# Digitale Abformung mit DVT – wir machen das!

Ein Beitrag von Dipl.-Inform. Frank Hornung und Prof. Dr. Gerhard Polzar.

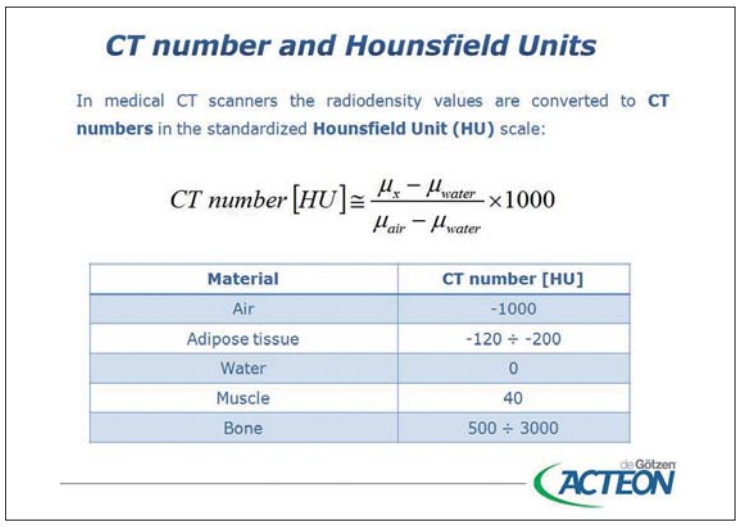



**Abb. 1:** Formel zur Berechnung der CT-Zahlen.

**Einleitung**

Die Qualität der digitalen Abformung mit DVT ist im Wesentlichen auf die Hounsfield-Kalibrierung, die bauliche Ausführung und die Software der verfügbaren DVT-Geräte zurückzuführen. Die kalibrierte Hounsfield-Skala macht aus dem digitalen Volumentomografen ein „Werkstoffprüfgerät".

Der menschliche Kopf besteht aus diversen Werkstoffen mit unterschiedlichen Dichten. Mithilfe der kalibrierten Hounsfield-Skala lässt sich die Dichte der unterschiedlichen Gewebe messen. Der HU-Wert ermöglicht also eine präzise und konstante Messung der Gewebedichte in CT-Zahlen, wodurch der Anwender eine klare Segmentierung von weichem und hartem Gewebe für eine bessere Diagnostik, u. a. Knochendichtemessung für Implantologie, Bewertung des Kiefergelenks, der Gelenkwalzen und der Atemwege, erhält.

Mit den Hounsfield-CT-Werten können dann die Knochenqualität überprüft und das Volumen der Biomaterialien berechnet werden. Das heißt: Das Gerät liefert in wenigen Sekunden verlässliche 3-D-Röntgendaten aus dem Mund-Kiefer-Gesichtsbereich inklusive Gewebedichtemessung, Kephalometrie und virtueller Endoskopie. Am Beispiel des WhiteFox CBCT (Fa. Acteon)*/** wird nachfolgend diese Technik beschrieben. Doch zunächst sollten einige Fragen geklärt werden.

**Liefert die Hounsfield-Skala wirklich exakte Werte und ist sie in der CBCT-Technik abgesichert?**

Ja, bei kalibrierten Geräten, wie z. B. das WhiteFox CBCT, wird das Gerät mit verschiedenen Prüfphantomen nach Dichte kalibriert und die Hounsfield-Kurven gespeichert. In einem regelmäßigen Turnus werden zudem alle Kalibrierungsvorgänge immer wieder nachkalibriert. Die Skalen wurden verglichen: Wir haben eine Minimalabweichung von CT-Werten unter einem Prozent festgestellt. Das ist phänomenal! Eine Vergleichsstudie, die in Kürze veröffentlicht wird, wird weitere klinische Sicherheit für die Anwender schaffen. Auch erarbeitet die Firma Acteon ein klinisches Buch, in dem Dichte- und Hounsfield-Studien gezeigt werden (Abb. 1).

Aus der Historie der CT-Scanner werden Röntgendichtewerte zu CT-Zahlen in der standarisierten HU-Scala umgewandelt. Für ein vorhandenes Gewebe X wird die CT-Zahl durch die o. g. Formel berechnet, welche die einfache lineare Transformation des Abschwächungkoeffizienten nach HU darstellt. In dieser Skala wird der HU für destilliertes Wasser bei Standarddruck und Temperatur als 0 HU definiert, während der Röntgendichtewert für Luft gleich –1.000 gesetzt wird. Anschließend werden die Werte für alle anderen Gewebe durch o. g. Formel berechnet. Es ist offensichtlich, dass die Einteilung in HU sehr nützlich ist, um Knochen und Gewebe für klinische Diagnose und Segmentierung nach Dichte zu charakterisieren (Abb. 2).

Wie bei CT-Scannern wurde zur Kalibrierung ein Phantom verwendet, um die genaue Relation zwischen CT-Zahlen (in Hounsfield-Einheiten) und Elektrondichten zu erhalten. Das Elektrondichte-Phantommodell 062M ermöglicht die genaue Korrelation von verschiedenen Geweben. Ärzte, die Diagnosen durchführen, brauchen genaue Werkzeuge, um ihre CT-Scandaten auszuwerten und zu dokumentieren (Abb. 3).

Die Linearität der HU-Kalibrierung wurde mithilfe des Phantom CIRS Model 601 getestet und die Knochenäquivalenzprobe mit dem Phantom CIRS Model 062 (Abb. 4). Die ermittelten Werte aus der Kalibrierung mit Elektrondichte-Phantomen werden als Basiskalibrierungskurve im Gerät gespeichert. Die turnusmäßige Kalibrierung im Rahmen der Qualitätssicherung erfolgt beim WhiteFox mit dem wassergefüllten QA-Phantom (Abb. 4).

Nach der Kalibrierung nach HU 0 mit Wasser werden die räumliche Homogenität (Abb. 5) und die Standardabweichung geprüft (Abb. 6). Alle Prüfungen im Rahmen der Qualitätssicherung erfolgen beim WhiteFox automatisch und benutzergeführt in einer komfortablen Softwareumgebung. Der Anwender hat optimalen Komfort und wird interaktiv schrittweise durch die einzelnen Menüs geführt. Der Zeitaufwand für die wöchentliche Kalibrierung ist mit ca. zehn Minuten sehr gering. Die Kalibrierung wird in der Regel durch qualifiziertes eingewiesenes Personal durchgeführt.

In den Abbildungen 7 und 8 wird die Linearität nach HU der Knochen-Äquivalent-Probe und der Kunststoffprobe dargestellt – die Ergebnisse sind exzellent. Die Linearität (Abb. 7) zwischen den CT-Nummern und der HA-Konzentration (Molarität = stoffmengenbezogene Dichte) wurde mit (R2 = 0.997) verifiziert.

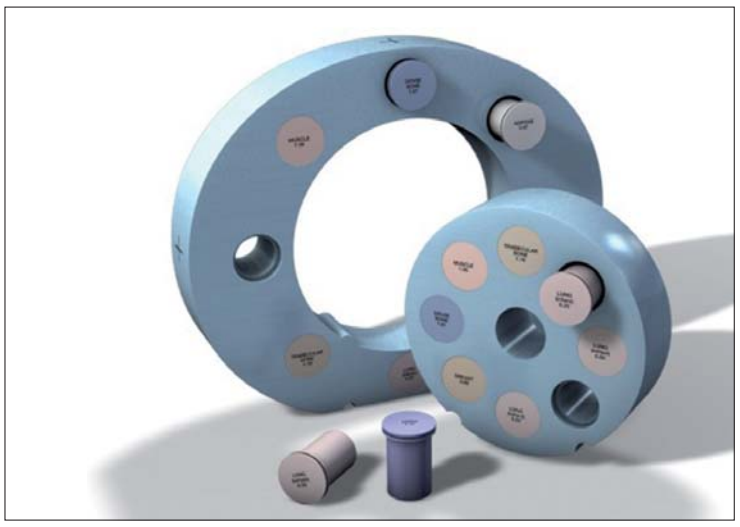


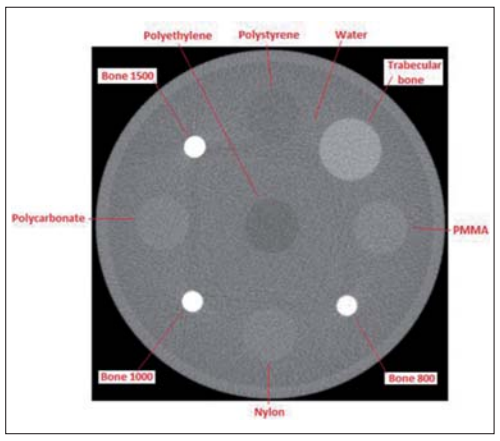
**Abb. 2:** Electro Density Phantom CIRS Model 062.

Die Linearität (Abbildung 8) zwischen den CT-Nummern und dem Dichteabschwächungskoeffizienten wurde mit (R2 = 0.957) verifiziert.

Durch die Einteilung in CT-Nummern ist es möglich, durch Filterung nach Basiswert (Bright-

Fortsetzung auf Seite 14 KN

ANZEIGE



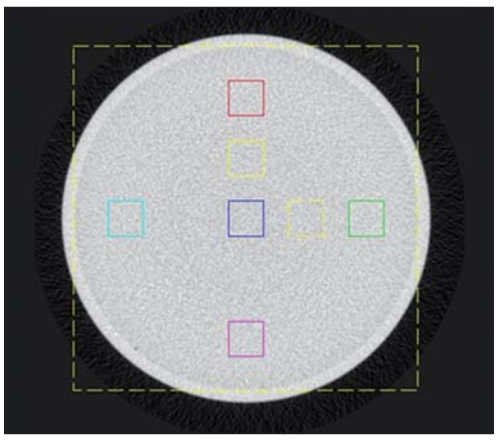


**Abb. 3:** CIRS-Scan mit WhiteFox CBCT (Fa. Acteon). – **Abb. 4:** QA-Phantom – Wasser HU 0. – **Abb. 5:** Messung der räumlichen Homogenität von Wasser (HU 0).

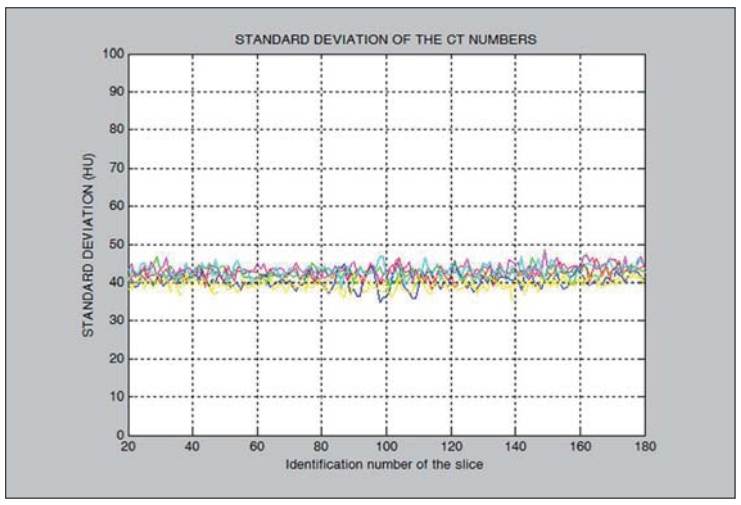



**Abb. 6:** Messung der Standardabweichung von Wasser (HU 0).

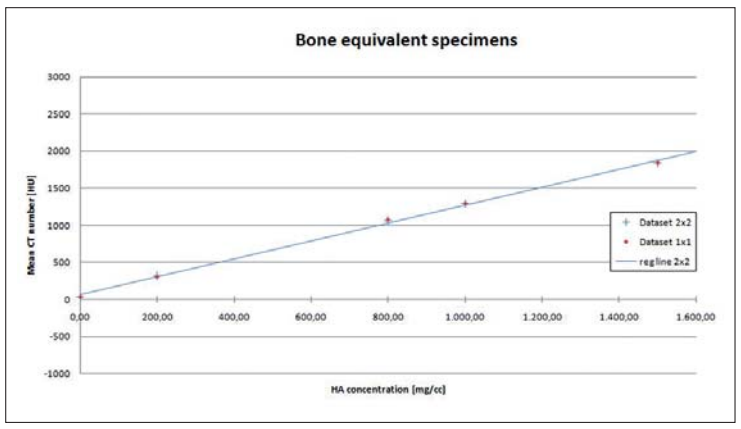



**Abb. 7:** Messung der Standardabweichung Knochen-Äquivalente.

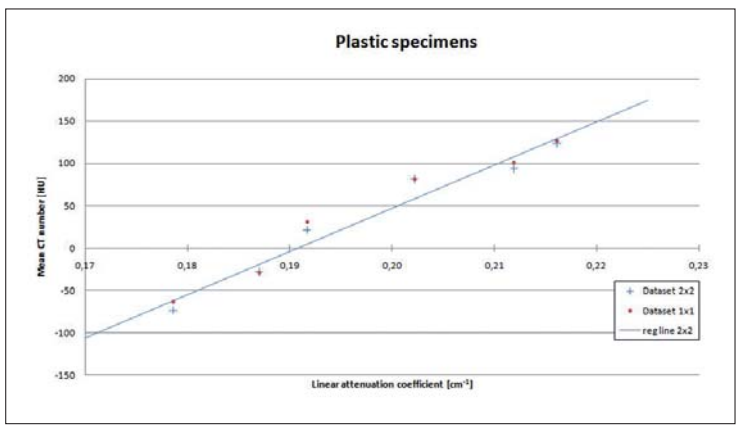



**Abb. 8:** Messung der Standardabweichung Kunststoffproben.

KN Fortsetzung von Seite 13

ness-Level) und Breite (Contrast-Width) die Voxel des Volumens nach Dichte zu segmentieren (Abb. 9, 10).

**Hat die Bauweise auch Einfluss auf die Bildqualität?**

Ja, dadurch, dass Acteon WhiteFox „nur" ein DVT- und kein Hybrid-Gerät mit integriertem OPG ist, läuft es extrem stabil. Die Aufhängung des U-Arms ist dafür verantwortlich. Ein OPG fährt in Ellipsenform, also in einer radialen und in einer X-Y-Bewegung. Ein reines DVT-Gerät muss sich nur radial drehen. Durch die stabile zentrale Lagerung der Achswelle entstehen kaum Schwingungen, es gibt keine Verwacklungen und das diagnostische Bild besitzt eine hohe Qualität. Stellen Sie sich vor, sie haben die teuerste Kamera der Welt und möchten ein Bild machen, stehen aber auf einem schwankenden Boot. So erhalten Sie kein schönes Bild. Die Rahmenbedingungen – hier im wahrsten Sinne des Wortes – müssen stimmen (Abb. 11).
Auch die spezielle Anordnung von Sensor, Detektor und Objekt garantiert beim Acteon WhiteFox verzerrungsfreie Bilder. Konkret heißt das: Der Abstand vom Objekt in der Mitte der Maschine zum Sensor muss klein sein, der Abstand von der Röhre muss möglichst weit weg sein. Dadurch läuft der Strahlengang flacher und die Abbildung wird schärfer. Bei genanntem Volumentomografen ist dies der Fall.

**Wie praxisbezogen ist die zum System gehörende Software?**

**Wie sieht es mit der Integration in Fremdsoftware aus?**

Zur Nachbearbeitung eines Bildes benötigt man eine gute und auf das System abgestimmte Software. Die firmenintern entwickelte Software WhiteFox 4.0 ist optimal auf das Gerät eingestellt und alle Kalibrierungs- und Qualitätssicherungsroutinen sind optimal integriert. Sie erleichtert dem Anwender die Analyse mithilfe diverser leistungsfähiger Bildverarbeitungsfunktionen – ob zur Visualisierung, Diagnostik, zur Behandlungsplanung oder zur weiterführenden Darstellung (Report) an den Überweiser.
Das Problem bei anderen Maschinen, die derzeit auf dem Markt erhältlich sind, liegt oft daran, dass die Software fremdentwickelt wurde und sie dann mit dem Gerät nicht optimal harmoniert. Das ist vergleichbar mit einem Müller, der sein Brot mit fremdem Mehl backt. Am besten kommt alles aus einer Hand, dann wird das Brot am besten schmecken bzw. das Bild perfekt sein. Bei Acteon ist die digitale Systemkompetenz aus einer Hand also wirklich gegeben. Gleichzeitig bietet die Software revolutionäre offene Schnittstellen zur Integration in CAD/CAM-Verfahren und ist sowohl auf Windows als auch auf MAC OS lauffähig.

**Fallbeschreibung KFO-Therapieschiene**

Im nachfolgenden Beispiel, Patient weiblich 20 Jahre, soll rein digital eine kieferorthopädische Therapieschiene für den Unterkiefer erstellt werden. Hierfür wird mithilfe von digitaler Abformung und Überlagerung vorhandener Gipsmodelle in den DICOM-Datensatz die Registrierung von Oberkiefer und Unterkiefer vorgenommen. Zunächst wird, wie in den Abbildungen 12 und 13 ersichtlich, aus dem DICOM-Datensatz der Patientin ein sogenanntes Curved-MPR (errechnetes OPG) erstellt. Dieses Bild dient nur der zweidimensionalen Übersicht und ist für das weitergehende Verfahren nicht von direkter Bedeutung.
Im weiteren Schritt (Abb. 14–16) wird ein vorhandenes Gipsmodell – Oberkiefer und Unterkiefer getrennt – mit dem WhiteFox CBCT-Gerät aufgenommen. Als Volumengröße wird ein FOV 80 x 80 mm mit 150 µm Auflösung gewählt. Alternativ kann ein Abdruck mit Kunststofflöffel genommen werden. Hierbei ist wichtig, dass hochwertige Abformmaterialen verwendet werden, wie z. B. DENTSPLY Aquasil LV oder 3M ESPE Impregum (Abb. 17, 18).
Nach der Aufnahme wird das DICOM-Volumen mit dem in der WhiteFox 4.0 (WF 4.0) integriertem STL-Konverter in das

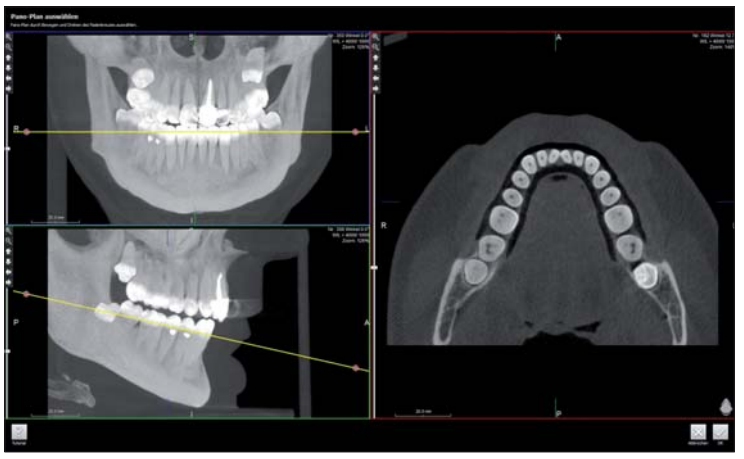


**Abb. 12:** DICOM Curved-MPR Wizard.

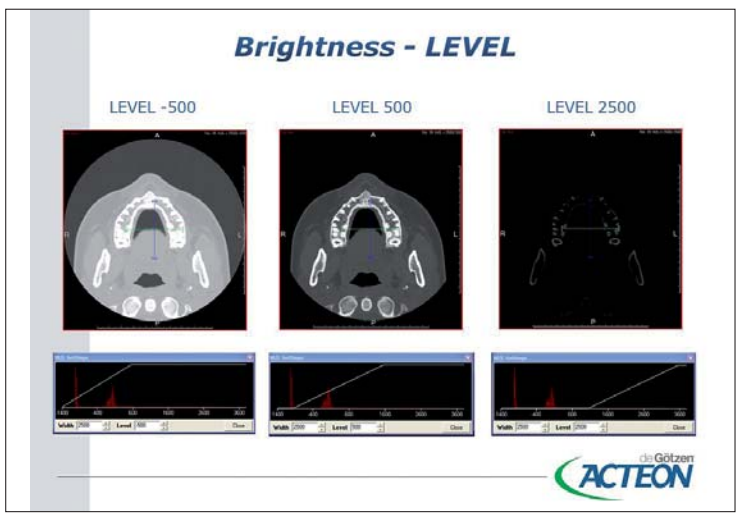



**Abb. 9:** Darstellung des Helligkeitslevel (Dichte Basis).

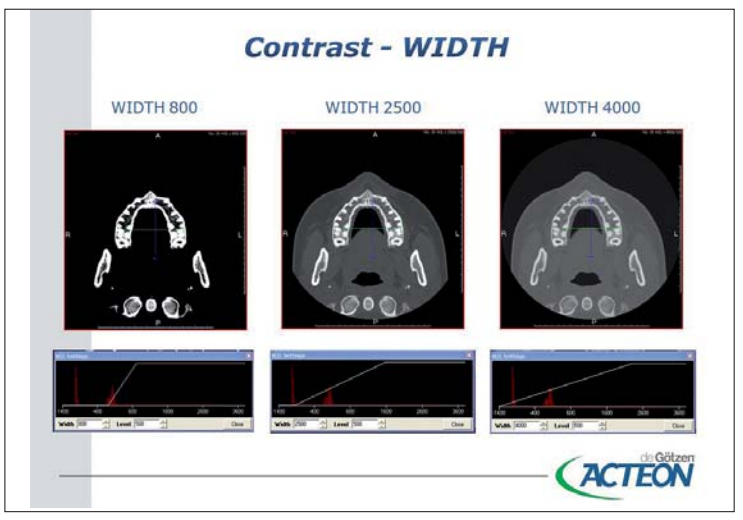



**Abb. 10:** Darstellung des Kontrastlevels (Dichte Spreizung).

**Abb. 11:** WhiteFox CBCT (Fa. Acteon).

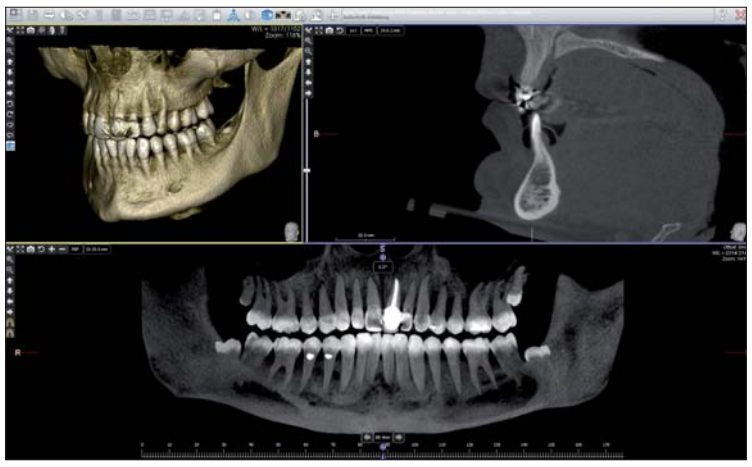


**Abb. 13:** Curved-MPR in MIP (Maximum Intensität Projektion).

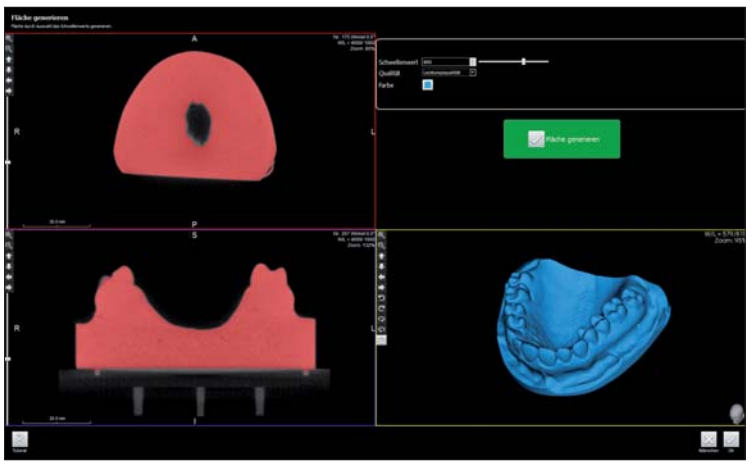


**Abb. 14:** Gipsmodell STL-Konvertierung.

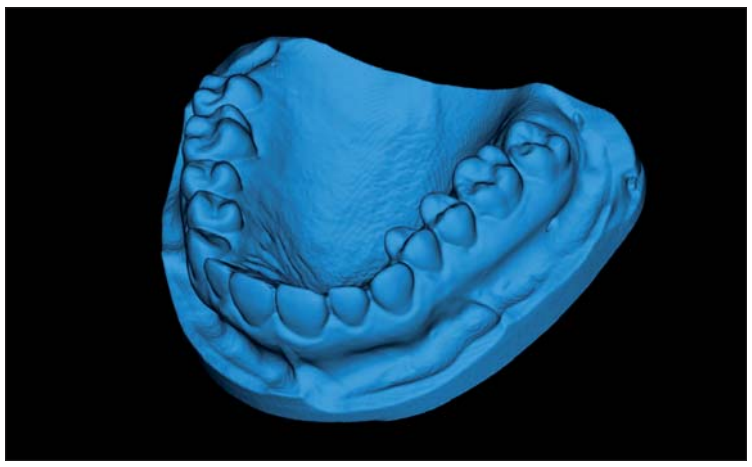


**Abb. 15:** STL-Datensatz Gipsmodell Oberkiefer.

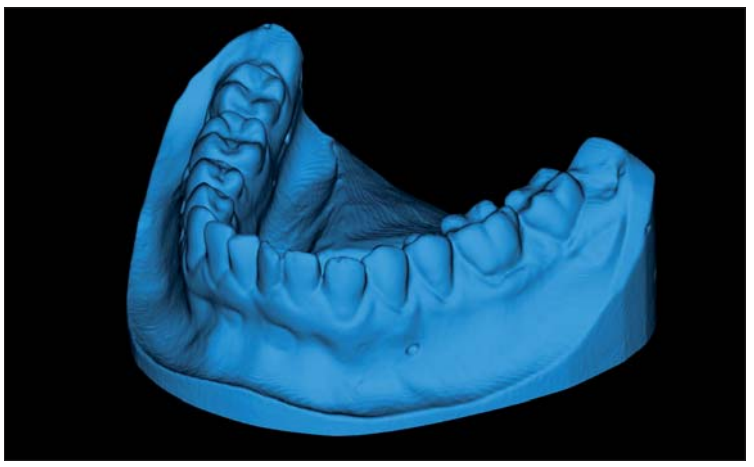


**Abb. 16:** STL-Datensatz Gipsmodell Unterkiefer.

STL-Format (Stereolithografie) überführt. Als Schwellwert wird 800 HU gewählt, dieser Wert entspricht der Dichte des verwendeten Gipswerkstoffes, ggf. ist dieser Wert anzupassen. Als Auflösung wird der Modus „hohe Auflösung“ gewählt, um eine exakte digitale Abformung zu gewährleisten. In Abbildung 16 wird die exakte Umwandlung des Unterkiefermodells in das STL-Format dargestellt. Nach der Konvertierung werden OK- und UK-STL-Datensätze mit der WF 4.0 Software exportiert.

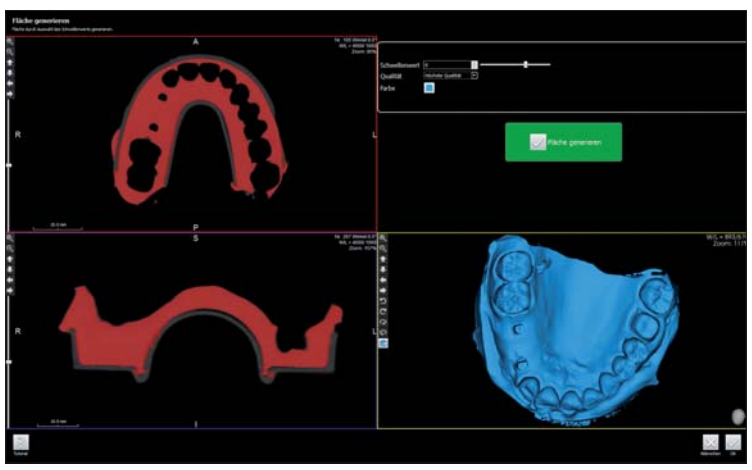
In den Abbildungen 17 und 19 wird dargestellt, wie ein Abdrucklöffel mit Silikon-Abformmaterial alternativ zum Gipsmodell erfasst wird. Diese Methode bietet weitere Vorteile, da die Überführung des Abdrucks in Gips bereits zu Fehlern führen kann. Zur Aufnahme mit dem CBCT wird die Kinnstütze des Gerätes entfernt und ein Teller auf das Gerät aufgesetzt. Anschließend wird ein normaler 80 x 80 mm FOV-Scan durchgeführt. Bei diesem Abdruckbeispiel handelt es sich um einen Implantat-Fall im Oberkiefer. Nach der Aufnahme wird mit der WF 4.0 Software, wie in Abbildung 19 erkennbar, die Konvertierung in STL-Format ausgeführt.

Als Schwellwert wird bei Silikon 0 HU gewählt. Bei Silikon ist die Abgrenzung der Oberfläche im Verhältnis zu Gipsmodellen noch deutlicher. Dieser Effekt ist darauf zurückzuführen, dass Silikon keine Feuchtigkeit einlagert (nicht hygroskopisch ist). Diese Eigenschaft ist bei der STL-Konvertierung sehr vorteilhaft.

In Abbildung 20 ist die hochgenaue Oberfläche nach Überführung der DICOM-Daten in STL-Format zu erkennen. Die Auflösung entspricht der Qualität optischer Systeme. Der Vorteil bei der Erfassung über das vorhandene DVT-System liegt in der hohen geometrischen Genauigkeit, der genauen Erfassung von unterlaufenden Stellen und der Scan-Geschwindigkeit von nur 18 Sekunden für Ober- und Unterkiefer.

**Fortsetzung in KN 7+8/14** KN

**Abb. 17, 18:** CBCT-Scan von Kunststoffabformlöffeln mit Silikon.



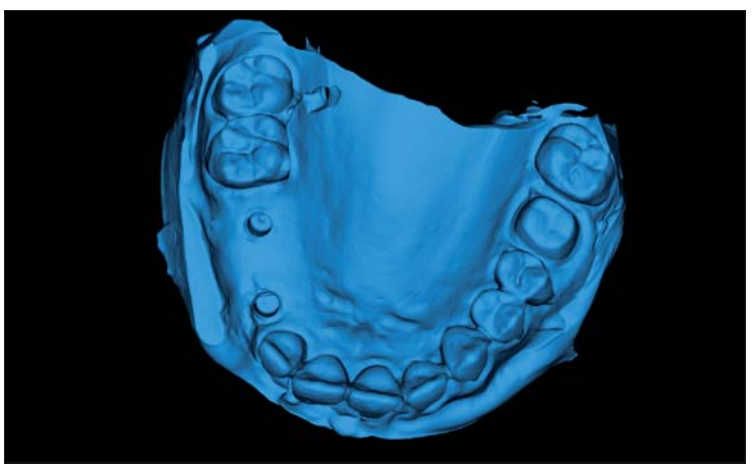


**Abb. 19, 20:** Abformlöffel DICOM-/STL-Konvertierung.

**Acteon**
[Infos zum Unternehmen]

## KN Kurzvita

**Dipl.-Inform. Frank Hornung**
[Autoreninfo]

**Dr. Gerhard Polzar**
[Autoreninfo]

## KN Adresse*

Acteon Germany GmbH
Industriestraße 9
40822 Mettmann
Tel.: 02104 956510
Fax: 02104 956511
info@de.acteongroup.com
http://de.acteongroup.com

## KN Adresse**

DORNMEDICAL GmbH
Dipl.-Inform. Frank Hornung
Olbernhauer Str. 22
09125 Chemnitz
Tel.: 0371 517636
Fax: 0371 517627
info@dornmedical.de
www.dornmedical.de

## KN Adresse

Dr. med. dent. Gerhard Polzar
Fachzahnarzt für Kieferorthopädie,
Funktionsdiagnostik und -therapie
Vogelsbergstraße 1+3
63654 Büdingen
Tel.: 060 422221
Fax: 060 422223
dr-polzar@gmx.de
www.zahnspange-kieferorthopaedie.de

# Orthocryl® LC

## delightfully different!

## Der lichthärtende KFO-Spezialkunststoff.

Orthocryl® LC, ein neuer moderner Kunststoff mit Mehrwert. Speziell abgestimmt für die Anforderungen in der Kieferorthopädie bei der Herstellung von KFO-Apparaturen:

- Unglaublich einfache Anwendung
- Zeit- und materialsparend
- Perfekt abgestimmte Fließfähigkeit
- Absolut geruchsneutral
- Biokompatibel
- Breites Einsatzspektrum

DENTAURUM

Turnstraße 31 I 75228 Ispringen I Germany I Telefon +49 72 31 / 803 - 0 I Fax +49 72 31 / 803 - 295
www.dentaurum.de I info@dentaurum.de