



Mit optischen Polymerfasern die Zuverlässigkeit von MRT-Bildern erhöhen

## Lichtleiter erfassen Bewegungen

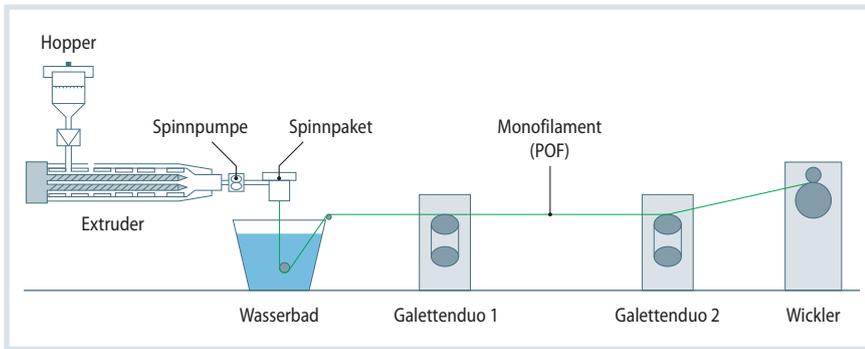
Bewegungen von Patienten können die Qualität von MRT- und CT-Aufnahmen stark beeinträchtigen. Um dem entgegenzuwirken, werden bei einem neuen Ansatz die Bewegungen erfasst und anschließend mittels Korrekturalgorithmen in die Bildauswertung einbezogen. Das verbessert die Qualität deutlich. Für die Ermittlung der Patientenbewegungen bietet sich der Einsatz von polymeroptischen Fasern an.

**L**ichtleitende Materialien wie optische Fasern übernehmen nicht nur in der Datenkommunikation, sondern auch in der Medizintechnik wichtige Funktionen. Polymeroptische Fasern (POF) aus Kunststoffen weisen gegenüber optischen Fasern aus Silikatglas sowohl bei der Kurzstreckenkommunikation als auch bei der Beleuchtung und Sensorik eine Reihe von Vorteilen auf. Die ersten POF wurden bereits 1967 von DuPont aus Polymethylmethacrylat (PMMA) entwickelt [1]. Seit Kurzem werden neben

PMMA auch einige andere Kunststoffe für die Herstellung verwendet. Hervorzuheben sind Polycarbonat (PC) und thermoplastisches Polyurethan (TPU), aber auch verschiedene Blockcopolymer wie der Fluorkunststoff Cytop von AGC Chemicals und das Cycloolefin-Copolymer Zeonex des amerikanischen Herstellers Zeon [2].

Aufgrund des geringeren Elastizitätsmoduls im Vergleich zu optischen Glasfasern sind POF auch bei großen Faserdurchmessern flexibel und lassen sich

daher gut in Textilien integrieren. Darüber hinaus ermöglichen sie eine einfachere Lichteinkopplung und eine bessere Lichtaufnahme. Sie sind außerdem kostengünstiger, einfacher zu handhaben und bieten eine hohe elektromagnetische Störfestigkeit (EMV) [3]. Aufgrund dieser Vorteile sind POF unter anderem für die Kurzstreckenkommunikation in Kraft- und Schienenfahrzeugen, für elektronische Geräte und die Gebäudevernetzung prädestiniert. Außerdem eignen sie sich zur Messung



**Bild 1.** Im Schmelzspinnverfahren lassen sich POF mit verschiedenen Faserdurchmessern und -querschnitten herstellen. Quelle: ITA; Grafik: © Hanser

und Überwachung einer Reihe von Umweltparametern wie Druck, Temperatur, pH-Wert, Körperbewegung, Geschwindigkeit, Sauerstoffsättigung und Reibung [4-9].

### Schmelzspinnen ermöglicht Anpassung verschiedener Fasereigenschaften

Neben der Herstellung mittels Heißziehen und Extrudieren ist das Schmelzspinnen (**Bild 1**) eines der geeignetsten Verfahren zur Produktion von POF [10]. Aus den erwähnten Polymeren können schmelzgesponnene Fasern mit anpassbarer Faserdämpfung und einstellbarem Härtegrad beziehungsweise einstellbarer Flexibilität erzeugt werden. Durch Anpassung der Prozessparameter und der Düsengeometrie sind verschiedene Faserquerschnitte (kreisrund, quadra-

tisch, trilobal etc.) und Faserdurchmesser möglich.

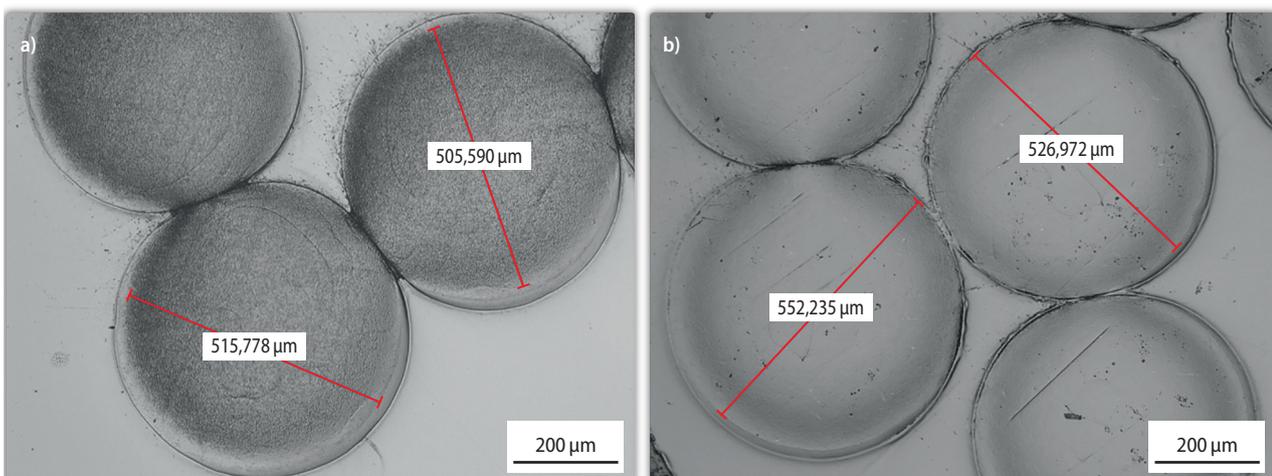
Neben den erwähnten Einsatzgebieten lassen sich POF aufgrund ihrer Druckempfindlichkeit auch für medizinische Anwendungen wie etwa die Gesundheitsüberwachung und Bewegungsanalyse nutzen. An einer solchen Anwendung arbeiten gegenwärtig das Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen (ITA) und der von Siemens geführte Forschungscampus Stimulate in einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundvorhaben. Im Projekt „Stimulate“ untersuchen die beiden Entwicklungspartner die Möglichkeit, Körperbewegungen während der medizinischen Bildgebung, etwa bei der Magnetresonanztomografie (MRT) oder der Computertomografie (CT), mittels schmelzgesponnener POF

zu überwachen. Durch Bewegungen des Patienten während der Bildgebung kommt es zu deutlichen Artefakten und damit zu unbrauchbaren Scans. Mit genauem Wissen über die Körperbewegungen während der Messung ist jedoch die Umsetzung geeigneter Gegenmaßnahmen möglich, um die Bildqualität wiederherzustellen. Somit kann eine erneute Durchführung der zeitaufwendigen und kostenintensiven Untersuchung vermieden werden.

### Patientenbewegungen mittels POF erfassen

Die Entwicklungen auf dem Gebiet der POF und die Fortschritte auf dem Gebiet der Sensortechnik haben die Anwendungsgrenzen für die Analyse menschlicher Bewegungen verschoben [9]. Beispielsweise werden derzeit POF zur Bewegungsanalyse in intelligenten Teppichen und als Dehnungsmessstreifen untersucht [11]. Durch die Kombination einer definierten Druckempfindlichkeit und einer gezielten Lichtkopplung ermöglichen sie die Messungen dynamischer Patientenbewegungen [9]. Darüber hinaus macht ihre elektromagnetische Störfestigkeit POF zu idealen Kandidaten für medizinische Anwendungen, insbesondere in MRT, die sehr anfällig für solche Störungen sind.

Die Entwicklung der POF, die die notwendige Druckempfindlichkeit »



**Bild 2.** Lichtmikroskopische Aufnahmen vom Querschnitt schmelzgesponnener POF: Die schmelzgesponnenen POF aus dem TPU Elastollan 1180 von BASF (links) verfügen über eine Dichte von  $1,08 \text{ g/cm}^3$  und wurden bei einem Polymerdurchsatz von  $5,6 \text{ g/min}$  mit einer Spinnöse mit einem Kapillardurchmesser von  $1,5 \text{ mm}$ , bei einem Verstreckungsverhältnis von 1 und einer Aufwickelgeschwindigkeit von  $23 \text{ m/min}$  gefertigt. Die schmelzgesponnenen POF aus dem TPU Desmopan 9385 von Covestro (rechts) besitzen eine Dichte von  $1,18 \text{ g/cm}^3$  und wurden bei einem Polymerdurchsatz von  $4,8 \text{ g/min}$  mit einer Spinnöse mit einem Kapillardurchmesser von  $1 \text{ mm}$ , bei einem Verstreckungsverhältnis von 2 und einer Aufwickelgeschwindigkeit von  $23 \text{ m/min}$  hergestellt. © ITA

aufweisen, und die Integration der Fasern in Hinblick auf die benötigte Lichtkopplung sind die Schwerpunkte des Stimulate-Projekts. Das technologische Prinzip beruht dabei auf der sogenannten Querkopplung zwischen zwei POF. Im Rahmen des Projekts wird ein Textilgitter entwickelt, das die Grundlage zur Überwachung der Patientenbe-

## Info

### Text

**Dr. Mohammadreza Naeimirad** ist Research Fellow an der RWTH-Aachen; m.naeimirad@razi.ac.ir

**Mark Pätzel, M.Sc.**, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen. Er arbeitet dort an der Herstellung und Verarbeitung von optischen Polymerfasern; mark.paetzel@ita.rwth-aachen.de

**Alexander Warsch** ist Student an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (OVGU).

**Dr. Franz Pursche** arbeitet seit 2020 als Bereichsleiter der Gruppe Monofilament-technologie an der RWTH-Aachen; franz.pursche@ita.rwth-aachen.de

**Jan Kallweit, M.Sc.**, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am ITA und arbeitet dort an der Herstellung und Verarbeitung von optischen Polymerfasern.

**Robert Kowal, M.Sc.**, arbeitet seit 2020 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der OVGU in der Hardwareentwicklung für die interventionelle Magnetresonanztomographie.

**Dr. Enrico Pannicke** ist seit 2018 Gruppenleiter an der OVGU.

**Prof. Thomas Gries** ist seit 2000 Direktor des ITA.

### Dank

Die Forschungsarbeit wird teilweise durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Forschungscampus Stimulate unter den Förderkennzeichen 13GW0473A und 13GW0473E gefördert. Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung.

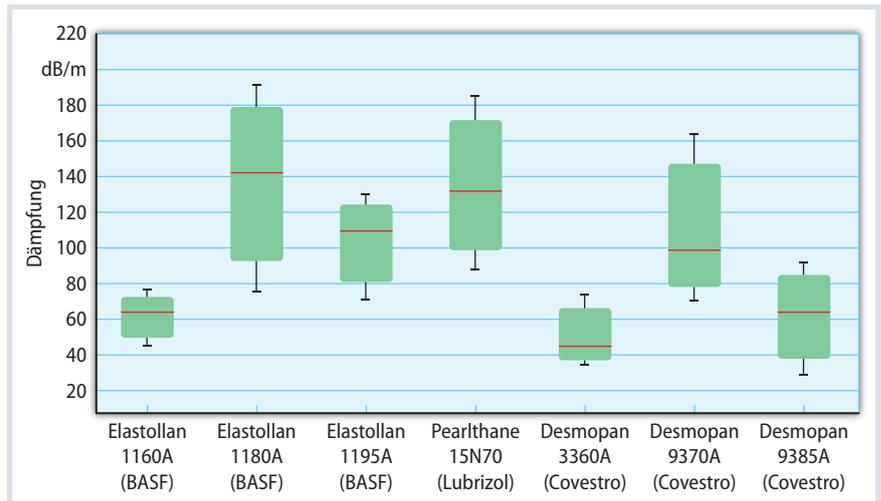
### Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter

[www.kunststoffe.de/onlinearchiv](http://www.kunststoffe.de/onlinearchiv)

### English Version

Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)



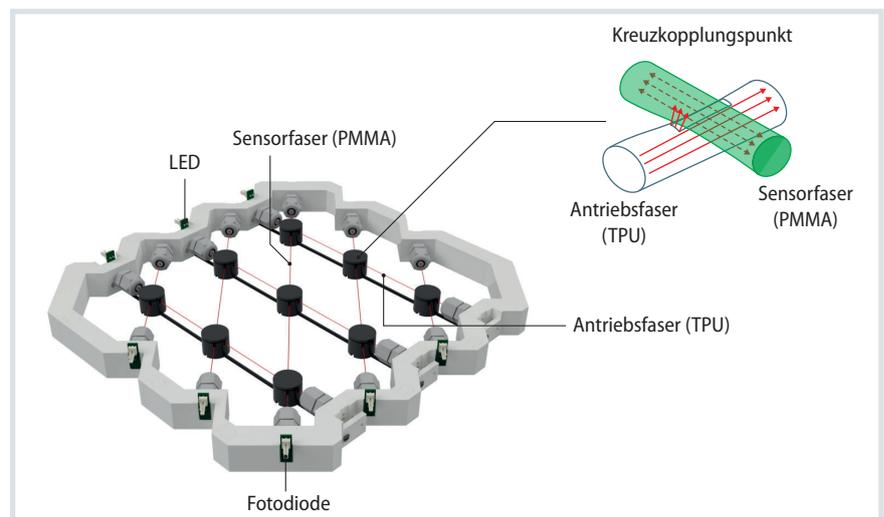
**Bild 3.** Die Dämpfungsmessung offenbart große Unterschiede bei den Materialien. Ausgewählt wurden die Materialien 1160A (BASF) und 3360A (Covestro) aufgrund der geringeren Dämpfung und Abweichungen. Quelle: ITA; Grafik: © Hanser

wegungen und zur Bildkorrektur bei MRT- bzw. CT-Scans liefert.

Das Textilgitter setzt sich aus zwei unterschiedlichen POF-Systemen zusammen. Das erste Fasersystem ist mit einer Lichtquelle verbunden und besteht aus flexiblen, weichen POF. Diese sind nicht konventionell auf dem Markt erhältlich und werden daher im Rahmen des Projekts selber hergestellt. Das erste Fasersystem wird im Folgenden als Antriebsfaser bezeichnet. Das zweite Fasersystem besteht aus PMMA-POF (im Folgenden als Sensorfaser bezeichnet), die niedrig dämpfend und formstabil sind sowie an eine Fotodiode angeschlossen werden. Die Hauptanforderung an die POF ist

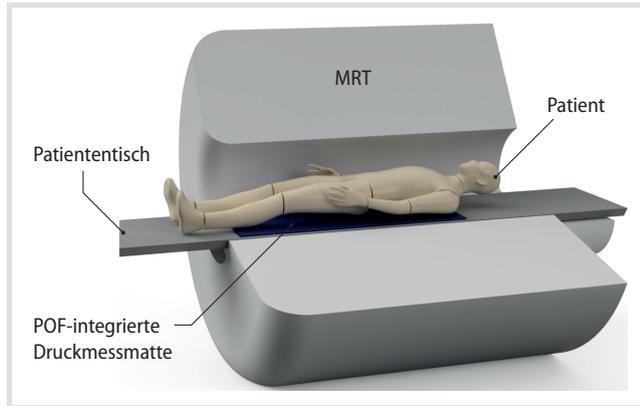
somit neben der Lichtleitung vor allem die druckkraftinduzierte Querkopplung von Licht zwischen der Antriebs- und der Sensorfaser. Die Abhängigkeit der optischen Eigenschaften von der Druckbeanspruchung des Textilgitters spielt die entscheidende Rolle im zugrundeliegenden Wirkprinzip.

Einige interne und externe Einflussfaktoren (Ausgangsmaterialien, Verarbeitungsbedingungen und Fasereigenschaften wie Durchmesser, Querschnitt, Kristallinität etc.) sind bei der Entwicklung der POF und des Textilgitters zu beachten. Dazu haben das ITA und die Hochschule für Telekommunikation Leipzig (HfTL) kürzlich mit Titandioxid



**Bild 4.** Schematische Ansicht des 3D-gedruckten Demonstrators: Wichtig für ein gutes Messergebnis sind die Druckempfindlichkeit der Antriebsfaser und die Lichteinkopplung in die Sensorfaser sowie die Empfindlichkeit beim Messen der eingefangenen Lichtintensität. Quelle: ITA; Grafik: © Hanser

**Bild 5.** Endgültiger Ansatz des Projekts zur Bildkorrektur: Über die in das MRT integrierte POF-Druckmessmatte lassen sich die Bewegungen des Patienten genau erfassen. © ITA



(TiO<sub>2</sub>) dotierte POF mit trilobalem Querschnitt durch Compoundieren und Schmelzspinnen von PMMA produziert [13, 16]. Untersucht wurden auch Strahlungsmuster innerhalb des Querschnitts der schmelzgesponnenen Fasern mittels Raytracing-Simulation [17, 18].

### Was bewirken unterschiedliche Fasereigenschaften?

In einigen anderen Arbeiten zu diesem Projekt entwickelten die Forscher ein 2D-Drucksensorgerät durch Querkopplung zwischen einer Antriebs- und einer Sensorfaser [17, 19, 20]. Für die Experimente wurden TPU- und PMMA-Fasern hergestellt. Es zeigte sich, dass die Unterschiede der Härtegrade zwischen den zwei Fasersystemen entscheidende Parameter für die Erhöhung der Kontaktfläche unter Druck sind. Weiter untersucht wurden auch verschiedene Einflussgrößen wie der Faserquerschnitt, der Kreuzungswinkel und der Druckeinfluss auf die Sensitivität des Aufbaus [17-20]. Die Forscher fanden heraus, dass kleinere Kreuzungswinkel eine höhere Querkopplungseffizienz bewirken, während die Druckerhöhung auch die Empfindlichkeit vergrößert. Der mit diesen Erkenntnissen entwickelte prototypische Aufbau wurde anschließend als sensitives 2D-Multitouch-System vorgestellt [17].

In Schmelzspinnversuchen an acht Typen von transparenten TPU von BASF, Covestro und Lubrizol konnten monofile Antriebsfasern mit verschiedenen Durchmessern von 0,2 bis 1 mm (**Bild 2**) zur Kopplung mit handelsüblichen PMMA-Fasern mit einem Durchmesser von 0,5 mm hergestellt werden. Prozessparameter wie Polymerdurchsatz, Streckver-

hältnis und Wickelgeschwindigkeit wurden dabei variiert. Für die Herstellung der Antriebsfasern kamen eine Spinnanlage des Unternehmens Fourné Maschinenbau und Spinnköpfe von Sossna mit einem L/D-Verhältnis von 4 und einem Kapillardurchmesser von 1 bis 2 mm zum Einsatz.

### Passende Kombination aus Antriebs- und Sensorfasern

Die Dämpfungsmessungen an einer Kunststoffplatte zeigten beträchtliche Unterschiede zwischen den Rohmaterialien (**Bild 3**). Dennoch sind einige der Antriebsfasern in Bezug auf die Dämpfungskoeffizienten und die Flexibilität als Gegenstück für die PMMA-Sensorfaser geeignet. Die Integration ausgewählter Fasern in einen 3D-gedruckten Demonstrator (**Bild 4**) auf dem Forschungscampus Stimulate durch die Otto-von-Guericke-Universität in Magdeburg zeigte, dass die Druckempfindlichkeit der Antriebsfaser und die Lichteinkopplung in die Sensorfaser entscheidend für das Entwicklungsziel sind.

Ein sehr wichtiger Faktor in dem System ist ebenfalls die Empfindlichkeit beim Messen der eingefangenen Lichtintensität. Daher sollte die Antriebsfaser eine hohe Lichtemission aufweisen, währenddessen die Sensorfaser so viel des emittierten Lichts wie möglich erfassen muss, um dieses in ein transparentes und sicheres Medium zu leiten. Dadurch können die Fotodioden die Lichtintensität erfassen und messen. Die notwendigen optomechanischen Anschlüsse werden so konzipiert, dass sie eine minimale Lichtabsorption und eine hinreichend hohe Leistung aufweisen. Einen geeigneten Ansatz für die Druckerkennung und Bildkorrektur in MRT zeigt **Bild 5**.

### Fazit und Ausblick

Die im Projekt Stimulate erworbenen Erkenntnisse ebnen den Weg für den Einsatz von POF in der medizinischen Bildgebung. Die Entwicklung basiert auf der Flexibilität transparenter POF und der druckinduzierten Lichtemission von einer Antriebsfaser in eine Sensorfaser durch Querkopplung. Durch die Erfassung der Lichtsignale mit Fotodioden führt das zu einem visuellen Bild. Diese druckinduzierten Messungen dienen anschließend als Eingabedaten für Bildkorrekturalgorithmen in medizinischen Bildgebungsgeräten wie MRT oder CT, da sie die Körperbewegung der Patienten während der Bildgebung wiedergeben. Dieser Ansatz soll in Zukunft mithilfe eines Prototypen des im Projekt entwickelten Textilgitters in anwendungsnahen Tests an medizinischen Bildgebungsgeräten erprobt werden. ■