

# ELEMENTS

Forschen. Wissen. Zukunft.



## Volle Leistung

### **Wo der Kunststoff Vestakeep PEEK vorne liegt**

3D-Druck ermöglicht die Fertigung von Implantaten → S. 10

Leichtbauzahnräder treiben Elektrofahrzeuge an → S. 24

Squalen: Wie Pflanzenwirkstoffe zum Schutz von Haien beitragen → S. 42

# Polyether- etherketon (PEEK)

Hochleistungskunststoff

---

PEEK wurde im Jahr 1978 entdeckt und ist ein wichtiges Material aus der Gruppe der Polymere. Seine Eigenschaften machen es zu einem vielfältig einsetzbaren Hightechwerkstoff. PEEK liegt als Pulver oder Filament vor, es lässt sich sowohl gießen als auch 3D-drucken oder fräsen. Der Kunststoff hat eine hohe Lebensdauer, ist recycelbar, formbeständig und leicht. PEEK ist hydrolysebeständig und unempfindlich gegenüber schwachen Säuren oder Laugen. Seine chemisch stabile Molekülstruktur macht den Kunststoff beständig gegen Beta- und Gammastrahlung, eine wichtige Anforderung etwa in der Medizintechnik. Branchen wie der Flugzeugbau profitieren von der geringen Entflammbarkeit und Rauchentwicklung des Materials. Die Schmelztemperatur von PEEK beträgt 335 Grad Celsius. Bei Temperaturen von etwa minus 60 Grad bis plus 300 Grad Celsius besitzt es eine hohe mechanische Festigkeit und Steifigkeit.

---

**Polymere** Substanzen, die aus einem oder mehreren gleichartigen Molekülbausteinen bestehen

**Hydrolysebeständig** ist ein Material, wenn es bei Kontakt mit Wasser stabil bleibt, sich also weder strukturell verändert noch zersetzt

**Steifigkeit** Größe in der Technischen Mechanik, die den Widerstand eines Körpers gegen elastische Verformung durch eine Kraft oder ein Drehmoment beschreibt



## LIEBE LESERIN, LIEBER LESER,

Plastik – damit verbinden viele Menschen „billig“, „Massenware“ oder „von kurzer Lebensdauer“. Beim Adjektiv plastisch ändern sich die Vorstellungen: „plastische Kunst“, „plastische Schilderung“ – da klingt Bewunderung mit für Kunstobjekte oder Erzählungen, die starke Bilder im Kopf formen.

Für nichts anderes steht das Wörtchen plastisch: Formbarkeit, die beinahe unendliche Vielfalt ermöglicht. Wir zeigen zwei Beispiele dafür, wie Plastik Probleme lösen hilft, die sonst nur schwer zu lösen wären. Chemiker und Ingenieure haben es zu Hochleistungskunststoff trainiert. Hier geht es nicht um Massenware, sondern um Hightechwerkstoffe.

Erstes Beispiel: Elektromobilität. Viele E-Fahrzeuge haben zu geringe Reichweiten und ein zu hohes Gewicht. Eine Projektgruppe um die TU München hat nun bewiesen, dass sich in einem Elektroauto selbst hoch beanspruchte Teile wie Getriebezahnräder aus Kunststoff einsetzen lassen. Das verringert nicht nur Geräusche, sondern spart Gewicht und erhöht somit die Reichweite. Und die Forscher tüfteln schon an den nächsten Bauteilen, die sich durch Kunststoff ersetzen lassen.

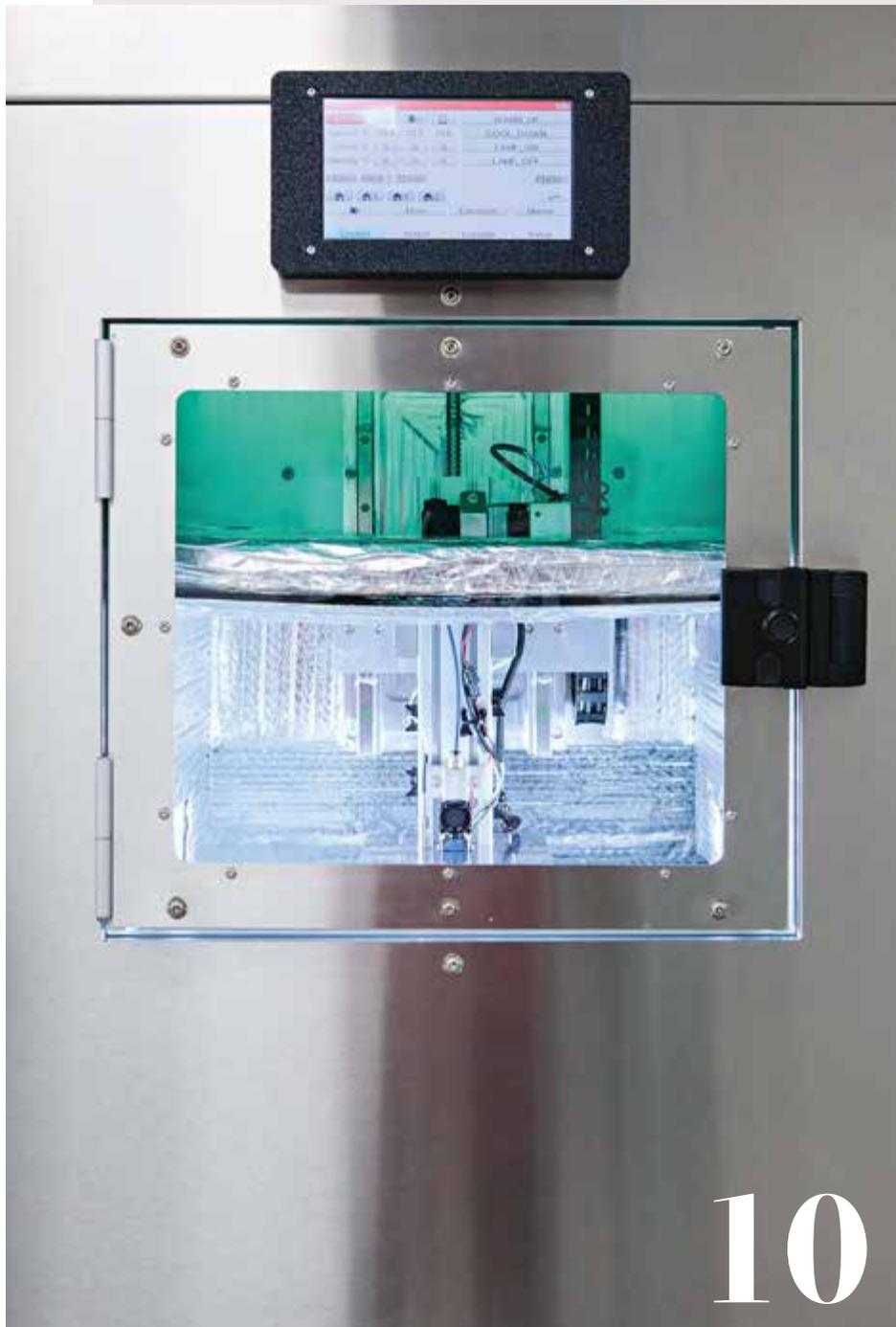
Das zweite Beispiel führt in den menschlichen Körper. Ärzte und Behörden schauen in der Medizintechnik genau hin, ob ein Produkt leistet, was sein Hersteller verspricht – und ob es sicher ist; schließlich geht es um Menschenleben. Eine Art amerikanischer Daniel Düsentrieb hat mit einem Hochleistungskunststoff von Evonik diese Hürden genommen. Seine innovativen Wirbelsäulenimplantate bringen Patienten große Vorteile. Der Clou: Sie lassen sich per 3D-Druck anfertigen.

Plastisch vorstellen kann man sich leider auch ein weiteres Thema in diesem Heft: Haie werden weltweit gejagt – wegen ihres Fleisches, aber auch wegen wertvoller Substanzen wie Squalen in ihrer Leber. Evonik hat einen Prozess entwickelt, den für bestimmte Arzneimittel wichtigen Stoff aus Pflanzen herzustellen. Ein kleiner Beitrag zum Erhalt der Artenvielfalt in unseren Meeren – auch mal ganz ohne Plastik.

Ich wünsche Ihnen viel Lesevergnügen und neue Einblicke. Wenn Sie Fragen, Anregungen oder auch Kritik haben, schreiben Sie mir gern: [elements@evonik.com](mailto:elements@evonik.com)

**Jörg Wagner**  
Chefredakteur

Sämtliche Artikel aus dem gedruckten Magazin sowie weitere aktuelle Inhalte finden Sie im Internet unter [elements.evonik.de](http://elements.evonik.de)



Drucken statt fräsen: Beim Medizintechnikunternehmen Curiteva im US-Bundesstaat Alabama entstehen auf 3D-Druckern wie diesem Implantate, die Patienten mit Erkrankungen der Wirbelsäule das Leben erleichtern.

## HOCHLEISTUNGSKUNSTSTOFFE

### 10 Den Rücken gestärkt

PEEK I: In der Medizintechnik ist Polyetheretherketon ein beliebter Kunststoff. Für den 3D-Druck war er bislang jedoch kaum geeignet. Jetzt hat ein Erfinder und Unternehmer aus den USA mit Evonik ein Verfahren entwickelt, mit dem sich hochfeste Wirbelsäulenimplantate aus PEEK drucken lassen.

SCHAUBILD

### 18 Von Kopf bis Fuß

Wo Mediziner bei Operationen auf Hochleistungskunststoffe setzen

INTERVIEW

### 20 „Da gibt es keinen Widerspruch“

Kunststoffe ermöglichen umweltfreundliche Lösungen, bergen aber auch Gefahren. Nachhaltigkeitsexperte Ralf Düssel über Wege zu einer zirkulären Kreislaufwirtschaft

### 24 Das Rad, neu erfunden

PEEK II: Kunststoffbauteile machen E-Mobile leichter. Gemeinsam mit der TU München und dem Automobilzulieferer Werner Bauser entwickelt Evonik nun Kunststoffzahnräder für Getriebe sogenannter Microcars.

ESSAY

### 32 „Abschottung gefährdet unsere Zukunft“

Wissenschaft und Innovation erfordern internationalen Austausch und Kooperation, schreibt der stellvertretende Vorstandschef von Evonik, Harald Schwager.

Rima Jaber will ein aus dem Öl der Pflanze Amaranth gewonnenes Produkt als nachhaltigen Ersatzstoff für Squalen etablieren.



**BIODIVERSITÄT**

**42 Land schlägt Meer**

Die Leber von Haien liefert Squalen, einen wertvollen Inhaltsstoff für Kosmetik und Medizin. Mit einer pflanzlichen Alternative trägt Evonik zum Schutz der Knorpelfische bei.

INTERVIEW

**48 „Unternehmen sind Teil der Lösung“**

Die Biodiversitäts- und Klimaforscherin Katrin Böhning-Gaese über die Rolle der Wirtschaft beim Kampf für einen effektiveren Schutz von Ökosystemen

DATA MINING

**51 Wertvolle Vielfalt**

Was es kostet, bedrohte Arten zu retten

6 PERSPEKTIVEN  
Neues aus Wissenschaft und Forschung

34 EVONIK-LAND  
**Polen**  
Traditionelle Werte und Expertise machen das Land zu einem wichtigen Partner in Osteuropa.

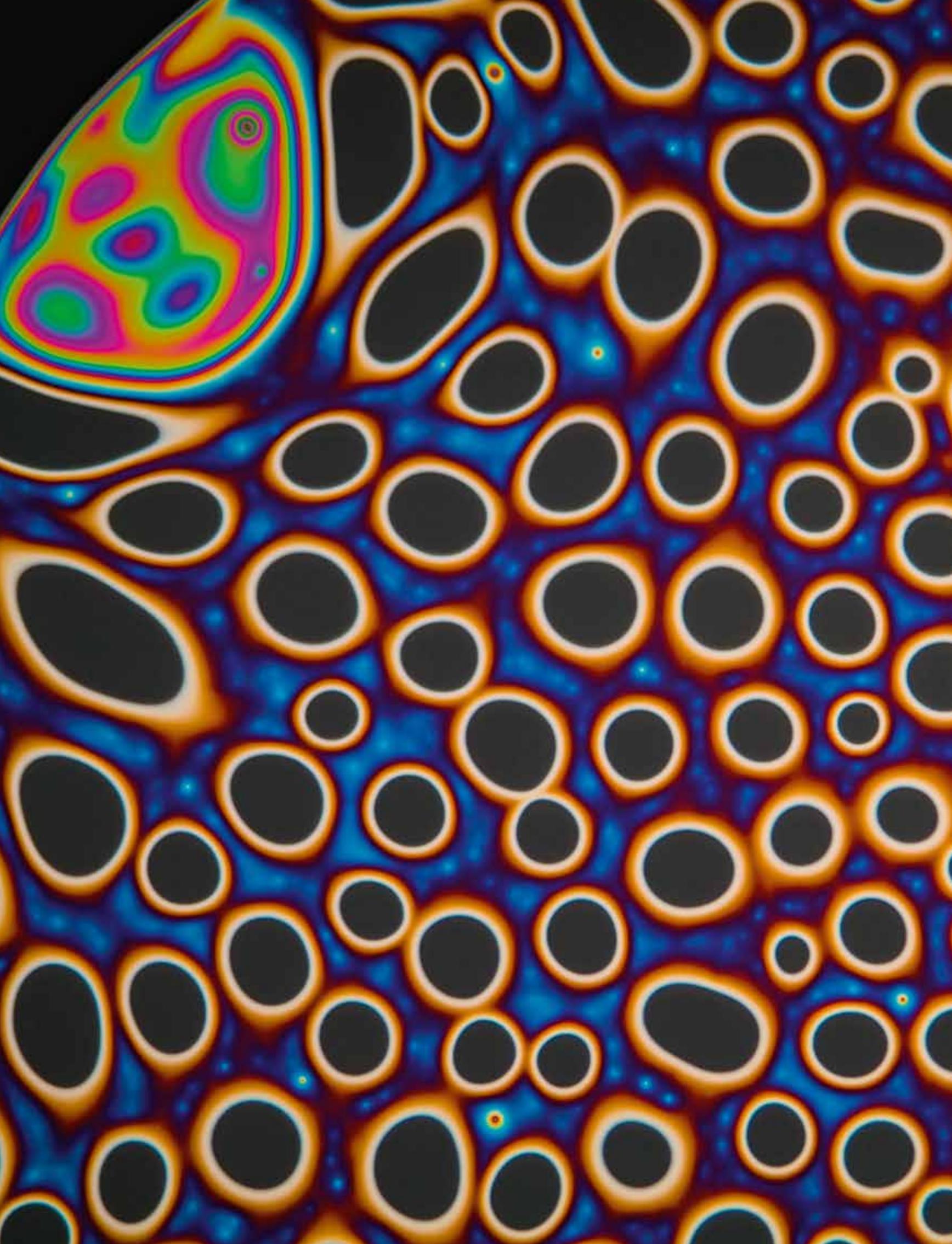
52 FORESIGHT  
**Außer Betrieb**  
Dank Epigenetik könnten unerwünschte Gene künftig einfach ausgeschaltet werden.

54 IN MEINEM ELEMENT  
**Schwefel**  
Patricia Nadeau erforscht auf Hawaii die Inhaltsstoffe von Vulkangasen.

55 IMPRESSUM



Der Test-Twizy fährt dank der Kooperation von Evonik, der TU München und dem Automobilzulieferer Werner Bauser mit Kunststoff im Getriebe.



Auf dem Nachhaltigkeitsgipfel 2015 haben die Vereinten Nationen 17 Ziele definiert, die sogenannten Sustainable Development Goals (SDG). Auch Evonik leistet vielfältige Beiträge, um eine nachhaltige Entwicklung zu unterstützen. Wir stellen sie an dieser Stelle vor.



Der Zugang zu **WASSER UND SANITÄR-EINRICHTUNGEN** ist ein Menschenrecht, das für Milliarden Menschen noch nicht verwirklicht ist. Evonik engagiert sich für den verantwortungsvollen Umgang mit Wasser – zum Beispiel durch die Entwicklung von **BIOTENSIDEN**.

Tenside ermöglichen die Reinigungswirkung von Waschmitteln, Duschgels, Shampoos und Spülmitteln. Evonik hat Biotenside entwickelt, die besonders umwelt- und hautverträglich sind – und das bei voller Reinigungsleistung. Diese sogenannten Rhamnolipide werden in Slovenská Ľupča (Slowakei) produziert. Im Mai wird dort eine neue Anlage eingeweiht, die erstmals Rhamnolipide im Industriemaßstab herstellt.

*Der Düsseldorfer Fotograf Gerd Günther fängt das Farbenspiel von Seifenhäuten, das sich aus der unterschiedlichen Schichtdicke ergibt, mit 40- bis 100-facher Vergrößerung unter dem Mikroskop ein.*

# Sicher dank Plastiktüten

Abgelegte Taschen liefern Reagenzien für chemische Reaktionen in der Industrie und eröffnen neue Wege für die Kreislaufwirtschaft.

Wissenschaftler in Japan haben ein neues Verfahren entwickelt, das gewöhnliche Plastiktüten in einen wertvollen Rohstoff verwandelt. Dafür zerkleinerte ein Team um Koji Kubota, Associate Professor am Institute for Chemical Reaction Design and Discovery (ICReDD) der Universität Hokkaido, Plastikfetzen aus Polyethylen oder Polyvinylacetat in einer Kugelmühle. In diesem Apparat schlägt eine Stahlkugel immer wieder gegen die Kunststoffpartikel. Die auf die Polymere wirkende mechanische Kraft war dabei so groß, dass sich Radikale bildeten – hochreaktive Moleküle, die eine sich selbst erhaltende Kettenreaktion auslösen können. Kubota und Team setzten

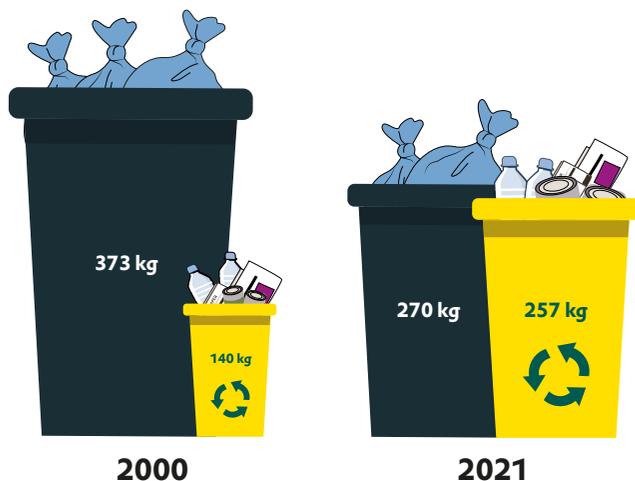


Polyethylen als chemische Reagenz für eine Radikalreaktion ein – mit Erfolg: Es gelang ihnen, mehrere Halogenatome aus einer Verbindung zu entfernen, die normalerweise als Flammschutzmittel verwendet wird. Bisher wurden in der Industrie dafür potenziell explosive Verbindungen genutzt, die chemische Prozesse dieser Art teils gefährlich machen. Die Kosten sowie Sicherheitsvorteile stimmen die Forscher zuversichtlich, dass sich das Verfahren im industriellen Umfeld bewähren könnte. Hinzu kommt ein positiver Umweltaspekt: Die ungewöhnliche Anschlussnutzung der Tüten eröffnet neue Wege für das Recycling von Plastik und eine erfolgreichere Kreislaufwirtschaft.

BESSER IST DAS

## Weniger ist mehr

Deponierte und recycelte Siedlungsabfälle in der EU pro Kopf



Jeder EU-Bürger produziert jährlich mehr als eine halbe Tonne Müll. Im Jahr 2000 wurden davon gerade einmal 27 Prozent wiederverwertet, der Rest wanderte auf die Deponie oder wurde verbrannt. 2021 fielen pro Kopf zwar 14 Kilo mehr Siedlungsabfälle an, dafür wurde jedoch fast die Hälfte des Mülls recycelt. Dies gelingt unter anderem durch werkstoffliche Verwertung, bei der etwa Kunststoffe zu Granulat verarbeitet und so für eine neue Nutzung aufbereitet werden, oder durch biologisches Recycling, zum Beispiel Kompostierung.

Quelle: Eurostat

# 20.000

## LICHTIMPULSE PRO SEKUNDE

sind nötig, um schnelle Elektronenbewegungen zu erfassen. Mit einem Laser schoss ein schwedisch-deutsches Forscherteam kürzlich attosekundenschnelle Lichtimpulse (eine Attosekunde ist ein Milliardstel einer Milliardstelsekunde) auf eine Kristalloberfläche, wodurch sich Elektronen untersuchen ließen. Die Erkenntnisse könnten dabei helfen, leistungsfähigere Energiespeicher herzustellen.

## PHOTOSÄUREN ...

... sind alkalische Moleküle, die unter Lichteinfluss sauer werden. Diesen Effekt nutzten Forscher der ETH Zürich, um der Atmosphäre effizient Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) zu entziehen. Hierfür leiteten sie Luft im Dunkeln durch eine photosäurehaltige, alkalische Flüssigkeit. Das  $\text{CO}_2$  aus der Umgebungsluft reagierte darin zu Salzen der Kohlensäure. Hatten sie sich angereichert, wurde die Flüssigkeit belichtet und dadurch sauer. Die Salze reagierten wieder zu  $\text{CO}_2$ , das aus der Lösung sprudelte und sich leicht abtrennen ließ. Der Prozess ist reversibel, muss bis zum technischen Einsatz aber noch optimiert werden.

## MENSCH &amp; VISION

## »Unser Klebstoff ist wasserbasiert, reversibel und haftet selbst an schwierigen Oberflächen«

### DER MENSCH

Dr. Mark Geoghegan ist Professor für technische Werkstoffe an der Universität Newcastle in Großbritannien. „Meine Motivation war es nie, Wissenschaftler zu sein. Ich wollte herausfinden, wie Dinge funktionieren“, sagt der Physiker. Mit ihrer „Kultur der Neugier“, wie er es nennt, war die Uni Cambridge perfekt, um sein Promotionsprojekt in Polymerphysik umzusetzen. Darauf folgten Postdocstellen unter anderem in Bayreuth, wo er auf die Idee kam, die reversible Adhäsion zu erforschen, die heute sein beruflicher Schwerpunkt ist.

### DIE VISION

2022 hielt der Physiker ein fertiges Produkt in seinen Händen – 15 Jahre nach dem ersten Konzept: „Unser Klebstoff ist wasserbasiert, reversibel und haftet an schwierigen Oberflächen.“ Der Trick ist elektrostatische Adhäsion: Wird eine mit dem positiv geladenen Kleber behandelte Oberfläche mit einer negativ geladenen verbunden, haften sie aneinander. Erst wenn sich der pH-Wert ändert, etwa durch Zugabe von Zitronensaft, löst sich die Verbindung. Das hilft beim Recycling, wo sich etwa Polypropylenetiketten dank des Klebers leicht von PET-Flaschen lösen.



## Sonne auf Holz

Mithilfe von Kraftlignin könnten organische Solarzellen künftig ohne erdölbasierte Materialien hergestellt werden.

Schwedische Forscher haben einen neuen Verbundwerkstoff für besonders umweltfreundliche Solarzellen entwickelt. Herkömmliche Solarzellen aus Silizium sind zwar effizient, ihre Herstellung ist jedoch energieaufwendig und kompliziert. Forscher der Universität Linköping und der Königlichen Technischen Hochschule in Stockholm haben nun eine organische Solarzelle entwickelt, bei der ein Teil der Elektronentransportschicht aus einem nachwachsenden Rohstoff besteht.

Das sogenannte Kraftlignin wird während der Papierherstellung direkt aus Holz gewonnen. Der neue Verbundstoff ist umweltfreundlich und macht die Solarzellen besonders stabil. Grund dafür ist seine Fähigkeit, Wasserstoffbrücken zu bilden, die auf molekularer Ebene wie eine Art Klebstoff wirken. Bislang besteht lediglich ein kleiner Teil der Solarzelle aus Lignin, doch langfristig könnte sie nahezu vollständig aus Holzmaterialien produziert werden.

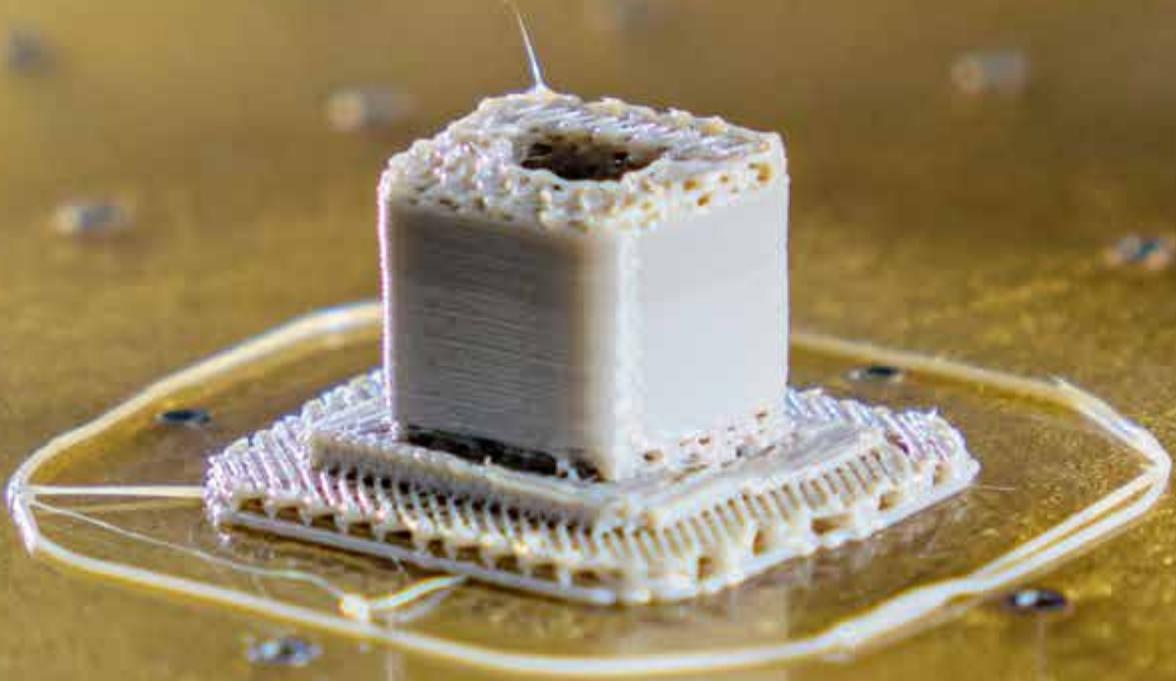
## GUTE FRAGE



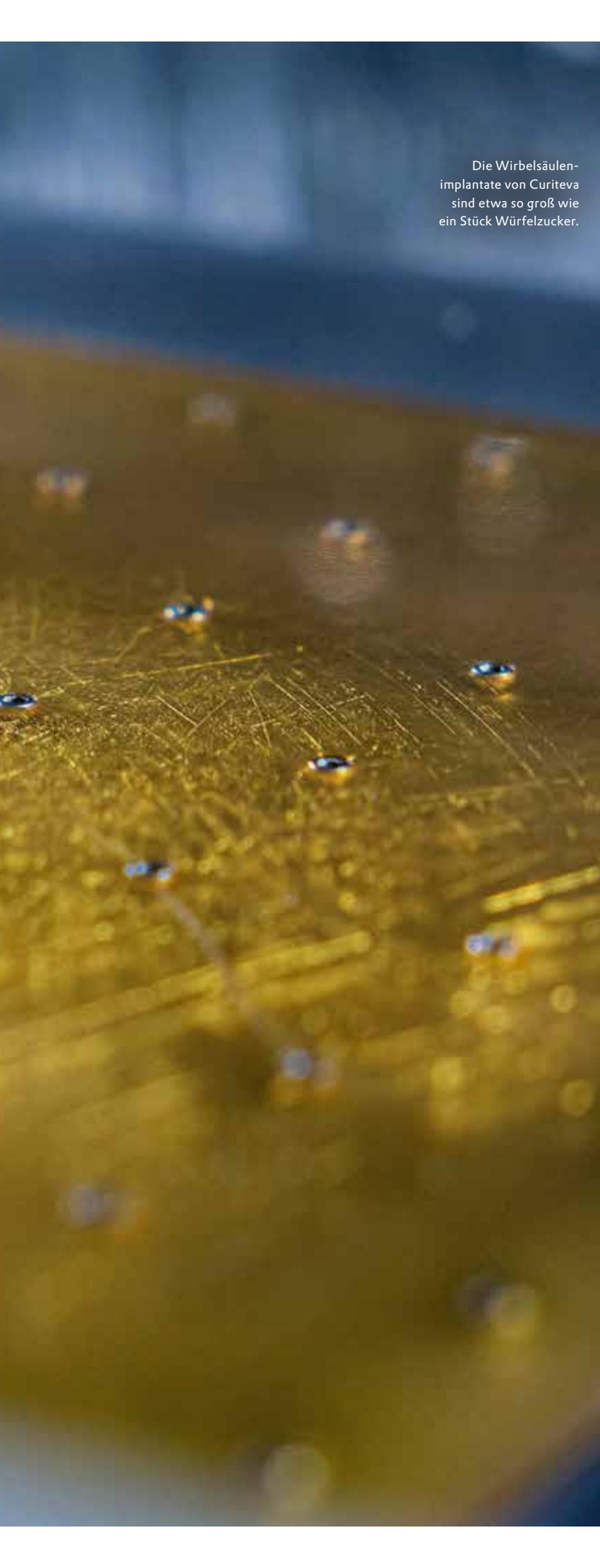
### Frau Devi, sind Kopfschmerzen nach Rotwein eine Frage der Chemie?

Wahrscheinlich ja. Rotwein verursacht bei manchen Menschen Kopfschmerzen, selbst in kleinen Mengen. Doch bisher konnte kein einzelner chemischer Inhaltsstoff als Hauptauslöser identifiziert werden. Wir haben etwa ein Dutzend in Rotwein enthaltene Verbindungen getestet, als wir auf einen Stoff aufmerksam wurden, der für die Kopfschmerzen verantwortlich sein könnte: Quercetin, das in Traubenschalen vorkommt und für seine antioxidativen Eigenschaften bekannt ist. Gelangt der Stoff in den Blutkreislauf, wandelt der Körper ihn in Quercetinglucuronid um, das den Alkoholabbau hemmt. Die Verlangsamung des Prozesses führt dazu, dass sich im Organismus Azetaldehyd ansammelt – ein Giftstoff, der häufig mit negativen Wirkungen wie Kopfschmerzen in Verbindung gebracht wird. Weitere Forschungen, einschließlich klinischer Tests, sollen diese Hypothese belegen.

*Apramita Devi ist Postdoktorandin im Fachbereich Weinbau und Önologie an der Universität von Kalifornien, Davis.*



# KNOCHEN- JOB



Die Wirbelsäulen-  
implantate von Curiteva  
sind etwa so groß wie  
ein Stück Würfelzucker.

Gemeinsam mit Evonik hat ein Erfinder und Start-up-Unternehmer aus den USA ein Verfahren entwickelt, mit dem Wirbelsäulenimplantate aus Polyetheretherketon (PEEK) im 3D-Druck erstellt werden.

TEXT **CAROLYN LAWELL**

**T**odd Reith verfügt über eine Reihe bemerkenswerter Qualifikationen: Er ist Softwareingenieur, Unternehmer, Implantate-Entwickler und Gitarrenbauer. Von Materialwissenschaften hatte der Gründer von FossiLabs in West Chester, Pennsylvania, indes wenig Ahnung, als er 2017 ein Verfahren für den 3D-Druck von Wirbelsäulenimplantaten entwickeln wollte.

Als Material hatte er Polyetheretherketon (PEEK) ins Auge gefasst: einen thermoplastischen Kunststoff, den man vor der Verarbeitung erhitzt, sodass er weich wird. Anschließend lässt man ihn abkühlen, damit er in der gewünschten Form aushärtet. PEEK besitzt hervorragende mechanische Eigenschaften und ist resistent gegen Chemikalien. Deshalb wird es gern eingesetzt, wenn es um anspruchsvolle Anwendungen geht, zum Beispiel in Motorkomponenten von Autos, Kraftstoffsystemen in der Luft- und Raumfahrt – oder bei Implantaten in der Medizintechnik.

PEEK gibt es seit über 40 Jahren. Da Materialhersteller ständig neue Rezepturen auf den Markt bringen und die Industrie das Polymer in immer neuen Anwendungen einsetzt, ist der Werkstoff auch heute noch hochmodern. Dass das Material nun gedruckt werden kann, bedeutet einen Quantensprung. Aufgrund dieser Innovation können Patienten mit Wirbelsäulenerkrankungen besser operiert werden, was ihre Lebensqualität erhöht. Zu verdanken ist dies der erfolgreichen Zusammenarbeit zwischen dem Erfinder Reith und dem Materialspezialisten Evonik. →

Todd Reith hat bereits eine Menge Erfahrungen mit verschiedenen Materialien gesammelt und eine Reihe von Wirbelsäulenimplantaten entwickelt. Dabei gelangte er zu der Überzeugung, dass 3D-gedrucktes PEEK eine bahnbrechende Innovation in der Orthopädie sein könnte. Im Keller seines Hauses gründete er das Ein-Mann-Unternehmen FossiLabs und begann damit, einen völlig neuen 3D-Drucker zu bauen. Schnell stellte er fest, dass dieses Unterfangen ohne tiefgehende Materialkenntnisse aussichtslos ist.

#### WIDERSTANDSFÄHIG UND DENNOCH FLEXIBEL

Die Materialien, die in Implantaten zum Einsatz kommen, spielen eine entscheidende Rolle für den Genesungsprozess von Patienten. Wird eine Instabilität der Wirbelsäule diagnostiziert, kann der Chirurg die Bandscheibe entfernen und durch ein Implantat ersetzen. Ziel ist eine Verbindung oder Fusion des Implantats mit dem Wirbelknochen oberhalb und unterhalb der betreffenden Stelle, um die Bewegung zu reduzieren und die Wirbelsäule zu stabilisieren. Geeignete Materialien können die Fusion zwischen Knochen und Implantat beschleunigen und die Vernarbung des Gewebes in der Umgebung verringern. Beides ist für die kurz- und langfristige Gesundheit der Wirbelsäule wichtig.



Röntgenbild der Wirbelsäule eines Patienten, dem zwischen dem sechsten und siebten Wirbel ein Implantat eingesetzt wurde

Im Orthopädiemarkt ist PEEK aus mehreren Gründen beliebt: Das Material ist strahlendurchlässig, was einen Vorteil bei Aufnahmen mit dem Röntgengerät oder dem Computertomografen bietet. Ärzte können auf den Bildern gut erkennen, wie sich das Implantat mit dem umgebenden Knochenmaterial verbunden hat – ohne dass das Implantat die Sicht verstellt. Auch Störsignale im Röntgenbild, sogenannte Artefakte, werden verhindert. Zudem entsprechen die mechanischen Eigenschaften von PEEK nahezu denen des umgebenden Knochens, was es zu einem idealen Material für die Hersteller von Implantaten macht.

Allerdings erlaubt es keine solide Fusion zwischen Knochen und Implantat. Einige Unternehmen haben daher PEEK-Implantate mit veränderter Oberfläche auf den Markt gebracht. Dabei wird der Knochenersatz im Spritzgussverfahren hergestellt oder gefräst und anschließend mit einer Beschichtung, meist aus Metall, versehen, die eine bessere Fixierung an der Wirbelsäule ermöglicht. Andere setzen auf additiv gefertigte Titanimplantate. Mit dieser Methode sind Strukturen möglich, bei denen die Knochenzellen durch das Implantat hindurch und um das Implantat herum wachsen, anstatt nur an seiner Oberfläche zu haften.

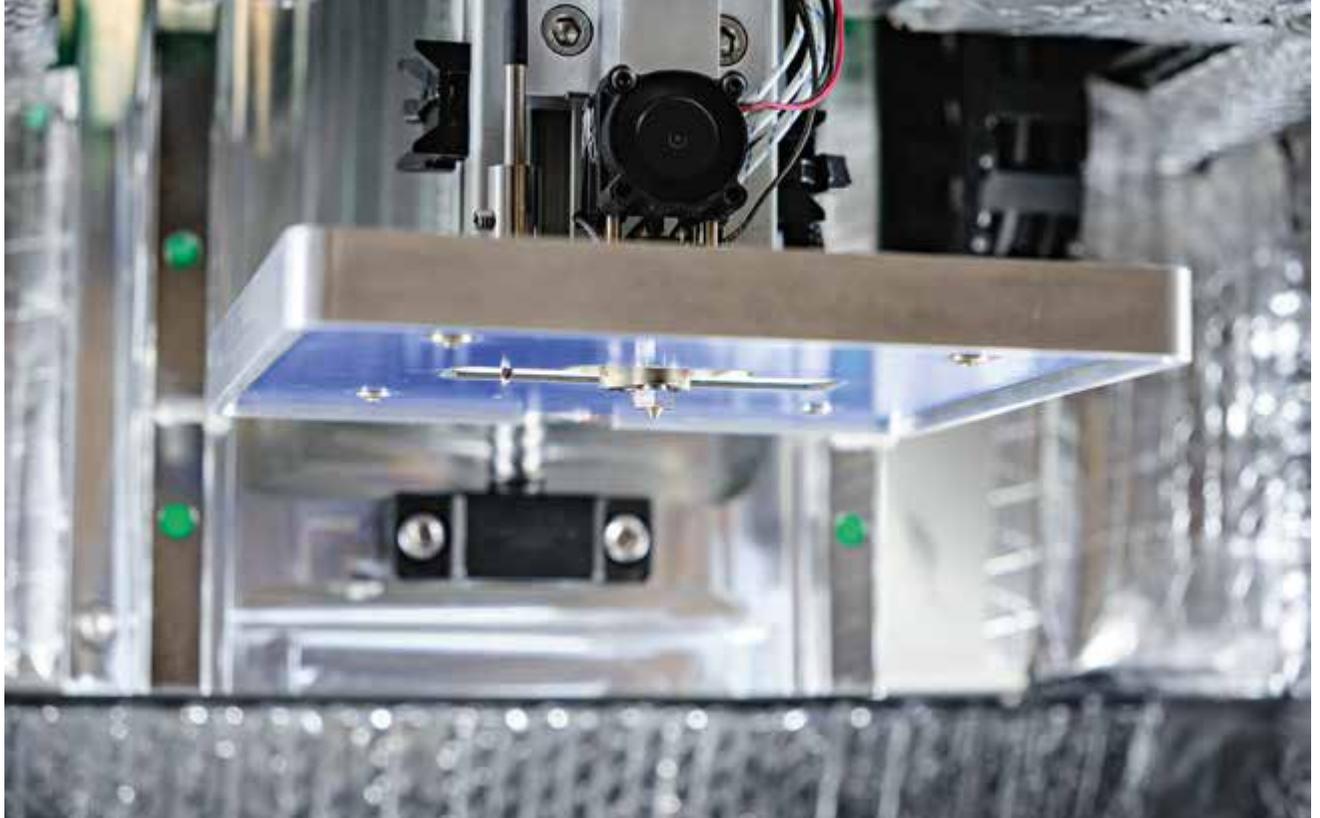
Reith war überzeugt, dass die Kombination der besten Eigenschaften von PEEK und 3D-Druck zu einer überlegenen Technologie führt. Sein Ziel war ein poröses Wirbelsäulenimplantat, das dem Knochen nachempfunden ist und sich in ihn integriert. „Es ist allerdings so gut wie unmöglich, PEEK im 3D-Drucker zu verarbeiten“, sagt Reith. „Die erste Herausforderung bestand also darin herauszufinden, wie das gelingen könnte.“

Ihm war klar, dass er das Ziel ohne die Hilfe eines Materialherstellers nicht erreichen kann. Zu dieser Zeit entwickelte das Geschäftsgebiet High Performance Polymers von Evonik gerade ein PEEK-Filament in einer Qualität, die sich für Implantate eignet (implant grade) – ein Glücksfall für Reith. Er präsentierte dem Unternehmen seine Arbeit im heimischen Labor, und eine Woche später entschied Evonik, das Projekt zu unterstützen.

Die Zusammenarbeit zwischen David und Goliath läuft mittlerweile seit über fünf Jahren. Statt gegeneinander zu kämpfen, ziehen sie an einem Strang, um Innovationen auf dem orthopädischen Markt voranzutreiben.

#### DAS NÄCHSTE GROSSE DING

PEEK gehört bereits seit beinahe zwei Jahrzehnten zum Produktportfolio von Evonik. 2006 führte das Unternehmen das Material unter dem Namen Vestakeep ein. Es wird unter anderem eingesetzt bei Komponenten in der Halbleiterindustrie, im Maschinenbau oder für Lebensmittel- und Trinkwasseranwendungen. Das Implant-Grade-PEEK von Evonik wurde erstmals 2013 in einem Wirbelsäulenimplantat verarbeitet.



Auf FSD-Druckern entstehen die Curiteva-Implantate. Im Gerät sorgt ein Heizreflektor dafür, dass das Produkt die gewünschten Materialeigenschaften aufweist.

Als bekannt wurde, dass erste Anwender PEEK als 3D-Druckmaterial verwenden, war das Forschungs- und Entwicklungsteam Medizintechnik von Evonik sofort davon überzeugt, dass diese Anwendung die Orthopädie revolutionieren könnte: einen Markt, auf dem den Analysten von Orthoworld zufolge im vergangenen Jahr weltweit 59 Milliarden US-\$ Umsatz erzielt wurde.

Evonik blickt auf eine lange Geschichte in der Entwicklung von Materialien zurück, die im 3D-Druck eingesetzt werden können. Eine Kombination von 3D-Druck mit PEEK, so die Vision der Entwickler, sollte die Anforderungen von Chirurgen erfüllen und zugleich die Ergebnisse für Patienten verbessern. Das Spektrum an Möglichkeiten für den 3D-Druck mit PEEK ist breit, unter anderem für patientenspezifische Implantate und standardisierte Endoprothesen für Kopf, Gesicht, Wirbelsäule oder für Trauma-Anwendungen.

Sogar eine Fertigung im Krankenhaus ist möglich: OP-Teams könnten anatomische Modelle und Implantate bedarfsgerecht entwerfen und drucken. Außerdem fragten Chirurgen und Medizintechnikunternehmen nach Implantaten mit porösen Strukturen. „Wir erkannten, dass dies das nächste große Ding auf dem Markt sein könnte“, sagt Marc Knebel, Global Segment Head of Medical Devices and Systems und Head of Vestakeep Europe bei Evonik.

Das globale Forscherteam war überzeugt, dass Evonik Marktführer in diesem Bereich werden könnte, und begann damit, ein Verfahren für die Herstellung eines →



» Es ist so gut wie unmöglich, PEEK im 3D-Drucker zu verarbeiten.«

TODD REITH, ERFINDER UND LEITER NEUE TECHNOLOGIEN BEI CURITEVA

3D-druckfähigen Filaments aus Vestakeep-Granulat zu entwickeln. „Das Gute ist, dass wir ein Material verwenden, das seit mehr als zehn Jahren auf dem Markt ist und überall auf der Welt für Implantate zugelassen ist“, sagt Knebel. Die technische Herausforderung bestand darin, ein Filament herzustellen, das sehr enge Toleranzen aufweist und zugleich die Anforderungen für Anwendungen als medizinisches Implantat erfüllt.

Jeder Chirurg wird von Curiteva mit einem Satz Instrumente und Zubehör für die Operation ausgestattet.

Evonik wollte ein Material speziell für die Fused Filament Fabrication (FFF) entwickeln. Bei dieser Form der 3D-Drucktechnologie entsteht das gewünschte Teil

Schicht für Schicht. Die Wissenschaftler konzentrierten sich bei ihrer Arbeit auf die Viskosität des Materials, also den Fließwiderstand, und seine Kristallisation, die Aushärtung.

Ein Vorteil von PEEK ist seine hohe Temperaturbeständigkeit. Gleichzeitig erschwert diese Eigenschaft die Verarbeitung: Die meisten am Markt verfügbaren 3D-Drucker arbeiten mit Standardpolymeren in einem Temperaturbereich um 200 Grad Celsius. Zum Verflüssigen des teilkristallinen PEEK sind bis zu 400 Grad Celsius nötig. Zugleich kann das Material schwinden, wenn es aushärtet und kristallisiert. Die Experten von Evonik setzten auch hier enge Toleranzen, die bei Implantaten für den menschlichen Körper unbedingt einzuhalten sind.

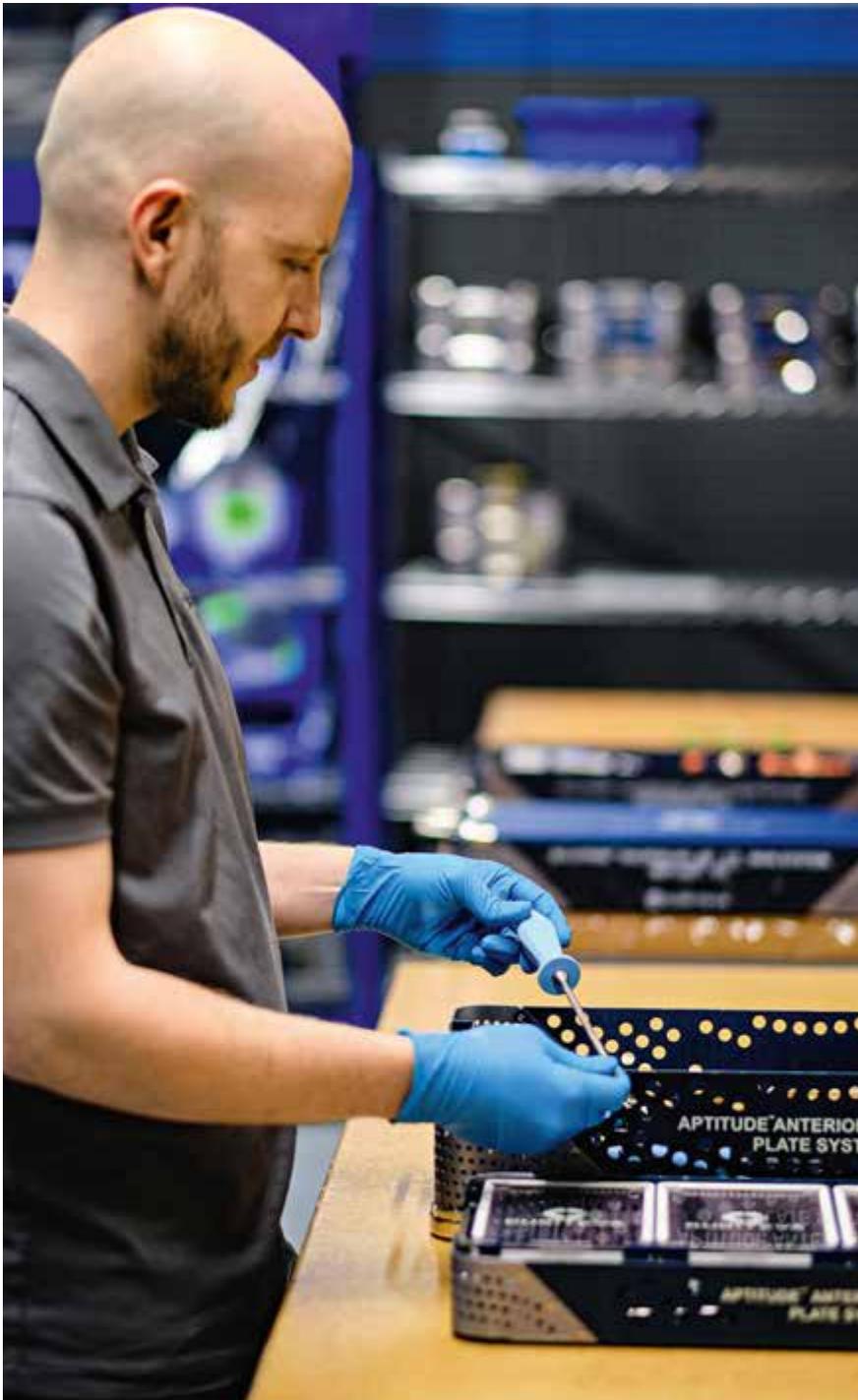
Die Entwicklung des neuen Vestakeep i4 3DF war ein iterativer Prozess, bei dem die Stabilität des Materials und die Druckfähigkeit vorsichtig ausbalanciert werden mussten. Während des Entwicklungsprozesses schickte Evonik das Filament an Druckerhersteller weltweit und bat um Verbesserungsvorschläge. Dabei haben die Entwickler Produzenten identifiziert, die in der Lage sind, besonders hochwertige Teile mittels 3D-Druck herzustellen. Einer davon war Todd Reith.

#### TEMPERATURANPASSUNGEN

Als Evonik-Mitarbeiter Ende 2018 zur Laborbesichtigung bei Reith waren, stand dort ein 3D-Drucker, den er selbst gebaut hatte. Reith bat um ein Filament, das die Anforderungen der US-Regulierungsbehörden erfüllte und es ihm ermöglichte, die Materialchemie zu verstehen. Evonik willigte ein. Während Reith fortan versuchte, ein hochpräzises und reproduzierbares 3D-Druckverfahren zu entwickeln, stand er in engem Kontakt mit dem Evonik-Team in den USA. „Todd konnte eine Änderung gleich am nächsten Tag umsetzen, wenn es ihm sinnvoll erschien. Bei uns als Großunternehmen geht das nicht so schnell“, sagt Knebel. „Doch unser Management hat uns die Freiheit gegeben, wie ein Schnellboot zu agieren – so wie es Start-ups erwarten.“

Der Austausch zwischen Reith und Evonik dauerte drei Jahre. Der Erfinder druckte Teile, schickte sie an Evonik und stellte Fragen, um Hindernisse, vor allem bei der Kristallinität, zu überwinden. Dann sah sich Dr. Suneel Bandi, der technische Leiter von Evonik, die Teile an, ging die Fragen durch und empfahl Temperaturanpassungen.

„Ich habe mich vor allem an der Optik orientiert, wodurch ich die kleinsten Feinheiten der Materialeigenschaften erkennen konnte“, erzählt Reith. Wenn es bernsteinfarben aus der Düse kam, wusste er, dass Temperatur, Viskosität und Fließgeschwindigkeit stimmten. Dann beobachtete er die erste Schicht des Filaments, um festzustellen, wie schnell es in einen undurchsich-



tigen, teilkristallinen Zustand übergeht. Durch die Regelung der Temperatur konnte Reith schließlich den amorphen Zustand des Materials steuern. Das Feedback von Evonik trug entscheidend dazu bei, sein Verfahren zu perfektionieren. Die Partner setzten ihre Zusammenarbeit auch fort, nachdem Reith FossiLabs 2020 an Curiteva, einen Hersteller von Wirbelsäulenimplantaten in Huntsville, Alabama, verkauft hatte.

#### TESTS ÜBER WEIHNACHTEN

Nach der Übernahme wurde Reith zum Erfinder und Leiter neuer Technologien bei Curiteva ernannt. Das Unternehmen war an der Entwicklung neuartiger Wirbelsäulenimplantate aus dem 3D-Drucker interessiert und sicherte ihm Unterstützung bei seiner Zusammenarbeit mit dem Spezialchemiehersteller zu. „Evonik und ich bildeten eine enge Partnerschaft, denn wir waren auf dem Weg zu einem kommerziellen Produkt“, sagt Reith. „Durch die Übernahme mussten wir einen validierten Prozess entwickeln.“

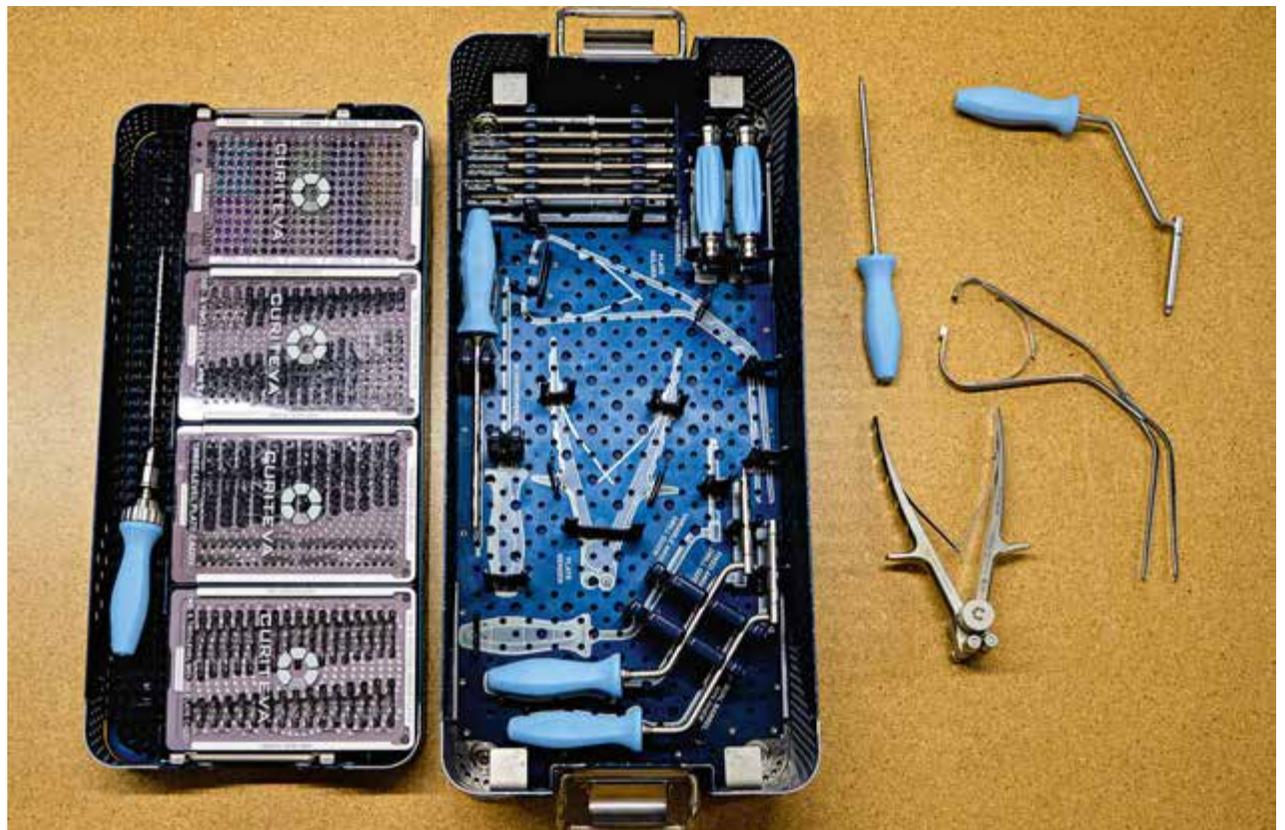
Bei dem von Reith entwickelten Fused-Strand-Deposition-Verfahren (FSD-Verfahren) wird ein Implantat gedruckt, dessen rautenförmige Poren gerade einmal 100 bis 600 Mikrometer groß sind (ein Mikrometer ist ein Tausendstel Millimeter). Diese Konstruktion →



» Wir hatten die Freiheit, wie ein Schnellboot zu agieren. «

MARC KNEBEL, GLOBAL SEGMENT  
HEAD OF MEDICAL DEVICES BEI EVONIK

Das Set besteht aus verschiedenen chirurgischen Instrumenten sowie aus Platten und Schrauben, die das Implantat in der richtigen Position stabilisieren.



ist bemerkenswert, weil damit stärkere Implantate hergestellt werden können als mit formgepresstem PEEK, so Dr. Erik Erbe, Chief Scientific Officer bei Curiteva. „Vordergründig betrachtet, könnte man denken, dass das PEEK nur anders verarbeitet wurde. Aber das ist nicht der Fall“, sagt Erbe. Studien des Unternehmens zeigen, dass die Druckfestigkeit der gedruckten Objekte um 70 bis 80 Prozent höher ist als die klassischer PEEK-Implantate. Den Markt für Wirbelsäulenimplantate könnte das Produkt grundlegend verändern. Innovation ist jedoch oft mit strengen regulatorischen Hürden konfrontiert: Evonik hat sein Implant-Grade-Filament Vestakeep i4 3DF Anfang 2022 auf den Markt gebracht. Als Curiteva die FDA-Zulassung seines Produkts bei der US-Behörde für Lebens- und Arzneimittel beantragte, konnte das Unternehmen also ein Material einreichen, das strenge Qualitätsstandards erfüllt. Die FDA verlangte jedoch einen Nachweis darüber, dass das Druckverfahren von Curiteva die Eigenschaften des Materials nicht verändert. Für die Beantwortung von Rückfragen der FDA gelten strenge Fristen. Curiteva musste innerhalb von wenigen Tagen umfangreiche chemische Analysen durchführen. Das Unternehmen lief Gefahr, die Chance auf Marktzulassung seines Produkts zu verlieren.

Als wäre das allein nicht schon stressig genug, mussten die Analysen auch noch zum denkbar ungünstigsten Zeitpunkt durchgeführt werden: über Weihnachten. Reith rief seine Ansprechpartner bei Evonik an, um sie um einen großen Gefallen zu bitten. Und wieder war man bereit, ihm zu helfen. „Normalerweise sind wir über Weihnachten alle in Urlaub“, sagt Knebel. „Wir haben einige Kollegen gebeten, zwischen den Feiertagen zu arbeiten, weil die Analysen so zeitkritisch waren.“

#### ZURÜCK INS LABOR

Reith flog von den USA nach Deutschland, um die Implantate aus dem 3D-Drucker persönlich am Standort Darmstadt vorbeizubringen. Die Analysen fanden unter Leitung von Dr. Jonas Scherble, Leiter Qualität & Regulator bei Evonik, statt. „Wir haben eine hohe Kompetenz bei Zulassungsverfahren und verfügen über unterstützende Daten. Damit können wir unseren Kunden eine gute Wissensbasis bieten“, sagt Knebel. „Letztlich ist es eine Frage des Vertrauens. Wir wollen bei unseren Kunden und den Behörden Vertrauen schaffen,



indem wir nachweisen, dass unser Material für den 3D-Druck von Implantaten geeignet ist.“

Mit den Ergebnissen der Materialanalyse von Evonik wurden die Fragen der US-Behörde zufriedenstellend beantwortet, und Curiteva erhielt die FDA-Zulassung. Dank der engen Zusammenarbeit der beiden Unternehmen konnte erstmals ein PEEK-Implantat aus dem 3D-Drucker auf den US-Markt gebracht werden.

Im April 2023 wurde bei einer Operation erstmals ein Implantat aus dem Inspire-System von Curiteva eingesetzt. Dr. Alex Vaccaro hält die Entwicklung für einen wichtigen Durchbruch: „Ich glaube, dass Strukturen die Biologie vorantreiben“, sagt der Präsident des Rothman Orthopedic Institute in Philadelphia, der als einer der ersten Chirur-

»Es geht nicht nur darum, dass PEEK anders verarbeitet wurde.«

ERIK ERBE, CHIEF SCIENTIFIC OFFICER  
BEI CURITEVA

Mit zehn Druckern produziert Curiteva derzeit Implantate. Je nach Größe dauert die Herstellung zwischen 15 Minuten und mehreren Stunden.





Curiteva wurde 2017 in Huntsville, Alabama, gegründet und hat sich auf die Entwicklung von Wirbelsäulenimplantaten spezialisiert.

gen das neue Implantat nutzt. „Die Gitterarchitektur von PEEK, die durch das 3D-Druckverfahren von Curiteva ermöglicht wird, stellt einen spannenden Fortschritt für Wirbelsäulen-, Orthopädie- und neurochirurgische Verfahren dar, die jede Art von biologischem Implantat beinhalten.“

Auch Todd Reith ist zufrieden. „Das war eine Herkulesaufgabe“, sagt der Entwickler. „Für Start-ups ist es normal, schnell und agil zu sein, aber dass in einem Unternehmen wie Evonik alle sofort einsatzbereit waren, ist beeindruckend.“ Der Entwickler lobt die Bereitschaft von Evonik, die Zusammenarbeit mit einem kleinen Start-up eingegangen zu sein. „Diese Risikobereitschaft hat sich für das große Unternehmen ausgezahlt. Nun ist es führend in diesem Bereich. Alle Wettbewerber von Evonik müssen jetzt erst einmal aufholen.“

Curiteva sieht Marktpotenzial für verschiedene Implantate, bei denen 3D-gedrucktes PEEK eingesetzt werden kann, unter anderem in Fuß und Knöchel, Hand und Handgelenk sowie Kopf und Gesicht. So könnte ein Patient, der bei einem Autounfall ein Schädeltrauma erlitten hat, ein 3D-gedrucktes PEEK-Implantat erhalten, das genau der Größe und Form seiner Fraktur entspricht.

Für Evonik geht es nun darum, mit weiteren Herstellern Produkte auf den Markt zu bringen, in denen Vestakeep 4i 3DF verwendet wird. „Die Anwendung von Curiteva stieß auf großes Interesse am Markt und war ein Türöffner für weitere Gespräche“, sagt Knebel. „Nicht alle werden das Filament sofort einsetzen, aber es hat einen

Diskussions- und Innovationsprozess in Gang gebracht.“ Im Oktober 2023 hat Evonik sein carbonfaserverstärktes PEEK-Filament für 3D-gedruckte medizinische Implantate auf den Markt gebracht – die nächste Erweiterung des Angebots. Das carbonfaserverstärkte PEEK soll für Wirbelsäulenimplantate, Traumaplatzen und patientenspezifische Anwendungen verwendet werden. Der Vorteil des Materials besteht darin, dass es die Festigkeit durch den hohen Kohlefaseranteil mit der Flexibilität seiner PEEK-Komponenten verbindet. Zudem lässt sich die Ausrichtung der Kohlenstofffasern während des Druckvorgangs festlegen.

Evonik und Curiteva planen, gemeinsam orthopädische Implantate mit dem neuen carbonfaserverstärkten PEEK-Filament zu entwickeln. „Jetzt schicken wir Todd zurück ins Labor, damit er mit der Entwicklung eines neuen Materials anfangen kann“, sagt Knebel und lacht. —

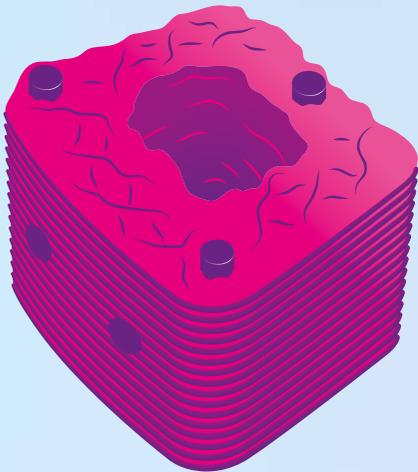


**Carolyn LaWell** ist Chief Content Officer von Orthoworld, einem Medienunternehmen in Chagrin Falls, Ohio, das auf den Orthopädiemarkt spezialisiert ist.

# Von Kopf bis Fuß

Für viele medizinische Verwendungen sind Hochleistungskunststoffe oder biosynthetische Materialien unverzichtbar. Sie lassen sich in eine Vielzahl von Formen bringen, sind je nach Einsatzzweck robust oder bioabbaubar und vertragen sich mit dem menschlichen Organismus. Ein Überblick der Einsatzmöglichkeiten bei Medizinprodukten

INFOGRAFIK **MAXIMILIAN NERTINGER**



## WIRBELSÄULENIMPLANTAT

Muss bei einem Patienten die Bandscheibe entfernt werden, werden die beiden angrenzenden Wirbelkörper durch ein Implantat versteift. Mittels 3D-Drucker lassen sich neuerdings Implantate aus Vestakeep PEEK herstellen, deren poröse Struktur die Fusion mit den umliegenden Knochen beschleunigt.



**Material: Polyetheretherketon (PEEK)**



**Haltbarkeit: dauerhaft**



**Verarbeitung: 3D-Druck, Spritzguss**

## WUNDAUFLAGE

Bei Verbrennungen kommt Biocellic+ zum Einsatz. Die Auflage besteht aus biosynthetischer Zellulose, die durch Fermentation hergestellt wird. Auf verletzten Hautpartien kühlt sie und reduziert den Schmerz. Biocellic+ nimmt Wundflüssigkeit auf und kann bei Bedarf mit Wirkstoffen versehen werden.



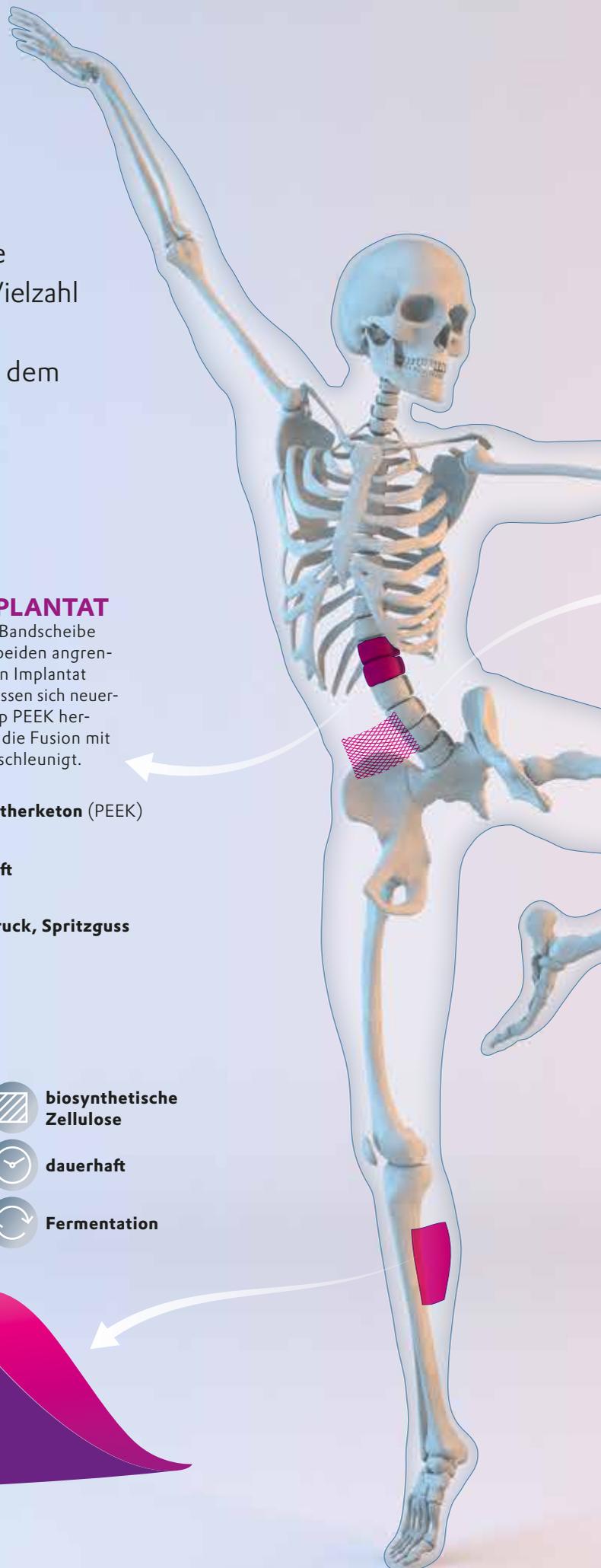
**biosynthetische Zellulose**

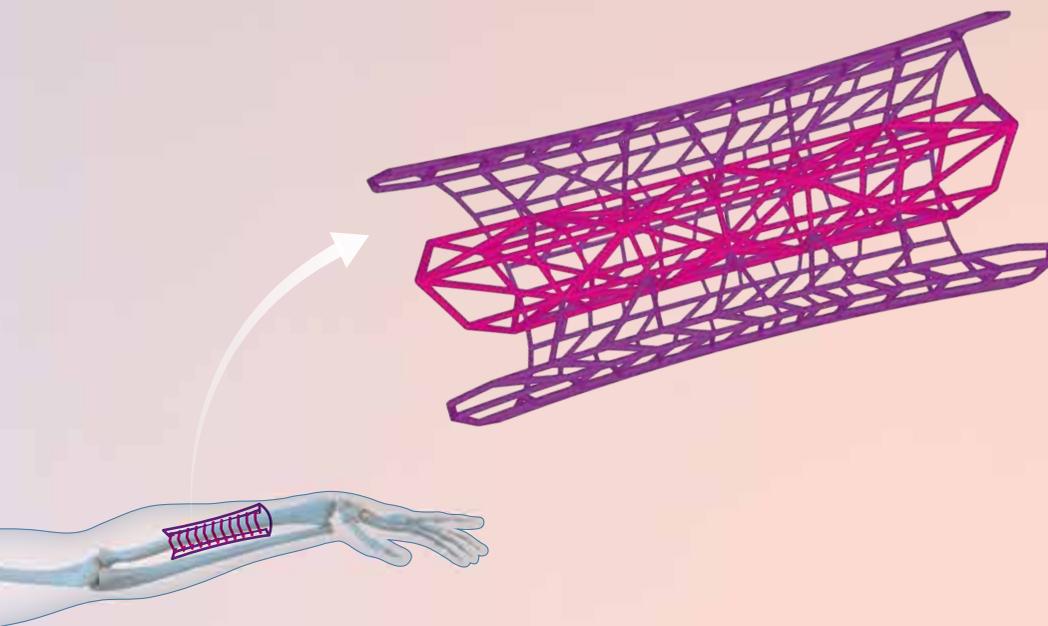


**dauerhaft**



**Fermentation**





## TRANSPLANTATKÄFIG

Bioresorbierbare Polymere wie Resomer eignen sich zum Beispiel für die Verwendung in sogenannten Transplantatkäfigen etwa bei Frakturen. Diese Käfige halten Knochen- oder Ersatzmaterial während der Heilung an der gewünschten Stelle und ermöglichen die Wiederherstellung des Knochens.

 **Polymer** (z. B. auf Basis von Polycaprolacton, PCL)

 **bioresorbierbar** (Monate bis Jahre)

 **3D-Druck, Spritzguss**

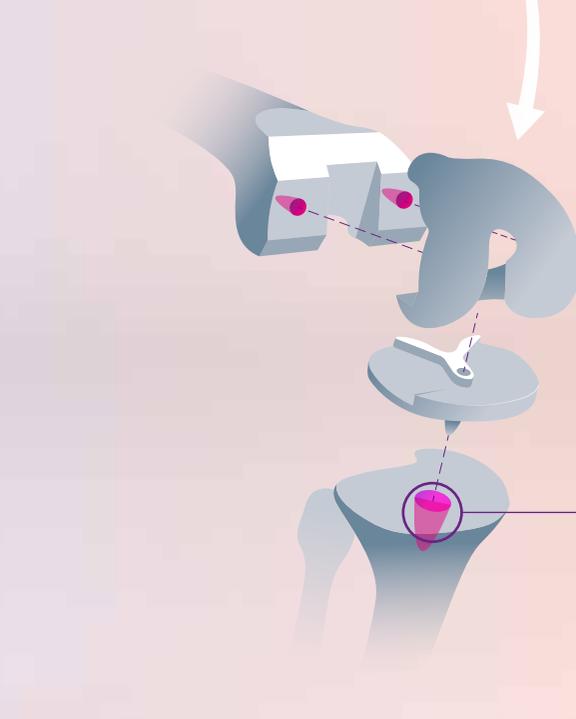
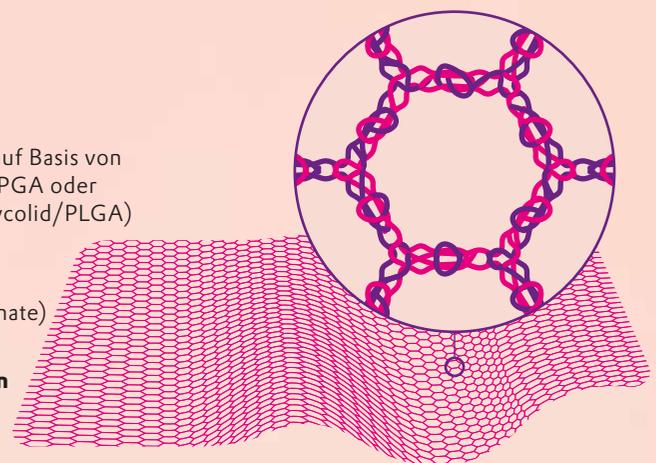
**MEDIZINISCHE TEXTILIEN**  
Ein chirurgisches Netz ist ein Implantat aus lockerem Gewebe, das in der Chirurgie als dauerhafte oder vorübergehende strukturelle Stütze für Organe oder Gewebe verwendet wird, zum Beispiel bei Hernien-Operationen. Evonik liefert Kunststoffe für die Herstellung solcher Netze.



 **Polymere** (z. B. auf Basis von Polyglycolsäure/PGA oder Polylactid-co-Glycolid/PLGA)

 **dauerhaft oder bioresorbierbar** (Wochen bis Monate)

 **Spinnen, Wirken**



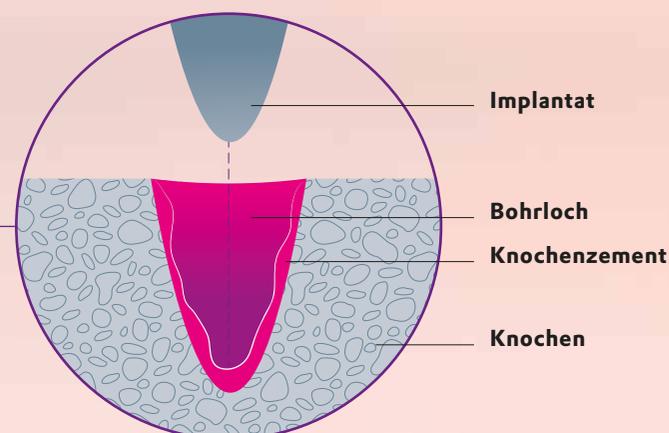
## KNOCHENZEMENT

Knochenzement füllt den Raum zwischen Knochen und Endoprothese aus und sorgt für eine sichere Verankerung. Darüber hinaus bildet er eine elastische Zone, die die Belastung des Implantats an der Schnittstelle zum Knochen reduziert. Für diese Aufgabe besonders gut geeignet ist das Material Degacryl.

 **Polymethylmethacrylat** (PMMA)

 **dauerhaft**

 **Formulierung**



# »Kunststoffe helfen dabei, CO<sub>2</sub> einzusparen und Ressourcen zu schonen«

Sie stecken Schläge und hohe Temperaturen weg, sind leicht und lassen sich in alle möglichen Formen bringen: Hochleistungskunststoffe spielen in vielen Produkten eine wichtige Rolle. Dr. Ralf Düssel, Head of Sustainability bei Evonik und Vorsitzender von Plastics Europe Deutschland, über die Vorzüge des Materials – und darüber, wie man es künftig noch konsequenter wiederverwerten kann

INTERVIEW **BERND KALTWASSER & CHRISTIAN BAULIG**

## **Herr Düssel, bei Kunststoff denken viele heutzutage an Mikroplastik in Lebensmitteln oder den Müllstrudel im Pazifik. Sie sehen in Kunststoff vor allem einen nachhaltigen Werkstoff. Warum?**

Die meisten Menschen haben kein Problem mit Kunststoffen an sich. Sorge bereitet ihnen jedoch der unachtsame Umgang damit, insbesondere bei Einwegprodukten. Wir brauchen Kunststoffe, um die großen Herausforderungen zu lösen, mit denen wir heute konfrontiert sind – sei es bei der Wärmeisolierung von Häusern, modernen Mobilitätskonzepten, der Digitalisierung oder beim Ausbau der erneuerbaren Energien. Kein Windrad dreht sich ohne Kunststoffe. Kein Zug fährt ohne Kunststoffe. Kein Mobiltelefon funktioniert ohne Kunststoffe. Kunststoffe helfen uns dabei, Produkte kleiner und robuster zu machen. Das spart in vielen Fällen CO<sub>2</sub> ein und schont Ressourcen. Im Vergleich zu Glas, Metall oder Holz wiegt Kunststoff weniger, ist einfacher zu verarbeiten und in vielen Anwendungen langlebiger.

## **Welche Rolle spielen hier Hochleistungskunststoffe?**

Sie werden überall dort eingesetzt, wo man mit Standardkunststoffen wie Polyethylen oder PET nicht weiterkommt – zum Beispiel bei der Herstellung kleiner und beweglicher Bauteile oder bei Produkten, die besonderen Umwelt- und Witterungsbedingungen oder hohen thermischen und mechanischen Belastungen ausgesetzt sind. Wir finden diese Hochleistungskunststoffe selten in Verpackungen, aber häufig in Maschinen und Elektrogeräten, in Möbeln und hochwertigen Designobjekten. Polyamid 12 wird

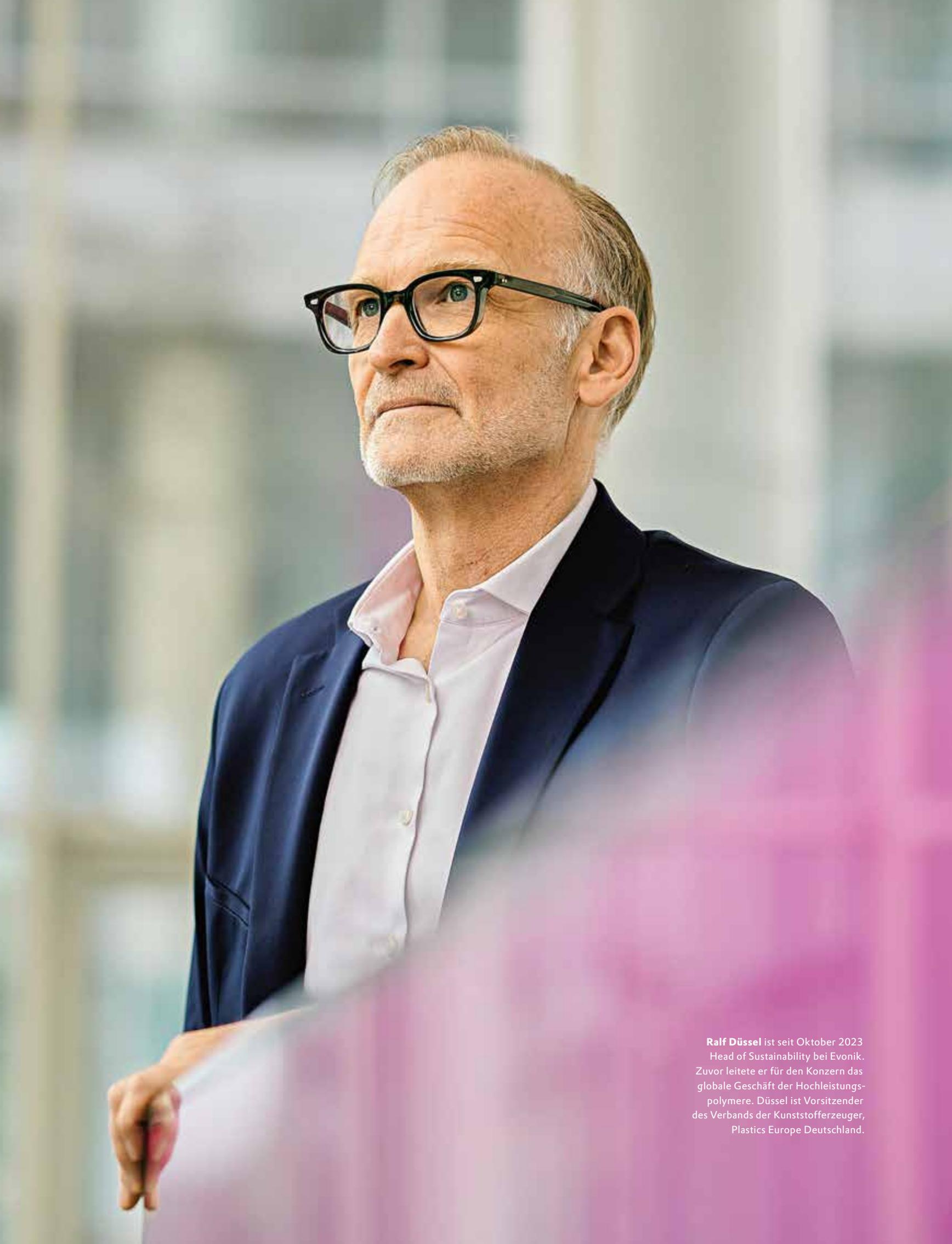
unter anderem in der Automobilproduktion und in der Fertigung von Konsumgütern eingesetzt. Mit dem 3D-Druck kommen für Pulver oder Filamente aus diesem Hochleistungspolymer ganz neue Anwendungsbereiche hinzu.

## **Was macht einen Kunststoff überhaupt zum „Hochleistungskunststoff“?**

Je spezifischer die Eigenschaften eines Materials sind, desto anspruchsvoller ist es in der Herstellung und desto kleiner ist die produzierte Menge. Während Jahr für Jahr etwa mehrere zehn Millionen Tonnen des Standardkunststoffs Polypropylen hergestellt werden, sind es nur wenige Tausend Tonnen Polyetheretherketon (PEEK). In der berühmten Kunststoffpyramide bilden die Standardkunststoffe die Basis und Hochleistungskunststoffe die Spitze. Dazwischen befinden sich die technischen Kunststoffe wie Polyethylenterephthalat, das wir aus PET-Flaschen kennen.

## **Warum sind diese Spitzenmaterialien für Forscher so interessant?**

Weil sie sich passgenau für bestimmte Anwendungen entwickeln lassen. Haben Kunden sehr spezifische Anforderungen, bieten häufig Hochleistungskunststoffe die geforderten Eigenschaften. So müssen Batterieverkleidungen für Elektrofahrzeuge besonders leicht und hitzebeständig sein. Zudem sollen sie die Batterie, etwa im Fall einer Kollision, bestmöglich vor Schäden schützen. Ein anderes Beispiel: Seit den 1970er-Jahren ist der Anteil von Kunststoffen in Flugzeugen von 4 auf rund 50 Prozent gestiegen – auch →



**Ralf Düssel** ist seit Oktober 2023 Head of Sustainability bei Evonik. Zuvor leitete er für den Konzern das globale Geschäft der Hochleistungspolymere. Düssel ist Vorsitzender des Verbands der Kunststoffhersteller, Plastics Europe Deutschland.



Ralf Düssel sieht in der Zukunft vielfältige Einsatzmöglichkeiten für Kunststoff – so wie für dieses 3D-gedruckte Bauteil (links), das in Robotergreifern zum Einsatz kommt.

deshalb verbrauchen die Maschinen heute weniger Kerosin und fliegen länger. Materialien zu entwickeln, die solch anspruchsvolle Anforderungen erfüllen, ist äußerst spannend.

**Welche Anwendung beeindruckt Sie persönlich am meisten?**

Ein wichtiges Einsatzgebiet dieser Materialien ist die Medizin. Erst im vergangenen Jahr wurden den ersten Patienten vollständig 3D-gedruckte Wirbelsäulenimplantate aus PEEK eingesetzt. In Europa gibt es die ersten Kliniken, die für Menschen, die sich bei einem Unfall schwere Kopfverletzungen zugezogen haben, individuelle Schädeldeckenimplantate selbst drucken. Oder denken Sie an Kinder, für die im 3D-Drucker

maßgeschneiderte Prothesen entstehen, die kaum etwas wiegen und ihnen wieder mehr Bewegung ermöglichen. Diese Lösungen verbessern die Situation von Patienten enorm und unterstützen unmittelbar ihre Genesung.

**Welche Rolle spielt die Kombination von Hochleistungskunststoffen mit 3D-Druck?**

Maßgeschneiderte Anwendungen werden immer wichtiger – und genau dort spielen Hochleistungskunststoffe ihre Stärke aus. Mit ihnen lassen sich sehr flexibel kleine Stückzahlen produzieren. Das bedeutet, Ersatzteile, die nicht mehr verfügbar sind, können individuell im 3D-Drucker angefertigt werden. Das wird helfen, hochwertige Produkte und Maschinen leichter und kostengünstiger zu reparieren. Das Recht auf Reparatur wird künftig immer mehr Bereiche der Industrie betreffen, und Hochleistungskunststoffe können da einen wichtigen Beitrag leisten.

**Wird es in den kommenden Jahren völlig neue Materialien geben, aus denen sich Hochleistungskunststoffe herstellen lassen?**

Für Forscher ist es bestimmt eine spannende Zeit um auf diesem Gebiet tätig zu sein. Es kommen immer wieder neue Anforderungen, die sich mal mit einem Monomaterial, mal mit einem Verbundwerkstoff lösen lassen werden.

**In den vergangenen Jahren haben wir jedoch kein völlig neues Monomer gesehen, das in industriellem Maßstab eine Rolle spielt. Woran liegt das?**

Es gibt durchaus immer wieder Ideen für neue Monomere. Auch Evonik testet regelmäßig neue Materialien. Aber die Hürden, die ein gänzlich neues Material in Bezug auf seine Skalierbarkeit nehmen muss, sind hoch. Für Kunststoffverarbeiter geben Faktoren wie spezifisches Gewicht, Preise und Verfügbarkeit sowie CO<sub>2</sub>-Fußabdruck und Kreislauffähigkeit den Ausschlag bei der Materialwahl. Viele Anforderungen lassen sich mit den heute verfügbaren Hochleistungskunststoffen oder Verbundwerkstoffen prinzipiell schon umsetzen. Wenn ein neues Monomer dann nur in einer sehr speziellen Anwendung einen entscheidenden Vorteil bringt, ist der Markt häufig zu klein, als dass es sich kommerziell durchsetzen könnte.

**Hochleistungskunststoffe sind vergleichsweise teuer. Laufen sie Gefahr, von weiterentwickelten Standardkunststoffen verdrängt zu werden?**

Bessere Additive und Fortschritte in der Verarbeitung haben die Leistungsfähigkeit von Standardkunststoffen tatsächlich verbessert. Fassen Sie zum

Beispiel heute ein Stück Kunstleder an, können Sie es kaum von echtem Leder unterscheiden. Werden besonders hohe Anforderungen an Beständigkeit und Belastbarkeit gestellt, kommt man um Hochleistungskunststoffe jedoch nicht drum herum. In vielen Anwendungen spielen thermische und elektrische Isoliereigenschaften eine große Rolle. Der Einsatz in Automobilen erfordert Crashresistenz und Radardurchlässigkeit für die Sensorik. Im Anlagenbau sind geringe Materialermüdung, Chemikalien- und Röntgenstrahlenresistenz entscheidend. Und in der Prothetik kommt es auf Biokompatibilität, Biostabilität und knochenähnliche mechanische Eigenschaften an. Das alles erfüllen nur Hochleistungskunststoffe.

#### **Wie lässt sich die Nachhaltigkeit von Kunststoffen weiter verbessern?**

Wichtig ist, den gesamten Lebenszyklus eines Produkts in den Blick zu nehmen. Das fängt beim Design an: Produkte müssen so gestaltet werden, dass sie in der Herstellung möglichst wenig Material benötigen und sich am Ende des Lebenszyklus unterschiedliche Materialien einfach voneinander trennen lassen.

#### **Das Problem der Entsorgung bleibt aber auch bei sparsamstem Produkteinsatz.**

Es ist essenziell, Kunststoffabfälle konsequent zu sammeln und diese in den Kreislauf zurückzuführen. Hochleistungskunststoffe werden jedoch oft in kleinen Margen hergestellt und in langlebigen Produkten wie Autos oder großen Maschinen verarbeitet. Es ist also nicht leicht, das Material nach Ende der Lebensdauer dieser Produkte zurückzuführen und wiederzuverwerten. Für mechanische Recycler lohnt es sich bislang selten, Hochleistungskunststoffe auszubauen und sortenrein zu sortieren. Daher landen diese Kunststoffabfälle bislang noch viel zu oft in der Verbrennung. Das müssen wir ändern!

#### **Wie könnte das gelingen?**

Es gibt mehrere Stellen, an denen man ansetzen kann. Einige Kunststoffhersteller arbeiten an Wiederverwertungssystemen. Sie bieten zum Beispiel für jedes sortenreine Kilo Material, das abgeliefert wird, einen Rabatt bei der nächsten Bestellung. Chemisches Recycling bietet eine weitere Möglichkeit: Damit ist es möglich, auch gemischte und verunreinigte Hochleistungskunststoffe in ihre chemischen Bestandteile zu zerlegen und zu neuen Rohstoffen umzuwandeln. Auch digitale Produktpässe und sogenannte Tracing-Technologien können helfen, Hochleistungskunststoffe in automatisierten Sortieranlagen KI-gesteuert zu erfassen und sortenrein zu trennen.

#### **Sind Abstriche bei der Leistungsfähigkeit nötig, damit Kunststoffe leichter recycelt werden können?**

Wenn besondere Leistungen gefragt sind, kommen heute manchmal Verbundkunststoffe zum Einsatz oder Materialien, deren Eigenschaften mit Additiven verbessert wurden. Für solche Hochleistungskunststoffe braucht es spezielle Recyclingverfahren, an denen bereits gearbeitet wird. Leistungsfähigkeit ist kein Widerspruch zu Recyclingfähigkeit. Wir müssen weiter intensiv forschen, um etwa Verbundmaterialien durch neue, sehr leistungsfähige Monokunststoffe zu ersetzen.

#### **Eignen sich Recyclate oder alternative Rohstoffe als Basis für Hochleistungskunststoffe?**

Ja. Kunststoffe, die aus chemisch recycelten Materialien hergestellt werden, haben die gleiche Qualität und Materialeigenschaften wie Neuware aus fossilen Rohstoffen. Und natürlich kann der Kohlenstoff, der für die Herstellung von Hochleistungskunststoffen benötigt wird, auch aus Biomasse und CO<sub>2</sub> gewonnen werden. Schon heute bestehen in der EU 19,5 Prozent aller neu hergestellten Kunststoffe aus zirkulären Rohstoffen, und der Anteil wird weiter zunehmen. Auch Evonik hat ein breites Portfolio an Hochleistungskunststoffen, die bereits teilweise oder vollständig auf Biomasse basieren. Wir setzen dabei auf das Massenbilanzsystem...

#### **... bei dem biobasierte Rohstoffe nicht direkt zum Einsatz kommen, aber über eine Zertifizierung sichergestellt wird, dass dem System insgesamt eine entsprechende Menge zugeführt wurde. Warum dieser Weg?**

Weil wir so auch kleine Mengen biobasierter oder recycelter Rohstoffe direkt nutzen können. Denn noch sind die verfügbaren Mengen häufig so klein, dass sich eine separate Anlage oder Produktionslinie damit gar nicht betreiben ließe.

#### **Welches Produkt aus Kunststoff fehlt Ihnen noch in Ihrem Leben?**

Ich freue mich auf die Flugtaxis und hoffe, dass sie möglichst bald kommen – eine neue Möglichkeit der Mobilität zum Beispiel dank Hochleistungskunststoffen in den Rotoren. —



# ZEIT, DASS SICH WAS DREHT

Zahlreiche Elemente im Auto sind bereits heute aus Kunststoff gefertigt. Bei Getriebebauteilen vertraute man jedoch bislang auf Stahl. An der TU München will man mit Zahnrädern aus Hochleistungskunststoff nun eine neue Einsatzmöglichkeit schaffen – und damit auch die urbane Mobilitätswende vorantreiben.

TEXT **TOM RADEMACHER**

In einem Renault Twizy testen Forscher der TU München die Kunststoffzahnräder. Sogenannte Microcars sind prädestiniert für den Einsatz von Leichtbauwerkstoffen.



**E**in Zwerg zirkelt in Garching bei München durch den Nieselregen: Der elektrische Kleinwagen vom Typ Renault Twizy kreist im Dienste der Forschung um Gebäude der Technischen Universität München (TUM). Auf die Straße darf er noch nicht. Sein Getriebe ist erst ein Prototyp. TUM-Wissenschaftler haben darin versuchsweise Kunststoffzahnräder verbaut, wo sonst nur Stahl ineinandergreift. Ein spezielles Material von Evonik macht das möglich.

Ziel des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten Forschungsprojekts ist die „Entwicklung und Berechnung eines Leichtbaugetriebes für urbane Elektrokleinfahrzeuge unter Verwendung von Hochleistungskunststoffverzahnungen“. Neben der TUM und Evonik ist auch das Unternehmen Werner Bauser daran beteiligt, ein mittelständischer Spezialist für das präzise Herstellen von Kunststoffzahnradern. Die Troika will das Material als alternativen Werkstoff für Getriebe kleiner Elektrofahrzeuge ertüchtigen. Möglichst praxisnah wollen sie beweisen, dass es den Antriebskräften auf Dauer standhält und das Fahren zugleich sparsamer und leiser macht. Als Demonstrator dient der Twizy mit etwas weniger als 13 Kilowatt Spitzenleistung und 80 Kilometer pro Stunde Spitzengeschwindigkeit.

„Die Leistungsklasse dieser elektrischen Microcars ist prädestiniert für Getriebe auf Kunststoffbasis. Beides – Microcars und Kunststoffkomponenten im Antriebsstrang – kann eine Schlüsselrolle spielen, wenn wir in Zukunft lebenswerte Städte mit nachhaltiger Mobilität wollen“, erklärt Dr. Karsten Stahl, Professor für Maschinenelemente an der TUM und Leiter der Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebesysteme, FZG (mehr zu Microcars siehe Kasten rechts).

#### BLINDER FLECK DER WISSENSCHAFT

Die FZG widmet sich seit mehr als 70 Jahren der Forschung rund ums Zahnrad. Viele international gültige Richtlinien und Industrienormen sind hier entstanden. In den Institutsräumen laufen knapp 100 Prüfstände parallel – häufig nachts, wenn es niemanden stört. Vom einzelnen Zahnrad bis zum kompletten Turbofan-Getriebe für Flugzeugturbinen wird hier so ziemlich alles auf die Härteprobe gestellt. Forschungsaufträge kommen auch von Autokonzernen und Zulieferern, die noch das letzte Quäntchen Effizienz aus ihren Getrieben herausholen wollen. „Mehr Maschinenbau geht gar nicht“, sagt Stahl über diese Arbeit. Und fügt hinzu: „Den Trend zum Kunststoffzahnrad haben viele Wissenschaftler jahrzehntelang unterschätzt.“

## » Den Trend zum Kunststoffzahnrad haben viele Wissenschaftler jahrzehntelang unterschätzt. «

KARSTEN STAHL, PROFESSOR FÜR MASCHINENELEMENTE AN DER TU MÜNCHEN



Dabei sind Kunststoffzahnräder längst überall im Einsatz und meist in der Überzahl – auch im Auto: Kraftstoffpumpe, Ölpumpe, Scheibenwischer, Fensterheber, Sitzverstellung, Lüftung und vieles mehr wird durch Kunststoffteile in Bewegung gebracht. Logisch: Zahnräder aus dem Material sind nicht nur günstiger herzustellen, sie sparen auch Gewicht und laufen verlustärmer, weil weniger Masse in Bewegung versetzt wird und die Oberflächen besonders gut gleiten. Obendrein schlu-

Um das Zahnrad aus dem Evonik-Kunststoff Vestakeep im Getriebe unterzubringen, musste das Gehäuse entsprechend verbreitert werden.



cken sie Vibrationen, was sie besonders leise macht. Nur im Antriebsstrang des Autos, wo große Drehmomente, chemisch aggressive Schmierstoffe und hohe Temperaturen vorherrschen, regiert noch der Werkstoff Stahl. Aber auch diese Bastion bröckelt.

#### KNACKPUNKT GETRIEBE

So setzt Mercedes-Benz seit 2022 in seinen Serienmodellen Kunststoffzahnräder in Massenausgleichsgetrieben ein. Solche Getriebe kompensieren Schwingungen des Motors und sorgen für mehr Laufruhe. Weil die Zahnräder mit heißem Motoröl in Kontakt kommen, waren sie früher immer aus Stahl. Bei Mercedes bestehen sie jetzt aus Vestakeep 5000G, einem hitzestabilen Hochleistungskunststoff von Evonik, der die ganze Baugruppe effizienter und außerdem vibrationsärmer macht. Mit diesem Material geht das Forschungsprojekt am FZG nun einen Schritt weiter. „Wir verwenden Kunststoff hier erstmals direkt im Antrieb zur Kraftübertragung“, sagt Professor Stahl. „Das ist absolut neu.“

Stahl zitiert aus einem Papier der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktentwicklung, wonach stete technische Evolution die Getriebetechnik pro Jahr um rund vier bis fünf Prozent kompakter, effizienter und leiser machte. Die Rede ist von einer Art mooreschem Gesetz für Maschinenelemente. So wie in der Halbleitertechnik →

## ZWERGE MACHEN MOBIL

Vierrädige Ein- und Zweisitzer bis 15 Kilowatt Motorleistung wie der Renault Twizy gehören zur EU-Fahrzeugklasse L7e. Diese sogenannten Microcars sind für die Stadt gemacht. Eine McKinsey-Studie von 2022 prophezeit, „Minimobilität“ mit Fahrzeugen in der Nische zwischen E-Bike und Pkw werde „das nächste große Ding“. Der Weltmarkt könne bis 2030 auf rund 100 Milliarden US-\$ wachsen. Der große Durchbruch wird den Microcars nicht zum ersten Mal vorausgesagt. Noch sieht die Realität anders aus: In Deutschland kamen im vergangenen Jahr auf insgesamt knapp 2,9 Millionen Neuzulassungen gerade einmal 1.487 Microcars. Macht einen Anteil von 0,05 Prozent. Nationale Klimaziele und kommunale Initiativen für verkehrsberuhigte Städte könnten jedoch als Turbolader für die Elektrozwerge wirken. Eine Gruppe europäischer Hersteller hat sich 2023 in der Microcar Coalition vereint, um offensiv für staatliche Förderung und Privilegien in Städten zu werben. Mittlerweile haben Marken wie Opel und Citroën sowie einige Startups und chinesische Hersteller Microcars auf die Straße gebracht. Renault hat zwar die Produktion des Twizy nach gut zehn Jahren und weltweit rund 33.000 verkauften Exemplaren im vergangenen Jahr eingestellt, steigt aber mit dem Nachfolger Duo ins Carsharing-Geschäft ein.



Die TUM-Doktoranden Nicolai Sprogies (links) und Stefan Reitschuster spannen am Getriebeprüfstand in Garching das Drehmoment vor.

nik über Jahrzehnte die Prozessordichte von Mikrochips regelmäßig zunahm, steigt auch die Leistungsfähigkeit von Getrieben kontinuierlich. „Hochleistungskunststoffe ermöglichen es, diese Entwicklung weiter fortzuführen“, sagt Stahl.

Mit dem Twizy-Getriebe hat man sich bewusst ein simpel gestricktes Demonstrationsobjekt ausgeguckt: Das zweistufige Getriebe im kleinen Stromeer ist nicht schaltbar und besteht aus nur vier Zahnradern. „Ziel war es, eine Übersetzungsstufe in einem Serienfahrzeug mit Kunststoffzahnradern zu realisieren und ansonsten möglichst wenig zu verändern“, erklärt Stahl. Die beiden Zahnradern der ersten Stufe wurden ersetzt. Jene der zweiten Stufe, wo das Drehmoment größer ist, blieben aus Stahl. Weiteres Zugeständnis: Um die Kraft auf größerer Fläche zu verteilen, sind die Kunststoffzahnradern etwa doppelt so breit wie ihre metallenen Pendanten. Dafür wurde das Gehäuse um zwei Zentimeter verbreitert.

Nach ausführlichen Computersimulationen hat die FZG drei Prototypen solcher modifizierten Getriebe gebaut. Eines läuft im Fahrzeug, zwei weitere sind auf einem eigens dafür entwickelten Prüfstand gegeneinander verspannt. „So können wir die Getriebe mit einem

definierten Drehmoment gegeneinanderlaufen lassen und von äußeren Faktoren isoliert untersuchen“, erklärt Stefan Reitschuster, während er mit seinem Kollegen Nicolai Sprogies und reichlich Muskelkraft das Drehmoment vorspannt. Die beiden sind zwei von mehreren TUM-Doktoranden, die am Projekt mitarbeiten.

Seit einigen Monaten laufen nun die Tests: Drehzahl, Drehmoment und Öltemperatur werden nach standardisierten Prüfzyklen von außen variiert, um in kurzer Zeit Zigtausende Kilometer echten Straßenalltags zu simulieren. Eine Schar Sensoren überwacht das Ganze, 28 Sonden dokumentieren allein die Temperatur, die Messung von Vibrationen und Geräuschen wird Thema einer eigenen Doktorarbeit. Soviel weiß man schon jetzt: Nach den ersten 10.000 Kilometern zeigen die neuen Zahnradern keine nennenswerten Ermüdungserscheinungen.

Bei Evonik in Darmstadt überrascht das niemanden. „Unser Vestakeep 5000G ist so ziemlich der leistungsstärkste Kunststoff, den es momentan auf dem Markt gibt“, sagt Philipp Kilian. Er leitet bei Evonik in der Business Line High Performance Polymers das Fachgebiet Tribologie. Hier geht es um alles, was mit Verschleiß, Reibung und Schmierung zu tun hat, wie er sagt. Das Spezialchemieunternehmen hat nicht nur das Material fürs Zahnrad geliefert, sondern auch die Materialdaten für die Simulation.

#### HART IM NEHMEN

Evonik produziert neben Hochleistungskunststoffen noch Hochleistungsschmierstoffe. In Darmstadt betreibt Evonik ein Prüflabor für beides. Wie in München werden dort hinter schalldichten Türen Maschinenteile im Dienst der Forschung malträtiert. Einen Prüfstand speziell für Kunststoffzahnradern hat Evonik zusammen mit dem Zahnradhersteller Werner Bauser entwickelt. Vom ersten „Grübchen“ in der Zahnflanke bis zum katastrophalen „Zahnfußbruch“ – dem Totalschaden jedes Getriebe – kann Evonik damit realistischen Verschleiß hervorrufen und zum Beispiel unter eigenen Rasterelektronenmikroskopen analysieren.

Hinter dem Markennamen Vestakeep verbirgt sich ein Polyetheretherketon, kurz PEEK. Diese Klasse Kunststoffe ersetzt seit Jahren immer mehr Stahlbauteile in verschiedenen Branchen. Sie ist extrem stabil gegen Abrieb und viele aggressive Chemikalien. Zudem hält das Material dauerhaft Temperaturen um 250, kurzzeitig sogar bis 300 Grad Celsius stand. „Es ist außerdem von sich schwer entflammbar, hochrein und sehr formstabil, weshalb zum Beispiel die Halbleiterindustrie hochpräzise Werkzeuge

## » Wir können mit Kunststoff sehr komplexe Formen gießen, was mit Stahl nicht geht. «

aus PEEK benutzt, um empfindliche Wafer zu bearbeiten“, erklärt Sandra Kao, die aus Taipeh (Taiwan) für Evonik weltweit das Vestakeep-Marketing verantwortet. „Einige Autohersteller entwickeln mit PEEK auch sichere neue Batterien, Stromschienen und andere Komponenten für die immer höheren Ströme in Elektroautos der nächsten Generation.“

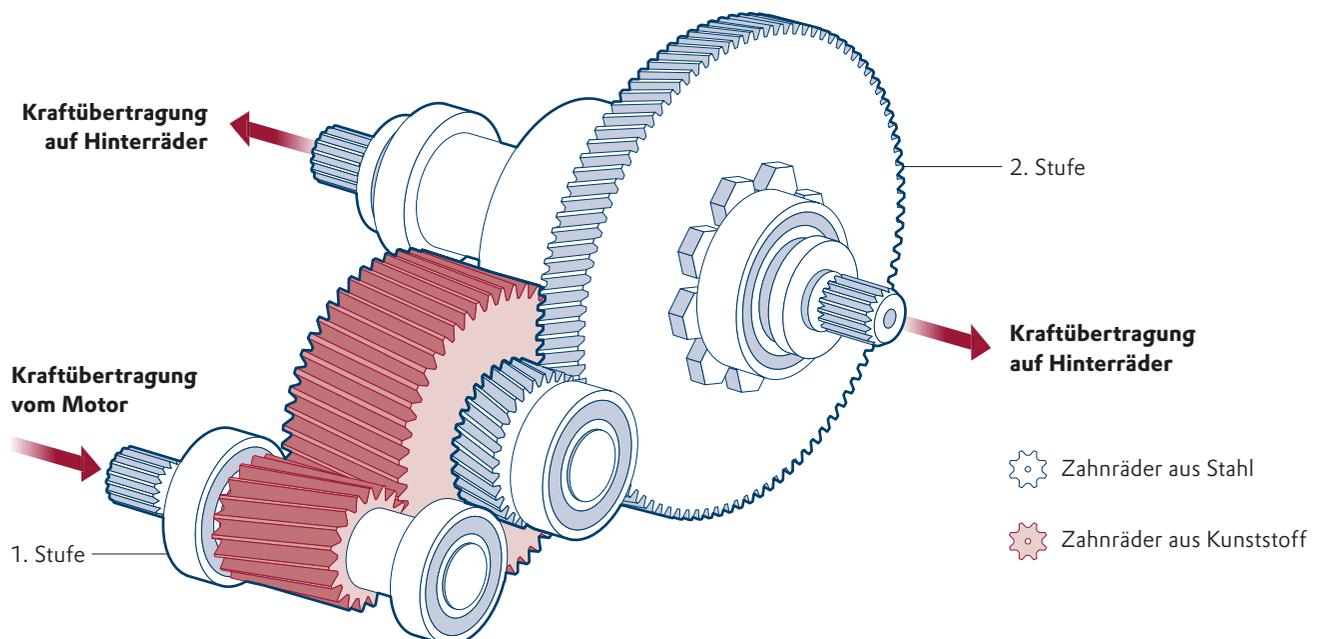
Bei Vestakeep 5000G, das Mercedes-Benz und die FZG verwenden, handelt es sich um das Top-Produkt von Evonik in Sachen PEEK: Die Zahl 5000 verweist auf das derzeit höchste erhältliche Molekulargewicht, also die besonders lange Molekülkette. Das G steht für die Lieferform als Granulat. Für die Tests an der FZG hat die Firma Werner Bauser rund ein Dutzend Zahnräder aus diesem Produkt hergestellt. Das Familienunternehmen aus Wehingen am Rande der Schwä- →



THOMAS SIMON, VERTRIEBSCHIEF BEIM ZAHNRADHERSTELLER WERNER BAUSER

### Vom Motor an die Räder

Das zweistufige Getriebe des Renault Twizy übersetzt die hohe Drehzahl des Elektromotors in ein ausreichend starkes Drehmoment zum Antrieb der beiden Hinterräder. Dabei dreht sich das größte Zahnrad rund zehnmal langsamer als das kleinste. Das Drehmoment ist dafür zehnmal höher. Die erste Stufe wurde erstmals mit dem Kunststoff Vestakeep realisiert. Um die Kräfte auf jeden Zahn besser zu verteilen, sind die Kunststoffzahnäder etwa doppelt so breit gefertigt wie die ursprünglichen aus Stahl.





## »Talente richtig ausspielen«

Professor Dr. Karl Kuhmann leitet bei Evonik die Technologie- und Prozessentwicklung für Kunststoffverarbeitung von High Performance Polymers und lehrt seit gut 20 Jahren im Fachgebiet Kunststofftechnik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

### **Professor Kuhmann, Sie geben gerade wieder Ihre jährliche Einführung ins Mehrkomponenten-Kunststoffspritzgießen für Studierende des Maschinenbaus und der Materialwissenschaften. Was lernt man da?**

Die Studierenden staunen meistens erst mal ganz gehörig, was mit Kunststoffen durch die Spritzgießtechnik heute alles machbar ist: wie breit zum Beispiel die Spanne der Anwendungen ist und dass man selbst komplexe multifunktionale Bauteile aus unterschiedlichen Materialien vollautomatisch fix und fertig produzieren kann.

### **Hochleistungskunststoffe ersetzen zunehmend Stahl, gerade im Automobilbau. Müssen Sie da denn noch Vorurteile gegen Kunststoff abbauen?**

Das Potenzial ist längst nicht ausgeschöpft. Es geht aber gar nicht darum, das eine Material gegen das andere auszuspielen. Kunststoff kann Dinge, die Stahl nicht kann – und umgekehrt. Den größten Nutzen sehe ich, wenn wir die Vorteile beider Werkstoffgruppen sehr gezielt einsetzen und richtig verbinden. Etwa in Hybridbauteilen, die sich die Stärken des Stahls und an den entscheidenden Stellen die Stärken auch unterschiedlicher Kunststoffe optimal zunutze machen.

### **Warum entfaltet Kunststoff gerade hier sein Potenzial?**

Insbesondere Leichtbau und Effizienz sind gefragt. Und es zeigen sich immer neue, spannende Möglichkeiten: im Polymerdesign selbst, in neuen Verarbeitungstechnologien und in der kunststoffgerechten Konstruktion von Bauteilen. 3D-Druck zum Beispiel bringt zusätzliche Designfreiheit. Und auch durch Spritzgießen können wir verschiedene Komponenten mit unterschiedlichen Materialeigenschaften in einem Bauteil verbinden. Das kommt aber jetzt nicht alles plötzlich, sondern fußt auf Jahrzehnten intensiver Forschung und Entwicklung in der Kunststofftechnik. Wir heben einfach mehr vom Potenzial des Kunststoffs, wenn wir die verschiedenen Disziplinen wie Kunststofftechnik, Metall- und Getriebetechnik und die Materialwissenschaften stärker zusammenbringen, um die Talente des Materials richtig auszuspielen. —

bischen Alb fertigt seit der Gründung vor 60 Jahren ausschließlich Kunststoffschnecken und -zahnräder. Die stecken zum Beispiel in Bohrmaschinen und Garagenantrieben. Jüngst hätten die Trends zum höhenverstellbaren Schreibtisch und zum E-Bike die Nachfrage noch einmal kräftig anziehen lassen, sagt Bauser-Vertriebschef Thomas Simon.

### **DER SPRITZGUSS MACHT'S**

Besonders stolz sind die Schwaben auf ihr Know-how im Getriebedesign und ihre Präzision im Spritzgießen. „Große Maschinenbauteile mit Toleranzen im Mikrometerbereich zu produzieren, das kann längst nicht jeder“, sagt Simon. Doch darauf kommt es an. Denn erst das Spritzgießen macht Kunststoffzahnräder günstig und sparsam in der Herstellung. Stahlzahnräder werden einzeln gefräst, was Arbeit und Abfall macht. Spritzgießmaschinen spucken dagegen gleich fix und fertige Zahnräder aufs Fließband – bei Bauser bis zu 750.000 am Tag. „Wir können zudem sehr komplexe Formen aus einem Mix unterschiedlichster Materialien produzieren, was mit Stahl nicht geht“, sagt Simon. Der 3D-Druck dürfte noch weitere Möglichkeiten eröffnen. Am FZG träumt man unter anderem schon von Kunststoffzahnradern mit integrierten Sensoren und Kühlmittelkanälen.

Das wichtigste Argument für Kunststoff seien aber weder die geringeren Kosten noch die Designfreiheit – nicht einmal das eingesparte Gewicht, sagt FZG-Experte Stahl: „Alle Zahnradexperten sind momentan damit beschäftigt, das akustische Verhalten von Getrieben zu verbessern.“

In elektrisch angetriebenen Autos ist das Getriebe Lärmquelle Nummer eins. Wo kein Verbrennungsmotor brummt, fällt jedes andere Geräusch umso mehr auf. Die Branche nennt das Phänomen „Noise, Vibration, Harshness“ – kurz NVH. Es geht nicht nur um Lärm, sondern auch um Vibrationen und „Rauigkeit“. Letzterer Begriff kommt aus der Psychoakustik und beschreibt Frequenzbereiche, die bewusst und unbewusst als unangenehm empfunden werden. Man weiß, dass Kunststoffzahnräder durch ihr viskoelastisches Verhalten mehr davon schlucken und so die NVH-Werte deutlich verbessern können.



## »Stahl raus, Kunststoff rein – so einfach ist es leider fast nie.«

PHILIPP KILIAN, LEITER DES FACHGEBIETS TRIBOLOGIE  
IN DER EVONIK-BUSINESS-LINE HIGH PERFORMANCE POLYMERS

Dennoch kennt man bei Bauser, Evonik und an der TUM den alten Spruch unter Maschinenbauern: „Wer Kunststoff kennt, nimmt Stahl.“ Moderne Materialwissenschaft habe zwar viele Kunststoffe für hocheffiziente und intelligente Anwendungen hervorgebracht (siehe Interview links), aber Kunststoffeinsatz habe dennoch seine eigenen Herausforderungen, sagt Kilian. „Stahl raus, Kunststoff rein – so einfach ist es leider fast nie.“ Kunststoff sei komplexer als Stahl. Er reagiere dynamischer, flexibler und temperaturabhängiger. Hinzu kommt das breitere Spektrum an Kunststoffen, die je nach Molekülstruktur, Herstellungsverfahren und Additiven ganz verschieden reagierten. Entsprechend viel gilt es noch zu forschen.

Der Nachfolger des Forschungsprojekts in München steht schon in den Startlöchern. TUM, Evonik und Bauser haben dazu weitere Automobilzulieferer und sogar einen Autohersteller an Bord geholt, um das Kunststoff-

getriebe von Grund auf neu zu entwickeln: Die Anordnung und Form der Zähne, das Übersetzungsverhältnis, das Gehäuse – alles soll exakt auf die Stärken des Materials zugeschnitten werden. „Das Zahnrad aus Stahl im Automobil hat gut 100 Jahre Vorsprung“, sagt Professor Stahl. „Wir stehen mit dem Kunststoff noch am Anfang, aber gerade das macht es so spannend.“ —



**Tom Rademacher** ist freier Journalist in Köln. Er schreibt unter anderem über Wissenschafts- und Industriethemen.

# Innovation braucht offene Herzen und offene Grenzen

Forschung und Entwicklung leben von internationaler Kooperation, denn die großen Probleme unserer Zeit verlangen nach globalen Antworten. Wer auf nationale Abschottung und Ausgrenzung setzt, gefährdet unsere Zukunft als Innovationsstandort.

Von Harald Schwager



Harald Schwager ist stellvertretender Vorstandsvorsitzender von Evonik.

**H**andle nur nach derjenigen Maxime, durch die du zugleich wollen kannst, dass sie ein allgemeines Gesetz werde.“ Den kategorischen Imperativ schrieb uns Immanuel Kant schon 1785 ins Stammbuch. Auch knapp 240 Jahre später hat seine Aufforderung nichts an Aktualität eingebüßt. Heute wie damals gilt: Wir müssen einstehen für die Werte, die uns am Herzen liegen. In einer Demokratie sind wir alle aufgerufen, uns zu engagieren – gerade jetzt, in Zeiten, in denen einige einst sicher geglaubte Werte wieder zur Disposition stellen wollen.

Insbesondere Wissenschaft und Forschung stehen in der Verantwortung. Die furchtbaren Auswüchse, die es haben kann, wenn Forscher die demokratische Basis verlassen und sich vor den Karren diktatorischer Regime spannen lassen, lehrt uns unsere deutsche Geschichte nur zu gut. Jedem Wissenschaftler steht heutzutage der immense Gewinn durch offenen internationalen Austausch und Kooperation vor Augen – da verbieten sich Gedankenspiele der nationalen Abgrenzung von allein.

Trotzdem gewinnen in vielen Ländern Europas Rechtspopulisten an Zustimmung. In sechs von 27 EU-Ländern sind sie bereits an der Regierung beteiligt. In Italien, Ungarn und Kroatien stellen sie gar den Regierungschef oder die -chefin. Ihr politisches Programm ist zwar meist schlicht und alles andere als wohlmeinend, dennoch scheint es für viele Menschen attraktiv. Andersdenkende und anders aussehende Menschen werden diffamiert, der baldige Zerfall von Werteordnung und Kultur wird beschworen. Scheinbar einfache Lösungen sollen globale Probleme beseitigen. Das Heil suchen die Menschenfänger in strammem Nationalismus und in einer ausgeprägten Feindlichkeit gegenüber allem vermeintlich Fremden: Wahlweise soll rigorose Abschottung oder – sprachlich unauffälliger, aber dafür umso perfider – die millionenfache „Remigration“ von Menschen die Lösung sein.

## »Ob Europa ein Magnet für Wissenschaftler aus aller Welt bleibt, darüber kann jeder Einzelne von uns bald mitentscheiden.«

Dem müssen wir uns entgegenstellen! Die Freiheit, zu denken und sagen zu können, was man denkt – diese Freiheit macht den Unterschied. Auch in der Forschung. Der kategorische Imperativ ist dabei die Richtschnur, die verhindert, dass Freiheit in Beliebigkeit umschlägt. Denn ein Freiheitsbegriff, der sich in einem tumben „Das wird man ja wohl noch sagen dürfen!“ erschöpfte, würde der Willkür den Weg ebnen.

Freiheit lebt in einer Gesellschaft von Verantwortung. Sie ermöglicht es, sich zu engagieren und zu forschen, für unser Land und für unseren Wohlstand. Innovation braucht offene Grenzen und offene Herzen!

Was geschieht, wenn Freiheit und Verantwortung gleichermaßen verloren gehen, zeigt das dunkelste Kapitel unserer Vergangenheit: Der nationalsozialistische Machtübernahme folgte in den 1930er-Jahren die „Säuberung“ des Wissenschaftssystems. Andersdenkende wurden systematisch ihrer Freiheit beraubt. Dies löste den größten intellektuellen Exodus der neueren Geschichte aus: Das Regime zwang den Physiker Albert Einstein und den Schriftsteller Thomas Mann ins Exil und mit ihnen Tausende weitere Koryphäen. Dem „Anschluss“ Österreichs folgte die Vertreibung von Vordenkern wie dem Mathematiker und Philosophen Kurt Gödel oder dem Begründer der Psychoanalyse, Sigmund Freud. Dies hat die Wissenschaft in Deutschland und Österreich massiv und langfristig geschwächt. Übrig blieb eine gleichgeschaltete „Deutsche Wissenschaft“, die sich frei von eigener Verantwortung auch für grausame Forschungsprojekte hergab. Ideologie ersetzte das Streben nach echter Erkenntnis und pervertierte damit den Grundgedanken von Wissenschaft.

### 43 NATIONEN FORSCHEN IN EINER ORGANISATION

Heute ist die Wissenschaft sehr international aufgestellt, und auch die Diskussion über Verantwortlichkeit und Grenzen von Wissenschaft wird global geführt. Ein Beispiel: Bei der Entschlüsselung des menschlichen Erbguts kooperierten mehr als 1.000 Wissenschaftler aus 40 Ländern. Der Blick auf Evonik belegt das: In unserer Forschungsorganisation arbeiten Menschen aus 43 Nationen zusammen, um nachhaltige Lösungen zu entwickeln, die das Leben ein Stück besser machen – Tag für Tag.

Offenheit und die Bereitschaft zur Zusammenarbeit sind grundlegende Prinzipien, die wissenschaftlich Herausragendes ermöglichen. Das zeigen die Erfolge der europäischen Integration: Mit einem Anteil von fast 25 Prozent an der weltweiten Wissensproduktion – bei einem Anteil von nur knapp sechs Prozent an der Weltbevölkerung – ist Europa ein starker Motor des Fortschritts. Der ungehinderte Austausch mit den führenden Köpfen unserer Zeit und eine ungebrochene Strahlkraft für junge Talente sind dafür unverzichtbar.

Ob Europa ein Magnet für Wissenschaftler aus aller Welt bleibt, darüber kann jeder Einzelne von uns bald mitentscheiden. Anfang Juni sind rund 350 Millionen Europäerinnen und Europäer aufgerufen, das zehnte Europaparlament zu bestimmen. Wir haben es in der Hand: Nutzen wir unsere Stimme, damit die globalen Herausforderungen angegangen werden, mit denen wir alle konfrontiert sind.

### DEMOKRATIE BRAUCHT AKTIVE DEMOKRATEN

Mit einer Stimmabgabe gibt man jedoch selbstverständlich nicht die eigene Stimme ab. Die Verantwortung, für die eigenen Werte und den gesellschaftlichen Zusammenhalt einzutreten, kann man nicht delegieren. Demokratie braucht aktive Demokraten: Wo stünde die US-amerikanische Bürgerrechtsbewegung ohne Rosa Parks? Als die Afroamerikanerin 1955 im Bus für einen Weißen Platz machen sollte, weigerte sie sich. Ihr Nein wurde zum Fanal der Bürgerrechtsbewegung in den USA. Die Literaturnobelpreisträgerin Herta Müller macht in ihren Romanen das Leben unter dem rumänischen Diktator Ceaușescu erfahrbar. In ihrem Werk beleuchtet sie die Rolle des Individuums im System und erinnert mit ihrer präzisen Sprache daran, kritisch zu denken und Verantwortung zu übernehmen.

Diese Beispiele zeigen: Jeder Einzelne kann und muss Rückgrat beweisen. Diskriminierung und emotionale Verrohung, das Verharmlosen hasserfüllter Rhetorik und die Unterscheidung in wertvolle und weniger wertvolle Menschen dürfen wir nie hinnehmen.

Der amerikanische Historiker Peter Hayes, der die Geschichte der Evonik-Vorgängergesellschaft Degussa in der Zeit des Nationalsozialismus untersuchte, hat es anschaulich auf den Punkt gebracht: Wenn Freiheit und Menschenrechte in Gefahr geraten, sollten wir uns nicht mit der Frage „Was bleibt mir übrig?“ zufriedengeben. Stattdessen sollten wir uns fragen: „Was verbiete ich mir grundsätzlich?“ So werden wir handlungsfähig und können Populisten und Menschenfängern entgegentreten.

Denn wahre Toleranz ist ohne Haltung nicht zu haben. Dies verlangt einen eigenen Standpunkt. Die Bereitschaft, Nein zu sagen. Der Philosoph Karl Popper formulierte das so: „Wir sollten im Namen der Toleranz das Recht für uns in Anspruch nehmen, die Unduldsamen nicht zu dulden. Wir sollten geltend machen, dass sich jede Bewegung, die Intoleranz predigt, außerhalb des Gesetzes stellt.“ —



# ALTE FASSADE, MODERNER KERN

Polen ist reich an Tradition, und seine Unternehmen haben sich in vielen Branchen zu gefragten Partnern entwickelt. Ob handwerkliche Präzision im Möbelbau oder zukunftsorientiertes Denken bei grüner Energie – Polen vereint gekonnt geschichtliches Erbe und wegweisende Lösungen.

TEXT PAULINE BRENKE

Die Warschauer Altstadt mit ihren historischen Fassaden und den Überresten der mittelalterlichen Stadtmauer ist ein besonderer Anblick. Doch der altertümliche Eindruck täuscht: Das Zentrum der polnischen Hauptstadt ist in Wahrheit gar nicht so alt. Nach der Zerstörung im Zweiten Weltkrieg wurde es zwischen 1949 und 1956 in Rekordtempo und beeindruckend detailgetreu wiederaufgebaut. Seit 1980 zählt die Altstadt zum Weltkulturerbe der UNESCO. Den Erhalt historischer Gebäude unterstützt Evonik mit dem Fassadenschutz Protectosil.



■ An der Ostsee lockt Westpommern mit Wellen, Dünen und Kiefernwäldern. Insgesamt erstreckt sich Polens Küste über 500 Kilometer. Dort lässt es sich gut urlauben, und auch für die Windkraftbranche ist die Lage attraktiv. Künftig werden sich die Flügel der Kraftwerke nicht nur an Land, sondern auch über der Ostsee drehen. Schon 2025 sollen die ersten Offshore-Windparks Strom ins Netz einspeisen. Einer davon entsteht zwischen Koszalin (deutsch: Köslin) und der dänischen Insel Bornholm. Evonik rüstet Windanlagen für den Einsatz auf hoher See aus: Vernetzungsmittel machen die Rotorblätter langlebig, Lackadditive und Polyurethanschaumteile schützen bei Regen, Salz und Hagel.







Polen zählt zu den sechs EU-Mitgliedstaaten mit den größten Waldflächen. Ein Grund dafür, dass das Land auf eine lange Tradition im Holzhandwerk zurückblickt. Im Laufe der Jahre entwickelte sich ein bedeutender Markt für Möbel, der zuletzt fast acht Milliarden Euro Umsatz erwirtschaftete, mit Wohnzimmermöbeln als größtem Segment. Das Land zählt heute zu den fünf größten Möbelexporturen weltweit, rund 90 Prozent aller gefertigten Stücke gehen ins Ausland. Bei Tischen, Stühlen und Schränken sorgt Evonik für eine hochwertige Optik: Die Kieselsäure Acematt verleiht Holzmöbeln einen matten Look und schützt die Oberfläche.

Jedes Jahr im April und Mai erblühen Polens Rapsfelder in leuchtendem Gelb und zaubern grafische Muster in die Landschaft, die an ein abstraktes Gemälde erinnern. Etwa zwei Monate später wird die Ölsaat geerntet. Mit einer Menge von mehr als 3,7 Millionen Tonnen war Polen 2022 der drittgrößte Erzeuger in der EU. Aus Raps werden unter anderem Lebensmittelöl und Eiweiß-Tierfuttermittel hergestellt. Das Öl ist neben Altspeiseölen und Tierfetten die Ausgangsbasis für die Produktion von Biodiesel. NM30-Alkoholate von Evonik dienen bei dessen Herstellung als Katalysator.





Der Hafen von Gdańsk (deutsch: Danzig) ist einer der 15 größten in Europa und der einzige in der Ostsee mit direkten Containerverbindungen nach China. Die Werft Danzig (Foto) gilt als Keimzelle der polnischen Demokratiebewegung, seitdem dort im Sommer 1980 die Gewerkschaft Solidarność gegründet wurde. Bis heute werden in den Trockendocks Schiffe gebaut und repariert. Rumpf und Aufbauten schützen Beschichtungen mit Dynasytan von Evonik. Die wasserbasierten Bindemittel sind besonders umweltfreundlich und setzen praktisch keine flüchtigen organischen Verbindungen frei.



**BREITES SPEKTRUM**

Seit 1990 ist Evonik mit einem Verkaufsteam in Polen aktiv und seit 2020 mit einem eigenen Büro in Warschau vertreten. Dort steuert ein 14-köpfiges Team den Vertrieb von vier Divisions mit insgesamt zwölf Business Lines, darunter Animal Nutrition, Interface & Performance, Healthcare und High Performance Polymers. Polen ist für Deutschland ein zentraler Handelspartner und auch für Evonik eine tragende Säule in Osteuropa.



Evonik-Standort  
1 Warschau

An

1

Standort arbeiten

14

Mitarbeiter.

A group of several sharks of various sizes swimming in clear blue water. The sharks are seen from above, swimming in different directions. The water is a deep, clear blue, and the sharks are silvery-grey with darker dorsal fins and stripes.

Begehrte Beute: Der Dornhai wird wegen seines Fleisches gefischt – und wegen der Inhaltsstoffe der Leber. Wie viele andere Haiarten steht er auf der Roten Liste gefährdeter Arten.

# MEERSWERT VOM FELD



Blütenpracht: Der Amaranth zählt zu den Pseudogetreiden. Evonik ist es gelungen, aus dem Öl der Samenkörner ein Ersatzprodukt für Squalen zu gewinnen.

Squalen verstärkt die Wirkung von Medikamenten und spielt bei neuen Therapien eine wichtige Rolle. Bisher wurde der Rohstoff vor allem aus der Leber von Haien gewonnen. Evonik tritt jetzt mit einer pflanzlichen Alternative an.

TEXT **CHRISTOPH BAUER**

Ihren schlechten Ruf verdankt eine der wichtigsten und nützlichsten Tiergruppen der Welt einem Kinoblockbuster: Der Thriller „Jaws“ („Der Weiße Hai“) von 1975 stellt Haie als menschenfressende Ungeheuer dar. Sowohl Autor Peter Benchley als auch Regisseur Steven Spielberg bedauerten diese Inszenierung im Nachhinein ausdrücklich. Ihre vermeintliche Monstrosität machte Haie zu einer begehrten Trophäe für Sportfischer, viele sterben zudem als Beifang in der Fischerei, und die Flossen der Knorpelfische gelten in Asien als Delikatesse.

Auch die Pharma- und Kosmetikindustrie trägt dazu bei, dass einige bedrohte Haiarten stark unter Druck geraten: Sie dienen als Lieferant von Squalen, einem Stoff, der im menschlichen Stoffwechsel eine wichtige Rolle spielt und sowohl in Kosmetika als auch in Medikamenten und Impfstoffen eingesetzt wird. Evonik kann der Pharmaindustrie nun eine pflanzliche Alternative auf GMP-Basis anbieten, die noch zuverlässigere Ergebnisse liefert. GMP steht für Good Manufacturing Practice und ist die Garantie für eine kompromisslos hohe Qualität.

Squalen wird traditionell aus der Leber von Haien gewonnen, deren lateinischer Name *Squalus* der Substanz auch ihren Namen gibt. Bei Knorpelfischen übernimmt die große ölhaltige Leber teilweise die Funktion der Schwimmblase bei Knochenfischen. Eine Haileber macht zwischen 20 und 40 Prozent des Körpergewichts des Tiers aus. Squalen spielt derzeit eine wichtige Rolle in Totimpfstoffen, insbesondere bei Grippevakzinen. Auch in pharmazeutischen Cremes und Salben kann es angewendet werden, um sie effektiver zu machen. Der Talg, den die menschliche Haut produziert, enthält ebenfalls einen Anteil Squalen. →



Rima Jaber ist bei Evonik für Lipide zuständig, die in parenteralen Anwendungen zum Einsatz kommen, etwa in Impfstoffen.



Das fertige Produkt ist farblos und klar. Die Reinheit des Squalens liegt nahe bei 100 Prozent.

Bei Evonik Health Care ist Rima Jaber Global Product Manager für Lipide in parenteralen Drug-Delivery-Lösungen, also Verfahren, bei denen Wirkstoffe nicht den Magen-Darm-Trakt durchlaufen. Die promovierte Pharmatechnologin ist sich der Bedrohung bewusst, die die Verwendung von Rohstoffen auf Tierbasis für die Populationen dieser mehr als 450 Millionen Jahre alten Tiergruppe darstellt: „Von Tieren gewonnenes Squalen trägt zur Dezimierung der Haipopulationen bei.“

#### ES DROHT EINE KASKADE

In der Vergangenheit war etwa der Dornhai, *Squalus acanthias*, eine der am häufigsten vorkommenden Haiarten der Welt. Heute gilt er im Nordostatlantik bereits als „kritisch gefährdet“. Das liegt nicht zuletzt daran, dass der grätenfreie Bauchlappen des Dornhais, auf Deutsch „Schillerlocke“ genannt, eine begehrte Fischspezialität ist. Auch die Rückenstücke, die als „Seeaal“ bezeichnet werden, verbergen durch den Namen ihre wahre Herkunft. In der deutschen Nordsee gilt der Dornhai laut der deutschen Roten Liste als äußerst selten und vom Aussterben bedroht.

Ulrich Karlowski, Biologe und Vorstand der Deutschen Stiftung Meeresschutz, erläutert, welche wichtige Rolle Haie für marine Ökosysteme spielen: „Die mehr als 500 heute bekannten Haiarten agieren als bedeutende Top- und Mesoprädatoren, also Raubfische, wie eine gigantische ozeanische Putzkolonne. Sie sind, vereinfacht gesagt, wesentlicher Teil der Gesundheitspolizei der Meere.“ Der Bestand nahezu aller kontrollierten Hochseehaiarten ist in den vergangenen 50 Jahren im Schnitt um 70 Prozent zurückgegangen. Für zahlreiche Arten fehlen Daten, um die Zahl der existierenden Tiere überhaupt beurteilen zu können.

Ein Aussterben der Haie wäre für die Weltmeere verheerend, sagt Karlowski: „Sie gehören zu den Schlüsselarten der Meere. Ihr Verschwinden würde eine Kaskade auslösen, bei der Ökosysteme wie tropische Korallenriffe, die ohne gesunde Haibestände nicht existieren



Andreas Jakob, der das gesamte Projekt aus Hanau geleitet hat, im Gespräch mit Laborantin Lea Lietzenmayer

können, untergehen.“ Die Folgen für unzählige Meerestierarten, die ganz oder teilweise auf Riffe angewiesen sind, wären kaum abzusehen, so der Biologe. Drastisch wären die Konsequenzen auch für die Menschen: Hunderttausende Kleinfischer würden angesichts zusammenbrechender Fischbestände ihre Lebensgrundlage verlieren und Millionen Bewohner des globalen Südens einen wesentlichen Bestandteil ihrer Nahrungsgrundlage. „Es ist somit im ureigensten Interesse der Menschen, Haie zu schützen, den Nutzungsdruck zu verringern und ihre Bestände wieder aufzubauen.“

#### ERSATZ IN PHARMAQUALITÄT

Der Schutz von Knorpelfischen ist besonders wichtig, da diese Arten sich nur sehr langsam vermehren. In der Tiefsee lebende Arten wie der Grönlandhai mit einer Lebenserwartung von rund 400 Jahren werden erst im Alter von 150 Jahren geschlechtsreif, beim stark befischten Makohai sind es immerhin 20 Jahre. Zudem haben Haie nur sehr wenig Nachwuchs.

Die Gewinnung von Squalen aus Hailebern ist nicht das zentrale Problem bei der Dezimierung der Bestände. Doch im Schnitt müssen immerhin drei Tiere sterben,

damit ein Kilo Squalen produziert werden kann. Als alternative Quelle für den Rohstoff könnten künftig Pflanzen dienen.

Bislang war es eine Hürde, die Substanz auf diesem Weg in der für pharmazeutische Produkte notwendigen Menge und Reinheit zu gewinnen. Mit Phytosquene ist es Evonik nun gelungen, ein Ersatzprodukt in Pharmaqualität herzustellen. Der Rohstoff für das Produkt ist das Öl des Amarants, eines Pseudogetreides aus der Familie der Fuchsschwanzgewächse. Die Pflanze mit ihrem tiefvioletten üppigen Blütenstamm wird in vielen Teilen der Welt kultiviert, sie ist auch als Nahrungsmittel geeignet. „Wegen der Vielzahl möglicher Anbauggebiete gibt es für den Rohstoff eine hohe Versorgungssicherheit“, sagt Evonik-Expertin Jaber.

Professorin Katrin Böhning-Gaese nennt das Projekt ein Beispiel für „seeds of the good anthropocene“ – die englische Beschreibung des Phänomens, dass sich das Zeitalter, in dem der Mensch zu einem der wichtigsten Einflussfaktoren auf die biologischen, geologischen und atmosphärischen Prozesse auf der Erde geworden ist, zum Besseren wenden kann. „Transformation geschieht dadurch, dass sich ganz viele kleine →

# » Wo immer wir tierische Produkte durch pflanzliche oder biotechnologisch hergestellte Produkte ersetzen können, tun wir das.«



THOMAS RIERMEIER, LEITER DER BUSINESS LINE HEALTH CARE

Dinge verändern“, sagt die Direktorin des Senckenberg Biodiversität und Klima Forschungszentrums in Frankfurt am Main. „Derartige Modellprojekte sind notwendig, hilfreich und inspirierend“ (siehe auch Interview auf Seite 48).

Phytosquene zählt zu den Next Generation Solutions von Evonik, also Produkten mit einem überragenden Nachhaltigkeitsnutzen. Diese Eigenschaft hat in der Pharmabranche stark an Bedeutung gewonnen. Doch die Herstellung des neuen, pflanzlichen Rohstoffs stellte die Forscher von Evonik zunächst vor einige Herausforderungen – zum Beispiel, eine extrem hohe Reinheit zu gewährleisten. Die Lösung wurde gemeinsam mit der Verfahrenstechnik entwickelt und besteht aus einer

vorgeschalteten Klärung des Öls in Kombination mit einem chromatografischen Verfahren. Dies ermöglicht einen Aufbereitungsprozess, der nicht nur wirtschaftlich ist, sondern die Produktion von Squalen in einer Reinheit von 99 bis 100 Prozent gewährleistet. Am Standort Dossenheim bei Heidelberg stellt Evonik das Konzentrat nun in dieser herausragenden Pharmaqualität her.

„Auch das bei der Klärung entstehende Restöl ist noch ein wertvoller natürlicher Rohstoff“, erklärt Jaber, „ich bin zuversichtlich, dass wir dafür eine sinnvolle Verwendung finden werden.“ Phytosquene ist Teil des Portfolios von Produkten nicht tierischen Ursprungs, die Evonik in den vergangenen Jahren eingeführt hat. Ein weiteres Beispiel ist Phytochol, ein Cholesterin auf Pflanzenbasis,

Innerhalb von zwei Jahren gelang es dem Team, Phytosquene als erste pflanzenbasierte Alternative in Pharmaqualität auf den Markt zu bringen.



das bei der Herstellung von mRNA und Gentherapeutika sowie in der Zellkultur verwendet werden kann. Auch das Kollagen Vecollan, das mittels Fermentation hergestellt wird und sich für medizinische Anwendungen eignet, enthält keine tierischen oder menschlichen Materialien. Ein anderes pflanzliches Kollagen, allerdings für den Pflegebereich, ist Vecollage.

Mit diesen Produkten eröffnen sich neue Möglichkeiten für Veganer oder Menschen, die aus kulturellen oder religiösen Gründen keine Arznei- oder Pflegemittel mit tierischen Bestandteilen verwenden wollen. Jedes pharmazeutische Produkt muss bereits heute einen Hinweis enthalten, ob die darin enthaltenen Wirkstoffe tierischen oder pflanzlichen Ursprungs sind. „Wo immer wir tierische Produkte durch pflanzliche oder biotechnologisch hergestellte Produkte ersetzen können, tun wir das“, sagt Thomas Riermeier, Leiter der Business Line Health Care, „damit tragen wir zur Erhaltung der biologischen Vielfalt bei und sorgen gleichzeitig für maximale Konsistenz, Qualität und Reinheit des Produkts.“

### ZUVERLÄSSIGER BOOSTER

Der Bedarf an Squalen in der Pharmabranche ist groß: Es verstärkt die Wirkung von Medikamenten und die Immunreaktion von Impfstoffen. Als sogenanntes Adjuvans ermöglicht es eine niedrigere Dosierung, was mögliche Nebenwirkungen begrenzt. Allerdings kann es bei Squalen aus tierischen Quellen zu Qualitätsproblemen kommen. Da Haie in der Regel am Ende der Nahrungskette stehen, reichern sich in ihrer Leber Giftstoffe an, zum Beispiel Methylquecksilber. Dieser Stoff kann das Nervensystem schädigen, warnt das Umweltbundesamt. Zudem variiert die Zusammensetzung des tierischen Squalens von Charge zu Charge, was zu einer schwankenden Qualität des Endprodukts führt.

Das von Evonik verwendete Amarantöl hingegen ist von gleichbleibend hoher Qualität und frei von Quecksilberrückständen. „Das Produkt muss außerdem die gleichen Spezifikationen erfüllen wie Squalen tierischen Ursprungs“, sagt Rima Jaber, „zum Beispiel die Anforderungen der europäischen Arzneibücher.“ Darin sind die Standards aller 47 Mitgliedstaaten des Rats von Europa für Arzneimittel und deren Inhaltsstoffe festgehalten.

Intensiv geforscht wird derzeit am Einsatz von Squalen in mRNA-Impfstoffen. Erste Versuche ergaben, dass ihre Beigabe die Haltbarkeit erhöht. Dies wäre ein großer Fortschritt speziell für Länder, in denen die temperaturempfindlichen Impfstoffe nicht durchgehend gekühlt werden können.



Mit einem leichten Gelbton kommt das aufbereitete Amarantöl aus der Verfahrenstechnik in Marl.

In der Krebsforschung wird ebenfalls intensiv an der Nutzung von Squalen bei mRNA-Therapien gearbeitet. „Die ersten Ergebnisse sind hochinteressant“, sagt Jaber. Am Evonik-Standort in Vancouver (Kanada), wo an Lipidnanopartikeln für mRNA-Impfstoffe und -Therapien geforscht wird, arbeiten Wissenschaftler nun an der Verwendung von pflanzlichem Squalen mit neuen Formulierungen. Jaber ist „zuversichtlich, dass wir auch bei künftigen Lösungen Squalen aus tierischen Quellen durch Phytosquene ersetzen können“.



**Christoph Bauer** ist Journalist. Er arbeitet in der Kommunikationsabteilung von Evonik.

# »Die Ziele müssen messbar sein«



Ökosysteme sind weltweit bedroht. Katrin Böhning-Gaese, Direktorin des Senckenberg Biodiversität und Klima Forschungszentrums, hält eine Umkehr jedoch für möglich – unter strikten Voraussetzungen.

INTERVIEW CHRISTOPH BAUER & BERND KALTWASSER

**Frau Böhning-Gaese, sie waren kürzlich am Kilimandscharo. Wie ist es um die Biodiversität an Afrikas höchstem Berg und seinen schmelzenden Gletscher bestellt?**

Gletscher sind für die Biodiversität und die Menschen nicht zentral. Wichtig ist die Vegetation auf dem Berg. Wir haben dort eine trockene, heiße Landschaft. Wenn da kein Berg wäre, gäbe es nur ein paarmal im Jahr Niederschlag. Der Kilimandscharo generiert Steigungsregen. Die Bäume und Büsche, Flechten und Moose melken sozusagen die Wolken – und das ist wichtig für die Gewinnung von Wasser. Inzwischen leben 1,4 Millionen Menschen auf dem Berg und drumherum.

**Wie können Wälder so viele Menschen versorgen?**

Das Besondere am Kilimandscharo sind die „Chagga Homegardens“. In diesen Baumgärten wachsen Bananenbäume, unterhalb von ihnen Kaffeepflanzen, und wiederum darunter gedeiht Gemüse. Die Bananenblätter werden auf die Erde gelegt, verhindern so das Austrocknen und Abschwemmen des Bodens und geben Nährstoffe zurück. Da steht auch mal eine Kuh, es gibt Schweine und Hühner. Gleichzeitig hat man große Regenwaldbäume stehen lassen. Daraus entsteht eines der nachhaltigsten und an Biodiversität reichsten Systeme, die wir kennen. Am Berg können Menschen sich gesund und nachhaltig ernähren. Das wäre ein Modell für viele Gebiete Afrikas.

**In weiten Teilen der Welt ist das Bewusstsein für Klimaschutz und den Erhalt der Natur nur sehr schwach ausgeprägt. Woran liegt das?**

Die Menschen müssen verstehen, dass Klimawandel mit Biodiversitätsverlust zusammenhängt. Es geht darum zu erkennen, was für den Schutz von Klima und Biodiversität getan werden muss. Fast jede Natur-schutzmaßnahme ist auch eine Klimaschutzmaßnahme, aber nicht jede Klimaschutzmaßnahme dient der Artenvielfalt. Denken Sie an den Anbau von Bioenergiepflanzen.

**In der Erdgeschichte gab es fünf Massenartensterben. Immer gingen dominierende Arten zugrunde. Jetzt sprechen Sie vom sechsten Massenartensterben, die dominierende Art ist der Mensch. Ist das noch zu stoppen?**

Ja, wir arbeiten beim Thema Biodiversität mit den gleichen Typen von Modellen wie in der Klimaforschung: also Zukunftsszenarien, bei denen wir verschiedene Zukünfte betrachten. Wir als Gesellschaft und in der Politik entscheiden, welchem Szenario wir folgen wollen. Wenn wir so weitermachen wie bisher, wird die Biodiversität weiter abnehmen. Aber es gibt auch ein Szenario, mit dem wir die Kurve kriegen.

**Das würden wir gern kennenlernen.**

Um die Biodiversität bis 2030 zu stabilisieren und bis 2050 sogar ansteigen zu lassen, brauchen wir drei Maßnahmenpakete: erstens große Schutzgebiete, die gut gemanagt sind, und eine Renaturierung von Ökosystemen, zweitens eine nachhaltige und produktive Landwirtschaft und drittens eine Änderung im Konsum, nämlich weniger Lebensmittelverschwendung und eine stärker pflanzenbasierte Ernährung. Wird das alles umgesetzt, dann erholt sich die Biodiversität und kann sogar ansteigen.

**2022 gab es beim Weltnaturgipfel COP15 einen Durchbruch: Die Staatengemeinschaft verabschiedete im kanadischen Montreal ein Rahmenabkommen, wonach 30 Prozent der Erdoberfläche bis 2030 unter Schutz gestellt werden sollen. Kann das gelingen?**

Grundsätzlich schon. In Deutschland sind wir nah dran. Wir sind allerdings miserabel darin, den Schutz auch gut umzusetzen. Der Nationalpark Wattenmeer zum Beispiel ist einzigartig auf der Welt. Aber dort wird legal in der Kernzone Fischerei mit Grundschleppnetzen betrieben. In manchen Ländern des globalen Südens sind die Herausforderungen kleiner als bei uns, weil sie mit einer geringeren Bevölkerungsdichte zu tun haben. Brasilien hätte, wenn es seine großen Wälder schützen würde, locker das 30-Prozent-Ziel erreicht.

**In der Vergangenheit haben wir viele Ziele nicht erreicht. Lag die Latte womöglich zu hoch?**

Wenn sich die Politik keine ehrgeizigen Ziele setzt, hat man schon verloren. Der nächste Schritt ist, diese Ziele messbar zu machen, sodass sie eingefordert werden können. Hier sind wir schon besser geworden: Die Ziele des Montreal-Abkommens sind häufiger quantitativ als früher. Es gibt auch mehr Konsens in der Öffentlichkeit und den Medien darüber, dass man mehr →



machen muss. Wir können Gesetzesänderungen oder ein Umlenken der Subventionen nur durchsetzen, wenn es diesen gesellschaftlichen Rückhalt gibt.

**In der Landwirtschaft erleben wir, dass die Politik Vorschriften rasch zurücknimmt, wenn nur laut genug protestiert wird.**

200 Bauern mit 200 Treckern – das sieht immer nach viel Widerstand aus. Aber ich glaube, das Renaturierungsgesetz der EU, mit dem bei uns das 30-Prozent-Ziel erreicht werden soll, wird durchkommen. Anders als etwa das Pestizidgesetz, das zu eng gefasst und nicht gut durchdacht war. Aber auch wenn Landwirte gegen manche Maßnahme protestieren, müssen wir sehen, dass sich etwa Ökolandverbände für Renaturierung starkmachen. Die Landwirtschaft ist ein wichtiger Schlüssel: Weltweit werden drei Viertel der Ackerflächen für Tierfutter verwendet. Würde sich der Tierkonsum halbieren, wäre sehr viel Fläche frei.

**Also freie Felder für die Industrie?**

Nein, Ziel für die Industrie muss die Kreislaufwirtschaft sein: reduce, reuse, recycle. Das heißt, dass Biomasse nicht angebaut und dann verbrannt wird, sondern dass Abfallstoffe ganz anders verwendet werden. Die Förderung der Bioenergie hat die falschen Anreize gesetzt: Da wurden wunderbare Wiesen umgegraben, um Energiemais anzubauen. Wir müssen genau schauen, dass wir diesmal eine Strategie verfolgen, die uns nicht wieder auf die Füße fällt. Werden nachwachsende Rohstoffe in die chemische Wertschöpfung eingebracht, ist das etwas anderes, als sie in den Tank zu stecken und nach Bruchteilen von Sekunden wieder in die Luft zu blasen.

**Wie profitiert die Wirtschaft denn von mehr Artenvielfalt?**

Im aktuellen Bericht des World Economic Forum steht, dass für die nächsten zehn Jahre fünf Umweltrisiken zu den größten Bedrohungen für die Wirtschaft zählen. Biodiversität und der Kollaps der Ökosysteme sind auf Platz drei hochgerutscht. Auf Platz eins liegen Wetterextreme, dahinter kritische Veränderungen des Erdsystems. Sieht man es von der negativen Seite her, kann man formulieren: There is no business on a dead planet. Positiv betrachtet können sich Unternehmen, die jetzt in Biodiversität investieren, Marktvorteile verschaffen, denn die Regulatorik wird dies bald ohnehin verlangen.

**Können Industriestandorte überhaupt fair miteinander konkurrieren? So vorteilhaft grüner Strom in der EU sein mag – mit dem Fracking-Gas in den USA kann er preislich nicht mithalten.**

Da ist die Politik gefragt. Die Europäische Union führt jetzt Berichtspflichten für Unternehmen ein. Sie müssen künftig die Größe ihres Fußabdrucks in mehreren Umweltdimensionen belegen – von der Biodiversität und dem Schutz von Ökosystemen bis hin zur Kreislaufwirtschaft.

**Führt das zum gewünschten Ziel? Die Chemieproduktion wächst derzeit vor allem in China.**

Über die Lieferketten-Richtlinie haben wir zumindest ein Instrument, das in andere Länder hineinreicht. Wollen chinesische Anbieter in Europa Geschäfte machen, müssen sie nachweisen, unter welchen Bedingungen ihre Produkte hergestellt wurden. Vielleicht wird es noch dauern, bis die Wichtigkeit der Biodiversität auch in Peking erkannt wird. Die chinesische Bevölkerung hat jedoch erlebt, was passiert, wenn Wirtschaftsförderungspolitik Naturbelange völlig ausblendet. Es führt zu einer unglaublichen Luftverschmutzung oder zu Staubstürmen, die die Städte belasten. Hier hat China mittlerweile sehr ehrgeizige Pläne durchgesetzt.

**Was wünschen Sie sich von der Wirtschaft?**

Unternehmen sind zwar Teil des Problems, sie sind aber auch Teil der Lösung. Durch strengere Berichtspflichten wird das Ambitionsniveau höher gelegt. Unterm Strich sollten Unternehmen einen positiven Einfluss auf die Biodiversität haben. Das würde das Geschäftsmodell in die richtige Richtung treiben. In der Lebensmittelbranche setzen Unternehmen bereits auf Tierwohl oder auf ein stark pflanzenbasiertes Sortiment – weil die Verbraucher das nachfragen.

**Wie lange wird es dauern, bis wir eine Trendwende spüren oder wenigstens messen können?**

Wer einen Garten naturnah umgestaltet, bemerkt den Unterschied in wenigen Jahren. Dasselbe gilt für die Landwirtschaft. Beim Wald kann das länger dauern: In Tansania wird gerade versucht, in einer ausgedörrten und zum Teil versalzten Savanne ein großes Naturschutzgebiet einzurichten. Die Bäume wachsen langsam, weil es relativ trocken ist – aber es gibt schon wieder die ersten Impala- und Zebraherden. Sie sehen: Es kann schnell gehen. —

# VIelfALT ERHALTEN

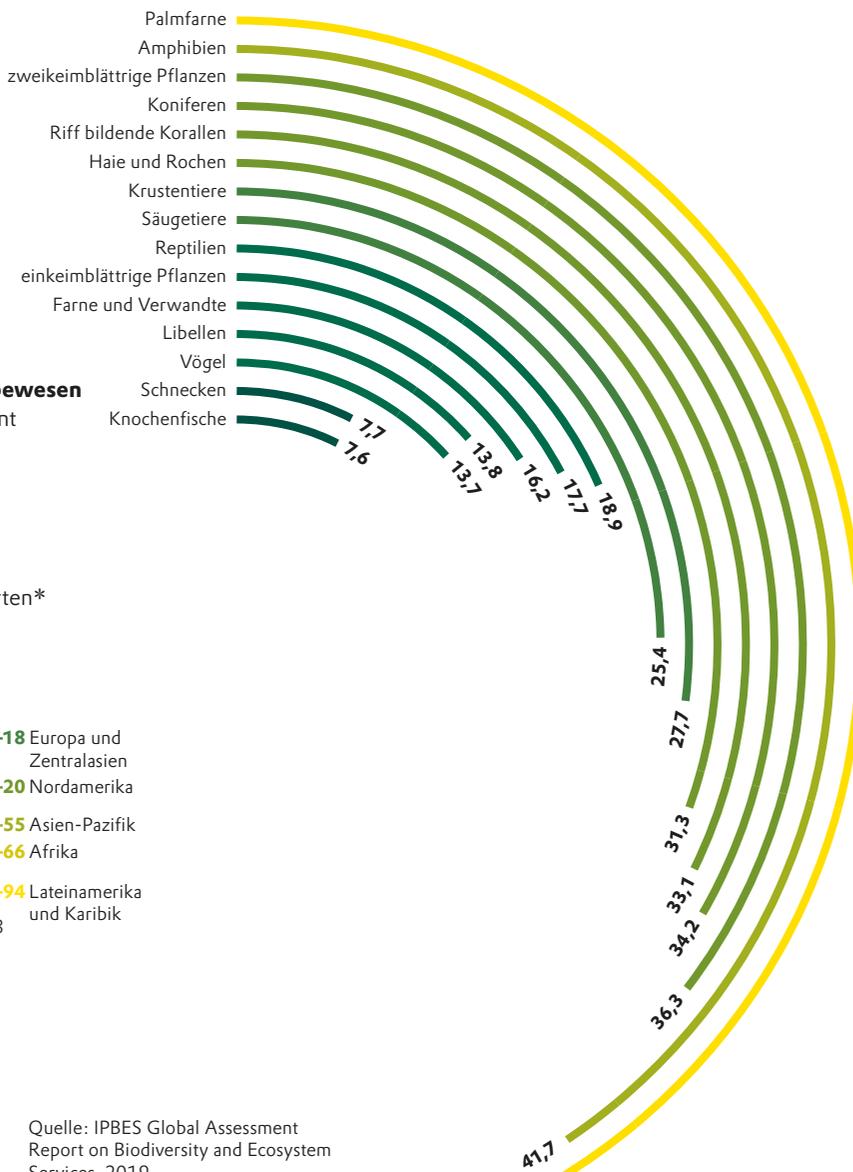
insgesamt benötigte Mittel

967

Beinahe eine Million Arten sind in den kommenden Jahrzehnten vom Aussterben bedroht. Welche Gruppen sind besonders gefährdet? Und was wird dagegen unternommen? Ein Überblick in Zahlen

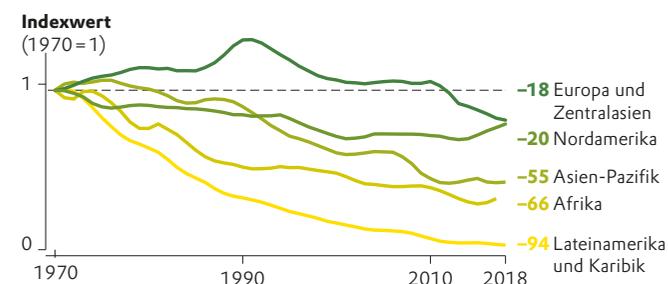
INFOGRAFIK MAXIMILIAN NERTINGER

**So gefährdet sind verschiedene Gruppen von Lebewesen**  
Geschätzter Anteil bedrohter Spezies 2019, in Prozent



**Wo Arten besonders unter Druck stehen**

Entwicklung der Populationsgrößen von Wirbeltierarten\* gemäß Living Planet Index, in Prozent

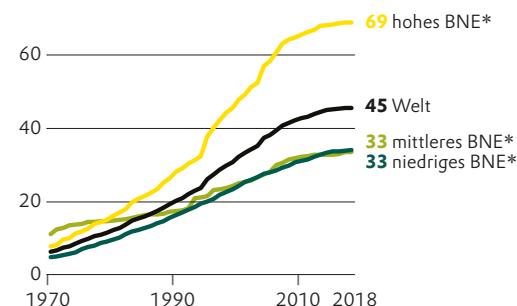


\* 31.821 Populationen und 5.230 Arten  
Quelle: WWF/ZSL Global Living Planet Index, 2022

Quelle: IPBES Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services, 2019

**Reiche Länder tun sich leichter ...**

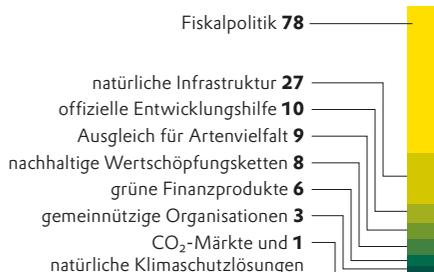
Anteil von Schutzgebieten an besonders biodiversen Flächen, in Prozent



\* Bruttonationaleinkommen pro Kopf; hoch, mittel, niedrig nach Einschätzung der Weltbank  
Quelle: IPBES Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services, 2019

**Es fließen hohe Summen in den Schutz der Biodiversität ...**

Geschätzte Ausgaben (Obergrenzen) für den Erhalt der Artenvielfalt 2019, in Milliarden US-Dollar



Summendifferenz durch Rundungen  
Quelle: A. Pinzón, N. Robins, M. McLuckie, G. Thoumi, 2020

**... doch es bleibt eine große Lücke**

Geschätzte jährliche Ausgaben und benötigte Mittel (Obergrenzen) 2019, in Milliarden US-Dollar



Gleiches Aussehen, unterschiedliche Genaktivität? Eineiige Zwillinge liefern Epigenetikern wertvolle Erkenntnisse über die Veränderung des Erbguts im Laufe unseres Lebens.

# UNGLEICHES PAAR



Obwohl sie genetisch identisch sind, entwickeln sich eineiige Zwillinge unterschiedlich. Warum das so ist, erforscht die Epigenetik – und liefert damit Ansätze, durchs Erbgut bedingte Erkrankungen zu heilen.

TEXT **BJÖRN THEIS**

**E**ineiige Zwillinge haben die Menschen seit jeher fasziniert. In vielen Kulturen galten sie lange Zeit als nicht ganz menschliche Wesen, die entweder Segen oder Unglück ankündigen. Dank der Naturwissenschaften wissen wir, dass an ihnen nichts Magisches ist – und dennoch stellten sie die Genetik lange vor ein Rätsel: Wenn die Regeln der Vererbung gelten, wie kann es dann sein, dass ein eineiiger Zwilling eine Erbkrankheit wie Diabetes entwickelt, während der andere ungehindert Muffins isst, obwohl beide identische Erbinformationen haben?

Erste Antworten lieferten Hungerkatakstrophen. Epidemiologische Studien zeigten vor einigen Jahren, dass Enkel von Männern, die in ihrer Kindheit Hunger litten, seltener an Diabetes oder Herzkrankheiten erkrankten als Enkel von Männern, die nie hungerten. Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass erlebte Umwelteinflüsse einen Einfluss auf die Erbinformationen haben könnten.

#### LARVE ODER KÖNIGIN

Welche enormen Auswirkungen Umwelteinflüsse auf die Entwicklung nehmen, zeigt auch das Beispiel der Honigbienen. Alle Larven haben das genetische Potenzial, zur Königin heranzuwachsen, aber nur die Larve, die Gelée royale als Nahrung erhält, entwickelt sich zur Regentin. Es muss also einen Mechanismus geben, der je nach Nahrung Gene an- oder abschaltet. Der Zweig der Biologie, der sich auf die Suche nach diesen Mechanismen macht, wird Epigenetik genannt – das

griechische Präfix „epi“ bedeutet „hinzu“ oder „über“. Damit fasst der Begriff die Forschung zu vererbaren Veränderungen der Genaktivität ohne Veränderung der Basensequenz des Erbguts zusammen.

Im Fokus der jungen Disziplin stehen derzeit vor allem zwei epigenetische Mechanismen. Zum einen die Methylierung: Hierbei überdeckt eine sogenannte Methylgruppe, bestehend aus einem Kohlenstoff- und drei Wasserstoffatomen, Stellen auf einem DNA-Strang. Die Folge: Die Gene können nicht abgelesen werden. Der zweite Schalter ist die Histonacetylierung. Ein menschlicher DNA-Strang ist vollständig entfaltet etwa zwei Meter lang. Damit er in unsere Zellen passt, ist er im sogenannten Histonkomplex verpackt. Sollen Informationen ausgelesen werden, wird nicht der Strang ganz entfaltet, sondern die Histonverpackungen werden an der benötigten Stelle geöffnet. Beide Mechanismen sind reversibel.

Bei eineiigen Zwillingen hat sich gezeigt, dass sich solche epigenetischen Markierungen in der Jugend kaum unterscheiden. Mit zunehmendem Alter werden die Geschwister sich aber epigenetisch immer unähnlicher. Das Leben hinterlässt also molekular-

biologische Spuren in unseren Zellkernen und beeinflusst, welche Gene an- und welche abgeschaltet werden. Möchte man die Entwicklung eines Organismus verstehen, muss man daher nicht nur das Genom, sondern auch das Epigenom, also die Gesamtheit aller epigenetischen Strukturen, betrachten.

#### DAS ENDE VON ALZHEIMER?

In den Epigenomen von Mensch und Tier verbirgt sich wertvolles Wissen. Es wird davon ausgegangen, dass man künftig dank epigenetischer Anwendungen zahlreiche Erkrankungen frühzeitig erkennen, Heilungsprozesse beschleunigen und genetisch bedingte Krankheiten einfach abschalten kann. Daher könnte die Epigenetik für die Medizin ein Gamechanger sein.

Gut, dass die Creavis mit Forscherteams in Deutschland und Singapur bereits in der Epigenetik tätig ist. Das Ziel der Teams ist es, relevante epigenetische Informationen schnell und günstig auslesbar zu machen. Auch das Foresight-Team wird die Zukunft der Epigenetik ausloten. Denn wer weiß, vielleicht verbirgt sich ja gerade hier der richtige Schalter, um Alzheimer oder Diabetes endlich ihren Schrecken zu nehmen. —



**Björn Theis** leitet die Abteilung Foresight der Evonik-Innovationseinheit Creavis.



# »Ohne Schwefel gäbe es kein Leben«

PROTOKOLL RANA SEYMEN  
FOTOGRAFIE LILY WANG PHOTO LLC

Patricia Nadeau ist Geologin am Hawaiian Volcano Observatory. Es befindet sich auf Big Island in Sichtweite des Vulkans Mauna Loa. Die Forscherin ist spezialisiert auf die Untersuchung vulkanischer Gase.

**D**er Atem eines Vulkans ist stickig, beißend und schwefelig. Einen Hauch dieses Geruchs nehmen wir beim Frühstück wahr: Wenn wir ein gekochtes Ei öffnen, wird nämlich eine schwefelhaltige Aminosäure freigesetzt. Schwefel riecht nicht nur intensiv, er ist eines der Grundelemente des Lebens auf der Erde. Ohne Schwefel könnten wir keine Aminosäuren produzieren, die Bausteine von Proteinen. Auch die Bildung von Vitaminen wie Biotin und Thiamin verdanken wir dem Element.

Für mich sind Vulkane spektakuläre Manifestationen der Natur. Ihre Explosionskraft entsteht durch die Ausdehnung eingeschlossener Gase, während das Schmelzgestein aufsteigt. Die Gase bestehen vor allem

aus Wasserdampf, Kohlendioxid, Chlorwasserstoff und Schwefeldioxid. Als Vulkanologin überwache ich hier auf Hawaii zusammen mit dem örtlichen Observatorium den Ausstoß von Schwefeldioxid. 0,000.5 Gramm in einem Kubikmeter Luft sind bereits giftig und können die Atemwege reizen. Die regelmäßige Kontrolle der Grenzwerte ermöglicht Einblicke in die Aktivität des Vulkans. Damit sollen die Auswirkungen auf die Umwelt und die Gesundheit der Menschen minimiert werden.

Meine Faszination für Vulkane hat mich zum Mauna Loa auf Hawaii gebracht. Die Menschen hier bezeichnen den Vulkan als lebende Seele, die die Insel formt und verändert. Ihm wird etwas Magisches zugesprochen. Trotz seiner Gefahren wird er als göttlicher Segen angesehen und mit Ehrfurcht behandelt.

Ich bin mir bewusst, dass meine Arbeit nicht ohne Risiken ist. Jederzeit kann ein Ausbruch stattfinden, und mein Team und ich müssen schnell handeln, um uns und andere zu schützen. Doch was ich tue, ist für mich eine Leidenschaft und eine Berufung, die ich nicht missen möchte. Ich bin fasziniert von der Schönheit und Kraft der Vulkane und möchte dazu beitragen, dass die Menschen auf Hawaii sicher leben können.

# Impressum

---

**HERAUSGEBER** Evonik Industries AG | Matthias Ruch | Rellinghauser Straße 1–11 | 45128 Essen | **BERATUNG UND KONZEPT** Manfred Bissinger | **CHEFREDAKTION** Jörg Wagner (V. i. S. d. P.) | **CHEF VOM DIENST** Inga Borg, Bernd Kaltwaßer | **TEXTCHEF** Christian Baulig | **REDAKTION** Pauline Brenke | **BILDREDAKTION** Nadine Berger | **LAYOUT** Wiebke Schwarz (Art Direction), Pearl Elephant (Grafik) | **ANSCHRIFT DER REDAKTION** KNSK Group | Holstenwall 6 | 20355 Hamburg | **DRUCK** Linsen Druckcenter GmbH, Kleve | **COPYRIGHT** © 2024 by Evonik Industries AG, Essen. Nachdruck nur mit Genehmigung der Agentur. Der Inhalt gibt nicht in jedem Fall die Meinung des Herausgebers wieder. Fragen zum Magazin ELEMENTS: Telefon +49 201 177-3315 | E-Mail [elements@evonik.com](mailto:elements@evonik.com) | **BILDNACHWEISE** Titel: Tobias Wüstefeld/Die Illustratoren | S. 3 Kirsten Neumann/Evonik Industries AG | S. 4–5 Curiteva, Inc., Ramon Haindl/Shooting Shade, Rainer Häckl | S. 6–9 Gerd Günther, Getty Images, KNSK GROUP, Dr Adriana Sierra-Romero, Abhishek Singh/Viticulture and Enology, UC Davis | S. 10–17 Images provided by Curiteva, Inc., Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit privater Fotovorlage | S. 18–19 Infografik: Maximilian Nertinger | S. 20–23 Frank Preuß/Evonik Industries AG | S. 24–31 Rainer Häckl (6), Evonik Industries AG; Infografik: Maximilian Nertinger; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Stefan Eisenburger | S. 32–33 Illustration: Henrik Abrahams | S. 34–41 Ralfik D/stock.adobe.com, Imago Images/Panthermedia, Getty Images, Andrzej\_67/stock.adobe.com, Akg-images/euroluftbild.de | S. 42–47 Getty Images, Aga7ta/stock.adobe.com, Ramon Haindl/Soothing Shade (5), Evonik Industries AG; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Karsten Bootmann | S. 48–51 Alexander Habermehl; Infografik: Maximilian Nertinger | S. 52–53 Getty Images; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Karsten Bootmann | S. 54 Lily Wang Photo LLC

[elements.evonik.de](https://elements.evonik.de)

# »Die Dinge sind nie so, wie sie sind ...

... sie sind immer das, was man aus ihnen macht«, soll der französische Dramatiker Jean Anouilh (1910–87) gesagt haben. Die Heldinnen und Helden seiner Stücke wie »Antigone« stehen meist mutig zu ihren Idealen und verfolgen konsequent ihre Pläne.

Kunststoff wirkt banal. Er ist jedoch weit mehr als nur ein Alltagsprodukt für Einkaufstüten und Getränkeflaschen. Dank beharrlicher Weiterentwicklung durch Forscher und Entwickler kommen Hochleistungskunststoffe heute in der Raumfahrttechnik ebenso zum Einsatz wie in der Elektromobilität oder in der Medizin. ELEMENTS zeigt, was man aus dem Werkstoff macht.