

Renfert

making work easy



Das digitale Modell:

**Die Zukunft der effizienten
Modellherstellung in der
Kieferorthopädie**

Inhaltsverzeichnis

Die Zukunft der effizienten Modellherstellung in der Kieferorthopädie	S. 3
Die digitale Modellherstellung – von CAI über CAD bis CAM	S. 4
Vorteile des digitalen Modells	S. 6
Investitionskette: Der digitale Workflow	S. 7
Druckverfahren für den 3D-Druck von Modellen	S. 9
Resindruck vs. Filamentdruck	S. 10
Filamentdrucker für die Kieferorthopädie	S. 13
Workflow in der Übersicht: Filamentdruck mit SIMPLEX	S. 14

Renfert GmbH

Untere Giesswiesen 2
78247 Hilzingen

Tel. +49 (0) 77 31 82 08-0
Fax +49 (0) 77 31 82 08-70

www.renfert.com

Die Zukunft der effizienten Modellherstellung in der Kieferorthopädie

Digitale Prozessabläufe erobern die Zahnmedizin. Auch in der Kieferorthopädie wird immer häufiger auf digitale Verfahren zurückgegriffen, z. B. in der Diagnostik und Planung sowie bei der Herstellung von Apparaturen oder Schienen. Unverzichtbar bleibt das physische Modell. Doch wie entsteht im digitalen Workflow auf effizientem und zugleich ökologischem Weg ein hochwertiges Modell? Das Experten-Whitepaper gibt Antworten.

Die Integration digitaler Prozesse in den kieferorthopädischen Alltag bringt viele Vorteile. Mittels digitaler Abläufe wird die Therapie schneller, präziser sowie komfortabler. Diagnostik, Planung und Ergebnis können am Computer simuliert und optimiert werden. Arbeitsabläufe werden effizienter; die Zeitersparnis resultiert in einem wirtschaftlichen Vorteil. Doch was bedeutet dies für die kieferorthopädische Praxis und das KFO-Labor? Wie kann der einfache Einstieg in die Digitalisierung erfolgen?

Für den Einstieg in die digitale Kieferorthopädie sind zunächst grundlegende Aspekte – Datenerfassung (CAI), Datenverarbeitung (CAD), Fertigung (CAM) – zu betrachten. Basierend darauf können maßvolle Investitionsentscheidungen getroffen werden.

Die digitale Modellherstellung – von CAI über CAD bis CAM

Digitale Abläufe in der Kieferorthopädie sind nicht neu. Entsprechende Software ermöglicht seit längerer Zeit die virtuelle Diagnostik und Planung einer Therapie. Was sich verändert hat, ist das Potenzial moderner Intraoralscanner. Intraoralscanner haben einen massiven Innovationsschub erfahren und werden zum Game-Changer der digitalen Kieferorthopädie.

Zwar nutzen einige Praxen auch ohne eigenen Intraoralscanner die Möglichkeiten der Digitalisierung, z. B. über

- ✔ den Abformscanner (Digitalisieren der konventionellen Abformung),
- ✔ den Desktopscanner (Digitalisieren des Gipsmodelles),
- ✔ das Outsourcing (Gipsmodell an externen Dienstleister).

Allerdings führen diese Optionen nur über den indirekten Weg – mit einem Umweg verbunden – zum digitalen Modell. Als echter Türöffner zur digitalen Welt gilt der Intraoralscanner. Erst mit der direkten digitalen Datenerfassung lässt sich der gesamte kieferorthopädische Workflow digital abbilden. Ohne zeitaufwendigen und fehlersensiblen Umweg wird aus dem Patientenmund heraus der präzise* digitale Modelldatensatz erstellt.

*Aktuelle Studien zeigen, dass sowohl die Erfassung der regionalen Genauigkeit als auch die Genauigkeit eines Ganzkieferscans mit modernen Intraoralscannern dem konventionellen Vorgehen mindestens ebenbürtig sind.

Digitales Modell = Virtuelles Modell in der CAD-Software (STL-Format)

Physisches Modell = Greifbares Kiefermodell auf dem Arbeitsplatz

Digitale Modellherstellung = CAM-Fertigung des Modells
(3D-Druck, CAM-Fräsen)

Ergebnis des Scans im Mund ist die digitale Abformung (**Computer-Aided Impressioning (CAI)**), mit welchem in der Software weitergearbeitet wird (**Computer-Aided Design (CAD)**). Bei vielen Indikationen ist ein physisches Modell erforderlich. Auch dieses wird innerhalb des digitalen Workflows (**Computer Aided Manufacturing (CAM)**) gefertigt. KFO-Praxis oder KFO-Labor können auf verschiedenen Wegen zum physischen Modell gelangen. Während die subtraktive Fertigung (CAM-Fräsen des Modells) aufgrund des hohen Zeit- und Kostenaufwands kaum verwendet wird, hat sich der 3D-Druck etabliert. Gängige Wege zur digitalen Modellherstellung sind:

- ✓ Additive Fertigung in Praxis oder Labor (3D-Druck des Modells)
- ✓ Outsourcing (Versand an externen Dienstleister)

Für das digital gefertigte KFO-Modell gelten die gleichen hohen Maßstäbe wie gewohnt: präzise Darstellung von Zähnen, Alveolarkamm, Kieferbasis, Umschlagfalte sowie Gingiva in Ober- und Unterkiefer.

Der 3D-Druck von Modellen ist im Gegensatz zum Fräsen sehr wirtschaftlich. Erst mit der Verfügbarkeit dieser Technologie steht eine echte Alternative zur analogen Modellherstellung bereit. Die Investitionen in den Drucker sind in der Regel geringer, es wird weniger Material verbraucht und die Fertigungszeiten sind kürzer. Als Nachteil wird oft der Mehraufwand durch das Post-Processing (Nachvergütung) genannt, das bei einigen Druckertechnologien (DLP, SLA) anfällt. Daher gilt es, die verschiedenen 3D-Drucktechniken zu vergleichen und das für kieferorthopädische Zwecke optimale Verfahren zu wählen. Beispielsweise entfallen beim Filamentdruck (FDM/FFF-Verfahren) jedwede Nacharbeiten.

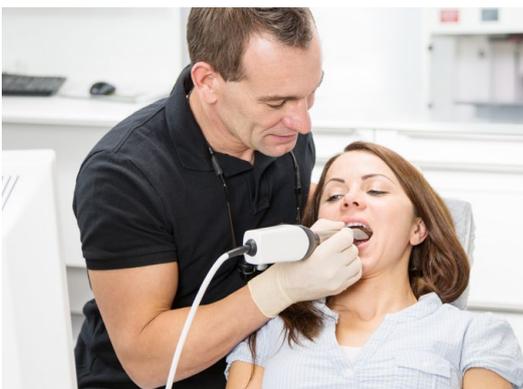
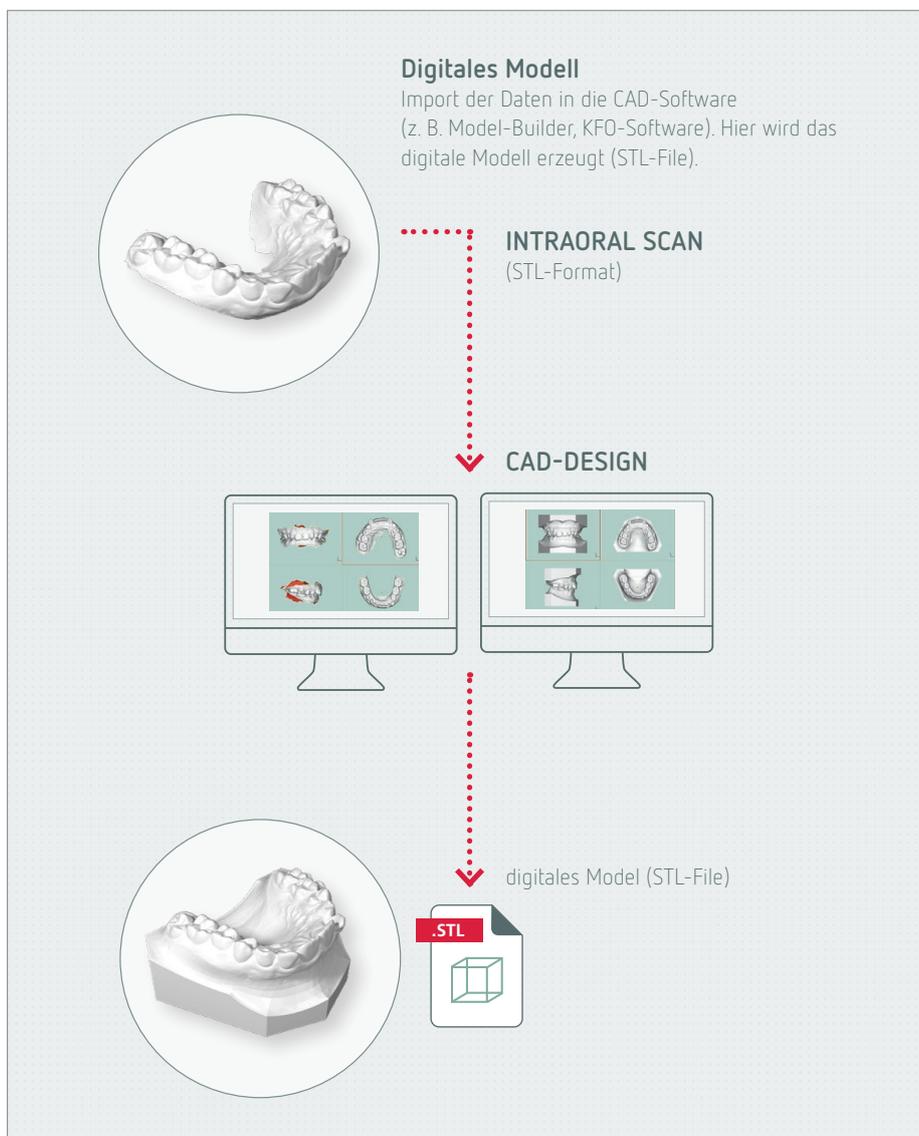


Abb 1. Digitalisierung via Intraoralscanner

Abb 2. Digital gefertigtes KFO Modell

Vorteile des digitalen Modells

Vorteile eines digitalen Modells (STL-Datensatz) sind in erster Linie: Zeit-, Ressourcen-, Kosten- und Platzersparnis, exakte Planbarkeit, Reproduzierbarkeit. Die Modellherstellung in der Software erfolgt mit wenigen Klicks. Danach kann das virtuelle Modell in allen Ebenen ausgewertet und aufbereitet werden. In der Software werden der Patientenstatus analysiert und die kieferorthopädische Behandlung geplant. Ob das Messen der Zahngröße und -position oder das Erstellen des Set-ups – digitale Werkzeuge leisten hilfreiche Unterstützung. Auf einfachem Weg lassen sich Behandlungsszenarien simulieren. Weiterer Vorteil: Das digitale Modell lässt sich platzsparend archivieren. Der Datensatz wird digital abgelegt. Ein späteres Auffinden ist durch den Aufruf der Patientendaten jederzeit möglich. Bei Bedarf erfolgt die Herstellung eines physischen Modells.



Investitionskette: Der digitale Workflow

Bei der Betrachtung des digitalen Workflows in der Kieferorthopädie sind verschiedene Etappen zu unterscheiden, die durch abgestimmte Schnittstellen idealerweise eine Einheit bilden.

1. Datensatz aus dem CAI
2. CAD-Model-Builder-Software
3. CAM-Slicer-Software
4. Ausgabegerät (3D-Drucker)

1. Intraoralscanner: Gewinnen der Oberflächendaten

Mit dem Intraoralscanner* erfolgt der Oberflächenscan der Mundsituation. Die Daten werden in der Regel im STL-Format (Standard Triangulation/Tessellation Language als Standardformat vieler CAD-Systeme) hinterlegt. Über eine Schnittstelle lassen sie sich in die CAD-Software (KFO-Planungssoftware oder Model-Builder-Software) importieren.

*Intraoralscanner gib es in einer großen Preisspanne. Der Vergleich lohnt sich. Gleichwohl sollten nicht nur der Preis im Fokus stehen, sondern die vielseitigen Möglichkeiten. Viele Intraoralscanner sind längst mehr als ein Abdruckersatz! Für die Kieferorthopädie eröffnen sich völlig neue Perspektiven.

2. Model-Builder: Generieren des digitalen Modells

Mithilfe spezieller Software-Applikationen entsteht in wenigen Schritten das digitale Modell. Im Model-Builder-Modul* erfolgen grundlegende Arbeitsschritte der Modellherstellung meist automatisch (z. B. Sockeln, Begradigen, Trimmen, Ausrichten der Okklusionsebene etc.).

*Model-Builder: Diese Applikation kann im CAD-Software-Paket integriert sein oder optional ergänzt werden. Alternativ gibt es Stand-Alone-Software.



3. CAM-Slicer-Software: Vorbereitung des Modelldrucks

In vielen Situationen ist zusätzlich zum digitalen Modell ein physisches Modell notwendig, z. B.

- ✓ Herstellen von Alignern
- ✓ Planungsmodell
- ✓ Diagnostikmodell
- ✓ Arbeitsmodell

Um aus den digitalen Daten ein präzises Modell herzustellen, ist der 3D-Druck der bevorzugte Weg. Wirtschaftlich, ökologisch (je nach Druckverfahren), präzise, schnell und einfach – das sind die Vorteile des Modelldrucks. Um das digitale Modell zu drucken, muss der Datensatz in eine Slicer-Software* importiert werden. Über abgestimmte Schnittstellen funktioniert dies problemlos und vom Anwender fast unbemerkt. Die Slicer-Software bereitet das digitale Modell für den Druck vor. Namensgebend (Slicing) ist, dass die Software das digitale Modell in Einzelschichten zerlegt. Mit den geslicten Daten (G-Code) wird der Drucker „gespeist“.

*Slicer-Software: Oft ist die Software in das 3D-Druck-System integriert. Alternativ gibt es Stand-Alone-Software. Wichtig sind einfache Bedienbarkeit, fehlerfreie Darstellung der STL-Daten, schnelle Berechnung der Daten und material- sowie druckerspezifische Abstimmung.

In der Slicer-Software wird der Datensatz für den 3D-Drucker generiert. Die Slicer-Software ist Bestandteil des 3D-Druckersystems (z. B. SIMPLEX 3D-Filament-Druckersystem, Renfert), vereinfacht das die Arbeit erheblich. Die individuelle Abstimmung zwischen Software, Filament und Drucker sorgt für optimale Ergebnisse, denn die Funktionalität der Slicer-Software bestimmen Druckerergebnis und Handhabung maßgeblich. Ideal für Einsteiger ist eine Software, die durch Automatismen den Druckprozess quasi selbst steuert.

4. Ausgabegerät: 3D-Drucker

In der Slicer-Software wird der Datensatz für den 3D-Drucker generiert. 3D-Druck ≠ 3D-Druck: Die grundlegenden Unterschiede zwischen den 3D-Drucktechnologien sind entscheidend für die Wahl des richtigen Druckers.



Druckverfahren für den 3D-Druck von Modellen

Die additive Fertigung (3D-Druck) umfasst eine Reihe unterschiedlicher Verfahren. Entweder wird Material Schicht für Schicht aufgetragen oder Materialpulver durch Laser geschmolzen. Ergebnis ist das dreidimensionale Objekt. Auch für dentale Anwendungen gibt es eine Vielzahl von 3D-Druckern mit verschiedenen Druckverfahren. Gängig sind beispielsweise:

- ✓ Stereolithografie (SLA)
- ✓ Digital Light Processing (DLP)
- ✓ Filamentdruck / Extrusionsverfahren (FDM-(= Fused Deposition Modelling)/FFF- (= Fused Filament Fabrication) Verfahren)
- ✓ Lasersinterverfahren (SLM) (Metalldruck)

Allen gleich ist, dass das Modell Schicht für Schicht aufgebaut wird. Gängig – z. B. für viele Anwendungen im Dentallabor – sind aktuell SLA- **1** oder DLP-Drucker **2**. Ausgangsbasis ist ein flüssiges Photopolymer, welches nach einer gewissen Belichtungszeit erstarrt. Beim Stereolithografie-Verfahren (SLA) wird das flüssige Harz punktuell über einen Laserstrahl ausgehärtet. Hingegen arbeitet der DLP-Drucker mit einem DLP-Projektor als Lichtquelle, ähnlich einem Beamer.

Bei beiden genannten Verfahren (DLP, SLA) muss das gedruckte Objekt (Resinharz) gereinigt und unter UV-Licht ausgehärtet werden (aufwendiges Post-Processing).

Komfortable Alternative (z. B. für KFO-Modelle) sind Drucker, die nach dem (FDM/FFF)-Verfahren arbeiten – Filamentdrucker **3**. Hierbei wird das Filament (thermoplastischer Kunststoff in Drahtform auf einer Rolle konfektioniert) mithilfe eines Extruders erhitzt und aufgetragen; fast vergleichbar mit einer Heißklebepistole.

Die mit Filament gedruckten Modelle bedürfen keiner Nachbearbeitung. Sie sind direkt nach dem Druck vollständig gehärtet und sauber.

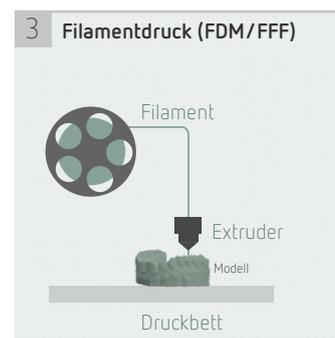
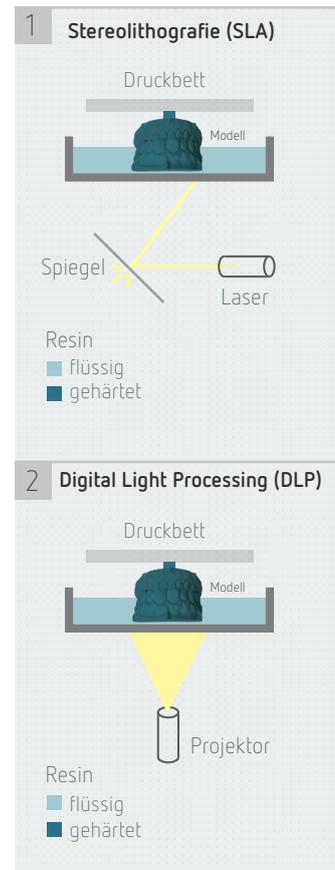


Abb 3. Filamentdruck (FDM/FFF-Verfahren)

Abb 4. Fertige KFO-Modelle direkt nach dem Druck

Resindruck vs. Filamentdruck

Bei der Gegenüberstellung von Filament-Druckern (FDM/FFF-Verfahren) und Resin-Druckern (SLA/DLP-Verfahren) wird deutlich, dass beide anwendungsspezifisch ihre Vor- sowie Nachteile haben. Betrachtet man den dentalen Modelldruck (z. B. KFO-Modelle), überzeugt der Filamentdrucker mit seinen Vorteilen. Um Vor- und Nachteile besser zu verstehen, lohnt sich ein Blick auf Druckertechnologie, Materialien und einige praktische Aspekte.

Kosten

Die Preisspanne im Bereich der Dentaldrucker ist groß. Die Preise liegen zwischen 600 EUR bis 40.000 EUR und mehr. Filamentdrucker sind für ein vergleichsweise geringes Budget mit guter Ausstattung (z. B. SIMPLEX) erhältlich. Laufende Kosten fallen – außer dem Material – nicht an. Mittlerweile gibt es auch preiswerte Resin-Drucker. Allerdings kommen hier Kosten für das Reinigungs- und Lichthärtegerät hinzu.

- ✔ Filamentdrucker (FDM/FFF):
günstig in der Anschaffung und bei den laufenden Kosten
- ✔ Resindrucker (SLA/DLP):
teurer in der Anschaffung und höhere laufende Kosten

Genauigkeit

Beide Druckverfahren können eine für Kiefermodelle sehr hohe Genauigkeit haben, abhängig vom Drucker und Druckparametern. Die Genauigkeit eines Filament-Druckers hängt u. a. vom Düsenaustritt ab (Ebenenauflösung bis zu 50 µm). Düsen mit kleinem Durchmesser ermöglichen eine sehr hohe Auflösung/Genauigkeit, wie sie beispielsweise für KFO-Modelle benötigt wird.

- ✔ Filamentdruck:
hohe Genauigkeit für Modelle und Hilfsmittel
- ✔ Resindruck:
sehr hohe Genauigkeit möglich

Druckmaterial

Beim FDM/FFF-Verfahren wird ein Filament in einem Extruder erhitzt und aufgeschmolzen sowie durch die Düse auf ein Druckbett gedruckt. Es gibt unterschiedliche Filament-Materialien. Oft bestehen Filamente aus PLA (polylactic acid), welches aus nachwachsenden natürlichen Rohstoffen gewonnen wird und biologisch abbaubar ist. Beim Resin-Druck wird flüssiges, lichtempfindliches Harz (Resin) – oft in einer Materialwanne – verarbeitet. Zu beachten ist beim Resindruck, dass flüssiges oder teilweise ausgehärtetes Harz nicht in den Abguss oder den Hausmüll gelangen darf. Flüssiges Kunstharz ist als gefährlicher Abfall eingestuft und somit sorgfältig zu entsorgen.

- ✓ Filamente:
oft aus nachwachsenden Rohstoffen, ökologisch unbedenklich
- ✓ Resin:
lichthärtender Harzkunststoff, ökologisch bedenklich

Nacharbeit*

Hier spielt der Filamentdrucker seine Vorteile aus. Resinharz gedruckte Objekte müssen einem Post-Processing unterzogen werden: Reinigung mit Isopropanol (IPA) und Lichthärtung. Mittlerweile gibt es auch IPA-freie Flüssigkeiten für die Reinigung, die jedoch verhältnismäßig teuer sind. Beim Filamentdruck fallen alle diese Nacharbeiten nicht an.

- ✓ Filamentdruck:
keine Nacharbeit
- ✓ Resindruck:
Reinigung, Lichthärtung

*Druckdauer ist u. a. abhängig von der Schichtdicke. Dickere Schichten ermöglichen höhere Geschwindigkeiten bei geringerer Auflösung. Dünnere Schichten bedürfen einer erhöhten Druckzeit, bieten dafür eine bessere Auflösung.

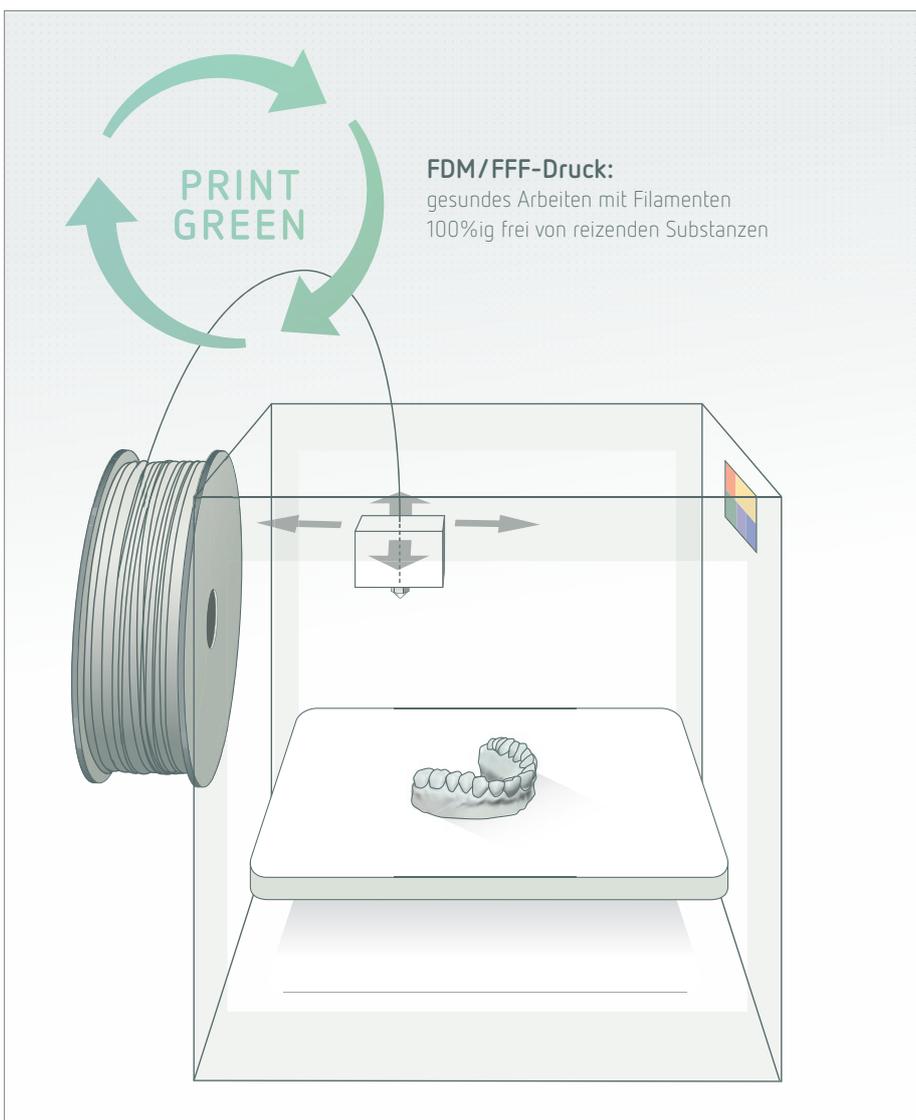


Abb 5. SIMPLEX filaments:
Aus ökologisch einwandfreien Materialien
(hergestellt in Deutschland), speziell für die
kieferorthopädische Modellherstellung.

Geruch und Dämpfe

FDM/FFF-Drucker, die mit PLA-Filamenten arbeiten, stoßen so gut wie keine Dämpfe aus. Anders der Resindrucker. Hier kommt es zu einer Geruchsbildung und gesundheitsschädlichen Dämpfen. Daher wird empfohlen, beim Resindruck mit Atemschutz zu arbeiten (Schutzausrüstung) und chemikalienbeständige Handschuhe aus Nitril zu tragen. Kunstharz und Lösungsmittel können Hautreizung oder allergische Hautreaktionen hervorrufen. Zudem werden resin-gedruckte Objekte mit Isopropanol-Alkohol gereinigt und auch hier Dämpfe freigesetzt. Hingegen entstehen beim Filamentdruck – je nach Filament – keine gesundheitsschädlichen Substanzen.

- ✔ Filamentdruck:
gesundes Arbeiten mit Filamenten 100%ig frei von reizenden Substanzen (SIMPLEX filaments)
- ✔ Resindruck:
unangenehme, chemische Geruchsbildung beim Druck und der Reinigung (meist Isopropanol). Gesundheitlich nicht ganz unbedenklich.



Filamentdrucker für die Kieferorthopädie

Speziell auf zahnmedizinische Anwendung ausgelegte Filamentdrucker bieten viele Vorteile, z. B. der SIMPLEX von Renfert. Hier „nur“ von einem 3D-Drucker zu sprechen, wäre bescheiden tiefgestapelt. Es handelt sich um ein 3D-Filament-Druckersystem für die Kieferorthopädie mit abgestimmter Slicer-Software, spezifischen Filamenten für KFO-Modelle und einem präzisen Drucker. Alles ist auf die jeweilige Indikation (z. B. Aligner-Modell) abgestimmt. In der Software sorgen voreingestellte Parameter für hohen Komfort und intuitive Handhabung.

Einfache Anwendung

Mit dem SIMPLEX gelingt der Einstieg in die 3D-Drucktechnologie mühelos und komfortabel. „Plug & Print“, ohne Vorkenntnisse und das auch noch ganz sauber – ohne biologisch bedenkliche Chemikalien. Zudem benötigen die gedruckten Modelle keine Nacharbeit. Das Gerät ist einfach zu bedienen, kann überall aufgestellt werden, arbeitet geräuscharm und bietet eine hohe Auflösung. Hochwertige Spezialfilamente erfüllen die besonderen Anforderungen in der KFO. Anwendungsfehler bezüglich der Parameter werden durch automatische Voreinstellungen umgangen.

- ✓ 100%ig frei von reizauslösenden Bestandteilen
- ✓ Keine Polymerisation im Lichtofen notwendig
- ✓ Keine Nachbearbeitung mit Chemikalien notwendig
- ✓ Umwelt- und gesundheitsschonender Druck
- ✓ Farbtreu, UV-beständig

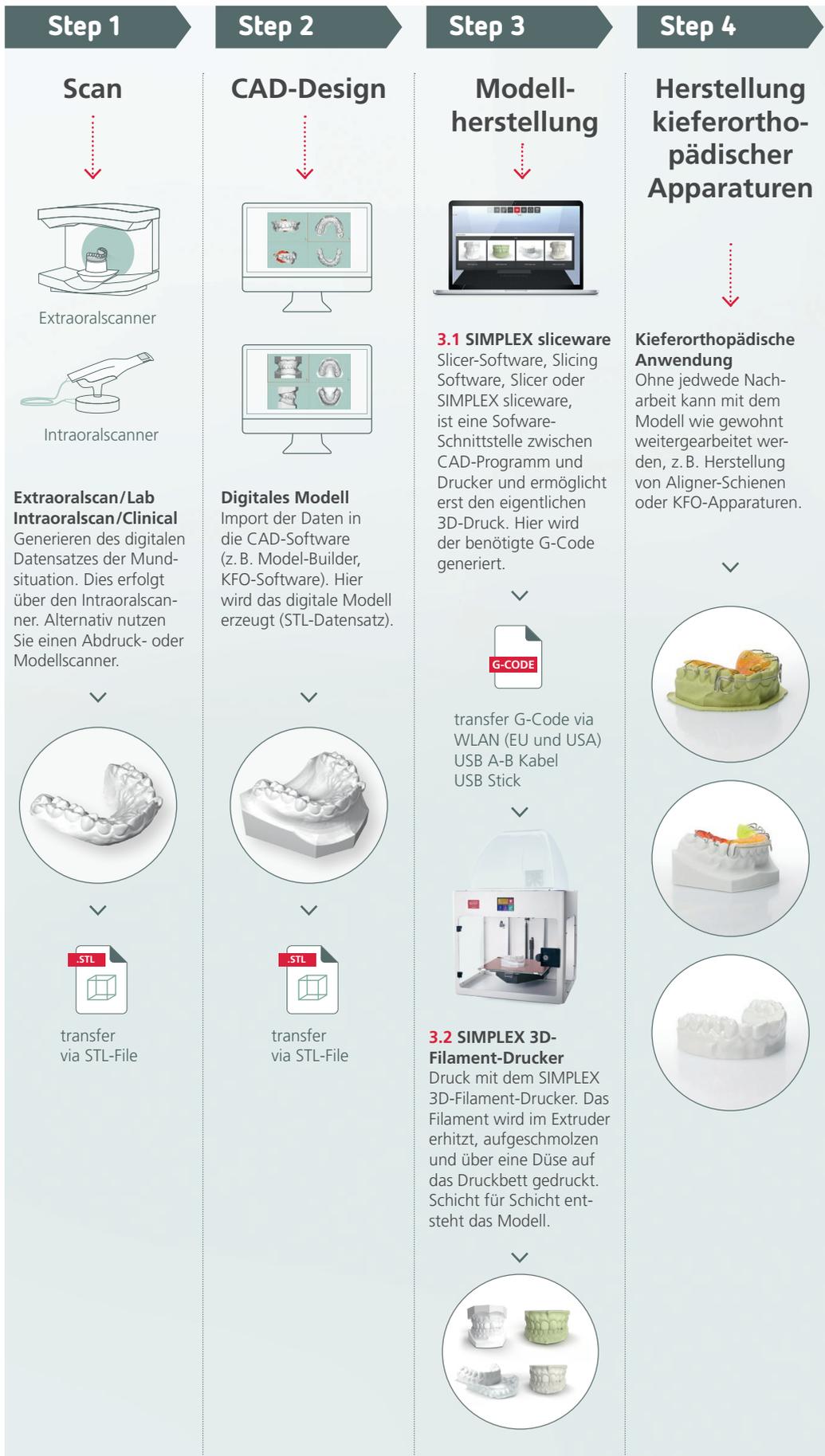
Ökologisch und nachhaltig

Filamente für den Druck im SIMPLEX bestehen zu einem großen Anteil aus nachwachsenden Rohstoffen (z. B. Maisstärke). Auf den Einsatz von Chemikalien wird verzichtet. Es bedarf keiner Nacharbeit, also auch keines Isopropanols. Das ist ökologisch und gesundheitsschonend. Die Entstehung gesundheitsschädlicher Dämpfe (Emission) in Praxis oder Labor während des Druckprozesses ist ausgeschlossen.

[Mehr Informationen zum SIMPLEX – Das 3D-Filament-Druckersystem speziell für den KFO-Bereich:](#)



Workflow in der Übersicht: Filamentdruck mit SIMPLEX



fertig! 