

Nachhaltiger Umgang mit Kunststoffen in der 3-D-Drucktechnik

Filamentdruck im Dentallabor

NORBERT WICHNALEK, ARBNOR SARACI, LUKAS WICHNALEK



Einleitung

Nachhaltigkeit ist ein stark strapaziertes Wort. Wie so oft verlieren Worte durch übermäßigen Gebrauch ihre Aussagekraft. Hinter dem schlichten Wort „Nachhaltigkeit“ verbergen sich viele Bedeutungen, die sowohl politische, soziale, wirtschaftliche als auch ökologische Aspekte beinhalten. Aktuell wird „Nachhaltigkeit“ vielfach auf eine ökologisch orientierte Lebensführung bezogen. Gemeint sind der weitsichtige und rücksichtsvolle Umgang mit Ressourcen und ein umweltschonendes Verhalten. Auch in der Zahnmedizin und Zahntechnik wird die Forderung zur Nachhaltigkeit laut, z. B. im Hinblick auf Plastik- und Einmalverpackungen und -produkte. Aber auch wenn sich alle einig sind, dass nicht noch mehr Plastik produziert werden sollte, ist der Verzicht auf Kunststoffe einfacher gesagt als getan und in einigen Bereichen fast unmöglich. Im Dentallabor spielen unter anderem die Hygiene, die Mundbeständigkeit und die Biokompatibilität eine wichtige Rolle.

Beispiel aus dem Alltag: Coffee-to-go-Becher

Ein aktuelles Beispiel, das die Komplexität des Themas unterstreicht, sind Coffee-to-go-Becher für den Mehrweg-Gebrauch. Diese Becher werden häufig aus nachwachsenden Rohstoffen (z. B. Bambus) produziert, was zunächst nachhaltig und ökologisch klingt. Doch das ist nicht die ganze Wahrheit. Melamin-Formaldehyd-Harze (MFH) sorgen als Verbundmaterial dafür, dass die Gefäße dicht und stabil bleiben. Sowohl Melamin als auch Formaldehyd können bei Temperaturen von mehr als 70 °Celsius aus dem Gefäß in das Heißgetränk übergehen und die Gesundheit schädigen. Auch die Entsorgung ist

zu hinterfragen. Bambus verursacht zwar keinen nicht abbaubaren Abfall, doch der Bambusbecher mit Kunststoffanteil lässt sich für eine Kompostierung nicht in seine Komponenten aufteilen. Also muss der Becher verbrannt werden. Selbstverständlich kann die Konsequenz aus solchen Tatsachen nicht der Weg vom Mehrweg- hin zum Einwegprodukt sein. Und doch zeigt sich, dass die Thematik vielschichtig ist.

Nachhaltige Produktion im Dentallabor?

Grundsätzlich sollten im Labor der Verbrauch von Strom, Wasser, Papier und potenziell umweltschädlichem Material sowie die Emissionen in Luft und Wasser kontrolliert und reduziert werden. Im Einvernehmen mit den Regulierungsbehörden sollten Produkte genutzt werden, die die Umwelt schonen, ohne die Sicherheit und die Behandlungsqualität für den Patienten zu beeinträchtigen. Außerdem sollten stromsparende und umweltfreundliche Technologien bevorzugt werden, soweit das möglich ist. Es gibt allerdings Grenzen für das nachhaltig-ökologische Handeln. Zahnersatz fällt in den Bereich der Medizinprodukte und unterliegt dadurch Regulatorien: Er muss eine hohe Mundbeständigkeit aufweisen, desinfizierbar und gegebenenfalls sterilisierbar sein, es dürfen keine Schadstoffe abgegeben werden, er sollte sich möglichst wenig verfärben etc. Auch wenn Nachhaltigkeit im Dentallabor ein wichtiger Aspekt ist, stehen medizinische Anforderungen an erster Stelle. Es scheint derzeit nicht möglich zu sein, im Dentallabor nur mit biologisch unbedenklichen Materialien zu arbeiten. Das wäre wünschenswert, ist aber bei Zahnersatz mit all seinen komplexen Anforderungen derzeit unrealistisch. Kann der 3-D-Druck eine Lösung bieten?

Zusammenfassung

Ressourcenschonende Anwendung, regenerative Biomaterialien, biokompatible Rohstoffe – dem 3-D-Druck werden einige wohlklingende Eigenschaften nachgesagt. Doch wie viel ist an diesen, oft auch vom Marketing geprägten Aussagen dran? Der Beitrag beschreibt den nachhaltigen Umgang mit Kunststoffen im Bereich des dentalen 3-D-Drucks. Im Fokus stehen 3-D-Druckfilamente (PLA), die im Vergleich zu anderen polymerbasierten Materialien als nachhaltiger gelten.

Indizes

additive Fertigung, Filamentdruck, Nachhaltigkeit, 3-D-Druck, Kunststoffe

3-D-Druck als ökologische Alternative

Die Vorteile des 3-D-Drucks im Bereich der Fertigung sind hinlänglich beschrieben. Es wird erwartet, dass die additiven Technologien eine Schlüsselrolle im Zusammenhang mit der Industrie 4.0 einnehmen. Auch im Dentalbereich sind die Hoffnungen groß. Im Gegensatz zu digitalen subtraktiven Verfahren erlauben additive Techniken beispielsweise, komplexe Geometrien herzustellen. Entscheidender Treiber, um die Technologie zu etablieren, sind die Materialien und Werkstoffe. Die Vielfalt der nutzbaren Materialien (Kunststoffe, Wachs, Metalle, Keramiken) macht den 3-D-Druck in vielen wirtschaftlichen Bereichen interessant.

Ökobilanz der 3-D-Drucker

Bei einer Ökobilanz werden alle Umwelteinwirkungen eines Produkts zusammengefasst, die es während seiner Lebensdauer verursacht. An additive Verfahren werden dabei hohe Erwartungen geknüpft, weil sich beispielsweise Material ressourcenschonender einsetzen lässt als bei subtraktiven Verfahren. Doch auch beim 3-D-Druck fällt – je nach Verfahren – Abfall an. So kommen beispielsweise bei einigen additiven Verfahren Stützstrukturen zum Einsatz, die entsorgt werden müssen. Hinzu kommen Fehldrucke, diverse Lösungs- und Reinigungsmittel und Abfall, wie Einmalhandschuhe, Papiertücher etc. Eine generelle Aussage, ob additive Verfahren wirklich ökologischer sind als subtraktive Technologien, kann daher nicht getroffen werden. Betrachtet man die Ökobilanz von 3-D-Druckern, dann kommen noch indirekte Faktoren hinzu, z. B. die Produktion der Drucker (steigende Wachstumsraten mit entsprechendem Rohstoff-

einsetzung), hoher Energieverbrauch beim Einsatz des Druckers (Strom, CO₂) oder das eigentliche Nutzungsverhalten, bei dem es nicht selten zum sogenannten Rebound-Effekt kommt. Dieser besagt, dass Produkte, die beispielsweise weniger Energie oder Material verbrauchen, in der Folge oft häufiger genutzt werden, was den Einspareffekt wieder zunichte macht.

Das Umweltbundesamt stellte 2018 fest³: „Durch den 3D-Druck entstehen Belastungen: durch den hohen Energieverbrauch und durch Schadstoffe wie Feinstaub, VOC oder Nanopartikel in Innenräumen. Dadurch entstehen Gesundheitsrisiken zum einen in der Industrie, insbesondere bei Großunternehmen für Arbeiter; zum anderen in der kleinskaligen Anwendung mit Desktop-Druckern (Privatgebrauch, Non-Profit sowie kleinen Unternehmen). Die Gewinnung der Rohstoffe für und die Herstellung der Druckmaterialien werden die Umwelt unter anderem über die Beanspruchung von Naturraum und diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge belasten. Belastungen entstehen auch durch die Toxizität der Materialien und die teils mangelnde Recyclingfähigkeit.“

3-D-Druck-Materialien aus biologisch abbaubaren Materialien

Basis vieler Kunststoffe und Harze für den 3-D-Druck ist Erdöl, bei dessen Gewinnung sowie Weiterverarbeitung unter anderem Treibhausgase entstehen. So genannte biologisch abbaubare Kunststoffe (z. B. Polylactide, PLA) sind ökologischer, doch auch nicht ganz frei von umweltbelastenden Nebenprodukten. Doch trotzdem ist PLA (aus nachwachsenden Rohstoffen produziert) nachhaltiger als Plastik aus fossilen Brennstoffen. Bei PLA handelt es sich um ein 3-D-Druck-

filament, das auch im Dentalbereich immer häufiger zum Einsatz kommt (siehe unten).

Der 3-D-Druck setzt sich mehr und mehr durch. Es wird erwartet, dass die Technologie zu einer ökologisch nachhaltigeren Produktion beitragen wird. So können beispielsweise durch die On-Demand-Fertigung Lagerkosten gespart oder eine Überproduktion vermieden werden. Zudem werden mit den digitalen Technologien und der Datenübertragung Transportwege verhindert, was Einfluss auf das nachhaltige Handeln hat.

Hinsichtlich der Materialien sowie der Anwendungstechnologien wird geforscht und entwickelt, um das Potenzial des 3-D-Drucks zu nutzen, ohne die Umwelt über die Maßen zu belasten. Der Forschungsbereich additive Fertigung wird in Deutschland von verschiedenen Seiten (z. B. vom Bund) gefördert. Ziele der Förderprojekte sind, nachhaltige Netzwerkstrukturen aufzubauen, die Materialforschung voranzutreiben und geeignete Recycling-Verfahren zu entwickeln. Hier gibt es international einige interessante Lösungsansätze. Ein Beispiel: Ziel des Million Waves Project ist, Plastikabfälle aus dem Meer mithilfe vom 3-D-Druck in einfache medizinische Prothesen zu verwandeln. Kunststoffabfälle (PET) werden nach einem Reinigungsprozess zu 3-D-Druckfilamenten recycelt und für den 3-D-Druck aufbereitet. Dies ist nur ein Beispiel von vielen, das zeigt, was sich im Bereich Recycling entwickelt.

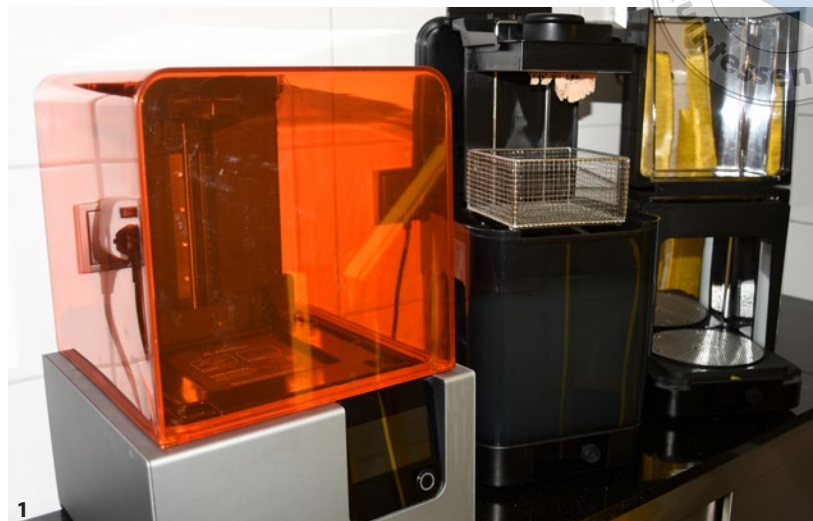
Der 3-D-Druck im Dentallabor

Auch im Dentalbereich zeigt sich das hohe Potenzial des 3-D-Drucks. Die Medizin- und Dentaltechnik gehört zu den zentralen Branchen, die vom 3-D-Druck profitieren.

SLA- und DLP-Technologie

Insbesondere die SLA- und die DLP-Technologie haben sich in vielen Dentallaboren etabliert (Abb. 1). Bei diesen Methoden kommen flüssige, lichtempfindliche Photopolymere zum Einsatz, die mit Licht/Laser oder reinem UV-Licht bestrahlt bzw. ausgehärtet werden. Die Druckqualität ist gut. Moderne Drucker können mit hoher Auflösung feine Details drucken.

Allerdings haben die Technologien Nachteile, wie z. B. die Nachbearbeitung der gedruckten Objekte, das Verwenden von schadstoffhaltigen Reinigungs- und Lösungsmitteln (z. B. Isopropanol), die Nachpolymerisation und etwaige Restmonomere, geringe Biokompatibilität der Materialien und die Materialkosten. Betrachtet man den kompletten Prozess, wird deutlich, dass als Nebenprodukt viel Abfall entsteht, z. B. Papiertücher zum Reinigen oder Einmalhandschuhe (Abb. 2 bis 5). Der Nachbereitungs- und Reinigungsprozess setzt Dämpfe frei (Hinweis: MAK-Wert), die sich im Labor verteilen und die Luft verschmutzen. Zudem verdunstet Isopropanol selbst dann, wenn es nicht verbraucht wird. Abhilfe würde eine 3-D-Druck-Kammer oder -Vitrine schaffen, die einen Abzug nach draußen hat (Abb. 6).



Schmelz-Schicht-Verfahren

Eine biologische Alternative zu den zuvor genannten 3-D-Druckverfahren ist die Schmelzschichtung bzw. das Schmelzschicht-Druckverfahren, kurz FDM (Fused Deposition Modeling) oder FFF (Fused Filament Fabrication) genannt. Beim Schmelzschichten wird ein Polymerdraht (Filament) in einem Extruder erhitzt und durch eine Düse auf die Bauplatte aufgetragen; vergleichbar mit einer Heißklebepistole (Abb. 7).

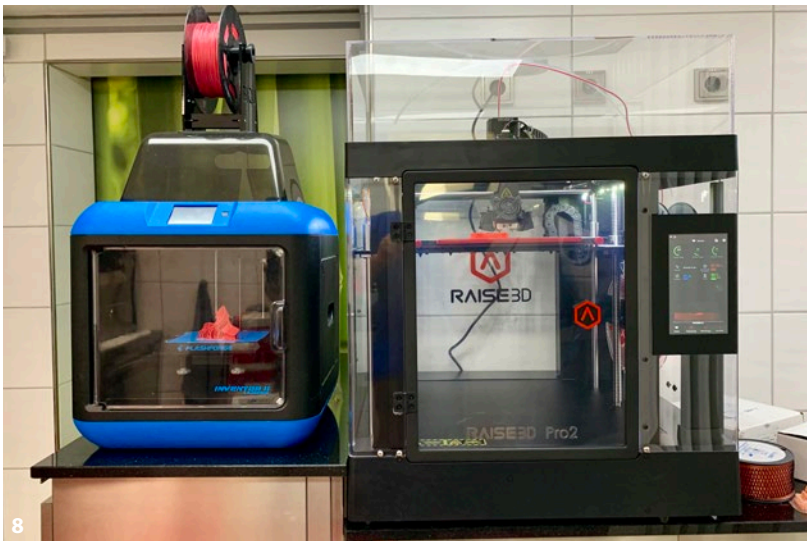
Abb. 1 SLA-Druckerstraße mit Waschgerät und Lichthärtegerät. **Abb. 2 und 3** „Nebenprodukte“ (Einmalhandschuhe, Papiertücher), die beim 3-D-Druck bzw. der Nachbereitung benötigt werden. **Abb. 4 und 5** Entsorgung von Hilfsmitteln. Der Abfall in Form von Handschuhen und Papier steigt im Labor exponentiell.



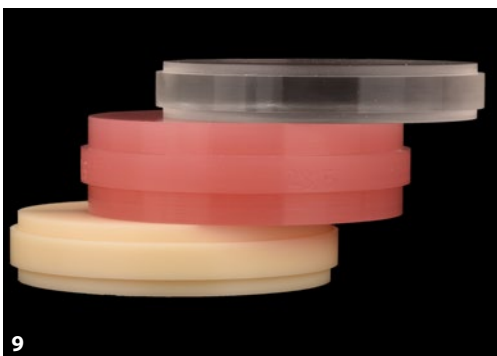
6



7



8



9



10

Abb. 6 Resindämpfe sollten aus gesundheitlichen Gründen nach außen geleitet werden. **Abb. 7** Das Prinzip des Filamentdruckers (Schmelzschichtung, FFF) ähnelt dem einer Heißklebepistole, mit dem Unterschied, dass es X-, Y- und Z-Achsen gibt. **Abb. 8** 3-D-Filamentdrucker (FFF-Verfahren) im Laboreinsatz: Der Inventor II Flashforge (Fa. Flashforge-Germany, Waldshut-Tiengen) und der neue RAISE 3-D Pro2 (Fa. Raise 3-D, Rotterdam, Niederlande) mit beheiztem Bett und zwei Extrudern (Vertrieb: Fa. d3 technology, Burghardt van Soest, Solingen). **Abb. 9 und 10** Die aus der CAD/CAM-Frästechnik bekannten Blank-Materialien werden nach und nach auch als Filament angeboten.

Der Filament-3-D-Druck (FFF-Methode)

Bei der FFF-Druckertechnologie werden drahtförmige Polymere oder Wachse punktuell verflüssigt und aufgetragen. Vereinfacht gesagt, sind für den FFF-Druck drei Elemente notwendig:

- ein Druckbett, auf dem das Objekt gedruckt wird,
- das 3-D-Druckerfilament, also das Material, das auf einer Spule aufgerollt ist,
- ein Extruder; das ist der Druckkopf, durch den das Material geschmolzen und Schicht für Schicht auf das Druckbett aufgetragen wird.

Die einzigen Kosten, die beim FFF-Druck anfallen, sind – neben dem 3-D-Drucker (Abb. 8) – die Filamentrollen. Zudem können mit dieser Druckertechnologie in entsprechenden Druckern mehrere Materialien kombiniert werden.

Die Anwendung des Filament-3-D-Drucks im Dentallabor ist komfortabel (Abb. 9 und 10). Der Zahntechniker nutzt für die Konstruktion die vorhandene CAD-Software. Auch der Materialeinsatz ist überschaubar, denn es wird wirklich nur das Material verbraucht, das benötigt wird. Das Vorgehen ist weitestge-

hend schadstofffrei, was sich z. B. daran widerspiegelt, dass kaum Gerüche entstehen. Das Objekt ist direkt nach dem Druck fertig, ohne Nachbereitung, Polymerisation und Schutzgas. Während im SLA- oder DLP-Verfahren gedruckte Objekte gewaschen, getrocknet und ausgehärtet werden, bedarf das filamentgedruckte Objekt keiner Nachbereitung. Das im FFF-Verfahren gedruckte Objekt härtet nicht über die Lichtpolymerisation aus, sondern wird thermoplastisch durch Aufschmelzen aufgebaut.

Grundsätzlich kann bei der FFF-Technologie eine Vielzahl thermoplastischer Materialien verwendet werden. Häufig handelt es sich dabei um biologische Materialien, die gern als Bio-Plastik betitelt werden. ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol) und PLA (Polylactid) sind die häufigsten Filamente beim 3-D-Druck. Da ABS im Dentalbereich kaum angewandt wird und dieses Material nicht als biologisch bezeichnet werden kann, sei darauf nur kurz eingegangen. Acrylnitril-Butadien-Styrol ist ein erdölbasierter thermoplastischer Kunststoff. Aus ihm werden beispielsweise Sturzhelme oder Spielzeug (Lego) hergestellt.

Die Autoren sind vor circa vier Jahren in die 3-D-Filamentdrucktechnik eingestiegen. Die Idee, individuelle Löffel zu drucken, haben sie von einer Fortbildung aus Manila (International Trainingscenter, Fa. Novadent) mitgebracht (Abb. 11 bis 18). Zum damaligen Zeitpunkt wurde die Indikation „Abformlöffel“ von vielen Kollegen belächelt. Begründung: Die Löffelherstellung werde doch vom Azubi gemacht und verursache kaum Kosten. Heute ist der Druck von individuellen Abformlöffeln fast Normalität in vielen Laboren. Es gibt professionelle Software-Tools, mit denen sich beispielsweise Bissgabelhalter oder die Platte für das Pfeilwinkelregistrat integrieren lassen.

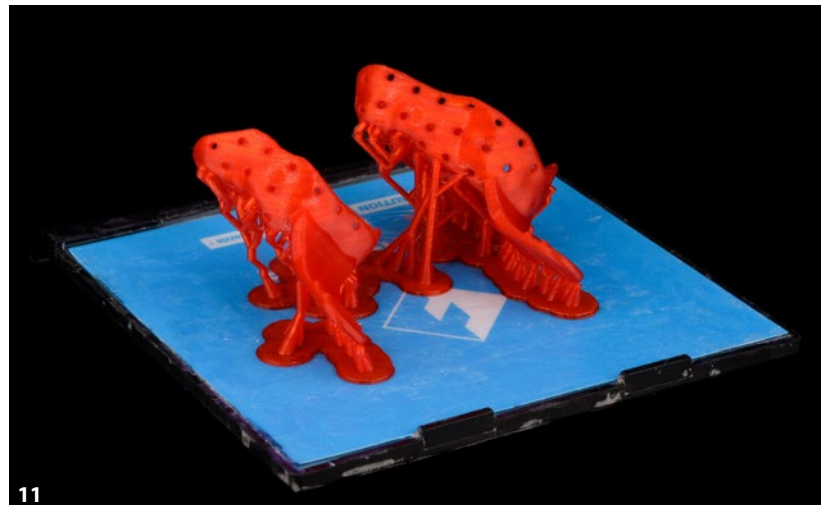
Grundsätzlich ist zu sagen, dass der 3-D-Druck einer hohen technischen Kom-

petenz bedarf. So wie beim CAD/CAM-Fräsen die Frässtrategien ausschlaggebend sind für das gute Ergebnis, müssen Druckerstrategien individuell angepasst werden. Hier macht es durchaus Sinn, auf externe Experten zurückzugreifen.

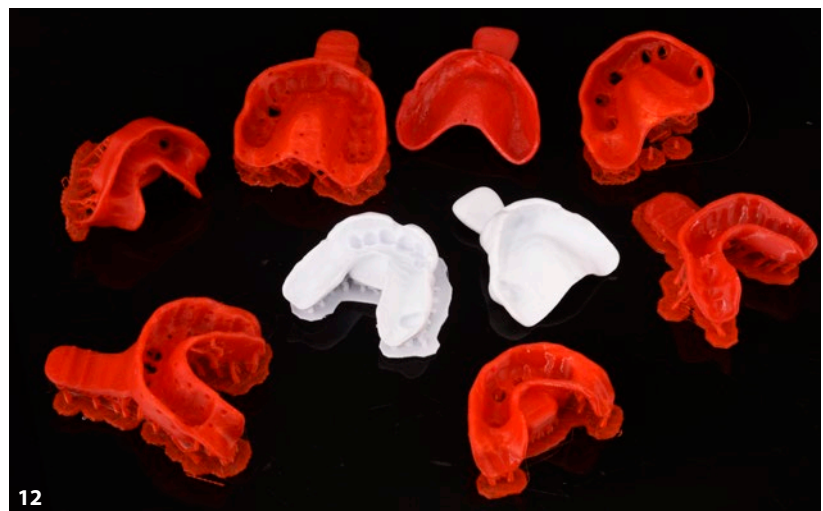
Poly lactid (PLA) als Filament-Biokunststoff

PLA (umgangssprachlich Milchsäure) ist ein bioaktives, biologisch abbaubares Polyester aus erneuerbaren Rohstoffen. Das

synthetische Polymer wird aus regenerativen Quellen (z. B. Maisstärke) gewonnen. Die Grundstrukturen sind häufig mit Additiven angereichert, um die entsprechenden Eigenschaften zu ermöglichen. PLA ist ein biokompatibler Rohstoff mit guten mechanischen Eigenschaften (z. B. hoher Oberflächenhärte, Steifigkeit und hohem E-Modul). Lange Zeit wurde das Material nur für biomedizinische Bereiche eingesetzt. Aufgrund des gestiegenen Umweltbewusstseins hat das „Bio-Plastik“ auch in anderen Bereichen eine



11



12

Abb. 11 und 12 Beispielhafte Indikation: Im Filament-3-D-Druck-Verfahren hergestellte Abformlöffel.

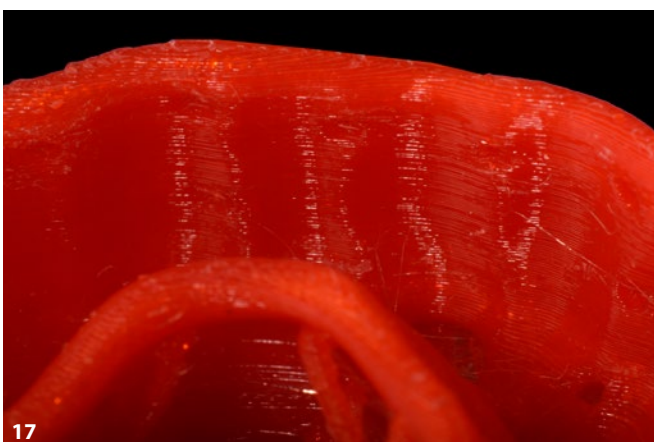
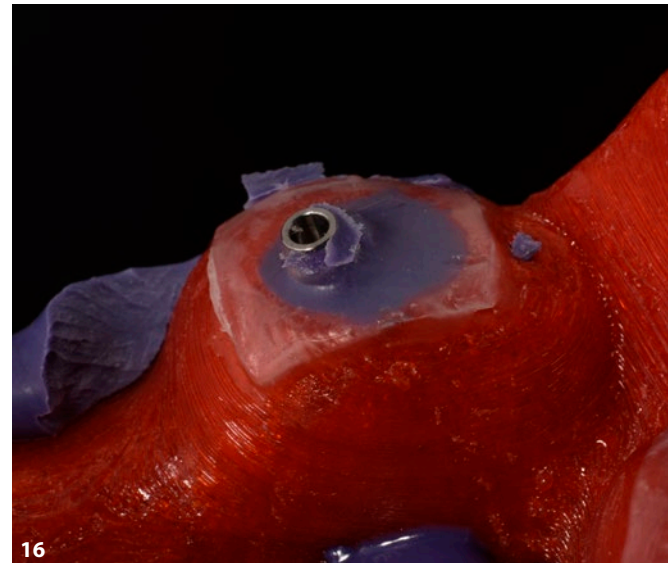
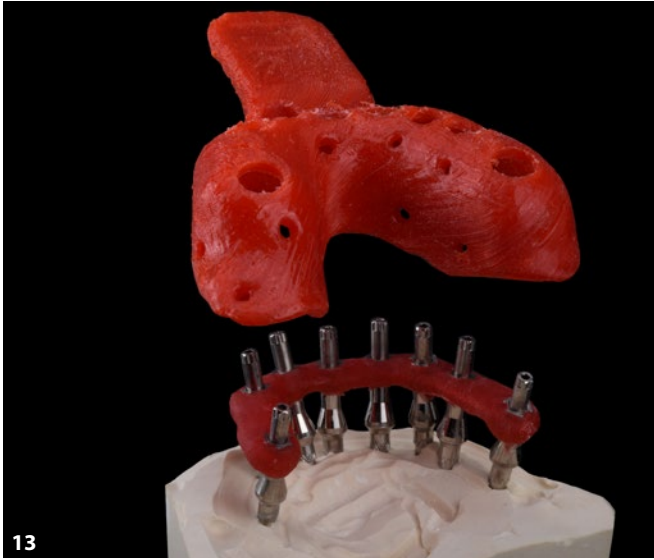


Abb. 13 bis 16 Für die ersten Löffel kombinierten die Autoren in der Software ein Schienenmodul mit einem extra konstruierten Griff. Später brachte Zirkonzahn eine Gratissoftware auf den Markt. **Abb. 17 und 18** Druckerstrategien: Den Filamentdrucker kann man so einstellen, dass die Löffeloberfläche retentiv wird und somit die ideale Oberfläche für das Abformmaterial bietet.

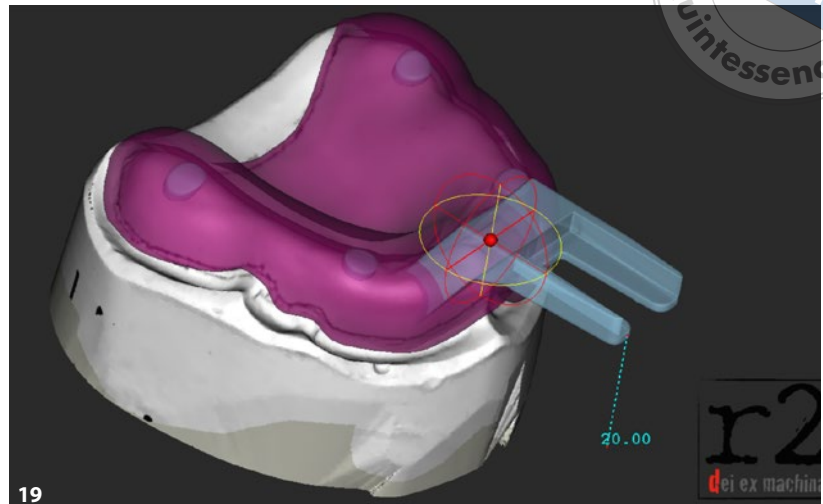
hohe Bedeutung erlangt. Anwendungsbeispiele sind beispielsweise die Herstellung originalgetreuer Modelle von Organen, Transportbehältnissen, Hygieneprodukten, Spielsachen etc.

Im Dentallabor können damit derzeit beispielsweise Modelle, Abformlöffel (Abb. 19 bis 21, z. B. basierend auf der Software BiteReg, Fa. r2Dental, Remchingen) oder Bisschablonen (Abb. 22 bis 28) hergestellt werden. Auch Einsetz- und Einschraubschlüssel (Abb. 29 und 30) und Modelle (z. B. für Alingnerherstellung) sind Anwendungsgebiete (Abb. 31 bis 33). Betrachtet man allein die derzeit boomende Aligner-Herstellung mit ihrer großen Anzahl an Modellen pro Therapie, wird deutlich, wieviel Abfall (alte Modelle) anfallen kann. Hier sind ressourcenschonende Materialien wie PLA ein großer Schritt in ein nachhaltiges Arbeiten. Zudem sind die Materialkosten vergleichsweise gering, sodass der Effizienzvorteil des 3-D-Drucks wirtschaftlich zum Tragen kommt:

- Marktpreis von PLA : ca. 2 Euro/kg
- Schmelzpunkt: 150 bis 180 °C
- Zugfestigkeit :10 bis 60 mPa
- Bruchdehnung: 1,5 – 38 %

Polyamid (PA) als 3-D-Druckerfilament

Auch Polyamide/Nylon stehen als 3-D-Druckfilament zur Verfügung. Polyamide (PA) sind teilkristalline und thermoplastische Kunststoffe mit hervorragenden mechanischen Eigenschaften (hohe Festigkeit, große Zähigkeit und hoher Widerstand gegen Verschleiß). Polyamid wird in der Zahntechnik schon seit längerer Zeit angewandt (z. B. bei Interimzahnersatz); insbesondere die biokompatiblen Eigenschaften und die Flexibilität des Materials sind für diese Anwendung prädestiniert (Abb. 34 bis 38).



19



20



21

Abb. 19 bis 21 Seit einiger Zeit arbeiten die Autoren mit einer innovativen, speziellen Software (BiteReg; Fa. r2deiexmachina, Remchingen). Für die Löffelkonstruktion lässt diese Software keine Wünsche offen, unter anderem sind Gesichtsbogen-Ausschlüsse hinterlegt.

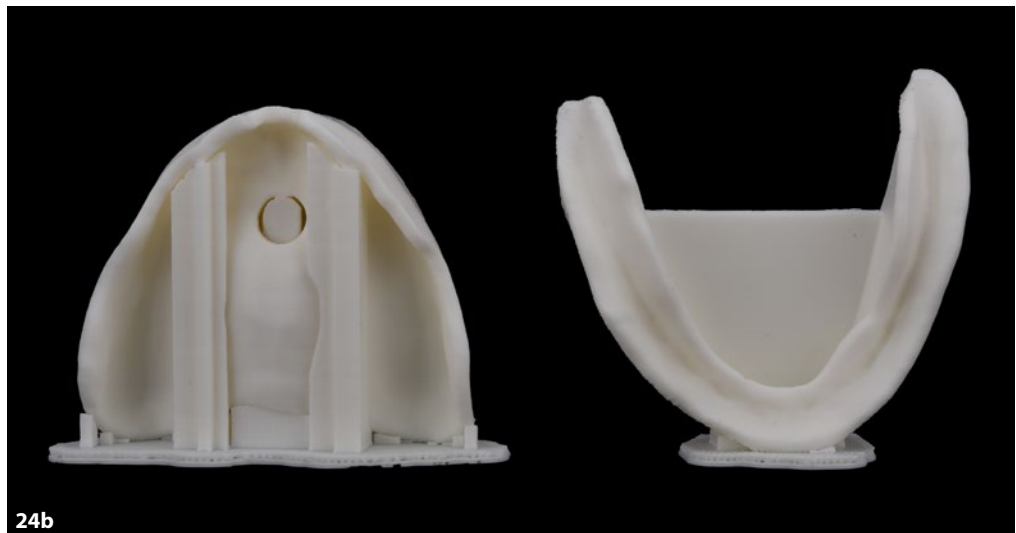
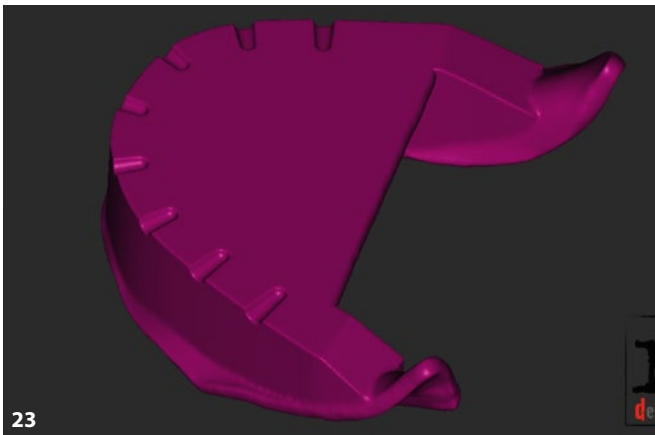
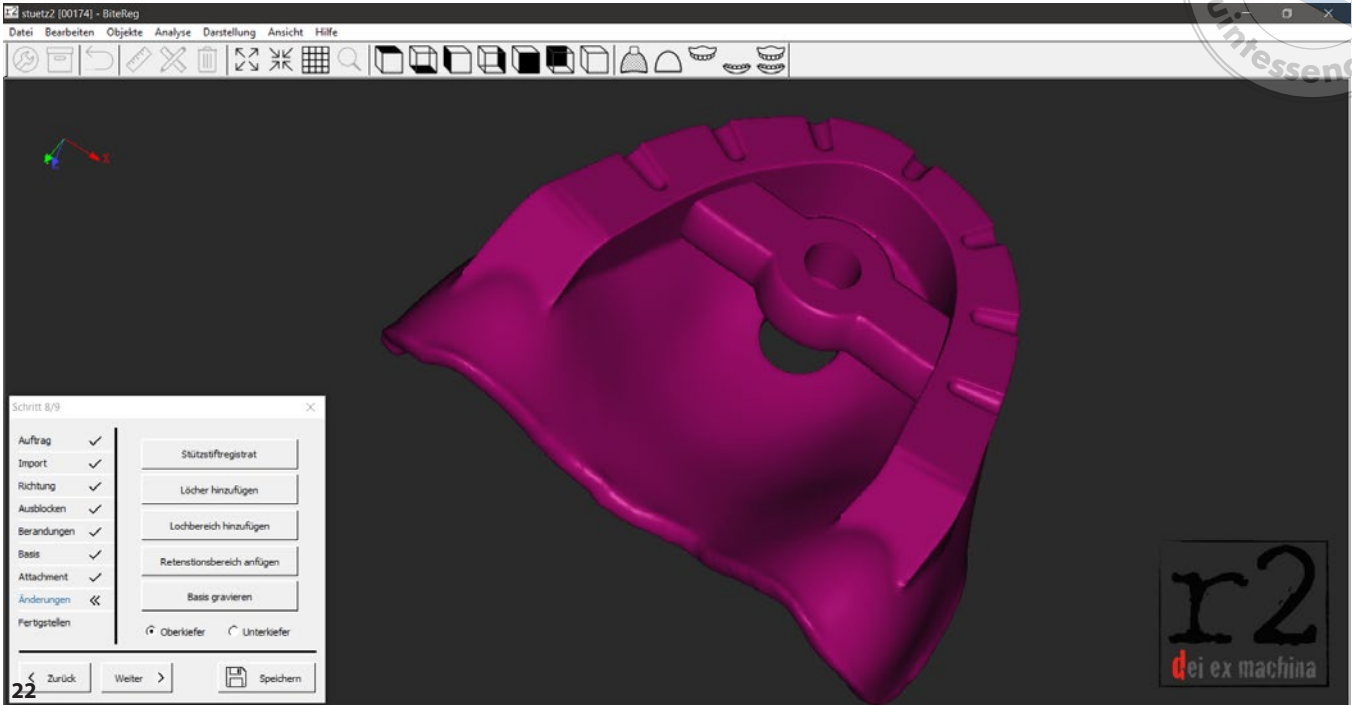


Abb. 22 und 23 Pfeilwinkel- bzw. Stützstiftregistrat sind in der Software einfach zu konstruieren. **Abb. 24a und b** Einfacher Druck mit dem Filament-Drucker.

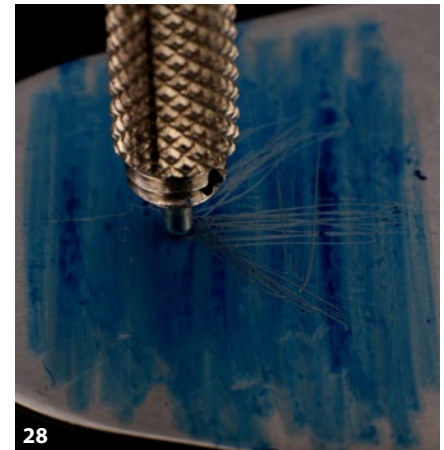
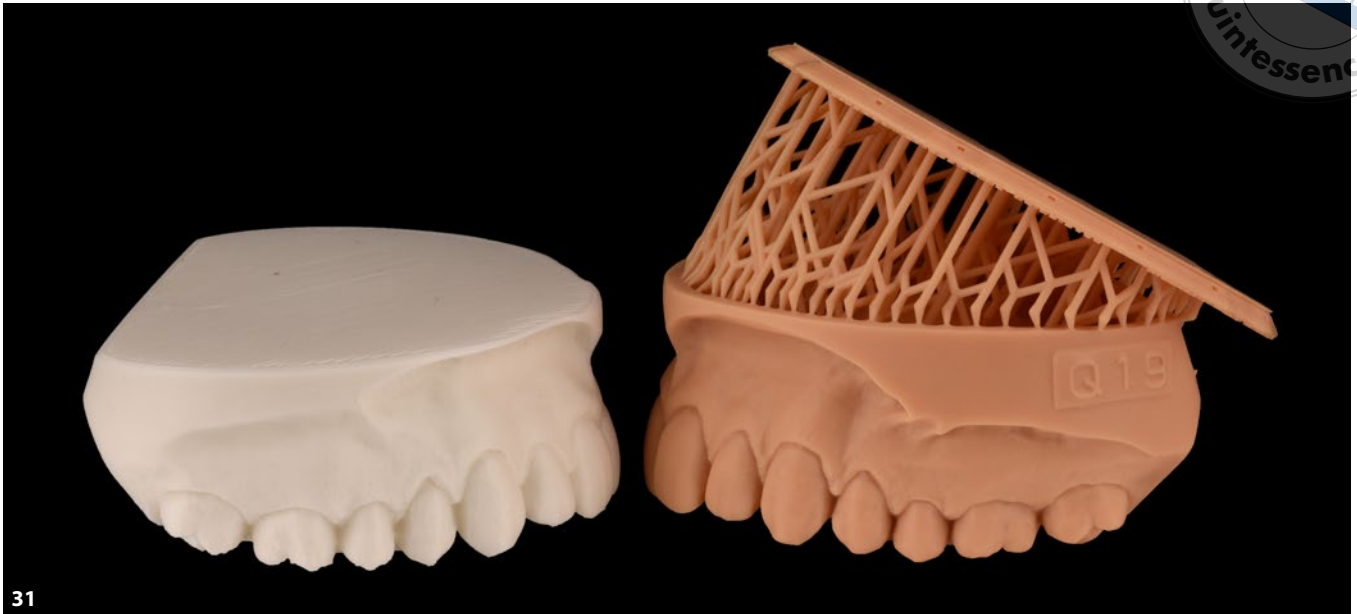


Abb. 25 und 26 In die Perforation der Oberkieferplatte passt die Registrierspitze mit Gewindehülse, in den Unterkiefer die Registrierplatte (hier von Fa. Candulor Dental, Rielasingen-Worblingen). **Abb. 27 und 28** Die Elemente aus Metall gewähren ein optimales, widerstandloses Gleiten bei der Registrierung. Dies wäre bei einem Aufeinandertreffen von Kunststoff zu Kunststoff nicht so optimal. **Abb. 29 und 30** Auch Einsetz-, Aufschraub- oder Kontrollschlüssel lassen sich im 3-D-Filamentdruck hervorragend herstellen.



31



32



33

Abb. 31 Modelle aus dem Filamentdrucker (links) haben noch nicht die Oberflächenwiedergabe bzw. Genauigkeit wie Modelle aus einem SLA-Drucker (rechts). **Abb. 32 und 33** Für viele Indikationen (z. B. Aligner-Modelle, Situationsmodelle, KFO-Modelle) ist der Modelldruck im Filament-Verfahren ausreichend.

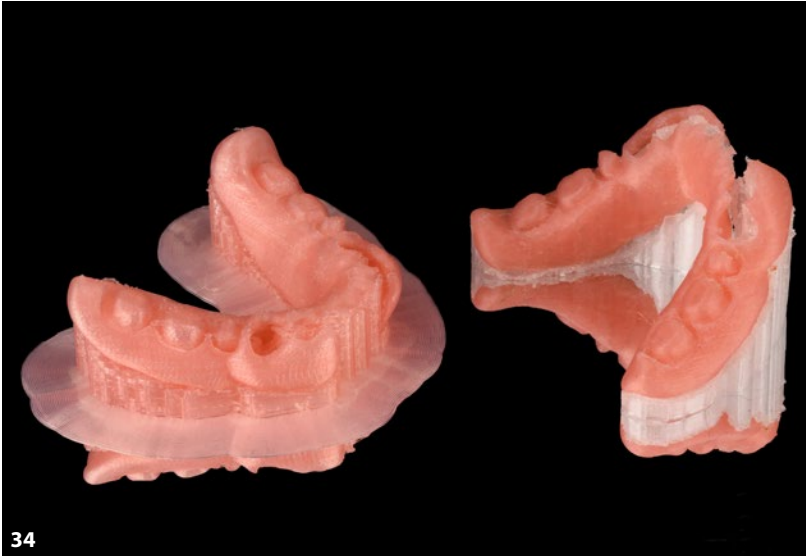


Abb. 34 Vielversprechend ist das Drucken von Provisorien/Langzeitprovisorien aus flexiblem Filament, wie z. B. PET oder Polyamid. Testdruck aus Polyamid/Nylon (FFF-Verfahren). **Abb. 35** Druckergebnis eines dentalen Polyamid-Drucks im Größenvergleich zum 1,75 mm Filament-Draht. **Abb. 36** Größenvergleich zu einem menschlichen Haar (etwa 0,05 bis 0,08 mm). **Abb. 37 und 38** Testdruck von Langzeitprovisorien aus Dental-Polyamid. Die Zähne können gefräst, gedruckt oder als Konfektionszähne in die Basis eingearbeitet werden. Da Polyamid Wasser aufnimmt, ist diese doch etwas raue Oberfläche noch nicht befriedigend, da Verfärbungen und unangenehme Gerüche auftreten können.

PEEK als 3-D-Druckerfilament

Eines der Biomaterialien, das in den vergangenen Jahren in der Dentaltechnik hohen Zuspruch erhalten hat, ist das Hochleistungspolymer Polyetheretherketon (PEEK). Positive Eigenschaften sind die chemische Stabilität, die Biokompatibilität und eine hervorragende Verschleißbeständigkeit. Hinzu kommt ein geringes spezifisches Gewicht. Mit speziellen Druckern können Objekte aus PEEK mit dem FFF-Verfahren additiv realisiert werden (Abb. 16). Das Material wird in Filamentform durch den Druckkopf bei hohen Temperaturen von bis zu 500 °C geschmolzen und in verschiedenen Schichten zum gewünschten Bauteil aufgetragen.

Polyvinylalkohol (PVOH) als wasserlösliche Stützstruktur

Im Labor der Autoren wird derzeit eine interessante Alternative als 3-D-Druckmaterial (Polyvinylalkohol, PVOH) für Stützstrukturen getestet. Dieses Supportmaterial für andere Kunststoffe ist ein wasserlösliches Filament, das ebenfalls biologisch abbaubar ist. Hergestellt wird das Material auf Basis von Polyvinylalkohol von der Fa. Kuraray Europe. Das Material ist kaltwasserlöslich und biologisch abbaubar und lässt sich nach Aussage des Herstellers mit dem normalen Abwasser entsorgen. Das Filament haftet gut an Druckmaterialien wie Polylactid (PLA), Polyamid (PA), Polyvinylbutyral (PVB) und Polyurethan (PUR). Das im 3-D-Druck hergestellte Objekt (z. B. Dentalmodell) wird mit der Stützstruktur aus PVOH in ein Wasserbad gegeben. Die Stützstruktur löst sich komplett auf. Benötigt wird hierzu ein Filament-3-D-Drucker mit zwei Extrudern.

Nachhaltigkeit: Wie biologisch ist PLA (3-D-Druckfilament)?

PLA ist ein „Bio-Plastik“ und die Aussage, PLA sei biologisch abbaubar, schürt hohe Erwartungen. Allerdings ist dies nicht ganz korrekt bzw. sind im Hinblick auf die Nachhaltigkeit verschiedene Aspekte zu betrachten. Hergestellt wird PLA aus nachwachsenden natürlichen Rohstoffen (z. B. Mais). Aus den Pflanzen wird Glukose (Stärke) herausgefiltert und diese durch Enzyme in Dextrose umgebildet. Diese wiederum wird in Milchsäure fermentiert und dann zu PLA umgewandelt. PLA basiert demnach nicht auf fossilen Rohstoffen, doch in der Regel sind in 3-D-Druckfilamenten Verbundstoffe integriert. Und es sollte auch ein ethischer Aspekt angesprochen werden. Um PLA zu gewinnen, wird eine Nahrungsmittel-Ressource (Mais) verbraucht, was angesichts des weltweit steigenden Nahrungsmittelbedarfs und der wachsenden Weltbevölkerung zu bedenken ist. Für die biologische Abbaubarkeit von Filament-PLA bedarf es einer industriellen Kompostierung. Das Bio-Plastik kann in normalen Kompostieranlagen nicht kompostiert werden. Technisch ist es möglich, PLA zu recyceln; es müssen entsprechende Sammelstellen eingerichtet werden.

Nanopartikel (UFP) durch 3-D-Druck

Oft werden im Zusammenhang mit dem Begriff Nanopartikel vermeintliche Auswirkungen auf die Gesundheit diskutiert. Gemeint sind Ultrafeinpartikel (UFP), die beim 3-D-Druck freigesetzt werden. Hierzu gibt es eine interessante Studie, bei der fünf Drucker mit 16 unterschiedlichen Filamenten getestet wurden¹. Grundsätzlich ist die Freisetzung von Nanopartikeln abhängig von dem

verwendeten Drucker, dem Filamentmaterial, der Temperatur und der Druckzeit. Die geringsten UFP-Emissionsraten wurden bei den Druckern gemessen, die PLA druckten, und die höchsten bei ABS-Filamenten. Auch in weiteren Untersuchungen sticht PLA-Filament deutlich positiv hervor. Aus einem anderen Forschungsergebnis heraus erläutern die Wissenschaftler, dass die Absonderung bei ABS um bis zu dem Zehnfachen über dem von PLA liegt². Vergleichbar sei der Partikelaustritt mit dem von Laserdruckern. Die Menge der erzeugten Ultrafeinpartikel ist ähnlich niedrig wie Partikelemissionen beim Kochen. Das Braten mit einer elektrischen Bratpfanne setzt die gleiche Anzahl von Ultrafeinpartikeln frei wie das 3-D-Drucken mit PLA.

Model-less als echte Alternative

Kommen wir zur eingangs beschriebenen Tatsache zurück, dass jede Fertigungstechnologie im Dentallabor mit dem Verbrauch von Rohstoffen verbunden ist und dass Abfälle entstehen, außer man verzichtet komplett auf bestimmte Arbeitsschritte. Eine wirkliche Alternative – ökologisch nachhaltig – ist die modellfreie Herstellung (model-less) von Zahnersatz. Bis zu 40 Prozent der im Dentallabor zu fertigenden Indikationen (festsitzender Zahnersatz, Schienen etc.) könnten zukünftig model-less gefertigt werden; digitale intraorale Datenerfassung (keine Silikone, Alginate aus Abformmassen), Datentransfer an das Labor (kein Versand, CO₂-Emission gleich Null), virtuelles Modell (kein Materialverbrauch) und CAM-Fertigung machen es möglich. Dazu müssen Arbeitsprozesse in Praxis und Labor umgestellt werden, und doch ist dies ein Weg für einen Beitrag zu mehr Nachhaltigkeit.

Fazit

Zusammengefasst lässt sich feststellen, dass Bio-Filamente (PLA) umweltfreundlicher sind als Druckermaterialien aus fossilen Ressourcen (z. B. Erdöl). Gewonnen aus natürlichen, nachwachsenden Rohstoffen können sie in industriellen Kompostieranlagen biologisch abgebaut und theoretisch nach dem Sammeln durch entsprechende Institutionen recycelt werden.

Hinweis: PLA zersetzt sich nicht auf häuslichen Komposten. In der freien Natur würde die Zersetzung von PLA mindestens 80 Jahre dauern.

Für den Filamentdruck können noch weitere biologische Materialien

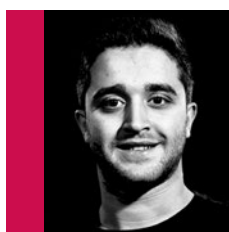
verwendet werden, wie beispielsweise das wasserlösliche Polyvinylalkohol für Stützstrukturen. Grundsätzlich leistet der 3-D-Druck einen wichtigen Beitrag, um in der Zahntechnik etwas nachhaltiger bzw. umweltbewusster zu arbeiten. Insbesondere im Vergleich zu konventionellen Materialien können PLA-Filamente – indikationsbezogen – eine echte Alternative sein. Sowohl die additiven Technologien als auch die dazugehörigen Materialien können derzeit allerdings nur für wenige Indikationen verwendet werden. Hier bleibt die Entwicklung abzuwarten, sowohl im Bereich der Materialentwicklung als auch beim Recycling.

Literatur

1. Azimi P, Zhao D, Pouzet C, Crain-NE, Stephens B. Emissions of ultrafine particles and volatile organic compounds from commercially available desktop three-dimensional printers with multiple filaments. *Environ Sci Technol* 2016;50:1260-1268.
2. Stephens B, Azimi P, El Orch Z, Ramos T. Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers. *Atmospheric Environment* 2013;79:334-339.
3. Umweltbundesamt (Hrsg.). Die Zukunft im Blick: 3D-Druck, Trendbericht zur Abschätzung der Umweltwirkungen. Berlin: Umweltbundesamt, 2018.



Norbert Wichnalek
Hochfeldstraße 62
86159 Augsburg
E-Mail: info@wichnalek-dl.de



Arbnor Saraci
Adresse wie links



Lukas Wichnalek
Adresse wie links