

Präzisionsvergleich zwischen konventionellen und gescannten Dentalmodellen sowie Patientendaten

Kurt Jäger, Christoph Vögtlin, Georg Schulz, Yur-Chung Brogle-Kim, und Bert Müller

Biomaterials Science Center, Universität Basel

Zahnärztliche Meistermodelle sind die Arbeitsgrundlage für die zahntechnische Herstellung eines präzisen Werkstücks. Die konventionelle Modellherstellung ist das Produkt einer originalgetreuen Abformung der Zahnreihen mit Abformstoffen aus Vinyl-Polysiloxanen in einem individuellen zahnärztlichen Abdrucklöffel, indem das Meistermodell durch Ausgiessen der Abformung mit Spezialhartgips (Klasse IV) erreicht wird.

Seit wenigen Jahren ist es nun möglich, ein Abbild der präparierten Zahnreihe mit Oralscannern zu digitalisieren. Anhand des Datensatzes kann durch selektives Lasersintern oder andere 3D-Druckverfahren ein zahntechnisches Arbeitsmodell gewonnen werden. Die Passgenauigkeit des zahnärztlichen Werkstücks, wie zum Beispiel einer Krone, ist unter Berücksichtigung auch anderer Faktoren die entscheidende Eigenschaft für den klinischen Erfolg. Es stellt sich die Frage, ob die digitalen Modellverfahren in Bezug auf Präzision mit den konventionellen, auf Abformmaterial basierenden Methoden vergleichbar sind oder ob die Kliniker besser abwarten sollen, bis die Oralscanner-basierten Verfahren die nötige Präzision erreichen.

Zielsetzung und Hypothese


Die konventionelle Herstellung von zahnärztlichen Meistermodellen ist für den Patienten mit Unannehmlichkeiten verbunden. Ein im Mund platzierter Abdrucklöffel mit Abformmasse ruft Würgereflexe hervor, und der Abformstoff ist im Geruch und Geschmack unangenehm. Die Abformung dauert mehrere Minuten. Ist sie inkorrekt, muss sie von Beginn an wiederholt werden. Das Verfahren ist jedoch in der Zahnmedizin sehr gut etabliert. Es gibt eine solide wissenschaftliche Basis über Modellmaterialien und Abformstoffe inklusive ihrer Formstabilität sowie über das sachgemässe Vorgehen in der Klinik.

Seit wenigen Jahren ist es nun möglich, direkt am Zahnarztstuhl mit einem Oralscanner die Zahnreihen und insbesondere die für Kronen oder Brücken vorbereiteten Zähne des Patienten aufzunehmen. Verschiedene Hersteller haben Geräte auf dem Markt, die mittels Kamera und zugehöriger Software dreidimensionale Abbildungen erstellen können. Derartige Systeme werden in Zukunft eine grosse Rolle spielen. Entweder wird für den Zahntechniker als Arbeitsbasis ein Meistermodell hergestellt, oder nach Überarbeiten der Scans kann direkt eine Keramikfräsmaschine angesteuert werden. Die digitale Methode hat den Vorteil, dass keine lästigen Abformungen mehr notwendig sind, dass ein-

zelne Abschnitte, die nicht präzise erfasst wurden, nachkorrigiert werden können und dass ein digitaler Datensatz im Gegensatz zu einem Modell platzsparend archiviert werden kann. Das neue Verfahren darf jedoch trotz Verbesserung der Befestigungsmaterialien für die spätere Rekonstruktion nicht auf Kosten der Präzision gehen. Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht deshalb darin, zwei markteingeführte digitale Scannersysteme miteinander in Bezug auf die Präzision zu vergleichen und vor allem mit dem Goldstandard, der konventionellen Modellherstellung, in quantitativer Art und Weise zu vergleichen.

Es darf davon ausgegangen werden, dass das Auflösungsvermögen der Scanner weiter optimiert werden kann, insbesondere weil bisher nur begrenzte Datenmengen online übertragen werden können. Die klinische Erfahrung zeigt jedoch, dass Oralscanner eine akzeptable Passgenauigkeit ermöglichen. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die Resultate zwischen den drei Modellherstellungsverfahren in einem vergleichbaren Bereich liegen.

Methodik

Als Referenz diente ein stilisiertes Stahlgussmodell eines Unterkiefers mit Orientierungshilfen (Abb. 1 ). Anstelle der Zahnkronen sind gut definierte Bauteile wie Zylinder integriert, die sich vergleichsweise einfach vermessen lassen. Die Zylinder weisen Bohrungen mit einem Durchmesser und einer Tiefe von jeweils 4 mm auf. Über solche Messpunkte auf dem Modell lassen sich Flächen definieren und so die Modelle untereinander quantitativ vergleichen. Um möglichst klinische Bedingungen zu simulieren, haben die stilisierten Zähne Formen, die den natürlichen Variationen entsprechen. Das Modell aus Stahlguss hat sich in vorgängigen Untersuchungen bereits bewährt. Es wurde nun mit verschiedenen Techniken reproduziert:

Konventionelle Abformtechnik: Mit fünf für das Stahlmodell individuellen Abformlöffeln wurden fünf Meistermodelle aus Spezialhartgips (Fujirock, GC-Europa, Leuven, Belgien) gefertigt. Als Abformstoff diente das A-Silikon Flexitime (Hereus Kulzer AG, Dübendorf, Schweiz). Dieses Vorgehen entspricht dem heutigen Standard in der Zahnmedizin.

Oral Scanning mit dem System i-Tero, Institut Straumann AG, Basel, Schweiz: Das Stahlmodell wurde je fünf Mal mit dem Gerät gescannt. Die Modelle wurden bei Cadent Or Yehuda, Israel, systemspezifisch aufgrund des Datensatzes hergestellt [1].

Die Autoren haben keine finanziellen oder persönlichen Interessenkonflikte im Zusammenhang mit diesem Beitrag deklariert.

Oral Scanning mit dem Lava C.O.S., 3M Espe, Seefeld, Deutschland: Auch bei diesem Scanningverfahren wurde das Stahlmodell je fünf Mal gescannt. Die Arbeits- bzw. Meistermodelle wurden mittels SLA-Verfahren (Rapid Prototyping) im Auftrag von 3M Espe in den USA produziert [2].

Die Referenzstrecken (Abb. 1) wurden mit einem Koordinatenmesssystem (Leitz PMM 864, Hexagon Metrology GmbH, Wetzlar, Deutschland) vermessen [3]. Diese Methode stützt sich jedoch nur auf wenige Messpunkte und erlaubt somit nicht, die lokalen Passgenauigkeiten zu quantifizieren. Deshalb wurde für die Messungen mittels Mikrotomographie ein nanotom m (phoenix/x-ray, GE Sensing & Inspection Technologies GmbH, Wunstorf, Deutschland) verwendet. Durch die dreidimensionale Registrierung der Tomographiedaten der 15 Modelle mit denen der Referenz lässt sich die Genauigkeit der drei Verfahren sowohl global als auch lokal berechnen (Abb. 2) [4].

Resultate

Tabelle 1 listet eine Auswahl der Resultate inklusive der Standardabweichungen für die jeweils fünf Modelle auf. Diese Ergebnisse zeigen, dass mit der konventionellen Methode (Gipsmodell) die Reproduzierbarkeit im Vergleich zu den Scanner-Methoden tendenziell besser ist. Die neuen Scanner-basierten Verfahren liefern jedoch für den Klinikbetrieb ebenfalls hinreichend gute Ergebnisse. Das zeigen auch die klinischen Ergebnisse von Arbeiten, welche die neuen Oralscanner und konventionelle Abformtechniken vergleichen [5].

Diskussion

Das Koordinatenmessgerät Leitz PMM 864 erlaubt die Messung von Strecken im Zentimeterbereich mit Mikrometergenauigkeit im dreidimensionalen Raum. Damit ist die Methode für die vergleichende Analyse ausgewählter Abstände zwischen Modellzähnen geeignet. Das nanotom m liefert diese Angaben ebenfalls zerstörungsfrei. Darüber hinaus kann man aus den Tomographiedaten Aussagen über die Volumenunterschiede der Modelle treffen. Die Gipsmodelle waren minimal grösser, ein Effekt, der sich durch die geringere Schrumpfung des Abformstoffes Flexitime im Gegensatz zu der grösseren Expansion des Dentalgipses Fujirock erklären lässt.

In der Literatur wird für Keramikrestaurationen ein Randspalt von 25 bis 40 µm als klinisches Ziel angesehen. Eine ausführliche Studie an mehr als 1000 Kronen zeigt, dass auch ein Randspalt von 120 µm klinisch akzeptabel ist. Diese Grösse ist auch durch die physiologische Zahneigenbeweglichkeit von 30 bis 100 µm gut verständlich. Bezogen auf diese Richtwerte können alle vermessenen Strecken auf den konventionell und digital gefertigten Meistermodellen im Bereich von Einzelzähnen und bis zu Spannweiten von Brücken bis zu vier Gliedern als klinisch gut angesehen werden. Die digital hergestellten Modelle (speziell C.O.S.) scheinen aber in transversaler Richtung komprimiert zu sein. Eine mögliche Ursache ist eine Überlagerung der Scandaten im Frontzahnbereich, die zu einer transversalen Kompression im Molarenbereich führt. Diese Kompression konnte man sowohl mit den Daten der Koordinatenmessmaschine als auch mit Hilfe der CT-Bilder bestätigen.

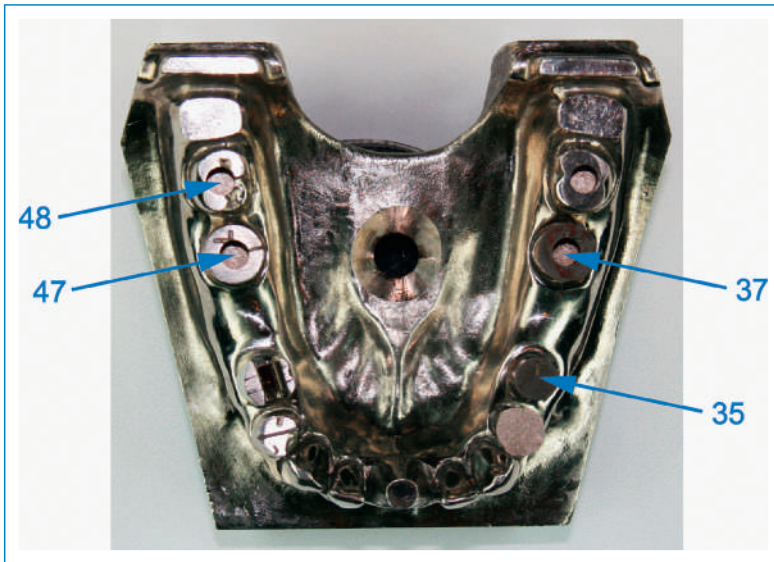


Abbildung 1
Metallguss-Standard mit den ausgewählten Markern zur Längenmessung mittels Koordinatenmessmaschine PMM 864 und Mikrotomographie.

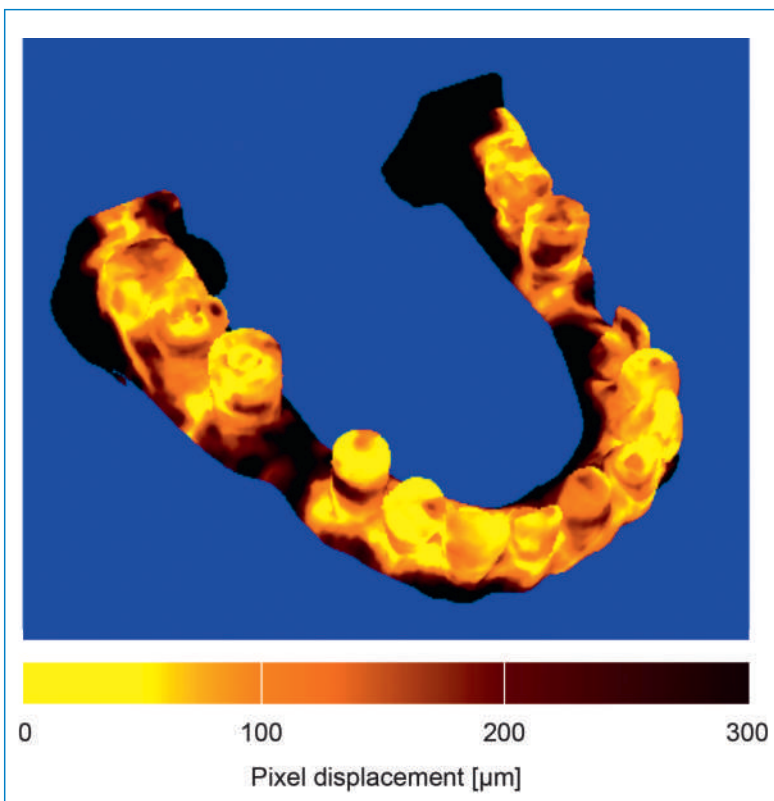


Abbildung 2
Exakte dreidimensionale Vermessung der Modelle durch Bestimmung des lokalen Verformungsfeldes anhand der Tomographiedaten des nanotom m und der Registrierungssoftware [4]. Die dunklen Bereiche (typischerweise meist Weichgewebe) zeigen die grössten Abweichungen des Gipsmodells vom Standard.

Tabelle 1

Beispiele gemessener Strecken der Referenz (Stahlguss) und der Modelle in Mikrometern.

Masse in μm	Distanz 48–47		Distanz 37–47		Durchmesser 35	
	PMM 864	nanotom m	PMM 864	nanotom m	PMM 864	nanotom m
Referenz	10 132	10 111	44 535	44 488	6005	6430
Gips	10 140 \pm 5	10 120 \pm 9	44 556 \pm 10	44 464 \pm 10	6010 \pm 14	6090 \pm 35
iTero	10 120 \pm 11	10 106 \pm 10	44 521 \pm 84	44 570 \pm 72	5991 \pm 21	6088 \pm 28
C.O.S.	10 099 \pm 51	10 104 \pm 46	44 312 \pm 268	44 340 \pm 313	6019 \pm 34	6135 \pm 64

Da die heutigen Frames, aus welchen die jeweiligen Gerüste, sei es Lava™ Zirkonoxid, Lava™ Ultimate oder auch VITA SUPRINITY®, gefräst werden, immer grösser werden und somit die möglichen Spannweiten von Brücken immer ausgedehnter gefertigt werden können, ist es wichtig, dass bezüglich der transversalen Diskrepanzen weitere Entwicklungen betrieben werden. Auch jüngste Entwicklungen wie PEEK-OPTIMA®, die mittelfristig Möglichkeiten bieten werden, Prothesengerüste zu fräsen, sind auf die präzise digitale Abdrucknahme von oralen Situationen angewiesen.

Danksagung

Die Autoren danken dem Schweizerischen Nationalfonds, Abteilung Biologie und Medizin, der im Rahmen der R'Equip-Initiative die Beschaffung des phoenix nanotom® m finanziell unterstützt hat (Grant 316030_133802/1).

Korrespondenz:

Prof. Dr. med. dent. Kurt Jäger
Biomaterials Science Center der Universität Basel
Universitätsspital Basel
CH-4031 Basel
[Kurt.Jaeger\[at\]unibas.ch](mailto:Kurt.Jaeger[at]unibas.ch)

Literatur

- 1 Kachalia PR, Geissberger MJ: Dentistry a la carte: in-office CAD/CAM technology. *J Calif Dent Assoc.* 2010;38:323–30.
- 2 Jäger K, Vögtlin C. Digitaler Workflow mit dem Lava Chairside Oral Scanner COS und der Lava-Technik. *Schweiz Monatschr Zahnmed.* 2012;122:307–24.
- 3 Vögtlin C, Schulz G, Deyhle H, Jäger K, Liebrich T, Weikert S, Müller B. Comparison of denture models by means of micro computed tomography. *Proceedings of SPIE.* 2012;8506:85061S.
- 4 Müller B, Deyhle H, Lang S, Schulz G, Bormann T, Fierz F, Hieber S. Three-dimensional registration of tomography data for quantification in biomaterials science. *Int J Mater Res.* 2012;103:242–9.
- 5 Brogle-Kim Y-C, Deyhle H, Müller B, Schulz G, Bormann T, Beckmann F, Jäger K. Evaluation of oral scanning in comparison to impression using three-dimensional registration. *Proceedings of SPIE.* 2012;8506:85061R.