

# ELEMENTS

Forschen. Wissen. Zukunft.



## Grauer Star

**Wie Beton nachhaltiger wird → S. 10**

**Katalyse: Mehr Effizienz bei der Reaktion von Stoffen → S. 44**

**Synbiotika: Influencer im Darm → S. 28**

# Beton

Belastbares Baumaterial

---

Beton setzt sich aus Zement, Wasser und mineralischem Zuschlag zusammen. Von Mörtel unterscheidet er sich in der Körnung: Mörtel hat eine Korngröße von bis zu vier Millimetern, groberes Material heißt Beton. Er wird in der Regel auf der Baustelle angemischt oder in flüssigem Zustand angeliefert und härtet vor Ort aus. In diesem ausgehärteten Zustand hält das Material grundsätzlich hohen Belastungen stand. Wie druckfest es ist, wird durch den Wasserzementwert bestimmt. Damit er höhere Zugkräfte aushält, benötigt Beton zusätzliche Bewehrungen – meist aus Stahl, zunehmend aber auch aus Glas, Kohlefaser oder Textil. Für besonders tragfähige oder komplexe Bauwerke wird spezieller Hochleistungs- beziehungsweise Ultrahochleistungsbeton verwendet.

---

**Betonzuschlag** Gemenge aus Sand und (natürlichem oder künstlichem) Gestein

**Wasserzementwert (w/z-Wert)** gibt das Verhältnis von Wasser und Zement an

**Ultrahochleistungsbeton (UHPC)** Betonsorte mit hoher Dichte und Festigkeit, deren Formulierung aus einem starken Bindemittelanteil, wenig Wasser, speziellen Bewehrungen und Additiven besteht



## LIEBE LESERINNEN UND LESER,

Beton ist der wichtigste Baustoff der Welt. Er hat viele grandiose Eigenschaften – und eine richtig miese CO<sub>2</sub>-Bilanz. Acht Prozent der Kohlendioxidemissionen weltweit entfallen auf Beton. Wer diesen Wert senken will, hat grundsätzlich zwei Optionen: Beton ersetzen, wo es geht, zum Beispiel durch Holz. Oder den Baustoff besser und nachhaltiger machen. Für die erste Option plädiert leidenschaftlich Stephan Birk von der Technischen Universität München im Streitgespräch ab Seite 22. Für die zweite Option gibt es Evonik. Unsere Forscher haben Mittel und Wege gefunden, um Beton langlebiger und nachhaltiger zu machen. Wo genau sie ansetzen und welche Rolle dabei Bakterien spielen, berichten wir ab Seite 10.

Um Mikroorganismen kümmert sich auch Heike tom Dieck. Die Ernährungswissenschaftlerin erkundet den Zusammenhang zwischen Darmgesundheit und allgemeinem Wohlbefinden. Dramatische 90 Prozent aller Krankheiten hängen zusammen mit den winzigen Organismen im Verdauungstrakt. Wie sogenannte Synbiotika dort künftig für unsere Fitness kämpfen sollen, erklären wir ab Seite 28.

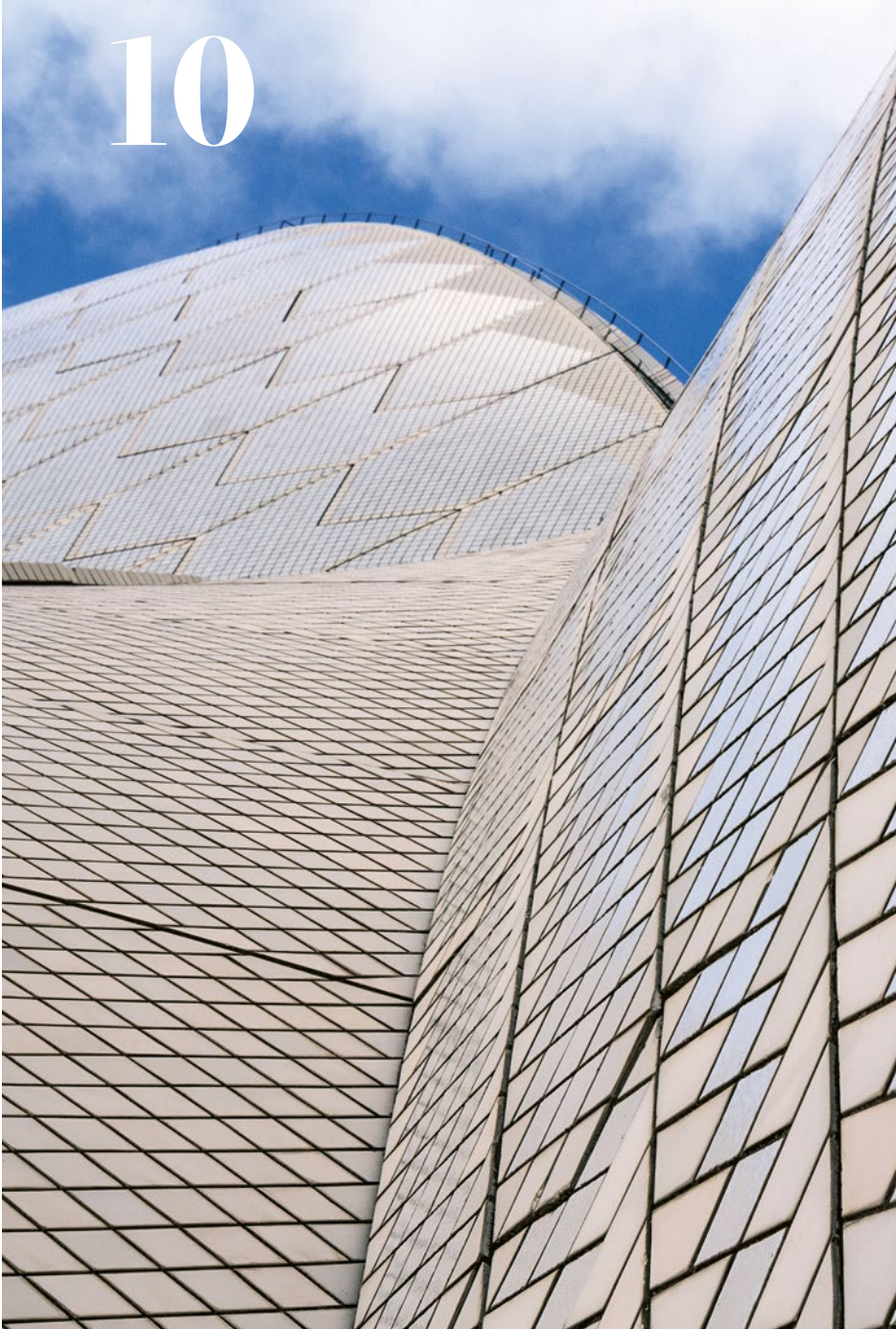
Und dann wäre da noch der Torre del Gombito, ein Turm aus dem 13. Jahrhundert in der Altstadt von Bergamo. Was der mit Spezialchemie zu tun hat, müssen Sie schon selbst herausfinden: in der Bilderstrecke über das Evonik-Land Italien ab Seite 36.

Ich wünsche Ihnen eine erkenntnisreiche Lektüre.

**Matthias Ruch**  
Chefredakteur

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

# 10



Ohne Beton wären spektakuläre Bauwerke wie das Opernhaus in Sydney nicht möglich. Nun geht es darum, den Baustoff nachhaltiger zu machen.

## BETON

### 10 **Fortschritt am Bau**

Stabil, günstig, leicht zu verarbeiten – diese Eigenschaften haben Beton weltweit zum Baustoff Nummer eins gemacht. Zugleich ist er für einen großen Teil des globalen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes verantwortlich. Weltweit arbeiten Wissenschaftler an Verbesserungsmöglichkeiten, zum Beispiel Additiven, die die Lebensdauer von Beton verlängern

## DATA MINING

### 15 **Zement-Zahlen**

Ein Überblick über Produzenten, Handelspartner und Preisentwicklung

## PORTRÄT

### 20 **Unternehmerin im Unternehmen**

Wie Forscherin Sarah Hintermayer die Idee des selbstheilenden Betons zum Erfolg führte

## STREITGESPRÄCH

### 22 **»Wir brauchen einen disruptiven Wandel in der Bauwirtschaft«**

Wie können wir künftig bauen, ohne das Klima zu schädigen? Welche Baustoffe sollten wir nutzen? Und was bringt die Einlagerung von CO<sub>2</sub> in unterirdischen Speichern? Ein Schlagabtausch zwischen der Materialwissenschaftlerin Karen Scrivener und dem Architekten Stephan Birk

Zur Erforschung des Mikrobioms nutzen die Evonik-Experten das Modell eines Hühnerdarms.

**MIKROBIOM**

**28 Gemeinsame Sache**

Millionen Bakterien sorgen für ein Gleichgewicht im menschlichen Darm. Biotechnologen und Ernährungswissenschaftler arbeiten an einer Systemlösung für Produkte, die das Mikrobiom bei seiner Arbeit unterstützt

SCHAUBILD

**34 Einsatz im Darm**

Wie Probiotika und Synbiotika das Verdauungssystem beeinflussen

**KATALYSE**

**44 Aus zwei mach eins**

Chemische Reaktionen erfordern oft riesige Anlagen und aufwendige Reinigungsprozesse. Katalytische Membranreaktoren, wie sie im Gemeinschaftsprojekt MACBETH entwickelt werden, sollen dies ändern



28



Der neue MACBETH-Reaktor könnte große Aufreinigungsanlagen wie diese in Marl überflüssig machen.

- 6 START-UP  
Die Software von Element Analytics erschafft „digitale Zwillinge“ von Chemieanlagen
- 8 PERSPEKTIVEN  
Neues aus Wissenschaft und Forschung
- 36 EVONIK-LAND  
**Italien**  
Eine Bilderreise zu historischen Bauten, Formel-1-Rennen und Modehighlights
- 50 FORESIGHT  
**Mahlzeit von morgen**  
Trends in der Ernährungsforschung
- 52 IN MEINEM ELEMENT  
**Aluminium**  
Die Dortmunder Torwartlegende „Teddy“ de Beer über die Stabilität von Fußballtoren
- 53 IMPRESSUM

## REAL ODER DIGITAL?

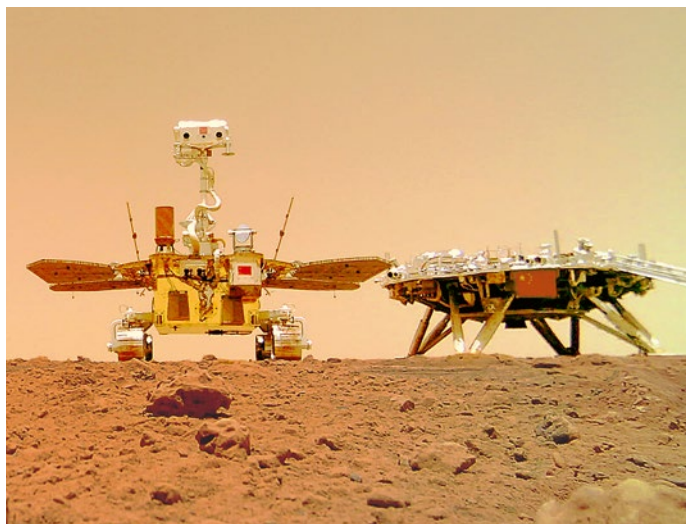
Der „digitale Zwilling“ ist ein virtuelles Abbild der Wirklichkeit. So wie sich in dieser Illustration aus unzähligen animierten Lichtpunkten und Schaltkreisen vor dem Auge des Betrachters das Bild einer Großstadt von oben ergibt, basiert auch der digitale Zwilling auf keiner fassbaren Materie. Er besteht vielmehr aus Daten, die in ein Vorhersagemodell münden. Auf diese Weise baut das US-Start-up Element Analytics, an dem Evonik seit verganginem Jahr beteiligt ist, Produktionsanlagen virtuell nach, mit allen Maschinen, die den Betrieb am Laufen halten. Evonik erhält so zum Beispiel eine digitale „Zwillingspumpe“, mit deren Hilfe sich präzise vorhersagen lässt, wann die reale Pumpe in der Chemieanlage ausfallen wird. Somit können die Techniker frühzeitig eingreifen – ganz analog.



# Galaktischer Schmierstoff

Im Weltraum stoßen konventionelle Öle und Fette an ihre Grenzen. Jetzt haben Forscher eine Alternative gefunden.

Bei Schmiermitteln denkt man zumeist an Öle und Fette für den Einsatz in Automotoren oder auf Fahrradketten. Aber auch die beweglichen Teile eines Marsrovers müssen gleitfähig bleiben. Konventionelle Substanzen kommen unter den extremen Bedingungen des Weltraums an ihre Grenzen. Nicht so die Trockenschmierstoffe, die ein Forscherteam der Technischen Universität Wien nun untersucht hat: sogenannte MXene. Sie bestehen aus ultradünnen Titan- und Kohlenstoffschichten, die sich gegeneinander verschieben lassen und so Abrieb verhindern. Ihre besondere Struktur macht

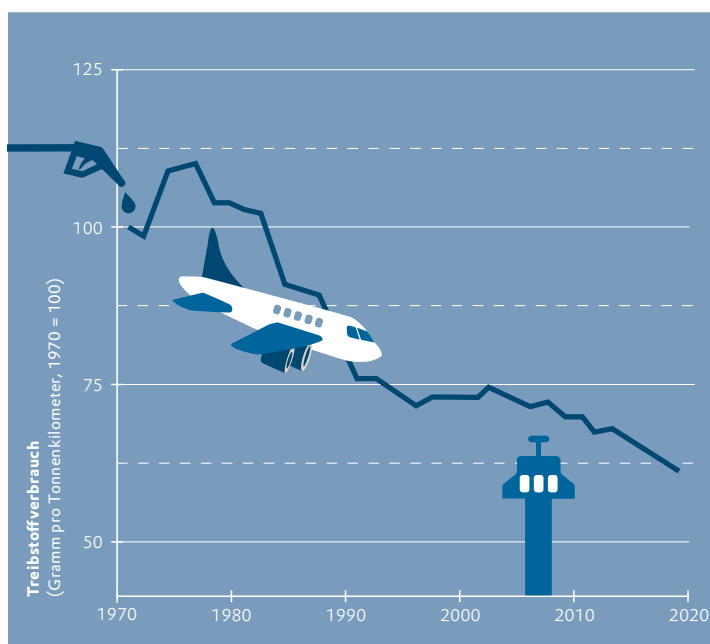


Der chinesische Rover Zhurong rollt seit Mai über den Mars. Herkömmliche Schmierstoffe würden wegen der dünnen Atmosphäre verdampfen.

MXene enorm hitzebeständig, weshalb sie etwa in der Stahlindustrie eingesetzt werden können, wo unter hohen Temperaturen produziert wird. Oder eben im All, wo sie nicht aufgrund des Vakuums verdampfen, sondern weiter Höchstleistungen erbringen.

BESSER IST DAS

## Economy Class



Beim Klimaschutz spielt der Flugverkehr eine wesentliche Rolle. Eine wichtige Stellschraube ist die Reduzierung des Treibstoffverbrauchs. Die gute Nachricht: Der Verbrauch neuer Flugzeuge pro Tonnenkilometer ist in den vergangenen fünf Jahrzehnten weltweit um rund 40 Prozent gesunken. Ein Grund sind effizientere Antriebstechnologien, ein anderer der zunehmende Einsatz leichter und zugleich hochstabiler Bauteile.

Quelle: ICCT

# 69.000

TERAWATTSTUNDEN

Strom könnten laut einer Analyse des Fraunhofer-IEE jährlich erzeugt werden, wenn alle technisch und wirtschaftlich geeigneten Standorte in der Welt genutzt würden, um grünen Wasserstoff aus Solar- und Windstrom zu gewinnen. Das entspricht rund 40 Prozent des weltweiten Energiebedarfs.

## EIN ELEKTROLYT ...

... ermöglicht die Herstellung von Feststoffbatterien, die künftig so lange halten könnten wie Stromspeicher aus Lithium. Ein Forscherteam aus Berlin, München und Jülich hat nun eine wichtige Entdeckung gemacht: Werden die im Elektrolyten enthaltenen Kristalle erhitzt, bilden sie an der Außenfläche eine Nanoschicht, die die Ladung von einem Kristall zum nächsten transportiert. Die Schichten können so gestaltet werden, dass Kurzschlüsse verhindert werden und die Lebensdauer der Batterie somit steigt.



# Ladung gegen Viren

Ein neuer Kompositwerkstoff soll im Kampf gegen Krankheitserreger im Trinkwasser helfen.

Winzige Krankheitserreger im Trinkwasser stellen die Entwickler von Filtertechnologien vor große Herausforderungen. Das nur knapp 70 Nanometer kleine Rotavirus ist beispielsweise einer der häufigsten Erreger von Magen-Darm-Infekten, vor allem in Entwicklungsländern. Herkömmliche Wasserfilter sind oft wirkungslos gegen die kleinen Schädlinge. Ein Team der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) und

des Wasserforschungsinstituts Eawag in der Schweiz hat nun ein Filtersystem aus speziellen Kompositwerkstoffen entwickelt, die die Miniviren binden können. Der Schlüssel zur Lösung ist die elektrische Ladung: Während die Werkstoffe eine positiv geladene Oberfläche haben, sind die Viruspartikel in den meisten Fällen negativ geladen und heften sich daher an das Material – der anschließende Filtereffekt ist dann ganz und gar positiv.

## MENSCH & VISION



»Holzabfall ist eine sehr gute Quelle für Biokraftstoff«

### DER MENSCH

Carolina Barcelos wollte als kleines Mädchen Tierärztin werden – so wie viele in diesem Alter. Anders als die meisten Kinder fand die Brasilianerin in der Schule auch Gefallen an Mathematik und Naturwissenschaften: „Was mich anzog, war die Lösung ganz konkreter Probleme“, sagt sie heute. Als junge Frau studierte sie Verfahrenstechnik in Rio de Janeiro und promovierte zur Umwandlung von Zuckerhirse in Bioethanol. Von da an wurde das Recycling von Biomasse zum zentralen Thema ihrer Forscherlaufbahn.

### DIE VISION

Barcelos will Klima und Wälder gleichermaßen schützen – durch das Recycling von Holzabfall. „Bis 2050 stehen jährlich ungefähr 38 Millionen Tonnen trockener holziger Biomasse bereit“, sagt sie. „Das ist eine sehr gute Quelle für die Produktion nachhaltiger Kraftstoffe wie Ethanol.“ Dafür entwickelte das Team um Barcelos ein besonders effizientes Verfahren. Als Rohstoff kamen landwirtschaftliche Abfälle und Totholz aus Wäldern zum Einsatz. Nützlicher Nebeneffekt: Würde dieses Holz in größeren Mengen zu Biosprit umgewandelt, könnte dies das Waldbrandrisiko senken.

## GUTE FRAGE



»Warum können Bakterien Plastikmüll im Meer auffressen, Herr Dr. Deines?«

Bakterien sind wahre Anpassungskünstler und besiedeln alle Lebensräume auf der Erde. Das Besondere an ihnen ist, dass sie verschiedene Substrate als Kohlenstoffquelle, sprich Nahrung, nutzen können – grundsätzlich auch Plastik. Dabei profitieren sie, ähnlich wie menschliche Zellen, von der Arbeitsteilung in einer Gemeinschaft. Genau dieses Prinzip wollen wir bei unserem Forschungsansatz nutzen: Statt wie bisher besonders gute Einzelkämpfer zu suchen, isolieren wir ganze Gemeinschaften aus der Umwelt, etwa dem Ozean. Dann züchten wir die Bakterien so, dass sie Plastik deutlich effizienter recyceln, als es ihnen im Alleingang möglich wäre. Daher ist diese Art von biologischem Recycling ideal für den Einsatz in der Umweltbiotechnologie.

*Dr. Peter Deines, Biologe am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, ist Hauptautor einer Studie zum Abbau von Kunststoffen durch Bakterien.*

Intakt dank Bakterien: Dem Beton für  
diese Prismen wurden Mikroben  
beigemengt, die Risse verschließen.



# HEILENDE WÄNDE

TEXT TOM RADEMACHER

Beton ist der wichtigste Baustoff der Welt. Zugleich belastet er das Klima wie kaum ein anderes Produkt. Forscher in aller Welt arbeiten daran, die CO<sub>2</sub>-Bilanz des Materials zu verbessern, indem sie die Zusammensetzung optimieren. Zum Beispiel mit Bakterien, die feine Risse im Beton selbstständig füllen und so die Lebenszeit von Bauwerken verlängern.

**W**enn Dr. Anke Reinschmidt den Clou von WallCraft erklärt, bittet sie Besucher, ganz nah an den Betonklotz heranzutreten, der im hintersten Winkel ihres Essener Labors an einem Faden baumelt. Erst dann ist die dünne weiße Linie zu erkennen, die das Objekt durchzieht. „Hier sieht man, wo der Prüfkörper zerbrochen war und jetzt wieder zusammengefügt ist“, erklärt die Chemikerin. Um zu beweisen, wie fest der Riss gekittet ist, hat ihr Team einen Eimer Sand an den Klotz gehängt. Wobei der Begriff „kitten“ in die Irre führt. Spezielle Bakterien, die dem Rohbeton zugefügt wurden, haben den Riss durch ihre Stoffwechselreaktion selbstständig verfüllt – ganz ohne menschliches Zutun.

Die Rezeptur für den Zusatz namens WallCraft stammt von Evonik und soll bald auf den Markt kommen. „Das Additiv verbindet klassische Bauchemie mit moderner Biotechnologie“, sagt Reinschmidt. Sie ist Technische Direktorin der Anwendungstechnik und des Technical Service for Construction bei Evonik. Die Bakterien in dem braunen Pulver lassen sich einfach in Mörtel oder Zement mischen. Dort ist es für die Mikroben derart ungemütlich, dass sie in ihrem Sporenstadium verharren. Diese Art Winterschlaf lässt sie theoretisch ewig überdauern. Erst wenn Wasser in den Beton ein-

dringt, etwa über einen feinen Spannungsriss im Bauteil, erwachen die Mikroben zu neuem Leben und erzeugen über ihren Stoffwechsel Calciumcarbonat. Dieser Kalkstein füllt den Riss von selbst wieder, die Wasserquelle versiegt, und die Bakterien entschlummern erneut – bis zum nächsten Wasserschaden.

Eine Entwicklung, auf der nicht nur bei Evonik große Hoffnungen ruhen. Schließlich ist es wirtschaftlich und ökologisch ein wichtiger Schritt, wenn Betonbauten sich selbst heilen können und damit deutlich länger bestehen. Doch das Problemfeld ist viel größer als die kleinen Bakterien. Und es beginnt beim immensen Bedarf an frischem Beton. Das Material und sein wichtiger Bestandteil Zement sind allgegenwärtig, die weltweite Nachfrage steigt Jahr für Jahr – auf zuletzt über vier Milliarden Tonnen. →



Seit Jahrzehnten arbeitet Evonik-Chemikerin Anke Reinschmidt an Zusätzen, die Beton und Mörtel besser machen. Die neueste Rezeptur mit Bakterien hat sie zusammen mit Biotechnologen im Konzern entwickelt.

## DREI-SCHLUCHTEN- TALSPERRE CHINA

Die Drei-Schluchten-Talsperre staut den Jangtsekiang in der Provinz Hubei. Für den Bau der 2,3 Kilometer langen und bis zu 150 Meter hohen Staumauer wurden zwischen 1995 und 2006 fast 27 Millionen Kubikmeter Beton verarbeitet.



Seine schlechte Klimabilanz bringt den Baustoff aber zunehmend in Verruf. Auf dem Weg zum nachhaltigeren Bauen muss sich Beton daher neu erfinden. Dabei spielt Bauchemie eine große Rolle. Nicht nur, um das Material wie bisher leistungsfähiger zu machen, sondern eben auch umwelt- und klimafreundlicher.

Der größte Makel des Betons liegt in erster Linie im Zement. Bei der Produktion des Bindemittels, das vermischt mit Wasser und Zuschlagstoffen wie Sand oder Kies erst Beton entstehen lässt, werden große Mengen Kohlendioxid freigesetzt. Die Zementindustrie allein ist weltweit verantwortlich für acht Prozent der menschengemachten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Der Klimateffekt variiert stark, je nach Art der Produktion. In Deutschland liegt er im Schnitt bei 590 Kilogramm CO<sub>2</sub> pro Tonne Zement, in anderen Ländern noch deutlich höher.

### SANDRAUB AN STRÄNDEN

Schuld daran ist vor allem Klinker – Hauptbestandteil jedes Zements. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um gebranntes Kalkgestein. Das gemahlene Gestein wird dafür auf 1.450 Grad Celsius erhitzt (siehe Infografik auf Seite 16). Neben der enormen Energiemenge, die hierfür erforderlich ist, trägt auch die chemische Reaktion, die sich beim Brennen vollzieht, zu den gewaltigen Treibhausgas-Emissionen bei: Beim Umwandeln von Calciumcarbonat (CaCO<sub>3</sub>) in Calciumoxid (CaO) bleibt CO<sub>2</sub> übrig. Das ist ein nicht zu änderndes Naturgesetz.



Im Labor werden Belastungsrisse provoziert, die sich dank WallCraft wieder von selbst verschließen.

Um den Kohlendioxidausstoß zu verringern, setzen einige Forscher darauf, Klinker durch andere Stoffe zu ersetzen, zum Beispiel gemahlene Schlacke aus Hochöfen der Roheisenproduktion, Flugasche aus Abgasfiltern von Kohlekraftwerken oder natürliche Gesteinsarten. Während herkömmlicher Portlandzement 95 Prozent Klinker enthält, liegt der Durchschnitt aller Zementarten in der EU bei knapp 74 Prozent. Die Internationale Energieagentur (IEA) prognostiziert, dass der Klinkeranteil in den kommenden Jahren weiter Richtung 60 Prozent sinken wird. Neu entwickelte Rezepturen drücken ihn mithilfe klimafreundlicher Substitute heute schon unter 50 Prozent.

# »Mit langlebigem Beton können wir Emissionen stark reduzieren.«

MAGNUS KLOSTER, LEITER DES  
MARKTSEGMENTS BAUINDUSTRIE BEI EVONIK

Der immer weiter wachsende Betonhunger der Welt bringt aber nicht nur den Ausstoß von Klimagasen mit sich. Er verschlingt auch große Mengen an Ressourcen – allen voran Sand, Wasser, Stahl und Energie. Weil glatt geschliffener Wüstensand nicht zum Betonieren taugt, wächst der illegale Raubbau an Flussbetten und Stränden. „Die verwendeten Sande werden immer schlechter“, sagt Reinschmidt. Um Beton trotzdem in hoher Qualität mischen zu können, braucht es passende Zusatzstoffe. Das Recycling von Beton kann dazu beitragen, Zement und Klimagase einzusparen. Auch hier helfen dann Additive, die gewohnte Performance im Bau zu gewährleisten.

## LÖSUNGEN FÜR EINE KONSERVATIVE BRANCHE

„Wir lösen Probleme, das haben wir schon immer getan“, sagt Reinschmidt. Die Forscherin hat den Betonadditiven ihre Karriere gewidmet. Vor 20 Jahren befasste sie sich in ihrer Doktorarbeit damit, nach Stationen in den USA und Südamerika verschlug es sie schließlich ins Labor nach Essen. Dort testet Evonik eine Vielzahl von Additiven, die Beton besser machen. In Kombination mit Entschäumern von Evonik sorgen zum Beispiel Fließmittel dafür, dass er mit weniger Wasser angemischt werden kann, dadurch härter wird und sich dennoch bis ins oberste Stockwerk der höchsten Wolkenkratzer pumpen lässt. Schwindreduzierer mindern die Neigung von Betonteilen, sich beim Aushärten zu verformen oder zu reißen. Luftporenbildner stellen sicher, dass sich →

## Beton – ein Jahrtausendealter Baustoff

In früheren Zeiten muss der Baustoff fast magisch gewirkt haben: menschengemachter Stein, erst flüssig, dann für die Ewigkeit erstarrt. Bereits vor 14.000 Jahren setzten Menschen betonähnliche Materialien ein. Das Pantheon in Rom ist nicht das älteste, aber eines der beeindruckendsten Beispiele. Die mehr als 40 Meter überspannende Kuppel aus „Römischer Beton“ (lateinisch: Opus caementitium) versetzt Besucher auch knapp 1.900 Jahre nach ihrem Bau noch in Staunen. Im vorletzten Jahrhundert hat der Beton, wie wir ihn heute kennen, dann endgültig seinen Siegeszug angetreten – in Gebäuden, Brücken, Tunneln und Fahrbahndecken. Jedes Jahr werden rund 30 Milliarden Tonnen des Materials verbaut, etwa mehr als die Hälfte davon in China. Binnen zwei Jahren produziert und verbraucht das Land mittlerweile mehr Beton als die USA im gesamten 20. Jahrhundert (siehe Data Mining auf Seite 15). Andere Schwellenländer holen auf und lassen die weltweite Nachfrage weiter steigen. „Beton hat erheblich dazu beigetragen, dass viele Millionen Menschen der Armut entkommen sind“, sagt Dr. Karen Scrivener, Materialchemikerin und Leiterin des Labors für Baumaterialien an der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (siehe hierzu auch das Streitgespräch ab Seite 22). „Und das muss weitergehen, weil Menschen die Chance haben müssen, ein würdevolles Leben zu führen.“



Beim Bau des zwischen 125 und 128 nach Christus fertiggestellten Pantheons in Rom wurde „Römischer Beton“ genutzt, für den je nach Einsatzort im Gebäude Basalt, Ziegel, Tuff- oder Bimsstein als Zuschlag verwendet wurden.

PANTHEON  
ITALIEN



## BAUHAUS DEUTSCHLAND



Mit Beton hatte der Architekt Walter Gropius bereits vor Errichtung des Bauhaus-Gebäudes in Dessau experimentiert. Nach Fertigstellung 1926 avancierte die Betonkonstruktion mit der Vorhangsfassade aus Glas zur Ikone des Neuen Bauens.



Im Labor testen die Bauchemiker von Evonik neue Rezepturen in streng genormten Verfahren.

Luftblasen in exakt der richtigen Menge und Größe im Beton verteilen. „Zu viel oder zu wenig Luft im Beton oder eine ungleichmäßige Verteilung schaden dem Bauteil“, so Reinschmidt. Und Hydrophobierungsmittel verhindern, dass Wasser in das ausgehärtete Material eindringt. Sie helfen damit, Gebäude vor Witterungseinflüssen zu schützen, und machen sie haltbarer. Das sollen künftig auch die Bakterien von WallCraft – nur eben aktiv und noch länger.

„Gerade wo neu gebaut wird, haben wir die Chance, über die Zeit mit langlebigerem Beton Emissionen zu reduzieren“, erklärt Magnus Kloster. Er leitet bei Evonik Interface & Performance das Marktsegment für die Bauindustrie. Zuvor war er lange bei einem führenden Zulieferer für den Betonbau beschäftigt. „Wenn zum Beispiel Autobahnbrücken 60 statt 50 Jahre durchhalten, spart das langfristig immense Mengen an Material und CO<sub>2</sub>-Ausstoß.“ Selbstheilender Beton hätte das Zeug dazu, den Verbrauch des Baumaterials stark zu reduzieren. „Vor allem in Schwellen- und Entwicklungsländern, wo Betonrecycling zum Teil gar

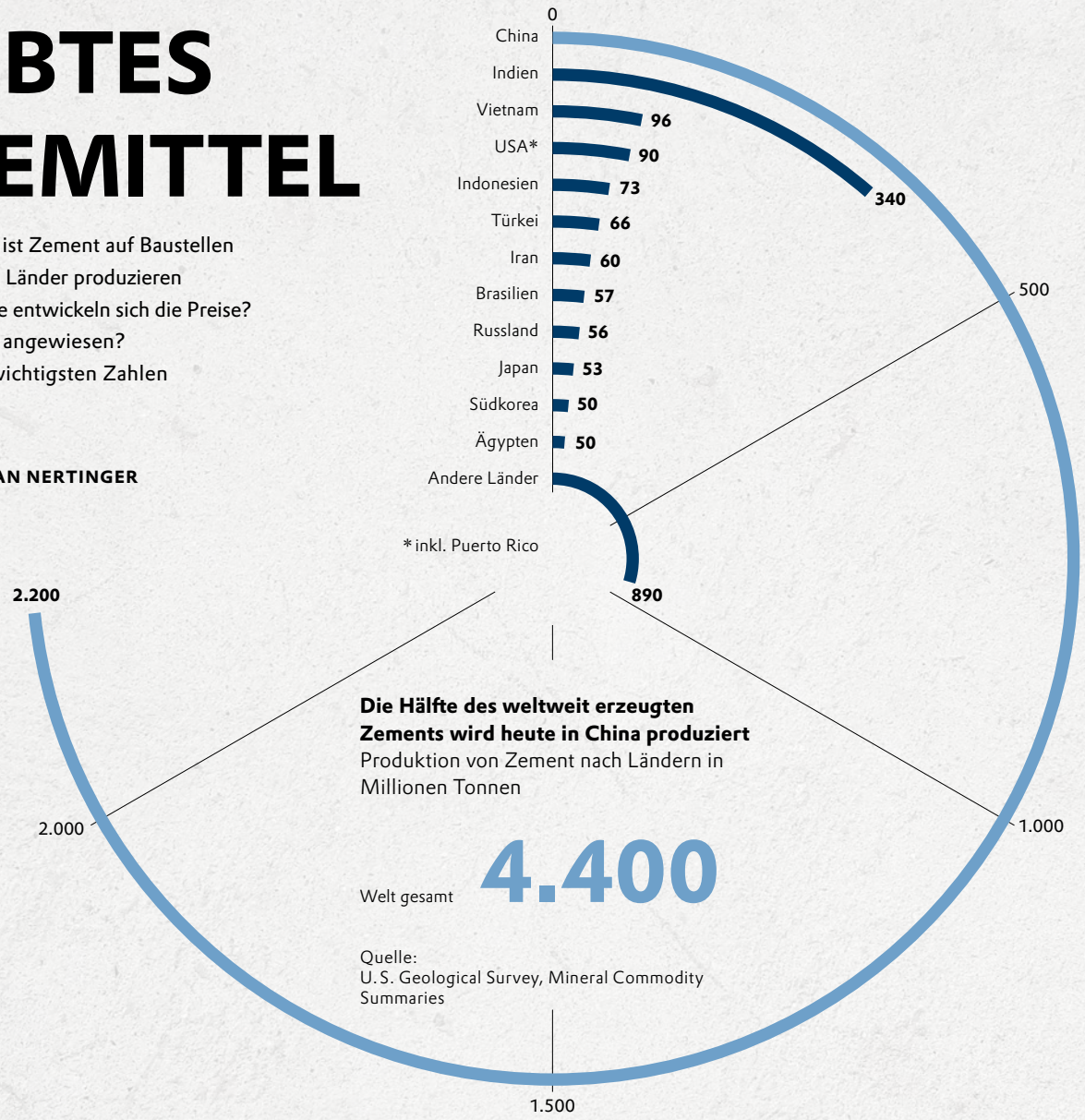
nicht wirtschaftlich möglich ist, auch weil vieles dort zum ersten Mal gebaut wird“, so Kloster.

WallCraft zeigt, wie es geht. Reinschmidt und ihr Team haben das Phänomen unzählige Mal erprobt. Kisten voller kleiner Prüfkörper, die hier „Prismen“ heißen, stapeln sich in jedem freien Winkel des Labors. Gerade werden wieder neue hergestellt – mit genormtem Sand, in genormten Metallformen, 4 Zentimeter mal 4 Zentimeter auf 16 Zentimeter. Die Raumtemperatur hat genormte 23 Grad und konstante 50 Prozent Luftfeuchtigkeit. „In der Baubranche bleibt nichts ungenormt“, sagt Reinschmidt. Verlässlichkeit geht über alles. Geprüft wird nicht nur, wie schnell, wie fest und wie oft das Material zum Beispiel je nach Feuchtegehalt wieder zusammenwächst. „Wir untersuchen auch, wie gut sich das Produkt mit anderen Additiven weiter auf Seite 16 →

# BELIEBTES BINDEMITTEL

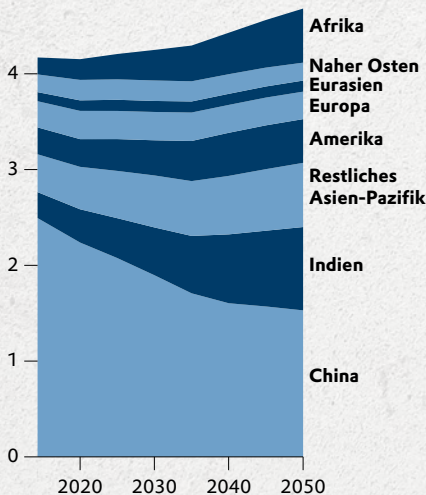
Als Grundstoff für Beton ist Zement auf Baustellen weltweit gefragt. Welche Länder produzieren die größten Mengen? Wie entwickeln sich die Preise? Und wer ist auf Importe angewiesen? Ein Überblick über die wichtigsten Zahlen

INFOGRAFIK **MAXIMILIAN NERTINGER**



## Chinas Vorsprung wird in den kommenden Jahren jedoch schrumpfen

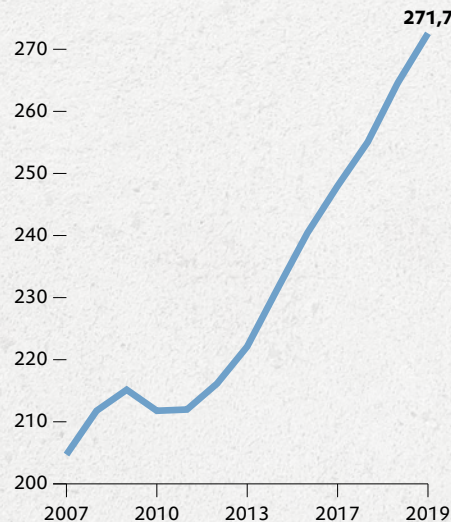
Voraussichtliche Entwicklung der Zementproduktion nach Regionen in Milliarden Tonnen



Quelle: International Energy Agency

## Wie viele Baustoffe ist auch Zement in jüngster Zeit teurer geworden

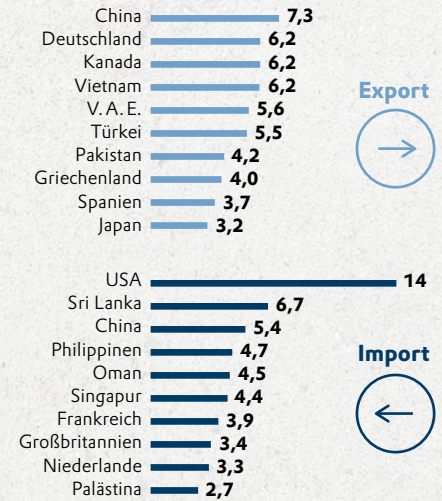
Preis für eine Tonne Portlandzement in US-\$



Quelle: Statista

## Nur ein geringer Teil der Produktion wird grenzüberschreitend gehandelt

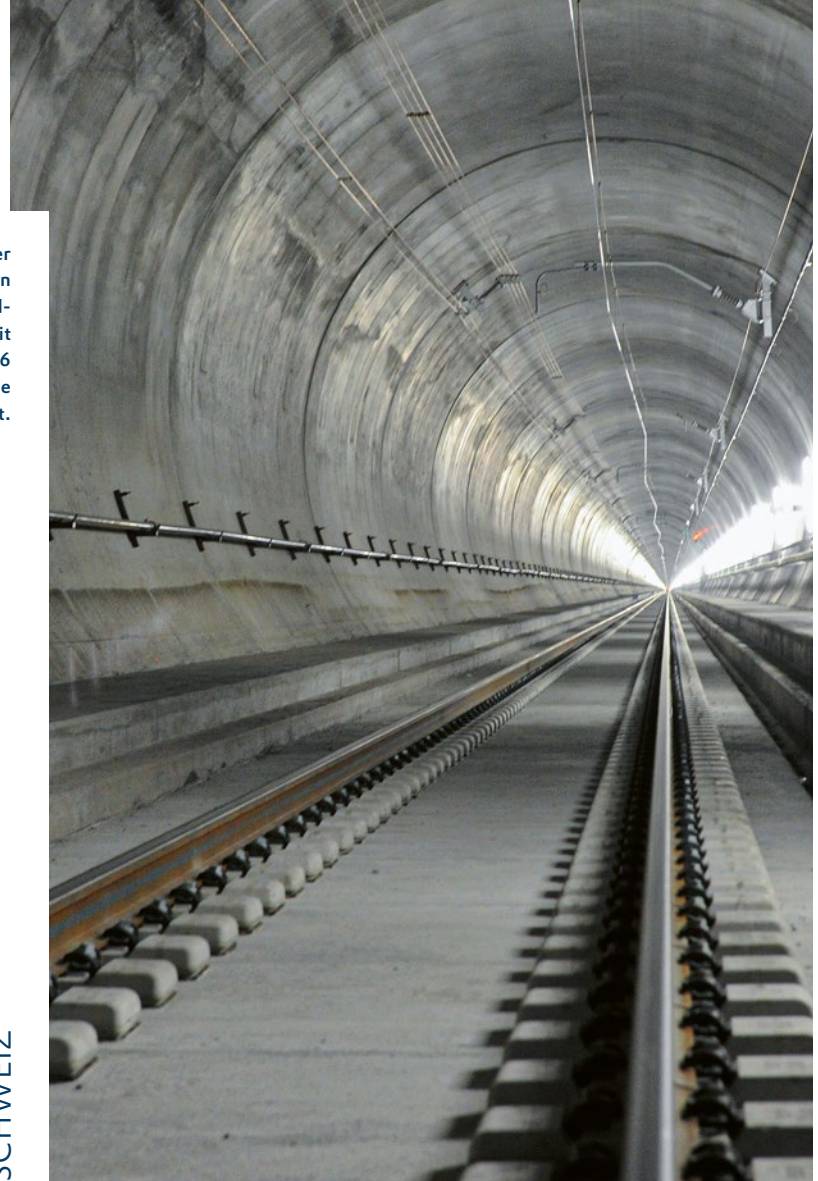
Größte Zement-Ex- und Importeure 2018 in Millionen Tonnen



Quelle: Indexbox

Vier Millionen Kubikmeter Beton wurden in den Verschalungen des Gotthard-Basistunnels verarbeitet. Mit 57 Kilometern ist das 2016 eröffnete Bauwerk der längste Eisenbahntunnel der Welt.

GOTTHARD-BASISTUNNEL  
SCHWEIZ

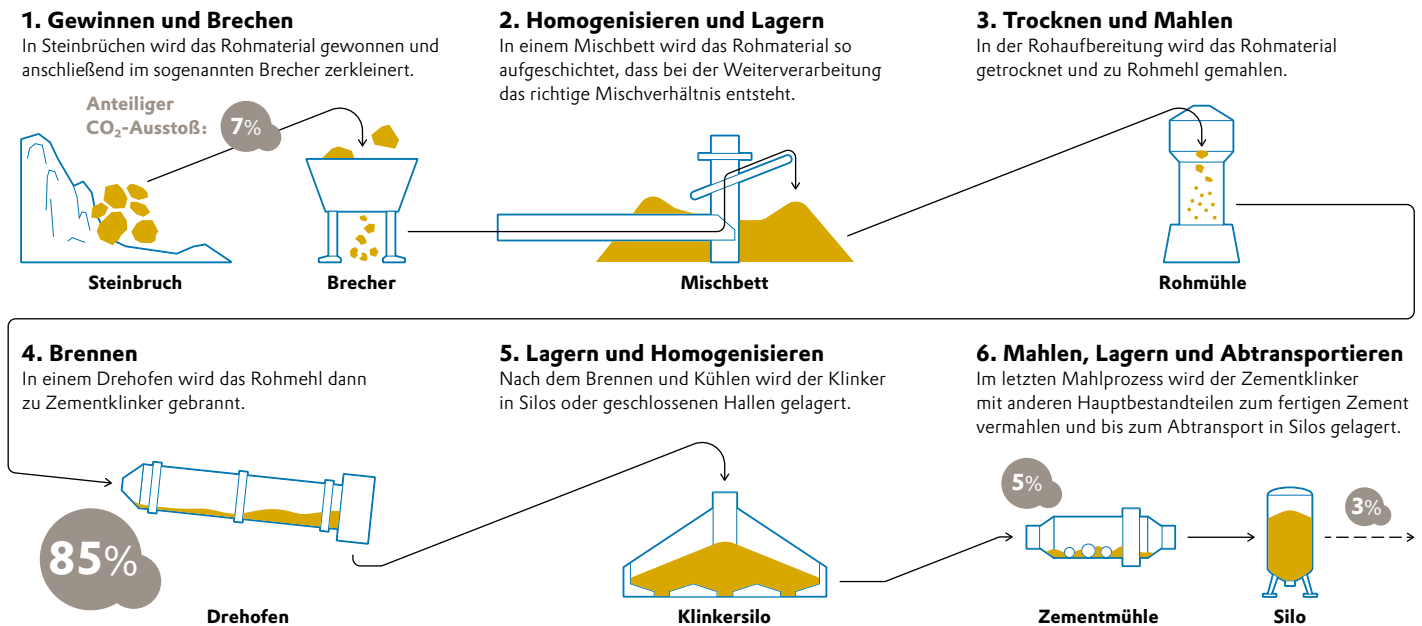


und jeder Art von Rezeptur verträglich“, erklärt Rein-schmidt. Jeder neue Werkstoff muss verlässlich funktionieren. Die Baubranche scheut Experimente, denn wenn Betonkonstruktionen bröckeln, drohen Produzenten und Verarbeitern Regressansprüche.

Am anderen Ende der Stadt finden größere und noch eindrücklichere Versuche statt. Hier untersucht Wissbau, eine Ausgründung der Uni Essen, als unabhängiger Gutachter Baumaterialien. Das Prüflabor liegt in einem aufwendig umgebauten Bauernhof aus dem 18. Jahrhundert. Im vergangenen Jahr hat Wissbau im Auftrag von Evonik große Betonwannen gegossen und bringt sie seither regelmäßig mit brachialen Kräften kontrolliert zum Reißen. Die durch feine Risse beschädigten Wannen werden mit Wasser gefüllt, das ganz allmählich durch die Risse sickert. Binnen einem Monat verschließen die Bakterien die Risse wieder, es tritt kein weiteres Wasser aus, die äußere Betonwand trocknet ab.

## Vom Stein zum Zement

Bei der Herstellung des wichtigsten Betonbestandteils wird viel CO<sub>2</sub> frei – vor allem beim Brennen.







Betonheilende Bakterien fanden Forscher in der konzerneigenen Sammlung in Halle-Künsebeck.

„Solche Risse entstehen im Beton immer wieder, sei es beim Aushärten oder später durch die Belastung“, erklärt Reinschmidt. An sich sei das nicht schlimm. Erst wenn Wasser permanent eindringt, den Bewehrungsstahl zum Rosten bringt oder sich bei Frost ausdehnt, wird das Bauteil dauerhaft geschwächt und irgendwann zerstört. „Ein Beton, der Risse von selbst kittet, schützt sich also vor schweren Schäden.“

#### AUFFÜLLEN STATT ABREISSEN

Die Idee eines selbstheilenden Betons geistert schon länger durch die Branche. Tatsächlich besitzt auch herkömmlicher Beton die Fähigkeit, kleine Risse selbst zu verschließen. Das dauert jedoch meist deutlich zu lange. Forscher an der Technischen Universität München experimentieren seit einiger Zeit mit feinen Glaskapillaren im Beton, die flüssigen Kunststoff enthalten. Brechen die Kapillaren durch Bewegungen im Beton, läuft der Kunststoff aus und verklebt etwaige Risse. Auch an Bakterien arbeiten mehrere Forscher, so etwa Teams der Uni Delft in den Niederlanden und der →

Die Oper in Sydney zählt zu den markantesten Betonbauten des 20. Jahrhunderts. Obwohl die Lebensdauer des 1973 eröffneten Gebäudes bis zu 300 Jahre beträgt, wird der Zustand des Baukörpers kontinuierlich überwacht.

OPERNHAUS SYDNEY  
AUSTRALIEN



## Schutzschild für Gebäude

Protectosil bewahrt Beton und andere mineralische Untergründe vor Umwelteinflüssen.

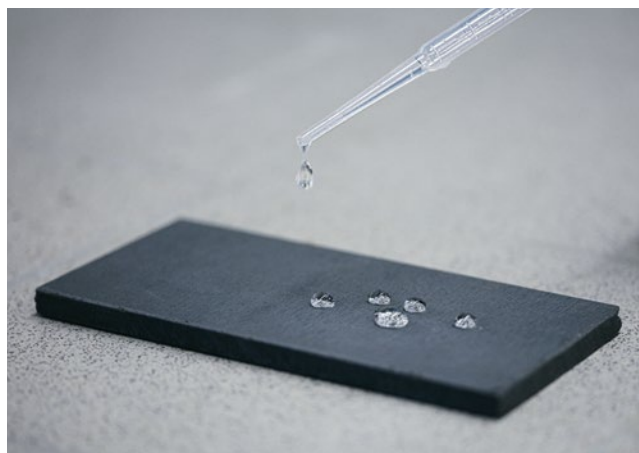
Der Louvre in Paris, das Opernhaus von Sydney oder der Times Square in New York – die Liste der Adressen beeindruckt. Überall dort trägt Evonik mit silanbasiertem Bautenschutz dazu bei, dass prägende Architektur bewahrt wird. Unter dem Markennamen Protectosil vertreibt der Spezialchemiekonzern aus Essen Anstriche und Imprägnierungen, die Beton und Putz, aber auch natürliches Gestein wie Sandstein oder Granit vor Umwelteinflüssen und Vandalismus schützen. Dafür sorgen sogenannte Organosilane, Verbindungen aus Wasserstoff, Kohlenstoff und Silizium, die das Unternehmen an mehreren Standorten weltweit herstellt. Ein besonderes Kompetenzzentrum betreibt Evonik in Rheinfelden nahe der deutsch-schweizerischen Grenze. Die vielseitigen anorganischen Partikel kommen in unterschiedlichen Industriefeldern zum Einsatz – von der Halbleiterproduktion bis hin zur Herstellung von Sprintsparreifen. Als Bautenschutz dringen die Silane tief ins jeweilige Gestein ein. Dort bilden sie eine farblose und atmungsaktive Imprägnierungsschicht. Sie lässt Luft und Dampf ungehindert austreten, verhindert jedoch das Eindringen von Feuchtigkeit oder Schadstoffen. Zusätzlich bietet sie einen effektiven Schutz vor Verschmutzungen und sogar Graffitiattacken. Mit Protectosil-Produkten lässt sich Stahlbeton zum Beispiel vor chloridinduzierter Korrosion schützen, einer der Hauptursachen für Schäden, die Brücken im Laufe der Jahre sanierungsbedürftig machen. Sie können direkt während der Bauphase verwendet werden wie im Fall der Brücke über die Hangzhou-Bucht im Osten Chinas – eine der längsten Meeresquerungen der Welt. Da sich Silan-Imprägnierungen problemlos nachträglich aufbringen lassen, kommen sie aber auch oft bei der Sanierung bestehender Bauwerke zum Einsatz.

# »Ein Beton, der Risse selbst kittet, schützt sich vor schweren Schäden.«

ANKE REINSCHMIDT, TECHNISCHE DIREKTORIN  
IN DER ANWENDUNGSTECHNIK BEI EVONIK



Der Langzeittest zeigt: Ein bakteriell gekitteter Riss hält auch starken Belastungen stand.



Effekte der Additive wie die Hydrophobierung (oben) werden in Essen tausendfach nachgewiesen. Prüfkörper stapeln sich in jeder Ecke.



Uni Gent in Belgien, die hierfür Start-ups ausgegründet haben. Bei Evonik kam die Idee 2016 im Rahmen eines konzerninternen Ideenwettbewerbs auf (siehe Porträt ab Seite 20). Den Durchbruch brachte die Vernetzung der Bauchemiker aus Essen mit den Biotechnologen in Halle-Künsebeck bei Bielefeld. Dort betreibt Evonik ihr größtes Biotech-Labor. Drei weitere befinden sich in Marl, Hanau und Schanghai. Vor Kurzem erst hat der Konzern seine gesamte Biotechnologiekompetenz organisatorisch gebündelt. Die Forscher beschäftigen sich hier mit ganz unterschiedlichen Themen – von Fermentationsverfahren für Kosmetikrohstoffe bis hin zu Synbiotika für die Darmgesundheit (siehe hierzu auch den Artikel ab Seite 28).

Für WallCraft durchsuchten die Biotechnologen zunächst ihre Mikroben-Bibliothek nach einem beton-tauglichen Organismus. Sie wurden fündig bei einem Stamm, den sie zuvor selbst in einer Umweltprobe isoliert hatten: „Die DNA und die Eigenschaften kannten wir sehr gut“, sagt Lukas Falke, der das Projekt in Halle-Künsebeck betreut.

## MIKROBEN ERSETZEN HANDARBEIT

Der ausgewählte *Bacillus-subtilis*-Stamm ist ein besonders zäher Vertreter aus der Gruppe der Heubakterien. Die sind praktisch allgegenwärtig, fühlen sich im Boden ebenso wohl wie im menschlichen Darm. Im Beton trifft der Mikroorganismus dagegen auf unwirtliche Bedin-

## BURJ KHALIFA VEREINIGTE ARABISCHE EMIRATE

Seit 2007 hält der Burj Khalifa den Rekord als höchstes Gebäude der Welt. Während der Bauzeit beförderten Spezialpumpen den Beton auf 606 Meter Höhe (bis zur Spitze auf 828 Metern reicht eine Stahlkonstruktion).



gungen. Zement ist alkalisch und entwickelt beim Aushärten Temperaturen von über 60 Grad Celsius. Doch weder die Hitze noch der lebensfeindliche pH-Wert noch die spitzen Kristalle im ausgehärteten Beton können dem WallCraft-Bakterium viel anhaben.

Zudem macht es sich bei Kontakt mit Wasser eilig über mitgelieferte Kohlenstoffquellen her. Evonik gibt den Mikroben den nötigen Proviant gleich mit auf den Weg. Die genaue Zusammensetzung ist streng vertraulich. „Neben dem Bakterienstamm, den wir zum Patent angemeldet haben, ist die Nährstoffformulierung unser wichtigstes Betriebsgeheimnis“, sagt Falke. Nur so viel: Zucker, die Leibspeise vieler Bakterien, fällt aus. Er wäre Gift für jeden Beton, da er das Abbinden stört.

Im Städtchen Gaggenau bei Baden-Baden hat Evonik den ersten experimentierfreudigen Partner gefunden, der WallCraft in der Praxis testet. Die Firma Grötz produziert hier Fertigaragen aus Beton, die per Lkw zum Kunden geliefert werden. Weniger Risse im Beton sind für das Unternehmen ein gutes Verkaufsargument, zumal sich im Praxistest zeigte, dass WallCraft außerdem die Bildung von Fehlstellen min-

dert. Diese entstehen beim Aushärten an den Oberflächen und in den Ecken der Schalung und müssen nachträglich mit der Kelle verfüllt werden. Weil die mühsame Handarbeit wegfällt, macht sich der Einsatz von WallCraft schon beim Betonieren bezahlt.

Künftig soll das Material mit Mikroben weltweit zum Einsatz kommen: nicht nur in Garagen, sondern auch in Wohnblöcken, Brücken, Dämmen und vielem mehr. So könnte es einen wichtigen Beitrag dazu leisten, dass der Universalbaustoff Beton weiterhin eine große Zukunft vor sich hat. —



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



Im Herbst 2016 trat Sarah Hintermayer ihren Job als Prozessingenieurin bei Evonik an. Wenige Wochen später leitete sie das Team, das das Konzept eines selbstheilenden Betons zur Marktreife brachte.

# DIE TREIBENDE KRAFT

Eine gute Idee allein reicht nicht – es braucht immer auch eine Person, die sich dafür einsetzt. So wie Sarah Hintermayer, die das Projekt WallCraft entscheidend vorangetrieben hat.

TEXT NICOLAS GARZ

**K**urz vor Weihnachten 2016 nimmt Sarah Hintermayers berufliche Laufbahn eine neue Richtung: Die damals 28-Jährige trifft sich mit ihren Kollegen in Hanau zum Brainstorming, es geht um einen Beitrag der Abteilung Bioverfahrenstechnik für den Global Ideation Jam – jenen Wettbewerb, bei dem Evonik es dem Siegerteam ermöglicht, ein eigenes Geschäft aufzubauen, ähnlich einem Start-up.

Die Kollegen diskutieren eine Idee nach der anderen. Auch Hintermayer präsentiert einen Vorschlag, bei dem es um das Recycling von Beton geht. Die Resonanz ist gut, jedoch setzt sich ein anderer Ansatz durch: Beton, der sich mithilfe von Bakterien selbst heilt (mehr dazu ab Seite 10). „Ich habe sofort gemerkt, dass dieser Vorschlag ausgereifter ist als meiner“, erinnert sich Hintermayer. „Also habe ich angeboten mitzuwirken.“

Schnell wird mehr daraus als Mitwirkung. Alle Anwesenden in Hanau wissen: Damit eine gute Idee erfolgreich sein kann, braucht es immer eine Person, die für sie einsteht, ihr Stimme und Gesicht verleiht. Einen Menschen, der viel Geduld und Disziplin mitbringt, aber auch die notwendige Leidenschaft, um andere zu überzeugen. Gesucht wird eine Gründerpersönlichkeit.

#### IN DER PROBEZEIT ZUR INTRAPRENEURIN

Zu diesem Zeitpunkt arbeitet Hintermayer erst seit wenigen Wochen bei Evonik. Zuvor hat sie in München studiert und promoviert, der Job als Prozessingenieurin ist ihr erster in der freien Wirtschaft. Aber Sarah Hintermayer ist alles andere als eine schüchterne Berufsanfängerin: „Tief in meinem Herzen bin ich eine kleine Rampensau“, sagt sie und lacht. „Wenn ich etwas durchdrungen habe, fällt es mir zudem leicht, komplizierte Sachverhalte verständlich zu erklären. Das ist wichtig, wenn man Menschen begeistern will.“

Es ist einer ihrer Vorzüge, die die Kollegen davon überzeugen, dass Sarah Hintermayer die Richtige für den Job als Intrapreneurin ist – als Unternehmerin im Unternehmen. Von nun an laufen die Vorbereitungen für den Ideation Jam auf Hochtouren: Bis zum Sommer muss das Konzept stehen, und zwar so konkret wie möglich. Über Monate hinweg bereitet sich das Team akribisch vor, so manches Wochenende fällt dem Projekt zum Opfer, das mittlerweile auf den Namen WallCraft hört. Die Mühe lohnt sich: Das Team überzeugt die Jury und gewinnt den Ideation Jam 2017.

Hintermayer ist nun Gründerin auf Zeit: Zwölf Monate lang darf sie WallCraft im Unternehmen vorantreiben, als einziges Teammitglied in Vollzeit. Als Hauptverantwortliche bestimmt sie mit jeder Entscheidung über Erfolg oder Misserfolg. Dabei macht

sie vieles zum ersten Mal: Wie bereitet man einen Kundenpitch vor? Wie stellt man einen erfolgreichen Businessplan auf? „Solche Herausforderungen finde ich spannend“, sagt sie. „Wenn ich ins kalte Wasser geschmissen werde, lerne ich am meisten.“

#### BUSINESS MEETINGS UND BAKTERIENSTÄMME

In ihre neue Rolle wächst Hintermayer rasch hinein. Sie koordiniert alle Abläufe und erhält ein eigenes Budget. „Zum ersten Mal konnte ich jeden Schritt selbst entscheiden. Zugleich war mir jederzeit bewusst, was Sinn und Ziel des Ganzen sind – ein großartiges Gefühl.“ Zwischen Business Meetings und Networking experimentiert sie an Betonmischungen und Bakterienstämmen. Nach einem knappen Jahr dann der Durchbruch: Der erste Prototyp ist fertig – ein unscheinbarer, grauer Klotz, der beweist, dass Beton sich selbst heilen kann.

Die Nachricht macht schnell die Runde im Konzern. Mit Folgen: Hintermayer erhält die Chance, an WallCraft weiterzuarbeiten, jetzt bei der Business Line Interface & Performance sowie der Innovationseinheit Creavis. In den Folgemonaten macht sie ihre Geschäftsidee fit für den Markt. Irgendwann kommt jedoch der Moment, in dem sie innehält und sich überlegt, wie es weitergehen soll. „Für mich ist es am wichtigsten, dass ich mich voll auf ein Projekt fokussiere und dabei immer etwas Neues lernen kann.“ Da beides nicht mehr hundertprozentig der Fall ist, gibt sie das Projekt ab.

Ihrer Begeisterung für Innovationen tut das keinen Abbruch: Bei Care Solutions baut sie heute eine neue Einheit auf, die kleine Beauty-Brands bei der Umsetzung ihrer Ideen unterstützt. Parallel dazu vertreibt Hintermayer in ihrer Freizeit glutenfreies Mehl – und lebt so weiterhin ihre Leidenschaft fürs Unternehmertum aus. —

2018 berichtet Sarah Hintermayer beim Ideation Jam von ihren Erfahrungen im ersten Jahr als Intrapreneurin.



# »Wir brauchen innerhalb der nächsten zehn Jahre eine disruptive Veränderung in der Bauwirtschaft.«

STEPHAN BIRK, ARCHITEKT, TU MÜNCHEN



Stephan Birk in seinem Architekturbüro in Stuttgart

Von Wohnungen über Brücken bis hin zu Flughäfen – die Welt baut von Jahr zu Jahr mehr. Wie lässt sich das Leben der Menschen durch nachhaltigeres Bauen verbessern? Die Betonforscherin Karen Scrivener diskutiert mit dem Architekten und Holzexperten Stephan Birk über Wege zu klimafreundlichen Lösungen.

MODERATION **TOM RADEMACHER & CHRISTIAN BAULIG**  
FOTOS **ANOUSH ABRAR & THOMAS PIROT**

**In Venedig trifft sich gerade die Welt der Architektur zur Biennale. In Ausstellungen und Vorträgen geht es unter anderem darum, wie sich die Auswirkungen von Gebäuden auf die Umwelt verringern lassen. Gebäude sind heute für 38 Prozent der vom Menschen verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich. Frau Professor Scrivener, müssen wir weniger bauen?**

**SCRIVENER** Das ist eine Diskussion, die die Leute in ihrer kleinen komfortablen Blase hier in Europa oder in Nordamerika führen. Und sie ist überhaupt nicht hilfreich. In den Industriestaaten gibt es zahlreiche Probleme, die wir angehen sollten. Zum Beispiel steigt die Wohnfläche pro Person exponentiell – eine egoistische Ressourcenverschwendung. Doch wir können nicht einfach sagen, dass die Welt dann eben weniger bauen darf. Das lässt viele Millionen Menschen in Afrika und anderen Teilen der Welt, die kein ordentliches Dach über dem Kopf haben, außen vor.



Karen Scrivener an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Lausanne

## »Eine disruptive Veränderung ist zwar wünschenswert. Aber wir müssen einfach realistisch sein.«

KAREN SCRIVENER, MATERIALWISSENSCHAFTLERIN,  
EPFL LAUSANNE

### **Sollten wir dann nicht wenigstens Beton verbieten, der allein für acht Prozent der vom Menschen verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich ist?**

**SCRIVENER** Natürlich nicht. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt einer Tonne Beton ist zehnmals geringer als der einer Tonne Stahl und hundertmal geringer als der einer Tonne Plastik. Es stimmt, dass Zement CO<sub>2</sub>-intensiv ist. Doch Zement ist nur ein kleiner Bestandteil des endgültigen Betonmix. Wir kommen auf diese acht Prozent, weil Beton einen so hohen Anteil an den von uns verbrauchten Ressourcen hat. Und das ist indirekt ein Ergebnis des Bevölkerungswachstums. 90 Prozent des verbrauchten Betons entfallen auf Länder, die nicht zu den reichen OECD-Staaten gehören, und werden dort in Städten verbaut, die explosionsartig wachsen.

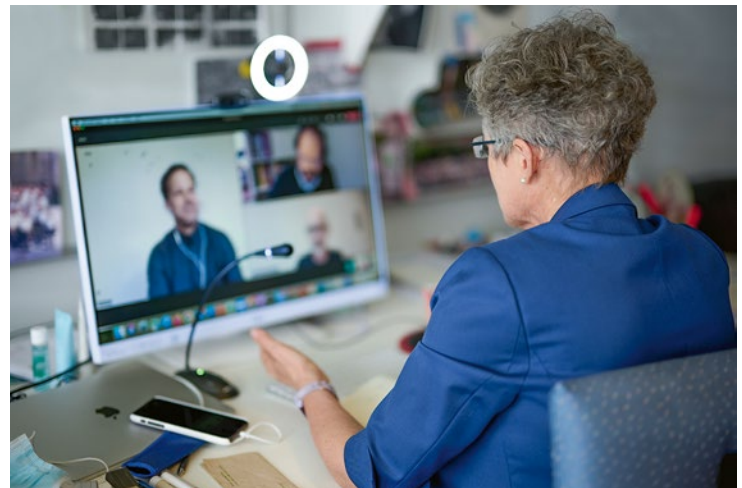
### **Also sind wir auf dem besten Wege, die Erde mit unserer Bautätigkeit zu zerstören, Herr Professor Birk?**

**BIRK** Tatsächlich kann die Frage in einem globalen Kontext nicht nur lauten, ob wir weniger bauen müssen. Vielmehr brauchen wir eine Diskussion darüber, wie wir die weltweite Ressourcennutzung optimieren können. Die Baubranche ist für 30 bis 60 Prozent des Energieverbrauchs, des Materialverbrauchs und der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Das müssen wir radikal ändern. Und wir müssen die Wende so schnell wie möglich schaffen. An diesem Punkt muss ich meiner Kollegin energisch widersprechen: Wir brauchen sehr wohl eine disruptive Veränderung in der Bauwirtschaft, und zwar innerhalb der nächsten zehn Jahre, denn sonst ist es zu spät.

**SCRIVENER** Wir müssen mit Sicherheit die Ressourcennutzung optimieren und die CO<sub>2</sub>-Emissionen verringern. Daran arbeite ich. Eine disruptive Veränderung mag wünschenswert sein. Aber wir müssen einfach realistisch sein. Das ist alles eine Frage der Physik und der auf der Erde verfügbaren Ressourcen. 98 Prozent der Erdkruste bestehen aus nur acht Elementen. Für Zement werden vier von diesen acht Elementen benötigt – das ist nicht zu überbieten. →



**Karen Scrivener**, 62, ist Leiterin des Labors für Baumaterialien und Vollprofessorin an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) in der Schweiz. Nach ihrem Studium der Materialwissenschaften an der Universität Cambridge promovierte sie am Imperial College London. Bis 1995 arbeitete sie als Forschungsassistentin und Dozentin am Imperial College London. Von 1995 bis 2001 war sie bei dem französischen Zement-, Beton- und Zuschlagstoffhersteller Lafarge tätig. In Zusammenarbeit mit anderen Universitäten, Institutionen und Unternehmen hat sie LC3-Zement entwickelt, eine neue CO<sub>2</sub>-arme Zementart aus Kalkstein und kalziniertem Ton.



#### **Warum ist Beton beziehungsweise Zement so beliebt?**

**SCRIVENER** Weil es sich um ein unglaublich nützliches Material handelt: Man kann Zement als Pulver an jeden Ort der Welt transportieren und dort mit Sand, Gestein und Wasser vermischen, um einen Betonblock zu produzieren. Und da die Nutzung von Zement und Beton so billig ist, hat sie weltweit schnell zugenommen. Das hat wesentlich dazu beigetragen, Millionen Menschen aus der Armut herauszuholen. Wir müssen diesen Weg weitergehen, denn die Menschen verdienen die Chance auf ein Leben in Würde. Anderenfalls werden sie sich für die Migration entscheiden.

#### **Könnte die verstärkte Nutzung von Holz anstelle von Beton Teil der Lösung sein?**

**SCRIVENER** Wir brauchen alle auf der Erde verfügbaren Materialien. Holz ist sehr gut, wenn wir es aus nachhaltiger Forstwirtschaft beziehen können. Doch das ist heute meist nicht der Fall. Wenn wir auch nur ein Viertel des Betons durch Holz ersetzen wollten, müssten wir so viele neue Wälder anlegen, dass anderthalbmal die Fläche Indiens bedeckt wäre.

**BIRK** Lassen Sie uns eine nachhaltigere Forstwirtschaft betreiben und mehr Gebäude mit natürlichen Baustoffen wie Holz errichten. Aber letztlich geht es gar nicht um die Frage, ob man entweder den einen oder den anderen Baustoff verwenden sollte. Es ist vor allem wichtig, die Baustoffe so effizient wie möglich zu nutzen. In Decken wird Holz zum Beispiel vielfach in



# »Wenn man das Problem der CO<sub>2</sub>-Emissionen angehen will, muss man beim Beton ansetzen.«

KAREN SCRIVENER

Kombination mit Beton eingesetzt. Man braucht nur einen Blick auf die Schweiz, Österreich, Deutschland und Skandinavien zu werfen, um zu sehen, dass Holz ein guter Baustoff sein kann: Dort kann es für ein Drittel oder sogar für die Hälfte aller Gebäude eingesetzt werden. Wir müssen diesen Anteil steigern, wo immer wir können. Je mehr Beton wir durch Holz ersetzen, desto besser. Zudem müssen wir unser Wissen über nachhaltige Forstwirtschaft mit anderen Regionen der Welt teilen, um auch dort einen Wandel herbeizuführen.

**SCRIVENER** Das ist unglaublich naiv! Holz aus lokaler Forstwirtschaft zu verbauen funktioniert vielleicht im bevölkerungsarmen Schweden, das keine zehn Millionen Einwohner hat, zugleich aber über riesige Flächen verfügt, die aufgeforstet werden können.

**BIRK** Die Nutzung von Holz ist nicht naiv. Sie kann Teil einer Lösung zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bauwesen sein. Übrigens ist in anderen Teilen der Welt mit Sicherheit Potenzial für eine nachhaltige Forstwirtschaft vorhanden, beispielsweise in China, Russland, Brasilien und Ostafrika.

**SCRIVENER** Dann nutzen wir einfach all das Holz, das aus nachhaltiger Forstwirtschaft stammt. Aber in Wahrheit geht es um die Frage, welcher verfügbare Baustoff am effizientesten ist. Und Tatsache ist nun einmal, dass mehr Beton verwendet wird als alle anderen Baustoffe zusammengenommen. Wenn man das Problem der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Bautätigkeit wirklich angehen will, muss man beim Beton ansetzen.

## Was können wir tun, um die CO<sub>2</sub>-Bilanz von Beton zu verbessern?

**SCRIVENER** Dazu brauchen wir gar keine verrückten Ideen aus dem Hut zu zaubern. Die meisten auf Beton zurückzuführenden Emissionen entstehen durch die thermische Zersetzung von Kalkstein in Calciumoxid und CO<sub>2</sub>. Es wird oft vorgeschlagen, Kalkstein gegen etwas anderes auszutauschen. Es gibt zwar keinen Stoff, der Kalkstein komplett ersetzen kann, zumindest keinen, der in ausreichender Menge verfügbar

wäre. Doch wir können Kalkstein teilweise gegen kalzinierten Ton austauschen. So etwas haben wir in unseren Labors entwickelt: Unser LC3-Zement kann die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 40 Prozent reduzieren.

## Das ist beeindruckend, aber weit entfernt von der Klimaneutralität, die die Zementbranche bis 2050 erreichen will.

**SCRIVENER** LC3 ist nicht der Endpunkt der Entwicklung. Wir müssen die gesamte Wertschöpfungskette betrachten. Der Zementanteil im Beton kann leicht um mindestens 20 Prozent gesenkt werden. Dann muss man sehen, wie viel Beton in Gebäuden enthalten ist. Dieser Anteil kann ohne Probleme ebenfalls um 20 Prozent, und wahrscheinlich noch mehr, reduziert werden. Wir müssen einfach daran arbeiten, die Menge der eingesetzten Materialien zu reduzieren. Um bis 2050 eine Netto-Null zu erreichen, ist es nötig, verschiedene Anstrengungen zu kombinieren.

**BIRK** Das ist zu wenig und zu spät. Die Zementbranche steht in der Verantwortung, schneller voranzukommen. Die heutigen Lösungen sind nicht gut genug.

**SCRIVENER** Wir müssen mit Sicherheit schneller vorgehen. Daher versuche ich, die Branche davon zu überzeugen, unseren neuen Zement zu verwenden, der übrigens sogar kostengünstiger hergestellt werden kann.

## Warum ist es dann so schwer, Abnehmer dafür zu finden?

**SCRIVENER** Das braucht einfach Zeit. Ein wichtiger Punkt sind zum Beispiel die Normen und Standards für die Sicherheit von Gebäuden. Das macht es wirklich schwierig, diese Innovationen in der Praxis umzusetzen. Alle führenden Zementhersteller sind von dem neuen Zement überzeugt. Doch wir müssen uns darüber im Klaren sein, dass die zehn führenden Unternehmen nur etwa 30 Prozent des Weltmarktes ausmachen. Wir dürfen uns also nicht nur auf die Branchenriesen konzentrieren, sondern müssen auch die kleineren Hersteller in Afrika und Asien ansprechen, um die erforderliche Wirkung zu erzielen. →

# »Holz kann Teil der Lösung sein, die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bauwesen zu senken.«

STEPHAN BIRK

## **Viele große Unternehmen haben Pläne für eine Abscheidung und Speicherung des in ihren Werken entstehenden CO<sub>2</sub>. Kann diese sogenannte CCS-Technologie in einem größeren Maßstab helfen?**

**BIRK** Im Kampf gegen die Klimakrise müssen wir verschiedene Optionen in Betracht ziehen. Die CO<sub>2</sub>-Abscheidung kann Teil der Lösung sein. Anderenfalls wird es kaum möglich sein, die Netto-Null zu erreichen. Doch CCS ist umstritten.

**SCRIVENER** Die Abscheidung und unterirdische Speicherung von CO<sub>2</sub> ist alles andere als einfach. Das darf meiner Meinung nach nur das letzte Mittel sein. Mit Ersatzstoffen und anderen Maßnahmen können wir Reduzierungen von insgesamt über 70 oder 80 Prozent erreichen. Nicht die Technologien sind das Problem, sondern ihre Umsetzung.

## **Wir reden sehr viel über Baustoffe. Sollten wir nicht auch die Architektur sowie die Nutzung und die Nachnutzung von Gebäuden überdenken?**

**BIRK** Richtig. Wir müssen uns fragen, wie lange wir Gebäude nutzen können, unabhängig davon, ob sie aus Holz, Beton, Lehm oder Ziegeln bestehen. Als Architekten und Ingenieure müssen wir bessere Wege finden, wie wir in Zeiten der Klimakrise Gebäude entwerfen und errichten. Neue digitale Tools sind eine große Hilfe, um das zu erreichen, worüber wir gerade gesprochen haben – etwa eine bessere Ressourceneffizienz. Wir müssen den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft folgen. Heute reißen wir Gebäude aus den 1980er- oder 1990er-Jahren ab, weil sie unseren Standards nicht mehr entsprechen: Die Decken sind zu niedrig, oder die technische Ausstattung ist nicht mehr zeitgemäß. Um den Abriss der Gebäude zu verhindern, müssen wir darüber nachdenken, wie es nach dem ersten Nutzungszyklus weitergehen soll.

## **Ist Beton mit einer Kreislaufwirtschaft vereinbar?**

**SCRIVENER** Beton lässt sich sehr gut recyceln: Man kann ihn zerkleinern und die Bestandteile in neuem Beton wiederverwenden. Aus dem Feinmaterial kann man in

der Fabrik sogar neuen Zement herstellen. Zahlreiche Länder in Europa haben bei Beton bereits eine hohe Recyclingquote. Wir müssen uns allerdings bewusst sein, dass in vielen Teilen der Welt zum ersten Mal mit Beton gebaut wird. Zudem ist das Material so billig, dass der Transport und das Recycling teurer sind als die Herstellung von neuem Beton.

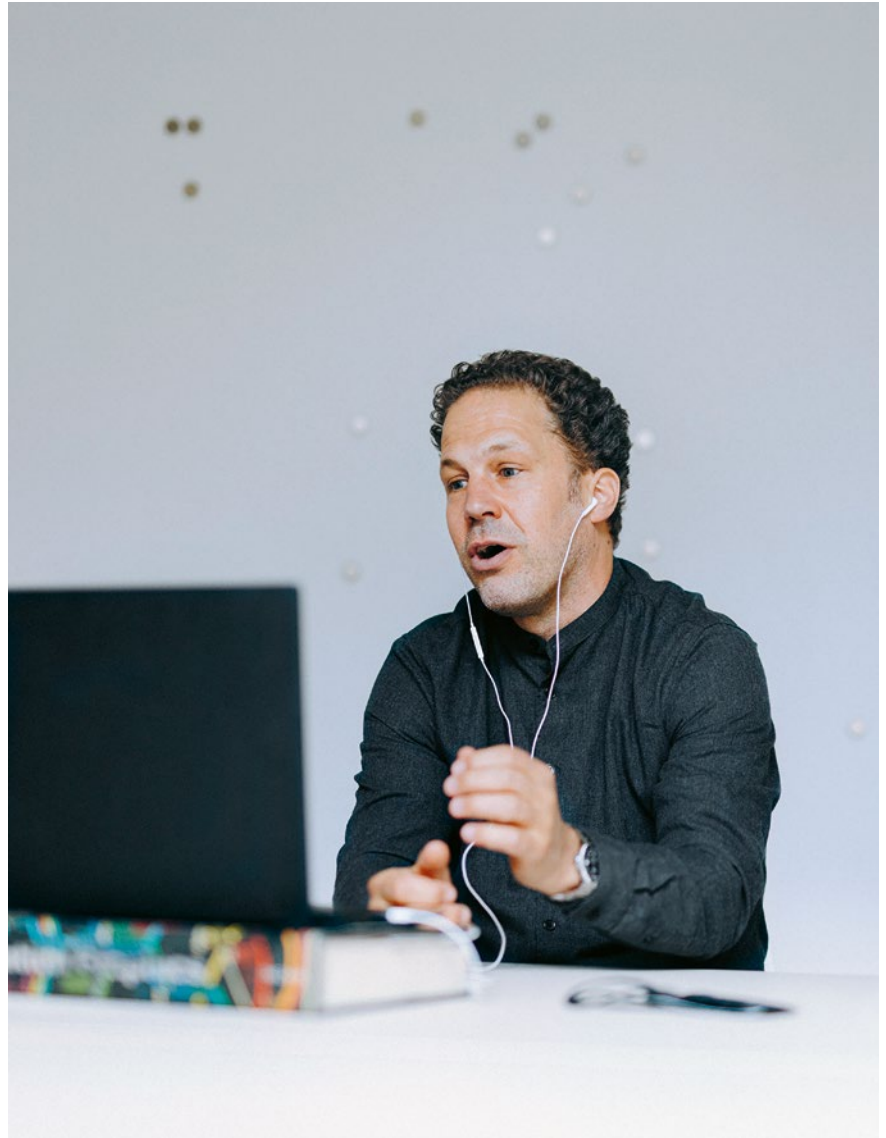
## **Wie kann die Politik Anreize für nachhaltigeres Bauen schaffen?**

**BIRK** Verschiedene Länder in Europa haben Energieausweise für Gebäude etabliert. Heute erstrecken sich diese Energieausweise vor allem auf den Verbrauch in der Nutzungsphase. Besser ist es, jedem Gebäude ein CO<sub>2</sub>-Budget zuzuweisen, das alle Phasen abdeckt, von der Bauzeit – einschließlich aller verwendeten Materialien – über die Nutzungszeit bis später zum Rückbau. Die Nutzung von Sekundärrohstoffen könnte von der Steuer befreit werden. Auch das funktioniert momentan vielleicht nur in Europa und in Nordamerika, doch es ist ein guter Anfang.

## **China verwendet zurzeit mehr Beton als der ganze Rest der Welt. Was können wir tun, um die Chinesen einzubeziehen?**

**SCRIVENER** Ich habe den Eindruck, dass die chinesische Regierung genauso engagiert ist wie die Europäische Union. Es hat eine ganze Weile gedauert, bis China Fahrt aufgenommen hat, doch jetzt kommt das Land überdurchschnittlich schnell voran. Allerdings sind die meisten Bauprojekte dort bereits fertiggestellt, sodass der Zementverbrauch zurückgeht. Wir müssen vorhersehen, welches Land das nächste China wird. In Indien ist der Pro-Kopf-Verbrauch von Zement vier- oder fünfmal niedriger als in China. Wir müssen dort eingreifen, bevor Baumaßnahmen im großen Stil starten. Und wir sollten unseren Blick nach Afrika richten. Afrika besteht jedoch aus 55 Ländern, und das macht es noch zeitaufwendiger, alle zu erreichen.

**Stephan Birk**, 46, wurde im April 2021 zum Professor für Architecture and Timber Construction an der Technischen Universität München (TUM) berufen, wo er Teil der Forschungsgruppe TUM.wood ist. Er ist Gründungspartner des Stuttgarter Architekturbüros Birk Heilmeyer und Frenzel Architekten. Birk ist seit 2007 in Lehre und Forschung aktiv. In den vergangenen sechs Jahren hat er an der Technischen Universität Kaiserslautern das Lehrgebiet Baukonstruktion und Entwerfen geleitet und gemeinsam mit Professor Jürgen Graf den Forschungsbereich T-Lab Holzarchitektur und Holzwerkstoffe aufgebaut.



**Wie können reiche Nationen, deren Anteil an der weltweiten Bautätigkeit sinkt, eine positive Wirkung entfalten und diese Länder besser unterstützen?**

**BIRK** Wir müssen unser Wissen teilen, damit andere nicht dieselben Fehler machen, die wir gemacht haben. Überall auf der Welt gibt es Gebäude, die überhaupt nicht in ihre Umgebung passen. Man denke nur an Bürogebäude mit Glasfassaden mitten in der Wüste. Sie haben einen extrem hohen Energiebedarf für die Klimatisierung. In Europa gibt es auch viel Know-how über nachhaltige Forstwirtschaft, das woanders nützlich sein kann. Und wir müssen Innovationen beim klimafreundlichen Zement mit diesen Ländern teilen.

**SCRIVENER** Ebenso wichtig ist die Nutzung lokaler Ressourcen. In Afrika gibt es nicht viel Kalkstein. Klinker muss oft importiert werden. Außerdem gibt es Probleme mit Baumängeln. Gebäude sind eingestürzt, weil die Leute Zement durch Baustoffe ersetzt haben, die überhaupt nicht reagieren. Wir müssen Materialien einbringen, die zu bezahlbaren Preisen lokal produziert werden können und gleichzeitig nachhaltig sind.

**In Venedig wird die Diskussion über die Zukunft der Architektur noch bis November fortgeführt. Wie sieht Ihre Vision aus? Wie werden wir in Zukunft bauen und leben?**

**BIRK** Wir müssen auf allen Ebenen mehr im Einklang mit der Umwelt sein, nicht nur in der Baubranche. Das mag eine europäische Sicht der Dinge sein, aber wir haben uns von dem entfernt, was wichtig ist, und wir müssen einen ausgewogeneren Konsumansatz finden.

**SCRIVENER** Visionen sind toll. Aber wie setzen wir sie um? Wir verbringen zu viel Zeit damit, in unseren schicken Büros in Europa darüber zu diskutieren. Stattdessen müssen wir mehr darüber nachdenken, wie wir dort, wo Städte explosionsartig wachsen, wirklich etwas tun können.

**BIRK** Das stimmt. Doch wir haben auch eine Vorbildfunktion. Ob es gut oder schlecht ist – die Leute schauen immer noch darauf, was wir in Europa machen. Die Fehler zu beheben, die wir gemacht haben, und anderen dabei zu helfen, es besser zu machen, ist ein guter Anfang. Das wird einen Wandel herbeiführen, dem andere folgen werden. —

# IN GUTER GESELLSCHAFT

Mikroorganismen sind für unsere Verdauung und viele andere Körperfunktionen unverzichtbar. Wie Probiotika Einfluss auf die Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft bei Mensch und Tier nehmen, ergründen Forscher bei Evonik.



Evonik entwickelt eine Systemlösung für die Herstellung synbiotischer Produkte, die auch als Kapseln eingenommen werden können.

TEXT **ANNETTE LOCHER**

**W**ir brauchen unseren Darm, und unser Darm braucht uns.“ So formuliert Dr. Heike tom Dieck einen lebenswichtigen Zusammenhang, denn die Darmgesundheit spielt eine erhebliche Rolle beim Wohlbefinden. „Sie ist ein Schlüssel für unsere gesamte Gesundheit – für unsere Versorgung mit Nährstoffen, das Immunsystem, die Stoffwechselfunktionen und unsere Psyche“, sagt die Ernährungswissenschaftlerin, die für Evonik in Hanau forscht. Ihr Ziel: den Befindlichkeiten jener Mikroorganismen auf die Spur kommen, die das Gleichgewicht im Darm positiv beeinflussen.

Eine ausgewogene, ballaststoffreiche Ernährung gilt dafür als Voraussetzung. Beim Abbau der Ballaststoffe durch Bakterien im Dickdarm entsteht unter anderem Butyrat, eine kurzkettige Fettsäure, die eine besondere Rolle spielt. Heike tom Dieck und ihr Team knüpften an diese Erkenntnis an: „Butyrat liefert den größten Teil der Energie für die Darmzellen. Wissenschaftliche Studien zeigen, dass die Substanz für eine gesunde Darmschleimhaut und eine gute lokale Immunabwehr unverzichtbar ist.“ Fehlt es im Darm an Butyrat, fällt es der Darmschleimhaut schwer, ihre Barriere- und Wächterfunktion zu erfüllen. →

Die Ernährungswissenschaftlerin Heike tom Dieck leitet die Forschung und Geschäftsentwicklung für Synbiotika bei Evonik in Hanau.





## »Bei rund 90 Prozent aller Erkrankungen sehen Wissenschaftler heute einen Zusammenhang mit dem Darmmikrobiom.«

STEFAN PELZER, LEITER DER MIKROBIOM-FORSCHUNG IN DER BIOTECHNOLOGIE-EINHEIT VON EVONIK

Diesen Ansatz hat das Forscherteam aufgegriffen und einen Weg gefunden, die Butyrat-Bildung durch die Darmbakterien zu steigern, indem es einen probiotischen, lebenden Bakterienstamm mit einem Proteinbaustein zusammengebracht hat. Tests hätten gezeigt, dass bereits jede Zutat für sich die Butyrat-Bildung durch die Bakterien steigere, so tom Dieck. „In Kombination ist der Effekt jedoch größer.“ Das Ergebnis eines solchen synergetischen Zusammenspiels nennen die Experten „synbiotisch“.

Diese wissenschaftliche Entwicklung mündet nun in eine innovative Systemlösung für Geschäftskunden, die Anwendungen für das Darmgleichgewicht auf den Markt bringen wollen. „Neben der Wissenschaft liefern wir alle Zutaten und eine zielgruppenspezifische Positionierung“, sagt tom Dieck, die die Forschung und Geschäftsentwicklung für Synbiotika bei Evonik leitet. „Unsere Formulierungen haben den Vorteil, dass sie neben den innovativen Kombinationen für die Verbraucherkommunikation zulässige Aussagen über einen bestimmten gesundheitlichen Nutzen – sogenannte Health Claims – ermöglichen.“

Bis zu  
**100**  
BILLIONEN  
Bakterien und Pilze  
bilden Schätzungen  
zufolge  
das menschliche  
Mikrobiom.

Ein nicht ganz unwesentlicher Aspekt, zu dem das Team auch eigene Feldversuche unternimmt: „Das regulatorische Umfeld ist im Bereich der Nahrungsergänzung sehr komplex. In der EU sind beispielsweise für probiotische Bakterien gesundheitsbezogene Aussagen nicht ohne Weiteres erlaubt“, erläutert tom Dieck. Zusätzliche Inhaltsstoffe erlaubten es jedoch, den potenziellen Nutzen des Produkts besser zu verdeutlichen.

### DIVERSITÄT HÄLT GESUND

Einen wichtigen Anteil an der Entwicklung von Synbiotika hat die Forschung zu Mikrobiom und Darmgesundheit im westfälischen Halle-Künsebeck. Professor Dr. Stefan Pelzer befasst sich seit 2013 mit den Mikroorganismen im Verdauungstrakt. Ging es zu Beginn vor allem um die Frage, wie sich Nutztiere ohne Antibiotika gesund und gleichzeitig produktiv halten lassen, beschäftigt sich sein Team jetzt auch mit dem menschlichen Mikrobiom – ob im Darm oder auf der Haut.

„Bei rund 90 Prozent aller Erkrankungen sehen Wissenschaftler heute einen Zusammenhang mit dem Darmmikrobiom“, sagt der Mikrobiologe. Die Zahl der Bakterienzellen im Menschen übertrifft die der körpereigenen Zellen um den Faktor 1,3 – die meisten finden sich im Dickdarm. Manchen mag das beunruhigen. Beunruhigend sei jedoch vielmehr das Gegenteil, sagt Pelzer. „Bei zahlreichen Erkrankungen und auch mit

## Das Hühnerdarm-Modell

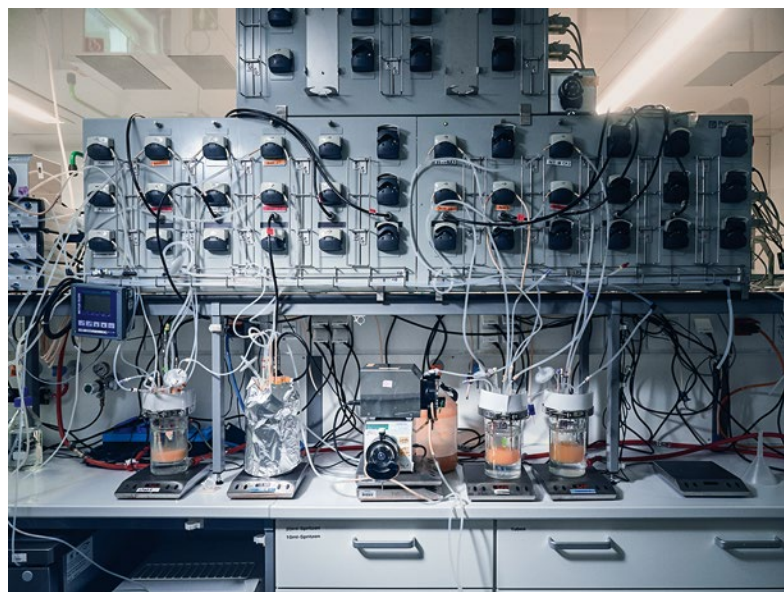
Bis zu fünf Glasgefäße, die durch Schläuche und Röhren miteinander verbunden sind, Reagenzien und Messgeräte – seit 2018 steht den Evonik-Forschern in Halle-Künsebeck das Modell eines Hühnerdarms zur Verfügung. Die weltweit einzigartige Simulation wurde im Rahmen der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Innovationsallianz GOBI („Good Bacteria and Bioactives in Industry“) entwickelt. Für jeden Abschnitt des Verdauungstrakts und sein spezifisches Milieu steht ein Glasgefäß. In Reihe geschaltet, simulieren sie das Geschehen im gesamten Verdauungssystem. Die Bakterien werden mit Magensäure, Gallensalzen, Enzymen, die Nahrung abbauen, konkurrierenden Mikroben und anderen Belastungen nacheinander konfrontiert – in natürlicher Reihenfolge und realistischer Zeit. Die Forscher können an jeder Stelle Proben ziehen und schauen, wie die Bedingungen die probiotischen Bakterien beeinflussen und umgekehrt.



dem Alter verändert sich die Zusammensetzung der Mikrobiota, also der Bakteriengemeinschaft. Vor allem aber nimmt die Bakterienvielfalt im Darm ab.“ Damit einher geht ein Verlust bakterieller Stoffwechselprodukte, die wie Butyrat für die menschliche Gesundheit notwendig sind. „Die wissenschaftlichen Hinweise verdichten sich, dass die abnehmende Diversität des Mikrobioms die Widerstandsfähigkeit und Fitness des Körpers beeinträchtigt.“

Geht es also darum, Leistungsstärke und Resilienz von Mensch und Tier zu fördern, führt der Weg heute nicht selten über die Anpassung des Mikrobioms, etwa mittels probiotischer Produkte, die lebende Bakterien beinhalten. Diese geben vielfältige Impulse – entweder direkt, indem sie Substanzen wie Milchsäure bilden, oder indirekt, indem sie die Zusammensetzung des Mikrobioms beeinflussen (siehe Schaubild auf Seite 34/35).

Das erste von Evonik entwickelte Probiotikum war für Hühner bestimmt. Probiotika stärken die ausgewogene Zusammensetzung und Widerstandsfähigkeit des natürlichen Mikrobioms, was eine Ansiedlung von pathogenen Keimen wie *Clostridium perfringens* erschwert. Dieser Krankheitserreger verursacht weltweit große wirtschaftliche Schäden in der Hühnerhaltung. Das Produkt Gutcare, das einen Stamm von *Bacillus subtilis* enthält, wird seit 2017 erfolgreich in den USA, in China, Indien sowie weiteren Ländern vermarktet und



soll den Einsatz von Antibiotika als präventivem Futterbestandteil im Hühnerstall reduzieren.

Pelzer reichte es aber nicht, die Wirksamkeit in der Petrischale und im Fütterungstest nachzuweisen. Er wollte genauer verstehen, wo was im Hühnerdarm passiert. Hierzu war ein Modell erforderlich, das den Hühnerdarm und das physiologische Geschehen darin simuliert (siehe Infokasten oben). Die Forscher interessieren sich besonders dafür, ob Magen- und Gallensäuren probiotische Produkte hemmen und wie sie die Mikrobiom-Zusammensetzung im Darm verändern. Vergrößert oder verringert sich die Vielfalt? Verschieben sich die Anteile charakteristischer Bakteriengruppen? Und werden verstärkt kurzkettige Fettsäuren wie Butyrat gebildet? →

Mindestens  
**1.000**  
BAKTERIELLE  
ARTEN  
sind im menschlichen Verdauungstrakt vertreten.



Auf dem MinION, einem portablen DNA-Sequenziergerät, analysieren Forscher die Bakterienproben vor Ort und werten sie bioinformatisch aus.

lesen, welche Fähigkeiten eine Bakteriengesellschaft besitzt – zum Beispiel ob sie bestimmte Metabolite, also Zwischenprodukte in einem biochemischen Stoffwechselweg, produziert.

#### MODELLE ERLAUBEN VORHERSAGEN

Die in Halle-Künsebeck erarbeiteten Kompetenzen können in die Entwicklung neuer Probiotika für Mensch und Tier einfließen. „Unsere Modelle sind inzwischen so gut, dass sie uns sehr verlässliche Vorhersagen über das Verhalten unserer Produkte im lebenden Organismus erlauben“, sagt Pelzer. Das beschleunigt die Entwicklung und spart Tests am lebenden Objekt.

So auch bei den synbiotischen Produktkonzepten, die Heike tom Dieck und ihr Team vorantreiben. Die ersten Erkenntnisse brachten Stuhlproben, die mit Bakterienstämmen und bestimmten Substanzen kultiviert wurden. Dann wurde untersucht, wie sich die Mikrobiom-Gemeinschaft veränderte und welche Stoffwechselprodukte vorhanden waren. „Schon in diesem einfachen Modell sahen wir bei einigen Substanzen und Bakterien deutliche Effekte“, sagt tom Dieck. „Die Zusammensetzung des Mikrobioms veränderte sich, und wir fanden mehr Butyrat.“ Und bei mancher Kombination von Bakterium und Substanz verstärkte sich deren Effekt sogar.

Die Kombination aus probiotischem Bakterium und Dipeptid beeinflusst offenbar das Mikrobiom zugunsten der Butyrat bildenden Arten. „Die Substanz wird von verschiedenen Gruppen von Darmbakterien auf unterschiedlichen Wegen produziert“, erläutert tom Dieck. „Hier wollte die Evolution wohl auf Nummer sicher gehen.“ Das Darmmikrobiom unterscheidet sich von Individuum zu Individuum und wird auch vom Lebensstil beeinflusst. Dennoch konnten zahlreiche weitere Tests zeigen: Die Kombination von *Bacillus subtilis* und einem aus zwei Aminosäuren bestehenden Peptid führte zu erhöhten Butyrat-Werten. Dazu ist aber erforderlich, dass dieses Dipeptid und das Bakterium gemeinsam den Beginn des Dickdarms erreichen, wo Butyrat bildende Bakterien angesiedelt sind.



In Tests werden die Fähigkeiten von Bakterien unter verschiedenen Bedingungen erprobt und analysiert.

Bis zu

**2**

**KILOGRAMM  
mikrobielle  
Biomasse entfallen  
auf jeden  
Menschen.**

All das lässt sich mittels Genomsequenzierung herausfinden. Dabei wird die Gesamtheit der Gene einer Bakterienprobe aus dem Darmmodell analysiert. „Vor 20 Jahren hätte eine solche Analyse noch zigtausend Dollar gekostet und viele Monate gedauert“, sagt Pelzer. „Heute bekommen wir sie für ein paar Hundert Dollar in wenigen Wochen oder bei gezielten Fragestellungen sogar in Echtzeit direkt vor Ort.“

Bioinformatiker sind in der Lage, aus diesen Daten eine grobe Verteilung der vorhandenen Bakteriengruppen zu erstellen und mögliche Veränderungen zu erkennen. Sie können aus den Gensequenzen sogar ab-



# »Schon in einem einfachen Modell sahen wir bei einigen Substanzen und Bakterien deutliche Effekte.«

HEIKE TOM DIECK, LEITERIN DER SYNBIOTIKA-FORSCHUNG

Ein geschützter Transport durch den Verdauungstrakt, das war den Forschern damit klar, ist also entscheidend. Im eigenen Haus fand sich eine Lösung für dieses Problem: die für Nahrungsergänzungsmittel entwickelte Schutzhülle Eudraguard biotic. Die Kapsel „erkennt“ den Übergang vom Dünndarm zum Dickdarm am pH-Wert-Anstieg, löst sich genau an dieser Stelle auf und gibt ihre Inhaltsstoffe dort frei, wo sie gebraucht werden.

## INDIVIDUELLE LÖSUNGEN

An einem Modell ähnlich dem künstlichen Hühnerdarm in Halle-Künsebeck konnten die Synbiotik-Forscher genau nachvollziehen, wie sich die Kapseln mit Bakterium und Dipeptid im menschlichen Verdauungstrakt verhalten. Sie zeigten, dass Bakterium und Dipeptid den Zielort im Dickdarm erreichen und dass dies mit einem Anstieg der Butyrat-Bildner im Dickdarm einhergeht. Das hat nun auch eine kleine Pilotstudie am Menschen bestätigt.

Für die Forscherteams bei Evonik ist das Thema damit jedoch längst noch nicht erschöpft. Die Arbeit an weiteren pro- und synbiotischen Entwicklungen dauert an. Die Individualität des Darms und seines Gleichgewichts führt zu vielen weiteren Fragestellungen, etwa: Gibt es Möglichkeiten, den jeweils persönlichen Zustand zu ermitteln – und mithilfe von Bakteriengemeinschaften gezielt und individuell darauf Einfluss zu nehmen? Wenn dies gelingt, eröffnet sich eine Vielzahl neuer Möglichkeiten für Wissenschaft und Praxis. —



**Annette Locher** ist Diplom-Biologin und seit 2012 bei Evonik tätig. Sie schreibt vor allem über Gesundheit, Ernährung und Nachhaltigkeit.

In Tiefkühlschränken sind bei minus 80 Grad die Bakterienstämme aufbewahrt, an und mit denen Evonik forsch.



# Influencer im Darm

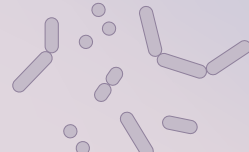
Der Darm ist neben dem Gehirn die zweite wichtige Schaltzentrale des Körpers. Neben Nerven- und Immunzellen finden sich hier mehr als 1.000 Bakterienarten. Auf ihre Gemeinschaft – das Mikrobiom – kommt es an. Probiotika und Synbiotika können das Mikrobiom auf vielfältige Weise positiv beeinflussen.

INFOGRAFIK MAXIMILIAN NERTINGER

## PROBIOTIKA

Wie probiotische Organismen die körpereigenen Bakterien unterstützen

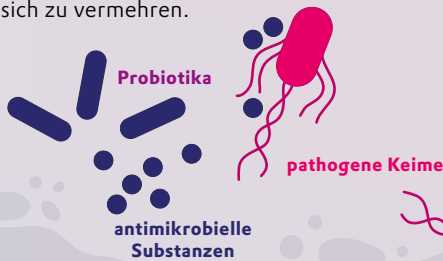
Nahrungsbestandteile  
(Lumen)



Mikrobiota

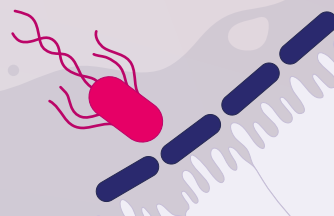
### 1 Produktion antimikrobieller Substanzen

Diese töten pathogene (krank machende) Keime ab oder hindern sie daran, sich zu vermehren.



### 2 Wettbewerb um Bindungsstellen

Probiotika besetzen Stellen, sodass pathogene Keime nicht anhaften.

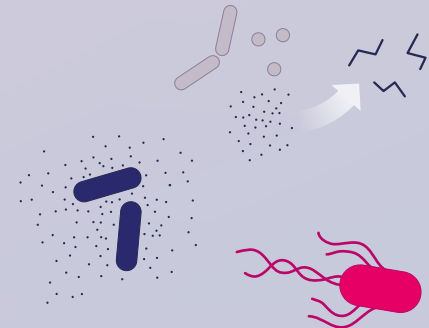


Darmschleimhaut  
(Mukosa)

Saumzellen  
des Darms  
(Enterozyten)

### 6 Crossfeeding

Mikrobiota nehmen das Lactat auf und setzen es in Buttersäure (Butyrat) um.



### 5 Produktion von Milchsäure (Lactat)

Das Lactat hemmt das Wachstum pathogener Keime.

### 4 Produktion von Enzymen

Diese helfen, Nahrung aufzuschließen. Zwischenprodukte können von anderen Darmbakterien verwertet werden.



### 3 Verbesserung der Barriere

Die Zellzwischenräume werden dichter verschlossen.

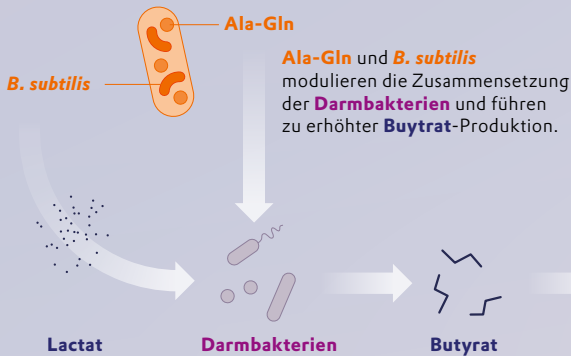
Bindegewebsschicht  
(Lamina propria)

## SYNBIOTIKA

Wie Kombinationen von Probiotika mit weiteren Inhaltsstoffen die Bildung bestimmter Substanzen durch Bakterien steigern

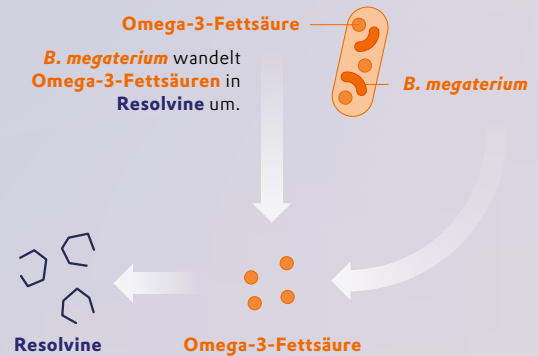
### 1 Produktion von Butyrat

*Bacillus subtilis* und das Dipeptid Alanyl-Glutamin (Ala-Gln) sorgen gemeinsam für eine vermehrte Bildung von Butyrat, einer wichtigen Energiequelle der Darmzellen.



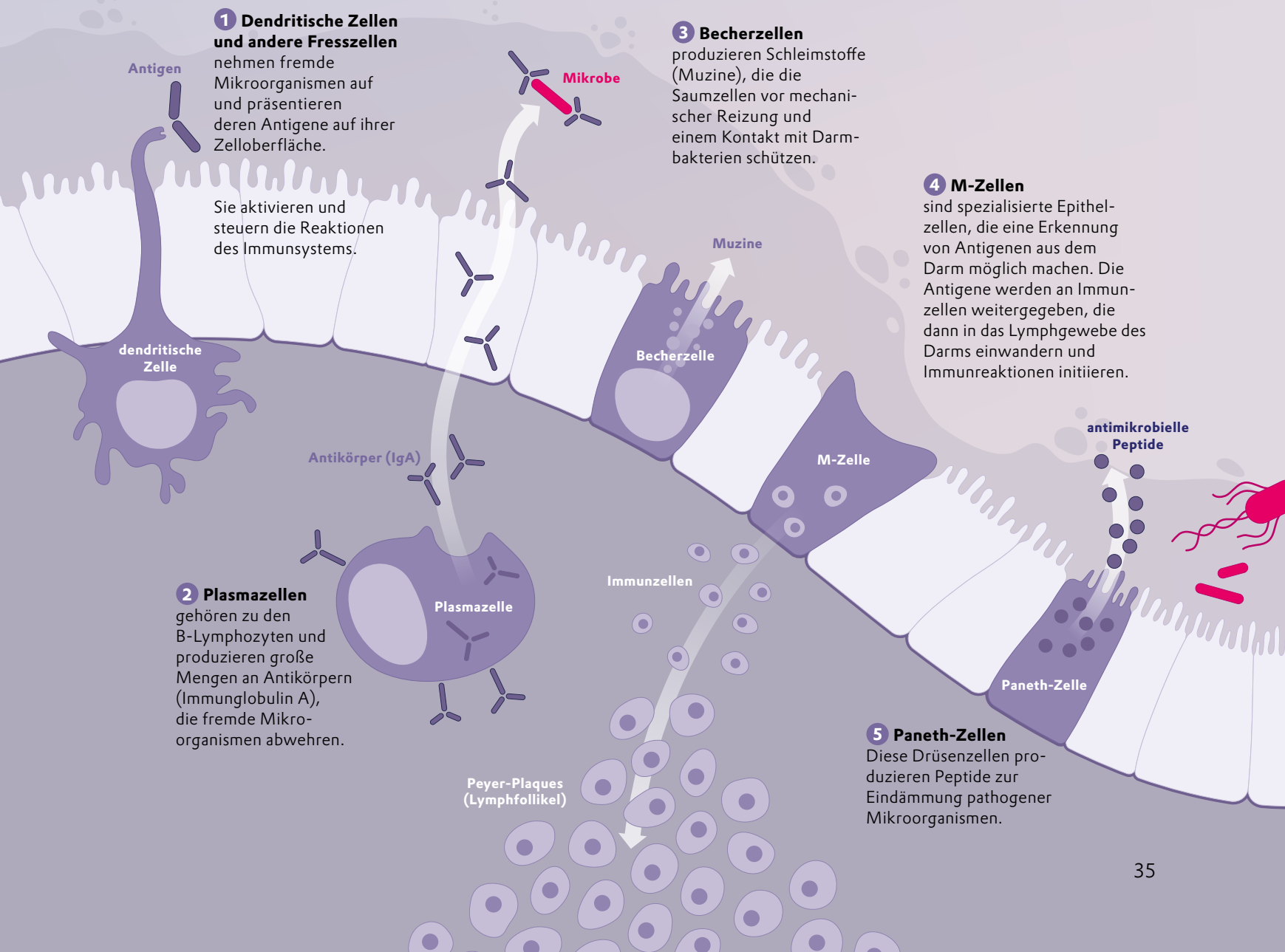
### 2 Produktion von Resolvinen

*Bacillus megaterium* wandelt hoch dosierte Omega-3-Fettsäuren in Resolvine um, die Entzündungen hemmen können.



## IMMUNANTWORT DES DARMS

Wie die Darmbarriere gefährliche Eindringlinge erkennt und unschädlich macht





# Beständiger Wandel

Wer an Italien denkt, hat meist malerische Bilder vor Augen: die Kanäle von Venedig, die Ewige Stadt Rom, die toskanische Landschaft. Doch Italien ist mehr als historische Baukunst und mediterrane Lebensart. Eine Reise durch ein Land, das in Zeiten des Umbruchs gleichermaßen auf Innovationen und zeitlose Qualitäten baut

TEXT NICOLAS GARZ

Die Altstadt von Bergamo wird „città alta“ genannt: Oberstadt. Auf einem Hügel gelegen, thront das denkmalgeschützte Viertel über der Neustadt. Von der rechteckigen Torre del Gombito (dem zweiten Turm von rechts) aus kann man sie bestens überblicken, völlig entrückt vom Treiben in den Gassen. Protectosil von Evonik schützt solche historischen Gebäude ebenso gut wie moderne Neubauten.



■ Riesige Schinken, die von der Decke baumeln, dazu unzählige Salami- und Käsesorten: In diesem Delikatessengeschäft drückt sich die Liebe der Italiener zum Essen aus. Es liegt im Herzen von Bologna, der Geburtsstadt des Ragù alla bolognese (im Original niemals mit Spaghetti!). Auch hochwertiger Parmesan geht hier über die Ladentheke. Häufig werden die Etiketten auf einem Trägermaterial angebracht, das nach dem Abziehen sofort im Abfall landet. Silikone von Evonik ermöglichen sogenannte Linerless Labels, die ohne Träger auskommen und somit weniger Müll produzieren.





Wer gern extravagante Mode trägt, ist mit italienischen Marken gut beraten – beispielsweise mit Gucci, wie dieses neue Modell der klassischen Loafer zeigt. Die Bekleidungsindustrie ist ein wichtiger Wirtschaftszweig in Italien, insbesondere Mailand gilt als Zentrum der internationalen Fashionzene. Neben kreativem Design spielen bei der Herstellung solcher Kleidungsstücke auch leistungsfähige Materialien eine wichtige Rolle: In Schuhsohlen sorgen etwa Polyurethanschäume für ausreichend Halt und Tragekomfort. Evonik liefert Additive, die ihre Eigenschaften verbessern – für einen stabilen, souveränen Gang, selbst in extravaganten Schuhen.







„Andra tutto bene“ – „alles wird gut“: Dieser Satz war im Frühjahr 2020 überall in italienischen Städten zu lesen, an Hauswänden, auf Straßen oder, wie hier in Rom, auf Bannern, die aus den Fenstern hingen. Italien wurde als eines der ersten europäischen Länder von der Coronapandemie heimgesucht. Mit „Andra tutto bene“ spendete man sich gegenseitig Mut. Heute schöpfen die Bürger Hoffnung, da immer mehr von ihnen gegen Covid-19 geimpft sind. Am häufigsten kam bislang der Impfstoff von Biontech/Pfizer zum Einsatz. Für die Vakzine auf mRNA-Basis liefert Evonik wichtige Lipide und stellt damit sicher, dass am Ende wirklich alles wieder gut ist.



Innerhalb weniger Sekunden wechselt die Boxencrew die Reifen eines Ferrari-Boliden. Jeder Handgriff muss sitzen, damit das Auto zügig zurück auf die Rennstrecke kommt, bejubelt von den Tifosi, die zum Großen Preis nach Monza pilgern und nach einer enttäuschenden Vorsaison in diesem Jahr auf einen Sieg hoffen. Die Formel 1 steht wie keine andere Rennklasse für Präzision und höchste Sicherheitsstandards. Hier kommt Dynasylan von Evonik zum Einsatz: In der Bremsflüssigkeit sämtlicher Formel-1-Rennwagen stellt es sicher, dass die Piloten ihr Fahrzeug auch in Extremsituationen unter Kontrolle haben.



### OPTIMIERTE ÄSTHETIK

1966 eröffnete eine Evonik-Vorgängergesellschaft erstmals ein Handelsbüro in Mailand. 1993 wurde ein Werk im nahe gelegenen Pandino übernommen, das sich bis heute auf Produkte konzentriert, die auf unterschiedliche Weise mit Ästhetik zu tun haben: von Additiven für Farben und Lackbeschichtungen, etwa für Autos und Holzmöbel, bis hin zu Wirkstoffen, die die Eigenschaften von Kosmetika verbessern.



#### Evonik-Standorte

- 1 Mailand
- 2 Pandino

An

2

Standorten arbeiten

72

Mitarbeiter.



# AUFTRIIT MACBETH

Bislang konnten katalytische Membranreaktoren ihre Leistungen nur im Labor zeigen. Jetzt beweisen sie sich auch auf größeren Bühnen.

TEXT **KARL HÜBNER**

**M**anchmal beginnen selbst dramatische Veränderungen ganz klein. Dr. Linda Arsenjuk streift sich im Evonik-Technikum am Standort Marl blaue Gummihandschuhe über. Vorsichtig schiebt sie ein graues Keramikröhrchen in einen unterarmlangen Metallzylinder. Sieben der runden Elemente passen in die Metallfassung, jedes hat auf der Stirnseite 30 hochsymmetrisch angeordnete Löcher. „Auf die empfindliche Membran an der Außenseite der Reaktoren darf kein Fett gelangen“, sagt die Chemieingenieurin, „daher geht das nur mit Handschuhen.“

Was sie so sorgsam behandelt, könnte gleich für mehrere wichtige Reaktionen in der Chemiebranche eine Revolution in der Prozesstechnik bedeuten. „Es geht darum, sogenannte katalytische Membranreaktoren, kurz CMR, für den industriellen Einsatz zu entwickeln“, erklärt Arsenjuk. Im Labormaßstab haben die Wissenschaftler bereits gezeigt, dass solche CMR grundsätzlich funktionieren. Jetzt geht es darum, letzte technische Hindernisse auf dem Weg zu größeren Maßstäben zu überwinden und die Wirtschaftlichkeit des Ansatzes in der Industriepraxis zu untersuchen.

An das Prinzip knüpfen die Experten gleich zwei Hoffnungen. Zum einen ist der für die Reaktion benötigte Katalysator in den Membranreaktoren so einge-

arbeitet, dass er im Vergleich mit herkömmlichen Verfahren deutlich stabiler ist. Zum anderen soll die integrierte Membran das entstehende Produkt direkt von anderen Komponenten trennen. Das würde bisher übliche, energieaufwendige Trennverfahren im besten Fall ersetzen. Je nach Prozess erhoffen sich die Forscher daher Energieeffizienzsteigerungen von bis zu 70 Prozent und, damit einhergehend, auch eine deutliche Reduktion von Treibhausgasemissionen.

Seiner Bedeutung angemessen trägt das Gesamtprojekt einen großen Namen: MACBETH. Das Kurzwort steht für „Membranes And Catalysts Beyond Economic and Technological Hurdles“. Dass Projektkoordinator Professor Robert Franke begeisterter Fan des englischen Dramatikers William Shakespeare ist, mag dabei auch eine Rolle gespielt haben. Üblicherweise reist Franke Jahr für Jahr an Shakespeares Geburtsort Stratford-upon-Avon, um dort die Theaterfestspiele zu genießen. Nun nutzt er die coronabedingte Absage der Aufführungen, um seinen eigenen Macbeth voranzubringen.

## VORPRODUKT FÜR VIELE ANWENDUNGEN

Das Projekt umfasst vier Teilprojekte zu unterschiedlichen chemischen Prozessen (siehe Kasten auf Seite 48). Eines davon findet im Chemiepark Marl statt und betrifft die wichtige Hydroformylierung, auch bekannt als Oxosynthese. So nennen es Chemiker, wenn sie ungesättigte Kohlenwasserstoffe, sogenannte Olefine, mit Synthesegas, einem Gemisch aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid, zu Aldehyden reagieren lassen. Weltweit →

Die Chemieingenieurinnen Linda Arsenjuk (l.) und Corina Nentwich treiben im Bereich Verfahrenstechnik die Weiterentwicklung von Membranreaktoren voran.

erzeugt die chemische Industrie auf diese Art jährlich zwölf Millionen Tonnen Aldehyde. Bei Evonik in Marl sind diese in der Regel Zwischenprodukte auf dem Weg zu höheren Alkoholen, organischen Säuren oder Estern, die etwa als Lösungsmittel bei der Kosmetik- und Waschmittelherstellung, in der Produktion von Medikamenten oder als Weichmacher in Kunststoffen Verwendung finden.

Franke beschäftigt sich schon seit gut zehn Jahren mit dem Ansatz, der nun in MACBETH seine Industrietauglichkeit beweisen soll. Dass die Sache prinzipiell funktioniert, hat bereits das von 2015 bis 2019 durchgeführte Vorgängerprojekt ROMEO (siehe Text unten) gezeigt. Die Abkürzung steht für „Reactor Optimisation by Membrane Enhanced Operation“, und natürlich gefiel dem Shakespeare-Freund auch diese Namensgebung gut.

### STATT KESSEL UND KOLONNEN

„Jetzt wollen wir im realen Produktionsumfeld unter anderem testen, ob das System auch mit dem industriellen Feed in unserem Oxo-Betrieb funktioniert, also mit den dort üblichen Gasgemischen“, sagt Franke. Bei ROMEO sei noch mit hochreinen Ausgangsgasen gearbeitet worden, während etwa die im Oxo-Betrieb verwendeten Olefine Teile von Gasgemischen sind, die direkt aus dem Erdölcracker kommen. Außerdem interessiert ihn, ob das Verfahren auch für größere Produktionsmengen geeignet ist und dauerhaft stabil arbeitet.

Derzeit arbeiten die Forscher an der Hydroformylierung des Olefins 1-Buten, bei der das Aldehyd n-Pentanal entsteht. Diese Reaktion soll nun exemplarisch in den größeren Maßstab übertragen werden. Im

Technikum zeigt Ingenieurin Arsenjuk, wie weit sie schon gekommen sind, an einem Versuchsaufbau im Abzug. Dort wurde ein Edelstahlzylinder dick in isolierende Alufolie eingewickelt und dann senkrecht eingespannt. „Darin sind unsere Röhrchen“, erklärt Arsenjuk, „und in die leiten wir von oben das Reaktionsgemisch, also Buten und Synthesegas.“ Im Innern der Röhrchen befindet sich der Katalysator, der die Komponenten reagieren lässt. Das entstandene n-Pentanal kann durch die Außenwand entlang der Längsseite austreten und dann per Anschluss aus dem Edelstahlzylinder abgeführt und bei ausreichender Reinheit direkt weiterverarbeitet werden (siehe Grafik).



Im Technikum laufen noch die Optimierungen am MACBETH-Reaktor.

---

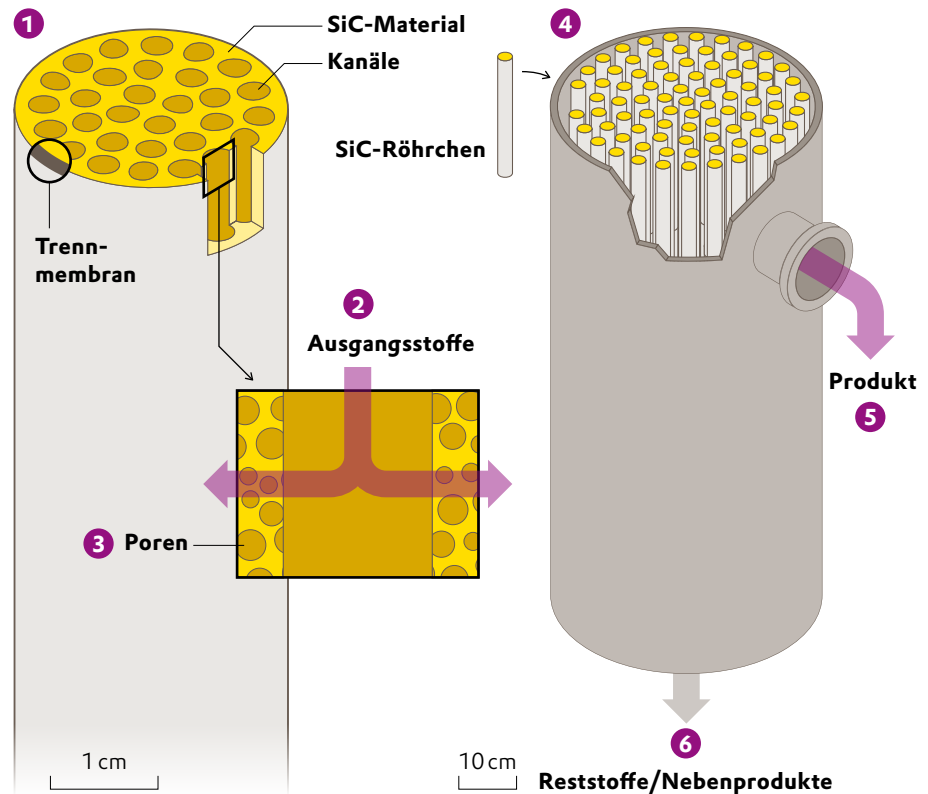
## ROMEO lebt – die Vorgeschichte der Feststoffkatalysator-Entwicklung

In Hydroformylierungsprozessen ist der Katalysator üblicherweise in der Reaktorflüssigkeit gelöst. Diese sogenannte homogene Katalyse ist sehr effizient, hat aber auch Nachteile. „Der Katalysator vermischt sich mit dem Produkt und muss dann mühsam abgetrennt werden“, erklärt Professor Robert Franke, Leiter der Hydroformylierungsforschung bei Evonik. Außerdem zersetzt der Katalysator sich mit der Zeit und muss aufbereitet werden. Mit einem Feststoffkatalysator vermeidet man eine Vermischung – allerdings ist die Ausbeute meist viel geringer, weil Reaktionspartner und Katalysator nicht so innig miteinander in Kontakt kommen. Im Projekt ROMEO suchten die Forscher nach einem Ausweg aus dem Dilemma. Ihre Idee: Hochporöse Materialien haben eine große Oberfläche. Was, wenn man diese Porenfläche mit dem Katalysator beschichtet, etwa in Form eines zähen Films? Franke las von Forschern aus Dänemark und Erlangen, die Katalysatoren in ionischen Flüssigkeiten lösten und damit die Poren auskleideten. Ionische Flüssigkeiten sind Salze, die schon bei Temperaturen um 100 Grad Celsius flüssig sind. Die entsprechenden Experten waren im ROMEO-Projekt mit im Boot. Ebenso wie die dänische Firma Liqtech mit ihren hochporösen Keramikröhrchen. Die Außenwand der Röhrchen wurde zudem mit einer Membran beschichtet, die nur das Reaktionsprodukt der Hydroformylierung passieren lässt. Das ist nicht trivial. Bei der Hydroformylierung etwa sind die entstehenden Aldehyd-Moleküle größer als die Ausgangsstoffe, die in geringen Mengen im Gasstrom bleiben. Im ROMEO-Projekt wurde als passendes Material für die Membran ein Siloxan-Polymer gefunden, das die Ausgangsstoffe zurückhält, während sich die Aldehyd-Moleküle im Polymer lösen. Einmal in der Membran gelöst, wandern die Moleküle bis zur Außenseite, wo sie wieder frei werden und abgeleitet werden können.

## Reaktion im Röhrchen

Der MACBETH-Reaktor ermöglicht Katalyse und Filterung von Stoffen in einem Schritt.

- 1 Der MACBETH-Reaktor enthält Röhrchen aus Siliciumcarbid (SiC) mit je 30 Kanälen und einer Membran als Ummantelung.
- 2 Die Ausgangsstoffe werden in die Kanäle eingeleitet und durchdringen das hochporöse SiC-Material.
- 3 Die Poren sind mit einer zähen Flüssigkeit beschichtet, die den Katalysator enthält. Beim Durchströmen der Poren lösen sich die Ausgangsstoffe in der Beschichtung und reagieren dort zum Produkt, das danach aus der Flüssigkeit austritt.
- 4 Im eigentlichen Reaktor sind zahlreiche SiC-Röhrchen parallel geschaltet.
- 5 Das Reaktionsprodukt tritt durch die Membranen aus und wird seitlich abgeführt.
- 6 Reststoffe und Nebenprodukte werden zurückgehalten und nach unten abgeleitet.



Die eigentlichen grauen Reaktoröhrchen sind gerade mal zweieinhalb Zentimeter dünn und 20 Zentimeter lang. Für Robert Franke bedeutet dies jedoch keinen Nachteil, sondern – im Gegenteil – einen „besonderen Charme“: „Die geringen Ausmaße erlauben uns eine modulare Bauweise, mit der wir den Prozess beliebig skalieren können.“ Will man größere Mengen produzieren, muss man nur genügend Röhrchen zusammenschalten.

Die möglichen Dimensionen zeigen sich etwa 800 Meter vom Technikum entfernt. Dort, im Herzen des sechs Quadratkilometer großen Chemieparks Marl, steht die sogenannte Oxo-Anlage. Derzeit erfolgt hier die Hydroformylierung in Kesseln, die meterhoch sind und viele Zehntausend Liter fassen. Noch höher sind die für die anschließende Produktabtrennung benötigten Destillationskolonnen – ein Aufbau, der dank der neuen Reaktorengeneration größtenteils überflüssig werden könnte.

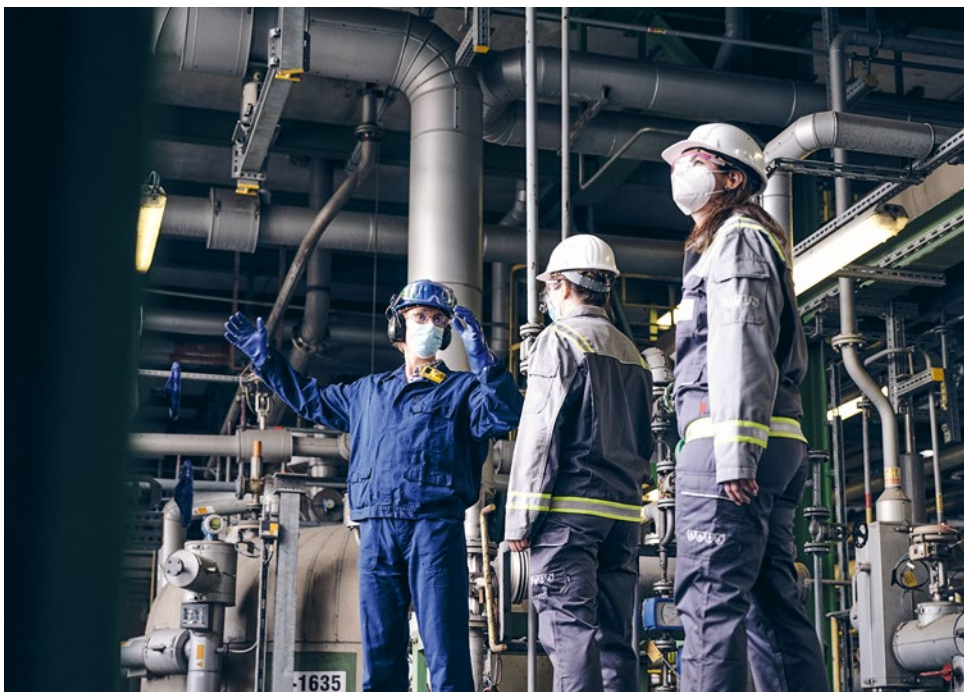
Wie gut die Trennung funktioniert und wie rein das Aldehyd danach wirklich ist, soll sich hier zeigen. Für die geplante Demonstrationsanlage steht bereits eine kleine Freifläche bereit, die Zugangsstellen in die riesige bestehende Anlage sind geklärt. Doch ehe dort das neue Reaktorsystem errichtet wird, müssen im Technikum einige Fragen geklärt werden. „Wir tüfteln noch am endgültigen Design“, erklärt Linda Arsenjuk. Da-

bei werden auch einige Neuerungen gegenüber dem ROMEO-Reaktor untersucht. Zum Beispiel ein weiteres Membranmaterial, das ein Projektpartner, das Helmholtz-Zentrum Hereon, vorgeschlagen hat. Für die Beschichtung der Poren im Reaktor gibt es inzwischen eine vielversprechende Alternative zur bisher verwendeten ionischen Flüssigkeit. Und es laufen Tests mit einer längeren Version der Keramikröhrchen des dänischen Partners Liqtech.

### SIMULATION DER STOFFSTRÖME

Für die spätere Prozesspraxis gilt es zudem, die optimalen Einstellungen für Temperatur, Druck und Durchflussgeschwindigkeit zu ermitteln. Dabei geht es nicht nur um die bestmögliche Produktausbeute, sondern auch darum, störende Nebenreaktionen zu unterbinden. „Ein potenzielles Problem besteht immer darin, dass Pentanalmoleküle miteinander zu größeren Einheiten reagieren, die dann kondensieren und die Poren wie Honig verkleben“, erklärt Dr. Corina Nentwich, ebenfalls Chemieingenieurin im Bereich Verfahrenstechnik. Sie ist im MACBETH-Team für die Prozesssimulation zuständig und muss das Geschehen im neuen Reaktor möglichst detailgetreu in die entsprechende Software integrieren. Am Ende soll die exakte numerische Beschreibung helfen, bestimmte Szenarien theoretisch durchzuspielen und den Reaktor optimal zu planen. →

Linda Arsenjuk und Corina Nentwich an der Destillationsanlage, die durch die neue Technologie ersetzt werden könnte



## »Das System lässt uns den Prozess beliebig skalieren.«

ROBERT FRANKE, PROJEKTKOORDINATOR MACBETH

### Das MACBETH-Projekt

Die Hydroformylierung ist eines von vier Einsatzgebieten, in denen MACBETH die katalytischen Membranreaktoren beforcht. In den anderen Projektsträngen arbeiten weitere Projektpartner daran, das Verfahren für die Wasserstoffgewinnung aus Biogas, die Isolierung reiner Fettsäuren aus Pflanzenölen sowie die Propandehydrierung zu Propen zu nutzen. In allen Fällen geht es um die Kombination geeigneter Katalysatoren mit Membranen zur jeweiligen Abtrennung der gewünschten Produkte. Katalysatoren, Membranmaterialien und auch die Reaktorbedingungen sind sehr unterschiedlich, doch alle Verfahren würden bei ihrem Gelingen helfen, viel Energie zu sparen und Treibhausgasemissionen zu vermeiden. Insgesamt arbeiten 24 Partner aus zehn Ländern von 2019 bis 2024 in vier Teilprojekten an acht Arbeitspaketen und werden von der EU mit 16,6 Millionen € gefördert. Die Gesamtkoordination von MACBETH liegt bei Evonik.

Das Projekt wird mit Mitteln des Forschungs- und Innovationsprogramms „Horizon 2020“ der Europäischen Union gefördert im Rahmen der Fördervereinbarung Nr. 869896.



Die Modelliererin nimmt zudem eine übergeordnete Perspektive ein und prüft, wie sich der Membranreaktor auf die Stoffbilanzen am Standort Marl auswirkt. „Die Reaktion von Buten zu Pentanal findet im Chemiepark ja nicht isoliert statt“, erklärt Nentwich. „Vielmehr ist der Prozess in ein ganzes Netzwerk chemischer Reaktionspfade und Stoffströme eingebunden, die sich gegenseitig beeinflussen.“ Konkret: Sollte sich etwa zeigen, dass der neue Reaktor aus einer bestimmten Menge Buten mehr oder weniger Pentanal macht als das herkömmliche Verfahren, hätte das Folgen für andere Synthesestränge, weil dann dort zum Beispiel mehr Buten zur Verfügung stünde. Die Verfahrenstechnikerin arbeitet derzeit daran, auch solche Zusammenhänge abzubilden.

Trotz der erschwerten Bedingungen durch die Coronapandemie sollen die Versuche an der Demonstrationsanlage möglichst schon 2022 starten. Sollte sich der neuartige Membranreaktor in der Praxis etablieren, wäre es für Arsenjuk und Nentwich schon am Anfang ihrer beruflichen Laufbahn ein echtes Highlight. „Ein völlig neuer Reaktortyp wird nicht alle Tage entwickelt, und wenn man dabei ist, ist das schon toll“, schwärmt Linda Arsenjuk.

### ZWEI DRITTEL WENIGER TREIBHAUSGASE

Ein Erfolg sind auch die kalkulierten Auswirkungen auf die Nachhaltigkeitsbilanz. „Wir haben das neue Verfahren dazu mit einem gut untersuchten herkömmlichen Prozess im Rahmen einer Lebenszyklusanalyse verglichen“, sagt Corina Nentwich, nämlich inklusive der Weiterverarbeitung von Pentanal zu 2-Propylheptanol (2-PH). „Dabei zeigte sich, dass der neue



Reaktor die gesamten Treibhausgasemissionen der 2-PH-Produktion um fast 70 Prozent reduzieren kann“, so Nentwich. In diese Kalkulation sei der Einfluss der Membran noch gar nicht einbezogen, erklärt die Chemieingenieurin. Sollte MACBETH zeigen, dass die Aldehyd-Aufreinigung mit der Membran so gut gelingt, dass die energieintensiven Destillationsschritte entfallen können, wäre der Effekt also noch größer.

Egal ob es um die Membran oder um die Katalysatorbeschichtung geht – bei vielen Details steuern die jeweiligen Projektpartner wichtige Expertise bei. „Allein könnten wir so etwas gar nicht schaffen“, betont Robert Franke. Das gelte auch für den finanziellen Rahmen. Die EU fördert MACBETH mit 16,6 Millionen €. Franke spricht von einer tollen Unterstützung, auch vor dem Hintergrund, dass ein gewisses Risiko dabei ist. „Wir wissen ja nicht genau, ob am Ende in der Praxis wirklich alles so klappt, wie wir uns das vorstellen, und ob sich daraus wirklich schon ein neuer Prozess ableitet“, so Franke.

Im Shakespeare-Drama „Macbeth“ sagen drei Hexen der Titelfigur die Zukunft voraus. Auf solche Künste kann Robert Franke nicht zurückgreifen. Aber bis Oktober 2024 wird auch er mit seinem Team wissen, ob sich katalytische Membranreaktoren für die kommerzielle Hydroformylierung eignen. So lange nämlich läuft MACBETH. Um die verbleibende Zeit bestmöglich zu nutzen, gibt Franke ein Motto aus dem vierten Akt der Shakespeare-Vorlage vor: „Cut short all intermission“, verlangt dort der Macbeth-Gegenspieler Macduff: Unterlasst alle Unterbrechungen! —



**Karl Hübner** ist promovierter Chemiker und Journalist. Er arbeitet nebenberuflich als freier Autor und schreibt häufig über Forschungsthemen.



Im Marler Oxo-Betrieb stellt Evonik aus Olefinen und Synthesegas Aldehyde her.

Rindfleisch essen, ohne das Rind  
zu töten – dank Technologien  
wie Tissue Engineering könnte  
dies künftig möglich sein.



# WIE SCHMECKT DIE ZUKUNFT?

TEXT BJÖRN THEIS

## Steaks aus dem Bioreaktor? Anti-Aging-Mittel zum Dessert? Bakterien, die Krebs heilen? Die Zukunft der Ernährung eröffnet jede Menge Chancen für Gesundheit und Wohlbefinden, die es zu erforschen gilt.

**S**ir Winston Churchill war nicht nur einer der bedeutendsten Staatsmänner des 20. Jahrhunderts, sondern auch ein ernst zu nehmender Zukunftsforscher. „Fifty Years Hence“ – so lautet der Titel des Essays, das der spätere britische Premier 1932 für das Magazin Popular Mechanics verfasste. Darin erdenkt Churchill bereits eine Wasserstoffökonomie, Smartphones – und eine Zeit, in der wir „der Absurdität entkommen, ein ganzes Huhn zu züchten, um die Brust oder die Flügel zu essen, indem wir die einzelnen Teile in einem geeigneten Medium züchten“.

### WUNDERWERK MIKROBIOM

Heute beginnt diese Vision, Realität zu werden. Im Dezember vergangenen Jahres gewährte Singapur als erstes Land weltweit der amerikanischen Firma Eat Just die Zulassung ihrer „Chicken Bites“: Fleischstückchen aus Hühnerzellen, die im Bioreaktor gezüchtet werden.

Fleischersatz aus Pflanzenproteinen ist mittlerweile in fast jedem Supermarkt erhältlich. „Peak Meat“, also der Punkt, von dem an der Konsum tierischer Proteine zurückgeht, könnte laut einer Studie von Boston Consulting in Europa und Nordamerika zwischen 2025 und 2035 erreicht werden. 2040, so Experten von AT Kearney, könnten bereits 60 Prozent der heutigen Fleischprodukte durch pflanzliche oder ge-

züchtete Alternativen ersetzt worden sein – mit positiven Effekten für Flächenverbrauch und Klimabelastung.

Zugleich verdichten sich die wissenschaftlichen Erkenntnisse, dass durch eine gezielte Ernährung Krankheiten wie Diabetes oder Darmkrebs vermieden und sogar bekämpft werden können. Das menschliche Mikrobiom kristallisiert sich als Missing Link heraus, der uns die Wechselwirkungen zwischen Nahrung und unserem Körper besser verstehen lässt. Im komplexen Zusammenspiel von Nährstoffen, Mikroorganismen und Stoffwechselprodukten werden die Ursachen zahlreicher Krankheiten vermutet. Die Forschergemeinde ist sich sicher, dass die richtige Ernährung in der präventiven Medizin eine zentrale Rolle spielt.

### SICH JÜNGER UND GESÜNDER ESSEN

Positive Effekte auf die menschliche Gesundheit lassen auch Ergebnisse aus der Epigenetik erhoffen – der Wissenschaft, die sich mit der Regulation der Gene beschäftigt. Isabelle Mansuy, stellvertretende Leiterin des Instituts für Neurowissenschaften an der ETH Zürich, geht davon aus, dass wir durch die Ernährung die Ausprägung unserer Gene steuern und so genetische Veranlagungen etwa zu Stoffwechselkrankheiten oder zu Übergewicht an- und abschalten können.

So vermuten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, dass Olivenöl das Arteriosklerose-Risiko deutlich reduziert. Mansuy zufolge ist es sogar möglich, Einfluss auf den Alterungsprozess zu nehmen. Die Epigenetik konnte nachweisen, dass manche Menschen jünger oder älter sind, als ihr Geburtsdatum es vermuten lässt.

Ob epigenetisch wirksame Nährstoffkombinationen, Mikrobiom-Tuning, pflanzenbasiertes oder gezüchtetes Fleisch – die Ernährung bietet noch viel Raum für Innovationen. Ein lohnender Grund für das Foresight-Team der Creavis, die Zukunft der Ernährung zum nächsten Fokusthema zu erklären. Unter dem Titel „Sustainable Food Futures 2040“ sollen neue Innovationsmöglichkeiten entlang der sich wandelnden Lebensmittel-Wertschöpfungskette identifiziert werden, damit Evonik einen Beitrag zu einer nachhaltigen Zukunft der Ernährung leisten kann.

Einer Zukunft, die sicherlich auch Churchill schmecken würde. —



**Björn Theis** leitet die Abteilung Foresight der Evonik-Innovationseinheit Creavis. Seine ELEMENTS-Kolumne erscheint regelmäßig auf [elements.evonik.de](http://elements.evonik.de).



# »Und plötzlich brach das Aluminium«

PROTOKOLL FELIX ABRAHAMS  
FOTOGRAFIE ALEXANDRE SIMOES

Wolfgang „Teddy“ de Beer ist ein Kind des Ruhrgebiets. Er absolvierte 216 Pflichtspiele für Borussia Dortmund und holte viele Titel als Spieler und Torwarttrainer. Kaum einer kennt das Aluminiumgehäuse so gut wie er – obwohl er gelernter Tischler ist.

**Z**u Beginn meiner Karriere haben wir noch mit Pfosten aus Holz gespielt. Die waren eckig, und es tat ziemlich weh, wenn man mal dagegengeknallt ist. Wir haben uns sehr gefreut, als wir später Tore aus Aluminium bekommen haben – mussten uns aber auch umstellen, weil der Pfosten auf einmal rund war und die Bälle ganz anders abprallten. Immerhin tat der Körperkontakt nicht mehr so weh. Haltbarer waren die neuen Tore obendrein, denn sie konnten nicht mehr verfaulen wie die aus Holz.

Meine Mutter erzählt gern, wie ich 1968 als Vierjähriger ein Fußballspiel im Fernsehen anschaute und zu ihr gesagt habe, dass sie mich da auch eines Tages sehen wird. Mit acht habe ich ein Spiel als Linksverteidiger gemacht. Im folgenden Spiel ist unser Torwart ausgefallen, und ich bin zwischen die Pfosten gegangen. War auch besser so, als Feldspieler hätte ich kein Geld verdienen können.

1987 kam ich dann zu Borussia Dortmund. Mein erstes Spiel gegen den FC Bayern war so etwas wie das Spiel meines Lebens. Es folgten der Pokalsieg 1989 und die erfolgreichste Zeit der Dortmunder Vereinsgeschichte. Der Pokal war für mich der bedeutendste Titel, weil ich selbst auf dem Feld stand. Bis 1993 war ich Stammtorwart, danach folgten mehrere Jahre als Nummer zwei. Auch da konnte ich der Mannschaft helfen, weil ich Druck machen konnte auf die Nummer eins. Der Trainer wusste: Wenn er mich brauchte, war ich da.

Auch beim legendären Torfall von Madrid 1998 war ich dabei. Das war ziemlich kurios: Wir bereiten uns auf das Champions-League-Halbfinale gegen Real vor, und kurz vor dem Anpfiff fällt auf einmal dieses Tor um. Einige spanische Fans waren vorher auf den Schutzzaun geklettert, an dem das Tor befestigt war. Dann knickte der Zaun um und riss das Tor mit. Ausgerechnet in diesem wichtigen Spiel brach das Alu. Wir mussten mehr als eine Stunde warten, bis endlich ein Ersatztor von Real Madrids Trainingsgelände herangeschafft und aufgebaut war – und verloren schließlich 0:2.

Nach 14 Jahren als aktiver Spieler bin ich 2002 in den Trainerstab der Borussia gewechselt. Insgesamt war ich 17 Jahre lang Torwarttrainer. Heute arbeite ich in der Fanabteilung und spreche mit BVB-Fans auf der ganzen Welt.

# Impressum

---

**HERAUSGEBER** Evonik Industries AG | Christian Schmid | Rellinghauser Straße 1–11 | 45128 Essen |  
**BERATUNG UND KONZEPT** Manfred Bissinger |  
**CHEFREDAKTION** Matthias Ruch (V.i.S.d.P.) |  
**CHEFIN VOM DIENST** Inga Borg, Deborah Lippmann |  
**TEXTCHEF** Christian Baulig, Jörg Wagner | **ONLINE-REDAKTION** Nicolas Garz | **BILDREDAKTION** Nadine Berger | **LAYOUT** Wiebke Schwarz (Art Direction), Victor Schirner (Grafik) | **ANSCHRIFT DER REDAKTION** KNSK Group | An der Alster 1 | 20099 Hamburg | **DRUCK** Neef+Stumme premium printing, Wittingen | **COPYRIGHT** © 2021 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**  
Cover: Getty Images | S. 3 Kirsten Neumann | S. 4–5 Getty Images, Robert Eikelpoth (2) | S. 6–7 Javier Pardina/stocksy.com | S. 8–9 picture alliance/ZUMAPRESS.com/CNSA, © 2018 The Regents of the University of California, Lawrence Berkeley National Laboratory, K. Hammerschmidt; Illustration: KNSKB+ | S. 10–19 Robert Eikelpoth (9), imago images/Xinhua, action press/imageBROKER/Christian Reister, action press/imageBROKER/Michael Nitzschke, Getty Images (2), ddp images, Shutterstock; Infografik: Maximilian Nertinger; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Stefan Eisenburger | S. 20–21 Lina Nikelowski/Evonik | S. 22–27 Thomas Pirot (2), Anoush Abrar/13 Photo (3) | S. 28–33 Ramon Haindl (2), Robert Eikelpoth (6); Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Karsten Bootmann/Evonik | S. 34–35 Infografik: Maximilian Nertinger | S. 36–43 picture alliance/robertharding/Francesco Bergamaschi, Robert Haidinger/laif, Getty Images, ddp images, action press | S. 44–49 Robert Eikelpoth (5), iStockphoto; Infografik: Maximilian Nertinger; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von privat | S. 50 Getty Images; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Karsten Bootmann/Evonik | S. 52 Alexandre Simoes

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

# »Die Baukunst soll ein Spiegel ...

... des Lebens und der Zeit sein«, befand einst der weltberühmte Architekt Walter Gropius. Anders gesagt: Wie gebaut wird, ist immer Ausdruck der jeweiligen Vorstellungen und Bedürfnisse einer Epoche – und damit der Menschen, die in den Gebäuden wohnen und arbeiten.

Mit seiner Bauhaus-Schule war Gropius nicht nur Vorreiter in Fragen der Ästhetik, die stets der Funktionalität folgen sollte. Er beschäftigte sich auch intensiv mit Baumaterialien. Ein besonderes Augenmerk legte er dabei auf Beton – neben Glas und Stahl das wichtigste Element der Bauhaus-Architektur. Bis heute nimmt Beton eine tragende Rolle auf Baustellen in der ganzen Welt ein. ELEMENTS zeigt, wie dieses Material weiterentwickelt wird, um auch künftig, frei nach Gropius, den Anforderungen einer sich wandelnden Welt gerecht zu werden.

2/2021 **Beton**