



Die Evolution der 3D-Druck Materialien für die dentale Schienenfertigung

LuxaPrint Ortho Comfort

LuxaPrint Ortho Comfort und die Evolution der 3D-Druck Materialien

Der 3D-Druck als digitale Fertigungstechnologie ist im Dentalbereich inzwischen fest etabliert. Neben wirtschaftlichen Vorteilen ist die schnelle und effiziente Herstellung von Modellen und anderen Apparaturen ein guter Grund, dieses Verfahren im Praxisalltag zu nutzen. Eine Besonderheit der sogenannten additiven Fertigung gegenüber klassischen Herstellungstechnologien oder auch der subtraktiven Fertigung mittels CAD/CAM-Fräsen ist, dass ohne weitere formgebende Hilfsmittel ausschließlich die Bauteilgeometrie (sowie ggf. notwendige Stützstrukturen) erstellt wird, die auch tatsächlich genutzt wird. Dies ist besonders ressourcenschonend und in der Regel nachhaltiger als andere Verfahrenⁱ. Da die Wirtschaftlichkeit im 3D-Druck mit zunehmender Bauteilkomplexität und sinkender Stückzahl steigt, ist der Dentalbereich optimal geeignet für den Einsatz dieser Technologie und macht mit einem Jahresumsatz von etwa 4 Milliarden Dollar fast ein Drittel des gesamten Marktes für additive Fertigung ausⁱⁱ. Fast jedes gefertigte Teil ist hier ein Unikat, fast jede Oberfläche besitzt eine hohe Komplexität. Hinter der Herstellung von Dentalmodellen für verschiedenste Indikationen ist die Fertigung von Schienen eines der größten Anwendungsgebiete des dentalen 3D-Drucks mit polymerbasierten Werkstoffenⁱⁱⁱ.

Effizienzsteigerung durch 3D-Druck-Systeme

Für den 3D-Druck von dentalen Schienen werden meist zusätzlich Modelle der Patientensituation verwendet, um die Passung der Schienen zu überprüfen oder weiter anzupassen. Dieses Vorgehen ist ein Relikt der analogen Herstellungsweise und bietet dem Zahnarzt eine hohe Sicherheit für die gefertigte

Apparatur. Durch die Entwicklung spezieller 3D-Druck-Systeme für den Dentalmarkt und validierter Workflows, die eine präzise und reproduzierbare Herstellung der gedruckten Objekte sicherstellen, wird dieses Vorgehen mehr und mehr obsolet. Die Verwendung von Intraoralscannern und spezieller Design-Software, wie DentaMile connect, gepaart mit entsprechender Erfahrung der Anwender macht es bereits heute möglich, dentale Schienen, ohne die Zuhilfenahme eines 3D-gedruckten oder konventionell gefertigten Modells, passgenau herzustellen. Die vollständige Behandlung eines Patienten, angefangen vom Scan der Situation und Design der Schiene über Herstellung im 3D-Druck bis hin zu Politur und Einsatz im Mund, kann so bereits in etwas über einer Stunde durchgeführt werden. Dieser zeitsparende Gebrauch der Technologie macht eine Behandlung in nur einer Sitzung möglich. Für Patienten bedeutet dies einen enormen Gewinn an Komfort, für die Zahnarztpraxen bietet ein solches Vorgehen organisatorische und wirtschaftliche Vorteile.

Vorteile moderner 3D-Druck-Harze

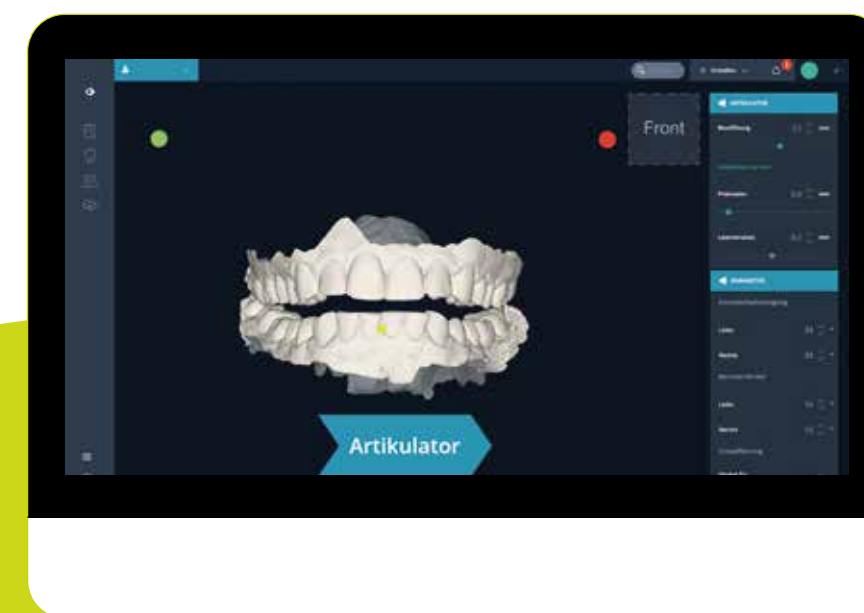
3D-Druck Harze für die Herstellung von dentalen Schienen gibt es bereits seit einigen Jahren. Die erste Generation dieser Materialien liefert harte und steife Aufbissschienen, die bei Bruxismus (Zähneknirschen) oder als Retainer nach kieferorthopädischen Behandlungen angewendet werden. Sie sind gut geeignet für das Anwendungsspektrum und erfüllen alle regulatorischen und klinischen Anforderungen, sind allerdings spröde und daher wenig bruchstabil und können bei starker Belastung, wie ein Fall auf harten Boden oder ins Waschbecken, brechen. Der Grund dafür ist die chemische Mikrostruktur, die sich vor allem im

Vergleich zu herkömmlich hergestellten, oder aus thermoplastischen Materialien gefrästen oder tiefgezogenen Schienen grundsätzlich unterscheidet. Letztere sind zwar ebenfalls hart, lassen aber höhere Dehnungen zu und sind daher zäher und bruchstabiler als die 3D-gedruckten Gegenstücke der ersten Materialgeneration.

Die zweite Generation von Schienenmaterialien ist geprägt durch flexible und teilweise elastische Materialien unterschiedlichster Härtegrade. Je nach Eigenschaftsprofil werden sie als Bleachingschienen, Schienen für das indirekte Kleben von Brackets oder auch als Sportmundschutz eingesetzt. Die Materialien sind bruchstabil, aber deutlich zu weich und teilweise nicht widerstandsfähig genug für die Verwendung als Aufbissschienen.

Inzwischen ist eine dritte Generation an 3D-Druck Harzen für die Herstellung von dentalen Schienen erhältlich. Diese Harze liefern harte, aber leicht flexible und damit bruchstabile Schienen. Die Materialien sind widerstandsfähig, durch die gewisse Flexibilität besonders komfortabel für die Patienten und damit optimal geeignet für die Anwendung als Aufbissschiene. Zu dieser Klasse von Materialien gehört auch das von DMG neu entwickelte LuxaPrint Ortho Comfort.

Im Rahmen dieses Artikels werden die Herausforderungen bei der Entwicklung von Schienenmaterialien beleuchtet und die Vorteile von LuxaPrint Ortho Comfort im Vergleich mit anderen leicht flexiblen Schienenmaterialien der dritten Generation herausgestellt.



DentaMile connect Beispielanwendung

LuxaPrint Ortho Comfort

Nach jahrelanger Forschung an dentalen 3D-Druck Harzen wurde bei DMG nun ein Material für Aufbiss-schienen entwickelt, das alle Vorteile der bislang erhältlichen Schienenmaterialien vereint. Mit Luxa-Print Ortho Comfort können farblos-transparente, leicht flexible, komfortable und vor allem bruchsi-chere Schienen hergestellt werden. Die einzigartige Rezeptur des Materials kommt ganz ohne Farbpig-mente aus und sorgt für eine einfache Verarbeitung ohne Schütteln oder Wartezeiten. Dadurch wird der Herstellungsprozess noch schneller. Mit DMG DentaMile wird darüber hinaus ein reibungsloser

und validierter Workflow vom Design der Schiene bis zur Nachbearbeitung sichergestellt. Der Patient erhält so bei jedem 3D-Druck eine passgenaue, biokompatible und bequeme Apparatur. Der gerin-ge Verdünnungs-Monomergehalt¹ im flüssigen Harz garantiert höchste Sicherheit und Biokompatibilität der gedruckten Objekte und bietet viele weitere Vorzüge wie ausgezeichnete Rückstellkräfte und eine geringe Temperaturanfälligkeit, damit die Schiene bei jedem Einsatz in den Mund die opti-male Elastizität und Passung beibehält.

¹ Verdünnungs-Monomere sind kleine, reaktive Moleküle, die normalerweise in möglichst geringer Dosierung den 3D-Druck Harzen beigemischt werden, damit diese eine niedrige Viskosität erreichen und somit druckbar sind.



Transparenz und Farbe

Hohe Transparenz und vollständige Farblosigkeit sind für die Träger der dentalen Schienen von großer Bedeutung. Im besten Fall führen diese Eigenschaf-ten dazu, dass die Apparaturen von Gesprächspart-nern und Mitmenschen nicht oder nur kaum wahr-genommen werden. Je unauffälliger, desto besser. Die Materialentwickler stellt dies allerdings vor große Herausforderungen.

Absorption und Farbe

Im Druckprozess wird UV-Licht der Wellenlängen 385 nm oder 405 nm in das Druckharz eingestrahlt, von dem Harz absorbiert und führt so zur Aushärtung des Materials. Da die Wellenlängen sehr nah bzw. schon knapp im sichtbaren Bereich des Lichts liegen, erscheint das Licht im 3D-Drucker blau. Im Umkehr-schluss muss das Harz ebenfalls im sichtbaren Bereich absorbieren, um die chemische Härtingsreaktion in Gang zu setzen, und daher eine leicht gelbliche Farbe aufweisen. Diese ist für die Anwender besonders unbeliebt, da sie die natürliche Farbe der Zähne verfälscht. Hinzu kommt, dass viele der im 3D-Druck eingesetzten Rohstoffe bereits einen leichten Gelbstich beinhalten. Durch Witterungseinflüsse oder andere Alterungsprozesse kann sich dieser während der Tragezeit einer Schiene weiter erhöhen.

Ein häufig angewandtes Verfahren vieler Hersteller besteht in dem Zusatz von blauen Farbstoffen oder -pigmenten, die den leichten Gelbstich übertönen. Das Ergebnis ist ein blauer Farbton, der von den Patienten besser angenommen wird als das anson-sten sichtbare Gelb, obwohl eigentlich eine farblose Schiene gewünscht ist.

LuxaPrint Ortho Comfort – pigmentfrei und unauffällig

Farbpigmente haben allerdings Nachteile. Hierbei handelt es sich um kleine Partikel, die gut vermischt im Harz eine Farbe hervorrufen und nicht als einzelne

Teilchen wahrgenommen werden. Vor allem bei längeren Lagerungen sinken diese allerdings auf den Boden der Harzflaschen. Pigmenthaltige Materialien müssen daher vor Verwendung gründlich gemischt werden. In den meisten Fällen reicht Schütteln aus, für bestimmte Harze müssen zusätzliche Geräte oder Mischer angeschafft werden, um eine homogene Verteilung der Farbpigmente zu gewährleisten. In jedem Fall ist dieses Vorgehen ineffizient und zeitraubend. Durch das Schütteln und Mischen werden weiterhin Luftblasen in das Harz eingebracht, die während des Druckvorgangs nicht in die Schienen gelangen sollen. Das bedeutet, dass die Materialien nach dem Schütteln meist noch einige Zeit ruhen müssen, bevor sie im 3D-Drucker verarbeitet werden können. Eine Verwendung ohne Vorbereitungszeit ist damit ausgeschlossen. In der Praxis kann ein spontaner Druck einer Schiene nicht durchgeführt werden und der Zeitaufwand für einen vollständigen Workflow erhöht sich deutlich.

Die pigmentfreie Zusammensetzung von LuxaPrint Ortho Comfort erfordert hingegen kein Aufschütteln oder sonstige Vorbereitungen. Das Harz kann jederzeit sofort verwendet werden und ermöglicht so spontane Druckvorgänge in der Zahnarztpraxis und die Herstel-lung einer Schiene in nur einer Sitzung. Durch den Einsatz hochwertiger Harze und Additive sind die hergestellten Aufbiss-schienen, wie in Abbildung 1 gezeigt, vollständig farblos und transparent und damit angenehm unauffällig beim Tragen.



Abbildung 1: Farbvergleich zweier Schienen. Links: LuxaPrint Ortho Comfort, rechts: flexible Schiene eines anderen Herstellers

Bruchfestigkeit und Monomergehalt

Die Evolution der Schienenmaterialien, von den ersten, spröden Harzen bis zu den heute erhältlichen bruchstabilen, leicht flexiblen Produkten ist der intensiven Forschung der Materialhersteller, sowie der Unterstützung der Rohstofflieferanten zu verdanken, die, mit der immer populärer werdenden 3D-Druck Technologie sukzessive neue Rohstoffe mit interessanten Eigenschaftsprofilen verfügbar machen. Die entscheidenden Eigenschaften, um bruchstabile Schienen zu erhalten, sind eine hohe Dehnung und ausgewogene Steifigkeit der Materialien.

Viel Verdünner für hohe Dehnung – The easy Way

Eine Möglichkeit, dieses Ziel zu erreichen, liegt in dem Einsatz bestimmter Verdünner-Monomere, die nach der Aushärtung eine gewisse Ähnlichkeit zu thermoplastischen Materialien wie z.B. tiefgezogenen Schienen haben. Ein Nachteil dieser Stoffklasse ist, dass bereits geringe Mengen nicht abreagierter Moleküle in den hergestellten Apparaturen einen unangenehmen Geruch und Geschmack verursachen können. Im schlimmsten Fall können sie Allergien oder Reizungen auslösen. Durch die genaue Einhaltung der vorgegebenen Verarbeitung ist dies aber sehr unwahrscheinlich. Dieser Punkt zeigt, warum die Validierung

und Einhaltung der vorgegebenen Herstellungsprozesse für sichere und zuverlässige Medizinprodukte so essenziell ist.

Um die gewünschte hohe Dehnung und Bruchfestigkeit zu erhalten, sind in einigen Schienenmaterialien große Mengen dieser Verdünner-Monomere enthalten. Die Schienen sind für den dauerhaften Gebrauch daher kaum tauglich. Ein weiteres Merkmal hoher Monomergehalte ist die große Anfälligkeit gegenüber Temperaturschwankungen. Materialien, die bei einer Mundtemperatur von 37 °C gute Eigenschaften zeigen, sind somit bei Raumtemperatur oft sehr steif. Häufig wird daher empfohlen, die Schienen vor der Anwendung zu erwärmen, um ein bequemes Einsetzen zu ermöglichen. Andere Materialien können auch bei Raumtemperatur komfortabel eingesetzt werden, sind dann allerdings im Mund zu weich, um die gewünschten Funktionen zu erfüllen. Ein hoher Gehalt bestimmter Verdünner-Monomere bedeutet weiterhin, dass die Schienen zwar flexibel und dehnbar sind, aber die Rückstellkräfte fehlen, um die ursprüngliche Form wiederzuerlangen. Bei mehrmaligem Einsetzen oder anderer Krafteinwirkung kann dies zu einer unpräzisen Passung oder zum Herausfallen der Schiene führen.

LuxaPrint Ortho Comfort von DMG kommt mit einem sehr geringen Monomergehalt im flüssigen Harz aus und überzeugt daher in den soeben beschriebenen Punkten. Durch ausführliche biologische und chemische Prüfungen wird sichergestellt, dass alle von DMG validierten Druckprozesse biokompatible und sichere Schienen liefern, die geruch- und geschmacklos sind und exzellente Rückstellkräfte zeigen, so dass die Schienen auch nach häufigem Einsetzen oder starken Belastungen wie Verbiegen oder Herunterfallen ihre ursprüngliche Form und damit eine optimale Passung beibehalten.

In Abbildung 2 ist die Elastizität (E-Modul) von LuxaPrint Ortho Comfort und anderen, im Markt erhältlichen, leicht flexiblen Schienenmaterialien bei Raum- (links) und Mundtemperatur (rechts) gezeigt. Hier wird der Vorteil der geringen Temperaturanfälligkeit von LuxaPrint Ortho Comfort besonders deutlich.

Während Material 2 bei Raumtemperatur eine hohe Steifigkeit aufweist und daher vor Verwendung erwärmt werden sollte, ist LuxaPrint Ortho Comfort bereits ausreichend flexibel, um ein komfortables Einsetzen zu ermöglichen. Im Mund erreicht es dann, ähnlich wie Material 2, die optimale Elastizität.

Material 3 ist zwar bereits bei Raumtemperatur flexibel, wird im Mund allerdings so weich, dass die Anforderungen an eine Aufbissschiene nur unzureichend erfüllt werden.

LuxaPrint Ortho Comfort sorgt durch den geringen Gehalt an Monomer also nicht nur für ein besonders hohes Maß an Sicherheit, sondern ist außerdem frei von Geruch und Geschmack, liefert optimale Rückstellkräfte und eine ausgewogene Steifigkeit für ein häufiges sowie komfortables Einsetzen und Entnehmen der Schiene, ohne die Passung zu beeinträchtigen.



E-Modul (Elastizität) im Vergleich

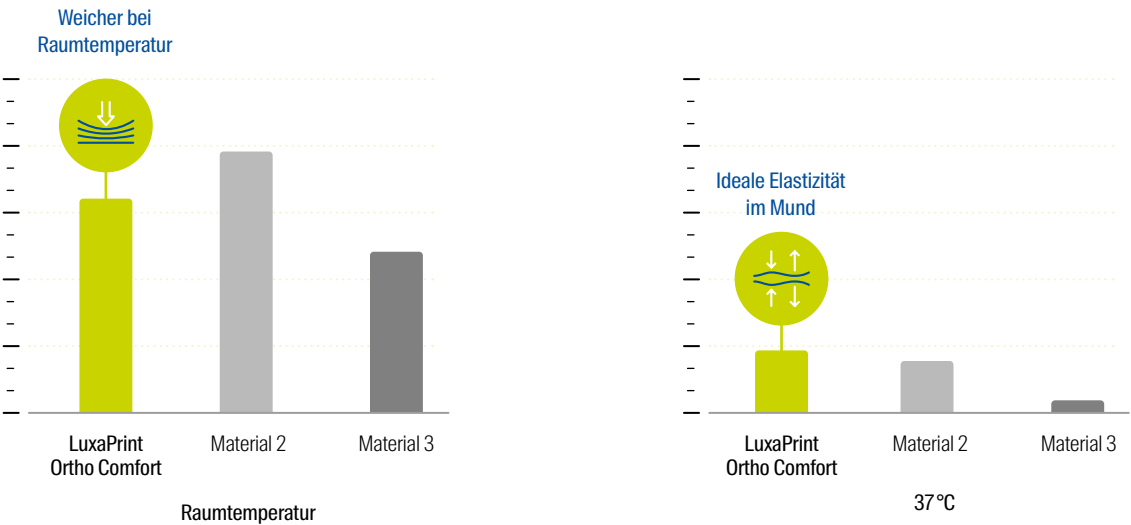


Abbildung 2: E-Modul (Elastizität) von LuxaPrint Ortho Comfort im Vergleich mit anderen flexiblen Schienenmaterialien bei Raumtemperatur (links) und 37 °C (rechts)

Workflow

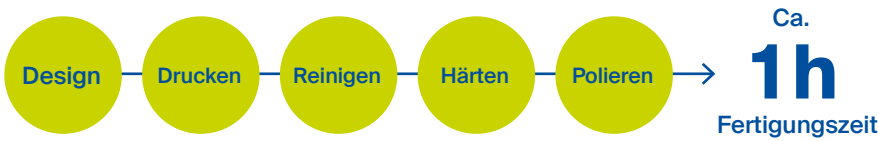
Ähnlich wie die Gebrauchsinformation bei herkömmlichen Dentalmaterialien wird der Workflow bei 3D-Druck Harzen maßgeblich von den Eigenschaften der Materialien mitbestimmt. Nur wenn dieser Punkt bereits während der Entwicklung berücksichtigt wird, kann ein erfolgreiches Material mit einem lückenlosen, anwendungsorientierten Workflow entstehen. Für 3D-Druck Harze besteht der Workflow aus dem gesamten Herstellungsprozess, also Druckvorbereitung, 3D-Druck, Reinigung und Nachbelichtung, sowie allen notwendigen Arbeitsschritten, die schließlich zu einem sicheren, stabilen, passgenauen und validierten Anwendungsobjekt führen. Wenn die Materialien ausschließlich auf ihr Eigenschaftsprofil hin optimiert werden, kann es unumgänglich sein, weitere Arbeitsschritte oder Wartezeiten in den Workflow zu integrieren, um eine optimale Bauteilqualität sicherzustellen. Dazu gehören z. B. Schütteln, Mischen oder Erwärmen der Materialien, Ruhezeiten vor Druckbeginn, Wartezeiten nach dem Waschen oder Trocknen der gedruckten Objekte, oder weitere Arbeitsschritte im Anschluss an die



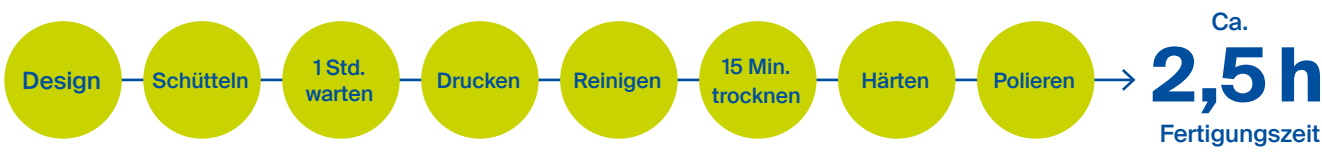
Nachbelichtung. Für die Herstellung einer qualitativ hochwertigen dentalen Apparatur scheint dies zunächst kein großes Hindernis zu sein, wenn es allerdings um Wirtschaftlichkeit oder eine effiziente Herstellung geht, können diese Punkte einen entscheidenden Faktor darstellen.

LuxaPrint Ortho Comfort wurde nicht nur für die besten Materialeigenschaften, sondern auch für einen anwenderfreundlichen und schnellen Workflow optimiert, so dass jegliche Wartezeiten oder zusätzliche Arbeitsschritte aus dem Prozess eliminiert wurden. Die Herstellung einer Schiene, vom Intraoralscan bis zum Einsatz in den Mund, ist so in etwas über einer Stunde möglich.

LuxaPrint Ortho Comfort:



Andere Hersteller:



Fazit

Der 3D-Druck von Aufbissschienen hat sich inzwischen als verlässliches Herstellungsverfahren in der Zahnarztpraxis durchgesetzt. Die neueste Generation von Schienenmaterialien liefert leicht flexible und bruchssichere Schienen, die daher in Bezug auf Komfort und Handling Vorteile gegenüber den früheren, harten Materialien bieten. LuxaPrint Ortho Comfort von DMG setzt durch seine innovative Rezeptur neue Maßstäbe inner-

halb dieser Materialklasse. Neben der hohen Transparenz, exzellenten Bruchstabilität und ausgewogenen Flexibilität liegt der Fokus bei diesem Material auf einem lückenlosen, schnellen und validierten Herstellungsprozess. Nur so kann das volle Potenzial des 3D-Drucks von dentalen Schienen effizient und wirtschaftlich ausgeschöpft werden.

Über die Autoren:

Kai Billerbeck

Kai Billerbeck studierte Chemie an der Universität Hamburg und ist seit über acht Jahren im Bereich Forschung und Entwicklung bei DMG tätig. Er hat mehrere Jahre Erfahrung in der Entwicklung von 3D-Druck-Harzen. Im Digitalen Anwendungszentrum (DAC) ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter schwerpunktmäßig für Prozessforschung und -weiterentwicklung im 3D-Druck-Workflow verantwortlich.

Madlen Cordts

Madlen Cordts ist Zahntechnikerin bei DMG und bringt ihre Erfahrung aus mehreren Jahren im Dental-labor ins Digitale Anwendungszentrum. Dort ist sie Spezialistin für alle zahn- und anwendungstechnischen Fragestellungen und verantwortlich für Market Intelligence Projekte.

i Tian Y, Chen C, Xu X, Wang J, Hou X, Li K, Lu X, Shi H, Lee ES, Jiang HB. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. Scanning. 2021 Jul 17;2021:9950131. doi: 10.1155/2021/9950131. PMID: 34367410; PMCID: PMC8313360.
ii <https://additivemanufacturingresearch.com/reports/3d-printing-in-dentistry-2023/>
iii Caussin E, Moussally C, Le Goff S, Fasham T, Troizier-Cheyne M, Tapie L, Dursun E, Attal JP, François P. Vat Photopolymerization 3D Printing in Dentistry: A Comprehensive Review of Actual Popular Technologies. Materials (Basel). 2024 Feb 19;17(4):950. doi: 10.3390/ma17040950. PMID: 38399200; PMCID: PMC10890271.

Zusammen
ein Lächeln voraus

