die Studierenden ihre eigenen Präparationen zusätzlich bewerten. Die einzelnen Analyseschritte befinden sich auf der Rückseite des Präparationsprotokolls (siehe Anhang B) und werden systematisch abgehandelt.

Die KG analysiert die Fehler wieder mit der Hilfe des Tutors. Die Zeit für die Anfangsanalyse beträgt ca. 15 min für Zahn 36 F_{A1} I (o) und ca. 20 min für Zahn 37 F_{A2} II (mo). Beide Gruppen präparieren in der dritten Übung nur Zahn 37 F_{A2} II (mo), welcher direkt im Anschluss mit Hilfe Tutors (KG) bzw. des Operationalisierungsparameter-Bogens (DG) ausgewertet wird.

Tab. 4: Zusammenfassung Ablauf Übung 3.

-
- Analyse und Auswertung der 6 präparierten Zähne
 - Auswertung des beim letzten Mal präparierten 36 F_{A1} I (o) und 37 F_{A2} II (mo) mit anschließendem Ausfüllen des Operationalisierungsparameter-Bogens (nur DG)
 - erneute Präparation der 37 F_{A2} II (mo)
 - anschließende Analyse der heute präparierten 37 F_{A2} II (mo) mit anschließendem Ausfüllen des Operationalisierungsparameter-Bogens (nur DG)
 - Verpacken und Beschriftung des neuen Zahnes:
„Codenummer des Studenten und Leistungsüberprüfung *Semester / Jahr*“
 - Ausfüllen des Präparationsprotokolls (KG)
-

2.1.2.4 Die Leistungsüberprüfung

Die Studierenden müssen im Rahmen der Leistungsüberprüfung vier Zähne präparieren. Hierzu zählen die bereits geübten Zähne 36 F_{A1} I (o) und 37 F_{A2} II (mo) sowie die zwei neuen Kavitäten 46 F_{A3} II (mod) und 47 F_{A2} II (mo). Das Präparieren im vierten Quadranten erfordert einen Wechsel der Absaugung, d.h. die vom Patienten rechte Absaugung muss entfernt und die vom Patienten linke Absaugung installiert werden. Während der Leistungsüberprüfung dürfen die Studierenden nur das zahnärztliche Besteck, bestehend aus Spiegel und Sonde, nutzen. Die Paro-Sonde und Fragen an den Tutor sind nicht erlaubt. Die Studierenden sollten nochmals informiert werden, dass auch der Prozess analysiert wird (DentSimTM-Gruppe an die Operationalisierungsparameter erinnern).

Die Hauptaufgabe des Tutors während der Leistungsüberprüfung besteht in einer ständigen Kontrolle des DentSimTM-Trackingcomputers und der Haltung der Studenten, so dass keine Blockierung der Sensoren erfolgt.

Nachdem alle Präparationen beendet wurden, erfolgt die intraorale visuelle Fehleranalyse der einzelnen Kavitäten durch die Probanden. Die Zeit der Fehleranalyse wird im Protokoll pro Zahn vermerkt.

Tab. 5: Zusammenfassung Ablauf Leistungsüberprüfung.

-
- Präparation der Zähne
 - intraorale visuelle Fehleranalyse
 - Verpacken und Beschriftung der Präparationen:
„Codenummer des Studenten und Leistungsüberprüfung *Semester / Jahr*“
 - Ausfüllen des Präparationsprotokolls
-

2.2.3 Versuchsablauf des theoretischen Teils

Die mentale Repräsentation der geübten Präparationen in Form einer Idealkavität wird im Endtestat an 20 vorgegebenen Kavitäten (Modell_K-Zähne aus Gips) (siehe Tab. 6) überprüft. Die Modell_K-Zähne enthalten Abweichungen (Abw) von der Idealkavität (DentSimTM UPenn-Beginner-Procedere). Sie wurden durch geübte Tutoren mittels der DentSimTM-Einheit an Kunststoffzähnen angefertigt, anschließend in Superhartgips (Dentaler Gips Typ IV) überführt und für die Auswertung durch die Studenten mittels Silikonformen dupliert. Die 20 Modell_K-Zähne wurden in Untersuchungsgruppen eingeteilt, welche sich in Art des Zahnes, der Kavität und des anschließend geplanten Füllungsmaterials unterscheiden. Danach wurden sie via 3D-Analyse auf ihre Abw von der Idealkavität untersucht, wodurch für jeden Zahn eine Musterlösung der zu erkennenden Abw entstanden ist. Die fehlenden Maße der Kavitäten im 4. Quadranten (46o, 47mo und 46mod) wurden aufgrund der fehlenden Programmierung der DentSimTM-Einheit von vorhandenen Zähnen (36o und 37mo) übertragen bzw. konstruiert. Während des Endtestats müssen die Studierenden anhand standardisierter Formulierungen die Abw der Modell_K-Zähne von der Idealkavität beschreiben. Zur Betrugsprophylaxe werden die präparierten Zähne für zwei Gruppen unabhängig der Test- bzw.-Kontrollgruppenzugehörigkeit unterschiedlich codiert. Zur standardisierten Auswertung wird den Studenten ein Katalog mit entsprechenden Fehlerbeschreibungen bzw. Antwortmöglichkeiten ausgehändigt (exemplarische Darstellung am Beispiel von A11 und 21 siehe Anhang C).

Tab. 6: Liste der Modell_K-Zähne für AbwER.

Untersuchungsgruppe	Modell _K -Zähne	Flächen / Füllungsmaterial
A1.1 – A1.4	36 o	F1 / Amalgam
A2.1 – A2.4	37 mo	F2 / Amalgam
B1.1 – B1.3	46 o	F1 / Amalgam
B1.4 – B1.6	46 mod	F3 / Amalgam
B2.1 – B2.3	47 mo	F2 / Amalgam
B2.4 – B2.6	47 mo	F2 / Keramik
Insg. 20 Zähne	Nur UK	17x Amalgam 3x Keramik

Material und Methoden

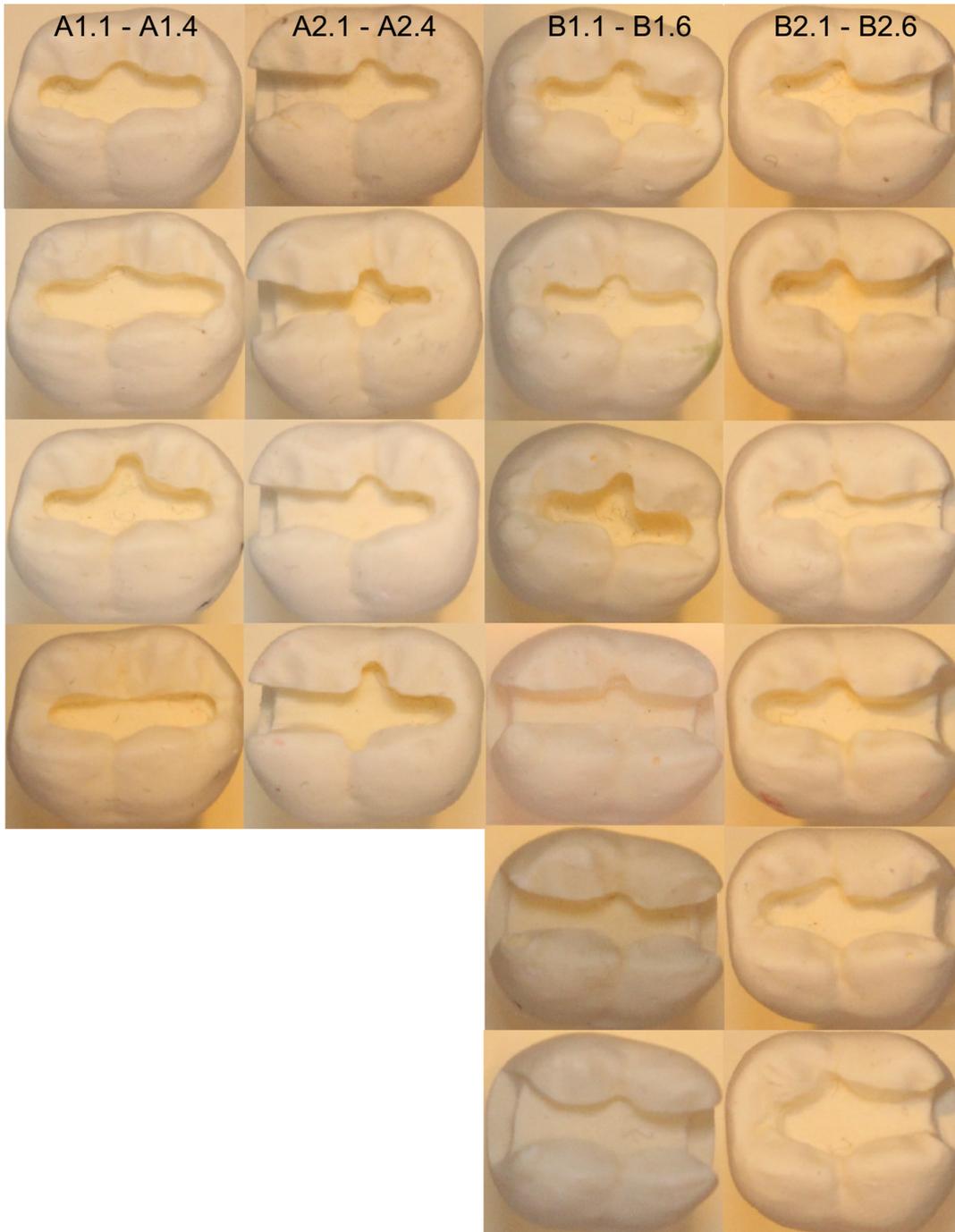


Abb. 9 Modell_k – Zähne.

2.3 Auswertung

Die Tabelle 7 zeigt eine Zusammenfassung aller erhobenen Variablen, welche später durch deskriptiv- und interferenz-statistische Tests ausgewertet werden:

Tab. 7: Darstellung der erfassten Variablen.

Vorwissen	
Learn-a-prep II	VLPS
Gesamtpunktzahl	Gesamtpunktzahl
Stratifizierte Randomisierung der Probanden durch Lean-a-Prep II	
Praktischer Teil	
Baseline & Leistungsüberprüfung	
Präparations-Qualität Gesamtwert und Einzelparameter	Präparations-Prozess Gesamtwert und Einzelparameter
Theoretischer Teil	
Deklarativer und Non-Deklarativer Wissenstest (Endtest)	
Gesamtpunktzahl der erkannten Abweichungen	Gesamtpunktzahl einer Abweichung des jeweiligen Grads*

Anmerkung: Zusammenfassung aller relevanten Variablen. *graduelle Einteilung der Abw in 0,2mm-Schritten.

2.3.1 Auswertung des Vorwissens

Punkteauswertung und Gruppenverteilung anhand des Präparationstests

Die Studierenden wurden zur besseren Übersicht auf zwei anfängliche Gruppen (1. und 2.) aufgeteilt und mit einer individuellen Nummer versehen, bevor die eigentliche Präparationsübung stattgefunden hat.

Jeder Studierende wurde dann nach seiner Punktzahl in eine Tabelle eingetragen (Tab. 8) (Kennung: anfängliche Gruppe/ Nummer Student in der Gruppe).

Die Studierenden, die alleine in einer Punktzahl-Spalte der Tabelle 8 standen bzw. in deren Spalte eine ungerade Anzahl an Probanden war, wurden einer höheren Punktzahl-Spalte zugeteilt, um jeweils eine gerade Anzahl an Studierenden für die anschließenden Gruppeneinteilung zu erhalten. Die Umsortierung ist in Tabelle 9 dargestellt. Insgesamt betraf die Modifizierung drei Studenten (Kennung: 1./4, 2./15 und 2./17).

Nach der Umverteilung wurden die Studenten in zwei Gruppen (DentSimTM-Gruppe / Kontroll- Gruppe) aufgeteilt, wobei jeweils der erste Student einer Punktzahl-Spalte in die DG und jeder zweite in die KG eingeteilt wurde (siehe Tab. 10).

Tab. 8: Erste Auswertung.

Nr.	Punktzahl des Learn-a-Prep II													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.			2./5	2./21	1./4		1./6	1./1	1./3					
2.			2./19	2./20		1./2	1./11	1./7	1./5	1./9		1./17		
3.						1./13	1./18	1./10	1./8	1./15				
4.						1./14	2./2	1./12	2./4	1./19				
5.						1./16	2./10	2./1	2./7	2./8				
6.						2./6	2./18	2./3	2./13	2./9				
7.								2./11	2./15	2./12				
8.								2./16		2./14				
9.								1./21		2./17				
10.								1./20						

Anmerkung: Erste Auswertung ohne Modifikation, orange Pfeile zeigen die Bewegung der Modifikation

Tab. 9: Modifizierte Auswertung.

Nr.	Punktzahl des Learn-a-Prep II													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.			2./5	2./21		1./4	1./6	1./1	1./3	2./15		2./17		
2.			2./19	2./20		1./2	1./11	1./7	1./5	1./9		1./17		
3.						1./13	1./18	1./10	1./8	1./15				
4.						1./14	2./2	1./12	2./4	1./19				
5.						1./16	2./10	2./1	2./7	2./8				
6.						2./6	2./18	2./3	2./13	2./9				
7.								2./11		2./12				
8.								2./16		2./14				
9.								1./21						
10.								1./20						

Tab. 10: Gruppeneinteilung.

Gruppe 1 (DentSim™-Gruppe)		
Teilnehmernr.:	Kennung:	Name:
1.	Grp. 2 / 5	D061080
2.	Grp. 2 / 21	D250276
3.	Grp. 1 / 4	D061281
4.	Grp. 1 / 13	D130681
5.	Grp. 1 / 16	D040475
6.	usw.	...

Gruppe 2 (Kontroll-Gruppe)		
Teilnehmernr.:	Kennung:	Name:
1.	Grp. 2 / 19	K050775
2.	Grp. 2 / 20	K040776
3.	Grp. 1 / 2	K281181
4.	Grp. 1 / 14	K220472
5.	Grp. 2 / 6	K041181
6.	usw.	...

Anmerkung: Gruppeneinteilung nach Modifikation der Punktergebnisse des Learn-a-Prep II-Tests, vollständige Tabelle im Anhang A (Tab 24.).

Visualisierungs-Leistungsprüfsystem (VLPS)

Die Auswertung des VLPS wurde durch das Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin durchgeführt. Für die Ermittlung der räumlichen Intelligenz wurden vier Untertests des LPS (siehe Abb. 9) durchgeführt. Die Studierenden konnten jeweils eine spezifische Punktzahl pro Untertest erreichen. Die Gesamtsumme der vier Untertests gibt das individuelle Testergebnis des Studierenden der jeweiligen Gruppe wieder. Die Gewichtung hinsichtlich einer anhand des Intelligenztest durchgeführten Gruppeneinteilung war zu komplex, sodass der VLPS erst am Ende der Auswertung weiter untersucht und in Bezug zu den Ergebnissen anderer Untersuchungen gesetzt wurde. Zum einen wurde auf einen allgemeinen Gruppenunterschied geprüft und zum anderen ob Studierende mit hohem VLPS-Ergebnis (unabhängig von der Gruppe) signifikant höhere Abweichungserkennungsraten (AbwER) im Endtestat zur Wissensretention des theoretischen Teils erreichen. Inwieweit sich ein signifikant besseres Intelligenztestergebnis auf die individuelle Leistung auswirkt, also den Gewinn an deklarativen und non-deklarativen Wissen mittels multimedialen Lernumfelds, wird im Ergebnisteil dargestellt.

2.3.2 Auswertung des praktischen Teils

Qualitätsanalyse der Präparationen

Die praktischen Arbeiten der Baseline und der Leistungsüberprüfung werden hinsichtlich ihrer Qualität von zwei erfahrenen Instruktoren unabhängig voneinander beurteilt. Als Referenz gilt die Dentsim™-Vorgabe „UPenn Beginner“. Für eine statistische Reliabilität wurde ein ICC (Inter-Klassen-Korrelation) am 1. und 2. Tag sowie nach 6 Wochen durchgeführt. Die Datenerhebung fand durch einen neu entwickelten Auswertungsbogen statt. Abbildung 10 zeigt einen Ausschnitt dieses Bogens (ganzer Bogen: siehe Anhang C).

Der Bogen berücksichtigt den Kavitätenumriss/-rand, die Lage der Kavität (Zentralisation), die Glätte, die Tiefe, die Unterschnitte bzw. die richtige Parallelität der Wände und die allgemeine klinische Annehmbarkeit. Die Termini von „Sehr gut“ bis „Sehr schlecht“ beschreiben die Abw bzw. den Toleranzbereich der Präparation.

	Sehr gut	Gut	Mittel	Schlecht	Sehr schlecht	Gesamt
Kavitätenrand	Outline Shape					
Mesio-bukkal						
Disto-bukkal						
Mesio-lingual						
Disto-lingual						
Lage der Längsfissur: mesial						
Lage der Längsfissur: distal						
Lage der Quersfissur: bukkal						
Lage der Quersfissur: lingual						

Abb. 10: Ausschnitt „Klinischer Auswertungsbogen“. Anmerkung: Beispiel: „Kavitätenrand“. Abw bzw. Toleranzbereich der Präparation (in mm): sehr gut = 0,0-0,3; gut = 0,3- 0,6; mittel = 0,6-0,9; schlecht = 0,9-1,2; sehr schlecht = >1,2.

Prozessanalyse der Präparation

Der Prozess wird anhand der virtuellen Präparationsaufnahmen überprüft. Als essentielles Hilfsmittel dient die DentSimTM-Einheit, da es in der Lage ist, die Abfolge der einzelnen Präparationsschritte, das Wechseln der Instrumente und die Bewegungen der Instrumente detailliert zu erfassen. Auf Grundlage dieser Daten ist es möglich, ein komplexes Auswertungssystem bestehend aus der Präparationszeit und unterschiedlichen Präparationsschritten zu entwickeln. Hierbei wird der Präparationsprozess mittels der aus den in der Chirurgie für die Bewertung von Operationen benutzten Items des Global Rating Scale (Objective Structured Assessment of Technical Skill – OSATS (Faulkner et al. 1996, Martin et al. 1997, MacRae et al. 2000)) für die zahnmedizinische Präparation modifizierte Operationalisierungs-Parameter (Welk et al. 2007) analysiert. In Tabelle 12 sind sowohl die Items des Bewertungssystems des Global Rating Scales der folgenden OSATS als auch die daraus generierten quantitativen Operationalisierungs-Parameter zusammengefasst. Die Operationalisierungs-Parameter dieser Studie basieren auf den ursprünglichen Parametern der Studie „Mental Training in dentistry“ (Welk et al. 2007). Es folgt eine genaue Beschreibung der einzelnen Präparations-Prozess-Parameter, welche Anwendung fanden.

Tab. 11: OSATS und Operationalisierungs-Parameter (modifiziert).

Items des Global Rating Scale des OSATS*	Operationalisierungs-Parameter des Präparations-Prozesses
Knowledge of specific procedure	<ul style="list-style-type: none"> - Reihenfolge der Präparationsschritte / Knotenpunkte (KP) - Verschmelzung Rück- bzw. Vorgriff auf Präparationsschritte / KP - Rückgriff auf KP
Time and Motion	<ul style="list-style-type: none"> - Wiederholung von Präparations-Schritten - Gesamtdauer der Präparation (Dauer einzelner KPs + Pausen zwischen KPs)
Flow of Operation and Forward Planning	<ul style="list-style-type: none"> - Pausen innerhalb der KPs (Präparations-Unterbrechungen)

Anmerkung: Auflistung der aus den Items der Global Rating Scale entwickelten und mittels des DentSimTM-Systems erfassten Operationalisierungs-Parameter des Präparations-Prozesses / Modifikation für diese Studie (z.B. Wegfall „Gebrauch von inadäquaten Instrumenten“) KP=Knotenpunkt.

Zu den erfassten Parametern zählt die „**Reihenfolge der Präparationsschritte/Knotenpunkte (KP)**“ (Untergliederung: 1. Präparation entlang der Mittelfissur; 2. Schaffung der Querfissur; 3. Gestaltung der äußeren Umrissform; 4. Approximale Stufe gestalten; 5. Gestaltung des Kavitätenbodens).

Die „**Verschmelzung Rück- bzw. Vorgriff auf Präparationsschritte / KP**“ zeigt, wenn ein Proband während der Präparation an mehreren KPs gleichzeitig gearbeitet hat.

Anders als bei der Verschmelzung kann während des „**Rückgriffs auf Knotenpunkte**“ ein klares Springen zwischen zwei KPs ausgemacht werden. Es wurden folgende Parameter erfasst: 1. Schaffung der Querfissuren; 2. Gestaltung der äußeren Umrissform; 3. Approximale Stufe gestalten und 4. Gestaltung des Kavitätenbodens.

Die „**Wiederholung eines Präparations-Schrittes**“ umfasst folgende Parameter: 1. Präparation entlang der Querfissur, 2. Mesiale Präparation in def. Tiefe; 3. Gestaltung äußere Umrissform / mesial / distal / lingual / vestibulär; 4. Schaffung der Querfissuren / lingual / bukkal; 5. Approximale Stufe gestalten; 6. Gestaltung des Kavitätenbodens. Das Auswertungskriterium „**Pausen innerhalb der Knotenpunkte**“ erfasst die Pausen innerhalb der Präparation (Anzahl und Dauer), in denen keine Bewegungen des Instruments durch das DentSimTM-System registriert werden. Es werden folgende Einzelparameter erfasst: 1. Präparation entlang der Mittelfissur; 2. Schaffung der Querfissur; 3. Gestaltung der äußeren Umrissform; 4. Gestaltung der approximalen Stufe und 5. Gestaltung des Kavitätenbodens.

Die „**Gesamtdauer der Präparation**“ setzt sich aus der Dauer der einzelnen KP und den Pausen zwischen den KPs zusammen. Für die Dauer der einzelnen Knotenpunkte wurden folgende Einzelparameter erfasst: 1. Präparation entlang der Mittelfissur; 2. Schaffung der Querfissur; 3. Gestaltung der äußeren Umrissform; 4. Gestaltung der approximalen Stufe; 5. Gestaltung des Kavitätenbodens.

2.3.3 Auswertung des theoretischen Teils

Die technische Herausforderung besteht darin, die vorgegebenen Modell_k-Zähne (vorgefertigte Gipszähne mit absichtlich integrierten Abweichungen (Abw) bzw. Fehlern in der Präparation) digital zu überführen. So ist es möglich, deren Abw von der Idealkavität präzise in 0,2 mm Schritten (siehe Tab. 12) zu bestimmen, um sie anschließend mit den Antworten der Studierenden vergleichen zu können. Die Gesamtzahl der erkannten Abw bzw. die Abweichungserkennungsrate (AbwER) sowie die Schwelle, ab welchem Grad Abw überhaupt erkannt werden, liefern die Daten zur Überprüfung der zentralen Hypothese des theoretischen Abschnitts (siehe 1.6: „Zielsetzung der Arbeit“). Eine standardisierte Definition der Abw der Modell_k-Zähne ist für die Auswertung essenziell, da die zentrale Hypothese dieser Studie auf einer erhöhten Wissensretention (deklarativ und non-deklarativ) der DG durch die Anwendung der multimedialen Lernoberfläche der DentSimTM-Einheit beruht.

Tab. 12: Einteilung der graduellen Abweichungen.

Grad	Abweichung von Idealkavität
1	0,0 – 0,2mm
2	0,2 – 0,4mm
3	0,4 – 0,6mm
4	0,6 – 0,8mm
5	> 0,8mm

2.3.3.1 Vermessung der Modell_k-Zähne mittels Intraoral-Scanner

Die Modell_k-Zähne wurden mit der Omni-cam® und deren Software (Version 4.5.2) der Firma Sirona (siehe Abb.11) vermessen.

Die Aufnahmen der Zähne wurden als STL-Datei exportiert und mittels 3D-Analyse Programm (GOM-Inspect 2017) untersucht. Zu der jeweiligen Untersuchungsgruppe (siehe Tab. 6) wurde der jeweilige unpräparierte Referenzzahn gescannt, um später als Bezugspunkt zu fungieren.



Abb. 11: Kopf der Sirona Omnicam® mit Modell_k-Zahn (hier 37mo).

Die Vermessungs-Software: GOM Inspect 2017

Die generierten Scans (STL-Format) der Omnicam® werden mittels einer 3D-Analyse-Software verarbeitet. Bei diesem Programm handelt es sich um die kostenfreie Software „Inspect“ der Firma GOM (Version 2017 Hotfix 6, Rev. 110224, Build 2018-06-01). Die Analyse und anschließende Definition der vorhandenen Fehler ist der essentielle Schritt des theoretischen Teils, da alle studentischen Antworten des Endtestats anhand dieser Musterlösung ausgewertet wurden.

Um eine Reproduzierbarkeit zu gewährleisten, findet sich im Anhang D eine detaillierte Anleitung der Ausrichtung des Referenzzahnes, des Matching-Prozesses und die Wahl der Schnittebenen mittels GOM Inspect.

2.3.3.2 Abgleich der studentischen Antworten

Die schriftlich fixierten Antworten der Studenten werden mit der Musterlösung der vorher für jeden Modell_k-Zahn definierten Abw verglichen. Die Antworten werden eingeteilt in „richtig erkannt“, „nicht erkannt“ und „erkannt – nicht vorhanden“. Jeder Zahn hat seine individuelle Anzahl an Abw.

Bsp.: Ein Zahn 36 F_{A1} (o) hat theoretisch 34 Abw, wovon der Studierende 6 richtig erkannt, 18 nicht erkannt und 3 „nicht vorhandene“ Fehler erkannt hat.

2.4 Angewandte statistische Verfahren

Im Folgenden sollen die Analysen der einzelnen Testgruppen beschrieben werden. Für die Statistiken wird das System SPSS 21 verwendet.

Die deskriptive Statistik fasst die jeweiligen Auswertungen zusammen. Es wurden deskriptive Statistiken zur Prozess- und Qualitätsanalyse sowie zur Wissensretention erstellt.

In der analytischen Statistik werden Vergleiche sowohl der Gruppen gegeneinander innerhalb eines Testobjekts (*intergruppal*) als unabhängige Stichproben als auch eine zweistufige/zeitige Auswertung einer Gruppe vor und nach dem Versuch (*intragruppal*) als abhängige Stichprobe durchgeführt. Alle Daten werden auf Normalverteilung mittels Kolmogorov-Smirnov-Test und Varianzhomogenität mittels Levene-Test geprüft.

Als Testverfahren werden bei normalverteilten, varianzhomogenen Stichproben T-Tests für abhängige und unabhängige Stichproben eingesetzt. Sollte keine Normalverteilung vorliegen, werden parameterfreie Tests für abhängige Stichproben (Mann-Whitney-U-Test bzw. Kruskal-Wallis-Test) und unabhängige Stichproben (Wilcoxon-Test) herangezogen.

3. Ergebnisse

Es nahmen 42 Studenten des 2. Fachsemesters Zahnmedizin der Universität Greifswald an der Studie teil. In Folge der stratifizierten Randomisierung anhand der Auswertung des Learn-A-Prep II-Tests ergab sich folgende Gruppeneinteilung:

Kontrollgruppe (KG): 21 Studenten (13w/8m) Durchschnittsalter 23,14 J

Versuchs-(DentSim™)-gruppe (DG): 21 Studenten (14w/7m) Durchschnittsalter 23 J

3.1 Praktischer Teil

3.1.1 Deskriptive Statistik der Präparationsqualität

Die Präparationsqualität der Baseline und Leistungsüberprüfung der DG und KG wurden von zwei spezialisierten und umfangreich instruierten Tutoren mittels eines analytischen Auswertungsbogens anhand einzelner Kriterien beurteilt. Um die Retest-Reliabilität zu überprüfen, wurden 6 ausgewählte Zähne von jeweils vier unterschiedlichen Probanden im Abstand von einem Tag bzw. sechs Wochen von beiden Prüfern ausgewertet. In Tabelle 13 sind die Pearson-Korrelations- und Intraclass-Correlation-Koeffizienten (KKP und ICC) der Gesamtwerte der Präparations-Qualität zwischen der ersten und zweiten (Retest-Intervall: ein Tag) bzw. der ersten und dritten Auswertung (Retest-Intervall: sechs Wochen) dargestellt. Es zeigt sich eine hohe ICC und ein hoher KKP zwischen den Messwerten nach einem Tag und nach 6 Wochen. Daraus ergibt sich eine hohe Retest-Reliabilität für den Auswertungsbogen.

Tab. 13: Korrelations-Koeffizient nach Pearson und Intra-Class-Correlation.

Retest-Intervall: 1 Tag		Retest-Intervall: 6 Wochen	
KKP	ICC	KKP	ICC
0,89	0,91	0,89	0,91

Anmerkung: Korrelations-Koeffizient nach Pearson (KKP) und Intraclass-Correlation-Coeffizient (ICC) der Gesamtwerte der drei Auswertungen mit einem Retest-Intervall von einem Tag bzw. sechs Wochen.

Ergebnisse

Die Baseline sollte bei beiden Versuchsgruppen grundlegend sehr ähnlich sein, um den statistischen Standards dieser Arbeit gerecht zu werden. Die Tabelle 14 zeigt die statistische Auswertung bestehend aus Standardabweichungen, Mittelwerten, Fallzahlen und interferenzstatistischen P-Werten. Ein höherer Punktwert steht für eine bessere Präparationsqualität.

Die Baseline-Auswertung zeigt heterogene Ergebnisse im *intergruppalen* Vergleich. Dieser Vergleich stellt die KG und DG an Zahn 36o und 37om gegenüber.

Die KG zeigt sich besser als die DG in den Punktwerten:

- Zahn 36o „innerhalb des Kavitätenumrisses“ (KG: 11,83 zu DG 9,03)
- Zahn 37mo „innerhalb des Kavitätenumrisses“ (KG: 13,12 zu DG: 11,73), „Ausdehnung der approximalen Stufe“ (KG: 6,14 zu DG: 3,76)

Die DG zeigt sich besser als die KG in den Punktwerten:

- Zahn 37mo „innerhalb der Anpräparation der Nachbarzähne“ (KG: 8 zu DG: 11,04), „Parallelität der Kavitätenwände“ (KG: 10,83 zu DG: 11,64)

Die Baseline-Auswertung zeigt deskriptive Steigerungen im *intragruppalen* Vergleich. Dieser Vergleich zeigt jeweils die KG bzw. DG von Baseline zur Leistungsüberprüfung.

Die KG steigerte sich an:

- Zahn 37mo: „Tiefe der Kavität“, „Unterschnitte der Kavität“ und „Höhe Stufe der approximalen Stufe“.

Die DG steigerte sich an:

- Zahn 36o „Kavitätenumriss“ (9,03 auf 13,07), „Tiefe der Kavität“ (18,38 auf 23,91), „Gesamtwert“ (52,54 auf 64,39).
- Zahn 37mo „Kavitätenumriss“ (11,73 auf 14,01), „Tiefe der Kavität“ (16 auf 20,86), „Unterschnitte der Kavität (und der approximalen Stufe)“, „Ausdehnung der approximalen Stufe“ (3,76 auf 7,14) und „Höhe Stufe der approximalen Stufe“ (2,43 auf 3,96).

Die deskriptive Auswertung der Gesamtwerte der Präparationsqualität hat keine signifikanten Unterschiede gezeigt. Die graphische Darstellung der Auswertung ist in Abbildung 12 zu finden.

Ergebnisse

Die Zähne 47mo und 46 mod waren Tests für Transferleistungen der Studierenden, sodass korrelierende Ergebnisse zwischen 37mo und 47mo bzw. 36o und 46mod (vor allem der DG) später ein zu diskutierendes Ergebnis darstellen. Vor allem der Transfer von 37mo zu 47mo als simpler Transfer im selben Kiefer zwischen dem 3. und 4. Quadranten ist für die Diskussion interessant. Eine signifikante Korrelation könnte einen Aufschluss darüber geben, ob eine Programmierung jeder einzelnen Kavität in die DentSim™-Software nötig ist.

Tab. 14: Auswertung der Qualitätsanalyse.

Auswertung der Qualitätsanalyse			Baseline				Leistungsüberprüfung							
			36o		37mo		36o		37mo		47mo		46mod	
			m	s	p	m	s	p	m	s	p	m	s	p
Kavitäten- umriss	KG	21	11,83±3,42	0,020*	13,12±4,83	0,406*	12,64±3,51	0,733*	13,53±3,98	0,426*	0,632*	11,78±3,24	0,357*	
	DG	21	9,07±4,13		11,73±3,21		13,07±3,76		14,01±2,32			12,88±3,86		10,86±3,98
Lage der Kavität	KG	21	1,74±0,64	0,819*	1,82±0,71	0,859*	1,78±0,64	0,639*	2,06±0,49	0,067*	0,970*	1,91±0,58	0,071*	
	DG	21	1,75±0,61		1,78±0,64		1,91±0,65		1,75±0,58			1,98±0,61		1,51±0,76
Glätte der Kavität	KG	21	7,09±1,32	0,819*	8,62±2,25	0,458*	6,58±2,38	0,724*	8,57±1,7	0,801*	0,641*	8,12±1,51	0,372*	
	DG	21	6,67±1,76		8,43±1,744		7,23±1,42		8,54±2,19			8,74±1,68		7,81±1,47
Tiefe der Kavität	KG	21	19,14±7,01	0,866*	16,66±8,67	0,749*	20,57±7,51	0,147*	21,81±6,7	0,233*	0,013*	21,33±5,56	0,558*	
	DG	21	18,38±7,15		16±7,59		23,91±5,83		20,86±4,24			17,05±5,37		20,38±4,88
Anpräparation der Nachbarzähne	KG	21	-	-	8±6,69	0,386*	-	-	2,29±4,48***	0,350*	-	4,76±7,39	0,201*	
	DG	21	-		11,04±10,67		-		3,42±4,78***			-		8±9,46
Unterschnitte der Kavi- tät (+ app. Kastens)	KG	21	5,68±1,36	0,375*	5,49±1,41	0,376*	6,13±1,17	0,164*	6,56±6,63	0,751*	0,400*	6,51±1,3	0,318*	
	DG	21	5,28±1,92		5,87±1,43		6,66±1,27		6,63±1,28			6,73±1,4		6,08±1,28
Parallelität der Kavitä- tenwände	KG	21	11,34±1,76	0,820*	10,83±2,63	0,436*	11,94±1,6	0,439*	11,99±1,69	0,317*	0,376*	11,75±2,05	0,948*	
	DG	21	11,38±2,01		11,64±2,12		11,61±2,05		11,57±1,22			11,82±1,56		11,39±2,38
Ausdehnung der ap- prox. Stufe(n)	KG	21	-	-	6,14±2,65	0,005*	-	-	7,14±2,63	0,909*	0,133*	6,76±1,65	0,494*	
	DG	21	-		3,76±2,09		-		7,14±2,28			8,24±2,82		6,29±2,06
Höhe Stufe der approx. Stufe(n)	KG	21	-	-	2,96±1,13	0,308*	-	-	4,32±1,01	0,138*	1,0*	3,9±0,93	0,764*	
	DG	21	-		2,43±1,74		-		3,96±0,99			3,57±1,11		3,82±0,85
Gesamtwert	KG	21	56,82±10,21	0,44**	74,55±15,44	0,41**	59,64±11,78	0,067**	78,27±13,52 76,42±12,73***	0,239**	0,09**	76,82±10,89	0,43**	
	DG	21	52,54±12,52		73,55±11,83		64,39±8,01		77,89±8,19 74,60±7,21***			71±9,99		76,16±15,23

Ergebnisse

Anmerkung: Fallzahlen, Mittelwerte und Standardabweichungen der KG und DG. Je höher der Wert, desto besser die Präparations-Qualität. *Mann-Whitney-U; **T-Test für unabhängige Stichproben; ***Wert bei Vergleich zwischen 37mo und 47mo nicht relevant, da 47mo keine Werte für „Anpräparation der Nachbarzähne“ besitzt

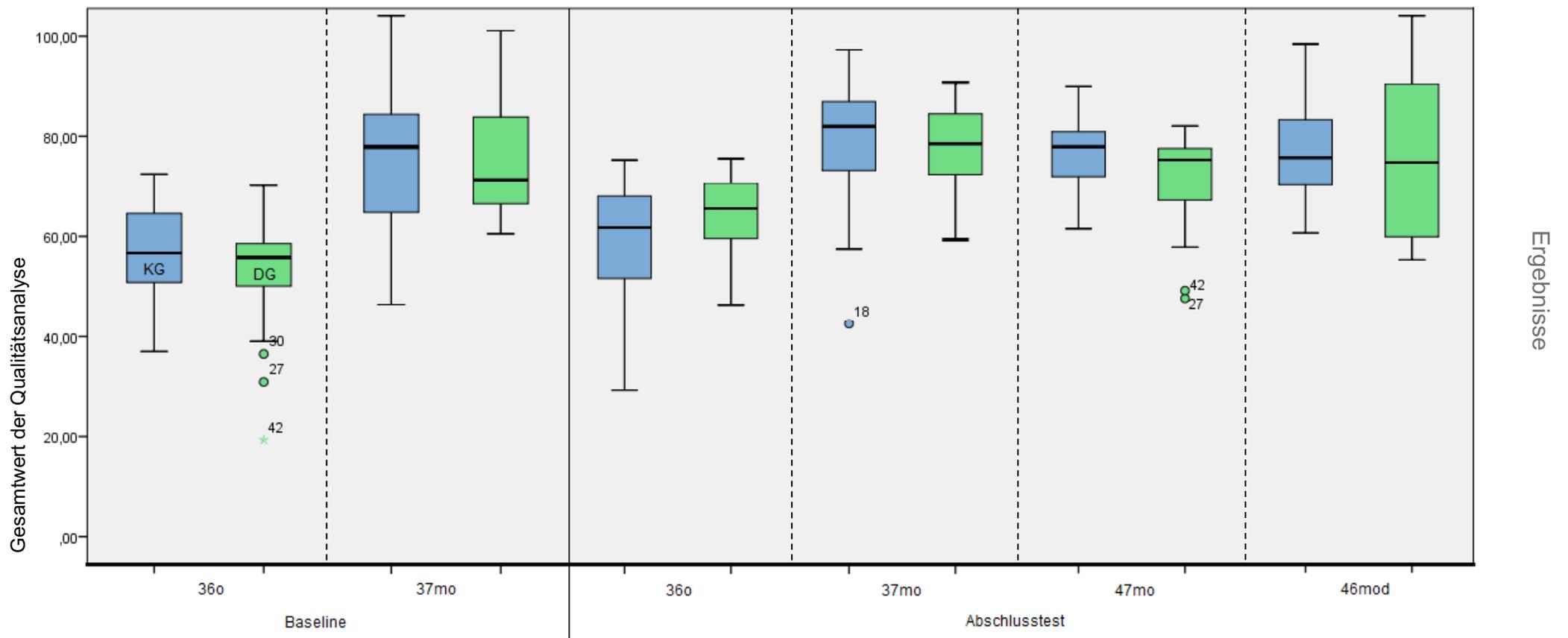


Abb. 12: Boxplot der Gesamtwerte der Qualitätsanalyse; (blau: KG; grün: DG) Anmerkung: Je höher der Wert, desto besser die Präparations-Qualität; Ausreißer wurden belassen.

3.1.2 Statistische Auswertung der Präparationsqualität

a) Auswertung Gesamtwert der Qualitätsanalyse

Die Überprüfung beider Gruppen hinsichtlich der Präparationsqualität ergab Folgendes: Die grafische und rechnerische Analyse via SPSS zeigte mehrere Ausreißer. Um eine Normalverteilung zu erreichen, wurden die Ausreißer aus Analyse Zwecken entfernt (siehe Abb. 12). Hierzu zählten: „Baseline 36o DG“: Proband Nr. 27, 30, 42; „Leistungsüberprüfung 37mo der KG“: Proband Nr. 18; „Leistungsüberprüfung 47mo DG“: Proband Nr. 27, 42. Der Levene-Test zeigt bei allen Gesamtwerten eine Varianzhomogenität (höchste Signifikanz: 0,637; niedrigste Signifikanz: 0,068).

Es wurde ein T-Test für *unabhängige* Stichproben des Gesamtwertes durchgeführt, welcher auf einen *intergruppalen* Unterschied zwischen KG und DG innerhalb eines Messobjekts (Zähne) testet. Die Interferenzstatistik zeigt keine signifikanten Unterschiede des Gesamtwertes der Qualitätsanalyse zwischen der KG und der DG. Die DG zeigt an Zahn 36o eine positive Tendenz des Gesamtwertes ($p=0,067$). Der Zahn 47mo hingegen zeigt eine positive Tendenz in Richtung der KG ($p=0,09$) (siehe Tab. 14).

Im Anschluss wurde ein T-Test für *abhängige* Stichproben des Gesamtwertes durchgeführt, um auf *intragruppale* Unterschiede zwischen zwei Zeitpunkten (Baseline zu Leistungsüberprüfung) zu testen. Die Interferenzstatistik zeigt einen signifikanten Zuwachs des Gesamtwertes an Zahn 36o der DG ($p < 0,001$) (siehe Tab. 15).

Tab. 15: Intragruppaler Vergleich KG/DG.

T-Test für abhängige Stichproben		Vergleich Baseline 36o vs. Leistungsüberprüfung 36o		Vergleich Baseline 37mo Vs. Leistungsüberprüfung 37mo	
		n	P-Werte		
Gesamtwert	KG	21	0,264		0,26
	DG	21	0,001		0,277

Anmerkung: T-Test für abhängige Stichproben, P-Werte des T-Tests für verbundene Stichproben.

Um die Transferleistung der Probanden zu überprüfen, wurde eine Korrelation zwischen dem bereits geübten 37mo zu der neuen Kavität 47mo sowie zwischen der geübten Kavität 36o zu der neuen Kavität 46mod untersucht (Tab. 16). Die Berechnung des Pearson-Korrelations-Koeffizienten zeigt sowohl in der KG als auch in der DG zwischen 37 mo und 47 mo mit den Koeffizienten $K=0,55$ (KG) und $K=0,514$ (DG) ein signifikantes Niveau. Die Bedeutung dieser Ergebnisse wird im Diskussionsteil vertieft.

Tab. 16: Korrelations-Koeffizient nach Pearson.

Pearson-Korrelation der Kavitäten		Korrelation Leistungsüberprüfung 37mo vs. Leistungsüberprüfung 47mo		Korrelation Leistungsüberprüfung 36o Vs. Leistungsüberprüfung 46mod	
		n	K-Werte		
Gesamtwert	KG	21	0,550*		0,261
	DG	21	0,514*		0,249

Anmerkung: Jeweils Leistungsüberprüfung 37mo mit 47 mo / 36o mit 46 mod.* Korrelation auf Niveau 0,05 signifikant.

b) Auswertung Einzelparameter der Qualitätsanalyse

Der Shapiro-Wilk-Test ergab keine Normalverteilung, weshalb ein parameterfreier Mann-Whitney-U-Test der Einzelparameter durchgeführt wurde, welche die *intergruppalen* Unterschiede zwischen KG und DG innerhalb eines Messobjekts (Zahn) erfasst (siehe Tab.14). Die DG weist in der Baseline an Zahn 36o „Kavitätenumriss“ (P-Wert = 0,02), Zahn 37 mo „Ausdehnung der approximalen Stufe“ (P-Wert = 0,005), sowie bei der Leistungsüberprüfung Zahn 47mo „Tiefe der Kavität“ (P-Wert = 0,013), einen geringeren Punktwert als die KG auf. Alle weiteren Untersuchungen waren ohne signifikante Unterschiede.

Neben den in Tabelle 14 dargestellten vergleichenden P-Werten der Einzelparameter, wurde ein parameterfreier Wilcoxon-Test durchgeführt, welcher den *intragruppalen* Unterschied zweier Zeitpunkte (Baseline und Leistungsüberprüfung) untersucht.

Die Übersicht der Ergebnisse findet sich in Tabelle 17. Die DG hat in der Leistungsüberprüfung an Zahn 36o „Kavitätenumriss“, „Tiefe der Kavität“ und „Unterschnitte der Kavität (und des approx. Kastens)“ sowie an Zahn 37mo „Kavitätenumriss“, „Tiefe der Kavität“, „Unterschnitte der Kavität (und des approx. Kastens)“, „Ausdehnung der approximalen Stufe“ und „Höhe der approximalen Stufe“ signifikante Zuwächse in ihrer Präparationsqualität.

Die KG hingegen konnte sich in 37mo „Tiefe der Kavität“, „Unterschnitte der Kavität (und des approximalen Kastens)“ und „Höhe der approximalen Stufe“ signifikant steigern.

Eine signifikante Verschlechterung beider Gruppen ist an Zahn 37mo „Anpräparation der Nachbarzähne“ zu verzeichnen (KG: P=0,008 und DG: P=0,003) – es wurden mehr Nachbarzähne anpräpariert.

Ergebnisse

Tab. 17: Intragruppaler Vergleich von KG/DG.

Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben	Vergleich Baseline 36o vs. Leistungsüberprüfung 36o		Vergleich Baseline 37mo vs. Leistungsüberprüfung 37mo	
		n	P-Werte	
Kavitätenumriss	KG	21	0,346	0,689
	DG	21	0,001	0,007
Lage der Kavität	KG	21	0,686	0,081
	DG	21	0,454	0,848
Glätte der Kavität	KG	21	0,348	0,986
	DG	21	0,259	0,715
Tiefe der Kavität	KG	21	0,546	0,014
	DG	21	0,004	0,022
Anpräparation der Nachbar- zähne	KG	21	-	0,008
	DG	21	-	0,003
Unterschnitte der Kavität (und des approx. Kastens)	KG	21	0,141	0,006
	DG	21	0,004	0,043
Parallelität der Kavitäten- wände	KG	21	0,174	0,144
	DG	21	0,809	0,476
Ausdehnung approximalen Stufe(n)	KG	21	-	0,091
	DG	21	-	0,001
Höhe Stufe der approximalen Stufe(n)	KG	21	-	0,001
	DG	21	-	0,005

Anmerkung: P-Werte des Wilcoxon-Test zeigen Unterschiede innerhalb einer Gruppe von Baseline zum Abschlusstest.

3.1.3 Deskriptive Statistik des Präparationsprozesses

Die beiden Zähne 36o/37mo der Leistungsüberprüfung für die Prozessanalyse wurden mittels SPSS ausgewertet. Achtung: Ein niedrigerer Wert steht für ein besseres Ergebnis der Prozessanalyse.

Die Tabelle 18 zeigt, dass die KG niedrigere Werte als die DG in „Reihenfolge der Knotenpunkte“ (37mo), „Verschmelzung zweier Knotenpunkte“ (36o/37mo), „Rückgriff auf Knotenpunkt (37mo)“, „Wiederholen eines Präparationsschrittes (36o/37mo)“ und „Pausen innerhalb der Knotenpunkte“ (Dauer) (36/37) erreicht.

Die DG erreicht niedrigere Werte als die KG in „Dauer der einzelnen Knotenpunkte“ (36o/ 37mo), „Rückgriff auf Knotenpunkt „ (36o) und „Gesamtdauer der Präparation“ (36o/37mo), „Pausen zwischen den Knotenpunkten (Anzahl)“ (36o/37mo) und der „Gesamtdauer der Pausen“(36o/37mo).

Die anschließende interferenz-statistische Auswertung befasst sich sowohl mit dem Gesamtwert der Prozessanalyse als auch mit den einzelnen Parametern. Der Gesamtwert errechnet sich aus der Summe aller Teilbereiche, allerdings ohne die Gesamtpräparationsdauer, da sich diese aus der bereits eingerechneten „Dauer der einzelnen Knotenpunkte“ und der „Gesamtdauer der Pausen“ zusammensetzt (siehe 2.3.2).

Ergebnisse

Tab. 18: Auswertung Prozessanalyse: Mittelwerte, Standardabweichungen, P-Werte.

Auswertung der Prozessanalyse		Leistungsüberprüfung							
		36o				37mo			
		n***	MW	S	P	n***	MW	S	P
Dauer der einzelnen Knotenpunkte (in sec)	KG	20	929 ± 440		0,163*	21	1290 ± 348		0,038*
	DG	21	787 ± 404			21	1143 ± 659		
Reihenfolge der Knotenpunkte	KG	20	0,6 ± 0,88		1,0*	21	1.05 ± 0.92		0,720*
	DG	21	0,61 ± 0,92			21	1.14 ± 0.96		
Verschmelzung zweier Knotenpunkte	KG	20	0,2 ± 0,41		0,014*	21	0.33 ± 0.48		0,106*
	DG	21	0,62 ± 0,58			21	0.62 ± 0.59		
Rückgriff auf Knotenpunkt	KG	20	0,2 ± 0,52		0,265*	21	5.19 ± 5.08		0,552*
	DG	21	0,0476 ± 0,22			21	8.61 ± 13.12		
Wiederholen eines Präparationsschrittes	KG	20	90,15 ± 45,43		0,042*	21	169.14 ± 97.7		0,339*
	DG	21	131 ± 74			21	220 ± 158		
Pausen innerhalb der Knotenpunkte (Anzahl)	KG	20	8,05 ± 4,05		0,186*	21	9.57 ± 4.29		0,99*
	DG	21	9,29 ± 4,1			21	10.14 ± 3.76		
Pausen innerhalb der Knotenpunkte (Dauer)	KG	20	308 ± 161		0,498*	21	355.52 ± 171.86		0,379*
	DG	21	336 ± 170			21	403.57 ± 141.04		
Pausen zw. den Knotenpunkten (Anzahl)	KG	20	1,1 ± 1,7		0,003*	21	0.19 ± 0.87		0,317*
	DG	21	0 ± 0			21	0 ± 0		
Gesamtdauer der Pausen (in sec)	KG	20	14,5 ± 24,59		0,003*	21	2.86 ± 13.09		0,317*
	DG	21	0 ± 0			21	0 ± 0		
Gesamtdauer der Präparation (in sec)	KG	20	935 ± 438 (s) 15,58 ± 7,3 (min)		0,220*	21	1359 ± 349 (s) 22,65 ± 5,82 (min)		0,009*
	DG	21	815 ± 375 (s) 13,58 ± 6,25 (min)			21	1146 ± 643 (s) 19,1 ± 10,72 (min)		
Gesamtwert Prozessanalyse	KG	18	1215,00 ± 340,99		0,099**	20	1833,38 ± 450,05		0,086**
	DG	18	1066,55 ± 339,48			21	1625,25 ± 506,89		

Anmerkung: MW= Mittelwert, S= Standardabweichung der KG und DG im Abschlusstest. Im Gegensatz zum Qualitätsparameter gilt hier: Je höher der Wert, desto schlechter der Präparations-Prozess; *Mann-Whitney-U-Test; ** T-Test für unabhängige Stichproben; dunkelgrau= Ausnahme - KG als DG besser; ***n= Fallzahl, kann sich durch Entfernen von Ausreißern verändern.

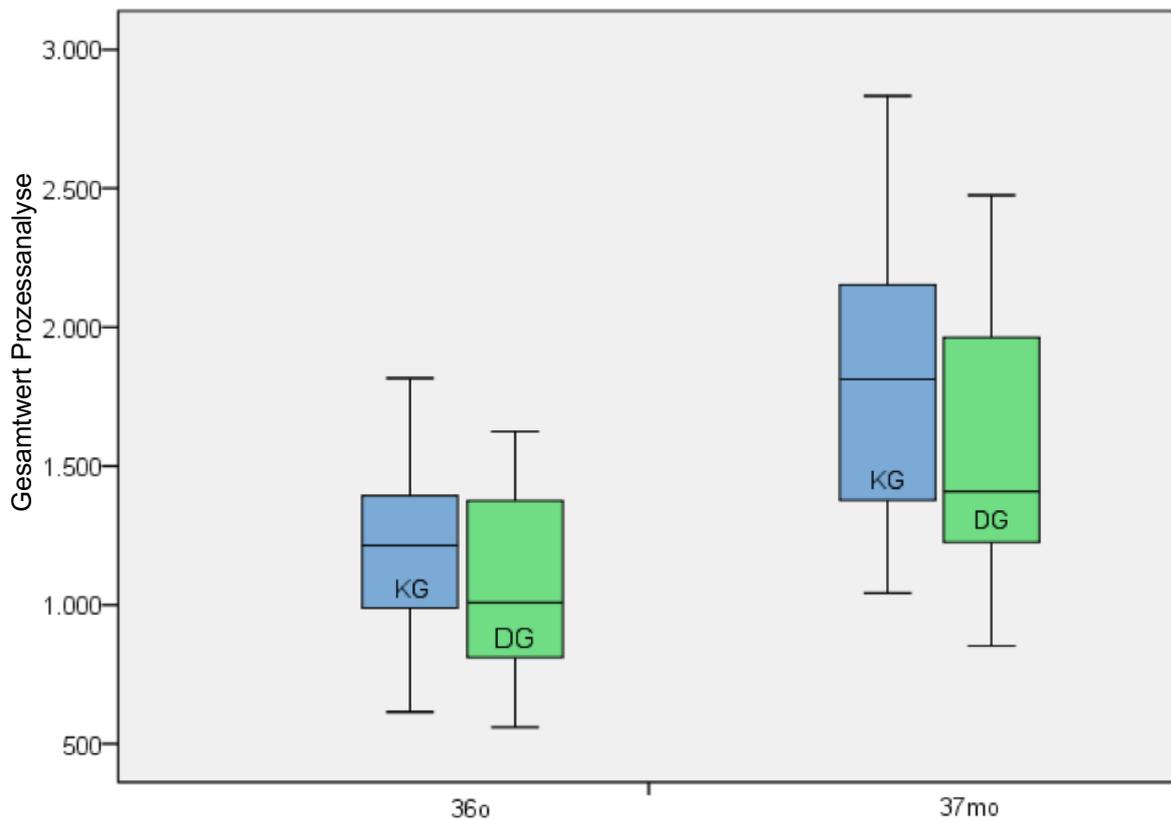


Abb. 13: Boxplot Gesamtwerte der Prozessanalyse 36 o und 37 om; (blau: KG; grün: DG) Anmerkung: im Gegensatz zum Qualitätsparameter: Je höher der Wert, desto schlechter der Präparations-Prozess.

3.1.4 Statistische Auswertung des Präparationsprozesses

a) Auswertung des Gesamtwertes der Prozessanalyse

Es gilt zu überprüfen, ob eine der beiden Gruppen ein besseres Ergebnis hinsichtlich des Präparationsprozesses erzielt hat. Der Kolmogorov-Smirnov-Test zeigt sowohl in der KG als auch in der DG Extremwerte, welche auf eine unzulängliche Dokumentation der Prozessanalyse aufgrund der eingeschränkten Visualisierung des DentSims™ zurückzuführen sind. Nach Entfernen der Ausreißer zeigt sowohl der Kolmogorov-Smirnov-Test als auch der Shapiro-Wilk-Test eine Signifikanz und somit eine Normalverteilung (36 o: KG n=18; DG n=19 - entfernt: alle Gesamtwerte über 2200 ; 37 mo: KG n=20 und DG n=20 - entfernt: alle Gesamtwerte über 5000). Der Levene-Test zeigt eine Varianzhomogenität. Somit sind alle Voraussetzungen für einen T-Test für unabhängige Stichproben gegeben.

Die Tabelle 24 zeigt, dass beide T-Tests (36o und 37mo) nicht die nötige statistische Signifikanz ergeben (36o $p=0,099$; 37mo $p=0,0859$). Obwohl DG tendenziell bessere Ergebnisse erzielte, waren die Unterschiede des Gesamtwertes der Prozessanalyse zwischen den Versuchsgruppen KG und DG sowohl für 36o als auch 37mo nicht signifikant. Die Auswertung ist graphisch in Abbildung 13 erfasst.

b) Auswertung Einzel-Parameter der Prozessanalyse

Der Kolmogorov-Smirnov-Test der Einzelparameter zeigt nur bei wenigen Variablen eine Normalverteilung der Grundgesamtheit. Außerdem war die Probandenanzahl relativ gering. Aus diesem Grund wurde die Auswertung der Präparations-Prozess-Parameter trotz Varianzhomogenität (Levene-Test) mit verteilungsfreien, d.h. nicht-parametrischen Verfahren durchgeführt (Bortz 2003).

Es wurde mittels Mann-Whitney-U Test auf signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der einzelnen Prozessparameter geprüft. Dieser zeigt den intergruppalen Unterschied von KG und DG innerhalb eines Untersuchungsgegenstands (Zahn).

Die Tabelle 24 zeigt folgende Ergebnisse: Die KG ist signifikant besser an Zahn 36o „Verschmelzung zweier Knotenpunkte“ ($p=0,014$) und bei „Wiederholen eines Präparationsschrittes“ ($p=0,042$). Der Zahn 37mo zeigt für die KG keine signifikanten Unterschiede. Die DG ist signifikant besser an Zahn 36o bei „Pausen zwischen den Knotenpunkten“ ($p=0,003$) und bei der „Gesamtdauer der Pausen“ ($p=0,003$). Der Zahn 37mo zeigt signifikante Unterschiede der DG bei „Dauer der einzelnen Knotenpunkte“ und der daraus resultierenden „Gesamtdauer der Präparation“.

3.2 Theoretischer Teil

3.2.1 Deskriptive Statistik des Endtestats – Erkennen der Abweichungen

Der theoretische Teil konzipiert sich, wie in Kapitel 2.1.3 beschrieben, aus einem umfangreichen Test, welcher die Aufgabe besitzt, die Wissensretention in Form von deklarativem und non-deklarativem Wissen der Studierenden zu überprüfen. Der Reliabilitäts-Test nach einem Tag zeigt einen ICC von 0,907 und nach 6 Wochen einen Wert von 0,878. Es kann von einer hohen Retest-Reliabilität ausgegangen werden (Tab. 19).

Tab. 19: ICC der AbwER.

Retest-Intervall: 1 Tag	Retest-Intervall: 6 Wochen
0,907*	0,878*

Anmerkung: Korrelations-Koeffizienten der AbwER mit einem Retest-Intervall von einem Tag bzw. sechs Wochen. Der Schätzer ist derselbe, unabhängig davon, ob ein Wechselwirkungseffekt vorliegt oder nicht; die Schätzung wird unter der Annahme berechnet, dass kein Wechselwirkungseffekt vorliegt, da andernfalls keine Schätzung durchgeführt werden könnte.

Die Tabelle 20 zeigt die deskriptive Statistik der Auswertung der Abweichungserkennungs-Rate (AbwER) inklusive der P-Werte des interferenz-statistischen Gruppenvergleichs. Die vorherige Abw-Definition ergab graduelle sowie rein dichotome Auswertungsparameter. Aus diesem Grund wurden nochmals separate Werte für die „Anzahl der graduellen Abw“ ermittelt.

Die Betrachtung der Ergebnisse findet auf zwei Ebenen statt (Studierendenebene und Zahnebene). Die Studierendenebene bezieht sich auf die Gesamtzahl an erkannten Abweichungen aller 20 Modell_K-Zähne, welche ein Studierender hätte erkennen können. Alle Auswertungen für die ursprünglichen 20 Modell_K-Zähne wurden aus statistischen Gründen ebenfalls für 17 Modell_K-Zähne, unter Ausschluss der Keramik-Kavitäten (Modell_K-Zähne B2.4-6), durchgeführt.

a) Studierendenebene

Die Studierendenebene zeigt die AbwER als Gesamtzahl der 20 bzw. 17 Modell_K-Zähne pro Studierenden der jeweiligen Versuchsgruppe. Daraus ergibt sich eine Fallzahl von n=21. Die Tabelle 20 zeigt, dass die DG in der „Gesamtzahl der Abw“ und der „Anzahl gradueller Abw“ eine deskriptiv-statistisch höhere AbwER besitzt (20/17 Zähne). Im Durchschnitt beträgt dieser Unterschied 4%. Außerdem zeigt die graduelle Einteilung der Abw (0,2 mm-Unterteilung) auf Studierendenebene einheitlich bessere Ergebnisse der DG. Diese Auswertung ist in Abbildung 14 und 15 nochmals grafisch erfasst.

b) Zahnebene

Die Zahnebene dient als ergänzende Darstellung und findet nur in Tabelle 20 Anwendung. Sie soll ein größeres Maß an Transparenz erzeugen und soll einen Hinweis auf die für jeden Zahn im Mittel erkannten Abw geben. Diese Ebene zeigt für jeden der 20 bzw. 17 Modell_K-Zähne die mittlere AbwER pro Proband und Gruppe. Daraus ergibt sich eine Fallzahl von n=420 bzw. 357 (42 Probanden und 20 bzw. 17 Modell_K-Zähne). Eine weitere Unterscheidung in spezifische Zähne (z.B. A11 zu B12) wurde aufgrund der unnötigen Komplexität ausgelassen. In Tabelle 26 ist zu erkennen, dass die DG sowohl in der „Gesamtzahl der Abw“ bzw. in der „Anzahl gradueller Abw“ eine durchschnittlich höhere AbwER besitzt. Die graduelle Einteilung der Abw zeigt, dass die DG einheitlich bessere Ergebnisse erzielt.

Tab. 20: Statistische Auswertung der AbwER

AbwER - Analyse		Studierendenebene (20 / 17 Zähne)					Zahnebene (20 / 17 Zähne)							
		n	g	MW		S	P	n	g	MW		S	P	
				Med	Q 25%	Q 75%				Med	Q 25%	Q75%		
Gesamtzahl der Abw	KG	21	506	115,81/105,90 ± 22,82/20,67		0,017 / 0,013*	420/357	25,29	5,79/6,23 ± 3,77/3,79		0,001 / 0,001*			
				119/119	97/97		129/129					5/5	3/3	8/9
DG	21	134,91/121,62 ± 28,24/26,35		420/357	6,75/7,15 ± 3,93/4,02									
		134/134		121/121	148/148					6/6		4/4	9/10	
Anzahl gradueller Abw**	KG	21	413	83,48/77,52 ± 20,89/18,72		0,023 / 0,019*	420/357	20,65	4,17/4,56 ± 3,33/3,38		0,001 / 0,002*			
				83/76	68/66		99/85					3/4	2/2	7/7
	DG	21		99,52/91,23 ± 23,17/21,56			420/357		4,98/5,37 ± 3,52/3,59					
				100/92	87/79	104/98			4/5	2/3	7/7			
Grad 1 (0,0-0,2mm)	KG	21	127	14,33/12,86 ± 6,04/5,39		0,033 / 0,034*	420/357	6,34	0,72/0,75 ± 1,09/1,14		0,005 / 0,010*			
				14/14	10/10		17/17					0/0	0/0	1/1
DG	21	18,81/16,85 ± 6,98/6,37		420/357	0,94/0,99 ± 1,26/1,31									
		16/16		14/14	24/24					0,5/1		0/0	1/2	
Grad 2 (0,2-0,4mm)	KG	21	114	19,00/17,95 ± 5,89/5,45		0,013 / 0,042*	420/357	5,70	0,95/1,06 ± 1,12/1,15		0,008 / 0,037*			
				19/19	15/15		21/21					1/1	0/0	2/2
	DG	21		24,09/21,91 ± 7,36/6,93			420/357		1,20/1,29 ± 1,31/1,33					
				24/24	20/20	31/31			1/1	0/0	2/2			
Grad 3 (0,4-0,6mm)	KG	21	57	14,38/13,19 ± 4,53/4,09		0,075 / 0,055*	420/357	2,85	0,72/0,78 ± 1,05/1,09		0,068 / 0,075*			
				13/13	11/11		17/17					0/0	0/0	1/1
	DG	21		17,23/15,904 ± 4,938/4,71			420/357		0,86/0,94 ± 1,12/1,17					
				16/16	15/15	20/20			0/0	0/0	1/2			
Grad 4 (0,6-0,8mm)	KG	21	52	15,86/15,28 ± 3,79/3,82		0,415 / 0,658*	420/357	2,6	0,79/0,90 ± 1,02/1,06		0,559 / 0,865*			
				15/15	14/14		18/18					0/1	0/0	1/1
	DG	21		16,57/15,61 ± 3,33/3,11			420/357		0,83/0,92 ± 1,07/1,11					
				18/18	14/14	18/18			1/1	0/0	1/1			
Grad 5 (>0,8mm)	KG	21	63	19,90/18,24 ± 6,14/5,30		0,054 / 0,073*	420/357	3,15	0,99/1,07 ± 1,15/1,17		0,091 / 0,098*			
				19/19	17/17		24/24					1/1	0/0	2/2
	DG	21		22,81/20,95 ± 5,45/5,02			420/357		1,14/1,23 ± 1,21/1,24					
				24/24	21/21	26/26			1/1	0/0	2/2			

Ergebnisse

Anmerkung: MW= Mittelwert, S=Standardabweichung, Med=Median, Q25= Quartil 25%; Q75= Quartil 75%; P=P-Wert der Gruppen im Vergleich *Mann-Whitney-U-Test **Gesamtzahl, aber ohne dichotome Auswertungsparameter.

Ergebnisse

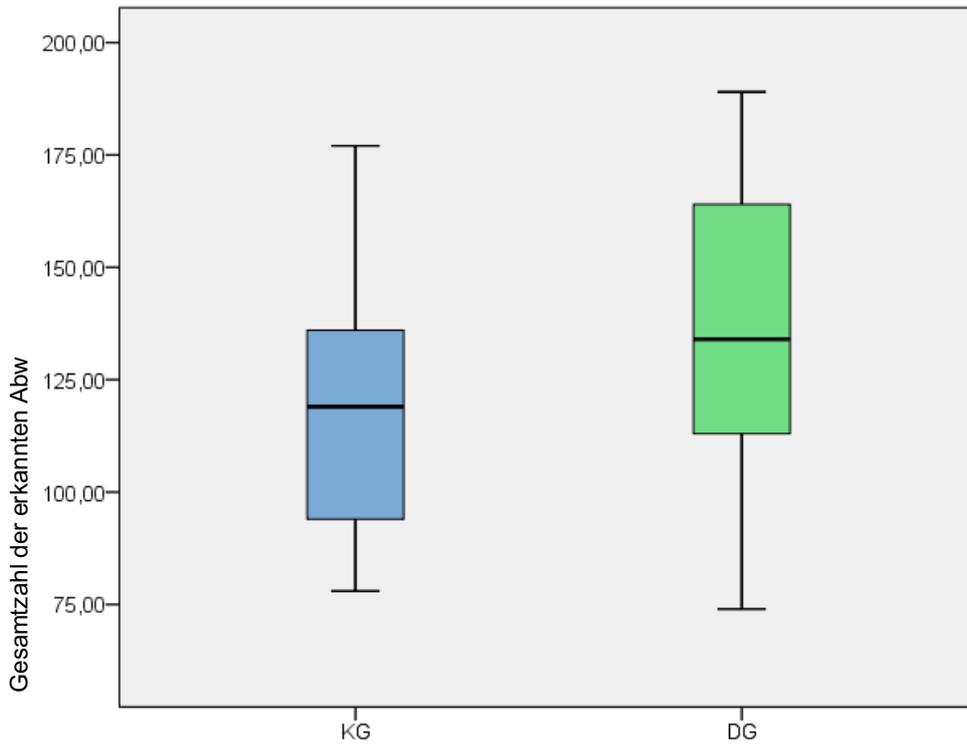


Abb. 14: Gesamtzahl der erkannten Abw.

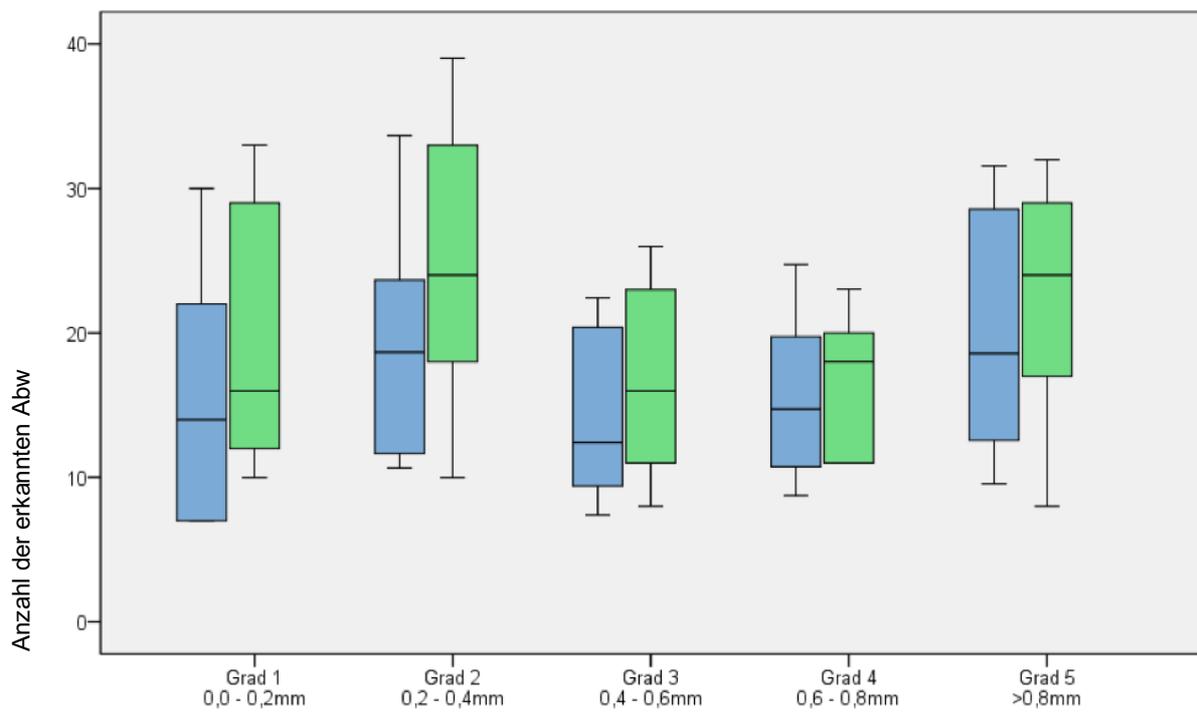


Abb. 15: Erkannte, graduell eingeteilte Abw.

3.2.2 Statistische Auswertung des Endtestats

Auswertung der Abweichungserkennungsrate (AbwER)

Der Shapiro-Wilk-Test zeigte keine Normalverteilung, woraufhin eine Berechnung der Interferenzstatistik mittels parameterfreien Mann-Whitney-U-Tests stattfand (siehe Tab. 20).

Die deskriptive Statistik zeigte bereits einige Tendenzen, welche die Mann-Whitney-U-Tests bestätigten konnten. Es zeigen sich signifikante Ergebnisse der DG:

Die AbwER zeigt bei der „Gesamtzahl der Abw“ signifikant bessere Ergebnisse (Studierendenebene $p=0,0168$; Zahnebene $p=0,0001$).

Die AbwER der „graduellen Einteilung der Abw“ zeigt, dass die DG in „Grad 1“ und „Grad 2“ signifikant besser ist (Grad 1 $p=0,033 / 0,034$, Grad 2 $p=0,013 / 0,042$). Erst ab „Grad 3“ ergibt der Test keine signifikanten Unterschiede mehr und nähert sich (auch deskriptiv-statistisch) den Werten der KG (siehe Tab. 20).

Außerdem wurde getestet, ob ein gruppenspezifischer Unterschied im Erkennen gewisser Abw besteht (siehe Tab. 21). Die einzelnen Parameter wurden in kategorialen Gruppen zusammengefasst. Der angewendete Mann-Whitney-U-Test soll zeigen, ob eine der Versuchsgruppen signifikant besser spezifische Kategorien erkennt.

Die interferenz-statistische Auswertung der gruppierten Abw-Parameter zeigt signifikant bessere Ergebnisse der DG in der Kategorie „Kavität zu breit“ an Grad 2 und „Tiefe – „Stufe zu tief“ in der totalen Anzahl, Grad 2 und Grad 5.

Die KG ist nur in „Stufe „Zentralisation - Totale Anzahl“ signifikant besser als die DG. Die Reduktion der Modell_K-Zähne von 20 auf 17 Kavitäten durch Entfernung der Keramikavitäten (siehe Tab. 6) führte zu einer Veränderung der Signifikanzen (vgl. P-Werte Tab. 20 und 21).

Tab. 21: Gruppierete Abw. und deren Vgl. der AbwER zw. DG und KG.

Analyse der gruppierten Abw-Parameter		Studentenebene												
		20 Zähne / P-Werte							17 Zähne / P-Werte					
		n	Total	Grad 1	Grad 2	Grad 3	Grad 4	Grad 5	Total	Grad 1	Grad 2	Grad 3	Grad 4	Grad 5
Kavität „zu schmal“	KG	21	0,544	0,843	0,887	0,191	0,203	0,599	0,441	0,843	0,818	0,118	0,204	0,599
	DG	21												
Kavität „zu breit“	KG	21	0,284	0,056	0,016	0,099	0,179	0,770	0,529	0,099	0,1	0,1	0,178	0,868
	DG	21												
Kavität „Zentralisation“	KG	21	0,572	0,276	0,033	0,507	0,408	0,399	0,572	0,441	0,030	0,507	0,106	0,399
	DG	21												
Stufe „zu schmal“	KG	21	0,834	0,777	0,290	0,958	0,351	-	0,939	0,714	0,290	0,958	0,351	-
	DG	21												
Stufe „zu breit“	KG	21	0,333	0,776	0,219	-	0,556	0,541	0,715	0,776	0,638	-	0,556	0,944
	DG	21												
Stufe „Zentralisation“	KG	21	0,833	0,622	0,038	-	-	0,554	0,576	1,0	0,076	-	-	-
	DG	21												
Tiefe-Kavität „ zu flach“	KG	21	0,343	0,679	0,801	0,198	0,396	0,485	0,325	0,673	0,958	0,2161	0,397	0,485
	DG	21												
Tiefe-Kavität „zu tief“	KG	21	0,762	0,476	0,836	0,335	0,806	0,887	0,830	0,423	0,969	0,573	0,520	0,897
	DG	21												
Tiefe-Stufe „zu flach“	KG	21	0,633	0,759	0,125	0,116	0,284	-	0,633	0,759	0,125	0,111	0,283	-
	DG	21												
Tiefe-Stufe „zu tief“	KG	21	0,023	0,362	0,026	0,390	0,103	0,024	0,013	0,362	0,026	0,228	0,156	0,004
	DG	21												
Unterschnitt	KG	21	0,325	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DG	21												
Kronenflucht	KG	21	0,825	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DG	21												

Ergebnisse

Anmerkung: Es wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die Darstellung der Zahnebene verzichtet. n=Fallzahl, KG= Kontroll-Gruppe, DG= DentSim™-Gruppe, *=Es lagen keine verwertbaren

Zahlen für den statistischen Test vor, dunkelgrau= Ausnahme - KG besser als DG.

3.2.3 Korrelation zwischen Visualisierungs-Leistungsprüfsystem und Abweichungserkennungs-Rate

Die Tabelle 22 zeigt die statistische Auswertung des VLPS beider Gruppen. Die KG ist bei einem Mittelwert von 90,22 im Mittel um 7,32 Punkte besser als die DG mit einem Mittelwert von 82,9.

Der Shapiro-Wilk-Test zeigt eine Normalverteilung. Es wurde ein T-Test unabhängige Stichproben zum Vergleich der beiden Gruppen erstellt. Der interferenz-statistische Test ergab keine Signifikanz ($p=0,89$).

Tab. 22: T-Test für unabhängige Stichproben des VLPS-Ergebnisses.

T-Test für unabhängige Stichproben		VLPS-Ergebnis					
		N*	MW	S	min	max	P-Wert
Summe	KG	18	90,22 ± 16,47		64	115	0,89
	DG	20	82,9 ± 18.04		40	124	

Anmerkung: n^* = Fallzahl, kann in seiner Zahl durch Entfernen von Ausreißern differieren, MW=Mittelwert, S=Standardabweichung, min/max= minimalste/maximalste Punktzahl eines Probanden innerhalb der jeweiligen Gruppe.

Außerdem besteht kein Zusammenhang zwischen hoher AbwER und guten Ergebnissen im VLPS (siehe Tab. 23). Ein Zusammenhang würde sich erst ab $R^2= 0,2-0,4$ ableiten lassen (hier: $R^2= 0,0252$). Das Ergebnis des T-Test ($p=0,395$) führt ebenfalls zu keiner Signifikanz.

Tab. 23: Lineare Regression zwischen VLPS und AbwER.

Lineare Regression	VLPS zu AbwER		
Variablen	Koeffizient	Std. Fehler	T-Test (P-Wert)
Konstante	105,55	25,53	0,395
LPS	0,25	0,291	
R^2	0,0252		
F (1, 36)	0,74		

4. Diskussion

Das Ziel der zahnmedizinischen Lehre ist es, die individuelle Entwicklung soweit zu fördern, bis jeder einzelne Studierende fähig ist, sicher und selbstständig zu arbeiten (Plasschaert et al. 2007, Cowpe et al. 2010). Dieser Grad an Kompetenz konzipiert sich aus deklarativem und non-deklarativem Wissen, feinmotorisch-fachspezifischen Fertigkeiten und einer professionellen Einstellung – Faktoren, die bei einem frisch graduierten Zahnmediziner zu einem Mindestmaß vorhanden sein sollten. Daher müssen sich die Zahnmedizinierenden neben dem stetig wachsenden medizinischen Wissen auch die für die Behandlung der Patienten notwendigen kognitiv-motorischen Fähigkeiten aneignen (Welk et al. 2008).

Die Schwierigkeit besteht darin, innerhalb der vorgeschriebenen Zeit einen möglichst hohen Ausbildungsstandard zu erreichen (Al-Saud et al. 2017), da die Studierenden der Zahnmedizin im Gegensatz zu ihren Kommilitonen der Medizin bereits zu einem frühen Zeitpunkt des Studiums invasive Behandlungen am Patienten durchführen (Welk et al. 2008).

Der Einsatz von CAL und VR/AR-Technologie erweitert das Repertoire der Wissensvermittlung. In dieser Arbeit wurde die DentSimTM-Einheit exemplarisch genutzt, um einen Vergleich zwischen der konventionellen Lehre und den computergestützten Lehrmethoden anzustellen. Im Vordergrund steht besonders die Effektivität der Wissensvermittlung bzw. die Wissensretention, im Detail die Schulung der Kognition und damit dem deklarativen und non-deklarativen Wissen, was wie oben angesprochen, ein wichtiger Schritt auf dem Weg zum approbierten Zahnarzt ist.

Die Durchführung der vorgestellten Studie erfolgte bereits 2002 an der Greifswalder Zahnklinik. Allerdings gelang die objektive Vermessung der Abweichungen im dreidimensionalen Raum in Bezug zur Idealkavität für die Bestimmung der Abweichungserkennungs-Rate (AbWER) erst jetzt in einem Folgeprojekt durch die Anwendung modernster Verfahren (siehe 2.3.3.). Die Auswertung des praktischen Teils hingegen erfolgte durch bereits in anderen Studien bewährte Auswertungsverfahren (Welk et al. 2007).

4.1 Diskussion der Materialien und Methoden

4.1.1 Probanden

Die Probandenanzahl war durch die Größe des zweiten Fachsemesters auf 42 Studenten begrenzt. Die statistischen Voraussetzungen waren trotz des geringen Stichprobenumfangs gegeben, sodass die im Material- und Methoden-Teil beschriebenen statistischen Auswertungsverfahren durchgeführt werden konnten. Das zweite Fachsemester der Zahnmedizin an der Universitätsmedizin Greifswald eignete sich besonders gut, da die technischen Kurse der Propädeutik (technische Grundausbildung) erst ab dem dritten Semester stattfinden. So konnte eine vorherige Schulung zahnmedizinisch kognitiver und manueller Fertigkeiten weitestgehend vermieden werden. Es ist dennoch nicht auszuschließen, dass bei der Studienwahl durch die bekannten Anforderungen des Studiums eine natürliche Selektion stattgefunden hat. Ein technisch interessierter, durch Hobbys (z.B. Modellbau) geschulter Studierender verfügt über motorische Fähigkeiten, welche in einer schnelleren mentalen Handlungsrepräsentation der geforderten, teilweise simplen Kavitäten-Präparation (vgl. MT-Studie: dort ganze Kronenpräparation) münden könnten. Zu einer ähnlichen Schlussfolgerung kam Sakic (2016), als seine Versuchsgruppe des 6. Fachsemesters durch den parallel stattfindenden Phantomkurs III und dem damit verbundenen Wissensinput wenig signifikante Ergebnisse erhielt. Es wird damit argumentiert, dass gerade Fortgeschrittene in ihrer automatisierten Abfolge von Prozessschritten durch stressige Bedingungen gestört werden (Jackson et al. 2006). Es muss jedoch mit der Grundannahme argumentiert werden, dass in dieser Studie alle Probanden kein spezifisches Vorwissen (auf die zahnmedizinische Präparation bezogen) besaßen, wovon selbst bei einer vorher abgeschlossenen Ausbildung im zahnmedizinischen Sektor ausgegangen werden kann. Die randomisierte Stratifizierung in die KG und DG wurde aufgrund guter Erfahrungen im vorklinischen Bereich der Universität Greifswald und einer bekannt-fundierten Aussagekraft zu feinmotorischen Fähigkeiten mittels der Learn-a-Prep II-Platten durchgeführt (Boushell et al. 2011). Die in der Literatur beschriebenen geschlechtsbedingten Unterschiede im Vorstellungsvermögen (Eals et al. 1994, Collins et al. 1997, Kimura 2000) sind sekundär mit der stratifizierten Randomisierung aufgenommen worden. Damit kann von einer ausreichenden Äquivalenz der Gruppenfertigkeiten ausgegangen werden.

Allerdings diskutierte schon Sakic (2016) in seiner Arbeit einen wesentlichen, nicht zu unterschätzenden Faktor: die innere Compliance der Probanden über die gesamte Studiendauer, also mit welcher Motivation und welchem Ehrgeiz jeder einzelne Studierende teilnimmt. Diese Compliance kann auch in dieser Studie Einfluss nehmen. Außerdem ist es nicht möglich zu beurteilen, inwieweit die individuellen Fähigkeiten des deklarativen und non-deklarativen Wissenserwerbs und der Wissensretention auf beide Gruppen gleich verteilt wurden. Diese Individualität des Menschen entsteht dadurch, dass jedes Individuum als Ganzes betrachtet werden muss. In dieser Reihung muss also der Hawthorne-Effekt ebenfalls berücksichtigt werden. Er besagt, dass sich das Handeln von Probanden durch das Wissen, dass sie beobachtet werden, verändern kann (Meier 2018). Da jedoch jede kognitive, auf Probanden basierende Studie auf ähnliche Probleme stoßen kann, müssen diese Fakten als gegeben hingenommen werden und bei auffälligen Ergebnissen näher diskutiert werden.

Der durchgeführte Intelligenztest (VLPS) kann dabei höchstens Anhaltspunkte liefern, da ein Zusammenhang zwischen visueller Intelligenz und besserem Wissenserwerb durch computergestützte Dentalsimulatoren nicht bewiesen ist.

4.1.2 Vorbereitung der Probanden

Die beiden Versuchsgruppen unterschieden sich hinsichtlich ihrer Vorbereitung auf den praktischen Teil. Die KG wurde konventionell mit einer Vorlesung (Overhead-Projektor) und Unterlagen zum Selbststudium unterrichtet. Alle Lehrmittel basierten auf den DentSimTM-Vorgaben, da nur so die anschließende Auswertung korrekt durchgeführt werden kann. Der Unterricht der KG sollte möglichst realitätsnah sein, um möglichst repräsentativ für aktuelle, konventionelle Curricula zu fungieren. Also waren Dauer und Art der Vorlesungen analog zu denen des eigentlichen Curriculums gestaltet.

Die DG hingegen erhielt keinen Unterricht, da die DentSimTM-Einheit durch ihr permanentes Feedback einen anderen Lernansatz verfolgt. Sie steht für eine neuzeitliche Alternative in der Vermittlung von Wissen und bietet, unter Berücksichtigung der CATLM (1.4.1.1), alle nötigen Voraussetzungen, die Anforderungen an die neue Generation von Studierenden zu erfüllen (Welk et al. 2008). Die DG füllte nach der ersten und zweiten Übung den Operationalisierungsparameter-Bogen aus, der einen

wichtigen Teil der Selbstevaluierung und Priorisierung zur richtigen Durchführung einer Präparation darstellt. Die zu Beginn der dritten Übung von beiden Gruppen untersuchten 6 vorpräparierten Zähne dienten als initiale Testreihe hinsichtlich der Wissensretention.

4.1.3 Untersuchungsgegenstand

Der primäre Untersuchungsgegenstand ist die DentSim™-Einheit und die daran gekoppelten Möglichkeiten, die Lehre der Zahnmedizin zu beeinflussen. Imber et al. wiesen nach, dass ein VR/AR-Simulator wie DentSim™ die Leistung von Studierenden im vorklinischen Kurs vorhersehen kann (Imber et al. 2003). Die Studie zeigte, dass 89% der Studierenden, deren Präparations-Leistung am herkömmlichen Phantomkopf im unteren Drittel lag, durch eine DentSim™-Evaluation ihrer Präparationen ebenfalls in das untere Leistungsdrittel eingestuft werden.

Andere Studien zeigten bereits die Vorhersehbarkeit der psychomotorischen Leistung von Studenten anhand von „Aufwachsübungen“ (Walcott et al. 1986) bzw. Präparationsübungen mit Schnellläufer-Winkelstücken (Wong et al. 1979).

Andere Studien zeigten, dass Studierende eine schnellere Entwicklung der Feinmotorik mittels VR/AR-Simulatoren wie DentSim™ im Vergleich zur konventionellen Lehre erreichen können (Buchanan 2001, Imber et al. 2003). Die Literatur zeigt also, dass es einen Grund gibt, die Thematik der dentalen Ausbildungssimulatoren näher zu untersuchen. Diese Studie nutzt die DentSim™-Einheit, da sie zum Zeitpunkt der Datenerhebung die am besten entwickelte Form eines AR-Simulators darstellte.

Im praktischen Teil der Studie sollte der Übungseffekt der motorischen Fähigkeiten des einzelnen Studierenden durch eine minimale Anzahl an Übungsabläufen möglichst klein gehalten werden.

Die zu präparierenden Kavitäten lagen alle im Unterkiefer, da eine Präparation im Oberkiefer, die eine indirekte Präparation über einen Spiegel erforderlich gemacht hätte, für die Probanden des 2. Semesters zu komplex gewesen wäre. Dies hätte zwangsläufig einen Floor Effekt nach sich gezogen, da die Präparation als Handlung auch ohne Spiegel anspruchsvoll genug ist.

Zu den in der DentSim™-Einheit vorprogrammierten Präparationen kamen zusätzliche Kavitäten (47mo und 46mod) zum Einsatz, welche der Überprüfung des

Transfereffekts dienen und zeigen sollten, dass nicht jede Kavität während der Nutzung des DentSim™ als Vorgabe programmiert sein muss. Dieser Punkt wird von Kritikern des DentSims™ oft erwähnt, da ihrer Ansicht nach alle Kavitäten in der Datenbank vorhanden sein sollten. Basierend auf der Grundannahme, die räumliche Vorstellungskraft und Kognition der Probanden ist bis zu diesem Punkt soweit geschult, dass neue Kavitäten ohne vorheriges Üben in ihrer Sollgröße präpariert werden können, wurden die Präparationen 47mo und 46mod durchgeführt.

Im Gegensatz zum praktischen Teil befasst sich der theoretische Teil der Studie ausschließlich mit der Wissensretention, also dem aufgenommenen deklarativen und non-deklarativen Wissen aus dem praktischen Teil. Das Grundprinzip konzipiert sich aus einem Vergleich zwischen der mental entwickelten Idealkavität, welche nach der Durchführung des praktischen Teils der Studie als kognitive Repräsentation vorhanden sein sollte, und den 20 abweichenden Modell_K-Zähnen. Jeder Zahn hat eine individuelle Anzahl an unterschiedlich stark ausgeprägten Abw, sodass eine graduelle Einteilung für detaillierte Untersuchungen möglich ist (siehe 3.2). Die Vielzahl an Präparationen und Abw von der Idealkavität sollen für eine möglichst realistische Bandbreite sorgen. Als Referenz diente die DentSim™-Vorgabe UPenn/Beginner, da die dort angegebenen Präparationsrichtlinien denen der Greifswalder Lehre am ehesten entsprechen. Zahn 36o und 37mo sind als klar definierte Richtlinien im Anhang B zu finden. Die Parameter für Zahn 46o wurden von 36o übertragen. Die Parameter für Zahn 46mod wurden aus den Daten von 46o, 47mo und konstruierten Parametern für die distale Stufe entwickelt.

4.1.4 Durchführung und Auswertung des praktischen Teils

Durchführung praktischer Teil

Die KG und DG wurden während der Durchführung des praktischen Teils durch einen Tutor betreut. Die Präparationen wurden alle an derselben DentSim™-Einheit durchgeführt, um etwaige technische Unterschiede zu vermeiden. Die ständige Überwachung des Tutors war unerlässlich. Einerseits musste das Kamerafeld der DentSim™-Einheit durch die richtige ergonomische Haltung des Probanden kontrolliert werden

und andererseits ein störungsfreier Ablauf während des Präparierens gewährleistet werden (Fehlermeldungen beseitigen etc.).

Allgemein gilt für beide Gruppen eine Begrenzung der Zeit (2h) und Anzahl von Zähnen, d.h. jede zu präparierende Kavität muss in einer bestimmten Zeit fertiggestellt werden. Das zeitliche Limit pro Sitzung (2h) soll für eine präzisere Differenzierung unter den Studierenden sorgen, denn ein Studierender, der schnell und qualitativ gut arbeitet, hat ein viel höheres Maß an manuellen Fertigkeiten als ein Student, der qualitativ gut arbeitet, aber deutlich mehr Zeit benötigt.

Der Tutor nimmt eine wichtige Funktion sowohl bei der Fehlerauswertung als auch während der Präparation ein. Es ist zu beachten, dass der DG nur DentSim™-spezifische Fragen erlaubt sind, wohingegen der KG ein bis zwei Fragen zur Präparation gestattet sind, was eine umfängliche Kalibrierung des Tutors auf das für die Studie relevante Niveau durch den Versuchsleiter unumgänglich macht.

Auswertung Qualität

Die durch die DentSim™-Einheit ausgegebenen Qualitätsparameter sind für eine angemessene Analyse unzulänglich (Sakic 2016), weshalb die Auswertung der Präparationsqualität mittels eines konventionellen Auswertungsbogens erfolgte. Der Auswertungsbogen basierte auf den noch heute gültigen Präparationsrichtlinien für Amalgam unter Berücksichtigung der DentSim™-spezifischen Sollgrößen (siehe Anhang B). Die beiden Untersucher hatten die Aufgabe, die in einzelne Qualitäts-Parameter aufgeschlüsselten präparierten Zähne zwischen „sehr gut“, „gut“, „mittel“, „schlecht“ und „sehr schlecht“ zu bewerten. Für jede Kategorie ergab dies einen Gesamt-Punktwert, welcher am Ende für die statistischen Verfahren genutzt wurde. Die per Definition festgelegten Toleranzbereiche/Intervalle wurden in 0,3 mm Schritten angelegt. So ist eine Abweichung vom Idealwert um 0,4 mm als „gut“ zu bezeichnen, wohingegen eine Abweichung von mehr als 1,2 mm als „sehr schlecht“ anzusehen ist (2.3.2). Da eine Auswertung nach diesem Verfahren schnell einem subjektiven Einfluss unterliegen kann, wurden zwei Tutoren zur Auswertung herangezogen, welche durch eine „Interclass-Korrelation“ (ICC) auf Ihre Reliabilität geprüft wurden. Der ICC der beiden Untersucher zeigt eine hohe Retest-Reliabilität (ICC: 0,91 bzw. beim Retest-Intervall nach 6 Wochen ICC: 0,89). Dennoch können sich die Kategorien in ihrer Reliabilität

unterscheiden, so sind Kategorien wie zum Beispiel „Tiefe der Kavität“ oder „Kavitätenumriss“ durch feste Sollgrößen sehr objektiv zu erfassen, wohingegen Kategorien wie „Glätte der Kavität“ oder „Zentralisation“ eher subjektiven Einflüssen unterliegen könnten. Aus diesem Grund wurden die Kategorien vorher sehr eng definiert (siehe Anhang D).

Auswertung Prozess

Der Auswertungsbogen des Präparations-Prozesses basierte auf der Modifikation des in der Chirurgie angewendeten und weit verbreiteten Beurteilungsinstruments für Operationen (OSATS) (Faulkner et al. 1996, Martin et al. 1997, Nielsen et al. 2003, Bodle et al. 2008, Hatala et al. 2015) (2.3.2). Solch ein Beurteilungsinstrument wurde vor allem entwickelt, um die Progredienz der Fähigkeiten im Rahmen der chirurgischen Ausbildung in einem größeren Umfang bewerten zu können. Es gilt die kognitiven und motorischen Fähigkeiten der Testpersonen zu erfassen. Welk et al. haben in ihrer MT-Studie diese Möglichkeit genutzt, indem Sie die Bewertungsparameter an die zahnmedizinische Lehre anpassten, um das an Zahnmedizinierenden angewendete mentale Training zu evaluieren (Welk et al. 2007). Diese modifizierte Operationalisierungs-Parameter konnten mittels der Aufzeichnungsfunktion der DentSim™-Einheit erfasst werden und lieferten aussagekräftige Ergebnisse (Welk et al. 2007). Der Erfolg dieser Auswertungsmethode ist somit bestätigt, weshalb sie auch in dieser Studie zum Einsatz kam.

Allerdings ergaben sich systembedingt einige Änderungen in der Auswertung. So war es nicht möglich, die Knotenpunkte „Inspektion des Zahnes“, „Versenkung der Stufe“ und „Abschluss“ aufzuzeichnen, weshalb diese Parameter keine Beachtung bei der Auswertung fanden. Außerdem orientierte sich die Auswertung an den Regeln der Kombinatorik. Insbesondere die Prinzipien der Komplexion und Permutation waren dabei entscheidend. Vertauschungen bzw. Inversionen liegen in solchen Gruppen dann vor, sobald ein „größeres“ Element vor einem „kleineren“ Element auftritt. Beispielsweise hat die Permutation (3, 1, 4, 2, 5) von (1, 2, 3, 4, 5) drei Inversionen bzw. Fehlstellungen: (3, 1), (3, 2) und (4, 2) (Immenroth 2003).

Im Folgenden werden Besonderheiten zu einzelnen Prozessparametern erklärt:

Das Wiederholen eines Präparationsschrittes unterscheidet sich von dem Präparations-Prozess-Parameter Rückgriff bzw. Vorgriff auf Knotenpunkte (KP) dahingehend, dass hier einzelne Präparations-Vorgänge innerhalb eines KP wiederholt werden. Als Wiederholung wird ein Präparations-Vorgang bewertet, sofern er sich über mehr als die Hälfte der bereits präparierten vestibulären, lingualen, distalen, mesialen oder okklusalen Zahnfläche erstreckt. Alle Präparations-Vorgänge mit geringerer Amplitude gelten nicht als Wiederholungen, sondern als normale Präparations-Bewegungen, bei denen es in der Praxis zwangsläufig zu geringen Hin-und-Her-Bewegungen des Instruments kommt. Bei der quantitativen Auswertung des Parameters Wiederholungen von Präparations-Schritten wurden Wiederholungen pro KP und pro Zahnfläche aufgelistet und diese Werte für jeden KP addiert. Aus diesen Wiederholungen von Präparations-Vorgängen pro KP wurde anschließend ein Summenscore gebildet (Immenroth 2003).

Da in wenigen Fällen bei den Baseline- und Leistungsüberprüfungs-Präparationen der Versuchspersonen auch Pausen auftraten, die nicht direkt auf die Versuchspersonen, sondern auf Störungen der Aufzeichnungen des DentSim™-Systems zurückzuführen sind, wurde die Dauer dieser Unterbrechungen von der Gesamtdauer der Präparation abgezogen (Welk et al. 2007, Sakic 2016).

4.1.5 Durchführung und Auswertung des theoretischen Teils

Durchführung theoretischer Teil

Der theoretische Teil der Studie befasst sich ausschließlich mit der Wissensretention bzw. der Evaluation des gewonnenen deklarativen und non-deklarativen Wissens der Probanden. Das Grundprinzip für die Studierenden besteht in einem Vergleich zwischen der mental entwickelten Idealkavität, welche als kognitive Repräsentation vorhanden sein sollte, und der abweichenden Kavität des Modell_K-Zahnes.

Die Probanden mussten ihre erkannten Abw mit partiell vorgegebenen Textbausteinen schriftlich fixieren (siehe Anhang C), um möglichst einheitliche Antworten zu generieren. Die gewählten Kavitäten stellen einen umfänglichen Ausschnitt an möglichen Präparationen und deren Abw aus dem Alltag der Zahnmedizin dar, ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit zu haben. Die Keramik-Kavitäten nehmen eine gesonderte Stellung

ein, da die Studierenden keine Informationen zu dieser Art von Kavität hatten. Es ist eine reine Transferleistung und sollte zeigen, wie weit die Abstraktionsfähigkeit der Studierenden reicht.

Auswertung theoretischer Teil

Der theoretische Teil der Studie befasst sich mit der Analyse der erkannten Abw aller Probanden und wurde erst durch modernste technische Verfahren umsetzbar. Zur Anwendung kam die Omnicam[®] der Firma Sirona mit ihrer Softwareoberfläche für das Scannen von Kronen/Inlaypräparationen. Zum Zeitpunkt der Studie existierten 18 unterschiedliche intraorale Scanner von 15 verschiedenen Firmen auf dem Markt. Die verschiedenen Intraoralscanner unterscheiden sich in ihrem Aufnahmeprinzip: Ein Großteil der Systeme basiert auf einem Triangulationsverfahren, andere nutzen die konfokale Mikroskopie, das Active-Wavefront-Sampling, sogenanntes Multiscan-Imaging oder die Stereophotogramm-Videografie (Kesler 2014).

Die Wahl für die Vermessung der Modell_K-Zähne fiel auf die aktuellste Version der Omni-cam[®] und deren Software (Version 4.5.2) der Firma Sirona (siehe Abb. 11). Sichwardt zeigte in seiner Studie, dass die Messabweichung der Omnicam[®] in vier Messreihen im positiven Bereich zwischen 16µm und 40µm und im negativen Bereich zwischen -16µm und -30µm variierten (Sichwardt 2014). Dieses Ergebnis konnte durch Fellows Yates et al. (2017) bestätigt werden. Die Messgenauigkeit ist für diese Studie somit ausreichend (Fellows Yates et al. 2017).

Die Herausforderung bestand darin, die Abw der 20 Modell_K-Zähne zu bestimmen und zu definieren (2.3.3). Die durch DentSimTM-Vorgaben (siehe Anhang D) festen Schnittebenen zur Auswertung konnten durch die Software Inspect (GOM) reproduziert werden. Damit war es möglich, alle Kavitäten auf Ihre Abw und deren Ausprägung zu untersuchen. Die Ausprägung der Abw lässt sich durch die Exaktheit der Software deutlich genauer als durch das menschliche Auge mit seiner Rayleigh-Grenze (Auflösung) von maximal 0,15 mm (Paul 1999) bestimmen. Es ist also gelungen, jegliche Abw von der Idealkavität zu definieren und in einheitlichen Auswertungsbögen zusammenzufassen (Musterlösungen siehe Anhang C).

Im Anschluss wurden die teilstandardisierten Antworten der Probanden analysiert und mit der Musterlösung abgeglichen. Es gab einen Bogen A und B, welche sich zur

Betrugsprophylaxe in ihrer Reihenfolge der abgefragten Modell_K-Zähne unterschieden. Es ist zu hinterfragen, ob Studenten des 2. Fachsemesters über das nötige Ausdrucksvermögen verfügen, um präzise Antworten zu geben. Die Untergliederung der einzelnen Teilabschnitte einer Kavität im Rahmen der Abweichungsdefinition hat bei einzelnen Probanden zu Problemen geführt - ein paar Beispiele: Die Bezeichnung (durch einen Probanden) „distales Ende“ kann beispielsweise die distale Fossa oder den distalen Isthmus meinen; die Bezeichnung „Koffer“ wurde an Stelle des approximalen Kastens genutzt. Außerdem gab es unklare Formulierungen mancher erkannter Abw, so musste beispielsweise „fast kein Unterschnitt“ als nicht vorhandener Unterschnitt interpretiert werden. Ein Mangel an Fachvokabular scheint die Ursache zu sein. Dem entgegen stehen jedoch die teilstandardisierten Satzbausteine, welche eine durchschnittlich einheitliche Formulierung gewährleisten und den Raum für Interpretationen der Antworten sehr geringhalten.

Die herausragende Genauigkeit der Omnicam[®] und der 3D-Analyse-Software erfasste eine sehr genaue und sehr hohe Anzahl an zu erkennenden Abw. Dies sollte in der Betrachtung der Ergebnisse berücksichtigt werden. Das immense Auflösungsvermögen der Omnicam[®] könnte für eine dem Versuch nicht mehr angemessene Detailschärfe der Abw sorgen. Somit könnte ein Floor-Effekt entstehen, worin die Messgröße den Empfindlichkeitsbereich des Verfahrens unterschreitet (Bortz 2003).

Ein weiteres Problem stellten die nicht erkannten Folgefehler der Tiefenmessung dar, d.h. bei zu breiten Kavitäten ist der zugehörige Tiefenwert verfälscht (Darstellung siehe Anhang D). Die Situation einer verschobenen Kavität (zu breit oder falsch zentralisiert) und einer damit verbundenen verfälschten Tiefe, wurde von vielen Probanden nicht berücksichtigt und mussten infolgedessen bei der Auswertung als nicht erkannte Abw erfasst werden.

Es kommt hinzu, dass die oben angesprochene Präzision und die festgelegten Schnittpunkte keinen Spielraum für die individuelle Ausdehnung einer Kavität lassen. Es muss also klar sein, dass bei dieser Untersuchung nicht die klinische Verwendung, sondern die rein metrischen Abw von der Idealkavität an den festgelegten DentSimTM-Schnittpunkten bewertet werden. Die Eingrenzung ist nachteilig falls eine Kavität klinisch zu 100% in Ordnung ist, jedoch an den jeweiligen Schnittpunkten die vorgegebenen Werte nicht einhält. Der Grund dafür kann eine Verschiebung der relevanten Ausdehnung (z.B. Querfissur) in distale oder mesiale Richtung sein, sodass die Schnittebenen nicht exakt eingehalten werden, wodurch die graduelle Einteilung nach

Stärke der Abw (0,0-0,2mm etc.) entwertet werden kann. Allerdings war die strikte Eingrenzung obligatorisch für eine einheitliche reproduzierbare Auswertung. In diesem Zusammenhang muss klargestellt werden, dass die Studie nicht die klinische Beschaffenheit individueller Kavitäten untersucht, sondern die Fähigkeit der Studierenden, Abw von einer idealisierten Kavität zu unterscheiden, was wiederum auf die individuelle mentale Handlungsrepräsentation der Idealkavität jedes Probanden schließen lässt.

Alle Auswertungen für die ursprüngliche Anzahl von 20 Modell_K-Zähnen wurden aus statistischen Gründen ebenfalls für 17 Modell_K-Zähne durchgeführt. Der Grund dafür ist ein sogenannter „Death-Error“ der letzten drei Kavitäten: Es gab Studierende, welche die Kavitäten (B2.4-B2.6, siehe Tab. 6) nicht als Keramik-Präparation erkannten, wodurch Sie generell keine Punkte für diese Kavität erhielten (=Death-Error). Das alleinige Entfernen von Ausreißern würde allerdings zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen, da Studierende mit guten Ergebnissen der restlichen 17 Zähne durch das Nichterkennen der Keramik-Kavitäten in der Gesamtzahl der erkannten Abw schlechter sein könnten als Studenten mit schlechteren Ergebnissen der 17 Zähne, aber richtig erkannten Keramik-Präparationen. Außerdem hatte der Ausschluss der Keramik-Kavitäten keinen Einfluss auf die Fallzahl.

Die Präsentation der statistischen Tests sollte aus zwei Perspektiven geschehen – auf Studierendenebene und Zahnebene. Die Studierendenebene bezieht sich auf die Gesamtzahl an erkannten Abw aller 20 Modell_K-Zähne, welche ein Studierender hätte erkennen können. Diese Form der Darstellung ist deutlich plastischer als die ergänzende Darstellung der Zahnebene, welche einen Mittelwert der erkannten Abw pro Zahn und Studierendem zeigt. Der Vergleich der beiden Versuchsgruppen auf der Studierendenebene wird aufgrund der Komplexität des theoretischen Teils bevorzugt.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

4.2.1 Praktischer Teil – Diskussion der Ergebnisse der Qualitätsanalyse

Die Zähne 36 F_{A1} I (o) und 37 F_{A2} II (mo) (Amalgam) stehen bei der Auswertung der Qualitätsanalyse im Vordergrund, da durch die vergleichende interferenz-statistische Auswertung der Baseline und der Leistungsüberprüfung entscheidende Aussagen über etwaige Steigerungen getroffen werden können. Zahn 47 F_{A2} II (mo) und 46 F_{A3} III (mod) dienen zur Überprüfung der Abstraktionsfähigkeit als Teil der mentalen Kavitäten-Repräsentation. Außerdem wurde sowohl ein *intergruppal*er Vergleich innerhalb eines Zeitpunkts für ein Messobjekt (z.B. Baseline 36o) sowie ein *intragruppal*er Vergleich zwischen Baseline und Leistungsüberprüfung innerhalb eines Messobjekts (z.B. Baseline 36o vs. Leistungsüberprüfung 36o) durchgeführt.

Die deskriptiv-statistische Auswertung der Präparations-Qualität zeigt ein relativ ausgeglichenes Bild, sowohl des Gesamtwertes als auch der Einzel-Parameter beider Gruppen.

Die anschließende interferenz-statistische Auswertung des Gesamtwertes zwischen Baseline und Leistungsüberprüfung zeigt eine signifikante Steigerung der DG an 36 o ($P=0,001$). Zahn 36o und 37mo unterscheiden sich in ihren Ergebnissen. An den Transferzähnen 47mo und 46mod zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Die Auswertung der Einzel-Parameter erfolgt nach selbigem Prinzip. Die *intergruppal*e Untersuchung zwischen KG und DG innerhalb der Baseline bzw. Leistungsüberprüfung zeigte, dass die DG innerhalb der Baseline in den Einzel-Parametern „Kavitätenumriss“ (Zahn 36o; $p=0,02$) und „Ausdehnung der approx. Stufe“ (Zahn 37mo $p=0,005$) signifikant schlechter war als die KG. Die Interpretation dieser Ergebnisse sollte allerdings zurückhaltend erfolgen.

Die *intragruppal*e Auswertung von Baseline zu Leistungsüberprüfung zeigt mehrere signifikante Steigerungen der DG sowohl an 36o als auch 37mo. Der Parameter „Kavitätenumriss“ der DG hat an 36o und 37mo hoch signifikante Zuwächse der Präparationsqualität gezeigt.

Es fällt auf, dass an 36o nur die DG signifikante Steigerungen erreicht. An 37mo kann sich auch die KG in einigen Parametern signifikant steigern. Ein zu erwartendes Ergebnis, da die konventionelle Lehrmethode selbstverständlich auch einen Lerneffekt

hat. Der Parameter „Tiefe der Kavität“ zeigt an 36o und 37mo signifikante Zuwächse der DG, wohingegen die KG nur an 37mo einen signifikanten Zuwachs zu verzeichnen hat. Es lässt sich schlussfolgern, dass die Visualisierung der Präparation und der Transfer des 2D-Wissens in das 3D-Arbeiten letztlich zu einer besseren räumlichen Vorstellung der Kavität und somit besseren Ergebnissen der DG führt. Die Begründung findet sich in einer gesteigerten Reflektion der eigenen Leistungen, welche auch (Robinson et al. 2001) in ihrer Studie zur Tiefenbestimmung in einer Echtzeit-VR-Umgebung nachgewiesen werden konnten.

Es existieren bereits mehrere Studien, die das DentSim™ bereits als mögliche Alternative zu der konventionellen Lehre dargestellt haben (Buchanan 2001, Buchanan 2004, Welk et al. 2004, Urbankova et al. 2011). Sie beschreiben die innovativen Möglichkeiten, welche den Lernenden geboten werden. In Kapitel 1.3.3 findet sich eine genaue Beschreibung der technischen Details und der E-Learning-Umgebung durch das DentSim™. Das durchschnittlich bessere Abschneiden der DG lässt sich durch die erweiterte Lernumgebung plausibel begründen. Das „Problemorientierte Lernen“ und die multimediale Lernumgebung schulen das Qualitätsverständnis der Studierenden der DG in einem erhöhten Maße. Welk et al. (2008) beschreiben das DentSim™ als eine Form des „Computer-assisted-Learning“ (CAL), welche beispielsweise an der Universität von Tennessee aus oben genannten Gründen in die Lehre integriert wurden.

Des Weiteren muss diskutiert werden, inwieweit die Notwendigkeit besteht, jede erdenkliche Kavität als DentSim™-Vorlage im System zu hinterlegen. Die Universität von Tennessee hat sämtliche Referenzwerte der Kavitäten und die benötigten Schleifer auf ihre individuellen Bedürfnisse angepasst (Hollis et al. 2011). Hierbei stellt sich die Frage, ob eine generalisierte, weltweit einheitliche Präparationsrichtlinie eine größere Reichweite bei geringerem Entwicklungsaufwand hätte. Dem entgegen stehen allerdings fast schon dogmatische Lehrmeinungen zu den Präparationsrichtlinien in den unterschiedlichen Ländern und den unterschiedlichen Fakultäten (Postle 1958, Almquist et al. 1973, Bailey 1991, Gängler 2010). Andere Studien zeigen, dass die Abstraktionsfähigkeit der Nutzer durch die stringenten Vorgaben eingeschränkt wird und andere als die eingespeicherten Kavitäten nicht beherrscht werden (Perry et al. 2015).

Allerdings zeigt diese Studie anhand der nachgewiesenen Transferleistung von 37mo zu 47mo (siehe 3.1.2), dass eine neue, kostspielige Programmierung von

Präparationsrichtlinien aller existierender Zähne bzw. Kavitäten in eine computer-gestützte Simulationseinheit wie DentSim™ für die Ausbildung der für die zahnärztliche Behandlung notwendigen kognitiv-motorischen Fähigkeit nicht nötig ist. Die oben beschriebenen signifikanten Korrelationen zeigen durchaus die Abstraktionsfähigkeit der DentSim™-trainierten Probanden.

Diese Schlussfolgerung ist allerdings durch weiterführende Untersuchungen zu überprüfen, da allein durch die Korrelation auf Ebene der Qualität keine allgemeingültigen Aussagen getroffen werden können.

4.2.2 Praktischer Teil – Diskussion der Ergebnisse der Prozessanalyse

Aufgrund der zeitlich zurückliegenden Datenerhebung, kam es zu einem partiellen Datenverlust. Es sind Daten der Baseline der Prozessanalyse unwiderruflich verloren gegangen und standen somit der Auswertung nicht mehr zur Verfügung. Alle anderen Daten konnten einwandfrei mit deskriptiv- und interferenz-statistischen Verfahren untersucht werden. Die Analyse des Präparationsprozesses ist hinsichtlich der Wissensretention und der damit verbundenen mentalen Repräsentation der Idealkavität aufschlussreich. Daher wurde auf die Auswertung der vorhandenen Daten nicht verzichtet. Wie die Baseline-Werte der Präparationsqualität zeigten, kann durch die stratifizierte Randomisierung auch hier von einer sicheren Gleichverteilung ausgegangen werden. Im Folgenden werden die Ergebnisse der statistischen Auswertung gesondert betrachtet und diskutiert.

Der Präparationsprozess stellt, neben der daraus resultierenden Präparationsqualität, einen fundamentalen Teil zwischen der Entfernung von Karies und dem Legen des jeweiligen Füllungsmaterials dar. Die mentale Repräsentation der Kavität spielt bei jedem Schritt eine ausschlaggebende Rolle. So ist ein Behandler nur dann in der Lage, wirklich effektiv zu sein und dabei den höchsten klinischen Ansprüchen gerecht zu werden, wenn er zu jeder Zeit relevante Parameter des Präparations-Designs als mentale Handlungsrepräsentation abrufbar hat (Welk et al. 2007, Sakic 2016).

Es gab Versuche ohne eine DentSim™-Einheit die Performance bzw. die Präparationsqualität von Probanden festzuhalten, doch zeigten die Ergebnisse eine schlechte Reproduzierbarkeit (Taylor 2013). Unter Berücksichtigung des Studiendesigns ist es zwingend notwendig, dass auch die Präparationen der KG mittels DentSim™-Einheit

aufgezeichnet werden, da ansonsten ein Vergleich der Daten nicht möglich wäre. Außerdem hätte bei unterschiedlichen Simulationseinheiten die Gefahr bestanden, dass gerade Anfänger wie Studierende im 2. Fachsemester zu sensitiv auf Veränderungen reagieren und ein Vergleich zwischen den erhobenen Daten nicht möglich gewesen wäre. Die absolut gleichen Arbeitsbedingungen für beide Gruppen waren zwingend erforderlich. Die permanente Erfassung des Behandlers während der Präparation macht das genutzte Analyseverfahren dieser Studie erst möglich.

Das Modell des OSATS und die daraus entwickelten Operationalisierungs-Parameter (Welk et al. 2007) bieten eine sehr detaillierte Form der Prozessanalyse. Es kann nicht nur die Gesamtdauer einer Präparation, sondern auch jeder Einzelparameter des Prozesses erfasst werden. Der Leiter der Poliklinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Kinderzahnheilkunde der Universität Greifswald prüfte die Parameter auf ihre praktische Relevanz (zum Zeitpunkt der Studie: Prof. Dr. G. Meyer). Eine Gewichtung der einzelnen Parameter fand nicht statt, da unter Berücksichtigung der Auswertung des gesamten Präparationsprozesses keine relevanten Unterschiede der Parameter auszumachen sind.

Eine Beurteilung der Effektivität wird somit sehr gut möglich. Welk et al. konnten 2007 in ihrer Studie „Mental training in dentistry“ zeigen, dass die Studierenden signifikant von der Methode des „Mentalen Trainings“ profitierten. Das zweite Fachsemester wurde jeweils in eine Kontroll-Gruppe und eine Versuchs-Gruppe geteilt. Die Versuchs-Gruppe erhielt „Mentales Training“, welches eine leistungssteigernde Methode aus der Sportpsychologie darstellt und schon vielfach in medizinischen Studien zur Anwendung kam (Immenroth 2003, Immenroth et al. 2007, Welk et al. 2007, Rao et al. 2015). Die Prozess-Parameter in der Studie wurden mit der DentSimTM-Einheit, welche durch ihre Kameras ideale Bedingungen für eine solche Analyse schafft, erhoben. Ein Vergleich der beiden Gruppen zeigte unmittelbar nach der Trainingsintervention eindeutige und signifikant bessere Leistungen der Versuchs-Gruppe (Welk et al. 2007). Sie konnten zeigen, dass der leistungssteigernde Effekt des Mentalen Trainings, analog zur Sportwissenschaft, auch im Rahmen der kognitiven Lernprozesse innerhalb der Zahnmedizin zu beobachten ist.

Auch in dieser Studie zeigen sich deskriptiv-statistische Unterschiede zugunsten der DentSimTM-trainierten Gruppe (DG). Allerdings zeigen die Untersuchungen der Leistungsüberprüfung eine positive Tendenz ohne statistische Signifikanz ($p=0,0998$ und $p=0,0859$). Betrachtet man die Einzelwert-Parameter, so präparierte die DG an Zahn

37mo, also der deutlich komplexeren Kavität, signifikant schneller ($p=0,009$ bei „Gesamtdauer der Präparation (in sec)“). Alle anderen Einzelwert-Parameter an 37mo zeigen keine signifikanten Unterschiede. Die Standardabweichungen der einzelnen Werte sind zu hoch, sodass die Mittelwerte (und deren Standardabweichungen) beider Gruppen sehr ähnlich waren, wodurch diese bei der Auswertung keine Aussagekraft besitzen. Also präparierte die DG bei gleicher Effektivität die Kavität signifikant schneller. Buchanan (2001) kam in ihrer Studie zu einem ähnlichen Ergebnis. Sie wies nach, dass DentSimTM-Trainierte im Vergleich zu konventionell trainierten Probanden 50% bis 100% so viele Präparationen pro Stunde (abhängig von der Art der Präparation) erreichten. Zudem profitierten sie von dem dreimal häufigeren Feedback der VR/AR-Einheit.

Die DG machte bei der Präparation von 36o bzw. 37mo keine „Pause zwischen den Knotenpunkten“, was wiederum zu einer nicht existenten „Gesamtdauer der Pausen“ führt. Die DG ist an beiden Zähnen in diesen Einzelparametern logischerweise signifikant besser als die KG (beide P-Werte=0,003). Es ist sehr gut möglich, dass eine erhöhte mentale Handlungsrepräsentation der DG dazu führte. Buchanan et al. (2004) berichtet ebenfalls über diese Erfahrung in ihren Studien zur Anwendung der DentSimTM-Einheit.

Eine Kavitätenpräparation gilt als invasiver medizinischer Eingriff, was wiederum unter Berücksichtigung des eben genannten Ergebnisses Rückschlüsse auf die Fähigkeiten des jeweiligen Behandlers zulässt. Es konnte gezeigt werden, dass erfahrene Chirurgen effizienter arbeiten, indem sie eine Aufgabe nicht schneller, sondern mit weniger Schritten durchführten (Bann et al. 2003). Ähnliche Ergebnisse entstanden in einer Studie von Datta et al. (2001), die die Kompetenzgrade eines Chirurgen analysierten, wobei im Rahmen eines laparoskopischen Eingriffs ein signifikanter Zusammenhang (Spearman Koeffizient 0,79, $p<0,01$) zwischen der benötigten Zeit und Anzahl der Bewegungen besteht. Sakic (2016) schlussfolgert daraus, dass ein erfahrener Operateur die OP-Zeit vor allem durch effizientere Bewegungen verkürzen kann. Im übertragenen Sinn zeichnet sich also eine gute zahnmedizinische Präparation ebenfalls durch möglichst wenige Wiederholungen gewisser Präparationsschritte/Handlungsschritte aus.

Diese Studie befasste sich, im Gegensatz zur oben erwähnten MT-Studie (Welk et al. 2007), in der eine Kronenpräparation durchgeführt wurde, mit weniger komplexen Kavitäten-Präparationen. Somit könnte es sein, dass die unterschiedliche

Handlungsrepräsentation kaum sichtbar wird bzw. schwierig zu erkennen ist. Hierfür sprechen auch konträre Einzelergebnisse, wie beispielsweise bei Zahn 36 F_{A1} (o) „Wiederholen eines Präparationsschrittes“, an dem die KG ein signifikant besseres Ergebnis erzielte ($p=0,014$).

Zusammengefasst ergibt die Auswertung der Prozessanalyse ein heterogenes Bild. Eine generalisierte Aussage bezüglich des DentSims™ gegenüber der konventionellen Lehre ist nicht zu treffen, denn eine alleinige Verbesserung der Präparationszeit hat keinen Effekt auf die eigentliche Qualität der Präparation (Perry et al. 2015).

Dennoch bleibt die positive Tendenz der DG zu begründen. Am ehesten sollte das DentSim™-Prinzip des permanenten Feedbacks in den Kontext einschlägiger Lerntheorien, wie der „kognitiv-affektiven Theorie des Lernens mit Medien von Moreno“ (1.4.1.1), gebracht werden. Das simultane Ansprechen verschiedener Lernkanäle (auditiv, haptisch, visuell) bedient viele Lerntypen parallel, was es zu einer effizienteren Lernmethode machen kann (Urbankova 2010). Aus diesem Grund sollte in zukünftigen Studien auf komplexere Kavitäten-Präparationen ausgewichen werden, da man davon ausgehen kann, dass diese ein erhöhtes Maß an deklarativem und besonders non-deklarativem Wissen voraussetzen. So könnte der Präparationsprozess deutlich differenzierter analysiert und eventuell ein deutlicheres Ergebnis erzielt werden.

4.2.3 Praktischer Teil - Zusammenfassung

Die mentale Handlungsrepräsentation, welche sich aus deklarativem und non-deklarativem Wissen konzipiert, entwickelt sich durch eine Vielzahl von Inputs. Bei der Vermittlung von Wissen spielen Lerntheorien eine zentrale Rolle. So steht der Anwender/Lernende bei allen Lernkonzepten, hier das CAL und die VR/AR-Umgebung des DentSims™, im Mittelpunkt. Die zentrale Frage dieser Studie, ob das DentSim™ das deklarative und non-deklarative Wissen zuverlässig, ebenbürtig oder gar besser als die konventionelle Lehre vermittelt, kann mit dem praktischen Teil der Studie nur bedingt geprüft werden. Eine logische Folge des Versuchsaufbaus, da die Akquirierung der motorischen Fähigkeiten möglichst gering gehalten werden sollte, wodurch Präparationsqualität und -prozess mitunter ebenbürtig sein sollten. Dieser Versuchsaufbau dient außerdem der Vermeidung eines Ceiling-Effektes, da die Erfassung der reinen

Wissensgenerierung der Studierenden ansonsten durch eine zu große Schulung der motorischen Fähigkeiten überlagert worden wäre.

Es existieren mittlerweile viele Studien über VR-Simulatoren bzw. deren CAL-Lernumgebungen, welche signifikante Ergebnisse zugunsten der Versuchsgruppen erzielten (Plessas 2017). Umfragen ergeben zudem hohe Compliance-Werte bezüglich solcher Simulatoren (Welk et al. 2005). Das ist nicht verwunderlich, so studieren immer mehr „digital natives“, welche den Umgang mit neuen Informationstechnologien und dem Internet gewohnt sind. Die digitalen Lehrformen finden auch in Schulen immer mehr Anwendung (Nieding et al. 2015), sodass eine Integration in der zahnmedizinischen Lehre für den Großteil der Studierenden keine Umstellung darstellen sollte bzw. eine Integration moderner Lehrmethoden sogar vorausgesetzt bzw. eingefordert wird.

Zum Zeitpunkt der Datenerhebung (2001/2002) waren VR/AR-Simulatoren eine neue Methode der Wissensvermittlung in der Zahnmedizin und waren Bestandteil vieler Forschungen. Gerade das DentSim™, als die am weitesten entwickelte Form dieser Art von Simulatoren, stand häufig im Mittelpunkt. Inzwischen wurde in einer Vielzahl von Studien die Wirksamkeit der E-Learning-Umgebung und des CAL, wie es das DentSim™ nutzt, bewiesen (Buchanan 2004, Urbankova 2010).

Unsere Gesellschaft erfährt immer mehr Digitalisierung. Es könnte kritisiert werden, dass zumindest bei reinen VR-Simulatoren der Unterschied zur normalen Praxis zu groß und realitätsfern sei und die wichtige Schulung der psychomotorischen Koordination verloren gehe bzw. nicht genug angesprochen werde (Perry et al. 2015). Eine berechtigte Kritik, wenn man berücksichtigt, dass die Zahnmedizin außerordentliches feinmotorisches Geschick erfordert. Die DentSim™-Einheit findet hier einen Kompromiss zwischen konventionellem Phantomkopf und reinen VR-Simulatoren. Die hybride Form der Lehre erfordert durch den fließenden Übergang der AR kein großes Umdenken mehr. Der Übergang zwischen der non-invasiven Vorklinik zur Klinik wird durch eine zunehmend realitätsnähere Simulation deutlich einfacher. Die Studierenden werden immer besser auf mögliche Situationen bzw. Komplikationen im Klinik-Alltag vorbereitet. Vor allem die Darstellung von Fehlern und die deutlich verbesserte Präsentation der Fehlerentstehung durch die AR-Umgebung erzeugen größere Sicherheit in der Klinik. Vorschläge zur komplementären Integration in gültige Curricula finden sich bereits in der Literatur (Urbankova 2010, Urbankova et al. 2011).

Diese Arbeit befasst sich also nicht mit der allgemeinen Anwendbarkeit der DentSims™-Einheit, sondern ganz speziell mit der „Evaluation der Vermittlung des

zahnmedizinischen deklarativen und non-deklarativen Wissens durch die Anwendung computergestützter Patientensimulatoren“. Die oben beschriebene mentale Handlungsrepräsentation spielt dabei eine zentrale Rolle. Der durchgeführte Test zur Wissensretention im theoretischen Teil der Studie versucht die Kognition der Kavitäten-Präparation zu erfassen. Die CATLM (Kapitel 1.4.1.1) und das dort vermittelte komplexe Verständnis unseres Gedächtnisses muss dabei unbedingt berücksichtigt werden.

4.3.1 Theoretischer Teil – Diskussion des Endtestates

Die Evaluation der Vermittlung von deklarativem und non-deklarativem Wissen stellt das Kernstück dieser Arbeit dar. Anhand der in 2.2.3 und 2.3.3 beschriebenen Methoden und dem Versuchsmaterial wurde versucht, die Kognition der Probanden bestmöglich zu erfassen und zu evaluieren. Die konventionelle Lehre wird der neuen digitalisierten Lehre in Form computergestützter Ausbildungssimulatoren gegenübergestellt. Anders als im praktischen Teil dieser Studie wird versucht, die Kognition völlig losgelöst von den motorischen Fähigkeiten zu betrachten.

Das Umdenken findet nicht nur in der Zahnmedizin statt, sondern gilt als generelles Thema in der Vermittlung von Wissen. Es ist erwiesen, dass kognitive und metakognitive Prozesse (Graesser et al. 2005) im gesamten Lernprozess eine Schlüsselrolle einnehmen (Nieding et al. 2015). Nieding beschreibt weiter, dass diese Erkenntnis im Kontext des multimedialen Lernens weiter erforscht werden sollte.

Urbankova (2010) kam auf das Ergebnis, dass die frühzeitige und gezielte Etablierung von computergestützten Dentalsimulatoren wie DentSim™ einen positiven Effekt auf den Lernerfolg von Studierenden hat. Besonders die multimediale Schulung und die Adressierung vieler unterschiedlicher Lerntypen haben VR/AR-Simulatoren der konventionellen Lehre voraus. LeBlanc et al. (2004) kommen zum Schluss, dass vor allem die frühzeitige Integration solcher Lehrformen wichtig ist, da hier die metakognitive Entwicklung eines Individuums stattfindet (Ericsson et al. 1993).

Aufgrund dieser Fakten folgt diese Arbeit einer strikten Trennung zwischen kognitiver und motorischer Entwicklung. Die Ergebnisse der Untersuchung bestätigen die Annahme der frühen metakognitiven Entwicklung in der vorklinischen Ausbildung anhand besserer Abweichungserkennungsraten (AbwER). Die DG zeigt in ihrer AbwER ein signifikant besseres Ergebnis (Studentenebene $p=0,0168$; Zahnebene $p=0,0001$). Die DG weist also eine bessere mentale Repräsentation der Kavitäten-Sollgrößen bzw. des Kavitäten-Designs auf.

Levine et al (1987) zeigte jedoch, dass CAL im Vergleich zur konventionellen Lehre keine signifikanten Unterschiede in der Wissensretention ergibt. Da die technischen Möglichkeiten der CAL-Umgebung zur damaligen Zeit nicht mit den heutigen zu vergleichen sind und durch eine sehr schnell fortschreitende Entwicklung der digitalen Medien das Repertoire an Lehrinhalten und Darstellungsformen deutlich vergrößert wurde, wird klar, dass im Rahmen der digitalen Entwicklung vor allem der Faktor Zeit

eine große Rolle spielt. Vergleicht man nun die technischen Möglichkeiten im Jahr 1987 mit denen aus dem Jahr 2002, so wird klar, dass Levines Aussagen nur noch bedingt richtig sein können. Die rein textorientierte Darstellung von Lehrinhalten wie bei Levine et al. (1987) ist im Rahmen dieser Studie deutlich erweitert worden.

Das Review von Rosenberg et al. (2003) zu CAL-Studien fasst zusammen, dass entweder kein Unterschied zwischen konventioneller Methode und CAL besteht oder signifikant bessere Leistungen durch CAL-trainierte Probanden erzielt wurden. Bei genauerer Betrachtung der Studie fällt auf, dass zwar in dieser Analyse auf statistische Richtigkeit geachtet wurde, aber keine Qualitätsanalyse nach standardisierten Gesichtspunkten der untersuchten CAL-Systeme durchgeführt wurde. Es wurden CAL-Systeme berücksichtigt, die das Potential der CAL-Technologie/Philosophie nicht ausschöpften. Daher kann man davon ausgehen, dass bei einer konsequenten Anwendung eines zu erfüllenden Qualitätsstandards die Aussage der Studie, dass sich mit CAL bessere Leistungen als mit der konservativen Ausbildung erzielen lassen, noch klarer zum Ausdruck gekommen wäre.

Stewart et al. (1999) generierte mit DentSim™ ebenfalls eine VR/AR-Lehrumgebung und zeigte eine signifikant positive Reaktion und Akzeptanz der Studenten auf die neuartige Lehrumgebung. Welk et al. (2005) konnte diese Compliance in seiner Studie zu computer-gestützten Dentalsimulatoren bestätigen.

Die erhöhte kognitive Handlungsrepräsentation der DG bestätigt die in einer Vielzahl von Studien angesprochene bessere Vermittlung des deklarativen und non-deklarativen Wissens. Die graduelle Einteilung der Abw in 0,2mm-Schritten soll Auskunft darüber geben, ob nicht nur in der Gesamtzahl, sondern auch in der Genauigkeit der AbwER signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bestehen. Diese Idee basiert auf Beobachtungen des Studienleiters, in welchen er die mangelnde Kognition als Hauptursache für eine erhöhte Feedbacknachfrage während des Phantomkurses III ausmachte. Am Anfang ihrer Ausbildung sind manche Studenten nicht in der Lage, sehr offensichtliche Abw zu erkennen, was auf eine mangelnde mentale Repräsentation der Sollgröße einer Idealkavität schließen lässt.

Die DG erkennt signifikant häufiger graduell kleinere Abw im Bereich von Grad 1 (0,0-0,2 mm) und Grad 2 (0,2-0,4 mm) als die KG ($P=0,0054 / 0,0103 / P=0,0076 / 0,0373$). Erst ab einer Abw von Grad 3 (0,4-0,6 mm) und größer (Grad 4 und 5) nähern sich die AbwER beider Gruppen an, und es kann kein signifikanter Unterschied mehr ermittelt werden. Dieses Ergebnis bestätigt die Annahme der besseren deskriptiv-analytischen

kognitiven Ausbildung durch DentSim™ und sollte im Feld der vorklinischen Ausbildung für Aufmerksamkeit sorgen. Auch die in der Einleitung unter 1.4.1.1 angesprochene „kognitiv-affektive Theorie des Lernens mit Medien von Moreno“ (CATLM) stützt das Ergebnis auf lerntheoretischer Ebene.

Ein wichtiger Unterpunkt der CATLM bezieht sich auf die Informationsverarbeitung des Menschen mittels zweier Kanäle (siehe Abb. 5). Der erste Kanal wird mit visuellem bzw. bildhaftem Material gespeist, der zweite auf auditiv/verbaler Ebene (Robinson 2004). Diese Zweiteilung basiert auf der „Dualen Koordinationstheorie“ von Paivio (1986) und einer früheren Version des Arbeitsgedächtnis-Modells nach Baddeley (1992). Es ist zu beachten, dass der Lernende Informationen, welche durch den einen Kanal aufgenommen wurden, in den anderen konvertieren kann. So werden durch DentSim™ visualisierte Fehler als mentale Sollgröße der Kavität im semantischen Gedächtnis als personenunabhängiges Faktenwissen und als Referenzwert für zukünftige Präparationen hinterlegt. Die Untergliederung der Informationsaufnahme in Visualität, Akustik und Taktilität spiegelt die durch DentSim™ vornehmlich adressierten Kanäle wider. Die Theorie schreibt vor, ein maximales Maß an Informationsweitergabe nicht zu überschreiten, was auch als „Cognitiv Load“ bekannt ist. Das kontinuierliche Feedback könnte für eine Steigerung des kognitiven Loads sorgen, was wiederum als eher negativ anzusehen wäre (van Merriënboer et al. 2005).

Des Weiteren wird im Rahmen der „guidance hypothesis“ angenommen, dass bei Wegfall eines kontinuierlichen Feedbacks, ein Leistungseinbruch zu verzeichnen ist, da der Nutzer sich an das permanente Feedback gewöhnt und darauf verlassen hat (Salmoni et al. 1984). Wierinck et al. (2007) zeigen, dass kontinuierliches Feedback im Vergleich zu intermittierendem Feedback (66% von kontinuierlichem) keinen nennenswerten Vorteil bringt. Ein Faktor, der an dieser Stelle zu vernachlässigen ist, da die DentSim™-Einheit zum einen kein intermittierendes Feedback bietet und zum anderen die Wissensretention im Rahmen des theoretischen Teils losgelöst von der DentSim™-Einheit getestet wurde. Im Zuge der generellen Anwendung von DentSim™ bleibt die Frage nach der kognitiven Überlastung dennoch offen.

Ein weiterer Unterpunkt der CATLM geht von einer aktiven Informationsverarbeitung des Menschen aus. Dabei befassen sich die Lernenden aktiv mit dem Lernmaterial, um Verknüpfungen mit ihren vorhandenen Erfahrungen zu erstellen (Mayer 2005). Dieser Lernprozess findet sich auch bei anderen Wissenschaftlern wieder (Bruner 1961, Neisser 1967, Wittrock 1989) und ist obligatorisch für jeden Behandler. Das Ergebnis

der Untersuchung kann diese aktive Aneignung des deklarativen und non-deklarativen Wissens der DG bestätigen. Im Kontext der CATLM erfasst die multimediale Lernoberfläche des DentSims™ mehr Lerntypen und führt zu einer gesteigerten AbwER bzw. mentalen Handlungsrepräsentation der Sollgröße einer Idealkavität.

Durch die große Anzahl an zu erkennenden Abw pro Proband muss ein auftretender Floor-Effekt diskutiert werden. Die hohe Auflösung der Sirona Omnicam® und der 3D-Analyse-Software GOM Inspect generierten eine sehr hohe Pixeldichte der Untersuchungsobjekte (Modell_K-Zähne) und stellen in dieser Kombination eine neue Untersuchungsmethode dar. Sie übertreffen bei weitem das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges (Rayleigh-Grenze 0,15mm), was zur eben erwähnten hohen Anzahl an definierten Abw führte. Die aussagekräftige statistische Auswertung widerlegt jedoch den Verdacht eines Floor-Effekts.

Das eigentliche Entstehen von Abw entlang der vordefinierten Schnittebenen ist zu diskutieren, denn schon eine leichte Dezentralisierung der Kavität kann zu messtechnisch erheblichen Abw in der Musterlösung führen, obwohl die Kavität rein optisch klinisch akzeptabel wirkt. Die Standardisierung der Schnittebenen und die dadurch mitunter erhöhten Abw in den Musterlösungen waren jedoch nötig, um eine Reproduzierbarkeit der Messungen zu gewährleisten.

Die teil-standardisierten Formulierungen des studentischen Antwortbogens (siehe Anhang C) lassen bei der Auswertung leider einen gewissen Spielraum bzw. ein gewisses Maß an Interpretation zu, sodass es zu einer subjektiven Bewertung einzelner AbwER kommen könnte (4.1.3). Dies sollte bei der Interpretation der AbwER-Ergebnisse entsprechend berücksichtigt werden. Außerdem korrelieren die AbwER nicht in jedem Fall mit der klinischen Relevanz der Einzelabweichungen, sondern sind viel mehr Ausdruck für den Aufbau einer mentalen Soll-Kavität, die beim Präparieren einer Kavität unter Berücksichtigung der Kariesausdehnung und des verwendeten Materials als Zielgröße dient.

Dieses Wissen kann nur effizient durch die gezielte Vermittlung in der Lehre entstehen. Wie die Ergebnisse gezeigt haben, ist DentSim™ in diesem Punkt der konventionellen Ausbildung von Novizen in der initialen Trainingsphase überlegen.

In der Einleitung wurde bereits die neue Approbationsordnung für Zahnärzte angesprochen, welche die Vermittlung der für die Patientenbehandlung notwendigen kognitiv-motorischen Fähigkeiten in kürzerer Zeit vorsieht. Die Frage nach neuen effektiveren Lehrmethoden ist also aktueller denn je. Welk et al. zeigten bereits 2006 anhand

von DentSim™ das Potential computergestützter Dental-Simulationseinheiten für die zahnärztliche Ausbildung.

Neben den untersuchten Fragestellungen stellen die computergestützten Dental-Simulatoren mit ihren Möglichkeiten des selbstständigen, zeitunabhängigen, problemorientierten Lernens in einer sicheren multimedialen Lernumgebung in Vorbereitung auf den klinischen Kurs eine interessante Ergänzung zu der konventionelle Ausbildung dar.

4.3.2 Theoretischer Teil – Diskussion der Korrelation zwischen Visualisierungs-Leistungsprüfsystem und Abweichungserkennungs-Rate

Der statistische Vergleich zwischen beiden Gruppen zeigte keine signifikanten Unterschiede. Die Voraussetzungen auf Ebene der Visualisierungsintelligenz waren also für beide Gruppen gleich. Außerdem wurde geprüft, ob ein Proband mit hohen Punktzahlen im VLPS ebenfalls hohe AbWER-Ergebnisse aufweist. Der statistische Test zeigte keine Signifikanzen, was darauf hindeutet, dass Probanden mit geringerer visueller Intelligenz genauso von der multimedialen Oberfläche des DentSims™ mit ihren Möglichkeiten des visualisierten Soll-Ist-Vergleiches profitieren wie Probanden mit hoher visueller Intelligenz.

5. Schlussfolgerung / Ausblick

Das Training an einem computergestützten Dentalsimulator wie dem DentSim™-Gerät mit seinen Möglichkeiten des zwei- und dreidimensionalen Soll/Ist-Vergleichs einer Zahnpräparation in einer multimedialen Lernumgebung kann im Vergleich zur konventionellen Ausbildung zu einem erhöhten deklarativem und non-deklarativem Wissen führen. Auch wenn in weiteren Studien die Auswirkungen dieser Leistungssteigerung auf die praktischen Fähigkeiten noch genauer untersucht werden sollten, kann schon jetzt gesagt werden, dass die Erhöhung der mentalen Repräsentation der zu präparierenden Idealkavität in Bezug zum jeweiligen Zahn einen Fortschritt in der dentalen Ausbildung darstellt und in die Entwicklung zukunftsbasierter Lehrkonzepte einfließen sollte. Die Verwirklichung des Potentials der Computertechnologie in der Patientensimulation könnte ein Weg sein, um sich neben dem stetig wachsenden Wissen, die Fähigkeiten, die ein Zahnmedizinstudent zur Patientenbehandlung benötigt, selbstständig und individuell effektiv anzueignen.

6. Zusammenfassung

Infolge der fortschreitenden Digitalisierung und der demnächst gültigen neuen zahnärztlichen Approbationsordnung, die eine noch stärkere Einbindung des Zahnmedizinstudiums in die Medizin vorsieht, werden neue Anforderungen an die Vermittlung zahnmedizinischer Fähigkeiten gestellt. Das stetig wachsende Wissen muss in der gleichen Zeit bei Gewährleistung eines hohen Qualitätsstandards vermittelt, durch die Studierenden internalisiert und im Rahmen der klinischen Patientenbetreuung jederzeit in Form von idealen Behandlungskonzepten abrufbar sein. Abhilfe können dentale Ausbildungssimulatoren schaffen, mit Hilfe derer die Studierenden sich multimedial ihr behandlungsspezifisches Wissen und Können individuell aneignen können.

Diese Studie befasst sich mit der Evaluation der Vermittlung des deklarativen und non-deklarativen Wissens einer Kavitätenpräparation durch computergestützte Ausbildungssimulatoren am Beispiel des DentSimsTM, indem der Wissenserwerb und die Wissensretention hinsichtlich einer mentalen Handlungsrepräsentation einer Idealkavität im Vergleich zur konventionellen Lehre in den Fokus der Untersuchungen gerückt wurde.

Im Rahmen der Studie wurde das zweite Fachsemesters der Zahnmedizin des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (ZZMK) der Universität Greifswald ausgewählt. Insgesamt handelt es sich dabei um 42 Studierende, aufgeteilt in eine Versuchs- und Kontrollgruppe (DG und KG) mit jeweils 21 Studenten. Die Studie ist in einen praktischen und einen theoretischen Teil gegliedert. Der praktische Teil untergliedert sich in die Qualitäts- und Prozessanalyse. Die Versuchsgruppen mussten drei praktische Übungen absolvieren, bevor anhand einer Leistungsüberprüfung ihr Leistungsstand zur Kavitätenpräparation ermittelt wurde. Die Daten der Leistungsüberprüfung wurden dann anschließend anhand von streng definierten Qualitäts- und Prozessparametern analysiert. Die DG wurde ausschließlich durch das DentSimTM und dessen Zugang zur zwei- und dreidimensionalen Fehleranalyse trainiert, wohingegen die KG durch die konventionelle Lehre anhand von Vorlesungen und der Fehleranalyse mittels Tutor unterrichtet wurde.

Im anschließenden theoretischen Teil wurde anhand eines Soll/Ist-Vergleichs eine individuelle Abweichungserkennungs-Rate (AbwER) als Überprüfung der im praktischen Teil erworbenen mentalen Repräsentation einer Idealkavität als Sollgröße der zu präparierenden Kavitäten ermittelt. Die von den vorgegebenen Idealkavitäten

Zusammenfassung

abweichenden Kavitäten wurden mittels DentSim™ angefertigt und entsprechend der computerinternen Vorgaben via 3D-Analyse vermessen. Anhand des hieraus entstandenen standardisierten Auswertungsbogens wurden die durch die Studierenden präparierten Zahnkavitäten auf die gezielt eingebauten Abweichungen (Abw) zur Idealkavität überprüft.

Die statistische Auswertung des praktischen Teils ergab ein heterogenes Bild der Ergebnisse. Die Auswertung der Qualitätsanalyse hat ergeben, dass sowohl die DG als auch die KG im *intergruppalen* Vergleich signifikante bessere Ergebnisse erzielen konnten. Der *intragruppale* Vergleich zeigte stellenweise signifikante Steigerungen der DG von Baseline zu Leistungsüberprüfung. Die Auswertung der Prozessanalyse der Leistungsüberprüfung zeigte deutliche Unterschiede zwischen den beiden Gruppen zugunsten der DG. Während allerdings der Unterschied des Gesamtwertes aufgrund der hohen Streuung statistisch nicht signifikant war, konnte die DG bei den Prozess-Einzelparametern „Gesamtdauer der Pausen“ und „Pausen zwischen den Knotenpunkten“ von 360 bzw. bei der „Dauer der einzelnen Knotenpunkte“ und der „Gesamtdauer der Präparation“ an 37mo statistisch signifikant bessere Ergebnisse erzielen.

Die Auswertung des theoretischen Teils hat ergeben, dass die DG in ihrer AbwER ein signifikant besseres Ergebnis erzielen konnte. Die DG hat also kognitiv bessere mentale Sollgrößen der Idealkavitäten entwickeln können, was wiederum auf einen erhöhten Erwerb und eine erhöhte Retention an deklarativem und non-deklarativem Wissen schließen lässt. Die für die Ermittlung der Genauigkeit der Abw-Bestimmungsfähigkeit durchgeführte Analyse zeigte darüber hinaus, dass die DG signifikant häufiger kleinere Abw im Bereich von Grad 1 (0,0-0,2mm) und Grad 2 (0,2-0,4mm) als die KG erkennt. Insgesamt weisen die signifikant besseren Ergebnisse der AbwER der DG auf eine im Versuchsverlauf deutlich höher entwickelte Form der mentalen Sollgröße der Idealkavität im Vergleich zur KG hin.

Somit kann geschlussfolgert werden, dass die computergestützten Dentalsimulatoren mit ihren Möglichkeiten der virtuellen zwei- und dreidimensionalen Darstellung des Soll-/Ist-Vergleichs den Aufbau der mentalen Repräsentation der zu präparierenden Kavität durch eine höhere Retention von deklarativem und non-deklarativem Wissen unterstützen. Inwieweit sich diese mentale Leistungssteigerung letztendlich auf die praktischen Fähigkeiten auswirkt, sollte in weiterführenden Untersuchungen geklärt werden, da in dieser Studie zur Vermeidung eines Ceiling-Effekts auf eine erhöhte Anzahl praktischer Übungen verzichtet wurde.

7. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: DentSim™-Einheit Phantomkopf.....	2
Abb. 2: Links: Frühzeitiges Phantommodell. Rechts: Phantomkopf heute. (Perry, 2015)	4
Abb. 3: Darstellung DentSim™ Softwareoberfläche (Urbankova et al. 2002, Welk et al. 2004)	8
Abb. 4: Vereinfachtes Gedächtnismodell (abgeleitet von Wiki-Community, 2009).....	9
Abb. 5: Erweitertes System der CATLM modifiziert (Rey, 2009).....	12
Abb. 6: SECI-Modell nach Takeuchi (Wiki-Community 2006)	16
Abb. 7: Learn-A-Prep II -Platte zur Simulation des Zahnaufbaus (Homepage Whip-Mix).....	25
Abb. 8: Leistungsprüfsystem – Untertest 7,8,9,10 für räumliches Vorstellungsvermögen.....	27
Abb. 9 Modell _K - Zähne	34
Abb. 10: Ausschnitt „Klinischer Auswertungsbogen“.....	39
Abb. 11: Kopf der Sirona Omnicam® mit Modell _K -Zahn (hier 37mo).....	43
Abb. 12: Boxplot der Gesamtwerte der Qualitätsanalyse	49
Abb. 13: Boxplot Gesamtwerte der Prozessanalyse 36 o und 37 om.....	56
Abb. 14: Gesamtzahl der erkannten Abw	61
Abb. 15: Erkannte, graduell eingeteilte Abw	61
Abb. 16: Ausrichtung des Referenzzahnes aus drei verschiedenen Ansichten.....	123
Abb. 17: DentSim™-Schnittebenen(rot) und STL-Referenzzahn im CAD-Format (blau)	124
Abb. 18: Breitenebene der Querrissur	125
Abb. 19: eingefügter STL-Scan und Referenzzahn mit Referenzebenen; abgeschlossener Matching-Prozess	126
Abb. 20: Breitenmessung.....	127
Abb. 21: Zwei Beispiele: links: Kavität nach nach lingual zentralisiert rechts: Kavität zu breit	128

8. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Studiendesign: Evaluation der Wissensvermittlung	24
Tab. 2: Kriterien für die Auswertung der Lern-A-Prep II -Platten.....	26
Tab. 3: Zusammenfassung Ablauf Übungen 1&2	30
Tab. 4: Zusammenfassung Ablauf Übung 3	32
Tab. 5: Zusammenfassung Ablauf Leistungsüberprüfung.....	32
Tab. 6: Liste der Modell _K -Zähne für AbwER	33
Tab. 7: Darstellung der erfassten Variablen.....	35
Tab. 8: Erste Auswertung.....	37
Tab. 9: Modifizierte Auswertung	37
Tab. 10: Gruppeneinteilung	37
Tab. 11: OSATS und Operationalisierungs-Parameter (modifiziert)	40
Tab. 12: Einteilung der graduellen Abweichungen.....	42
Tab. 13: Korrelations-Koeffizient nach Pearson und Intra-Class-Correlation.....	45
Tab. 14: Auswertung der Qualitätsanalyse	48
Tab. 15: Intragruppaler Vergleich KG/DG	50
Tab. 16: Korrelations-Koeffizient nach Pearson	51
Tab. 17: Intragruppaler Vergleich von KG/DG.....	53
Tab. 18: Auswertung Prozessanalyse: Mittelwerte, Standardabweichungen, P-Werte.....	55
Tab. 19: ICC der AbwER	58
Tab. 20: Statistische Auswertung der AbwER	60
Tab. 21: Gruppierte Abw. und deren Vgl. der AbwER zw. DG und KG	63
Tab. 22: T-Test für unabhängige Stichproben des VLPS-Ergebnisses	64
Tab. 23: Lineare Regression zwischen VLPS und AWR.....	64
Tab. 24: Stratifizierte Randomisierung – detaillierte Gruppeneinteilung.....	104
Tab. 25: Ausrichtungparameter des Referenzzahnes (hier: 36o)	122
Tab. 26: DentSim TM -Schnittebenen.....	124
Tab. 27: Ebenen zu Breitenbestimmung	125

9. Literaturverzeichnis

Al-Saud LM, Mushtaq F, Allsop MJ, Culmer PC, Mirghani I, Yates E, Keeling A, Mon-Williams MA and Manogue M (2017). "Feedback and motor skill acquisition using a haptic dental simulator." *Eur J Dent Educ* 21(4): 240-247.

Allerton DJ (2010). "The impact of flight simulation in aerospace." *The Aeronautical Journal* 114(1162): 747-756.

Almquist TC, Cowan RD and Lambert RL (1973). "Conservative amalgam restorations." *The Journal of prosthetic dentistry* 29(5): 524-528.

Ashby FG and Valentin VV (2005). Chapter 25 - Multiple systems of perceptual category learning: theory and cognitive tests a2 - Cohen, Henri. *Handbook of Categorization in Cognitive Science*. C. Lefebvre. Oxford, Elsevier Science Ltd: 547-572.

Baddeley A (1992). "Working memory." *Science* 255(5044): 556.

Baddeley A, Eysenck MW and Anderson MC (2015). *Memory*. London, Psychology Press.

Bailey JH (1991). "Retention design for amalgam restorations: Pins versus slots." *The Journal of Prosthetic Dentistry* 65(1): 71-74.

Bann SD, Khan MS and Darzi AW (2003). "Measurement of Surgical Dexterity Using Motion Analysis of Simple Bench Tasks." *World Journal of Surgery* 27(4): 390-394.

Barbiero D (2004). *Tacit knowledge*. Eliasmith.

Berheide E and Katenkamp O (2011). *Wissensarbeit im Innovationsprozess. Innovationsmanagement 2.0: Handlungsorientierte Einführung und praxisbasierte Impulse*. J. Howaldt, R. Kopp and E. Beerheide. Wiesbaden, Gabler: 67-99.

Bendel O. (2018, 19.02.2018). "Virtuelle Realität." Retrieved 19.02.2018, from <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/virtuelle-realitaet-54243/version-277293>.

Bortz JDN (2003). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin, Springer Verlag.

Boushell L, Walter R and Philips C (2011). "Learn-A-Prep II as a Predictor of Psychomotor Performance in a Restorative Dentistry Course " *Journal of Dental Education* 75(10): 1362-1369.

Brachman R, Amarel S, Engelman C, Engelmores RS, Feigenbaum EA and Wilkins DE (1983). *What are expert systems?*

Bruner JS (1961). "The act of discovery." *Harvard Educational Review* 31: 21-32.

Buchanan J (2001). "Overview of three years experience with virtual reality based technology in dental education." *J Dent Educ* 65: 58.

Buchanan J, Gluch J, Stewart D, Abu-Hanna A, Mante M, Mante F and Hamrlich PL (2000). "Use of Virtual Reality Technology in Teaching Dental Operative Procedures." *J Dent Educ* 64(3): 227.

Buchanan JA (2001). "Use of Simulation Technology in Dental Education." *Journal of Dental Education* 65(11): 1225.

Buchanan JA (2001). "Use of simulation technology in dental education." *J Dent Educ* 65(11): 1225-1231.

Buchanan JA (2004). "Experience with virtual reality-based technology in teaching restorative dental procedures." *J Dent Educ* 68(12): 1258-1265.

Burnett AC and Linden GJ (1988). "The reproducibility of the assessment of restorations by dental students and their teachers." *Journal of Dental Education* 52: 568-570.

Chambers D (1998). "Tacit knowledge." *J Am Coll Dent* 65: 44-48.

Collins DW and Kimura D (1997). "A large sex difference on a two-dimensional mental rotation task." *Behavioral Neuroscience* 111(4): 845-849.

Cope N (2005). Apprenticeship reinvented: cognition, discourse and implications for academic literacy. *Prospect*. **20**: 42-62.

Cowpe J, Plasschaert A, Harzer W, Vinkka-Puhakka H and Walmsley AD (2010). "Profile and competences for the graduating European dentist - update 2009." *Eur J Dent Educ* 14(4): 193-202.

Datta V, Mackay S, Mandalia M and Darzi A (2001). "The use of electromagnetic motion tracking analysis to objectively measure open surgical skill in the laboratory-based model." *J Am Coll Surg* 193(5): 479-485.

De Cossart L and Fish D (2005). *Cultivating a thinking surgeon; new perspectives on clinical teaching, learning and assessment*. Shrewsbury, Tfm Publishing.

Duguid P (2005). "The Art of Knowing": Social and Tacit Dimensions of Knowledge and the Limits of the Community of Practice." *The Information Society* 21(2): 109-118.

Eals M and Silverman I (1994). "The Hunter-Gatherer theory of spatial sex differences: Proximate factors mediating the female advantage in recall of object arrays." *Ethology and Sociobiology* 15(2): 95-105.

Eaton KA, Reynolds PA, Grayden SK and Wilson NHF (2008). "A vision of dental education in the third millennium." *Bdj* 205: 261.

Eraut M (2000). "Non-formal learning and tacit knowledge in professional work." *British Journal of Educational Psychology* 70(1): 113-136.

Ericsson KA, Krampe R and Tesch-Römer C (1993). "The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance." *Psychological Review* 100(3): 363-406.

Euliano T and Good ML (1997). "Simulator training in anesthesia growing rapidly; LORAL model born in Florida." *J Clin Monit* 13(1): 53-57.

Faulkner H, Regehr G, Martin J and Reznick R (1996). "Validation of an objective structured assessment of technical skill for surgical residents." *Academic medicine : journal of the Association of American Medical Colleges* 71(12): 1363-1365.

Feess E and Maier G. (2018). "Kognition." Retrieved 19.02.2018, from <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kognition-40732/version-264110>.

Fellows Yates JA, Drucker DG, Reiter E, Heumos S, Welker F, Munzel SC, Wojtal P, Laznickova-Galetova M, Conard NJ, Herbig A, Bocherens H and Krause J (2017). "Central European Woolly Mammoth Population Dynamics: Insights from Late Pleistocene Mitochondrial Genomes." *Sci Rep* 7(1): 17714.

Frost J. (2018). "Wissensmanagement." Retrieved 14.02.2018, from <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/wissensmanagement-47468/version-270732>.

Fugill M (2012). "Tacit knowledge in dental clinical teaching." *Eur J Dent Educ* 16(1): 2-5.

Fugill M (2013). "Defining the purpose of phantom head." *Eur J Dent Educ* 17(1): e1-4.

Gängler P (2010). *Füllungstherapie mit Amalgam. Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie*. P. Gängler, T. Hoffmann, B. Willershausen, N. Schwenzer and M. Ehrenfeld. Stuttgart, Georg Thieme Verlag.

Graesser AC, McNamara DS and VanLehn K (2005). "Scaffolding Deep Comprehension Strategies Through Point&Query, AutoTutor, and iSTART." *Educational Psychologist* 40(4): 225-234.

Greenberg DL and Verfaellie M (2010). "Interdependence of episodic and semantic memory: Evidence from neuropsychology." *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS* 16(5): 748-753.

Hollis W, Darnell LA and Hottel TL (2011). "Computer assisted learning: a new paradigm in dental education." *J Tenn Dent Assoc* 91(4): 14-18; quiz 18-19.

Holzinger A (2000). *Basiswissen Multimedia. Band 2: Lernen*. Würzburg, Vogel Fachbuch.

Horn W (1983). *Leistungsprüfsystem*. Göttingen, Hogrefe - Verlag für Psychologie.

Horst JA, Clark MD and Lee AH (2009). "Observation, Assisting, Apprenticeship: Cycles of Visual and Kinesthetic Learning in Dental Education." *Journal of Dental Education* 73(8): 919.

Imber S, Shapira G, Gordon M, Judes H and Metzger Z (2003). "A virtual reality dental simulator predicts performance in an operative dentistry manikin course." *Eur J Dent Educ* 7(4): 160-163.

Immenroth M (2003). Mentales Training in der Medizin: Anwendung in der Chirurgie und in der Zahnmedizin, Dr. Kovac.

Immenroth M, Burger T, Brenner J, Nagelschmidt M, Eberspacher H and Troidl H (2007). "Mental training in surgical education: a randomized controlled trial." *Ann Surg* 245(3): 385-391.

Issenberg S (2007). "Best evidence on high-fidelity simulation: what clinical teachers need to know." *The Clinical Teacher* 4(2): 73-77.

Issenberg SB, McGaghie WC, Hart IR, Mayer JW, Felner JM, Petrusa ER, Waugh RA, Brown DD, Safford RR, Gessner IH, Gordon DL and Ewy GA (1999). "Simulation Technology for Health Care Professional Skills Training and Assessment." *JAMA* 282(9): 861-866.

Jackson RC, Ashford KJ and Norsworthy G (2006). "Attentional Focus, Dispositional Reinvestment, and Skilled Motor Performance under Pressure." *Journal of Sport and Exercise Psychology* 28(1): 49-68.

Janik A (1988). Tacit knowledge, working life and scientific method. London, Springer Verlag.

Kerres M (2001). Multimediale und telemediale Lernumgebungen: Konzeption und Entwicklung. München, Oldenbourg.

Kesler H (2014). Jahrbuch Digitale Dentale Technologien. Leipzig, Oemus Media AG.

Kikuchi H, Ikeda M and Araki K (2013). "Evaluation of a virtual reality simulation system for porcelain fused to metal crown preparation at Tokyo Medical and Dental University." *J Dent Educ* 77(6): 782-792.

Kimura D (2000). Sex and cognition. A Bradford Book. Cambridge, The MIT Press.

Kinchin IM, Cabot LB and Hay DB (2008). "Using concept mapping to locate the tacit dimension of clinical expertise: towards a theoretical framework to support critical reflection on teaching." *Learning in Health and Social Care* 7(2): 93-104.

Kogut B and Zander U (1992). "Knowledge of the Firm, Combinative Capabilities, and the Replication of Technology." *Organization Science* 3(3): 383-397.

Lamkin-Kennard K (1998). Development of a model for simulating cardiopulmonary bypass. Society for Technology in Anesthesia, Tucson, Arizona.

Larsson JE, Hayes-Roth B, Gaba DM and Smith BE (1997). "Evaluation of a medical diagnosis system using simulator test scenarios." *Artificial Intelligence in Medicine* 11(2): 119-140.

Lave J and Wenger E (1991). Situated learning: Legitimate peripheral participation. New York, NY, US, Cambridge University Press.

LeBlanc VR, Urbankova A, Hadavi F and Lichtenthal RM (2004). "A preliminary study in using virtual reality to train dental students." *Journal of dental education* 68(3): 378-383.

Lee JS, Olikier A and Hossaini M (2012). "Effectiveness of a Dental Injection Simulator as a Training Tool AADR/CADR Annual Meeting and Exhibition." AADR/CADR Annual Meeting and Exhibition.

Levine RS, Jones JH and Morgan C (1987). "Comparison of computer-assisted learning with tutorial teaching in a group of first-year dental students." *Med Educ* 21(4): 305-309.

MacRae H, Regehr G, Leadbetter W and Reznick RK (2000). "A comprehensive examination for senior surgical residents." *The American Journal of Surgery* 179(3): 190-193.

Maddox WT and Ashby FG (2004). "Dissociating explicit and procedural-learning based systems of perceptual category learning." *Behavioural Processes* 66(3): 309-332.

Markgraf D. (2018). "Augmented Reality." Retrieved 16.02.2018, from <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/augmented-reality-53628/version-276701>.

Martin J, Regehr G, Reznick R, Macrae H, Murnaghan J, Hutchison C and Brown M (1997). "Objective structured assessment of technical skill (OSATS) for surgical residents." *BJS* 84(2): 273-278.

Mayer R (2005). *Cognitive theory of multimedia learning*. Cambridge, Cambridge University Press.

Meier GW. (2018). "Hawthorne-Effekt." Retrieved 8.9.2020, 2020, from <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/hawthorne-effekt-36293/version-259750>.

Mihaela D, Corneliu IA, Crenguta MB, Dorin M, Popovici NI and Cristina IN (2011). "An Overview of Virtual and Augmented Reality in Dental Education." *Oral Health Dental Manag* 10(1): 42-49.

Miller G (1956). "The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information." *Psychological Reviews* 63: 81-97.

Molander B (1992). *Tacit Knowledge and Silenced Knowledge: Fundamental Problems and Controversies. Skill and Education: Reflection and Experience*. B. Göranson and M. Florin. London, Springer London: 9-31.

Moreno R and Mayer R (2007). "Interactive Multimodal Learning Environments." *Educational Psychology Review* 19(3): 309-326.

Muthukumar SL (2005). "Creating interactive multimedia-based educational courseware: cognition in learning." *Cognition, Technology & Work* 7(1): 46-50.

Navigation I "Benutzerhandbuch DentSim."

Neisser U (1967). *Cognitive Psychology*. New York, Appleton-Century-Crofts.

Nieding G, Ohler P and Rey G (2015). *Lernen mit Medien*. Paderbron, Verlag Ferdinand Schöningh.

Nonaka I and Takeuchi H (1995). *The knowledge creating company*. New York, Oxford University Press.

Ota D, Loftin B, Saito T, Lea R and Keller J (1995). "Virtual reality in surgical education." *Comput Biol Med* 25(2): 127-137.

Paivio A (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. New York, Oxford University Press.

Paul H. (1999). "Auflösungsvermögen." *Lexikon der Optik*, from <https://www.spektrum.de/lexikon/optik/aufloesungsvermoegen/257>.

Perry S, Bridges SM and Burrow MF (2015). "A review of the use of simulation in dental education." *Simul Healthc* 10(1): 31-37.

Pike T, Stobbs N, Mushtaq F and Lodge JPA (2015). "The effects of an e-textbook and the 'reverse classroom' on surgical training." *The Bulletin of the Royal College of Surgeons of England* 97(3): e6-e9.

Plasschaert AJ, Manogue M, Lindh C, McLoughlin J, Murtomaa H, Nattestad A and Sanz M (2007). "Curriculum content, structure and ECTS for European dental schools. Part II: methods of learning and teaching, assessment procedures and performance criteria." *Eur J Dent Educ* 11(3): 125-136.

Plessas A (2017). "Computerized Virtual Reality Simulation in Preclinical Dentistry: Can a Computerized Simulator Replace the Conventional Phantom Heads and Human Instruction?" *Simul Healthc* 12(5): 332-338.

Polanyi M (1958). *Personal Knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy*, University of Chicago Press.

Polanyi M (1964). *The logic of tacit inference*. London, Routledge & Kegan Pau.

Postle HH (1958). "Ultrasonic cavity preparation." *The Journal of Prosthetic Dentistry* 8(1): 153-160.

Raelin J (2007). "The return of practice to higher education: Resolution of a paradox." *Journal of General Education* 56(1): 57-77.

Rao A, Tait I and Alijani A (2015). "Systematic review and meta-analysis of the role of mental training in the acquisition of technical skills in surgery." *Am J Surg* 210(3): 545-553.

Reber A (1993). *Implicit learning and tacit knowledge: an essay on the cognitive unconscious*. Oxford, Oxford University Press.

Reinig KD, Spitzer VM, Pelster HL, Johnson TB and Mahalik TJ (1997). "More real-time visual and haptic interaction with anatomical data." *Stud Health Technol Inform* 39: 155-158.

Rey GD (2009). E-Learning. Theorien, Gestaltungsempfehlungen und Forschung Huber Verlag.

Robinson PB and Lee JW (2001). "The use of real time video magnification for the pre-clinical teaching of crown preparations." *British Dental Journal* 190: 506.

Robinson WR (2004). "Cognitive Theory and the Design of Multimedia Instruction." *Journal of Chemical Education* 81(1): 10.

Rosenberg H, Grad HA and Matear DW (2003). "The effectiveness of computer-aided, self-instructional programs in dental education: a systematic review of the literature." *J Dent Educ* 67(5): 524-532.

Roy E, Bakr MM and George R (2017). "The need for virtual reality simulators in dental education: A review." *Saudi Dent J* 29(2): 41-47.

Ruthenbeck GS and Reynolds KJ (2015). "Virtual reality for medical training: the state-of-the-art." *Journal of Simulation* 9(1): 16-26.

Ryle G (1963). *The concept of mind*. Harmondsworth, Penguin Books.

Sakic P (2016). *Wirksamkeitsüberprüfung des mentalen Trainings in der zahnmedizinischen Ausbildung*.

Salmoni AW, Schmidt RA and Walter CB (1984). "Knowledge of results and motor learning: a review and critical reappraisal." *Psychol Bull* 95(3): 355-386.

Sichwardt V (2014). *Vergleichende Studie zur Untersuchung der Genauigkeit von vier unterschiedlichen intraoralen Scannern* Inaugural Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.

Stake R (2000). *The case study method in social inquiry*. Gomm R, Hammersley M, Foster P.

Sternberg R (1999). *What do we know about tacit knowledge? Making the tacit become explicit*. Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.

Sternberg RJ (1990). *Metaphors of mind: Conceptions of the nature of intelligence*. New York, NY, US, Cambridge University Press.

Stewart DL, Gluch JI, Hamrlich PL and Buchanan JB (1999). "Virtual Reality Technology Versus Traditional Preclinical Lab: Perceptions of First Year Dental Students." *J Dent Educ* 63(1): 74.

Tanzawa T, Futaki K, Tani C, Hasegawa T, Yamamoto M, Miyazaki T and Maki K (2011). "Introduction of a robot patient into dental education." *European Journal of Dental Education* 16(1): e195-e199.

Taylor CLG, Nick; Satterthwaite, Julian D. (2013). "Assessing the Clinical Skills of Dental Students: A Review of the Literature." *Journal of Education and Learning* 2(1): 12.

- Taylor KL and Care WD (1999). "Nursing education as cognitive apprenticeship. A framework for clinical education." *Nurse educator* 24(4): 31-36.
- Urbankova A (2010). "Impact of computerized dental simulation training on preclinical operative dentistry examination scores." *J Dent Educ* 74(4): 402-409.
- Urbankova A and Engebretson SP (2011). "Computer-assisted dental simulation as a predictor of preclinical operative dentistry performance." *J Dent Educ* 75(9): 1249-1255.
- Urbankova A and Lichtenthal RM (2002). "DentSim virtual reality in preclinical operative dentistry to improve psychomotor skills - a pilot study." *J Dent Educ* 66: 282.
- van Merriënboer JJG and Sweller J (2005). "Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions." *Educational Psychology Review* 17(2): 147-177.
- Walcott A, Knight G and Charlick R (1986). "Waxing tests as predictors of students' performance in preclinical dentistry." *Journal of Dental Education* 50(12): 716-721.
- Welk A, Immenroth M, Eberspacher H and Meyer G (2003). "Mental training in dental education." *Eur J Dent Educ* 7(2): 96.
- Welk A, Immenroth M, Sakic P, Bernhardt O, Eberspacher H and Meyer G (2007). "Mental training in dentistry." *Quintessence Int* 38(6): 489-497.
- Welk A, Maggio MP, Simon JF, Scarbecz M, Harrison JA, Wicks RA and Gilpatrick RO (2008). "Computer-assisted learning and simulation lab with 40 DentSim units." *Int J Comput Dent* 11(1): 17-40.
- Welk A, Rosin M, Seyer D, Splieth C, Siemer M and Meyer G (2005). "German dental faculty attitudes towards computer-assisted learning and their correlation with personal and professional profiles." *Eur J Dent Educ* 9(3): 123-130.
- Welk A, Splieth C, Klinke T, Kordaß B and Meyer G (2000). "Der computergestützte Dentalsimulator in der Zahnmedizinischen Ausbildung." *Medizinische Ausbildung* 17(125).
- Welk A, Splieth C, Rosin M, Kordass B and Meyer G (2004). "DentSim - a future teaching option for dentists." *Int J Comput Dent* 7(2): 123-130.
- White AD, Mushtaq F, Raw RK, Giles OT, Crook IC, Tomlinson J, Miskovic D, Lodge JPA, Wilkie RM and Mon-Williams M (2016). "Does monitor position influence visual-motor performance during minimally invasive surgery?" *Journal of Surgical Simulation*.
- Wierinck ER, Puttemans V, Swinnen SP and van Steenberghe D (2007). "Expert Performance on a Virtual Reality Simulation System." *Journal of Dental Education* 71(6): 759-766.
- Wittrock MC (1989). "Generative Processes of Comprehension." *Educational Psychologist* 24(4): 345-376.

Wong A, Watson J and Thye R (1979). "Evaluation of predictor variables for a self-instructional preclinical course." *Journal of Dental Education* 43(12): 637-640.

Zeithamova D and Maddox WT (2006). "Dual-task interference in perceptual category learning." *Memory & Cognition* 34(2): 387-398.

Zheng JW, Cao X, Lin YH, Zhang JZ and Feng XP (2014). "[An introduction of DentSim in pre-clinical dental training and practice]." *Shanghai Kou Qiang Yi Xue* 23(6): 749-754.

Ziv A, Wolpe PR, Small SD and Glick S (2003). "Simulation-based medical education: an ethical imperative." *Acad Med* 78(8): 783-788.

10. Anhang

Anhang A	- Tab. 24: Stratifizierte Randomisierung – detaillierte Gruppenaufteilung	104
Anhang B	- DentSim™ Vorgaben: UPenn – Beginners/Version – Grundlage für Schnittebenen und Evaluierung der präparierten Kavitäten – Zahn 36 F _{A1} I (o) und 37 F _{A2} II (mo)	105
	- Operationalisierungsparameter-Bogen / Präparationsprotokoll	107
	- Visualisierungs-Leistungsprüfsystem (vollständiger Bogen)	109
	- Visualisierungs-Leistungsprüfsystem – Anleitung für Tutoren	110
Anhang C	- Auswertungsbogen Qualität	112
	- Auswertungsbogen Prozess	115
	- Auswertungsbogen Wissensretention	117
	- Musterlösung Endtestat am Beispiel von A11 (36o) und A21 (37mo)	118
Anhang D	- Anleitung, Ausrichtung, Matching, DentSim™-Schnittebenen	122

Anhang

A

Tab. 24: Stratifizierte Randomisierung – detaillierte Gruppenaufteilung.

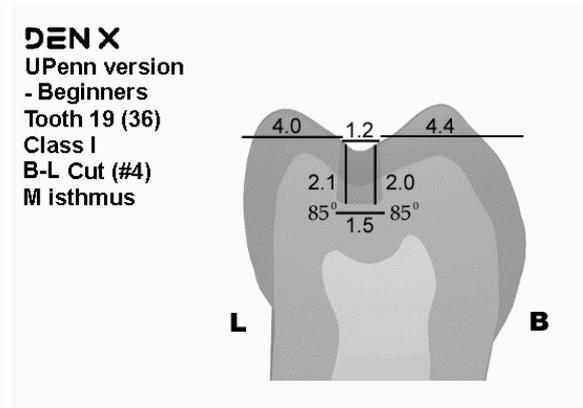
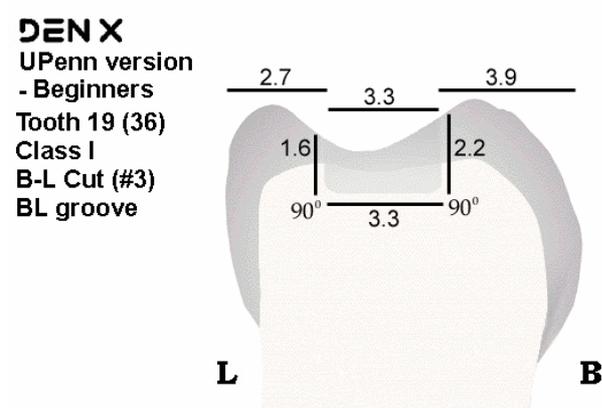
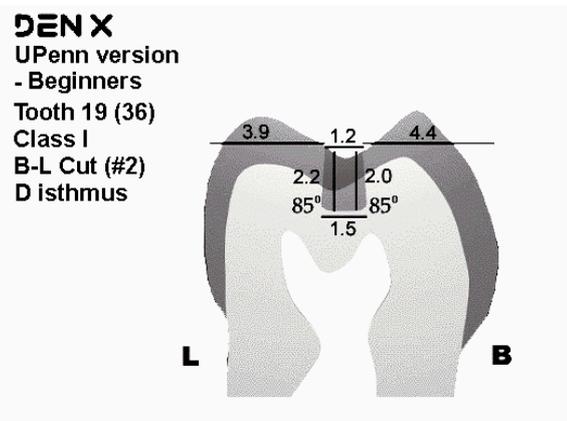
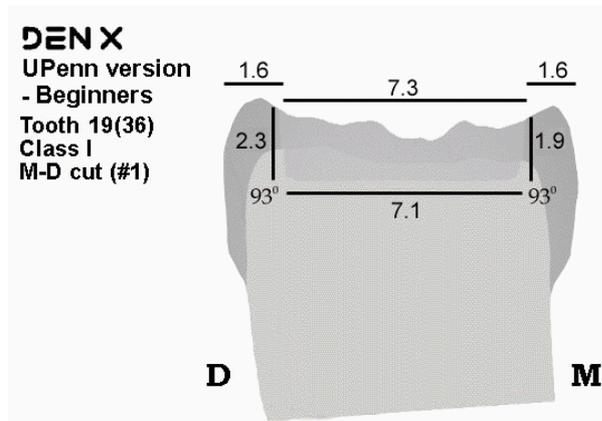
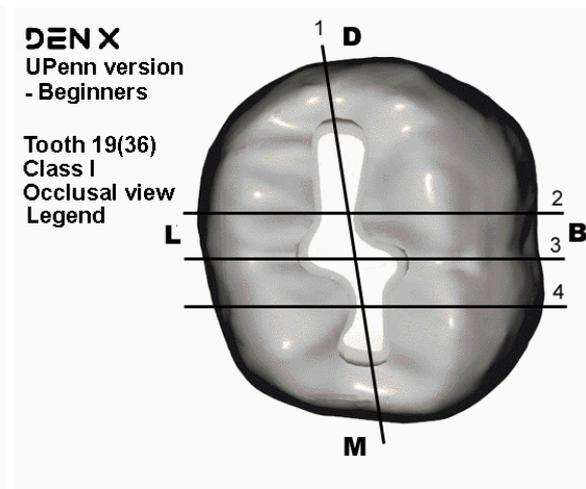
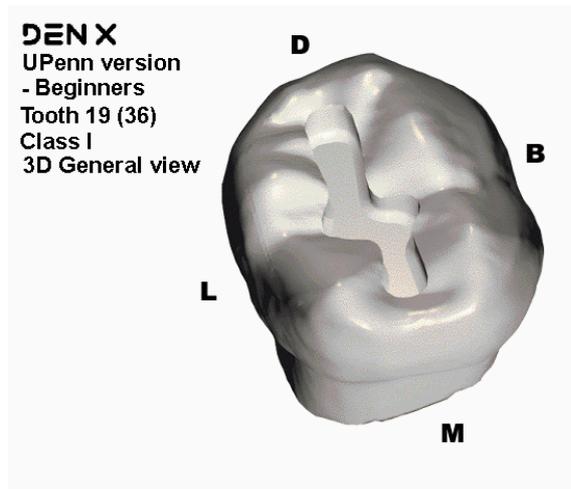
Gruppe 1 (Dentsim-Gruppe)

Nr.:	Kennzahl:	Name:
1.	Grp. 2 / 5	D061080
2.	Grp. 1 / 4	D061281
3.	Grp. 1 / 13	D130681
4.	Grp. 1 / 16	D040475
5.	Grp. 1 / 6	D020481
6.	Grp. 1 / 18	D061179
7.	Grp. 2 / 10	D230978
8.	Grp. 1 / 1	D030381
9.	Grp. 1 / 10	D210181
10.	Grp. 2 / 1	D280680
11.	Grp. 2 / 11	D070777
12.	Grp. 1 / 3	D100382
13.	Grp. 1 / 8	D150481
14.	Grp. 2 / 7	D170775
15.	Grp. 2 / 15	D121180
16.	Grp. 1 / 15	D130577
17.	Grp. 2 / 8	D030279
18.	Grp. 2 / 12	D310879
19.	Grp. 2 / 17	D250780
20.	Grp. 1 / 21	D040676
21.	Grp. 2 / 21	D250276

Gruppe 2 (konventionell)

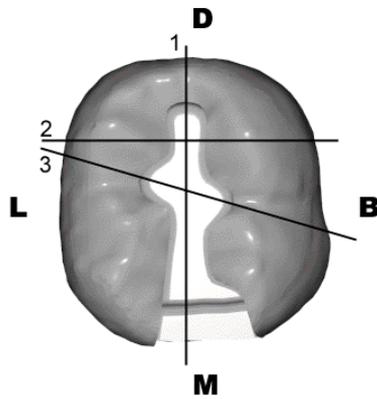
Nr.:	Kennzahl:	Name:
1.	Grp. 2 / 19	K050775
2.	Grp. 1 / 2	K281181
3.	Grp. 1 / 14	K220472
4.	Grp. 2 / 6	K041181
5.	Grp. 1 / 11	K230879
6.	Grp. 2 / 3	K170779
7.	Grp. 2 / 18	K020779
8.	Grp. 1 / 7	K030581
9.	Grp. 1 / 12	K090881
10.	Grp. 2 / 3	K070180
11.	Grp. 2 / 16	K011179
12.	Grp. 1 / 5	K210180
13.	Grp. 2 / 4	K201180
14.	Grp. 2 / 13	K280879
15.	Grp. 1 / 9	K261179
16.	Grp. 1 / 19	K170579
17.	Grp. 2 / 9	K280382
18.	Grp. 2 / 14	K171080
19.	Grp. 1 / 17	K010278
20.	Grp. 1 / 20	K120776
21.	Grp. 2 / 20	K040776

B



B

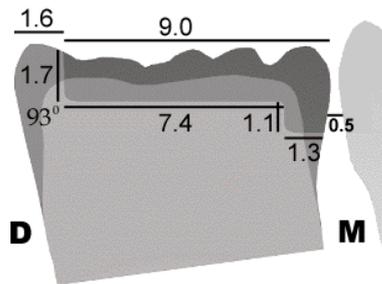
DEN X
UPenn version
Tooth 18(37)
Class II
Occlusal View
Legend



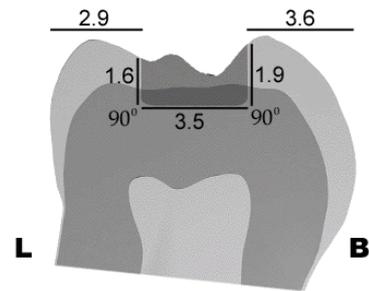
DEN X
UPenn version
Tooth 18(37)
Class II
Mesial View of Box
Legend



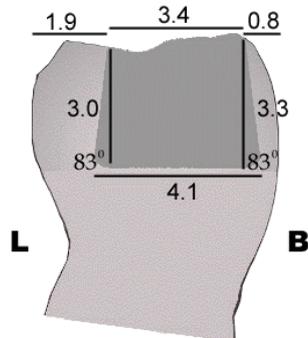
DEN X
UPenn version
Tooth 18(37)
Class II
M-D Cut (#1)



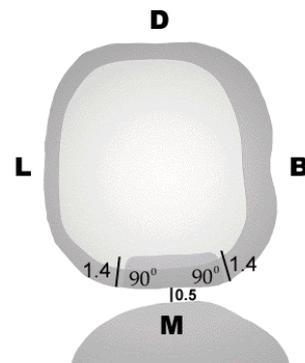
DEN X
UPenn version
Tooth 18(37)
Class II
B-L Cut (#3)
BL Grooves



DEN X
UPenn version
Tooth 18(37)
Class II
Vertical Cut (#4)
Box



DEN X
UPenn version
Tooth 18(37)
Class II
Horizontal Cut (#5)
Box



Anhang

B

Operationalisierungsparameter der vorherigen Präparationsübungen Zahn:

Bitte kreisen sie die Ihrer Meinung zutreffende Zahl an!

	Viele unnötige Handlungen		Effiziente Zeit / Handlung-Ratio, jedoch einige unnötige Bewegungen	Ökonomische Handlungen, maximale Effizienz	
Ökonomie der Bewegung	1	2	3	4	5
	Wiederholt versuch-artige oder unbeholfene Bewegungen		Kompetenter Gebrauch der Instrumente, gelegentlich steif und unbeholfen	Fließende Bewegungen mit den Instrumenten, keinerlei Unbeholfenheit	
Umgang mit den Instrumenten	1	2	3	4	5
	Häufiges Unterbrechen der Präp., inadäquate Reihenfolge der Präp.-Schritte		Vorausschauende Planung bei adäquatem Verlauf der Präparation	Offensichtliche Planung der Präparation und harmonischer Fluss der einzelnen aufeinander folgenden Bewegungen	
Planung und Fluss der Präparation	1	2	3	4	5
	Mangelhafte Kenntnis der einzelnen Präparationsschritte		Kenntnis der wichtigsten Aspekte der Präparation	Vertrautheit mit allen Aspekten der Präparation	
Kenntnis der einzelnen Präparationsschritte	1	2	3	4	5
Abschließendes Urteil	1	2	3	4	5
	Sehr schlecht	schlecht	mittelmäßig	gut	Sehr gut

Anhang

B

Präparationsprotokoll Beispiel (Eintragungen bitte lesbar !) (individuell für Baseline, 1., 2. und 3. Übung und Leistungsüberprüfung)

Code/Name	Datum	Uhrzeit	Temp. C° (halb- stündlich)	DentSim-spezifische Unterbrechungen <small>(!!! Minutenangabe nur aus lesson time !!!)</small>	DentSim-unspezifische Unterbrechungen <small>(!!! Minutenangabe nur aus lesson time !!!)</small>
		Anfang: -	-	Grund: _____ Von: _____ bis: _____	Grund: _____ Von: _____ bis: _____
			-	Grund: _____ Von: _____ bis: _____	Grund: _____ Von: _____ bis: _____
		Ende: -	-	Grund: _____ Von: _____ bis: _____	Grund: _____ Von: _____ bis: _____
				Grund: _____ Von: _____ bis: _____	Grund: _____ Von: _____ bis: _____
				Grund: _____ Von: _____ bis: _____	Grund: _____ Von: _____ bis: _____

Hatten Sie genügend Zeit: ja / nein - _____
(wenn nein, wieviel min hätten Sie gern mehr gehabt)

Fühlten Sie sich theoretisch gut vorbereitet: ja / nein - _____
(wenn nein, was hätten sie gerne in ihrer Vorbereitung anderes gehabt)

Hatten Sie ein starkes Arbeitspensum vor der Präparation: ja / nein - _____
(wenn ja, welches ? Vorlesungen, Seminare, praktische Übungen usw.)

Fühlten Sie sich gestresst vor der Präparation:

Fühlten Sie sich gestresst nach der Präparation:

Skala 0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10

Skala 0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10

C

Visualisierungs-Leistungsprüfsystem – Anleitung für Tutoren

Aufgabe 7

- in jeder Zeile stehen fünf Zeichen. Von diesen fünf Zeichen sind vier immer nur auf derselben Ebene verschoben oder gedreht, während eines außerdem spiegelverkehrt ist. Dieses spiegelverkehrte Zeichen soll in jeder Zeile herausgefunden und durchgestrichen werden.
- die beiden ersten Zeilen sind Beispiele: In der ersten Zeile ist die vierte 1 spiegelverkehrt und wurde durchgestrichen; in der zweiten Zeile ist das zweite P spiegelverkehrt und wurde durchgestrichen.
- insgesamt 90 Sekunden Zeit. In dieser Zeit sollen Sie so viele Zeilen wie möglich bearbeiten.

Aufgabe 8

- eine Figur, die die aufgeklappten Flächen eines Hohlkörpers darstellt; bei dieser Figur ist außerdem eine Fläche mit 1 und eine Kante mit 2 beschriftet, und es ist ein schwarzes Quadrat eingetragen.
- aus der Figur soll ein Hohlkörper durch falten und zusammenkleben entstehen. Dabei käme in diesem Fall der flache Quader heraus, der daneben abgebildet ist. Die Fläche mit dem schwarzen Quadrat bezeichnet die Vorderseite. Außerdem ist jetzt auf der oberen Fläche mit dem Buchstaben E und die rechte obere Kante mit dem Buchstaben C beschriftet. Der Buchstabe E entspricht der Zahl 1 in der aufgeklappten Figur, der Buchstabe C entspricht der Zahl 2 in der aufgeklappten Figur. Unter dem Quader stehen zwei Zeilen. Jede dieser Zeilen besteht aus einer Zahl – in dem Beispiel die Zahl 1 bzw. 2 - und den Buchstaben A bis E. In der ersten Zeile, die mit 1 beginnt, wurde Buchstabe E durchgestrichen, und in der Zeile, die mit 2 beginnt, wurde der Buchstabe C durchgestrichen, das heißt, die Fläche, die in der aufgeklappten Figur mit 1 beschriftet ist, entspricht in der zusammengeklebten Figur dem Buchstaben E, und die Kante,

die in der aufgeklappten Figur mit 2 beschriftet ist, entspricht in der zusammengeklebten Figur dem Buchstaben C.

- feststellen, welche Buchstaben bei der zusammengeklebten Figur den Zahlen in der aufgeklappten Figur entsprechen, und dann in der Zeile, die mit dieser Zahl anfängt, den richtigen Buchstaben durchstreichen.
- insgesamt 2 Minuten Zeit so viele Figuren wie möglich zu bearbeiten.

Aufgabe 9

- in jedem Kästchen ist ein Hohlkörper abgebildet. In der darunter stehenden Zeile mit jeweils 5 Zahlen ist eine Zahl durchgestrichen. Diese Zahl entspricht der Zahl der Seiten des Hohlkörpers. Im ersten Kästchen ist ein Quader abgebildet. So ein Quader hat 6 Seiten, also ist in der Zeile darunter die 6 durchgestrichen. Im zweiten Kästchen ist so eine Art Käseecke, die hat 5 Seiten, also ist in der Zeile darunter die 5 durchgestrichen. Die Flächen können eben oder gewölbt sein; nur an einem Knick oder einer Kante beginnt eine neue Fläche. Bei Durchbohrungen entstehen neue Flächen, die mitgezählt werden müssen.
- insgesamt 90 Sekunden Zeit so viele Kästchen wie möglich zu bearbeiten.

Aufgabe 10

- in der ersten Zeile fünf Figuren, ein T, ein U, ein L, ein Dreieck und ein auf der Spitze stehendes Quadrat
- im ersten Muster ist ein L in gleicher Größe und Lage wie das L in der ersten Zeile versteckt, und deshalb ist bei den verkleinerten Figuren daneben das L durchgestrichen. Im Muster darunter ist ein U in gleicher Größe und Lage wie das U in der ersten Zeile versteckt, also wurde bei den verkleinerten Figuren daneben das U durchgestrichen.
- in jedem Muster immer die eine Figur suchen, die darin versteckt ist, und diese Figur dann bei den danebenstehenden verkleinerten Figuren durchstreichen.
- insgesamt 90 Sekunden Zeit so viele Muster wie möglich bearbeiten.

C

Auswertungsbogen der Qualitätsanalyse

Name des Auswerters		Name des Studenten	
Datum der Auswertung		Code des Studenten	
2. Semester		1. Test (Baseline)	
Präparations – Datum		3. Test (Abschlußtest)	
Zahn 36o		Zahn 37mo	

	Sehr gut	Gut	Mittel	Schlecht	Sehr schlecht	Gesamt
Kavitätenumriss		Outline Shape				
mesio-bukkal						
disto-bukkal						
mesio-lingual						
disto-lingual						
Lage der Längsfissur: Mesial						
Lage der Längsfissur: Distal						
Lage der Querrfissur: Bukkal						
Lage der Querrfissur: Lingual						
Lage der Kavität:		Centralization				
mesiale Kavität						
zentraler Anteil der Kavität						
distale Kavität						

Anhang

Glätte des Kavitätenrandes:						Outline Smoothness
mesiale Kavität						
zentraler Anteil der Kavität						
distale Kavität						
Tiefe der Kavität:						Floor depth
mesiale Kavität						
zentraler Anteil der Kavität						
distale Kavität						

	Sehr gut	Gut	Mittel	Schlecht	Sehr schlecht	Gesamt
Glätte des Kavitätenboden:						Floor smoothness
mesiale Kavität						
zentraler Anteil der Kavität						
distale Kavität						
Anpräparation der Nachbarzähne:						Damage to neighbortooth
Zahn 36						
Unterschnitt der Kavität:						Wall incline
mesial						
mesio-bukkal						
disto-bukkal						
mesio-lingual						
disto-lingual						
distal						

Anhang

Breite des Isthmus:						Box dimension
mesial oben						
mesial unten						
distal oben						
distal unten						
Breite der approximalen Stufe:						
mesio-bukkal						
disto-bukkal						
mesio-lingual						
disto-lingual						
Tiefe der approximalen Stufe:						
mesio-bukkal						
disto-bukkal						
mesio-lingual						
disto-lingual						
Glätte des approximalen Kasten:						
mesio-bukkal						
disto-bukkal						
mesio-lingual						
disto-lingual						
<i>Gesamtwert</i>						

C

Auswertungsbogen Prozess

Code - Nr.			
Datum der Präparation			
	1. Präparation 36o		2. Präparation 37mo
		Σ	Σ
Gesamtdauer:			
(- DentSim™-spezifische Ausfälle)			
Dauer der einzelnen Knotenpunkte (KP):			
1. distale Präparation in definierter Tiefe			
2. Präparation entlang der Mittelfissur			
3. mesiale Präparation in definierter Tiefe			
4. Gestaltung der äußeren Umrissform			
5. Schaffung der Querrissen			
6. Approximale Stufe anlegen	-----	-----	
7. Glätten & Finieren des Kavitätenboden			
Reihenfolge der Knotenpunkte:			
1. distale Präparation in definierter Tiefe			
2. Präparation entlang der Mittelfissur			
3. mesiale Präparation in definierter. Tiefe			
4. Gestaltung der äußeren Umrissform			
5. Schaffung der Querrissen			
6. Approximale Stufe anlegen	-----	-----	
7. Glätten & Finieren des Kavitätenboden			
b) Verschmelzung zweier Knotenpunkte			
- Zahnhartsubstanz-reduktion u. okklusale.- reduktion			
-			
-			
-			
c) Rückgriff auf Knotenpunkt			
KP durch anderen KP unterbrochen u. dann fortgeführt.			
- distale Präparation in definierter Tiefe			
- Präparation entlang der Mittelfissur			

Anhang

- mesiale Präparation in definierter Tiefe				
- Gestaltung der äußeren Umrissform				
- Schaffung der Querfissuren				
- Approximale Stufe anlegen	-----	-----		
- Glätten&Finieren des Kavitätenboden				
a) Wiederholen eines Präparationsschrittes (Wdh. > ½ d. Fläche)				
1.distale Präparation in definierter Tiefe				
2.Präparation entlang d. Mittelfissur				
Mesial:				
Distal:				
3.mesiale Präparation in definierter Tiefe				
4.Gestaltung der äußeren Umrissform				
Mesial:				
Distal:				
Lingual:				
Vestibulär:				
5. Schaffung der Querfissuren				
Lingual:				

C

Theoretische Leistungsüberprüfung
Fehleranalyse A

Bitte analysieren Sie die Kavitäten auf mögliche Fehler. Tragen Sie die festgestellten Fehler in die Tabelle **sehr detailliert und leserlich** ein!

- z.B. - *Kavitätenwand des mesio-bukkalen Höckers nicht untersichgehend*
 - *Kavität zu weit nach distal präpariert bzw. distale Randleiste zu schmal*

Achten Sie immer auf die Übereinstimmung der Zahn-Kodierung mit denen in der Tabelle !!!

Zahn	Fehler der präparierten Kavität
A1 1 36 F _{A1} (o)
B1 3 46 F _{A1} (o)
A1 3 36 F _{A1} (o)
A2 1 37 F _{A2} (mo)

Tabelle gekürzt, weiterer Verlauf ist logisch herleitbar.

Anhang

C

Musterlösung: Bsp. Zahn A11 (Zahn 36o) (schwarz = definierte Abw)

No.	Zahn	1	2	3	4	5
A11	36o	0,0-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	>0,8
UMRISS						
Allgemein: Randleiste						
mesiale zu schmal			■			
distale zu schmal			■			
mesiale zu breit						
distale zu breit						
Allgemein Ausdehnung an distaler Fossa						
Kavität lingual zu schmal (<0,8mm)		■				
Kavität bukkal zu schmal (<0,8mm)						
Kavität lingual zu breit (>0,8mm)						
Kavität bukkal zu breit (>0,8mm)			■			
Gesamtbreite zu schmal (<1,6mm)						
Gesamtbreite zu breit (>1,6mm)			■			
linguale Zentralisation						
bukkale Zentralisation		■				
Allgemein Ausdehnung an distalem Isthmus						
Kavität lingual zu schmal (<0,6mm)						
Kavität bukkal zu schmal (<0,6mm)						
Kavität lingual zu breit (>0,6mm)						
Kavität bukkal zu breit (>0,6mm)						■
Gesamtbreite zu schmal (>1,2mm)						■
Gesamtbreite zu breit (>1,2mm)						■
linguale Zentralisation						■
bukkale Zentralisation						■
Allgemein Ausdehnung an Querfissur						
Kavität lingual zu schmal (<1,65mm)					■	
Kavität bukkal zu schmal (<1,65mm)						
Kavität lingual zu breit (>1,65mm)						
Kavität bukkal zu breit (>1,65mm)						■
Gesamtbreite zu schmal (<3,3mm)						
Gesamtbreite zu breit (>3,3mm)		■				
linguale Zentralisation						
bukkale Zentralisation					■	
Allgemein Ausdehnung an mesialem Isthmus						
Kavität lingual zu schmal (<0,6mm)						
Kavität bukkal zu schmal (<0,6mm)						
Kavität lingual zu breit (>0,6mm)			■			
Kavität bukkal zu breit (>0,6mm)				■		
Gesamtbreite zu schmal (<1,2mm)						
Gesamtbreite zu breit (>1,2mm)					■	
linguale Zentralisation					■	
bukkale Zentralisation			■			
Allgemein Ausdehnung an mesialer Fossa						
Kavität lingual zu schmal (<0,8mm)		■				
Kavität bukkal zu schmal (<0,8mm)						
Kavität lingual zu breit (>0,8mm)						
Kavität bukkal zu breit (>0,8mm)				■		
Gesamtbreite zu schmal (<1,6mm)						
Gesamtbreite zu breit (>1,6mm)			■			

Anhang

linguale Zentralisation		
bukkale Zentralisation		<input checked="" type="checkbox"/>
TIEFE		
Allgemein Tiefe an distalem Isthmus		
Zentralisationstiefe lingual zu flach (<2,2mm)		<input checked="" type="checkbox"/>
Zentralisationstiefe bukkal zu flach (<2mm)	<input checked="" type="checkbox"/>	
Zentralisationstiefe lingual zu tief (>2,2mm)		
Zentralisationstiefe bukkal zu tief (>2mm)		
Allgemein Tiefe an Querfissur		
Zentralisationstiefe lingual zu flach (<1,6mm)		
Zentralisationstiefe bukkal zu flach (<2,2mm)		<input checked="" type="checkbox"/>
Zentralisationstiefe lingual zu tief (>1,6mm)	<input checked="" type="checkbox"/>	
Zentralisationstiefe bukkal zu tief (>2,2mm)		
Allgemein Tiefe an mesialem Isthmus		
Zentralisationstiefe lingual zu flach (<2mm)	<input checked="" type="checkbox"/>	
Zentralisationstiefe bukkal zu flach (<2mm)		
Zentralisationstiefe lingual zu tief (>2mm)		
Zentralisationstiefe bukkal zu tief (>2mm)		
Allgemein Tiefe Fissur längs		
mesial zu flach (<1,9mm)	<input checked="" type="checkbox"/>	
distal zu flach (<2,3mm)	<input checked="" type="checkbox"/>	
mesial zu tief (>1,9mm)		
distal zu tief (>2,3mm)		
Allgemein Ja und Nein -Entscheidung	ja	nein
Glätte/Smoothness		
Kavitätenumriss homogen	<input checked="" type="checkbox"/>	
Bodenebenheit +/- 0,2mm	<input checked="" type="checkbox"/>	
Unterschnitte - Abweichung		
distaler Isthmus		
lingual		
bukkale		
Kronenflucht eingehalten		
mesialer Isthmus		
lingual		
bukkale		
Kronenflucht eingehalten		
Querfissur ideal 90° (+-5°)		
lingual		
bukkale		<input checked="" type="checkbox"/>
Kronenflucht eingehalten		
mesiale und distale Wand zur Randleiste - leicht divergent ideal 93°		
mesial		<input checked="" type="checkbox"/>
distal		
mesiale Stufe		
lingual		
bukkale		
Kronenflucht eingehalten		
distale Stufe		
lingual		
bukkale		
Kronenflucht eingehalten		

Anhang

Musterlösung: Bsp. Zahn A21 (Zahn 37mo) (schwarz = definierte Abw.)

No.	Zahn	1	2	3	4	5
A21	37mo	0,0-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	>0,8
UMRISS						
Allgemein: Randleiste						
distale zu schmal		■				
distale zu breit		■				
Allgemein Ausdehnung an distalem Isthmus						
Kavität lingual zu schmal (<0,65mm)		■				
Kavität bukkal zu schmal (<0,65mm)		■				
Kavität lingual zu breit (>0,65mm)		■				
Kavität bukkal zu breit (>0,65mm)		■				
Gesamtbreite zu schmal (>1,3mm)		■				
Gesamtbreite zu breit (>1,3mm)		■				
linguale Zentralisation		■				
bukcale Zentralisation		■				
Allgemein Ausdehnung an Querfissur						
Kavität lingual zu schmal (<1,65mm)		■				
Kavität bukkal zu schmal (<1,65mm)		■				
Kavität lingual zu breit (>1,65mm)		■				
Kavität bukkal zu breit (>1,65mm)		■				
Gesamtbreite zu schmal (<3,3mm)		■				
Gesamtbreite zu breit (>3,3mm)		■				
linguale Zentralisation		■				
bukcale Zentralisation		■				
Allgemein Ausdehnung an der mesialen Stufe						
Breite der Stufe (mesio-distal)						
zu breit (>1,3mm)		■				
zu schmal (<1,3mm)		■				
Breite der Stufe (lingual-bukkal)						
Stufe lingual zu schmal (<1,36mm)		■				
Stufe bukkal zu schmal (<2,04mm)		■				
Stufe lingual zu breit (>1,36mm)		■				
Stufe bukkal zu breit (>2,04mm)		■				
Gesamtbreite zu schmal (<3,4mm)		■				
Gesamtbreite zu breit (>3,4mm)		■				
linguale Zentralisation		■				
bukcale Zentralisation		■				
TIEFE						
Allgemein Tiefe an distalem Isthmus						
Zentralisationstiefe lingual zu flach (<1,8mm)		■				
Zentralisationstiefe bukkal zu flach (<2,2mm)		■				
Zentralisationstiefe lingual zu tief (>1,8mm)		■				
Zentralisationstiefe bukkal zu tief (>2,2mm)		■				
Allgemein Tiefe an Querfissur						
Zentralisationstiefe lingual zu flach (<1,6mm)		■				
Zentralisationstiefe bukkal zu flach (<1,9mm)		■				
Zentralisationstiefe lingual zu tief (>1,6mm)		■				
Zentralisationstiefe bukkal zu tief (>1,9mm)		■				
Allgemein Tiefe an mesialer Stufe						
Tiefe außen						
bukkal zu tief (>3,3mm)		■				
bukkal zu flach (<3,3mm)		■				

Anhang

lingual zu tief (>3mm)		■	
lingual zu flach (<3mm)			
Tiefe innen			
zu tief (>1,1mm)			
zu flach (<1,1mm)			■
Allgemein Tiefe Fissur längs			
distal zu flach (<2,3mm)		■	
distal zu tief (>2,3mm)			
Allgemein Ja und Nein -Entscheidung		ja	nein
Glätte/Smoothness			
Kavitätenumriss homogen			
Bodenebenheit +/- 0,2mm		■	
Unterschnitte - Abweichung distaler Isthmus			
lingual			
bukkal		■	
Kronenflucht eingehalten			
Querfissur ideal 90° (+-5°)			
lingual		■	
bukkal			
Kronenflucht eingehalten	■		
Mesiale Stufe			
lingual	■		
bukkal			
Kronenflucht eingehalten		■	
distale Wand zur Randleiste - leicht divergent ideal 93°			
distal		■	

D

Anleitung zur Ausrichtung, zum Matching und der DentSim™-Schnittebenen**a) Grundausrichtung des Referenzzahnes**

Die erzeugten Scans müssen als „Netz mit Standardeinheit (mm)“ in GOM Inspect 2017 geöffnet werden. Anschließend wird der Referenzzahn mit der Programmoption „Initiale Ausrichtung → Matrix setzen“ in eine standardisierte Position (Tab. 24) gebracht. Als Orientierungspunkte dienen die mesio-, distovestibulären und mesio-, distolingualen Höckerspitzen (siehe Abb. 16). Anschließend wird das „Netz“-Format in das „CAD“-Format umgewandelt und die Referenzzahnposition innerhalb des Programmgitters gesichert.

Tab. 25: Ausrichtungparameter des Referenzzahnes (hier: 36o).

Parameter der Ausrichtungs-Matrix	
Modus	XYZ
Drehung	X: -1,4° ; Y: -7,2° ; Z: -13.0°
Verschiebung	X: -13,0 ; Y: -29,85° ; Z: -3,35°

D

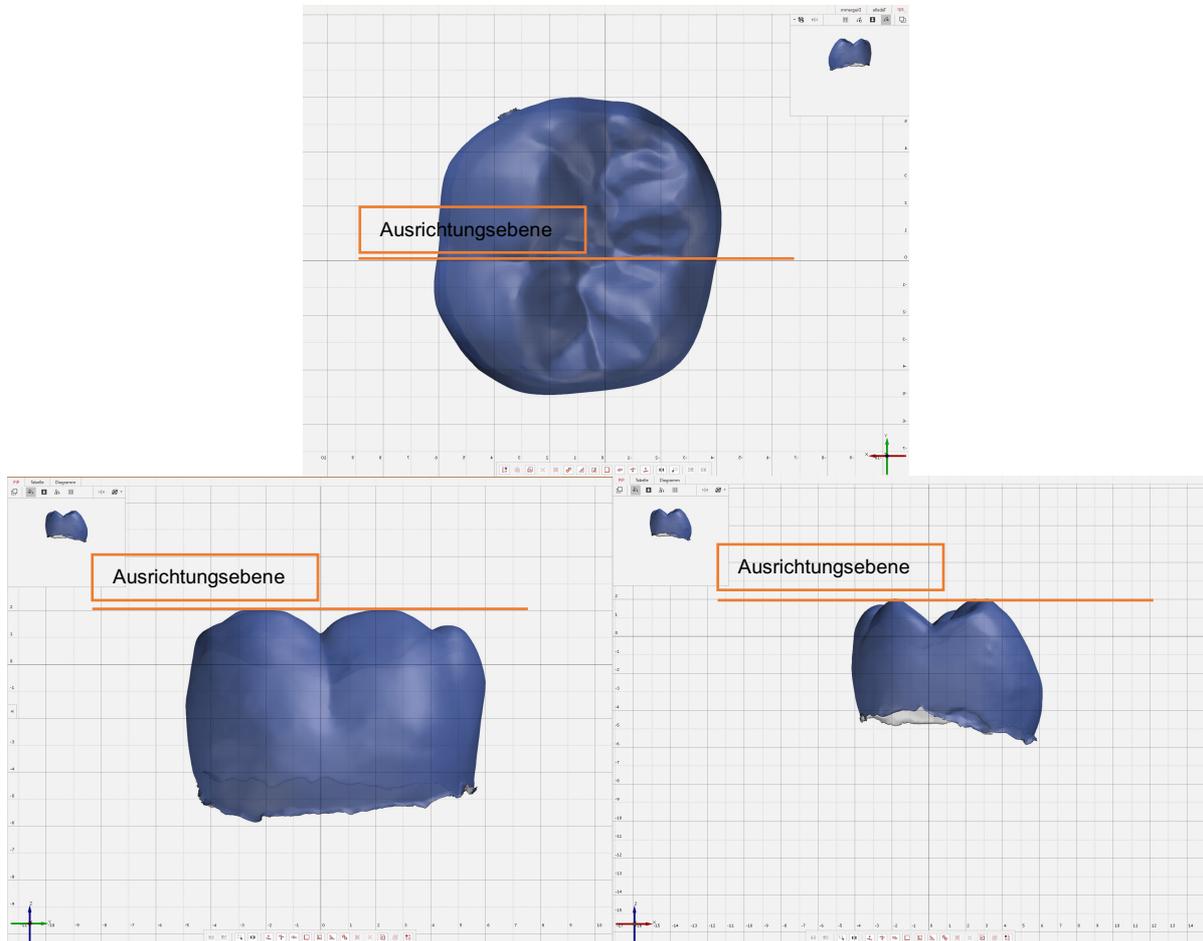


Abb. 16: Ausrichtung des Referenzzahnes aus drei verschiedenen Ansichten, orange = Ausrichtungsebene.

D

b) Einfügen der Referenzebenen nach DentSim™

Als nächstes werden Inspektions-Schnittebenen (siehe Tab. 25) nach DentSim™-Parametern (UPenn Beginner) konstruiert. Die Abstände zwischen den Ebenen finden sich im Anhang. Die Schnittebenen für 46o, 47mo und 46mod wurden durch eine Umwandlung der Ebenen von Zahn 36o und 37mo konstruiert (Abb. 17). Der Befehl „Konstruieren → Lotebene“ wurde zur Konstruktion der Referenzebenen genutzt.

Tab. 26: DentSim™-Schnittebenen

Name der Ebene	Lage
Cut Distal	Distale Kavität / Fossa
Cut 2	Distaler Isthmus
Cut 3	Querfissur
Cut 4	Mesialer Isthmus
Cut Mesial	Mesiale Kavität / Fossa

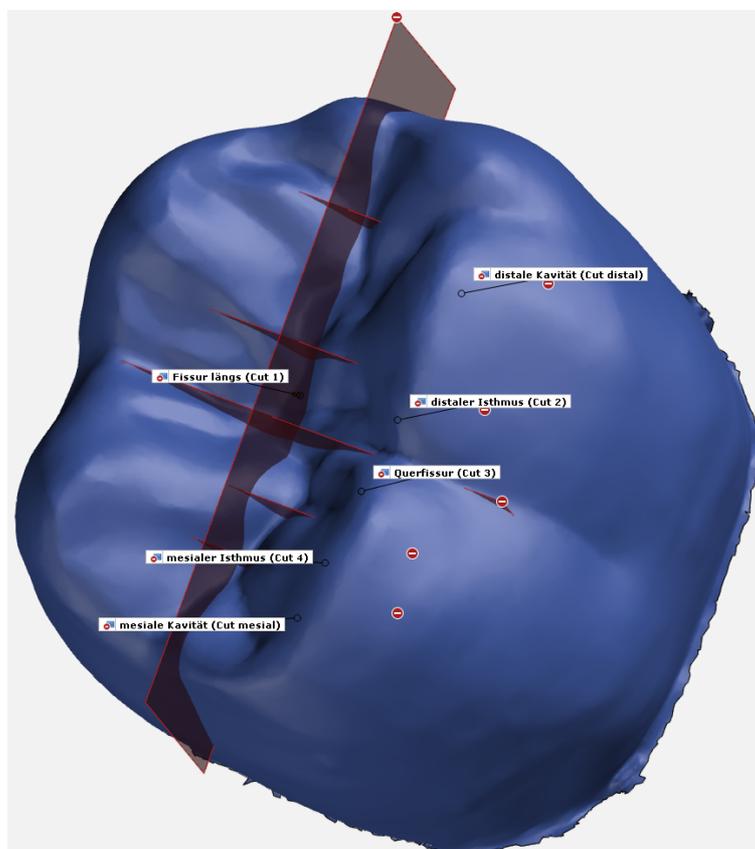


Abb. 17: DentSim™-Schnittebenen(rot) und STL-Referenzzahn im CAD-Format (blau)

D

c) Breitenebenen an DentSim™-Schnittebene

Zur Breitenmessung werden neue Ebenen „Breite der Kavität“, anhand der DentSim™-Schnitte konstruiert. Der Mittelpunkt der jeweiligen Ebene für die Breitenmessung liegt am grafisch ermittelten tiefsten Punkt der dazugehörigen Fissur auf Höhe der DentSim™-Schnittebene. Die Ebene breitet sich von diesem Mittelpunkt gleichmäßig in bukkaler und lingualer Richtung aus.

Tab. 27: Ebenen zu Breitenbestimmung

Name der Ebene	Ausdehnung
Breite distale Kavität	1,6mm: 0,8mm lingual; 0,8mm bukkal
Breite distaler Isthmus	1,2mm; 0,6mm lingual; 0,6mm bukkal
Breite Querfissur	3,3mm; 1,65mm lingual; 1,65mm bukkal
Breite mesialer Isthmus	1,2mm; 0,6mm lingual; 0,6mm bukkal
Breite mesiale Kavität	1,6mm; 0,8mm lingual; 0,8mm bukkal

Anmerkung: Ausdehnung wurde anhand der DentSim™-Parameter festgelegt

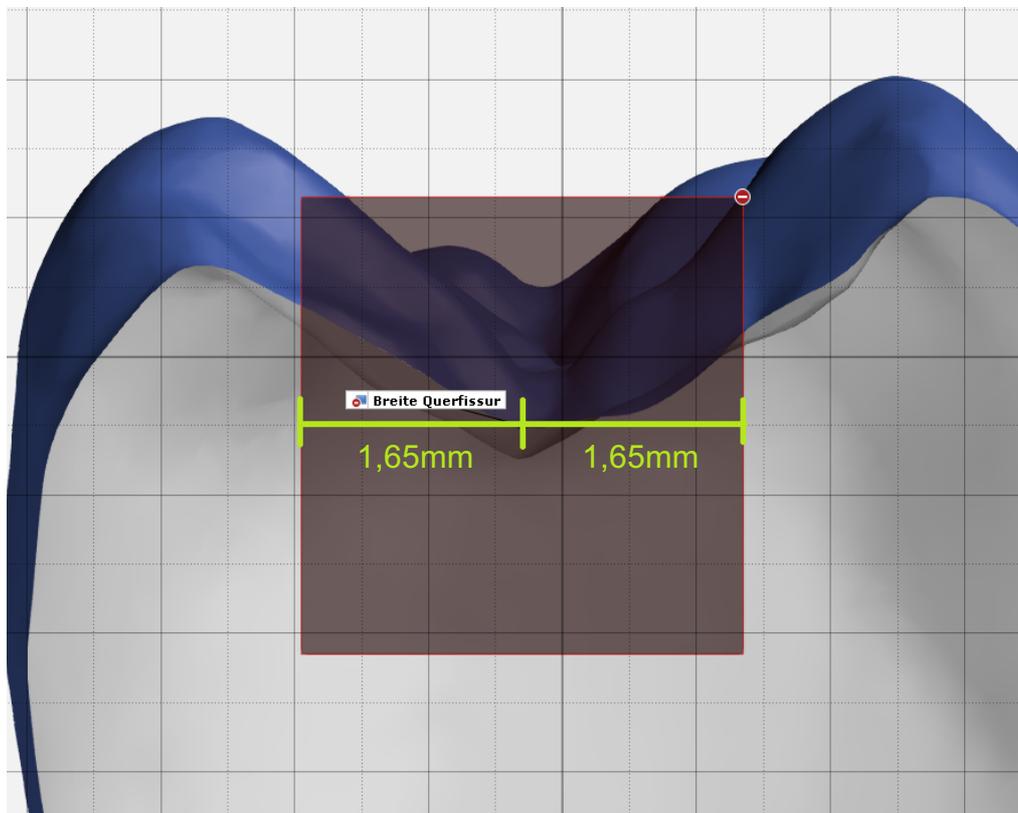


Abb. 18: Breitenebene der Querfissur, tiefster Punkt der Fissur als Mittelpunkt – grün = Breite nach lingual und bukkal

D

d) Matching mit den Untersuchungsobjekten am Beispiel A11 (36 FA1 O)

Bis zu diesem Punkt wurde lediglich der Referenzzahn für die standardisierte Messreihe vorbereitet, sodass nun der dazugehörige Zahn mit Abweichungen eingefügt werden kann. Der STL-Scan wird anschließend als „Ist-Netz“ in die Datei des Referenzzahnes eingefügt und mittels Befehl „Operation → Ausrichtung → Initiale Ausrichtung → Vorausrichtung“ mit dem Referenzzahn gematcht (siehe Abb. 19). Das Genauigkeit des Matchings bewegt sich im Mittel bei 0,08mm.

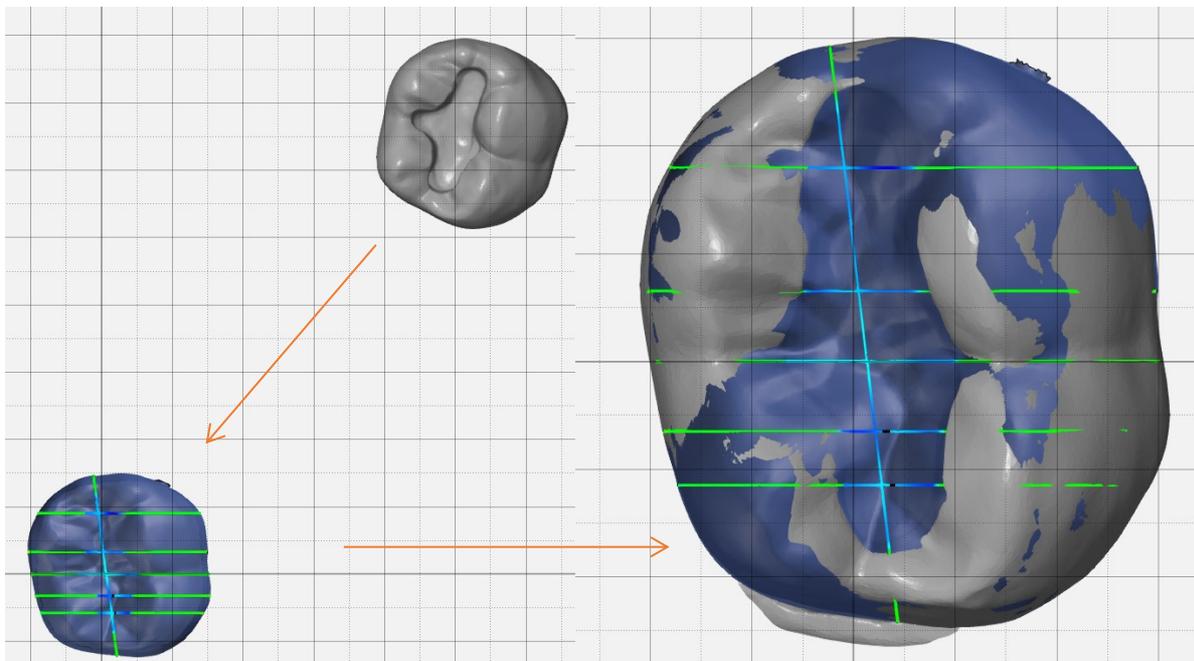


Abb. 19: links: eingefügter STL-Scan (grau) und Referenzzahn mit Referenzebenen (blau); rechts: abgeschlossener Matching-Prozess.

D

Die Messungen – Ermittlung der zu erkennenden Abweichungen

Als Übersichtsverbesserung lässt sich der Scan mittels „Clipping an Ebene“ an der Schnittebene untersuchen (Abb. 20). Anhand der erstellten Schnittebenen werden nun die zu erkennenden Abweichungen definiert und in einer Tabelle als Musterlösung für jeden Zahn zusammengefasst (Anhang C). Diese Musterlösungen dienen im Anschluss als Referenz für den Abgleich mit den studentischen Antworten.

a) Breitenmessung

Die Breitenmessung wird mittels der vorher eingefügten Breitenebenen durchgeführt und für jede Referenzebene in Form von Einzelparametern in der Musterlösung festgehalten. Ein Kavität kann zu schmal, zu breit oder falsch zentralisiert sein. Das GOM Inspect Raster eignet sich sehr gut, um die Abweichungen genau zu definieren.

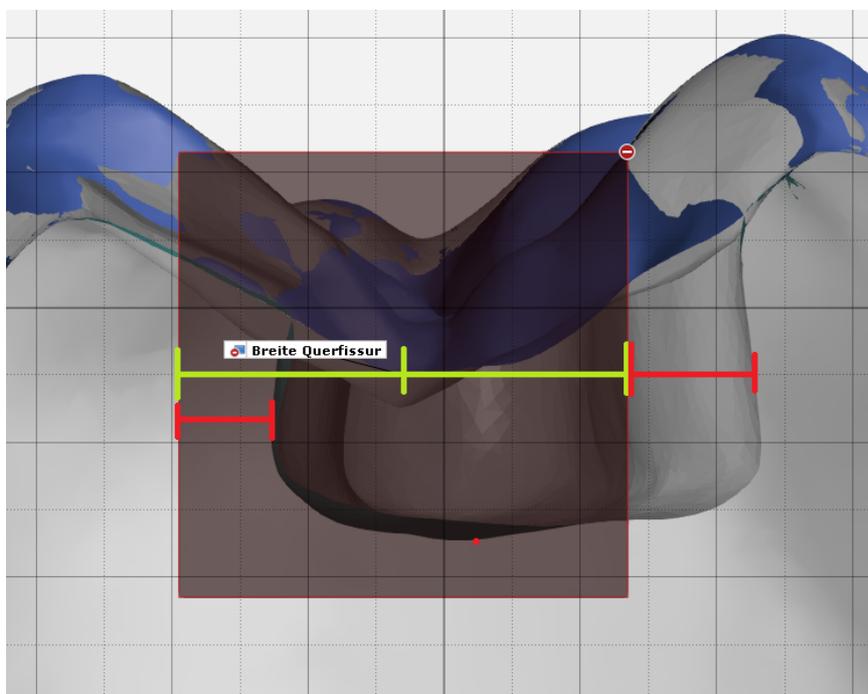


Abb. 20: Breitenmessung, grün= optimale Kavitätenbreite rot= zu breite oder zu schmale Bereiche.

D

b) Tiefenmessung

Die Tiefenmessungen benötigen jedoch eine genauere Definition, da ohne Anleitung schnell nicht reproduzierbare Messungen entstehen könnten. Eine Auflistung der Einzelparameter der Musterlösungen findet sich ebenfalls im Anhang.

Es kann vorkommen, dass ein Modell_k-Zahn eine falsche Zentralisation (bukkal oder lingual) aufweist und konsequenterweise die Tiefe der Kavität verfälscht dargestellt wird. Ein Umstand, der erhöhte Aufmerksamkeit erfordert: So würde eine zu weit nach bukkal zentralisierte (präparierte) Kavität durch das ansteigende Höckerrelief an dieser Stelle eine sehr große Tiefe aufweisen, obwohl bei richtiger Zentralisierung und gleicher Tiefe keine Abweichung zur Idealkavität vorliegen würde. Der Grund dafür ist die anspruchsvolle okklusale Fläche der Zähne, welche durch ansteigende Höcker die Messungen verfälschen würde. Das gleiche Prinzip findet sich auch bei einer zu breiten Kavität. Eine zu schmale Kavität muss dann ebenfalls kompensiert werden (siehe Abb. 21).

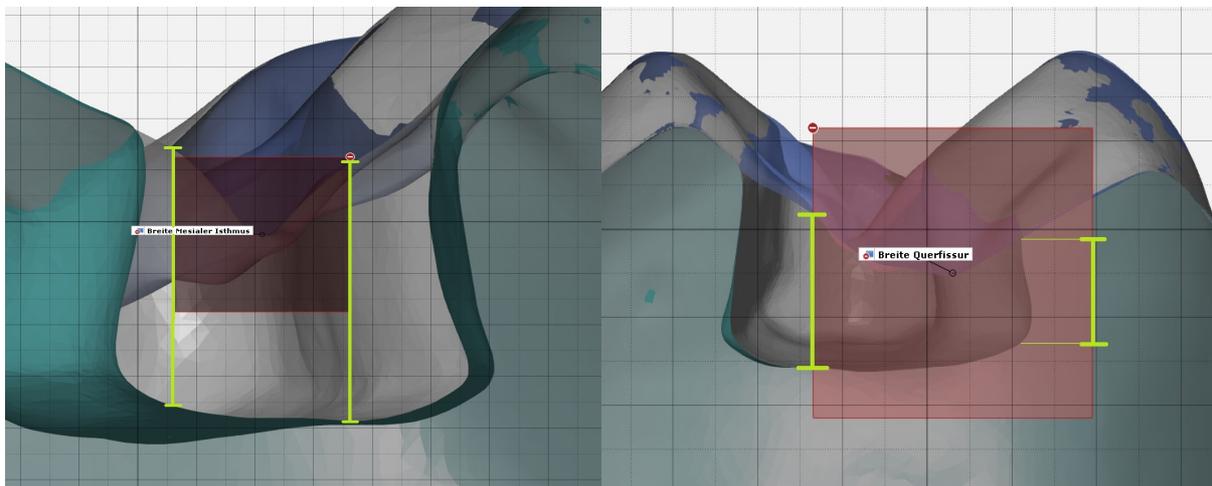


Abb. 21: Zwei Beispiele: links: Kavität nach lingual zentralisiert (lingual zu breit), Tiefe wurde direkt an der Ref.ebene (rot) gemessen und nicht an Kavitätenaußengrenze rechts: Kavität zu breit und Tiefenmessung auf Höhe der Außengrenze der Ebene (virtuell verlängert – dünne Grüne Linien).

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät, keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

Datum: 21.10.2021

Unterschrift: 

Danksagung

Oberarzt Priv.-Doz. Dr. Alexander Welk möchte ich in ganz besonderem Maße für die Überlassung dieser spannenden Thematik, der bereits erhobenen Daten und seiner fundamentalen Stellung als mein Mentor danken. Außerdem danke ich für seine allumfängliche Unterstützung und jede erdenkliche Hilfestellung während des Bearbeitungsprozesses. Ich danke zudem Dipl.-Biomath. Christiane Pink für die umfangreiche Unterstützung im statistischen Teil dieser Arbeit.

Ich möchte dem Ausschuss zur Vergabe des Bogislaw-Stipendiums bzw. dem Land Mecklenburg-Vorpommern für die Auswahl als Stipendiat danken, da ohne dessen finanzielle Unterstützung eine Umsetzung der Promotion deutlich erschwert gewesen wäre.

Besonderer Dank gebührt auch der Abteilung für Kieferorthopädie der Universität Greifswald, welche freundlicherweise den wichtigen 3D-Scanner zur Verfügung gestellt haben.

Außerdem danke ich meinen Eltern zutiefst für ihre Unterstützung während dieser Zeit.