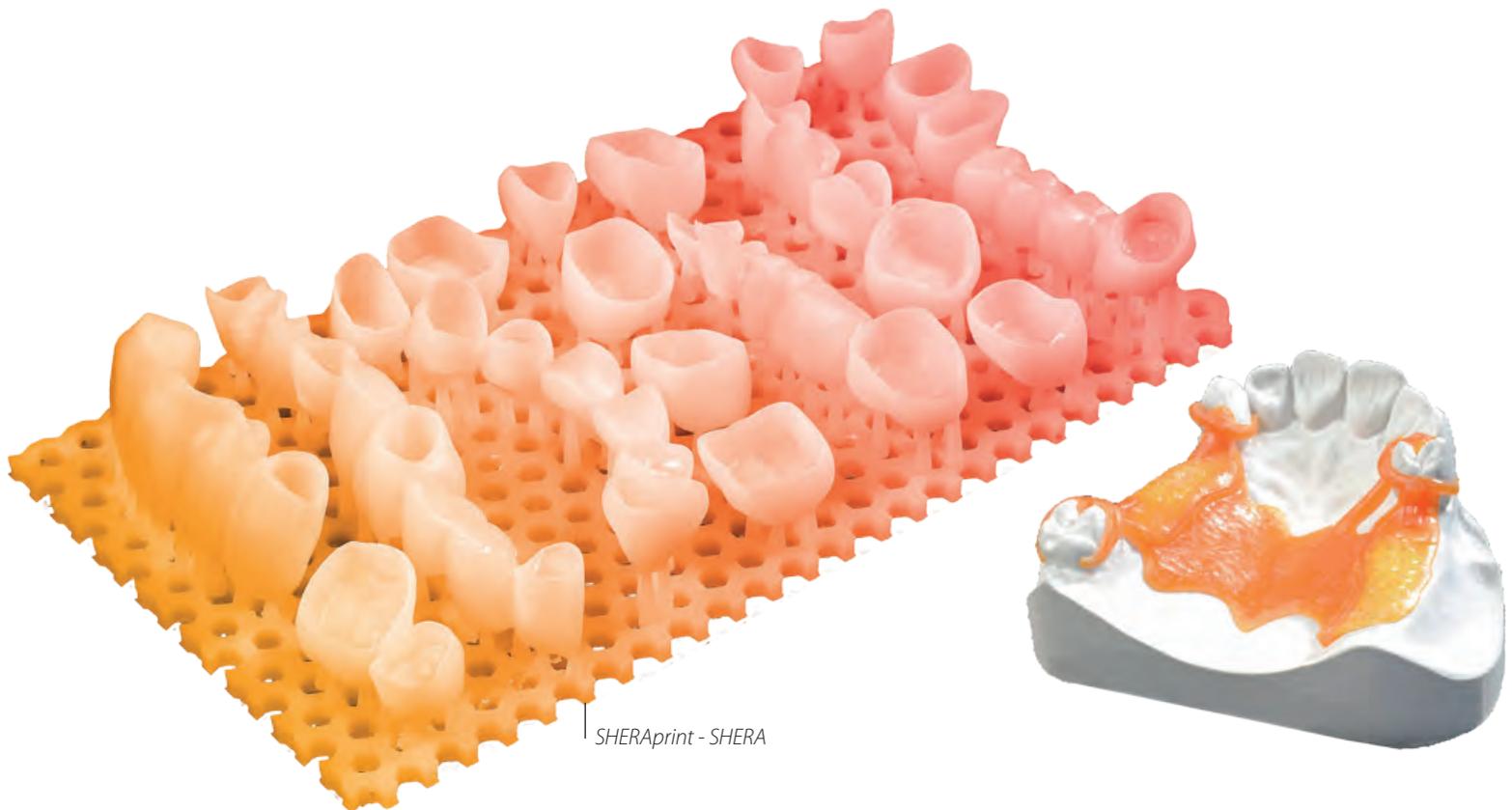


Digital dental Highway 2015

Alexander Kirstein



Mit 138.500 Besuchern aus über 150 Ländern und 2.201 Ausstellern aus 56 Ländern auf fast 160.000 Quadratmetern verzeichnete die 36. Internationale Dental-Schau 2015 einen Rekord. Laut dem Verband der Deutschen Dental Industrie (VDDI) ist das eine Steigerung von fast elf Prozent im Vergleich zur Vorveranstaltung 2013. Im Vordergrund der IDS 2015 stand die intelligente Vernetzung von digitalen Komponenten für die computergestützte Zahnheilkunde. So rasant wie die Leitmesse der Dentalindustrie sich weiterentwickelt, so rasant entwickelt sich auch der digitale Bereich in Zahnmedizin und Zahntechnik. Als in den neunziger Jahren die ersten CAD/CAM Systeme auf den Markt kamen, etablierten sich diese nur sehr langsam in den Praxen und Laboren. Heute sind digitale Verfahren in der Zahnmedizin und Zahntechnik nicht mehr wegzudenken. Egal in welchem Bereich digitale Technologien eingesetzt werden, sie verkürzen und erleichtern Zahn Technikern und Zahnärzten die Arbeitszeit und den Workflow.

Während zu Beginn der Digitalisierung nur einige Arbeitsschritte auf digitalem Weg umgesetzt wurden, beispielsweise das Herstellen von Gerüsten, kann heute der gesamte Behandlungsablauf rein digital abgebildet werden. Angefangen bei der digitalen Augmentation, über das Planen der Implantate in einer Planungssoftware, bis hin zur CAD/CAM gefertigten vollanatomischen Krone.

So könnte ein komplett digital gestützter Workflow heute aussehen: Wenn bei der klinischen Untersuchung eines Patienten schon im Vorfeld vermutet wird, dass eine Implantation ohne ausgedehnten Knochenaufbau nicht möglich ist, wird zuerst eine dreidimensionale Bildgebung via CT oder DVT erstellt. Wird die Diagnose bestätigt und eine Knochenaugmentation ist notwendig, kann mit einer dafür geeigneten Planungssoftware der fehlende Knochen virtuell rekonstruiert werden. Der Datensatz der virtuellen Plastik wird in einen STL-Datensatz umgewandelt, kann als Modell in Kunststoff über CAM gefertigt und dem Behandler zur Ansicht übermittelt werden. Dieser gibt dann das

OK für die Rekonstruktion oder macht Verbesserungsvorschläge. Parallel dazu werden in derselben Software die Implantate für die Herstellung der Bohrschablone geplant. Aus einem Spenderknochenblock (z.B. vom Deutschen Institut für Zell- und Gewebeersatz der Charité in Berlin) wird die virtuell konstruierte Knochenplastik unter Reinraumbedingungen aus einem allogenen Knochenblock herausgefräst. Anschließend wird die Knochenplastik geblistered, mit Gamma-Strahlen sterilisiert und an die Praxis geschickt. In der Praxis wird nun der Knochenblock während der OP aus der Verpackung genommen und wie vom Hersteller empfohlen rehydriert. Nachdem der Behandler das Knochenbett freigelegt und vorbereitet hat, wird nun die Knochenplastik eingesetzt und mit Osteosynthese-Schrauben fixiert.

Mithilfe der Bohrschablone werden alle Bohrschritte und das Implantieren selbst mit Hilfe von Hül- sen geführt. So können Implantate höchst präzise auch in ein Augmentat gesetzt werden. Anschlie- ßend wird eine Membran über die Knochenplastik gelegt und mit der Schleimhaut spannungsfrei vernäht. Nach der so genannten Osteogenese, in der das Kollagengerüst vollständig durch eigenen Knochen ersetzt wurde, wird nun der Knochen wieder freigelegt und die Osteosynthese-Schrauben entfernt. Alternativ können auch zu diesem Zeitpunkt die Implantate mit Hilfe der Schablone inse- riert werden.

Zur prothetischen Versorgung bietet die Dentalindustrie Konzepte an, die ein Backward-Planning zulassen. Dabei wird im Vorfeld auf Grundlage der geplanten Implantate in der Planungssoftware eine provisorische Versorgung designt und bis zur Freilegung bzw. der Implantation gefertigt. Das kann eine CAD/CAM gefertigte Kunststoffbrücke sein, in der sich Aussparungen für die Aufnahme von Titanzylindern befinden, die mit der provisorischen Brücke im Mund verklebt oder einpolyme- risiert werden. Damit ist ein Passiv-Fit gewährleistet, um auf die Implantate keine Spannung auszu- üben.

Die Welt der digitalen Systeme in Diagnostik und Fertigung umspannen damit heute den gesamten Workflow von der Praxis bis ins Labor. Nicht jeder Arbeitsschritt, der im imaginären Workflow oben vorgestellt wurde, gehört bereits zu einer gängigen Vorgehensweise, aber wir sind nicht mehr weit davon entfernt. Vor allem die digitale Augmentation ist von zu vielen Faktoren abhängig, um zum Gold-Standard zu werden, da sich allogenes Knochenersatzmaterial noch nicht etabliert hat und viele Fragen offenlässt. Doch das war in den Anfängen der digitalen Zahnheilkunde und Zahntechnik beispielsweise mit den ersten CAD/CAM Systemen ebenso. Inzwischen sind die computerge- stützten Prozessketten nahezu komplettiert und spielen ihre enorme Flexibilität aus.

Neue Technologien wurden auf der IDS 2015 kaum vorgestellt. Es ging vielmehr um die Weiterent- wicklungen und Verbesserungen bestehender Systeme und Produkte - wichtige Schritte in der digi- talisierten dentalen Welt, um Systeme und Materialien für den Praxis- bzw. Laboralltag zu optimieren. Einige Neu- und Weiterentwicklungen möchten wir nun an dieser Stelle kurz vorstellen.

Digitale Augmentation

Während es bisher ein sehr mühseliges Unterfangen war, ausgedehnte Knochenaugmentationen sicher durchzuführen, erleichtert diese Vorgehensweise die gesamte Operation enorm. Durch prä- operativ individuell angefertigte Knochenblöcke kann die Operationszeit enorm reduziert werden. Es entfällt sowohl die autologe Knochenentnahme beim Patienten als auch das dreidimensionale Anpassen des Knochenblocks an den Kieferknochen. Für den Patienten bedeutet dies einen enormen Gewinn an Komfort und einen weniger invasiven Eingriff. Der Behandler spart viel Zeit, da er bei der digitalen Augmentation nur noch den Knochen freilegen und vorbereiten, den Knochen- block mittels Osteosyntheseschrauben fixieren und anschließend mit einer Membran abdecken und vernähen muss. Der operative Eingriff beim Patienten ist einfacher und sicherer, da die einzelnen Schritte vor der Operation dreidimensional geplant werden können. Als Material kommt für diese Methode idealerweise allogenes Knochenmaterial von Spendern in Frage, welches beispielsweise

bei Hüftoperationen anfällt. Durch die anschließende Prozessierung wird sichergestellt, dass keine Proteine mehr im Spenderknochen vorhanden sind, sondern nur noch das Kollagengerüst - dadurch kommt es zu keinerlei Fremdkörperreaktionen und der Knochenblock wird in den Monaten nach der Operation komplett durch eigenen Knochen ersetzt (Osteogenese).

Guided Surgery

Im Bereich der 3D Implantat-Navigationssysteme gab es auf der IDS eher wenig Neues. Die Systeme werden kontinuierlich weiterentwickelt, bekommen neue Bedienelemente und das Planen der Implantate in der Software wird für den Anwender einfacher gemacht. Einige Anbieter ermöglichen ihren Kunden das virtuelle Augmentieren, das aber in erster Linie dazu gedacht ist, einen Überblick über die bevorstehende Augmentation zu geben. Theoretisch kann aber genau dieser Datensatz in STL-Daten umgewandelt werden, um daraus, wie oben beschrieben, eine Knochenplastik aus einem allogenen Knochenblock herauszufräsen.

Intraorales Scannen

Trotz erster Bemühungen in der Entwicklung der intraoralen Abformung in den 1980er Jahren, liefern die digitalen Abform-Systeme derzeit die wohl stärksten Entwicklungspotenziale im digitalen dentalen Workflow. Das liegt vor allem daran, dass die Entwicklung von Intraoralscannern im Vergleich zu Laborscannern außerordentlich komplex ist. Vereinfacht formuliert heißt das: Laborscanner lassen sich aus Standard-Industriehardware wie aus einem Baukasten zusammensetzen. Bei den Intraoralscannern geht es dagegen nicht ohne eigens dafür entwickelte Hardware, was die Sache natürlich wesentlich schwieriger macht. Insgesamt betrachtet, ist die Entwicklung sehr komplex und kostenintensiv. So ist es auch nicht verwunderlich, dass sich auf diesem Gebiet nicht so viele Hersteller tummeln. Dennoch hat sich technisch in den letzten Jahren enorm viel getan. Die digitale Abformung ist heute in etlichen Indikationen präziser als die konventionelle Abformung. Es wird davon ausgegangen, dass in spätestens zehn Jahren zirka ein Drittel, wenn nicht sogar die Hälfte der deutschen Praxen diese Technologie anbietet. Vor allem bei jüngeren Zahnärzten steigt die Akzeptanz kontinuierlich. Die derzeitige Problematik der digitalen Abformung liegt beim Erfassen der Daten. Die Optik kann keinen ganzen Kiefer erfassen, sondern lediglich Ausschnitte. Diese Ausschnitte werden dann zu einem Gesamtbild zusammengesetzt. Bei dem so genannten „matchen“ versucht die Software auf den einzelnen Bildern Überlappungen zu identifizieren, die dann übereinander gelegt werden. Die Kauflächen der Prämolaren und der Molaren eignen sich dafür besonders gut, die schwach konturierten Schneidezähne schon weniger. Bei der Schleimhaut wird es dann problematisch, daher lassen sich teilbezahnte Kiefer so schlecht scannen. Zwar arbeitet die Industrie an besseren Algorithmen und an einer Hardware, die gegenüber Lichtreflexionen unempfindlicher ist. Dennoch ist der Forschungs- und Entwicklungsbedarf hier noch sehr hoch. Da aber moderne Rechner immer schneller und leistungsfähiger werden, und sich dadurch größere Datenmengen schnell und praxistgerecht verarbeiten lassen, könnten diese Probleme schon bald gelöst werden. Angeboten werden derzeit Intraoralscanner, die mit Einzelbildern oder Videos arbeiten. Experten sind der Meinung, dass sich die Video-Technologie durchsetzen wird, insbesondere das Active-Wavefront-Sampling-Verfahren. Denn diese Technik ermöglicht in-vitro schon den Ganzkieferscan. Dies belegt eine im August 2013 im Journal of the American Dental Research Association publizierte Studie der Universität Freiburg unter der Leitung von PD Dr. Wael Att. Diese Technik verwendet sowohl der Lava C.O.S. als auch sein Nachfolger, der 3M True Definition Scanner. Der Nachteil dieser Technologie ist das aufgrund der Lichtreflexionen erforderliche Pudern des Scanbereichs, das weder bei Zahnärzten noch bei Patienten beliebt ist. Dennoch liegen die Vorteile der digitalen Abformung klar auf der Hand.

Digitale Modellherstellung

Die Abformung per Intraoralscanner als erster Schritt der digitalen Arbeitskette stellt eine logische Weiterentwicklung des digitalen Workflows dar, der ursprünglich mit Laborscannern bei der Digitalisierung von Gipsmodellen einsetzte. So bergen die analogen Schritte der konventionellen Abfor-

mung und Modellherstellung viele Fehlerrisiken. Ungenauigkeiten im traditionellen Prozess werden beispielsweise durch Verzüge im Abformmaterial, die eingeschränkte Lagerfähigkeit und durch das Ablösen des Materials vom Löffel verursacht. Weitere Faktoren liegen in einem Schrumpfen oder Ausdehnen der Abformung durch Temperaturschwankungen sowie einem inkorrekten Mischverhältnis des Gipses und seiner Expansion. Die Fehlerquellen sind häufig nicht eindeutig identifizierbar, und entstandene Ungenauigkeiten können durch nachfolgende Prozesse nicht wieder ausgeglichen werden.

Bei der digitalen Abformung und Modellherstellung spielen materialabhängige Faktoren keine Rolle. Zudem ist der Prozess hervorragend kontrollierbar: Der Zahnarzt verfolgt die Aufnahme der Mundsituation in Echtzeit am Bildschirm des Intraoralscanners und erkennt sofort, wenn Fehler bei der Präparation oder der Aufnahme entstehen. Durch Möglichkeiten der mehrfachen Vergrößerung des generierten 3D-Modells und Ansicht aus allen Richtungen nach Abschluss der Aufnahme kann der Datensatz auf Vollständigkeit sowie Sichtbarkeit beispielsweise der Präparationsgrenze überprüft werden. Gegebenenfalls wird einfach nachpräpariert und der entsprechende Bereich erneut gescannt. In der Literatur findet sich eine Vielzahl von Studienergebnissen, die belegen, dass digitale Scans für definierte Applikationen mindestens die Qualität der traditionellen Abformung erreichen.

Stereolithografische Modellherstellung

Die Stereolithografie wurde bereits 1982 von Charles Hull entwickelt und hat sich in der Produktentwicklung bei der Erstellung von Prototypen (Konzept-, Geometrie-, Anschauungs-, Funktionsmodelle) im Maschinenbau, insbesondere im Automobilbau und in der Medizin etabliert.

Bei der stereolithografischen Herstellung von Modellen wird flüssiger, photosensitiver Kunststoff Schicht für Schicht mit einem Laser auspolymerisiert. Dazu wird der Datensatz als erstes durch die CAD-Software in Schichten zerlegt (slicen). Dabei werden überhängende Geometrien durch Stützstrukturen stabilisiert, welche von der Software angelegt werden. Der Laser fährt dann auf einer horizontalen Ebene im Polymer-Bad über bewegliche Spiegel eine bestimmte Geometrie ab, dadurch härten die Photopolymere an diesen Stellen aus. Durch Absenken der Modellplattform um ein paar Millimeter und Zurückfahren der Plattform in eine neue Position wird eine neue Schicht flüssiger Kunststoff aufgetragen und auspolymerisiert. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis das Modell fertig ist. Abschließend fährt die Plattform aus dem Bad heraus, überschüssiger Kunststoff fließt ab, das Modell wird im UV-Licht nachgehärtet und die Stützstrukturen werden abgetrennt. Das stereolithografische Herstellen von Modellen ist kostengünstig, da viele Modelle in einem Arbeitsschritt erzeugt werden können. Es ist materialsparend und es können komplexe Geometrien erzeugt werden. Im Dentallabor wird diese Technologie im 3D Druck verwendet.

Modelle fräsen

Bei dem subtraktiven Verfahren des Modellfräsens sind 5-Achs-Maschinen notwendig, um alle Geometrien abbilden zu können. Dieses Verfahren ist präziser als die Stereolithografie, und es findet keine „Stufung“ statt. Allerdings ist es im Vergleich zur Stereolithografie aufwendiger, wesentlich zeitintensiver und aufgrund des großen Anteils an Abfallmaterial auch teurer. Die Genauigkeit des Fräsens wird vom Radius des Fräsers und der Frässtrategie beeinflusst. Hier gilt: Je genauer das Ergebnis, desto aufwendiger ist der Fräsvorgang und desto länger dauert er.

3D-Druck

Beim 3D-Druck handelt es sich um das so genannte Multi-Jet Modeling oder auch Polyjet-Verfahren. Die Maschinen, welche dieses Verfahren beherrschen, zählen zu den 3D Druckern. Aufgrund der Vielzahl der Druckdüsen können in einem Arbeitsgang verschiedene Materialklassen, Farben und auch Materialien unterschiedlicher Konsistenz verarbeitet werden. Die Materialien sind zuerst flüssig und werden anschließend schichtweise und auf verschiedene Arten ausgehärtet, zum Beispiel mit



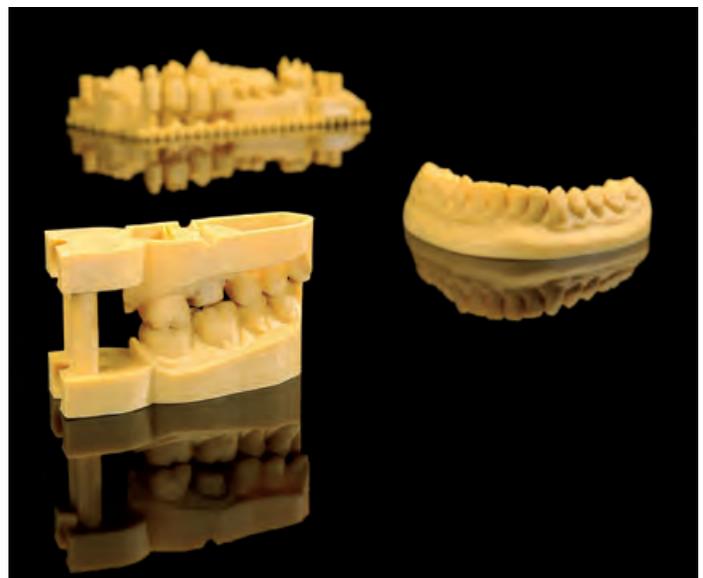
Ausbrennfähiges 3D-Druck Material für die Herstellung von Modellgussgerüsten oder anderen filigranen Arbeiten (SHERAprint - SHERA)



3D-Druck Material für die Herstellung von temporären Kronen und Brücken aus Biokompatiblen Kunststoff (SHERAprint - SHERA)



3D-Druck Material für die Herstellung von Modellen jeglicher Art mit scanbarer Oberflächenstruktur (SHERAprint - SHERA)



3D-Druck Material für die Herstellung von Modellen jeglicher Art mit scanbarer Oberflächenstruktur (SHERAprint - SHERA)

UV-Licht. Gleichzeitig müssen einige Geometrien mit geeignetem Material abgestützt werden, um beim Herstellungsvorgang ein Absinken der Geometrie zu verhindern. Dies wird mit wachsartigen Thermoplasten gelöst, welche im Nachgang einfach durch Erwärmen zu entfernen sind. Neben dem Herstellungsprozess und der Hardware stellt sich natürlich auch die Frage nach der Beschaffenheit der verwendeten Materialien: Sind diese mundbeständig und kompatibel mit den vorhandenen Geräten?

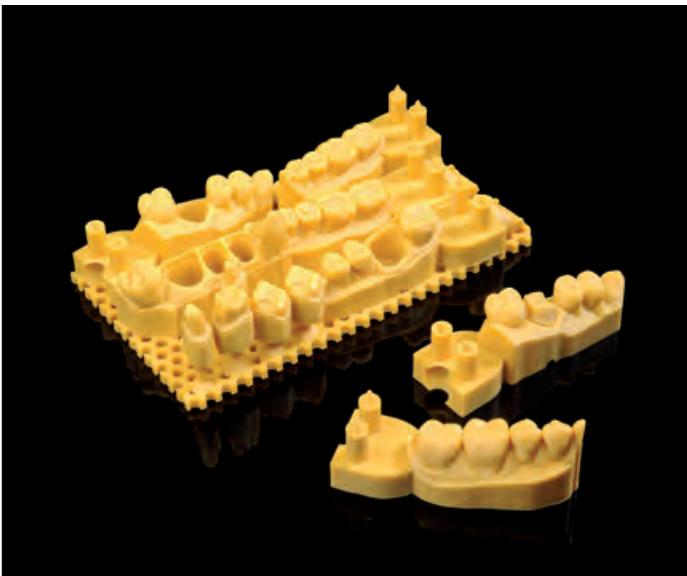
Der Vorteil des 3D-Drucks ist die Darstellung sehr feiner Details aufgrund einer Auflösung von 450dpi und höher. Je nach System können nicht nur Kiefermodelle, sondern auch der Zahnersatz selbst, z.B. Kronen, Brücken oder Teilprothesen, Guss-Designs sowie Bohrschablonen und individuelle Abformlöffel gefertigt werden. 3D-Drucker, die mit flüssigen Materialien arbeiten, funktionieren wie



Ausbrennfähiges 3D-Druck Material für die Herstellung von Modellgussgerüsten oder anderen filigranen Arbeiten (SHERAprint - SHERA)



3D-Druck Material für die Herstellung von temporären Kronen und Brücken aus biokompatiblen Kunststoff (SHERAprint - SHERA)

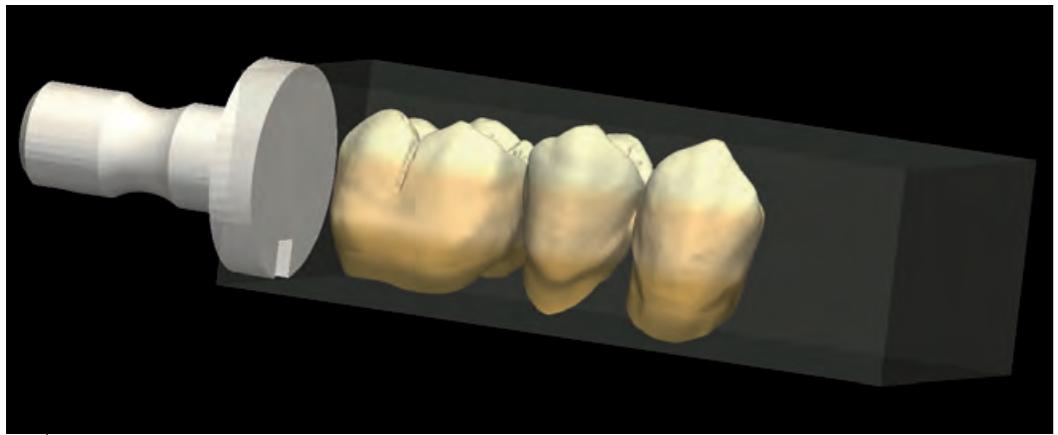


3D-Druck Material für die Herstellung von Modellen jeglicher Art mit scanbarer Oberflächenstruktur (SHERAprint - SHERA)

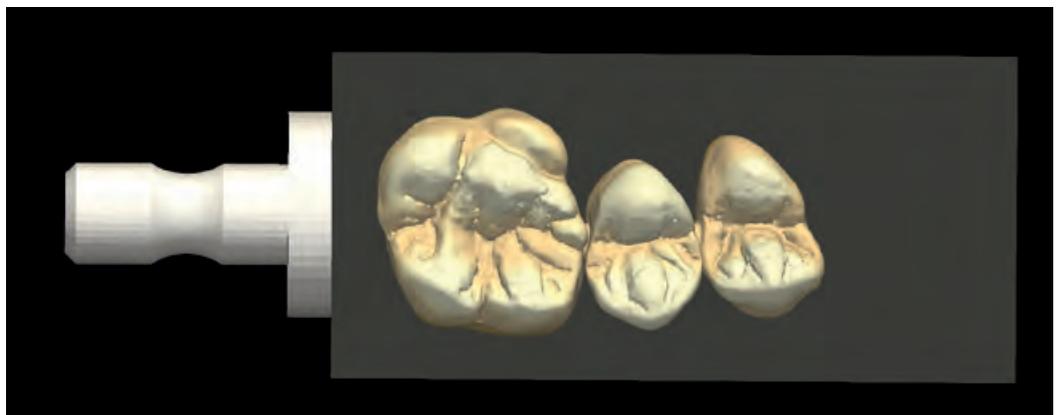


3D-Druck Material für die Herstellung von Bohrschablonen (SHERAprint - SHERA)

die Stereolithografie und werden auch als solche bezeichnet. Es können aber noch weitere Verfahren im 3D-Druck zum Einsatz kommen. Zum Beispiel kann mit Pulver gearbeitet werden. Dabei wird ein Klebemittel ähnlich wie beim Tintenstrahldrucker auf ein Pulverbett gespritzt und blitzschnell schichtweise ausgehärtet. Beim 3D-Druck mit Lasersintern oder Laserschmelzen wird ein Pulverbett schichtweise von einem Laserstrahl überfahren und ausgehärtet. Für das Pulver können Keramik, Metalle oder Glas genutzt werden. Ein weltweit führender Anbieter ist die EOS bei München. 3D-Drucker von EOS sind z.B. bei Sirona in Darmstadt für das Drucken von Dentalprodukten im Einsatz. Umfangreiche Informationen über die verschiedenen Druckverfahren finden sie unter: <http://www.projekt-3d-drucker.de/technologie-vergleich/>



Visualisierung der Schichten mit Hilfe des Multilayer-Nestings (UNIQUE cadcam)



Visualisierung der Schichten in der okklusale Ansicht mit Hilfe des Multilayer-Nestings (UNIQUE cadcam)

Digitaler Zahnersatz

Die seit Anfang der 1980er Jahre bekannte Technologie ist wohl nach wie vor „State of the Art“, um Kronen, Brücken, Implantat-Abutments und vieles mehr herzustellen. Interessante Ansätze gibt es in der Entwicklung von so genannten polychromatischen Rohlingen und einem Tool in der CAD Software, der Multilayer Visualisierung. Darin wird der mehrschichtige Rohling in der Software so platziert, dass die einzelnen Keramikschichten wie Hals-, Dentin- und Schneidemassee auch in ihren Bereichen liegen. Eine Krone oder Brücke kann patientenindividuell an den verschiedenen Schichten des polychromatischen Rohlings ausgerichtet werden.

Als interessant und zukunftsweisend wurde auch die Digitalisierung der Totalprothetik auf der IDS diskutiert. Damit kann nun eines der letzten noch analog gefertigten Produkte digitalisiert werden. Als Restaurationsmaterial bieten die Hersteller unter anderem PEEK Kunststoffe an. Diese sind ähnlich elastisch wie der menschliche Knochen und sorgen aus diesem Grund für eine biologische Balance zwischen Prothesenlager und Restaurationsmaterial. Zudem weist PEEK herausragende biologische Eigenschaften wie Biokompatibilität und Mundbeständigkeit aus und ist höchst belastbar.

Fazit

Der vorliegende Beitrag stellt sicherlich nur einen Teilaspekt der digitalen Technologien dar, die bereits am Markt vorhanden sind. Zukünftig wird sich die Geschwindigkeit innovativer Entwicklungen aufgrund der immer höheren Rechnerleistungen stark beschleunigen. Ob diese Entwicklung in jedem Fall vorteilhaft ist, darf vom kritischen Leser durchaus angezweifelt werden. Gefragt ist hier der „gesunde Menschenverstand“, der – neben aller Begeisterung für die digitalen Möglichkeiten – auch die Vorteile bewährter analoger Fertigungs- und Behandlungswege erkennt und diese intelligent mit den digitalen Konzepten verbindet, nicht nur im Interesse des Teams aus Zahnarzt und Zahntechniker, sondern vor allem zum Wohle des Patienten. Weiter wird es eine große Herausforderung sein, einen optimalen digitalen Workflow in das Labor oder die Praxis zu integrieren. Wichtig wäre zu klären, welche Geräte man miteinander kombinieren kann und welche Vorteile, wie zum Beispiel die Zeitersparnis, man daraus ziehen wird.



Alexander Kirstein

Jahrgang 1970. ZT.

- 1987 – 1991 Ausbildung zum Zahntechniker.
- Seit 2002 in der implantologischen Dentalindustrie tätig als Systemspezialist im Bereich Digital Dentistry und Wissenschaftlicher Referent.

WHO IS WHO DENTAL