

Abb. 1: Zirkonzahn S300
KFO-Modellscanner

Software und 3D-Druck machen's möglich:

Alignertherapie im Eigenlabor herstellen

von Christian Url

Mit moderner Technik neue Möglichkeiten bei der Herstellung von Alignern eröffnen. Eine Investition, die sich sehr schnell bezahlt macht.

Korrekturschienen aus Kunststoff, sogenannte Aligner-Schienen, wurden in den letzten 20 Jahren zu einem wichtigen Bestandteil in der Palette der Therapieformen der Kieferorthopädie und werden heute weltweit eingesetzt. Die Idee, Zähne mithilfe von Schienen zu bewegen, ist nicht neu. Bereits in den 1940er Jahren wurde der Tooth Positioner erfunden, eine Kautschukschiene, die patientenspezi-

fisch für die Feineinstellung am Ende einer Behandlung laborseitig hergestellt wurde. Dabei wurden auf einem Gipsmodell die zu bewegenden Zähne herausgetrennt, neu positioniert und so mit Wachs fixiert. Von diesem Modell wurde ein Negativ hergestellt - zunächst mit Kautschuk, später in einem Tiefziehverfahren mit durchsichtigen Folien. Dieses Negativ hat im Mund des Patienten Druck auf die gewünschten Zähne ausgeübt und diese so in die geplante Position bewegt. Der Umfang der möglichen Zahnbewegung war mit dieser Methode begrenzt, da pro Schiene nur kleine Änderungen durchgeführt, und aufgrund der Komplexität der dreidimensionalen Bewegung nur

wenige aufeinanderfolgende Schritte im Vorhinein ohne Zwischenabdruck hergestellt werden konnten.

Industrielle Herstellung

Dieses Problem wurde 50 Jahre später durch die Entwicklung computergestützter Planungs- und Herstellungsverfahren gelöst. Dabei wird die gewünschte Zahnzielposition anhand eines virtuellen 3D-Modells simuliert, diese Endposition schrittweise in die Anfangsposition rückgeführt und von jedem dieser Zwischenschritte ein gegenständliches Modell des Zahnkranzes mittels Fräs- oder 3D-Druckverfahren hergestellt. Von jedem

Zwischenmodell wird mit einem Vakuumtiefziehverfahren eine Aligner-Schiene hergestellt. Auf diese Weise können auch große Zahnbewegungen vorausgeplant und mit einer hohen Schienenanzahl therapiert werden. Zwischenabdrücke zur Verlaufskorrektur sind in der Regel nicht mehr notwendig.

Die CAD/CAM Herstellung von Aligner-Schienen hat der Methode zu Aufschwung und großer Verbreitung verholfen. Durch die Komplexität der Herstellung ist diese jedoch vom Eigenlabor in die Hände weniger industrieller Anbieter gewandert.

Zurück in Anwenderhand

Neue Anwendersoftware und wirtschaftliche 3D-Druckverfahren bringen die Herstellung von Aligner-Schienen auch für komplexe Fälle nun wieder zurück in das Eigenlabor. Sie ermöglichen es jedem Fachanwender, von den Vorteilen der CAD/CAM-Fertigung zu profitieren und den gesamten Planungs- und Herstellungsprozess in eigenen Händen zu halten. Dies erhöht die Kontrolle über die Behandlungsqualität, die Geschwindigkeit der Herstellung und nicht zuletzt die Wirtschaftlichkeit der Alignertherapie. Dabei ist der Einführungsaufwand überschaubar. Für die Alignerherstellung im eigenen Labor benötigt man:

- 3D-Modell- oder Intraoralscanner
- Planungssoftware
- 3D-Drucker (oder externen Druckdienstleister)
- Ausstattung für die Tiefziehtechnik

Viele kieferorthopädische Praxen und Labors sind bereits mit dem einen oder anderen Punkt dieser Liste ausgestattet, sodass es nur ein kleiner Schritt zur eigenen Alignerproduktion ist. 3D-Modell- oder Intraoralscanner werden immer mehr Standardausstattung, Geräte für die Tiefziehtechnik sind in vielen Labors vorhanden. 3D-gedruckte Modelle können auch ohne eigenen 3D-Drucker über Dienstleister kostengünstig bezogen werden. Die Investition für einen eigenen 3D-Drucker mit der geforderten Druckqualität liegt deutlich unter 5.000 Euro und benötigt wenig Platz im Labor, sodass auch die Anschaffung eines eigenen Druckers in Betracht gezogen werden kann. Die Planungssoftware, welche hier vorgestellt wird, ist ein Zusatzmodul der weit verbreiteten kieferorthopädischen

Diagnostiksoftware OnyxCeph^{3TM} (Fa. Image Instruments, Deutschland).

Der Herstellungsprozess im Eigenlabor

Basis für die Behandlungsplanung ist ein virtuelles 3D-Zahnmodell. Die Erfassung des Patientengebisses kann über einen Intraoralscanner oder über Abdrucknahme und Modellerstellung mittels 3D-Modellscanner geschehen. Bei letzterem Weg entscheidet die Modellbeschaffenheit über die Qualität der Schienen. Negative Gipsblasen und kleine Defekte wirken sich auf die Passgenauigkeit und Wirkung der Schienen aus, diese sind daher idealerweise vor Digitalisierung zu versäuern. Derartige Korrekturen sind auch innerhalb der Software am digitalen Modell möglich, benötigen aber meist mehr Zeit.

Im Labor des Autors wird ein 3D-Modellscanner für die Digitalisierung verwendet (Abb. 1). Dieser liefert Dateien im allgemein lesbaren STL Format, welche in Folge in die Software importiert werden.

Zahnkronensegmentierung

Nach Import, Korrektur etwaiger Netzfehler (z. B. Löcher), korrekter Ausrichtung des Modells im dreidimensionalen Raum und Herstellung eines virtuellen Sockels werden die Einzelzahnkronen aus dem Gesamtmodell getrennt, um sie bewegen zu können. Diese Segmentierfunktion arbeitet in OnyxCeph^{3TM} halbautomatisch: Der Anwender benennt jeden Zahn durch Mausklick, die Software erkennt automatisch den Kronenrand und trennt den Zahn vom Restmodell. Die Zähne werden danach mit einer synthetischen Wurzel vervollständigt. Im Zuge dessen wird auch die Orientierung jedes Zahns erkannt und ein eigenes Koordinatensystem zugewiesen. So wird eine spätere Befehlseingabe wie z. B. Änderung von Inklination, Rotation oder körperliche Bewegung Richtung mesial für jeden Zahn korrekt ausgeführt (Abb. 2).

Herstellung eines Zielsetupmodells

Die gewünschte Zahnzielposition wird nun im OnyxCeph^{3TM} Modul „V.T.O. 3D“ (Visual Treatment Objective) simuliert. Dieses Modul bietet fortge-

schriftliche Funktionen zur Behandlungsplanung und -Simulation. Neben einfachen Bewegungen der Einzelzähne kann auch der gesamte Zahnbogen unter Einhaltung festgelegter Rahmenbedingungen bewegt werden, was die Setup-Erstellung erheblich beschleunigt. Zusätzlich gibt es automatische Zahneinstellungsfunktionen wie Lückenschluss, Zuweisung von Inklination nach vordefinierter Inklinationstabelle, automatische Einhaltung symmetrischer Seitenverhältnisse und viele mehr. Für die Herstellung eines Setups für Alignertherapie werden im Labor des Autors in der Regel zwischen 20 und 30 Minuten benötigt (Abb. 3).

Planung der Alignerschritte

Die Planung der Alignertherapie von der Anfangssituation zum simulierten Behandlungsziel erfolgt im Modul „Aligner 3D“. Hier werden auf Basis anwenderdefinierter Bewegungsgrenzwerte halbautomatisch Zwischenschrit-

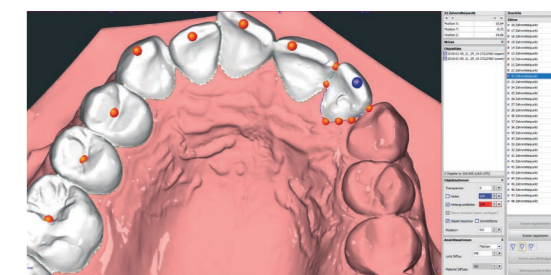


Abb. 2: Segmentierung der Einzelzahnkronen

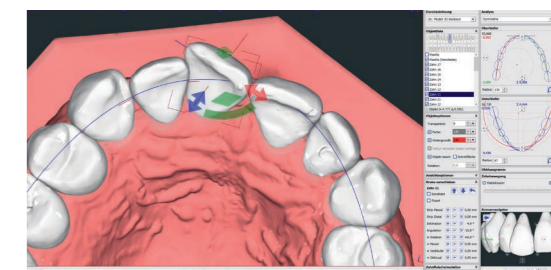


Abb. 3: V.T.O. 3D Modul der Software OnyxCeph^{3TM}

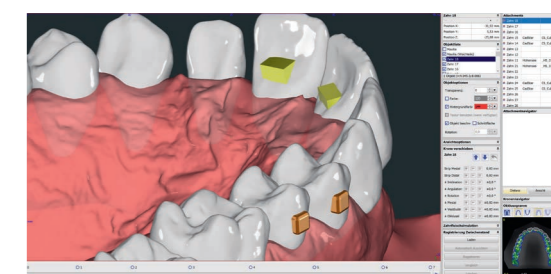


Abb. 4: Bite Ramps im Frontzahnbereich



Abb. 5: 3D-gedruckte Modellserie

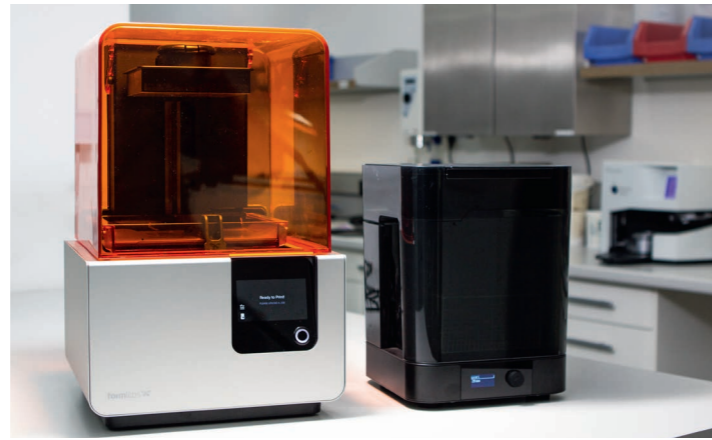


Abb. 6: Formlabs „Form2“ 3D-Drucker und Alkoholbad „Wash“

te errechnet. Die Grenzwerte definieren den Umfang der Bewegung pro Zahn und pro Bewegungsrichtung von einer Aligner-Schiene zur nächsten. Eine mögliche Regel ist z. B.: „Von einem Schritt zum nächsten dürfen Frontzähne nicht mehr als zwei Grad rotiert werden.“ Die Anzahl der benötigten Aligner-Schienen ergibt sich automatisch aus der geplanten Zielsituation, der benötigten Bewegung dorthin und der maximal möglichen Bewegung pro Zwischenschritt.

Zahnbewegungen wie Intrusionen, Extrusionen und Rotationen werden häufig durch sogenannte Attachments unterstützt – kleine Composite-Aufbauten auf der Zahnoberfläche, welche von der Schiene gefasst werden und so die Kraftübertragung verbessern. Derartige Attachments existieren je nach gewünschter Wirkung in unterschiedlichen Ausprägungen. Sie können im Programm entweder aus einer Bibliothek von vorgefertigten Formen gewählt, oder in einem Attachment-Editor eigenhändig konstruiert werden.

Die Anwendungsmöglichkeiten bezüglich Formgebung und Platzierung auf dem Zahn übersteigen die der industriellen Anbieter. So ist eine Positionierung auf der lingualen Zahnseite denkbar, die Konstruktion sogenannter Bite Ramps, welche die Intrusion von Frontzahnsegmenten unterstützen oder auch Knöpfchen zum Einhängen von Gummizügen (Abb. 4). Je nach biomechanischer Anforderung kann der Anwender die Apparatur flexibel anpassen.

Die Auswahl von Attachments kann mit einem Attachment-Regeleditor automatisiert werden. Hier können

Regeln definiert werden, nach denen automatisch Attachments gesetzt werden. Eine solche Regel könnte lauten: „Wenn ein Prämolare um mehr als 3 Grad rotiert werden soll, setze Attachment X auf diese Stelle am Zahn.“ Die Stelle wird mit einem Positionsmarker definiert. Diese Regeln stellen sicher, dass bei entsprechender Zahnbewegung die richtigen Attachments automatisch gesetzt werden, beschleunigen so den Planungsprozess und erhöhen die Planungssicherheit.

Würden die Zwischenschritte und Attachments festgelegt, werden die einzelne Zwischenmodelle für den 3D-Druck exportiert. Im Exportfenster können die Modelle für das Tiefziehen ideal beschnitten, mit Name und Alignerschrittnummer beschriftet und mit Ausblockmaterial versehen werden, sodass die gedruckten Modelle keinerlei händische Nachbearbeitung vor dem Tiefziehen benötigen (Abb. 5).

3D-Druck der Alignermodelle

Der Druck der Modelle unterscheidet sich je nach Gerät oder Dienstleister. Wird ein Dienstleister beauftragt, werden die exportierten STL-Dateien in der Regel über die Website des Anbieters hochgeladen. Die fertig gedruckten Modelle erhält der Auftraggeber meist zwei bis drei Tage danach auf dem Versandweg.

Im Labor des Autors werden die Modelle im Haus gedruckt. Der verwendete „Form2“ Drucker (Formlabs, USA) ist sehr klein, übersteigt die geforderte Druckqualität und ist budgetchonend in der Anschaffung. Er bietet somit einen niederschweligen Einstieg in

die 3D-Drucktechnologie (Abb. 6). Die kostengünstige Konstruktion des Druckers hat jedoch zur Folge, dass der Druckvorgang länger dauert als bei anderen Modellen, die eine vergleichbare Druckqualität liefern. Sechs Zahnkränze werden in etwa vier Stunden gedruckt, max. 16 Zahnkränze in einem Druckvorgang in ca. zehn Stunden. Die meisten Alignerfälle, die im Labor des Autors bearbeitet werden, umfassen zehn bis zwanzig Schienen und können bei Bedarf innerhalb von zwei Tagen hergestellt werden. Schienen für geringe Korrekturen wie ästhetische Frontzahnkorrekturen oder milde Rezidivfälle können sogar am selben Tag fertiggestellt werden. Dies eröffnet kieferorthopädischen Praxen neue Möglichkeiten bei der Versorgung von Patienten mit langen Anfahrwegen.

Tiefziehen und Ausarbeitung der Schienen

Nach Herstellung der Modelle folgt konventionelle Tiefziehetechnik. Bezüglich der Auswahl des Folienmaterials für die Schienen gibt es unterschiedliche Methoden von dünnen und flexiblen bis starken und rigiden Materialien. Auch die Erstellung einer Folge von weicher, mittlerer und harter Schiene auf demselben Zwischenmodell ist möglich. Die Wahl des Materials ist im Hinblick auf die Planung bei der Definition der Bewegungsgrenzwerte zu beachten. Je härter das Schienenmaterial, desto kleiner die möglichen Bewegungsschritte von Schiene zu Schiene. Umgekehrt können mit flexiblen Schienen größere Bewegungen pro Schiene umgesetzt werden. Die Wahl der Me-

thode obliegt dem Fachanwender.

Abhängig vom verwendeten Material gestaltet sich die Ausarbeitung der Schienen. Im Labor des Autors wird hartes Schienenmaterial der Stärke 0,8 mm bis 1 mm verwendet. Die Schienen werden zunächst mit einem Hartmetall-Dreikantfräser ausgeschnitten und die Schnittkanten anschließend mit Polierscheiben unterschiedlicher Stärke verrundet. Einige Hersteller (z.B. Erko-dent GmbH und Scheu-Dental GmbH, beide Deutschland) bieten eigens auf das jeweilig angebotene Schienenmaterial abgestimmte Werkzeugsets mit allen benötigten rotierenden Ausarbeitungsinstrumenten an.

Korrekturen während der Behandlung

Sollte während der Behandlung eine Korrektur der Schienenpassform nötig werden, ist ein Zwischenabdruck bzw. Intraoralscan nötig. Diese Zwischensituation wird in der Software in die ursprüngliche Alignerplanung geladen und mit dem Planungsmodell registriert. Nun können vom derzeitigen

Status erneut Alignerschritte zum Originalziel geplant und neue Schienen hergestellt werden. Auf diese Weise wird die alte, vom Weg abgekommene Planung gleichsam „abgeholt“ und wieder in Richtung ursprüngliches Ziel geführt.

Kosten

Die Kosten der Betriebsmittel für einen derartigen Herstellungsprozess hängen von der bereits vorhandenen Ausstattung und den gewählten Produkten

ab, die Auswahl ist groß. Es werden hier beispielhaft Preisregionen der einzelnen Positionen als Anhaltspunkt aufgeführt (Listenpreise in Euro exkl. MwSt):

- 3D-Modellscanner sind zwischen 10.000 und 17.000 Euro erhältlich, Intraoralscanner ab 17.000 bis 35.000 Euro.
- Die Planungssoftware OnyxCeph^{3™} 3D Lab inkl. Alignermodul kostet einmalig 5.400 Euro plus einer jährlichen Supportgebühr von 99 Euro.

KURSDATEN 2018

Alignertherapie mit OnyxCeph^{3™}

Fr., 23. März: OnyxCeph³ III (3D): Virtuelle Setuperstellung

Sa., 24. März: OnyxCeph³ IV (3D): Alignertherapie im Eigenlabor

Fr., 29. Juni: OnyxCeph³ III (3D): Virtuelle Setuperstellung

Sa., 30. Juni: OnyxCeph³ IV (3D): Alignertherapie im Eigenlabor

Fr., 9. November: OnyxCeph³ III (3D): Virtuelle Setuperstellung

Sa., 10. November: OnyxCeph³ IV (3D): Alignertherapie im Eigenlabor

Details und Anmeldung: www.voek.info/veranstaltungen

Inserat
Hager & Werke



Abb. 7a: Flexible Ausarbeitung Schiene über den Gaumen geführt



Abb. 7b: Überstellung Scherebiss vorher-nachher

- 3D-Drucker gibt es ab 1.000 Euro für Filamentdrucker (sichtbar schlechtere Druckqualität). Der Form2 Drucker von Formlabs kostet mit Nachbearbeitungsset (Alkoholbad und Lichtofen) ca. 4.200 Euro. Schnellere 3D-Drucker gibt es ab 10.000 bis 25.000 Euro.
- Ein vom externen Druckdienstleister gedrucktes Zahnkranzmodell kostet zwischen 15 und 25 Euro.
- Bei den Tiefziehergeräten bewegen sich die Preise zwischen 1.000 und 3.000 Euro.
- Die Kosten für Personalschulung liegen unter 500 Euro pro Person (siehe Infobox Kurse).

Typische Anwendungsfälle

Die Funktionalität der Software ermöglicht die Behandlung schwerer Fehlstellungen mit großer Alignerzahl. Hier gilt es anhand der internen Laborkosten die Wirtschaftlichkeit abzuwägen. Im Unterschied zum industriellen Hersteller muss im Eigenlabor jede Schiene händisch ausgearbeitet werden, wobei die Kosten der internen Herstellung irgendwann die Kosten des Produkts eines industriellen Anbieters übersteigen. Wenn dann nicht das Argument der Kontrolle über den Herstellungsprozess überwiegt, lohnt es sich, auf den externen Anbieter zurückzugreifen.

Aligner im Eigenlabor herstellen zu können, eröffnet neue Therapieoptionen in der Praxis. Vor allem Patienten mit kleinen Fehlstellungen, bei denen eine Behandlung mit Multibracketapparatur oder mit industriellem Alignerlieferanten wirtschaftlich unattraktiv wäre,

kann mit dieser Methode eine preislich attraktive Alternative angeboten werden. Milde Rezidivfehlstellungen z. B. nach Retainerbruch können ohne großen Aufwand behoben werden. Auch dem immer wieder geäußerten Patientenwunsch nach vorzeitiger Bracketentfernung kann nun entsprochen werden – die Behandlung wird mit einigen Alignerschienen zu Ende geführt. Auch die letzte Feineinstellung kann so im Sinne einer „aktiven Retention“ mit wenigen Alignerschienen erreicht werden.

Die Flexibilität bei der Herstellung ermöglicht es auch, biomechanische Vorteile der Alignertherapie besser zu nutzen. So kann z. B. für die Überstellung eines Scherebisses im Seitenzahnbereich die Schiene über den Gaumen geführt werden und so mehr Stabilität und Kraftübertragung bieten (Abb. 7a und 7b).

Einführungskurse

Im Labor des Autors werden zweitägige Kurse angeboten, in welchen die Softwarebedienung vermittelt und mit vielen Praxistipps die Umsetzung im Eigenlabor unterstützt wird. Tag eins behandelt die virtuelle Setuperstellung, Tag zwei die Planung der Alignertherapie auf Basis der Setupplanung. Nähere Informationen auf den Veranstaltungsseiten des Verbandes Österreichischer Kieferorthopäden www.voek.info/veranstaltungen. Mitglieder des VÖK nehmen zu ermäßigter Gebühr teil!

Nutzen Sie Ihre bereits vorhandenen Betriebsmittel und erweitern Sie Ihre Behandlungsmöglichkeiten mit Alignerherstellung im eigenen Labor!

ZUR PERSON

Dipl.-Ing. Mag. Christian Url



Christian Url ist seit Abschluss seiner Studien (Wirtschaftsinformatik und Software Engineering) in der Medizintechnik mit Spezialisierung auf Robotertechnik und 3D-Virtualisierung in der Kieferorthopädie tätig. Er ist Mitentwickler eines roboterbasierten Laborprozesses zur indirekten Bracketpositionierung für Lingual- und Bukkalapparaturen auf Basis der virtuellen 3D-Behandlungsplanung in OnyxCeph^{3TM}. Er hat über 15 Jahre Erfahrung in der Nutzung und Schulung von OnyxCeph^{3TM}, hat zahlreiche Artikel zur Software veröffentlicht und international Vorträge zum Thema gehalten. Seit 2014 ist er Lehrbeauftragter am Dental University Hospital des Trinity College Dublin, Irland.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Mag. Christian Url
Orthorobot Medizintechnik GmbH
Waidhausenstrasse 11, 1140 Wien
Tel. 01/911 36 38
url@orthorobot.com
www.orthorobot.com

In drei Größen für das Labor und die Praxis

Solflex 3D-Drucker – digitale Zahnheilkunde additiv

Eine stetig zunehmende Zahl an Dental- und Praxislaboren setzt bereits auf die Digitalisierung ihrer Arbeitsabläufe. Der SolFlex 3D-Drucker von VOCO ermöglicht einen einfachen Einstieg in die additive Fertigungstechnologie.



Durch die Kombination von Scans mit anschließendem Design und 3D-Druck gelingt schnell und passgenau die Herstellung von zum Beispiel Modellen und Schienen für die kieferorthopädische Zahnheilkunde. Den SolFlex Drucker gibt es in drei Größen sowohl für das Labor als auch für den Einsatz in der Praxis.

Der SolFlex 3D-Drucker verwendet bewährte DLP-Belichtungseinheiten (Digital Light Processing). In Kombination mit den eingesetzten neuartigen Hochleistungs-UV-LEDs ist er in der Lage, Schicht für Schicht in feinsten Präzision zu drucken.

Er basiert außerdem auf einer Solid-State-UV-LED-Lichtquelle mit geringem Energieverbrauch und langer Lebensdauer. Die außergewöhnliche Leistungsstabilität der Lichtquelle führt zu einem sehr gut reproduzierbaren Druckverfahren. Durch den Einsatz einer patentierten flexiblen Wanne (Flex-Vat) entstehen nur geringe Abzugskräfte. So ist es möglich,

dünnere und feinere Bauteile zu generieren, wodurch nur wenig Supportmaterial benötigt wird.

Dank der revolutionären „Pixel Stitch Technology“ (PST) bietet der Drucker in Bezug auf Auflösung und Bauvolumen ein herausragendes Leistungsvermögen.

Die SolFlex 3-D Drucker sind wahlweise mit oder ohne Sensortechnik (Sensor Monitored Production) erhältlich. Zum einen sichert ein spezieller Lichtleistungsmess-Sensor die konstante Belichtungsintensität (SolFlex 350/650). Dies gewährleistet eine gleichbleibend hohe Qualität der Bauteilefertigung. Zum anderen überwacht ein weiteres Lasersensorsystem den Bauprozess und sichert diesen bei gleichzeitiger Maximierung der Baugeschwindigkeit.

Mit 15 bis 20 Kilogramm Gewicht sind alle SolFlex Drucker sehr leicht. Sie brauchen im Labor nicht viel mehr Stellfläche als ein herkömmlicher PC-Drucker. Das große Wannenvolumen

ermöglicht es, die Geräte auch unbeaufsichtigt zum Beispiel über Nacht laufen zu lassen.

Druckermaterialien

V-Print model – Lichthärtender Kunststoff zur generativen Herstellung von Dentalmodellen

V-Print model ist ein lichthärtender Kunststoff auf (Meth)acrylatbasis und zur dreidimensionalen additiven Fertigung präziser Bauteile des gesamten Modellspektrums in der Zahntechnik geeignet. Das Material ist für DLP-Drucker mit UV-LED Spektrum 378-388 nm entwickelt. Mit seiner Präzision und Härte ist V-Print model das ideale Material zur Herstellung zahntechnischer Arbeiten.

V-Print ortho – Lichthärtender, biokompatibler Kunststoff zur generativen Herstellung von KFO-Basisteilen, Schienen und Schablonen

V-Print ortho ist ein lichthärtender Kunststoff für die dreidimensionale additive Fertigung von KFO-Basisteilen, dentalen Schienen und dentalen Schablonen. Der hochwertige Kunststoff auf (Meth)acrylatbasis eignet sich für DLP-Drucker mit UV-LED Spektrum 378-388 nm. V-Print ortho ist in der Farbe Clear erhältlich und bietet so z. B. während kieferorthopädischer Behandlungen neben seiner Farbstabilität und hohen Bruchresistenz auch einen ästhetischen Vorteil. V-Print ortho ist geschmacksneutral und biokompatibel.

Weitere Informationen:

www.voco.dental, info@voco.com