

Die digitale Zahnheilkunde in Forschung und Lehre

Mit der CAD/CAM-Technologie
erschließen sich neue Möglich-
keiten zur objektiven Bewertung
von Präparationen in der
studentischen Ausbildung

Roland Felber, Goethe Universität Frankfurt am Main



Abb. 01: CAD/CAM Labor

Die digitale Zahnheilkunde in der zahnärztlichen Ausbildung

Die digitale Zahnheilkunde bietet dem Zahnarzt und Zahntechniker heutzutage eine Vielzahl von Möglichkeiten, ästhetisch und klinisch interessante Materialien zu verarbeiten. Neue Geräte wie intraorale Kameras, 3D-Drucker und Softwarelösungen für die Planung der Versorgung verkürzen den Arbeitsprozess und bieten mehr Sicherheit bei der Patientenbehandlung. Doch werden die neuen Techniken auch in die Ausbildung unserer Zahnärzte integriert?

An der Goethe Universität Frankfurt a.M. verfügen wir über ein CAD/CAM-Labor mit unterschiedlichen Chairside- und Labside-Lösungen sowie die Anbindung an Fertigungszentren (Abb. 01). Die Studenten erhalten während ihrer vorklinischen Ausbildung eine Einweisung in alle technischen Geräte. Mit praktischen Übungen vertiefen sie die demonstrierte Vorgehensweise an einem CAD/CAM-System ihrer Wahl. Während der Patientenbehandlung in den klinischen Semestern steht es dem Studenten frei, zwischen der konventionellen und der digitalen Zahnmedizin zu wählen. Bei der Versorgung von Kronen und Inlays erhalten Chairside Lösungen oft den Vorzug gegenüber

Fertigungszentren oder der konventionellen Technik. Dr. Paul Weigl nennt den Grund dafür: „Die Chairside-Lösung erlaubt den kompletten Versorgungsablauf - Präparation, Anfertigen der Restauration und das Einsetzen im Patientenmund – in einer einzigen Sitzung. Dies spart dem Patienten Zeit und gibt dem Studenten die Möglichkeit, mehr Patienten zu behandeln und damit auch mehr Erfahrungen in der klinischen Ausbildung zu sammeln.“

Die subjektive Bewertung von Studentenpräparationen

Doch die CAD/CAM-Technologie bietet neben der Materialvielfalt und der Produktion von Restaurationen einen weiteren großen Mehrwert für die studentische Ausbildung: Durch die digitale Aufnahme der Präparation und eine computergestützte Auswertung der Präparationsparameter wird eine objektive und reproduzierbare Beurteilung möglich. Derzeit werden die Präparationen der Studenten vom Dozenten ohne technische Unterstützung beurteilt und bewertet. Dabei ist nicht zu vermeiden, dass die subjektive Meinung des Dozenten in die Notengebung mit einfließt. Bereits vor über 40 Jahren wurde in mehreren unabhängigen Studien^{1,2,3}, nachgewiesen, dass die Bewertung derselben Präparation durch unterschiedliche Dozenten eine signifikante Abweichung aufweist. Aber auch die mehrmalige Bewertung durch denselben Dozenten zu unterschiedlichen Zeitpunkten generiert stark abweichende Beurteilungsergebnisse.

Die Universitäten haben das Problem der subjektiven Bewertung erkannt und versuchen diesem mit einem Abgleich der Bewertungsparameter einzelner Dozenten entgegen zu wirken. Dabei wird die Benotungsskala anhand der vorliegenden Präparationen „kalibriert“, indem sich alle beteiligten Dozenten auf jeweils eine Benotung einigen. Allerdings haben Haj-Ali und Feil in einer Studie⁴ herausgefunden, dass die Dozenten nach der Kalibrierung dazu neigen, unakzeptable Präparationen dennoch als akzeptabel zu bewerten. Des Weiteren stellte man fest, dass die Vereinfachung der Notenskala in die zwei Bereiche „akzeptabel“ und „inakzeptabel“ keine Verkürzung der Bewertungszeit durch den Dozenten zur Folge hatte.

Industrielle Lösungsansätze für eine objektive Bewertung der Präparation

Mit der Jahrtausendwende erfolgte ein Boom in der dentalen CAD/CAM-Technologie durch die Fertigung von Zirkon-Gerüsten und der damit verbundenen Vollkeramik-Krone. Die Weiterentwicklung der CAD/CAM-Systeme ermutigte die Dentalindustrie erstmals zur Entwicklung von Geräten zur objektiven Beurteilung von Studenten-Präparationen auf Basis der CAD/CAM-Technik. KaVo Dental offerierte ab 2003 den KaVo PREPassistent, welcher den Vergleich der Studenten-Präparation mit einer Master-Präparation ermöglicht. Der Student scannt dazu seine Präparation am KaVo-Everest Desktop-Scanner ein. Die PREPassistent-Software legt die Master- und Studenten-Präparation übereinander und ermöglicht visuelle Schnitte sowie eine manuelle Abstandsmessung zwischen beiden Präparationen.

E4D offeriert mit E4D Compare⁵ eine vergleichbare Lösung. Die medizinische Universität von South Carolina untersuchte 2013 die Eignung der E4D Compare zur Bewertung von Studenten-Präparationen⁶, und man fand heraus, dass der Student durch das detaillierte digitale und objektive Feedback ermutigt wurde, seine Präparation zu verbessern. Hingegen fühlen sich Studenten durch die Beurteilung eines Dozenten oft benachteiligt und suchen zur Abhilfe einen weiteren Dozenten auf, anstatt ihre Fähigkeiten zu verbessern. Dies unterstreicht die Tatsache, dass Studenten der elektronischen Bewertung mehr vertrauen, da sie mit dieser Technologie aufgewachsen sind. Für den Universitätsbetrieb hat die Einführung computergestützter Bewertungssysteme zur Folge, dass Studenten unabhängiger vom Lehrkörper werden und ihre Fähigkeiten auch außerhalb des Stundenplans vertiefen können.



Abb. 02: Studenten beim Präparieren



Abb. 03: CEREC AC

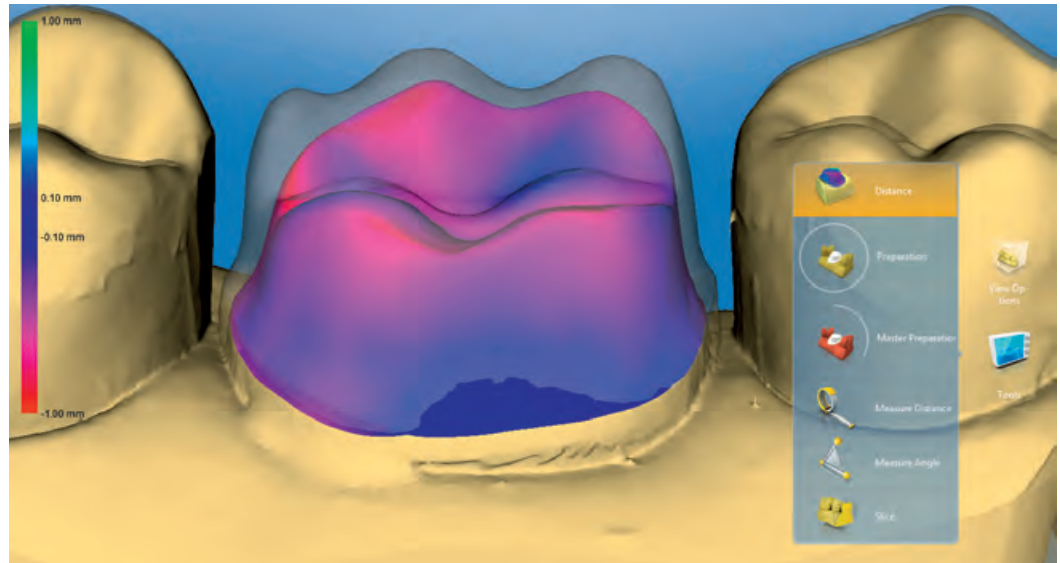



Abb. 04: Mastervergleich

prepCheck Functionality prepCheck - objective analysis system

☛ The Cerec BlueCam generates a digital impression within some seconds



☛ A color scale gives feedback about the quality of the dental work:

- The result is not acceptable. However, it can still be improved.
- The result is within the specified range.
- The result is not acceptable. There is no possibility for improvement.

Abb. 05: Farbskala prepCheck

Die objektive Bewertung einer Präparation mittels CAD/CAM-Technologie

Die digitalen Bewertungssysteme werden in der Industrie zur Qualitätskontrolle von Präparationen genutzt. Auch die Universitäten beschäftigen sich mit diesem Thema. So hat die Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Martin-Luther-Universität Halle/Saale in Zusammenarbeit mit ihren Kollegen von der Ludwig-Maximilian-Universität München ein Software-Tool zur Analyse von Kronenpräparationen⁷ entwickelt. Nach der Digitalisierung der Präparation mit einem Scanner und dem Festlegen einer Präparationsgrenze werden der Präparationswinkel, die Breite der Präparationsstufe und der Verlauf der Präparationsgrenze analysiert.

Die Goethe-Universität Frankfurt a.M. hat unter der Leitung von Dr. Paul Weigl nach einer Lösung zur digitalen Bewertung von Präparationen gesucht, welche neben der Objektivität eine einfache und schnelle Bedienung des Systems ermöglicht. Der Schlüssel zu einer objektiven Beurteilung liegt in der digitalen Aufnahme der Präparation. Diese entspricht einem 3D-Foto und kann jederzeit wieder aufgerufen werden, ohne die geometrischen Abmessungen der Präparation zu verändern. Die schnelle Auswertung der Präparation soll über eine vollautomatische Software erfolgen, welche dem Anwender als Mess- und Analysewerkzeug die Überprüfung von Präparationsrichtlinien ermöglicht (Abb. 02). Darunter fällt beispielsweise die empfohlene Reduktion zur Einhaltung der Materialwandstärke. Über einen vollautomatisch generierten Farb-Code zeigt die Software dem Studenten sofort an, welche Bereiche innerhalb des vorgegebenen Toleranzbandes liegen oder verbesserungswürdig sind.

Zur Umsetzung dieser Ziele kontaktierte das Team um Dr. Paul Weigl das Unternehmen Sirona Dental Systems GmbH. Zusammen entwickelten sie prepCheck, ein System zur Messung und Analyse von Kronen- und Inlay-Präparationen. prepCheck setzt auf dem seit mehr als 25 Jahren am Markt etablierten Cerec-System auf (Abb. 03). Durch das mobile Gehäuse der Cerec AC lässt sich das System direkt zum Simulationsarbeitsplatz des Studenten oder zum Patientenstuhl bewegen. Mit den Kameras CEREC Bluecam und CEREC Omnicam nimmt der Student eine digitale Abformung seiner Präparation. Die Genauigkeit der Messung⁸ liegt dabei bei 19 Mikrometer und ist damit ausreichend zur Beurteilung der manuell durchgeführten Präparation. Dank der intraoralen Kamera ist kein Herausnehmen des Modells notwendig. Somit spart der Student Zeit und muss das Modell nach der Prüfung nicht erneut einartikulieren. Die Analyse erfolgt in der Software „prepCheck“⁹. Diese dient als „APP“ (Applikation) für das Cerec System und kann wahlweise direkt auf der Cerec AC oder auf einem separaten Windows 7 Rechner gestartet werden. Die Cerec AC Aufnahmeeinheit ist nach dem prepCheck sofort wieder für weitere Messungen verfügbar. Damit kann der Student bei der Korrektur der Präparation am Phantomkopf gleichzeitig die Analyseergebnisse des prepChecks einsehen.

prepCheck Funktionsumfang

Die Präparationsanalyse mit dem prepCheck kann sowohl im Master-Mode als auch im Parameter-Mode erfolgen. Im Master-Mode definiert der Dozent eine Master-Präparation. Diese wird ebenfalls am Simulationsarbeitsplatz im Übungsmodell präpariert. Nach dem Einscannen legt der Dozent seine Präparation als Master ab. Während der Analyse wird die Studentenpräparation mit der Masterpräparation verglichen und die prepCheck-Software zeigt die Abstände zwischen Master- und Studentenpräparation farblich an (Abb. 04). Prinzipiell gilt für den prepCheck die Ampel-Farbdefinition: In grün markierten Bereichen ist noch zu wenig Zahnschubstanz entfernt worden. Der Student fährt mit dem Präparieren fort. In rot markierten Bereichen hat der Student bereits zu viel abgetragen und stoppt das Entfernen von Zahnschubstanz. Blau hinterlegte Bereiche liegen innerhalb der vom Dozenten vorgegebenen Toleranz und bescheinigen dem Studenten eine ausreichende Präparationstechnik (Abb. 05).



Roland Felber

Dipl.- Ing. Maschinenbau (FH)

- 8 Jahre Erfahrung als Applikationsingenieur bei Unigraphics Solutions und Geomagic.
- Seit 2010 Projektleiter an der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Goethe-Universität Frankfurt a.M.
- Insgesamt mehr als 16 Jahre in der Dentalbranche tätig. Umfangreiches Wissen zum Thema dentales CAD/CAM.
- Spezialist für CAD-Softwareentwicklung und CAD-Datenaustausch. Erfahrung mit Scanner-Entwicklung und Fertigungsverfahren.

Kontakt:

felber@em.uni-frankfurt.de

www.med.uni-frankfurt.de/zahnklinik/Home/index.html

www.innodent.tu-darmstadt.de/innodent/startseite_innodent/index.de.jsp

Neben dem Vergleich mit einer Master-Präparation gibt es auch den Parameter-Mode. Hier überprüft prepCheck die Präparation auf zahnmedizinisch relevante Höhen, Längen, Abstände und Winkel. Der Dozent gibt dabei die zu erreichenden Kenngrößen vor und definiert das Toleranzband, innerhalb welchem sich die Präparation bewegen darf.

Zu den Parameter-Funktionen zählt die Reduktion, die Ermittlung der bereits entfernten Zahnschicht. Dazu scannt der Student den zu bearbeitenden Zahn einmal vor dem Anlegen der Präparation und nach Fertigstellung der Präparation. Beide Aufnahmen werden von der prepCheck-Software übereinander gelegt und der Student sieht die bereits entfernte Zahnschicht (Abb. 06). Die gleiche Technik wird für die Analyse der okklusalen Reduktion verwendet. Hier scannt der Student Ober- und Unterkiefer und prepCheck stellt den Abstand zwischen der Präparation und dem Antagonisten (Abb. 07) farblich dar. Wie oben beschrieben gilt hier: „blaue“ Bereiche liegen innerhalb der Toleranz, in „grünen“ Bereichen muss noch weiter reduziert werden und in „roten“ Bereichen wurde bereits zu viel Zahnschicht abgetragen. Führt der Student mit dem Mauszeiger über die Präparation, so wird an jeder Stelle der lokale Abstandswert angezeigt. Desweiteren kann der Anwender die Transparenz der dargestellten Zähne ändern und sich so einen Einblick in schwer zugängliche Bereiche verschaffen. Mit Hilfe der Schnittdarstellung ist dies ebenfalls möglich (Abb. 08). Ein zusätzlich dargestelltes Millimeterpapier erleichtert das Einschätzen von Distanzen und damit auch der Reduktion.

Ein weiteres wichtiges Kriterium zur Bewertung von Kronen- und Inlay-Präparationen ist die präparierte Konizität. Im ersten Schritt untersucht prepCheck die Präparation auf Unterschnitte (Abb. 09). Diese beziehen sich auf die zuvor festgelegte Einschubrichtung. Im Anschluss wird der Präparationswinkel auf allen vier Seiten, mesial – distal – lingual sowie bukkal, errechnet und abgebildet. Das bereits bekannte Farbmuster zeigt, welche Bereiche im Toleranzband liegen (blau), welche zu steil (grün) und welche zu konisch, d.h. überkonturiert sind (rot) (Abb. 10). Auch hier können lokale Werte des Winkels über den Mauszeiger abgefragt werden.

Die nächste Analysefunktion ist die Untersuchung des Präparationstyps. Dabei definiert der Dozent den Verlauf der Präparation nach der Präparationsgrenze. Als Default-Einstellung kann die Hohlkehlen-Präparation oder die Stufen-Präparation gewählt werden. Dem Dozenten steht es frei, weitere Präparationstypen zu definieren. Es kann jede beliebige Form der Präparation definiert werden. Die Analysefunktion Präparationstyp zeigt dem Anwender den Abstand seiner Präparation zu der vom Dozenten vordefinierten Kurve (Abb. 11).

Die Oberflächenanalyse stellt stark gekrümmte Bereiche, wie z.B. Höcker und Fissuren, dunkelgrau dar. Ebene und planare Bereiche werden hingegen hellgrau dargestellt. Scharfkantige Bereiche werden orange markiert und signalisieren dem Anwender, dass hier eine weitere Glättung der Präparation erforderlich ist (Abb. 12).

Patientenbeispiel

prepCheck verfügt über einen Parameter-Mode, der die Analyse von Patientenpräparationen in der klinischen Ausbildung der Studenten ermöglicht. Die intraorale Kamera der Cerec AC unterstützt dies durch eine schnelle digitale Abformung. Im vorliegenden Patientenfall wurde auf einem Prämolare im Oberkiefer eine Hohlkehle präpariert (Abb. 13). Für die Versorgung war eine Vollkeramikkrone mit Cerec geplant. Cerec bietet eine breite Materialvielfalt: Ästhetische Versorgungen sind aus Glaskeramik, Lithium-Disilikat und Hybrid Keramiken möglich. Alternativ kann auch ein anatomisch reduziertes Gerüst konstruiert und in Zirkon gefräst werden. Dieses wird im Anschluss noch im Labor verblendet. In der Zwischenzeit wird der Patient mit einem Provisorium aus zahnfarbenem PMMA, z.B. artBloc Temp von Merz Dental (<http://www.merz-dental.de>) versorgt. Zusätzliche Scan- und Design-Arbeiten sind nicht notwendig, da die Daten in Cerec bereits digital vorliegen (Abb. 14).

¹ Lilley JD, Bruggen Cate HJ, Holloway PJ, Holt JK, Start KB. Reliability of practical tests in operative dentistry. Br Dent J 1968;125(5):194-7.

² Fuller JL. The effects of training and criterion models on inter-judge reliability. J Dent Educ 1972;36(4):19-22.

³ Salvendy G, Hinton WM, Ferguson GW, Cunningham PR. Pilot study on criteria in cavity preparation. J Dent Educ 1973; 37(10):27-31.

⁴ <http://www.kavousa.com/US/Custom/Brochures.aspx> => Training-> PREPassitant

⁵ <http://www.e4d.com/compare>

⁶ Renne, W; McGill, T; Mennito, A; Wolf, B; Marlow, N; Shaftman, S; Holmes, R. E4D Compare Software: An Alternative to Faculty Grading in Dental Education. Journal of Dental Education 2013; 77(2):168- 175.d

⁷ Hey, J; Kupfer, P; Urbanek, M; Beuer, F. Objective Analysis of Preparations in Dental Training: Development of Analytical Software. International Journal of Computerized Dentistry 2013; 16: 317-325.

⁸ Mehl, A; Ender, A; Mörmann, W; Attin, T. Accuracy testing of a new intraoral 3D camera. International Journal of Computerized Dentistry 2009; 12(1):11-28.

⁹ <http://www.sirona.com/de/produkte/behandlungseinheiten/prepcheck/>

¹⁰ <http://www.ivoclarvivadent.de/de-de/p/zah-arzt/chairside-cad/cam-bloecke/ips-emax-cad/>



Abb. 06: Reduktion

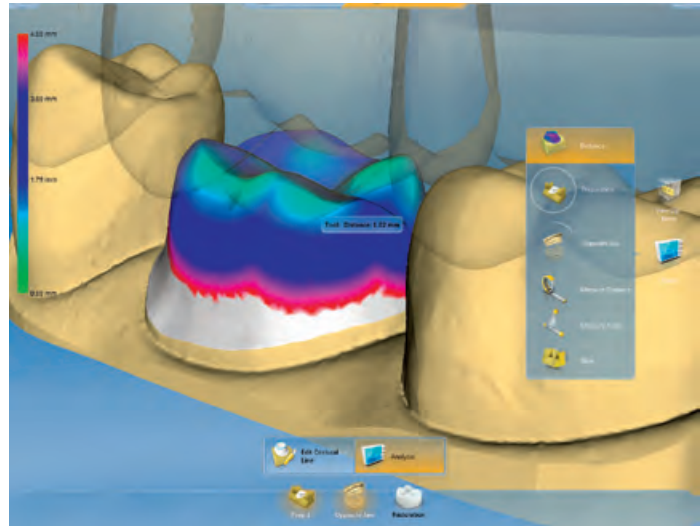


Abb. 07: Abstand zum Antagonisten

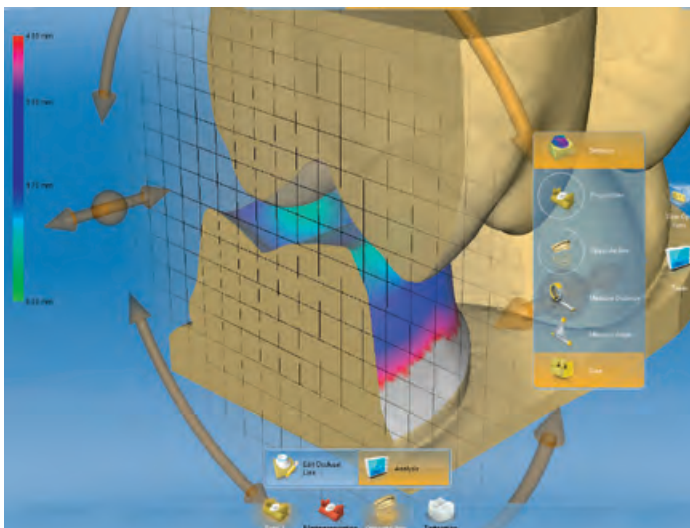


Abb. 08: Schnittdarstellung mit Antagonist

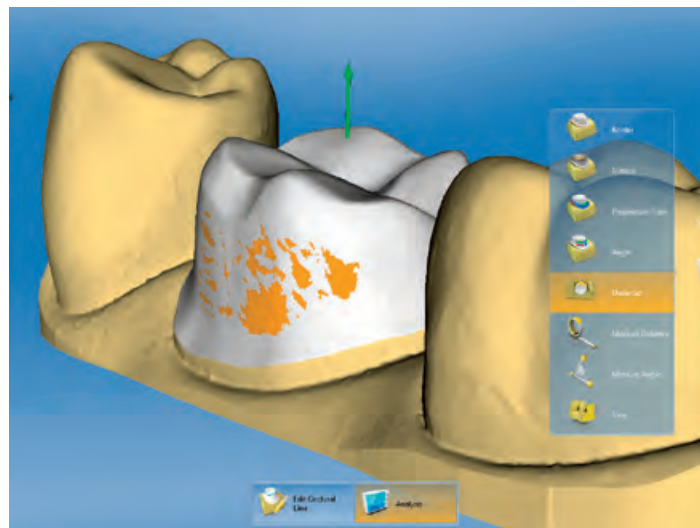


Abb. 09: Unterschnitte

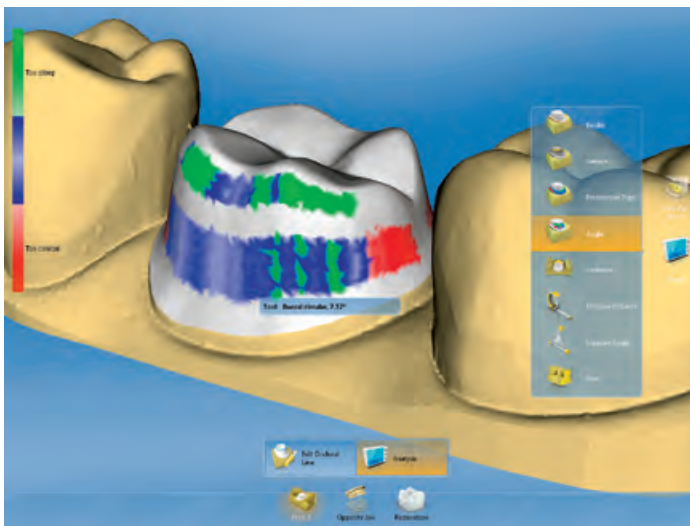


Abb. 10: Winkel



Abb. 11: Präparationstyp

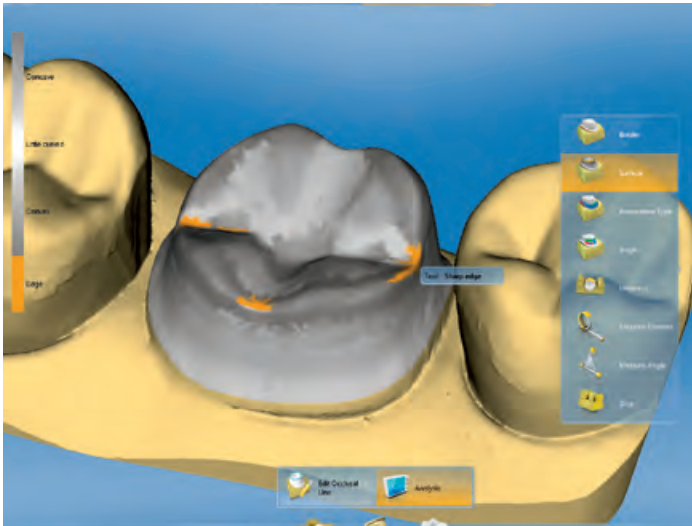


Abb. 12: Oberflächenanalyse

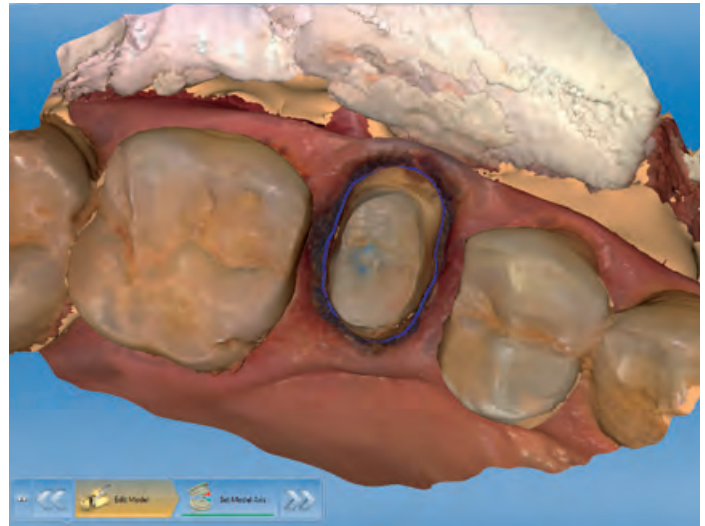


Abb. 13: Hohlkehlen-Präparation für Prämolaren

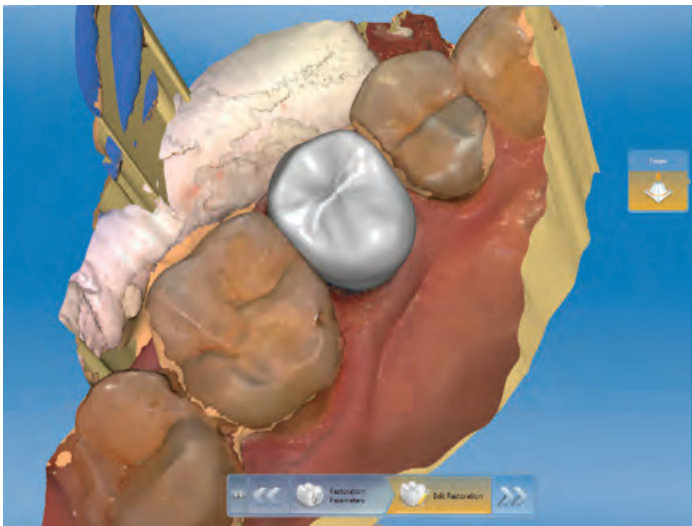


Abb. 14: Digitaler Datensatz der Krone

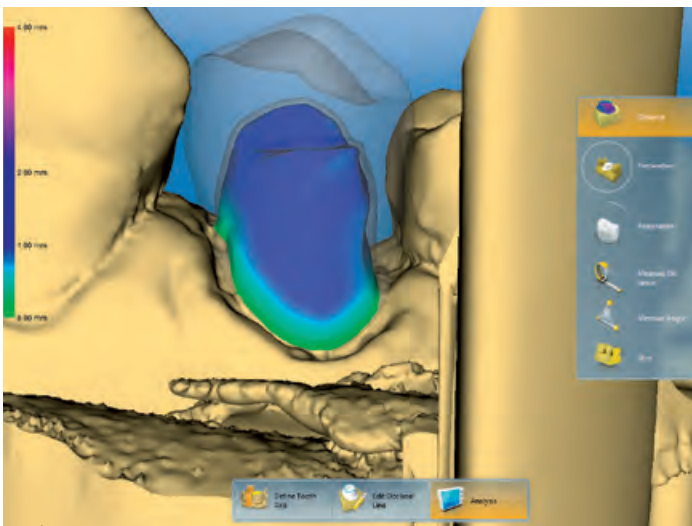
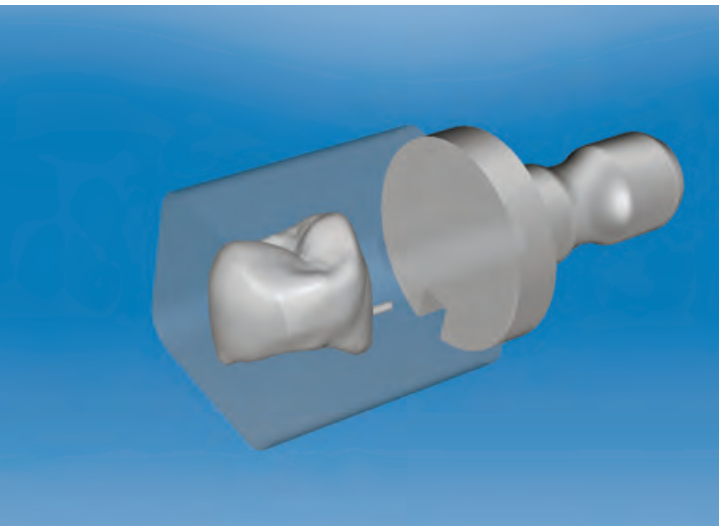


Abb. 15: Reduktion im Patientenfall

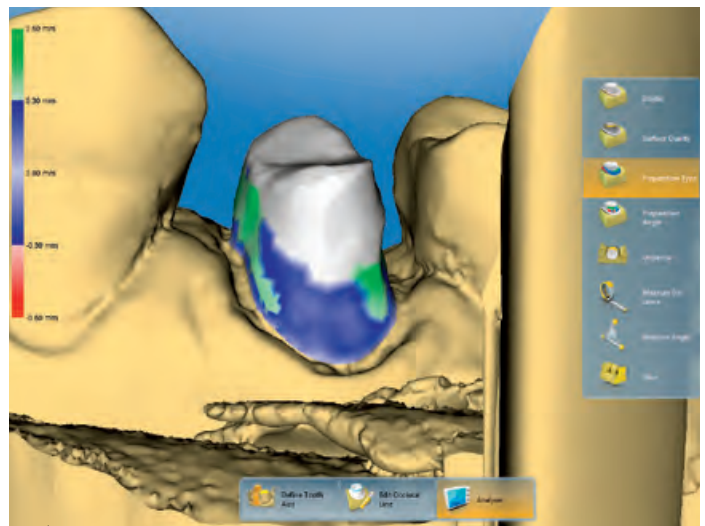


Abb. 16: Analyse des Präparationstyps Hohlkehle

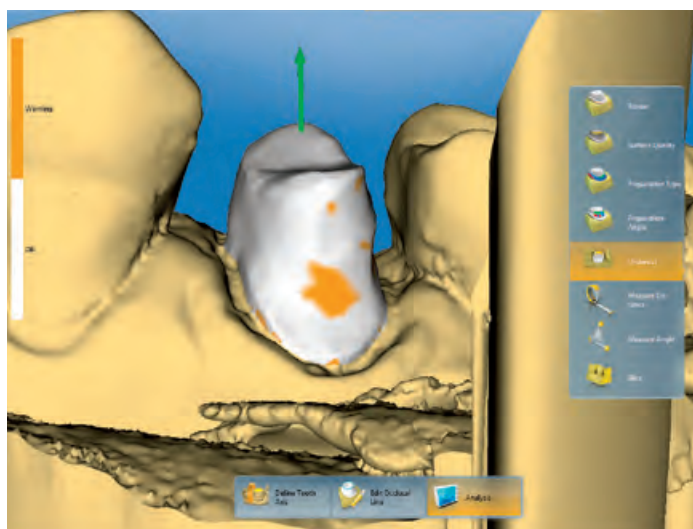


Abb. 17: Unterschnitte

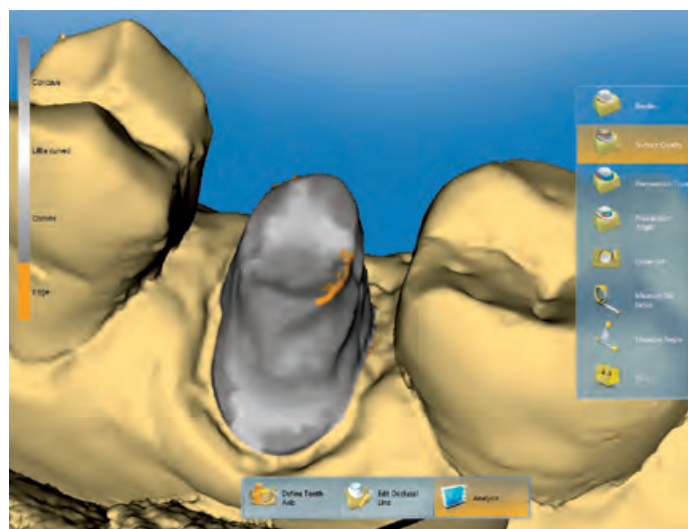


Abb. 18: scharfe Kante

Für die Überprüfung der Präparation in prepCheck ist kein weiterer Scan notwendig. prepCheck ist eine „APP“, basierend auf Cerec und wird nach dem Einzeichnen der Präparationsgrenze aufgerufen. Die Analyse der Präparation in prepCheck ist optional. Der Cerec-Workflow wird dadurch nicht gestört oder unterbrochen. Im vorliegenden Fall betrug die Reduktion zwischen 1 und 2 Millimeter und bot damit ausreichend Platz für eine e.max CAD Krone (Abb. 15). Bei der Analyse des Präparationstyps wurde auf der mesialen Seite ein zu geringer Abtrag festgestellt. Die Hohlkehle ist dort zu wenig ausgeprägt (Abb. 16). Bukkal wurden vom prepCheck Unterschnitte in Bezug auf die Einschubrichtung der Krone detektiert (Abb. 17) und die Analyse der Oberfläche ergab distal eine scharfe Kante (Abb. 18). Nachdem der Student die Mängel beseitigt hatte, konnte die e.max-Versorgung (eingesetzt werden).¹⁰

Zusammenfassung

Die Studentenzahlen im Bereich Zahnmedizin steigen. Das bedeutet für die Studenten, dass ihre Dozenten immer mehr Kursteilnehmer gleichzeitig betreuen müssen und dadurch weniger Zeit für den Einzelnen haben. Es ist auch nicht zu vermeiden, dass die vom Dozenten durchgeführte Bewertung einer Studenten-Präparation sehr stark subjektiv gefärbt ist.

Mit der CAD/CAM-Technik bietet sich die Möglichkeit, Präparationen digital zu erfassen und mittels einer Software auszuwerten. Die Goethe-Universität Frankfurt a.M. und das Unternehmen Sirona haben mit prepCheck ein Tool zur objektiven Bewertung von Präparationen in der studentischen Ausbildung kreiert. prepCheck setzt auf dem klinisch erprobten Cerec-System auf und ermöglicht die Analyse und Bewertung von Präparationen sowohl am Phantomkopf als auch direkt am Patienten.

Durch die digitale Aufnahme der Situation mit der intraoralen Kamera CEREC Omnicam oder CEREC Bluecam ist die Bewertung nicht nur objektiv, sondern auch stets reproduzierbar. Der Funktionsumfang umfasst die Analyse des Zahnschmelzabtrags, die Überprüfung der Konizität sowie das Detektieren von Unterschnitten. Weitere Funktionen sind die Überprüfung des Präparationstyps und die Oberflächenanalyse. prepCheck ist somit ein 3D Spiegel des Zahnarzts und erleichtert nicht zuletzt wegen der überproportionalen Darstellung am Bildschirm die Bewertung der Präparation.

Literatur:

- Lilley JD, Bruggen Cate HJ, Holloway PJ, Holt JK, Start KB. Reliability of practical tests in operative dentistry. *Br Dent J* 1968;125(5):194-7.
- Fuller JL. The effects of training and criterion models on inter-judge reliability. *J Dent Educ* 1972;36(4):19-22.
- Salvendy G, Hinton WM, Ferguson GW, Cunningham PR. Pilot study on criteria in cavity preparation. *J Dent Educ* 1973;37(10):27-31.
- Haj-Ali R, Feil P. Rater reliability: short- and long-term effects of calibration training. *J Dent Educ* 2006;70(4):428-33.
- Renne, W; McGill, T; Mennito, A; Wolf, B; Marlow, N; Shaftman, S; Holmes, R. E4D Compare Software: An Alternative to Faculty Grading in Dental Education. *Journal of Dental Education* 2013; 77(2):168- 175.
- Hey, J; Kupfer, P; Urbanek, M; Beuer, F. Objective Analysis of Preparations in Dental Training: Development of Analytical Software. *International Journal of Computerized Dentistry* 2013; 16: 317-325.
- Mehl, A; Ender, A; Mörmann, W; Attin, T. Accuracy testing of a new intraoral 3D camera. *International Journal of Computerized Dentistry* 2009; 12(1):11-28.