

Neues Herstellverfahren von CAD/CAM-Blöcken

Für einen hochwertigen und kostengünstigen Zahnersatz

Im Fokusfeld Automatisierung und Digitalisierung forscht auch das Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC. Hier wurde nun ein neues Extrusionsverfahren zur vollautomatisierten Herstellung von dentalen Kompositblöcken zum Patent angemeldet. Die Kompositblöcke sollen kostengünstig gefertigt und für CAD/CAM-Verfahren eingesetzt werden, um modernen und bezahlbaren Zahnersatz zu realisieren. Die Ausgangsmaterialien, spezielle Hybridpolymer- bzw. monomerbasierte Systeme für dentale Anwendungen, werden mit entsprechend hohen mechanischen und ästhetischen Anforderungen optimiert. Hierauf geht im Folgenden Dr. Herbert Wolter vom Fraunhofer ISC näher ein.

Die maschinelle Herstellung bringt als Forderung und Folge mit sich, dass bisher konventionell verarbeitbare Materialien an die neuen Verfahren angepasst werden. Schon jetzt gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher kommerziell verfügbarer dentaler CAD/CAM-Materialien auf Basis von (Glas-, Oxid-)Keramiken, Metallen und Kompositen. Insbesondere die Composite werden dabei aufgrund ihrer speziellen Materialeigenschaften immer beliebter. Zudem können sie einfacher bearbeitet werden. Insgesamt spart man mit entsprechender CAD-Software bis hin zum CAM-gestützten Fräsen des Zahnersatzes Kosten und Zeit und reduziert Fehlerquellen durch die Vermeidung von manuellen Prozessschritten.

Das Fraunhofer ISC verfügt über eine langjährige Erfahrung in der Materialentwicklung für dentale Anwendungen. Es hat nun ein neuartiges Verfahren zur automatisierten, kontinuierlichen Herstellung von CAD/CAM-Kompositblöcken für die Fertigung von Zahnersatz entwickelt, das sowohl Zeit als auch Kosten spart. Zu ersten Testzwecken verwendete das Fraunhofer ISC zunächst monomerbasierte Systeme, die für den Prozess angepasst wurden.

Bisherige Materialien und Verfahren

Besonders geeignet für die CAD/CAM-Technologie sind kompositbasierte Materialien, da sie im Vergleich zu keramischen Materialien eine geringere Sprödigkeit sowie ein antagonistenfremdlicheres Abrasionsverhalten aufweisen. Außerdem können sie einfacher repariert bzw. be- oder nachbearbeitet werden. Hinzu kommt ein gutes Schleif- und Fräsverhalten im finalen Härtungszustand, was eine einfache Chairside-Applikation ermöglicht. Zum Beispiel kann der Zahntechniker oder Zahnarzt den finalen Zahnersatz direkt im Rahmen der Behandlung in der Zahnarztpraxis fertigen. Dies sind wichtige Voraussetzungen für eine hochwertige und trotzdem bezahlbare Zahnversorgung, da dem Patienten eine zeit- und kostenintensive Behandlung in mehreren Sitzungen erspart bleibt.

Bisher ist ein Großteil der kompositbasierten Materialien allerdings nur für den provisorischen Zahnersatz geeignet, da in Kombination mit der bisherigen Verarbeitung und Formgebung das geforderte komplexe Eigenschaftsprofil nicht realisierbar ist. Da der Prozess der Kompositherstellung und

-formgebung meist in separaten und teilweise manuellen Prozessschritten erfolgt, resultiert daraus zudem ein sehr aufwendiges, nicht kontinuierliches und somit sehr arbeits-, zeit- und kostenintensives Gesamtverfahren.

Aktuell werden zur Füllstoffearbeitung unterschiedliche Mischverfahren wie z.B. Dreiwälzwerk (kontinuierlich), Planetenmischer oder Speedmixer (beide nicht kontinuierlich) eingesetzt. Aufgrund der notwendigen Kombination der Mischverfahren ist es ein nicht kontinuierliches Gesamtverfahren.

Zur Fertigung von CAD/CAM-Kompositblöcken wird das Materialgemenge bisher in eine entsprechende Blockform gegossen. Hierzu ist eine geringe Viskosität der Materialien notwendig, die wiederum einen geringen Füllstoffgehalt voraussetzt, woraus häufig ungenügende mechanische Eigenschaften resultieren.

Ein hoher Füllstoffgehalt hingegen ermöglicht eine hohe Festigkeit und Abrasionsresistenz, geht in der Regel jedoch mit einer hohen Viskosität der Composite einher. Diese Composite können nur durch Kneten oder Pressen, also durch aufwendige Handarbeit, in Form gebracht werden, wobei eine blasenfreie Formgebung nur schwer realisierbar ist.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Fertigung von großen Kompositplatten, die nach der Härtung in die entsprechenden Blockformen gesägt oder geschnitten werden müssen. Neben den mehrteiligen Arbeitsschritten kommen hier noch zusätzliche Kosten durch den erheblichen Materialverlust und teure, schnell verschleißende Sägeblätter hinzu.

Neues, automatisiertes Extrusionsverfahren für die Einzelzahnfertigung

Das Fraunhofer ISC hat jetzt mithilfe des duroplastischen Extrusionsverfahrens – bekannt aus der industriellen Kunststoffverarbeitung – ein kostengünstiges, automatisiertes, kontinuierliches Gesamtverfahren entwickelt, das nun nach ersten Tests optimiert werden soll, um es dann für den großen Fertigungsmaßstab weiter auszubauen.

Hierbei sollen die komplexen Materialanforderungen im restaurativen Dentalbereich erfüllt werden. Ziel ist zunächst die Fertigung von einfarbigen (sogenannten monochromatischen) hochgefüllten Kompositblöcken, die mittels CAD/CAM-Verfahren zu Kronen, Inlays etc. finalisiert werden können.

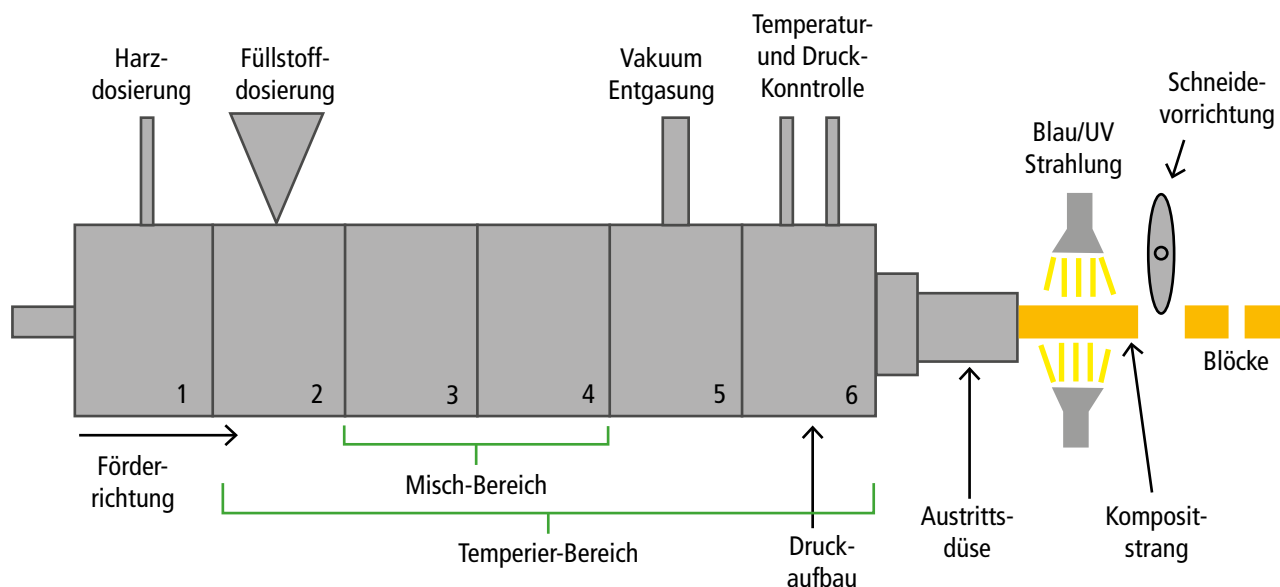


Abb. 1: Vollautomatisierte, kontinuierliche Herstellung von CAD/CAM-Blöcken im Extrusionsverfahren – schematischer Aufbau des Extruders. © Fraunhofer ISC

Aufbau des Extruders

Die Extruderanlage (Abb. 1) besteht aus sechs miteinander verbundenen gleich langen abrasionsstabilen Gehäuseteilen mit einer zentralen achtförmigen Bohrung, in der zwei ebenfalls abrasionsstabile achsparallele Schnecken mit gleicher Drehrichtung und Winkelgeschwindigkeit laufen. Die Schnecke besteht aus Knet- bzw. Förderelementen mit unterschiedlicher Länge und Steigung, die über die Länge der Schnecke je nach Gehäuseteil die Förderung in Richtung Düse bzw. Homogenisierung der Kompositmassen sicherstellen. Für eine optimale Prozesstemperatur können die Gehäuseteile separat elektrisch beheizt bzw. mit Wasser gekühlt werden.

Das Verfahren bietet die Möglichkeit, auch hochviskose Kompositmassen homogen und blasenfrei herzustellen, um sie mittels einer Austrittsdüse mit rechteckigem Querschnitt (z. B. 12 mm × 14 mm Kantenlänge) in die gewünschte Strangform zu bringen. Durch Temperierung der Anlage auf ca. 30 °C kann eine mögliche vorzeitige Aushärtung durch Überhitzen des Materialgemischs während des Verfahrens vermieden werden. Generell kann der Extruder beheizt bzw. gekühlt werden, um die Prozesstemperatur zu optimieren. Eine kontrollierte Härtung des Materials erfolgt erst beim Austritt des Komposit aus der Extruderdüse durch den Einsatz von Blaulicht oder UV-Strahlung und/oder durch Erhitzen (Abb. 2). Für den kontinuierlichen Transport des Strangs

von der Düse weg ist eine Fördereinheit eingerichtet. Eine entsprechende Schneideeinheit zerteilt die gehärteten Kompositstränge dann in CAD/CAM-Blöcke mit der gewünschten Form und Länge (Abb. 3). Diese endgehärteten Blöcke können von Zahntechnikern und Zahnärzten mit der Fräsmaschine bearbeitet werden, um den patientenindividuellen Zahnersatz zu fertigen. Das Verfahren eignet sich auch für Anwendungen, bei denen zunächst auf eine Härtung verzichtet werden soll. Damit ist eine einfache, gleichzeitig effektive Bereitstellung von hochgefüllten, blasenfreien ORMOCER®- oder monomerbasierten Kompositen denkbar. ORMOCER®e sind anorganisch-organische Hybridpolymere, die vom Fraunhofer ISC als neue Materialklasse ent-



Abb. 2: Neues, automatisiertes Extrusionsverfahren. Hier: Belichtung zur Vor- oder Aushärtung des Kompositstrangs. © K. Selsam, Fraunhofer ISC



Abb. 3: Zuschneiden des Kompositstrangs zu einzelnen CAD/CAM-Blöcken. © K. Selsam, Fraunhofer ISC



Abb. 4: Gehärtetes Komposit mit hoher Transluzenz.
© K. Selsam, Fraunhofer ISC



Abb. 5: Umfassende Materialcharakterisierung und Qualitätskontrolle. Drei-Punkt-Biegeversuch zur mechanischen Charakterisierung (Festigkeit/E-Modul) von dentalen Materialien. © K. Dobberke für Fraunhofer ISC

wickelt wurden. So besteht die Möglichkeit, das Material direkt nach dem Austritt aus der Extruderdüse in andere Formen, z.B. klassische Kompositspritzen für Zahnfüllungen, abzufüllen, ohne dass zunächst eine Härtung durch UV-Licht oder thermische Verfahren erfolgt. Das noch viskose Material kann dann während der Behandlung modelliert und wie üblich gehärtet werden.

Füllstoffe im Blickpunkt

Für die Evaluierung des neuen Extrusionsverfahrens hat das Fraunhofer ISC bisher klassische Composite, d.h. monomerbasierte Dentalmaterialien, verwendet. Weitere ausgewählte Materialien sind die langerprobten anorganisch-organischen Hybridpolymere (ORMOCER®e) des Fraunhofer ISC, die bereits als dentale Composite und Adhäsive über Industriepartner (Dentsply Sirona, VOCO) auf dem Markt erhältlich sind, sowie hybride Partikelmischungen aus funktionalisierten kommerziellen Dentalglas- und Nanopartikeln.

Alle Materialien lassen sich durch die Zugabe von einem oder mehreren Füllstoffen an die jeweilige Anwendung anpassen. Entscheidend für eine gute Verarbeitung von dentalen Compositen zu hochwertigem Zahnersatz ist außerdem die optimale Viskosität, die wiederum wesentlich vom Füllstoffgehalt des Materialgemischs abhängt. Die Viskosität der Materialgemenge ist durch zusätzliche Temperierung variabel einstellbar und kann im neuen Verfahren flüssig bis pastös gewählt werden. Der Füllstoff kann aus einem einzigen Material bzw. alternativ aus mehreren Füllstoffkomponenten mit unterschiedlicher Größe und/oder Zusammensetzung und/oder Form (z.B. sphärisch, splitter-, faserförmig) in variablen Anteilen bestehen.

Als Füllstoffe lassen sich prinzipiell unterschiedliche Füllstofftypen wie SiO_2 -Partikel, Makrofüller aus Glas, Keramik und Quarz verwenden. Weitere Komponenten sind Mikro-

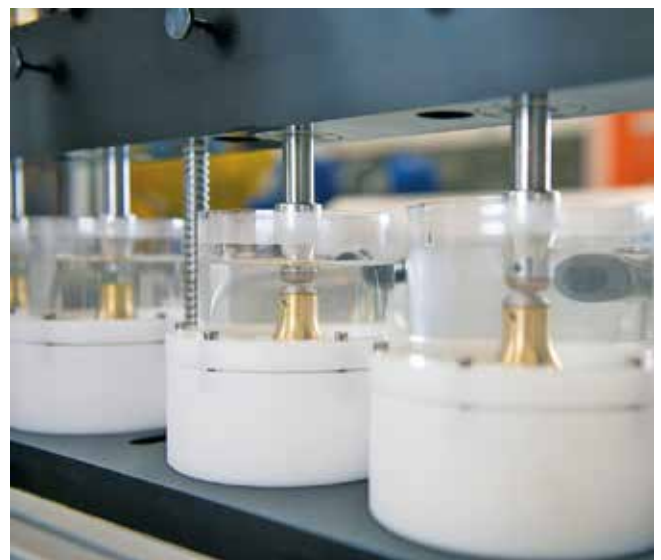


Abb. 6: Abrasionstest am Kausimulator zur Simulation der oralen Belastungssituation. © K. Dobberke für Fraunhofer ISC

füller wie Kieselsäure, Hybridfüller aus Makro- und Mikrofüllern sowie Feinsthybridfüller beispielsweise aus Barium- oder Strontium-Glas, um die notwendige Röntgenopazität zu erhalten. Für das Extrusionsverfahren des Fraunhofer ISC sind insbesondere Dentalgläser mit Teilchendurchmessern von ca. < 1 bis 5 µm als Füllstoffe geeignet.

Grundsätzlich muss der Füllstoffgehalt der Komposite so hoch gewählt werden, dass die im Dentalbereich benötigten anspruchsvollen mechanischen Kennwerte (hohe Bruchfestigkeit, Härte und Abrasionsresistenz) realisierbar sind. Gleichzeitig sollen die hohen Anforderungen hinsichtlich Biokompatibilität und eine dem natürlichen Zahn entsprechende Ästhetik gegeben sein.

Erste Tests mit dem neuen Verfahren unter Verwendung von Materialgemischen mit einem Füllstoffgehalt von aktuell ca. 72 Gew.-% zeigten in den Versuchen eine gute Dispergierung des Feststoffes in der kontinuierlichen Phase – der Harzmatrix. Das Material zeigt nach dem Aushärten eine natürlich wirkende Transluzenz und bietet damit eine hohe ästhetische Qualität als Basismaterial für den Zahnersatz (**Abb. 4**). Verschiedene Füllstoffkombinationen sowie höhere Füllstoffgehalte sollen zukünftig ebenfalls getestet werden. Gleichzeitig hatte das Komposit die benötigte Viskosität, um es mit dem neuen Verfahren zu Kompositsträngen in sehr guter Qualität zu verarbeiten und anschließend thermisch endgültig auszuhärten. Das Anlegen eines leichten Vakuums verhinderte außerdem die Bildung von Blasen im Material.

Umfassende Materialcharakterisierung und Qualitätskontrolle

Für die unerlässliche Qualitätskontrolle des finalen Produkts und für die Evaluierung des Gesamtprozesses werden die mit dem Extruder hergestellten Komposite und CAD/CAM-Blöcke ausführlich charakterisiert und mit Kompositen aus üblichen Herstellungsverfahren und den daraus gefertigten CAD/CAM-Blöcken verglichen.

Die optisch-ästhetische Qualität der Komposite wird mittels Transluzenz- bzw. Farbmessung kontrolliert. Die Biegefestigkeit und der E-Modul werden mittels Drei-Punkt-Biegeversuch (**Abb. 5**) anhand dafür angefertigter Normprüfkörper (Härtung mittels Licht und/oder thermisch) in Anlehnung an ISO 4049 und die Härte mittels Vickers-Härteprüfung ermittelt. Zur Simulation der oralen Belastungssituation werden zusätzlich Verschleißmessungen im Kausimulator (**Abb. 6**) durchgeführt.

Die Beurteilung der Blasenfreiheit und der Füllstoffverteilung der fertigen Blöcke erfolgt anhand von rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen. Abschließend werden aus den hergestellten Blöcken vollanatomische Zahnkronen mittels CAD/CAM-Technologie gefertigt, die ebenfalls hinsichtlich Ästhetik, Homogenität und Blasenfreiheit bewertet sowie einer In-situ-Druckprüfung unterzogen werden, um den maximalen Widerstand gegen senkrecht auftretende Kaukräfte zu ermitteln.

MEDIZIN
PRODUKT
KLASSE IIA

DETAX DE MENSCHLICHE

FREEPRINT® 3D Materialien FÜR ALLE OFFENEN DRUCKER



Eigenschaften von dentalen ORMOCER®-Matrixsystemen/-Kompositen

Eigenschaft	Matrixsystem	Komposit
Viskosität	0,1 – 1.000 Pa·s	anpassbar
Füllstoffgehalt	—	bis 87 Gew.-% (75 Vol.-%)
Polymerisationsschrumpfung	2 – 8 Vol.-%	≥ 1,3 Vol.-% / anpassbar
Biege-E-Modul	1 – 4.000 MPa	bis 17 GPa
Biegebruchfestigkeit	bis 130 MPa	bis 180 MPa
Druckfestigkeit	bis 300 MPa	bis 500 MPa
Wärmeausdehnungskoeffizient	50 – 250·10 ⁻⁶ K ⁻¹ (5 – 50 °C)	≥ 17·10 ⁻⁶ K ⁻¹
Elastische Dehnung	bis 130 % (spezielle Matrix)	—
Röntgenopazität	—	310 – 360 % Al

Besonders wichtig für den Dentalbereich sind folgende Aspekte:

- Biokompatibel
- Monomerefrei
- Einstellbarer E-Modul
- Hohe Bruch- und Abriebfestigkeit
- Adaptierbare Ästhetik

Ausblick

Bisherige erste Tests des neuen Verfahrens unter Einsatz eines angepassten Komposits verliefen sehr erfolgreich. Durch den Zusammenschluss der einzelnen Prozessschritte zu einem Gesamtverfahren kann das bisherige kostenintensive, oft mit manuellen Zwischenschritten verbundene Verfahren ersetzt werden. Mit dem vorhandenen Laborextruder sind zudem hohe Stückzahlen pro Zeiteinheit und damit eine hohe Reproduzierbarkeit möglich, sodass der Prozess auch im späteren Produktionsmaßstab sehr effektiv ist.

Im Rahmen zukünftiger Kooperationen mit Industriepartnern will das Fraunhofer ISC den Prozess weiter optimieren und dann im nächsten Schritt für die Umstellung auf den Industriemaßstab anpassen. Geplant ist außerdem die Erweiterung der Herstellung auf polychromatische Kompositblöcke mit Dentin-Schneide-Farbverlauf durch eine Coextrusion von angepassten Kompositen. Entsprechende Projekte bieten den Herstellern von dentalen CAD/CAM-Materialien und -Geräten den Einstieg in eine automatisierte und somit auf Dauer kostengünstige Produktion von CAD/CAM-Blöcken mit entsprechenden wesentlichen Wettbewerbsvorteilen. ■



Fraunhofer-Institut für Silicatiforschung ISC

Neunerplatz 2
97082 Würzburg
herbert.wolter@isc.fraunhofer.de
www.isc.fraunhofer.de

Dr. Herbert Wolter

Leiter Dental und Mikromedizin



- 1982 Abschluss Chemiestudium an der Universität Paderborn
- 1982–1985 Promotion zum Dr. rer. nat., Universität Paderborn
- Seit 1985 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Silicatiforschung (ISC) in Würzburg
- 1993–2002 Leitung der Arbeitsgruppe „Kompakte Werkstoffe“ am Fraunhofer ISC in Würzburg, Abteilung ORMOCER®e
- 1994 „Fraunhofer Award“: Auszeichnung für die Entwicklung eines „Amalgamersatzes durch neuartige ORMOCER®-Komposite“
- 2002–2010 Leitung Kompetenzbereich „Kompakte ORMOCER®e und Komposite“ am Fraunhofer ISC in Würzburg
- 2010 Aufbau und Leitung des Kompetenzbereiches „Dental und Mikromedizin“; verantwortlich für die Entwicklung von multifunktionalen Silanen und anorganisch/organischen Hybridpolymeren (ORMOCER®en) und (Nano-) Hybridkompositen für restaurative und regenerative Medizin (spez. Dental)

DENTAL KOMPAKT 2018

Das Jahrbuch für Dentalprodukte

Mehr als 2.500 Dentalprodukte zu Zahnmedizin und Zahntechnik direkt miteinander vergleichen – und das alles in einem Werk. So sparen Sie wertvolle Zeit bei Investitionsentscheidungen in der Zahnarztpraxis und im Dentallabor.

Jetzt bestellen:
www.spitta.de/dentalkompakt2018

DENTAL KOMPAKT 2018 – Das Jahrbuch

Nachschlagewerk, über 100 verschiedene Produktvergleiche komplett in Farbe, DIN A4, verstärkter Umschlag, gebunden
€ 50,- zzgl. Versandkosten und MwSt.
Best.-Nr. 1008097112

NEU
Nur € 50,-



Spitta Verlag | Ammonitenstraße 1 | 72336 Balingen



online
**DENTAL
KOMPAKT**

Das Vergleichsportal für Dentalprodukte



www.dentalkompakt-online.de

über 4.000 Dentalprodukte
online vergleichen