

## PROGRAMMIERBARE MATERIALIEN – MECHANIK UND TRANSPORT NACH WUNSCH

1 *Designstudie für ein Metamaterial, aufgebaut aus verschiedenen Elementarzellen*

2 *Nichtlineare Verformung eines topologisch optimierten Metamaterials*

Werkstoffen neue Fähigkeiten verleihen? Wie das funktioniert, untersuchen wir in verschiedenen Projekten zum Thema »Programmierbare Materialien«. Dabei wird nicht nur das Material als solches verändert, sondern seine innere Struktur, die Mechanik oder auch der Transport.

Durch neue Fertigungsverfahren ist es möglich, gezielt Strukturen im Mikrometerbereich herzustellen. Dazu werden beispielsweise additive Verfahren wie 3D-Druck verwendet. Damit stellt eine Ingenieurin oder ein Ingenieur nicht nur durch die äußere Form, sondern auch durch die innere Mikrostruktur gezielt die Bauteileigenschaften ein. Wir gehen gemeinsam mit anderen Fraunhofer-Instituten noch einen Schritt weiter und definieren in derartigen Mikrostrukturen mehrere Zustände und schalten zwischen ihnen durch einen äußeren Impuls um.

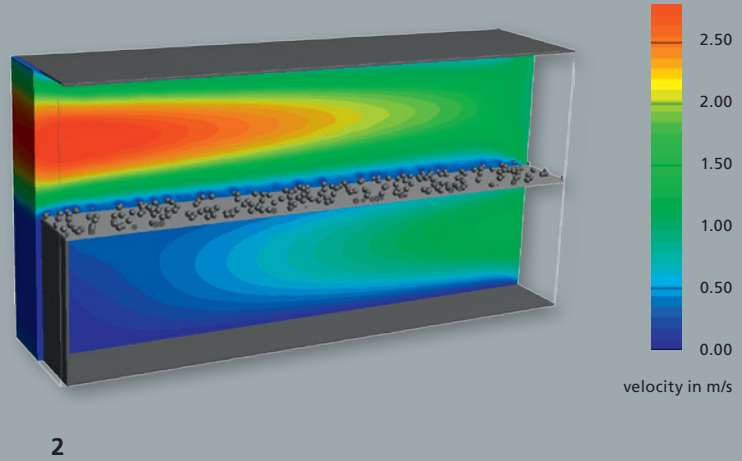
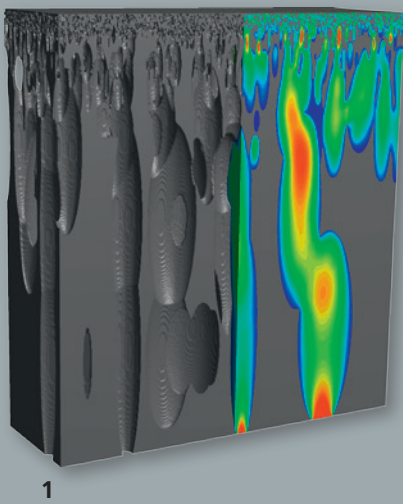
### Programmierbare Mechanik und Baukasten voller Struktur-Möglichkeiten

Wir entwickeln im Fraunhofer Cluster of Excellence »Programmable Materials« mathematische Verfahren zur Strukturoptimierung und unterstützen Ingenieurinnen und Ingenieure bei der Auswahl geeigneter Mikrostrukturen sowie bei der Auslegung für das Fertigungsverfahren. Gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM entwickeln wir Mikrostrukturen für den 3D-Druck, die unter einer äußeren mechanischen Belastung die innere Steifigkeit oder die Form ihrer Oberfläche nach Wunsch verändern. Insbesondere erzielen wir außergewöhnliche mechanische Effekte, die ein in der Natur vorkommendes Material nicht besitzt.

Beispiele sind sogenannte Metamaterialien wie Pentamode-Strukturen, die zwar ein Festkörper sind, sich aber wie eine Flüssigkeit verhalten. Diese Materialien bestehen aus einer dreidimensionalen Anordnung von würfelförmigen Zellen. Jede Zelle hat ein nichtlineares mechanisches Verhalten und mehrere stabile Zustände. Diese Zellen werden am Fraunhofer IWM entwickelt, gedruckt und geprüft.

### Algorithmus für ganz besondere Zellen

Es gibt viele verschiedene Möglichkeiten, diese Zellen zu gestalten. Ein wichtiger Typ sind auxetische Zellen, die sich unter Zug in dazu orthogonaler Richtung ausdehnen. Das heißt, sie werden beim Strecken dicker und beim Zusammendrücken dünner. Noch mehr Optionen bietet die Anordnung tausender Zellen zu einer Einheit. Wir entwickeln einen Algorithmus, der je nach Wunsch eine mögliche Auswahl und Anordnung der Zellen berechnet. Als Schnittstelle für den Anwender stellen wir eine grafische Oberfläche für die Konstruktion von programmierbaren Materialien



aus Einheitszellen bereit – ähnlich eines CAD-Programms in der Architektur. Langfristig werden die berechneten Strukturen direkt als Eingabe für den 3D-Druck ausgegeben.

### Programmierbarer Transport: Saubere Filter durch smarte Materialien

Zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP arbeiten wir an der Entwicklung von Membranen, die bei Filtern Verwendung finden. Dabei steht der Einsatz von programmierbaren Materialien im Fokus, die aufgrund äußerer Stimuli ihre Eigenschaften verändern, besonders im Hinblick auf eine effektive Filter-Abreinigung.

Im Mittelpunkt stehen Membranen aus thermoresponsiven Formgedächtnis-Polymeren mit oder ohne Lochstruktur, die zum Abreinigungszeitpunkt gezielt ihre Form ändern und den Prozess effektiver machen. Als Formgedächtnis-Polymerer bezeichnet man Kunststoffe, die sich an ihre frühere Form scheinbar »erinnern«. Des Weiteren betrachten wir im Projekt bei Anwendungen der Querstromfiltration, Membranen mit zusätzlicher Oberflächenstrukturierung. Diese Strukturierung verzögert während der Filtrationsphase Foulingprozesse (Verschmutzung), indem sie beispielsweise Bakterien von der Membran fernhält. Ein weiteres Thema sind chemoselektive Membranen, die ihre Durchlässigkeit aufgrund der Anwesenheit bestimmter chemischer Stoffe verändern. Dieser Effekt wird zur Abhaltung von Schadstoffen genutzt. In allen Fällen unterstützen wir die Projektpartner mit entwicklungsbegleitenden Simulationen.

### Adaptive Filterung durch Membranstruktur

Im Projekt »Programmable Materials in Science and Engineering« (ProMiSE) befassen wir uns gemeinsam mit anderen Fraunhofer-Instituten ebenso mit der Forschung an neuen programmierbaren Materialien, genauer mit »programmierbarer Stoffdurchlässigkeit«. Als möglichen Auslöser untersuchen wir hier sowohl piezoelektrische als auch thermomechanische Effekte. Ziel ist es, abhängig davon eine Verformung der Porengeometrie auf der Mikroskala zu erreichen und somit die Stoffdurchlässigkeit (Porosität) zu verändern. Dies ermöglicht einen Einsatz als adaptiver Filter, zum Beispiel zur Wasseraufbereitung oder in chemischen Prozessen. Für uns bestand die Aufgabe in der Modellierung und Simulation des piezoelektrischen Effekts. Dieser beschreibt die Änderung der elektrischen Polarisation und somit das Auftreten einer elektrischen Spannung an Festkörpern, wenn sie elastisch verformt werden. Die Ausdehnung und Ausrichtung eines Polymers wurde auf der Kontinuums-Skala mechanisch modelliert. Damit untersuchen wir den Effekt unterschiedlich strukturierter Porengeometrien. Die Projektpartner vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF erzeugen gewünschte Membrangeometrien durch Laserbestrahlung. So verstärkt sich die adaptive Filterung durch gezielte Verformung.

1 *Strömung durch eine virtuelle Membranstruktur*

2 *Querstromfiltration durch eine Membran mit Oberflächenstrukturierung*

