

3D-Materialien auf Bestellung

Der Exzellenzcluster „3D Matter Made to Order“ erforscht additive 3D-Fertigungsverfahren.

Maike Pfalz

Fast in jedem Haushalt lassen sich heute im Handumdrehen Texte, Bilder oder Fotos ausdrucken. Zukünftig ist aber auch denkbar, dass sich per Knopfdruck mittels 3D-Drucker verschiedenste Gegenstände fabrizieren lassen. Bereits jetzt haben 3D-Drucker einige Bereiche des Alltags erobert und ergänzen beispielsweise den Physikunterricht, indem sie die kostengünstige Herstellung von Experimentiermaterial erlauben. Auch in der Industrie kommt die additive 3D-Fertigung – wie es korrekt heißt – zum Einsatz, unter anderem zur Herstellung von Prototypen. Der Exzellenzcluster „3D Matter Made to Order“ (3DMM2O) verfolgt die Vision, eine skalierbare digitale additive 3D-Fertigung von der molekularen bis zur makroskopischen Skala zu etablieren.

Die beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der Universität Heidelberg erforschen und bearbeiten die gesamte Bandbreite von der Grundlagenforschung über die angewandte Forschung bis hin zu Technologien

und Ausgründungen. Vorbild sind biologische Systeme, die Moleküle auf der Nanometerskala zusammensetzen können, um damit gewünschte Funktionen auf der Zell- oder Gewebeebene zu erzielen. Das langfristige Ziel besteht darin, industriell fabrizierte Werkstoffe und lebende Systeme miteinander zu kombinieren und die 3D-Fertigung und -Materialverarbeitung vollständig zu digitalisieren.

Der Cluster gliedert sich in die drei Forschungsbereiche Molekulare Materialien, Technologien und Anwendungen (**Infokasten**), die jeweils aufeinander aufbauen. Jeder Bereich ist in drei Stoßrichtungen („Thrusts“) unterteilt. Im Bereich „Molekulare Materialien“ geht es darum, Tinten und Fotolacke zu entwickeln für die Druckmaschinen, die im Fokus des Forschungsfelds „Technologien“ stehen. „Diese sollen wiederum im dritten Forschungsbereich ‚Anwendungen‘ zum Einsatz kommen. Damit schließt sich der Kreis“, verdeutlicht Martin Wegener vom KIT, einer der beiden Cluster-Sprecher.

◀ Martin Wegener und sein Doktorand Pascal Kiefer arbeiten am Entwurf, der Herstellung und Charakterisierung dreidimensionaler Metamaterialien.

Der Cluster verfolgt einen interdisziplinären Ansatz und verbindet Natur- mit Ingenieurwissenschaften: Der Forschungsbereich A ist durch die Chemie geprägt: Hier geht es um die Synthese von Molekülen mit vielfältigen Charakteristika, um sich gleichsam selbst organisierende molekulare Bausteine und schließlich um das spezifische Design der Funktionsweise von Fotolacken.

Der Forschungsbereich B ist durch die Physik geprägt und zielt mit seinen Stoßrichtungen 3D-Laser-Nanodruck, integrierte Multiskalen-Nanofertigung sowie Elektronenmikroskopie strahlungsempfindlicher Materialien darauf ab, die grundlegenden Grenzen der dreidimensionalen additiven Fertigung in Bezug auf räumliche Auflösung, Geschwindigkeit, Skalierbarkeit und den Druck verschiedener Materialien auszuloten bzw. zu verschieben. Neben dem Druckverfahren geht es um die Charakterisierung in 3D mit einer Präzision auf der Nanometerskala.

„Finer, faster and more ist unser Motto“, fasst Martin Wegener zusammen. Denn es geht darum, feinere Strukturen zu drucken, also die Auflösung um mindestens eine Größenordnung zu verbessern, und vor allem schneller zu drucken. „Wir möchten die additive Fertigung um den Faktor 100 oder gar 1000 schneller machen“, hofft Wegener.

Der Forschungsbereich C zielt auf Anwendungen in Technik und Lebenswissenschaften ab: So konzentrieren sich die drei Anwendungsszenarien auf elektronische und photonische Systeme, 3D-Metamaterialien und dreidimensionale hybride organotypische Systeme. Mit organotypischen Systemen ist gemeint, mittels 3D-Druck Gerüste herzustellen, mithilfe derer Zellen oder Zellverbände in einer bestimmten Art wachsen können. „Wir haben uns vorgenommen, auf diese Weise eine künstliche Retina herzustellen, also Designermaterie nach dem Vorbild der Natur“, sagt Martin Wegener. Für die Anwendungen mit biologischen Systemen besteht das langfristige Ziel darin, industriell fabrizierte Werkstoffe und lebende Systeme miteinander zu integrieren, indem beispielsweise organotypische Systeme durch 3D-gedruckte Strukturen kontrolliert werden.

Das Kleine als Alleinstellungsmerkmal

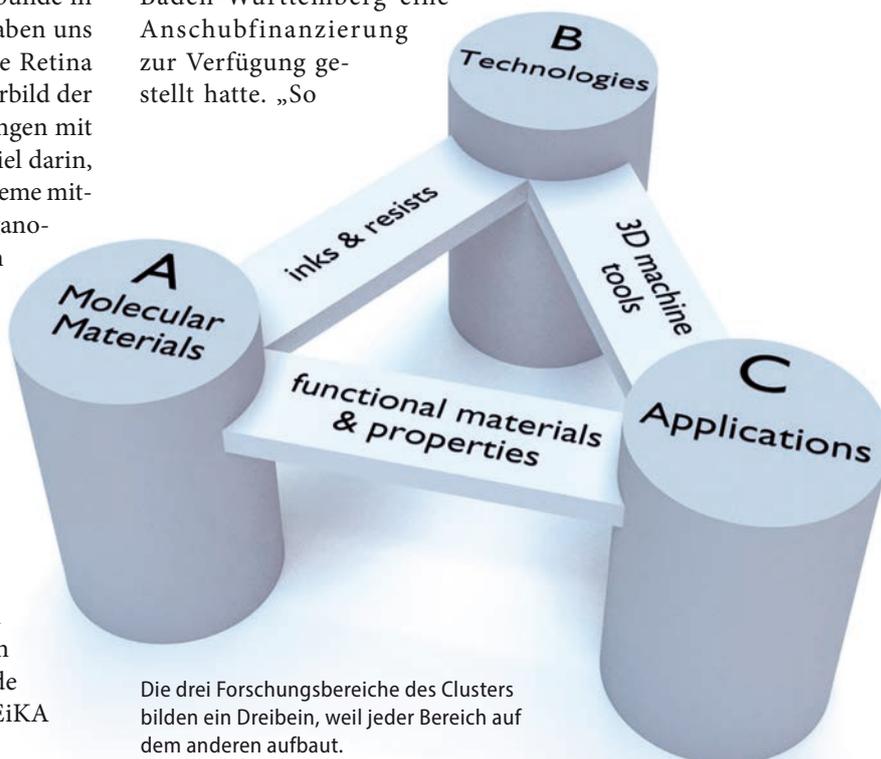
Um die additive Fertigung in all ihrer Breite grundlegend zu erforschen, arbeiten im Exzellenzcluster „3D Matter Made to Order“ rund 120 Personen aus Chemie, Physik, Physikalischer Chemie, Biophysik, Biomechanik, Maschinenbau und Elektrotechnik zusammen. Neben über 30 Professorinnen und Professoren von zwei der forschungsstärksten Universitäten Deutschlands sind das vor allem Promovierende und Postdocs. Zum Cluster gehört auch die HEIKA Graduate School on Functional Materials.

Einige der Forscherinnen und Forscher am KIT können auf Erfahrungen aus dem „Centrum für Funktionelle Nanostrukturen“ (CFN) zurückblicken, das von 2001 an Fördermittel als DFG-Forschungszentrum erhalten hat und darüber hinaus von 2006 bis 2014 als Exzellenzcluster. Bereits im CFN arbeitete Martin Wegener mit seiner Gruppe an der 3D-Laserlithografie. Bei dieser Methode wird während des Drucks ein Laserstrahl durch den zunächst flüssigen Fotolack bewegt, der schließlich im Laserfokus aushärtet, wodurch komplexe Mikrostrukturen entstehen können. „Damals galt das noch als absurde Technik und machte nur einen geringen Anteil der Forschungsarbeiten im CFN aus. Heute wenden wir einen erheblichen Teil unserer Ressourcen für diesen Bereich auf“, erläutert Martin Wegener. Zudem hat sich durch die Kooperation mit der Universität Heidelberg der Fokus verschoben in Richtung biologischer und lebenswissenschaftlicher Anwendungen. „Die Heidelberger verstärken auch den Bereich der Chemie und damit die teils sehr langwierige und aufwändige Entwicklung und Herstellung der Tinten und Fotolacke“, unterstreicht Wegener.

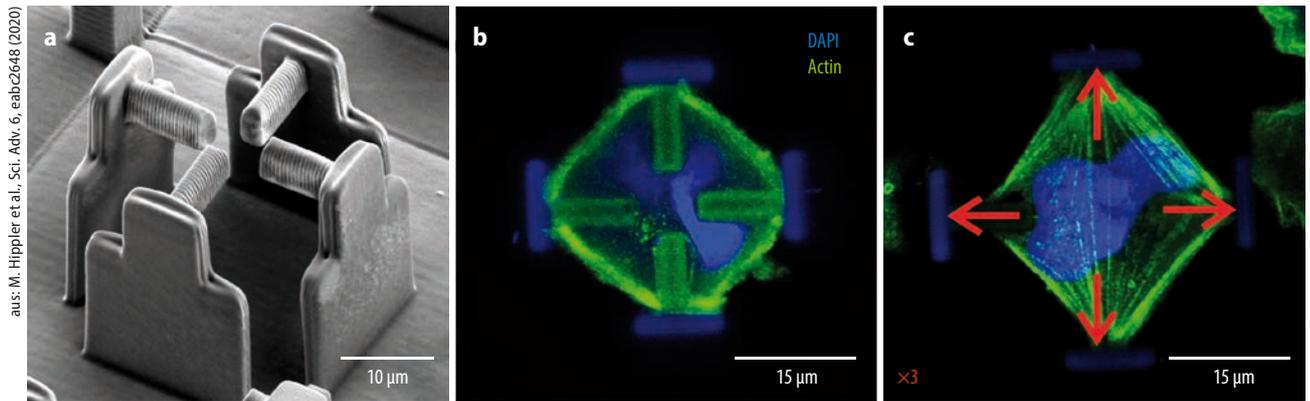
In der additiven Fertigung auf der Mikrometer- bis Nanometerskala hat der Exzellenzcluster weltweit wenig Konkurrenz. Beim 3D-Druck größerer Strukturen gibt es dagegen international breite Aktivitäten – beispielsweise im Maschinenbau, der Automobilfertigung oder in der Herstellung von Hüftimplantaten. „Aber da halten wir uns komplett raus und fokussieren uns auf die kleinen Dinge“, verdeutlicht Martin Wegener.

Ein fliegender Start

Seit Anfang 2019 fließen die Gelder aus der Exzellenzstrategie, doch der Cluster in Karlsruhe und Heidelberg hat schon zuvor seine Arbeit aufnehmen können, da das Land Baden-Württemberg eine Anschubfinanzierung zur Verfügung gestellt hatte. „So



Die drei Forschungsbereiche des Clusters bilden ein Dreieck, weil jeder Bereich auf dem anderen aufbaut.



Mittels 3D-Druck ließ sich ein Gerüst drucken (elektronenmikroskopische Aufnahme in a), um damit Zellen zu verformen. Die lichtmikroskopischen Aufnahmen zeigen gefärbte embryonale Mauszellen im normalen (b) und im gestreckten Zustand (c). Die roten Pfeile verdeutlichen die einwirkenden Kräfte.

konnten wir Anfang letzten Jahres aus vollem Lauf heraus starten“, freut sich Martin Wegener. Dieser fliegende Start zeigt sich auch daran, dass zwei der vier neuen W1-Tenure-Track-Professuren bereits besetzt sind und die neuen Professorinnen ihre Arbeit aufgenommen haben. Zudem sind mehrere Principal Investigators neu in das Cluster aufgenommen worden, die zum Teil aus Mitteln der Carl-Zeiss-Stiftung finanziert werden. Einige der Arbeitsgruppen nutzen das ehemalige CFN-Gebäude in Karlsruhe oder sind in Heidelberg in das Center for Advanced Materials (CAM) eingezogen, das 2017 eingeweiht wurde.

Bei der Besetzung der neuen Stellen war – wie bei allen Exzellenzclustern – die Gleichstellung ein wichtiges Thema. „Bei den neuen Professuren wollten wir eine Frauenquote von mindestens 50 Prozent erreichen. Das haben wir mit den ersten beiden Professorinnen bereits erfüllt“, betont Martin Wegener. Bei den Promovierenden und Postdocs zielen die Karlsruher und Heidelberger auf eine Frauenquote von mindestens 33 Prozent ab. Sollte das nicht erreicht werden, startet ein Headhunting-Pro-

gramm, um gezielt nach geeigneten Wissenschaftlerinnen zu suchen.

Darüber hinaus bietet der Cluster ein Coaching-Programm für Promovierende und junge Postdocs, um über Karrieren in der Wissenschaft bzw. in der Industrie zu informieren und um zu schauen, an welchen Momenten in der wissenschaftlichen Karriere die Frauen verloren gehen. Im Sommer hat trotz Corona-Pandemie die erste Sommerschule nur für Mädchen aus den Klassenstufen 9 bis 12 stattgefunden, die so stark nachgefragt wurde – auch von Jungen –, dass eine Wiederholung fest geplant ist. „Die Kooperation mit Schulen ist ausgesprochen wichtig, um von Anfang an mehr Mädchen für ein naturwissenschaftliches oder technisches Studium zu begeistern. Sonst nehmen wir uns in einigen Bereichen der Wissenschaft die wenigen Frauen nur gegenseitig weg, was wenig sinnvoll ist“, sagt Martin Wegener.

In diesem Wintersemester ist ein internationaler, englischsprachiger Masterstudiengang „Materials Science and Engineering“ gestartet, um gezielt Nachwuchs für den Cluster auszubilden. Flankiert wird der Master durch ein Stipendienprogramm mit Mitteln der Carl-Zeiss-Stiftung.

Als einen großen Vorteil der Förderung als Exzellenzcluster sieht Martin Wegener die Möglichkeit, die zur Verfügung stehenden Mittel flexibel einsetzen und den sich verändernden Bedürfnissen anpassen zu können. „Außerdem ist dies ein hervorragendes Vehikel, um die Zusammenarbeit verschiedener Gruppen aus unterschiedlichen Disziplinen zu fördern“, hebt Wegener hervor.

Ein wichtiger Baustein des Exzellenzclusters ist neben der Interdisziplinarität die enge Zusammenarbeit mit der Industrie. So gibt es Aktivitäten mit verschiedenen Unternehmen sowie einen Industriebeirat mit Vertretern von Firmen, beispielsweise Bosch, Merck, Schott oder der Carl Zeiss AG.

Der Exzellenzcluster „3DMM20“

Beteiligte Institutionen:

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Universität Heidelberg, Heidelberg Karlsruhe Strategic Partnership, International Department des KIT, Heidelberg Institut für Theoretische Studien, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse

Sprecher: Prof. Dr. Martin Wegener (KIT) und Prof. Dr. Uwe Bunz (Universität Heidelberg)

Drei Forschungsbereiche:

A: Molekulare Materialien
B: Technologien
C: Anwendungen

Weitere Informationen

unter www.3dmm20.de

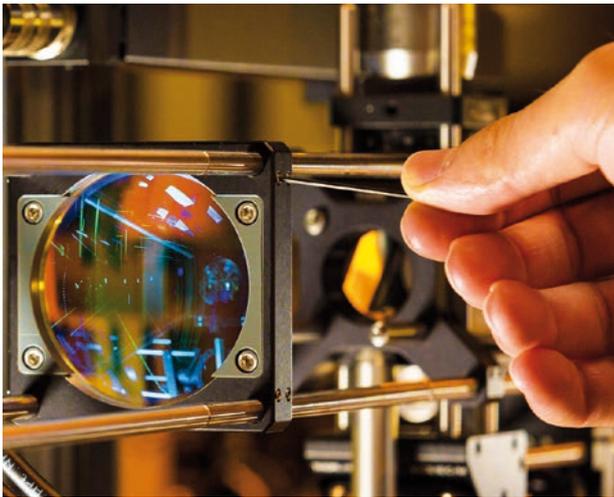


**3D MATTER
MADE TO ORDER**

Große Erfolge im Kleinen

Nicht nur die Strukturen der Zusammenarbeit sind inzwischen etabliert, sondern es gibt auch schon wissenschaftliche Erfolge zu verzeichnen. So ist es beispielsweise gelungen, eine mikrofluidische Kammer in ein 3D-Laserlithografiegerät zu integrieren und damit mehrfarbig fluo-

Patrick Langer



Die Arbeitsgruppe von Martin Wegener nutzt linear optische, nichtlinear optische, nahfeld-optische und Femtosekunden-Spektroskopie.

reszierende Sicherheitsmerkmale für Geldscheine, Dokumente oder Markenprodukte zu drucken. „Dieses System ermöglicht es, alle Fertigungsschritte für dreidimensionale Mikro- und Nanostrukturen aus mehreren Materialien in ein Gerät zu integrieren“, erläutert Martin Wegener. „Dies ebnet den Weg zu echter multimaterieller additiver Fertigung auf der Mikro- und Nanoskala.“

Ein weiterer Erfolg war die Demonstration eines 3D-Druckers, der mit einer Präzision im Mikrometermaßstab um den Faktor 30 schneller druckt als bisherige Systeme. Damit konnten die Forscherinnen und Forscher zentimetergroße Objekte mit submikrometergroßen Details herstellen. Möglich war dies durch eine spezielle Optik, die den Laserstrahl in neun Teilstrahlen aufgeteilt hat, die sich parallel zum Drucken verwenden ließen.

Um mittels 3D-Druck ein funktionsfähiges System wie die Retina herzustellen, sind spezielle Tinten und Fotolacke erforderlich, die unter physiologischen Bedingungen wie-

der abbaubar sind, sowie elektrisch leitfähige Materialien. Kürzlich gelang es, eine Art Streckbank für Zellen zu konstruieren. Dazu haben die Forschenden ein Mikrogerüst gedruckt, auf deren vier Pfeilern sich Zellen angesiedelt haben. Hierfür kamen drei verschiedene Druckertinten zum Einsatz: eine Tinte aus proteinabweisendem Material für das Mikrogerüst, eine Tinte aus proteanziehendem Material für die vier Balken sowie eine dritte Tinte für das Innere des Gerüsts, das sich bei Zugabe einer speziellen Flüssigkeit ausdehnt. „Die Zelle wird hierbei gestreckt, sodass man untersuchen kann, wie sie auf solche äußeren Kräfte reagiert und sich in ihrem Inneren umstrukturiert“, erläutert Martin Wegener.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Exzellenzclusters arbeiten auch daran, metallische Strukturen auf der Submikrometerskala zu verdrucken, was bislang nur schwer möglich ist. Ein anderes Ziel besteht darin, ein kleines Rasterkraftmikroskop in 3D zu drucken oder dreidimensionale Architekturen für optische Chips. Im Bereich der Metamaterialien geht es darum, Strukturen mit hoher Auflösung in der Größe eines Zuckerwürfels zu drucken. Für noch größere Strukturen reicht die Geschwindigkeit der Methoden derzeit nicht aus.

Der Exzellenzcluster „3D Matter Made to Order“ ist auf vielen Gebieten unterwegs, um die additive 3D-Fertigung auf der „kleinen Skala“ großzumachen und unterschiedliche Anwendungen zu ermöglichen. „Ich bin überzeugt, dass die additive 3D-Fertigung unsere Welt auf ähnlich drastische Weise verändern könnte wie im 15. Jahrhundert der Buchdruck“, hofft denn auch Martin Wegener.

Die Exzellenzcluster

In loser Folge stellt das Physik Journal die Cluster der Exzellenzstrategie mit Schwerpunkt in der Physik bzw. starker Beteiligung von Physikerinnen und Physikern vor.

FIBER OPTIC COMPONENTS

polarization-maintaining for wavelengths 360 – 1800nm

60SMF series with super fine thread

NEW

60FC-SF series with super fine-focussing

NEW



TILT

Fiber Port Clusters 2 → 6

Used in quantum optics, e.g. for cooling and trapping experiments (MOT)



Schäfter+Kirchhoff develop and manufacture laser sources, line scan camera systems and fiber optic products for worldwide distribution and use.



FIBER CABLES

optional with End Caps

POLARIZATION ANALYZER

Series SK010PA



Visit our newly relaunched website www.sukhamburg.com

Schäfter + Kirchhoff

info@sukhamburg.de

www.sukhamburg.com



© stock.adobe.com