

Untersuchung zur Maßhaltigkeit und Dimensionsstabilität von Zahnmodellen mit Hilfe industrieller Computertomographie als Alternative zu optischer Messtechnik

C. FUNK*, S. KASPERL*, M. KRUMM*,
S. STEINHÄUSER-ANDRESEN**, A. DETTERBECK**, U. HIRSCHFELDER**

* Fraunhofer Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT
(Dr.-Mack-Str. 81, 90762 Fürth)

** Universitätsklinikum Erlangen-Nürnberg Zahnklinik 3-Kieferorthopädie
(Glückstr. 11, 91054 Erlangen)

Kurzfassung. Mittels computertomographischer Aufnahmen können Abformungen im zahnmedizinischen Bereich als virtuelle Datensätze gespeichert und bearbeitet werden. Ziel der Studie war die Evaluation der Einflussparameter bei unterschiedlichen Abformmaterialien und Abformlöffeln und deren Relevanz im Bezug auf Genauigkeit und Dimensionsstabilität.

Einleitung

In der Zahnmedizin werden heutzutage zunehmend digitale Technologien eingesetzt, die ein Abbild des Zahnstatus generieren und virtuelle Modelle erzeugen [7]. Diese erleichtern die Archivierung, reduzieren das Risiko von Modellverlust oder -beschädigung und ermöglichen eine interaktive Kommunikation zwischen Ärzten oder zwischen dem behandelnden Arzt und dem Patienten auf elektronischem Weg [2, 3, 6]. Auch für kieferorthopädische Fragestellungen werden seit geraumer Zeit aus 3D-Datensätzen virtuell erzeugte Kiefermodelle zur Diagnostik und Behandlungsplanung generiert. Die Auswertung der computerbasierten Datensätze wird dabei durch die fortwährende Entwicklung neuer Softwareanwendungen stetig vereinfacht und verbessert [6]. Die Erzeugung von virtuellen 3D-Modellen und die Durchführung digitaler Modellanalysen haben sich in mehreren Studien als präzise erwiesen, das heißt, ihre Genauigkeit bewegt sich in einem klinisch akzeptablen Rahmen.

Grundsätzlich sprechen viele Faktoren für eine virtuelle Generierung von Kiefermodellen durch direkte Digitalisierung der Abformung mittels CT-Technologie. Vor diesem Hintergrund war es das Ziel, die Messgenauigkeit industrieller computertomographischer Messverfahren für das direkte Scannen von Kieferabformungen zu ermitteln. Dabei sollte auch der Einfluss verschiedenartiger dentaler Abformmaterialien einschließlich ihrer Dimensionsstabilität über einen definierten Zeitraum hinweg analysiert sowie verschiedene Abformlöffel als mögliche Einflussfaktoren für die Ergebnisqualität der CT-Datenqualität getestet werden.



Abbildung 1. Das Acryl-Schaummodell (a) wurde mittels der hochauflösenden μ CT-Forschungsanlage Mikrofokus 3D-CT digitalisiert und als Referenzmodell (b) für die Genauigkeitsbestimmung herangezogen

Material und Methodik

Abformmaterialien und Abformlöffel

Es wurden drei Abformmaterialien in Kombination mit je zwei Kunststofflöffeln zur Prüfung der Materialien verwendet. Als erstes Testmaterial wurde das in der Kieferorthopädie häufig verwendete Alginate Tetrachrom® (Kaniedenta, Herford, Deutschland) ausgewählt. Als weiteres Alginatabformmaterial kam Hydrogum®5 (Zhermack, Badia Polesine, Italien) zur Anwendung, welches der Hersteller als fünf Tage dimensionsstabil angibt. Als drittes Material wurde das Polyether Impregum™ von 3M Espe (Neuss, Deutschland) verwendet. Es gilt als besonders präzise und dimensionsstabil [4, 5, 7]. Die Messergebnisse des Polyether-Abformmaterials sollten aufgrund seiner Materialeigenschaften mit den Messergebnissen der Alginatabformungen verglichen werden. Alle drei Abformmaterialien wurden über den Zeitraum von sieben Tagen auf ihre Dimensionsstabilität hin überprüft. Dabei wurden die Tetrachrom®-Abformungen entsprechend der Herstellerangaben in feuchten Kammern transportiert, konserviert und zu den nachfolgend definierten Untersuchungszeitpunkten gescannt. Die Hydrogum® 5-Abdrücke wurden laut Herstellerangaben in einer luftdicht verschlossenen Plastiktüte gelagert und ebenfalls zu definierten Zeitpunkten gescannt (s. Auswertungsmethodik). Die Abformungen wurden mit handelsüblichen Kunststofflöffeln digitalisiert. Es wurden die Löffel Position™ Tray (3M Espe, Neuss, Deutschland) und Opti-Tray™ (Profimed, Stephanskirchen, Deutschland) verwendet. Auf die Verwendung von Abformlöffeln aus metallischen Werkstoffen wurde verzichtet, da dies in den CT-Daten zu Metallartefakten führt und eine exakte Auswertung verhindert.

Referenzmodell

Die Abformungen mit den beschriebenen Testmaterialien wurden von einem „idealen“ kieferorthopädischen Acryl-Schaummodell ohne dysgnathe Zahnstellungsanomalie von einem geschulten Untersucher genommen, welches als Referenzmodell für die Abformung und Abbildung der Zähne und des Gaumens diente (Abbildung 1a). Durch dieses methodische Vorgehen sollten mögliche Fehlerquellen bei der Abformung vermieden werden, welche ggf. die Qualität der Abformung beeinflussen können, wie beispielsweise die unterschiedliche berufliche Erfahrung des Behandlers oder die individuell unterschiedliche Zahnbeweglichkeit. Zudem wies das Acryl-Schaummodell sehr gute Eigenschaften hinsichtlich der Eignung zur computertomographischen Bildgebung auf. Dieses Schaummodell wird daher nachfolgend in der digitalisierten Form als Referenzmodell bezeichnet (Abbildung 1b).

CT-Untersuchungsmethodik

In der vorliegenden Studie wurden zwei industrielle Computertomographieanlagen des Entwicklungszentrums Röntgentechnik genutzt. Alle Abformungen wurden mittels der Anlage CT500® der Firma MacroScience Technology (Unterhaching, Deutschland) unter Verwendung stets gleich bleibender Parameter und Aufnahmebedingungen gescannt. In der industriellen Computertomographie werden zur Kalibrierung der gescannten Volumendatensätze kalibrierte Referenzkörper (z. B. Kugelstäbe) herangezogen. Diese Referenzkörper wurden in regelmäßigen Abständen mit im Aufnahmevolumen platziert und digitalisiert, um Anlagenfehlstellungen und die Voxelgröße zu korrigieren. Die Voxelgröße einer jeden Messung kann somit präzise angegeben werden. Eine regelmäßige Kontrolle dieser Kenngrößen führte zu einer messtechnisch exakten Auswertung. Die Voxelgröße entsprach bei allen Messungen im Durchschnitt einer Kantenlänge von 100 µm. Bei einem Voxel handelt es sich um das dreidimensionale Äquivalent eines Pixels. Ein Voxel gibt den Wert des linearen Schwächungskoeffizienten einer bestimmten XYZ-Koordinate des Datensatzes an. Aus Gründen einer vereinfachten Datenbehandlung und Darstellbarkeit der Schichtbilder wird der lineare Schwächungskoeffizient auf einen festzulegenden Wertebereich (hier 16 Bit) skaliert und in Form von Grauwerten angegeben. Durch die Normierung wird dem Voxel mit dem höchsten linearen Schwächungskoeffizienten der Wert 65535 zugewiesen. Eine Normierung auf Hounsfield Units (HU) wie in der medizinischen Bildgebung erfolgt hier nicht. Für den Scanvorgang wurde eine Systemspannung von 170 kV, die Stromstärke von 0,12 mA sowie die Belichtungszeit von 333 ms gewählt. Die Digitalisierung des Referenzmodells erfolgte mit der hochauflösenden µCT-Forschungsanlage Mikrofocus 3D-CT® des Fraunhofer-Instituts. Dabei wurden folgende Parameter voreingestellt: Voxelgröße mit ca. 41 µm Kantenlänge, Systemspannung 200 kV, Stromstärke 0,2 mA und Belichtungszeit 666 ms. Die µCT-Aufnahme des Referenzmodells wurde mit dem Helixverfahren erstellt.

Auswertungsmethodik

Die Studie wurde in eine experimentelle Untersuchung zur Ermittlung der zeitlichen Dimensionsstabilität der Abformmaterialien und in eine experimentelle Untersuchung zur Erfassung der Genauigkeit unterteilt. Nach Abdrucknahme des Acryl-Schaumodells wurden die Abformungen im Fraunhofer Institut Abteilung Entwicklungszentrum Röntgentechnik (EZRT) in Fürth schnellstmöglich computertomographisch digitalisiert. Insgesamt wurden 15 Scanvorgänge pro Testmaterial und pro Abformlöffel in zeitlichen definierten Abständen vorgenommen. Jeder Abdruck wurde noch am selben Tag zehnmal mittels der Anlage CT500® der Firma MacroScience Technology gescannt. Am dritten Tag nach Abdrucknahme folgten drei Scandurchgänge und am siebten Tag zwei weitere. Durch diese Untersuchungs- und Auswertungsmethodik war eine Bestimmung der zeitlichen Dimensionsstabilität der unterschiedlichen Testmaterialien möglich.

Dimensionsstabilität der Abformmaterialien

Zur Untersuchung der Dimensionsstabilität der getesteten kieferorthopädischen Abformmaterialien (Verhalten der Abdrücke über einen definierten Zeitraum hinweg) war es erforderlich, die erste CT-Aufnahme jedes Testmaterials unmittelbar nach Abdrucknahme mit beiden verwendeten Löffelarten als Referenzaufnahme zu definieren. Anschließend wurden die nachfolgenden CT-Datensätze mit der zuvor erstellten Referenzaufnahme verglichen. Zwischen der Abformung, die von dem Referenzmodell genommen wurde, der fachgerechten Lagerung und der ersten CT-Referenzaufnahme lag ein Zeitraum von durchschnittlich 60 Minuten. Die CT-Digitalisierung der Abformungen nahm pro Untersuchung 45 Minuten in Anspruch. Insgesamt wurden pro Material- und Löffelkombination 15 CT-Messdurchgänge vorgenommen. Nach dem Datenimport und der

Schwelwertfindung zur Segmentierung der unterschiedlichen Materialien wurden die jeweils folgenden 14 CT-Registrierungen mit der ersten Referenzaufnahme verglichen.

Zur messtechnischen Auswertung war die Segmentierung der Materialien durch Bestimmung der Grauwerte notwendig. Der mittlere Grauwert des Abformmaterials Polyether Impregum™ von 3M Espe lag beispielsweise bei ca. 6100 Grauwerten, der des Abformlöffels bei ca. 4500 und der des Hintergrunds (Luft) bei 0. Folglich ergab sich zur Segmentierung des auszuwertenden Abformmaterials Polyether Impregum™ ein globaler Schwellwert von 5300 als arithmetisches Mittel der zuvor bestimmten mittleren Grauwerte von Abformmaterial und Abformlöffel (Abbildung 2a). Als globaler Schwellwert wurde der Grauwert bezeichnet, mit dem in der gesamten Aufnahme der Übergang zwischen Abformmaterial und Abformlöffel bestimmt wurde. Dieser globale Schwellwert diente als Startpunkt für die lokale Schwelwertfindung. Die Einheit der Schwellwerte in der industriellen Computertomographie sind ebenfalls 16-Bit-Grauwerte, nicht HU (Hounsfield Units), da keine Normierung auf Wasser stattfindet. Die lokale Schwelwertfindung war notwendig, da in manchen Bereichen des CT-Bildes aufgrund von Artefakten wie z. B. Strahlaufhärtung oder Streustrahlung der Materialübergang einen anderen Schwellwert aufwies. Bei der lokalen Schwelwertfindung wurde lokal nach dem exakten Übergang zwischen Abformmaterial und Abformlöffel gesucht, was zu einem genaueren Messergebnis führte (Abbildung 2b). Der Vergleich erfolgte durch eine Überlagerung, der vorher zugeschnittenen CT-Datensätze mittels der systembedingten „Best-Fit-Ausrichtung“. Dabei bestimmte die Software den Schwerpunkt eines jeden Datensatzes und überlagerte diese virtuell. Die Rotation der Datensätze um den Schwerpunkt wurde in mehreren Iterationen, d. h. die Anzahl an Überlagerungsversuchen, so lange durchgeführt, bis die Abstandsquadrate minimal waren. Die gefundene Position wurde anschließend gespeichert und die Abweichungen der beiden Datensätze visualisiert.

Anschließend erfolgte die Analyse der lokalen Abweichungen in Form einer statistischen Betrachtung. Dazu wurde zunächst die relative Häufigkeitsverteilung der absoluten lokalen Abweichungen bestimmt und in einem Histogramm dargestellt. Daraus ließ sich die normierte kumulierte Häufigkeitsverteilung (cvd) durch Summation ableiten. Zur Bestimmung einer Kennzahl für die Gesamtabweichung der Datensätze wurde ein Konfidenzintervall von 95% verwendet. Dieses Intervall gibt an, wie hoch die lokale absolute Abweichung zwischen den Datensätzen ist, damit 95% aller Abweichungen erfasst sind. Dieser Schritt war zur Ausreißereliminierung zweckmäßig, da die Bildgebung durch Rauschprozesse beeinflusst wird und somit teils hohe lokale Abweichungen auftreten können, die jedoch keiner Messobjektstruktur entsprechen.

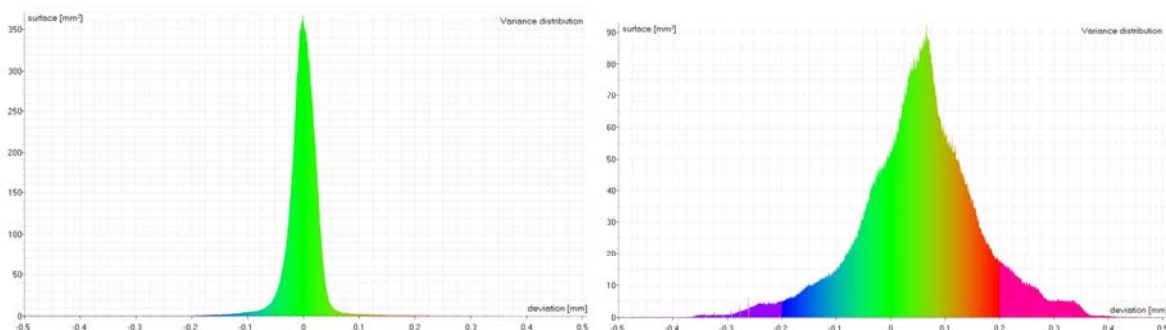


Abbildung 2. Graphische Darstellung der Wertermittlung anhand einer Beispielskombination Tetrachrom and Position™-Tray. Graphische Verteilung der Abweichung der überlagerten Datenpunkte in mm über die gesamte Oberfläche (mm²). Definition der maximalen Distanz der Datenpunkte zueinander zur Berechnung der normierten kumulierten Häufigkeitsverteilung (cvd) aufgrund der Materialabweichungen nach sechs Tagen. a) Bei der ersten und zweiten Aufnahme wurden 0,2 mm maximale Distanz festgelegt, b) bei der ersten und 15. Aufnahme wurden 0,5 mm maximale Distanz festgelegt

Genauigkeit der Abformmaterialien

Der zweite Teil der Auswertung bezog sich auf die Genauigkeit der jeweiligen Abformmaterialien im Vergleich zum Referenzmodell. Dazu wurde das mittels der hochauflösenden μ CT-Forschungsanlage Mikrofocuss 3D-CT digitalisierte Referenzmodell mit dem jeweils ersten CT-Datensatz einer Abformkombination verglichen. Hierzu erfolgte auch eine Überlagerung der beiden Datensätze mittels der „Best-Fit-Ausrichtung“. Danach wurde zwischen den Abformungen und dem Referenzmodell die normierte kumulierte Häufigkeitsverteilung (cvd) in mm bei einem Konfidenzintervall von 95% bestimmt.

Statistische Auswertung

Anhand der vorliegenden Messergebnisse (15 Messungen pro Abformmaterial- und Löffelkombination) und aufgrund des Fehlens von Regelgeometrien wurde in der vorliegenden Untersuchung eine rein deskriptive Datenanalyse mit Ermittlung von Mittelwerten, Standardabweichungen und normierten kumulierten Häufigkeitsverteilungen durchgeführt. Nach der Ausrichtung der beiden gemessenen Datensätze folgte die Durchführung eines Ist-Ist-Vergleiches, bei dem auch die normierte kumulierte Häufigkeitsverteilung angegeben wurde. Zur Angabe der normierten kumulierten Häufigkeitsverteilung wurde vorher ein fester Prozentsatz aller Datenpunkte vorgegeben, der bei 95% aller Punkte lag, was dem Konfidenzintervall um den jeweiligen Mittelwert der Abweichungen entsprach. Somit wurden 5% der Ausreißerpunkte eliminiert und nicht in die Auswertung mit einbezogen.

Die maximale Distanz wurde bei allen Datensätzen auf 0,20 mm festgelegt. Dies entsprach der doppelten Voxelgröße welche als Standardwert für diese Größe gilt. Bei den Aufnahmen nach zwei Tagen kam es zu material- und zeitbedingten Abweichungen, so dass relevante Datenpunkte nicht mehr erfasst werden konnten, da ein Großteil der Punkte außerhalb des Intervalls der maximalen Distanz lag. Daher wurde bei allen Datensätzen, die nach zwei Tagen gemessen wurden, die maximale Distanz von 0,20 mm auf 0,50 mm erhöht. Dies bezog alle relevanten Datenpunkte ein, was durch die Histogramme am Beispiel von Tetrachrom® in Kombination mit Position™ Tray verdeutlicht wird (Abbildung 2 a,b). Zusätzlich wurden alle Messungen einer Datenreihe für den jeweiligen Tag gemittelt und die Standardabweichung aller Werte berechnet.

Ergebnisse

Dimensionsstabilität der Abformmaterialien

Der erste Teil der Untersuchung, welcher die Ermittlung der Dimensionsstabilität der Materialien betraf, brachte Erkenntnisse über das Verhalten der Abformmaterialien über einen definierten Zeitraum hinweg. Am Tag der Abdrucknahme differierten die Messwerte der zehnmal gescannten Durchgänge aller Abformmaterial- und Löffelkombinationen im Bereich von 0,1 mm. Die größte gemessene Abweichung von 0,103 mm trat am ersten Tag bei der Abformung mit dem Alginat Tetrachrom® in Kombination mit dem Opti-Tray-Löffel auf. Die geringste gemessene Abweichung von 0,034 mm trat bei der Abdruckkombination Hydrogum® 5 mit dem Opti-Tray-Abformlöffel auf. Die Messungen mit dem Polyether Impregum™ und beiden Löffelkombinationen verliefen am ersten Tag weitgehend konstant. Die normierte kumulierte Häufigkeitsverteilung der Alginatmaterialien hingegen stieg bereits innerhalb des ersten Tages an, was auf eine Abnahme der Dimensionsstabilität hinwies. Am dritten Tag zeigten sich die beiden Alginatabformmaterialien Hydrogum®5 und Tetrachrom®, trotz Lagerung nach Herstellerangaben weniger dimensionsstabil als das Polyether-Abformmaterial Impregum™. Das Alginat Hydrogum® 5 wies eine stärkere Abweichung von bis zu

0,169 mm in Kombination mit dem Position™-Tray-Abformlöffel auf. Die Tetrachrom®-Abformungen zeigten sich in der jeweils vergleichbaren Löffelkombination etwas dimensionsstabiler gegenüber dem Hydrogum® 5-Material. In Kombination mit dem Opti-Tray-Löffel blieb die Dimensionsstabilität des Alginatmaterials Tetrachrom® bei allen drei Aufnahmen konstant bei 0,130 mm. In Kombination mit dem Position™-Tray-Löffel betrug die Abweichung bis zu 0,167 mm. Die Alginatmaterialien wichen am dritten Tag im Mittel $0,153 \text{ mm} \pm 0,016 \text{ mm}$ von ihrer jeweils ersten Aufnahme ab. Die Polyetherabformungen erreichten am dritten Tag eine mittlere Abweichung von $0,068 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$. Deutlicher wurde die unterschiedliche Abweichung am siebten Tag. Hier ergab die Alginatabformung Hydrogum® 5 mit beiden Löffelkombinationen eine stärkere Abweichung von bis zu 0,426 mm im Vergleich zur ersten Aufnahme mit dieser Abformung. Bei der Tetrachrom®-Abformung wurden Abweichungen von maximal 0,275 mm mit dem Opti-Tray-Löffel gemessen. Das Polyether Impregum™ zeigte sich am dimensionsstabilsten in Kombination mit dem Opti-Tray-Löffel (bis 0,070 mm) und die Kombination mit dem Position™-Tray-Löffel ergab bis zu 0,211 mm.

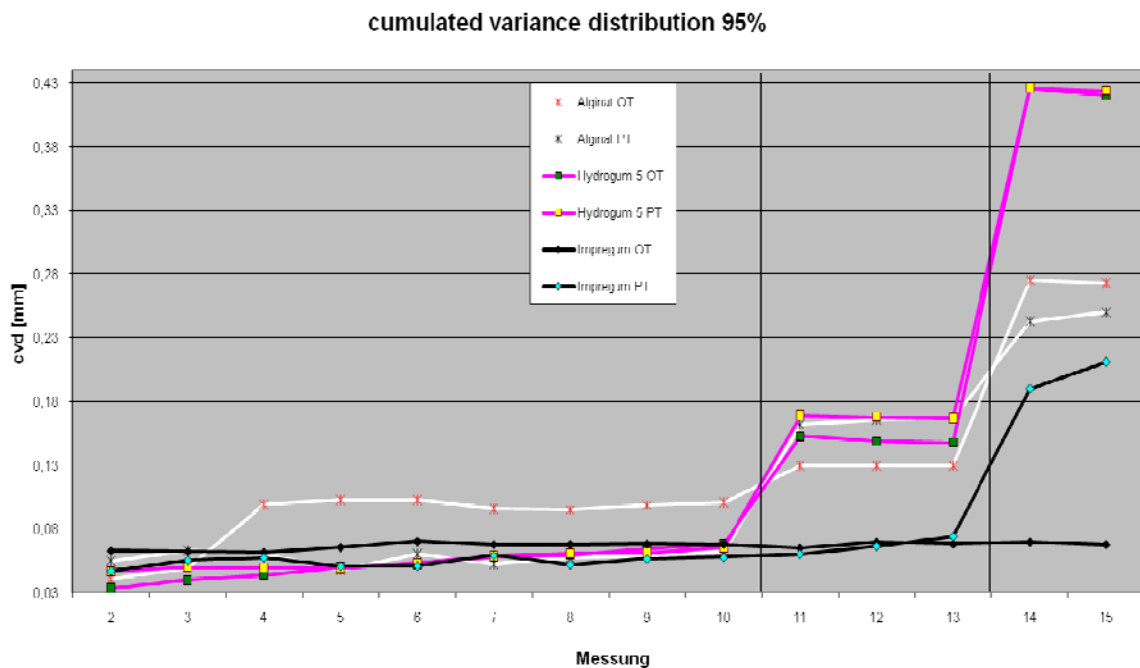


Abbildung 3. Zeitliches Verhalten der Dimensionsstabilität der Abformmaterialien und -löffel. Zehn Aufnahmen am Tag 1, drei am Tag 3, zwei am Tag 7. Die erste CT-Aufnahme diente als Referenzaufnahme. cvd in mm= normierte kumulierte Häufigkeitsverteilung bei einem Konfidenzintervall von 95%. (PT = Position™ Tray, 3M Espe; OT = Opti-Tray, Profimed)

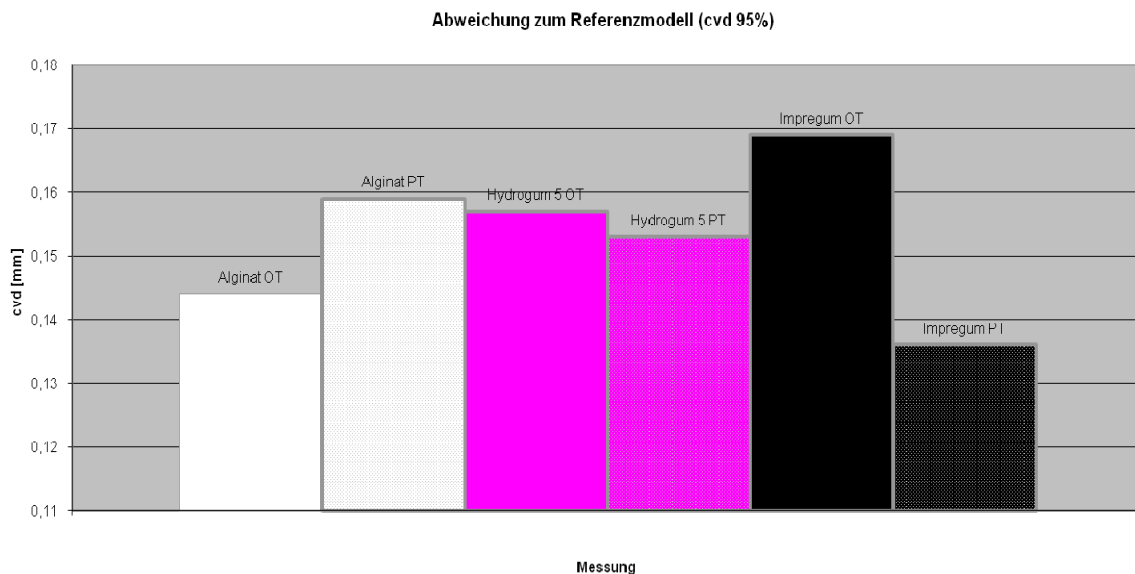


Abbildung 4. Genauigkeit der Abformmaterialien und Abformlöffelkombinationen im Vergleich zum digitalisierten Schaummodell (Referenzmodell) mit der jeweils ersten CT-Aufnahme. Normierte kumulierte Häufigkeitsverteilung (cvd) in mm bei Konfidenzintervall von 95%. (PT = Position™ Tray, 3M Espe; OT = Opti-Tray, Profimed)

Genauigkeit der Abformmaterialien

Beim zweiten Abschnitt der Untersuchung, die Ermittlung der Genauigkeit der Abdrücke, war festzustellen, dass beide Alginatabformungen ähnlich exakt waren und die Art des Löffels das Ergebnis nur gering beeinflusste (Abbildung 4). Hydrogum® 5 erreichte einen Mittelwert von $0,129 \text{ mm} \pm 0,021 \text{ mm}$ und Tetrachrom® von $0,137 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$. Die Genauigkeit der Impregum™-Abformungen hing von der gewählten Löffelkombination ab. So erreichte die Impregum™-Abformung in Kombination mit Position™ Tray den geringsten Wert von $0,062 \text{ mm}$, mit dem Opti-Tray-Löffel wurden dagegen $0,133 \text{ mm}$ gemessen. Bei der Abdruckkombination Hydrogum® 5 – Opti-Tray zeigten sich am dritten Tag noch keine Veränderungen (Abbildung 5) bei der graphischen Darstellung der Messpunktstreuung beim Ist-Ist-Vergleich. Die graphische Darstellung wurde durch die Überlagerung zweier CT-Datensätze bestimmt. Kurz nach Beendigung der Messreihe waren auch makroskopische Veränderungen auf der Abformung sichtbar. Die Analyse im Mikrobiologischen Institut des Universitätsklinikums Erlangen wies eine Bildung von *Cladosporium species* nach. Ähnliche Veränderungen waren ebenfalls bei allen anderen Hydrogum® 5-Abformungen zu beobachten.

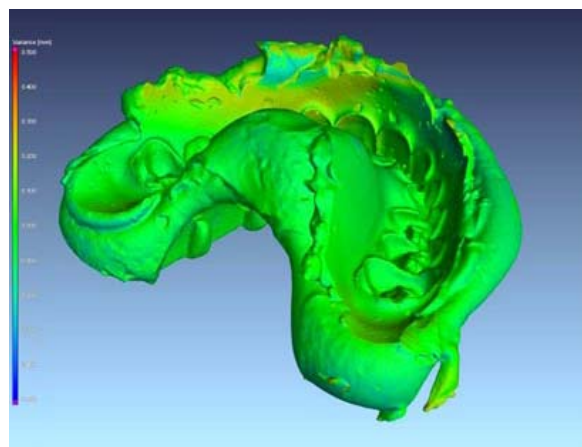


Abbildung 5. Graphische Darstellung der Messpunktstreuung beim Ist-Ist-Vergleich der Abformkombination Hydrogum®5 und Opti Tray. Aufnahme 12 im Vergleich zur Referenzaufnahme

Diskussion

In der vorliegenden Studie erwiesen sich die Alginatabformungen erwartungsgemäß weniger dimensionsstabil über den angegebenen Zeitraum als die Impregum™-Abformungen. Auffällig war, dass die Messergebnisse des Hydrogum® 5-Materials nach sieben Tagen beinahe doppelt so viel von denen der ersten Aufnahme abwichen im Vergleich zum Alginatmaterial Tetrachrom®. Die abweichenden Messergebnisse der vierten Aufnahme der Tetrachrom® – Opti-Tray-Kombination sowie der 14. Aufnahme der Impregum™ – Position™-Tray-Kombination, dürften auf einen systematischen Fehler zurückzuführen sein. Darauf lässt der in Abbildung 4 dargestellte Kurvenverlauf des jeweiligen Graphen schließen. Ursächlich hierfür könnte eine Vielzahl von Faktoren sein, wie instrumentelle Einflüsse, Bedienungsfehler sowie Umwelteinflüsse (Temperatur, Luftdruck, Feuchtigkeit etc.), die in weiteren Folgestudien optimiert werden sollten. Die Abweichungen aller Alginatabformungen ergaben am dritten Tag einen Mittelwert von $0,153 \text{ mm} \pm 0,016 \text{ mm}$. Die erste CT-Aufnahme, die ca. 60 Minuten nach Abdrucknahme erfolgte, ist somit im Schnitt lediglich um $0,153 \text{ mm}$ genauer als die CT-Aufnahme einer Alginatabformung, die drei Tage lang in einer feuchten Kammer gelagert wurde.

Ein klinisch relevantes Ergebnis der Genauigkeitsanalyse bei der metrischen und graphischen Gegenüberstellung der verschiedenen Material- und Löffelkombinationen zeigte sich in der Differenz zwischen den genauesten und ungenauesten Messwerten. Dadurch wird deutlich, dass sich die Hydrogum® 5-Opti-Tray-Abformung in ihrer Genauigkeit um $0,081 \text{ mm}$ von der Impregum™-Position™ Tray-Abformung unterscheidet. Für den klinischen Alltag lässt sich somit ableiten, dass im Rahmen einer sorgfältigen Kosten-Nutzen-Evaluation indikationsspezifisch abgewogen werden muss, welches Abformmaterial geeignet und wirklich notwendig ist. Für die meisten kieferorthopädischen Situationsabformungen dürfte das Alginatmaterial jedoch ausreichend genau sein, da der dabei auftretende minimal größere Fehler für die klinisch-diagnostische Anwendung in der Kieferorthopädie kaum ins Gewicht fällt. Die Messwertdifferenz bei der Genauigkeitsbestimmung der Impregum™-Abformungen ist vermutlich auf die unterschiedliche Form der beiden Löffel zurückzuführen. Der Opti-Tray-Abformlöffel von Profimed hatte eine subjektiv wahrgenommene geringere Retentionswirkung gegenüber dem Position™ Tray von 3M Espe, welches das Abziehen der Impregum™-Abformung vom Referenzmodell besonders im anterioren Bereich erschwerte. Dadurch könnte es unter Umständen zu relevanten Verformungen im Material und somit zu Abweichungen der Messwerte gekommen sein.

Schlussfolgerungen

Die Studie lässt darauf schließen, dass die Genauigkeit computertomographisch erzeugter virtueller Modelle von der Art des verwendeten Abformmaterials und Abformlöffels abhängt. Es zeigte sich, dass die Genauigkeit der Alginatabformungen aus kieferorthopädischer Sicht klinisch ausreichend ist und bei korrekter Lagerung auch nach zwei Tagen noch klinisch akzeptable Ergebnisse bezüglich der Dimensionsstabilität aufweist. Hydrogum® 5-Abformungen ergaben eine minimal bessere Genauigkeit gegenüber der Referenzmessung aber eine geringere Dimensionsstabilität als Tetrachrom®-Abformungen. Abformungen mit Impregum™ gaben die Situation des Referenzmodells sehr exakt wieder und blieben über den zeitlichen Verlauf am dimensionsstabilsten. Die Impregum™-Masse zeigte sich in der Kombination mit einem Opti-Tray-Löffel über alle Messungen als sehr konstant. Bei dem Position™-Tray-Löffel kam es am siebten Tag zu deutlicheren Abweichungen von bis zu $0,211 \text{ mm}$.

Referenzen

- [1] Kasperl S, Hiller J (2009) Artefaktkorrekturen beim dimensionellen Messen mit industrieller Röntgen-Computertomographie. *tm – Technisches Messen* 76:401–409
- [2] Alcan T, Ceylanoglu C, Baysal B (2009) The relationship between digital model accuracy and time-dependent deformation of alginate impressions. *Angle Orthod* 79:30–36
- [3] Dalstra M, Melsen B (2009) From alginate impressions to digital virtual models: accuracy and reproducibility. *J Orthod* 36:36–41; discussion 14
- [4] Endo T, Finger WJ (2006) Dimensional accuracy of a new polyether impression material. *Quintessence Int* 37:47–51
- [5] Faria AC, Rodrigues RC, Macedo AP et al (2008) Accuracy of stone casts obtained by different impression materials. *Braz Oral Res* 22:293–298
- [6] Hajeer MY, Millett DT, Ayoub AF et al (2004) Applications of 3D imaging in orthodontics: Part II. *J Orthod* 31:154–162
- [7] Holst S, Blatz MB, Bergler M et al (2007) Influence of impression material and time on the 3-dimensional accuracy of implant impressions. *Quintessence Int* 38:67–73