

ELEMENTS

Forschen. Wissen. Zukunft.



Stoff-Wechsel

Wie Fermentation die industrielle Produktion von Spinnenseide möglich macht → S. 10

Glasflaschen: Nachhaltig beschichtet mit Silanen → S. 22

Nanolipide: Unterwegs in Nordamerikas Biotech-Hotspots → S. 36

Bionik

Nutzung natürlicher Vorbilder für technische Entwicklungen

Der Begriff Bionik setzt sich aus den Wörtern Biologie und Technik zusammen. Das Forschungsfeld entwickelt technische Lösungen nach dem Vorbild natürlicher Systeme. Die Bionik verfolgt dabei zwei Ansätze. Zum einen imitiert sie biologische Prinzipien und übersetzt sie in technische Anwendungen, etwa wiederlösbare Verschlüsse nach dem Vorbild der Klette oder besonders windschlüpfrige Flugzeugoberflächen, die der Struktur der Haihaut nachempfunden sind. Zum anderen werden biologische Strukturen, Prozesse oder Materialien nachgebaut oder synthetisiert. So wird das Prinzip der Photosynthese, bei der Pflanzen mithilfe von Sonnenlicht, Wasser und Kohlendioxid energiereiche Stoffe herstellen, auch bei der Herstellung von Kraftstoffen eingesetzt. Ein weiteres Beispiel ist die biotechnologische Herstellung von Seidenfäden nach dem Vorbild von Spinnen. Als interdisziplinäres Feld verbindet die Bionik Biologie, Physik und Chemie mit Ingenieur- und Materialwissenschaften sowie Architektur und Design.

Natürliches System System, das ohne menschlichen Eingriff in die Natur entsteht, sich selbst organisiert und dadurch besonders dynamisch und anpassungsfähig ist

Synthetisieren Künstlich herstellen oder durch einen chemischen oder technischen Prozess gezielt erzeugen

Interdisziplinär Verschiedene Fachbereiche oder wissenschaftliche Disziplinen umfassend



LIEBE LESERIN, LIEBER LESER,

wer die Errungenschaften der Chemieindustrie rühmt, hört einen Satz sehr oft: „Also, ich bevorzuge ja Erzeugnisse auf biologischer Basis!“ Einerseits schwingt da eine gewisse Unkenntnis mit – schließlich gäbe es über 90 Prozent der Produkte in unserem Leben ohne Chemie gar nicht. Oft verdanken sie der Chemie erst ihre guten Eigenschaften. Andererseits wird mit solch einer Aussage ein Gegensatz aufgemacht, der keiner ist: Stichwort Biochemie.

Biochemische Verfahren sind eine Spezialität von Evonik. Richtig innovativ wird es, wenn noch die Biologie als Ideengeber ins Spiel kommt. So wie bei Amsilk: Das Münchner Unternehmen hat Bakterien dazu gebracht, das Protein herzustellen, aus dem Spinnen ihre Netze bauen – extrem reißfest, extrem leicht, extrem flexibel. Nun reißen sich Modefirmen, Autokonzerne und andere Unternehmen um das feine Garn. Dass sie es bekommen, dafür sorgt die Kompetenz von Evonik in der Fermentation. Gemeinsam gelang es den beiden Partnern, eine Produktion im industriellen Maßstab und in gleichbleibender Qualität zu ermöglichen. Stoff wie aus der Natur – nur besser.

Besser sind auch die Getränkeflaschen, um die es in einer weiteren Geschichte in diesem Heft geht. Wie viel Innovation darin steckt, einer Bierflasche ihren Glanz und ihre Kratzfestigkeit zu geben und die dafür erforderliche Beschichtung möglichst sicher und umweltverträglich zu machen, erfahren Sie in diesem Artikel. Sie werden danach Ihren Feierabend-Drink mit anderen Augen betrachten – versprochen.

Zudem zeigen wir Ihnen, was sich bei mRNA-Therapeutika tut, den medizinischen Wundermitteln. Die US-Regierung hat die Förderung der mRNA-Forschung drastisch reduziert. Und dennoch entwickelt sich eine breite Palette an Innovationen jenseits von Impfstoffen für Pandemien. In den USA, aber mindestens genauso stark in Kanada. Evonik ist in beiden Ländern mit Forschungs- und Produktionsstandorten vertreten.

Ich wünsche Ihnen spannende Einblicke. Wenn Sie Fragen, Anregungen oder Kritik zu diesem Heft haben, schreiben Sie mir gern: elements@evonik.com

Jörg Wagner

Chefredakteur

Sämtliche Artikel aus dem gedruckten Magazin sowie weitere aktuelle Inhalte finden Sie im Internet unter elements.evonik.de



Feiner Faden, zugfester als Stahl: Spinnenseide zählt zu den exklusivsten Stoffen. Evonik stellt sie gemeinsam mit Amsilk mittels Fermentation her – für Luxusunternehmen, die Autoindustrie und die Medizinbranche.

SEIDENPROTEINE

10 Glanzleistung

Seide ist ein gefragter Stoff in der Textilindustrie, aber auch bei Hightech-Anwendungen in der Automobilherstellung und in der Medizintechnik kann er zum Einsatz kommen. Für das Münchner Unternehmen Amsilk produziert Evonik auf biotechnologischem Weg Seidenproteine – und reduziert auf diese Weise den CO₂-Fußabdruck des Materials erheblich.

SCHAUBILD

20 Spinnen ohne Spinnen

Die Produktion natürlicher Seide ist ein mühsamer Prozess. Indem genetische Informationen von Spinnen in Bakterien übertragen werden, lassen sich die Seidenproteine mittels Fermentation produzieren und anschließend zu Garn verarbeiten.

GLASVERPACKUNGEN

22 An der Oberfläche

Flaschen sollen robust sein, ihren Inhalt schützen – und möglichst lange gut aussehen. Das klappt nur, wenn das Glas mit einer Schutzschicht versiegelt wird. Gemeinsam mit dem Unternehmen TotalEnergies wurde nun eine umweltschonende Alternative zum bisherigen Verfahren entwickelt, die auf dem Know-how von Evonik bei Silanen fußt.

DATA MINING

31 Transportbereit

Als Verpackungsmaterial ist Glas allgegenwärtig. So schlägt es sich gegen die Rivalen Kunststoff, Blech und Papier.

Koryphäen wie Pieter Cullis aus Vancouver scharen mRNA-Expertise um sich. Auch Evonik ist Teil des Biotech-Clusters in der kanadischen Küstenstadt.

INTERVIEW

32 »So wird Glas noch nachhaltiger«

Der Materialwissenschaftler Dirk Diederich erklärt, wie neue Fertigungstechnologien und Zutaten die Umweltbelastung durch Flaschen und andere Glasbehälter verringern können.

MESSENGER-RNA UND NANOLIPIDE

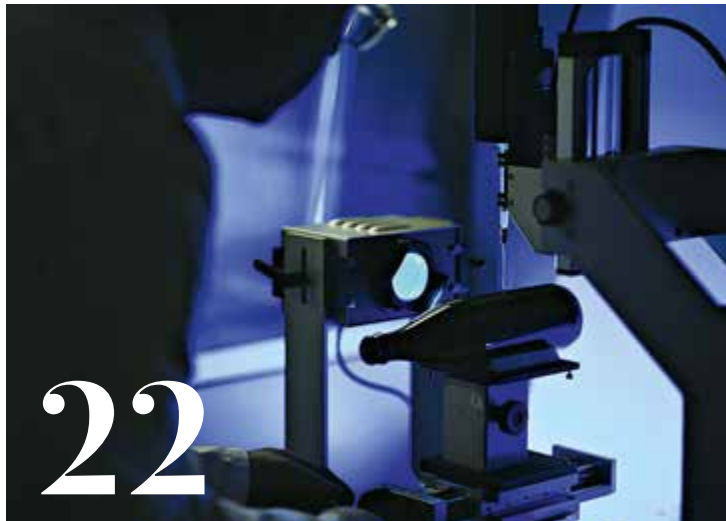
36 Klasse durch Cluster

Evonik hat sich als wichtiger Partner im Geschäft mit Lipidnanopartikeln etabliert. Das liegt nicht zuletzt an der Rolle, die das Unternehmen in den Biotech-Hubs in Vancouver (Kanada) und Cambridge (USA) spielt. Ein Ortsbesuch

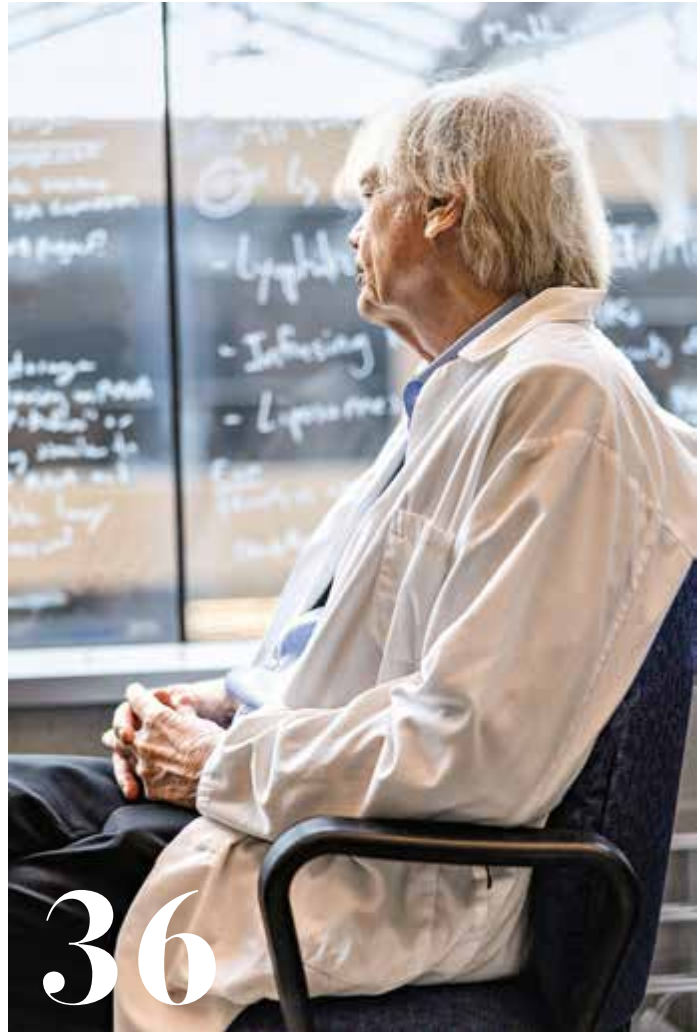
ESSAY

46 Die nächste Etappe

MIT-Professor und Moderna-Mitgründer Robert S. Langer über das Potenzial von Messenger-RNA bei der Bekämpfung von Krankheiten und die Rolle passender Transportsysteme bei der Entwicklung von Therapien



Glanz und Schutz: Mithilfe von Silanen gelingt die Beschichtung von Flaschen und anderen Glasbehältern auf nachhaltigere Weise als bisher.



6 PERSPEKTIVEN
Neues aus Wissenschaft und Forschung

48 FORESIGHT
Ein Job für KI
Warum künstliche Intelligenz die Arbeitswelt fundamental verändern wird

50 IN MEINEM ELEMENT
Quecksilber
Steffen Noack lässt mit dem flüssigen Metall Spiegel im historischen Glanz erstrahlen.

51 IMPRESSUM





Die Welt steckt voller Herausforderungen. Evonik arbeitet an innovativen Lösungen, die ebenso ökonomisch wie nachhaltig sind. Hier stellen wir sie vor.

Das Problem: Millionen von Menschen weltweit tragen Kontaktlinsen. Symptome wie gerötete Augen oder ein Fremdkörpergefühl können den Tragekomfort jedoch erheblich beeinträchtigen. Häufig hängen diese Beschwerden mit dem Linsenmaterial zusammen. Wenn es nicht genügend Sauerstoff zur Hornhaut durchlässt, Feuchtigkeit nicht ausreichend speichern kann oder nicht formstabil ist, kann das zu Rötungen und Reizungen führen und sogar die Sehleistung beeinträchtigen.

Die Lösung: Hochreine Rohstoffe und fortschrittliche Syntheseprozesse können helfen, solche unerwünschten Nebenwirkungen zu vermeiden. Kontaktlinsen bestehen aus einem Polymer Netzwerk, das durch sogenannte Vernetzer zusammengehalten wird. Genau hier spielt Evonik eine entscheidende Rolle. Das Unternehmen bietet hochreine Spezialmonomere und Vernetzer an, die Hydrogel-Linsen eine hohe Sauerstoffdurchlässigkeit, Formstabilität und eine starke Fähigkeit zur Feuchtigkeitsspeicherung verleihen. Zudem hat Evonik biobasierte Monomere im Portfolio, die nachhaltigere Produktlösungen ermöglichen. Das Ergebnis sind Kontaktlinsen, die scharfes Sehen und hohen Tragekomfort vereinen.

Die menschliche Iris wird von der Hornhaut geschützt. Da diese über keine Blutgefäße verfügt, ist sie auf Sauerstoff von außen angewiesen. Kontaktlinsen müssen daher eine ausreichende Sauerstoffversorgung sicherstellen und gleichzeitig weich sowie formstabil bleiben.

Die Milch macht's

Forscher aus den USA verwandeln Kasein und Molkenproteine in einen nachhaltigeren Kunststoff für die additive Fertigung.

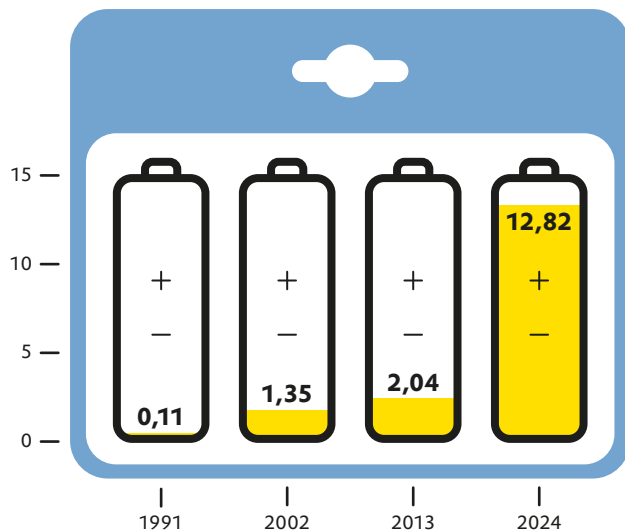
Weltweit werden jährlich circa 116 Millionen Tonnen Milchprodukte verschwendet oder entsorgt. Um diese Reststoffe nutzbar zu machen, haben Dr. John Obielodan und Dr. Joseph Wu von der University of Wisconsin-Platteville eine innovative Lösung entwickelt: Ihr patentiertes Verfahren überführt Milchabfälle in einen biologisch abbaubaren Kunststoff für den 3D-Druck. Grundlage sind Kasein und Molkenproteine, die aus verdorbener Milch extrahiert und mit Polymeren kombiniert werden. Dabei entfernt Butanol zunächst störende Fettanteile der Proteine, um die Druckfähigkeit zu verbessern. Anschließend



werden die gereinigten Proteine mit herkömmlichen Polymeren gemischt. Von zentraler Bedeutung dabei ist die präzise Abstimmung der Formulierung, denn das Mischungsverhältnis beeinflusst maßgeblich mechanische Eigenschaften wie Festigkeit, Flexibilität und Druckstabilität. Das Ergebnis ist ein druckfähiges Material mit biobasiertem Anteil als umweltfreundlichere Alternative zu herkömmlichen Kunststoffen.

BESSER IST DAS Billiger laden

Zahl der Kilowattstunden, die sich mit 1.000 US-Dollar erzeugen lassen



Lithium-Ionen-Batteriezellen für Elektrofahrzeuge, Unterhaltungselektronik und Energiespeichersysteme werden immer günstiger. Massenproduktion, optimierte Fertigungslinien sowie Fortschritte in der Batterietechnologie und Zellchemie sorgten dafür, dass sich mit Einsatz von 1.000 US-Dollar heute gut 13 Kilowattstunden Strom erzeugen lassen, rund 120-mal so viel wie vor 35 Jahren.

Quelle: www.ourworldindata.org, Rupert Way (2026) based on Ziegler and Trancik (2021), BloombergNEF and Avicenne Energy

90

PROZENT

der Ausgangsstoffe eines Epoxidharzes gewinnen Forscher der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt in St. Gallen bei der chemischen Auflösung zurück. Das neuartige Harz enthält einen phosphorhaltigen Polymerzusatz. Herkömmliches Epoxid lässt sich wegen seiner irreversibel vernetzten Polymerketten nach dem Aushärten nicht recyceln. Die Phosphorverbindungen aber bilden Scharniere in den Polymerketten und ermöglichen so eine Wiederverwertung. Zudem dienen sie als integrierter Flammenschutz. Das neue Epoxidharz eignet sich für Beschichtungen und Klebstoffe mit hohen Anforderungen an Stabilität und Brandschutz.

RIFF-DIFF ...

... steht für Rotamer Inverted Fragment Finder-Diffusion, eine KI-gestützte Technologie zum Design künstlicher Enzyme. Statt wie bisher üblich bestehende Proteine zu verändern, gehen Forscher aus Graz umgekehrt vor: Im sogenannten aktiven Zentrum des Enzyms positionieren sie die für die gewünschte Reaktion entscheidenden Strukturelemente und erzeugen dann per KI die vollständige Proteinmolekülstruktur. Um die Enzyme von Grund auf zu bauen, nutzt Riff-Diff generative Machine-Learning-Modelle und die rechnergestützte Simulation von Atomen und Molekülen. So entstehen besonders schnelle und stabile Biokatalysatoren für Industrie, Medizin und Umwelt.

MENSCH & VISION

»Ich will die Kleb- und Dichtstoffindustrie nachhaltiger machen und Landwirte stärken«

DER MENSCH

Mark Kennedy Bantugon entwickelte schon früh ein Gespür für den Wert natürlicher Ressourcen. „Ich wuchs auf einem Bauernhof auf“, erzählt der 27-jährige Philippiner. „So begegnete ich Pflanzen und Bäumen, aus denen sich wertvolle Rohstoffe gewinnen lassen.“ Der heimische Pilinussbaum prägt den Weg des jungen Forschers bis heute. Nach dem Bachelor in Luftfahrttechnik am Philippine State College of Aeronautics macht Bantugon derzeit seinen Master in Materialwissenschaft und Werkstofftechnik an der Mapúa University in Manila. Hier treibt er auch seine Erfindung Pili Seal voran und baut zudem sein Start-up Pili Adheseal auf.

DIE VISION

In der Parfümindustrie fallen Reste aus dem Harz des Pilinussbaums an. Bantugon fand dafür eine wertvolle Verwendung: Mit ihren guten Hafteigenschaften bilden sie die Basis eines ungiftigen, umweltfreundlichen und leistungsstarken Dicht- und Klebstoffs etwa für die Luft- und Raumfahrt. Die Rückstände aus Bantugons Produktion werden in Dünger umgewandelt. „So entsteht ein Kreislauf, der die Dicht- und Klebstoffindustrie nachhaltiger macht und die lokale Landwirtschaft stärkt.“ Ein erstes Projekt setzt Bantugon mit dem heimischen Verteidigungsministerium um: „Nun möchte ich meine Erfindung jenseits der Landesgrenzen wachsen sehen.“



Mark Kennedy Bantugon mit Pili Seal, einem umweltfreundlichen Mehrzweckkleb- und -dichtstoff, der auf sämtlichen Materialien haftet

Neues aus Nitratabfällen

Kupfer-Palladium-Hybrid-Grenzflächen ermöglichen eine hocheffiziente elektrochemische Ammoniaksynthese.

Ein Forschungsteam unter Leitung von Professor Dr. Xinhe Bao vom chinesischen Dalian Institute of Chemical Physics hat einen Kupfer-Palladium-Bimetallkatalysator entwickelt, der Nitratabfälle effizient in Ammoniak umwandelt. Dessen hochaktive Grenzflächen, an denen Kupfer- und Palladiumatome in direktem Kontakt zueinander stehen, steuern gezielt die elektrochemische Nitratreduktion und erhöhen die Bildung von Ammoniak. Die Methode ist eine schonende Alternative zum Haber-Bosch-Verfahren,

das fossile Rohstoffe sowie hohe Temperaturen und Drücke benötigt. Wird erneuerbarer Strom verwendet, entsteht bei der elektrochemischen Synthese „grünes“ Ammoniak mit verbesserter CO_2 -Bilanz, das als Grundstoff etwa für Düngemittel genutzt werden kann. Der Katalysator eröffnet Perspektiven für eine nachhaltige Landwirtschaft, die Stickstoffrückgewinnung aus Abwässern sowie kohlenstoffarme Energiesysteme, in denen Ammoniak als Energieträger oder Wasserstoffspeicher dient.

GUTE FRAGE



Herr Gießen, was können wir vom Oktopus lernen?

Gemeinsam mit Forschern der Stanford University in Kalifornien haben wir eine ultradünne photonische Haut entwickelt, die Oberflächenstruktur und Farbe unabhängig voneinander ändern kann, ähnlich wie bei einem Oktopus. Im Labor lässt sich auf fünf bis zehn Quadratmillimetern bereits die Anpassung an farblich unterschiedliche Hintergründe demonstrieren. Die Technologie könnte zum Beispiel bei Sensoren für Soft Robotics oder smarten Textilien zum Einsatz kommen. Sie vereint Methoden aus der Halbleiterfertigung, biologische Polymere und physikalische Konzepte wie optische Resonanzen in Dünnschichten. Bis die ersten Displays mit Oktopus-Oberfläche zur Anwendung kommen, benötigen wir noch Lösungen, etwa für die Steuerung der photonischen Haut. Langfristig könnten KI-gesteuerte Systeme die Materialien autonom in Echtzeit anpassen – ein Schritt hin zu lebendiger, adaptiver Technik.

Jun.-Prof. Dr. Nicholas Gießen forscht und lehrt im Fachbereich Quantenphotonik & Optoelektronik an der Universität Paderborn.



WIE AM

„Magic Moment“: In einer Flüssigkeit fällt das Seidenprotein aus, und es bilden sich feine Filamente. In die Länge gezogen, entsteht daraus ein Faden aus Spinnenseide (rechte Seite).

SCHNÜRCHEN

Seide fasziniert die Menschheit seit Jahrtausenden. Jetzt lässt sich der kostbare Stoff sogar auf biotechnologischem Weg herstellen. Gemeinsam mit der Firma Amsilk produziert Evonik das Vorprodukt für eine Hochleistungsfaser mittels Fermentation – nach dem Vorbild der Natur.

TEXT **SINA HORSTHEMKE**



Zum Trocknen läuft der Faden über beheizte Walzen (o.). Die anschließende Qualitätskontrolle umfasst auch die Messung der Zugfestigkeit direkt in der Spinnerei.

So unscheinbar das Gebäude südwestlich der Münchner Stadtgrenze von außen wirken mag – innen lässt sich ein faszinierender Prozess bestaunen: Aus einer wasserhahn großen Düse mit 40 winzigen Löchern quillt unter Druck eine zähflüssige Masse in einen Kolben voll transparenter Flüssigkeit. Plötzlich bilden sich dünne Fäden, die wie in Zeitlupe auf den Glasboden sinken. Nur wenige Menschen haben die Gelegenheit, das Spektakel aus der Nähe live anzusehen. Die beiden Chemieingenieure neben der Anlage tragen Schutzkleidung, um den Effekt zu zeigen, den sie hier „Magic Moment“ nennen.

Was die Mitarbeiter in der Spinnerei des Biotech-Unternehmens Amsilk in Planegg so anschaulich vorführen, geschieht sonst im Verborgenen. Es bleibt daher geheim, wie die 40 Filamente im Innern der Maschine bis zu 80-fach in die Länge gezogen und zu einem feinen Faden vereint werden. Einsehbar ist dafür die Spinnanlage, in der dieser Faden zuerst durch ein Wasserbad läuft, weiter zum Trocknen über beheizte Walzen eilt und schließlich auf eine unterarm lange Spule gewickelt wird.

Sie wird am Ende dieses Spinnprozesses einen Kilometer Faden tragen, der gerade mal neun Gramm auf die Waage bringt. Die Schnur schimmert wie Perlmutter, ist fein wie Haar und weich wie Seide – Spinnenseide, um genau zu sein. Denn das Vorbild für das Produkt von Amsilk ist jener Faden, den Seidenspinner zu Netzen verweben, um ihre Beute zu fangen.

LUXUSUNTERNEHMEN ALS ERSTKUNDEN

„Es handelt sich um das stärkste natürliche Protein der Welt, der Faden ist zweieinhalbmal so zugfest wie Stahl“, schwärmt Amsilk-CEO Ulrich Scherbel. „Kein Wunder, dass die Spider-Man-Geschichte die Menschen fasziniert. Spinnenseide aus Proteinen in nennenswerten Mengen herzustellen ist aber lange niemandem gelungen.“ Amsilk schon – zuerst im Kleinen im Labor und nun gemeinsam mit Evonik im Industriemaßstab.

Das Interesse an dem innovativen Material ist groß, die Namen der Kunden, die es bereits verarbeiten, sind weltweit bekannt. Die Faser findet sich in Blusen der diesjährigen Frühjahrskollektion des Pariser Modekonzerns

Auf einem Nährboden vermehren sich in Petrischalen die gentechnisch veränderten Kolibakterien. Die Kolonien sind als Tröpfchen erkennbar.



»Unser Protein in eine großtechnische Produktion zu bringen war eine Herausforderung.«

ULRICH SCHERBEL, CEO VON AMSILK

Balenciaga. Sie wird in Uhrenarmbändern der Luxusmarke Omega verarbeitet. Und schon 2022 gab Amsilk eine Zusammenarbeit mit Mercedes-Benz bekannt: Die Türgriffe im Innern des Konzeptautos Vision EQXX enthalten Seidenfasern. In immer mehr Anwendungen spielen Spinnenseidefäden inzwischen eine Rolle. Die Nachfrage steigt, weshalb Evonik und Amsilk ihre seit 2021 bestehende Zusammenarbeit im Herbst vergangenen Jahres ausgebaut haben.

VORTEILE FÜR KLIMA UND UMWELT

Denkbar ist der Einsatz biotechnologisch erzeugter Spinnenseide in mehr als 20 Branchen, etwa in der Kosmetikindustrie als Ersatz für Silikone in Shampoos, in der Landwirtschaft und im Gesundheitsbereich: „Wir wissen zum Beispiel, dass der Körper Implantate, die mit Spinnenseide umhüllt sind, besser toleriert“, berichtet Amsilk-Chef Scherbel. „Und beschichten wir Pflanzensamen damit, verdoppelt sich deren Haltbarkeit.“ Zum ersten Mal kam die Hochleistungsfaser von Amsilk in der Textilindustrie zum Einsatz – als Alternative für

91.765

TONNEN

Seide wurden 2020 weltweit aus den Kokons von Raupen produziert.

natürliche Seide und andere Materialien. Die Branche hat innovative Lösungen dringend nötig. Laut Europäischer Umweltagentur ist sie der drittgrößte Verursacher von Wasserverschmutzung und Landnutzung. Der EU-Plan, bis 2050 eine Kreislaufwirtschaft zu erreichen, zielt deutlich auch auf die Textilindustrie.

Das Amsilk-Material ist nachhaltiger als viele andere Textilien. Da die Zusammensetzung der Fäden der des natürlichen Vorbilds entspricht, ist es vollständig biologisch abbaubar – anders als etwa eine Polyesterfaser. Die Produktion ist klima- und umweltfreundlicher als die konventionell hergestellter Seide. Diese stammt vor allem aus den Kokons der Raupen des Maulbeerspinners, eines in China beheimateten Nachtfalters. Echte Spinnenfäden, das Vorbild für das Amsilk-Produkt, lassen sich zwar aus gezüchteten Spinnen gewinnen und zur Seidenherstellung nutzen, der Prozess ist jedoch extrem aufwendig, und die Mengen sind winzig (siehe Seite 15).

Verglichen mit der Gewinnung und Herstellung traditioneller Maulbeerseide ist für die biotechnologische Herstellung von Spinnenseide laut Amsilk um →





Im Labor von Amsilk nimmt Prozessingenieurin Nadine Ersig eine Probe aus der laufenden Kultivierung in einem Fermenter. Während die Bakterien in der Nährlösung wachsen, produzieren sie das Seidenprotein.

97 Prozent weniger Wasser und 92 Prozent weniger Landfläche nötig, der CO₂-Fußabdruck ist um 81 Prozent kleiner. Zudem erlaubt das Amsilk-Verfahren die Produktion von Seidenfäden in weitaus größeren Mengen, als die Natur sie hergibt. Um ein Kilo Seide mithilfe von Maulbeerspinnern zu erzeugen, braucht man die Kokons von etwa 15.000 Raupen. Mit der Technologie von Amsilk entsteht an nur einem Arbeitstag die hundertfache Menge Protein, die fast vollständig zu Fasermaterial verarbeitet werden kann. „Die Textilbranche braucht dringend nachhaltige Lösungen wie diese“, sagt CEO Scherbel.

BAKTERIEN ERSETZEN SPINNEN

Bei Amsilk stehen am Anfang des seidenen Fadens keine Spinnen, sondern Bakterien. Seitdem die Wissenschaft in der Lage ist, Gene präzise zu analysieren und zu verändern, kann sie die Einzeller in winzige Fabriken verwandeln. Dafür wird ein DNA-Abschnitt, der den Bauplan für das gewünschte Molekül enthält, durch elektrische Impulse in das Innere der Mikroorganismen gebracht. Die

96

PROZENT

der natürlichen Seide auf dem Weltmarkt stammt aus China und Indien.

gentechnisch veränderten Bakterien benötigen dann nur noch viel Zucker, die passenden, bei Evonik hergestellten Aminosäuren sowie optimale Lebensbedingungen, um sich zu vermehren und das Seidenprotein en masse zu produzieren (siehe Schaubild Seite 20).

Der Prozess dahinter nennt sich Fermentation und wird seit Jahrhunderten genutzt, um Lebensmittel haltbar zu machen oder Bier und Wein herzustellen. Lange Zeit wusste man nicht, dass Mikroorganismen dabei die entscheidende Rolle spielen. Erst der französische Biochemiker Louis Pasteur zeigte im 19. Jahrhundert, dass Bakterien für die sogenannte Milchsäuregärung verantwortlich sind. Die moderne Präzisionsfermentation mit gentechnisch veränderten Mikroorganismen nimmt seit rund 40 Jahren Fahrt auf und ist aus der Biotechnologie heute nicht mehr wegzudenken: Prognosen gehen bis 2030 von einem durchschnittlichen jährlichen Umsatzwachstum von Produkten auf Fermentationsbasis um 43 Prozent aus – auf einen Marktwert von mehr als 35 Milliarden US-Dollar. →

GEFÄHRLICHER LUXUS

Seide zählt zu den feinsten Stoffen, die tierischen Produzenten bezahlen die Herstellung jedoch mit dem Leben.

Kühlend im Sommer, wärmend im Winter, auf der Haut fast schwerelos, dabei glänzend und weich – Seide gilt seit Jahrtausenden als kostbares Gut. Wie sie herzustellen ist, war in China lange ein streng gehütetes Geheimnis, sie zu tragen dem Kaiser und anderen Adligen vorbehalten. Das Geschäft mit Seide begann während der Han-Dynastie um 100 v. Chr., als erste Handelsrouten sich nach Zentralasien erstreckten.

Die chinesische Seide ist das Produkt der Raupen zweier Schmetterlinge, des Maulbeerseidenspinners und des Tussahspinners. Schon um 2.800 v. Chr. sollen Menschen sie zur Herstellung von Seidengarn gezüchtet haben. Die Larven verpuppen sich in einem Kokon, aus dem später der Falter schlüpfen soll. Das beerengroße Seidengespinnst besteht aus einem 800 bis 3.000 Meter langen Faden. Um diesen unversehrt gewinnen zu können, müssen die Puppen mit kochendem Wasser getötet werden.

Sechs Kilogramm Kokons von rund 15.000 Raupen sind für ein Kilogramm Rohseide nötig – eine Menge, die für etwa sechs Schals reicht. Kein Wunder, dass das feine Material als Luxusgut gilt und schon in Gold aufgewogen wurde, als es noch mit Karawanen über die Seidenstraße nach Europa kam. Bis heute ist China die Hochburg der Seidenproduktion; das Land deckt mit rund 200.000 Tonnen jährlich mehr als 70 Prozent des Weltmarkts ab.

An solche Mengen kam Spinnenseide nie heran – es ist unmöglich, genug davon zur Herstellung von Textilien zu gewinnen. Versuche gab es dennoch: Anfang des 18. Jahrhunderts galt die Aufmerksamkeit zunächst den Kokons, in die Spinnen ihre Eier legen, um ihren Nachwuchs vor Fressfeinden zu schützen. Ein Franzose aus Montpellier soll die federleichten Hüllen als Erster gesammelt, gekocht und ausgekämmt haben, um aus dem Faden ein Gewebe für Strümpfe und Handschuhe herzustellen. Erste Versuche, die Seide direkt aus Spinnen zu gewinnen, unternahm 1796 Raimondo Maria de Termeyer. Der Spanier spannte Spinnen in ein Gestell, um den Faden direkt aus der Spinndrüse zu ziehen und auf eine Spule zu wickeln.

In Madagaskar gelang es Ende des 19. Jahrhunderts, größere Mengen auf ähnliche Weise herzustellen: In einer Versuchsanlage der französischen Kolonialregierung wurde zwölf Spinnen gleichzeitig der Faden entnommen, zu Garn gezwirnt und dieses zu einem Tuch verwebt, das 1900 auf der Weltausstellung in Paris zu bestaunen war. Schon damals war aber klar: Aus Spinnenfäden Textilien herzustellen ist nicht wirklich effektiv.

2004 griffen der Textilkünstler Simon Peers und der Unternehmer Nicholas Godley die Idee für eine einmalige Aktion auf. Sie ließen mehr als eine Million Goldene Seidenspinnen Fäden produzieren und hatten nach fünf Jahren genug für einen anderthalb Kilogramm schweren Umhang beisammen. Das von Natur aus goldfarbene Gewand wurde seit 2012 weltweit ausgestellt.



Als Kaiser Zhao China regierte (87 bis 74 v. Chr.), handelte das Reich bereits mit Seidenstoffen.



China produziert heute rund drei Viertel der weltweit verwendeten Seide. Meist stammt sie aus den Kokons von Seidenraupen.



Die Briten Simon Peers und Nicholas Godley fertigten eine Robe aus goldenen Seidenspinnenfäden.



Bei Evonik Femas in der Slowakei läuft die Fermentation im industriellen Maßstab: 50.000 Liter Biomasse fassen die Fermenter in der Produktionshalle.



»Für das Seidenprotein waren einige technische Änderungen in unserer Anlage nötig.«

RICHARD VEREŠ, LEITER TECHNOLOGIE UND PROZESSENTWICKLUNG BEI EVONIK FERMAS

Gentechnisch veränderte Mikroorganismen dazu zu bringen, durch Gärung Seidenprotein herzustellen, klingt allerdings einfacher, als es ist – zumindest wenn man wie Amsilk große Mengen benötigt: Was in einem Zweilitergefäß im Labor gut funktioniert, muss im 50.000-Liter-Tank noch lange nicht reibungslos klappen. „Das Protein in geeigneten Ausbeuten zu fermentieren und in eine großtechnische Produktion zu bringen war eine Herausforderung“, berichtet Amsilk-CEO Scherbel von den Anfangszeiten des Unternehmens, das 2008 als Ausgründung der Technischen Universität München entstand.

Die Erfahrung von Evonik als Produktionspartner kommt daher gerade recht. Der Biotech-Hub des Chemieunternehmens ist seit Jahren spezialisiert auf die industrielle Fermentation von Bioprodukten für Tierfutter, Kosmetik oder Medizin. In einer Evonik-Anlage gelang es erstmals, größere Mengen Seidenprotein herzustellen. Scherbel muss schmunzeln, wenn er an den Beginn der Zusammenarbeit denkt: „Es stellte sich schnell heraus, dass wir bei Amsilk zwar viel darüber wissen, wie

sich unser Produkt im Labor verhält, von Fermentation im Industriemaßstab aber ungefähr so viel Ahnung hatten wie vom Raketenbau.“ Die Evonik-Fachleute hätten immer an das Seidenprotein geglaubt und ihr Wissen eingebracht, „sodass wir den Prozess schließlich industriefähig machen konnten“.

AUS DEM LABOR IN DIE INDUSTRIE

Wer sich davon überzeugen will, sollte von Scherbels Büro in Bayern 750 Kilometer gen Osten fahren, bis tief in die Slowakei. Dorthin, wo am Fuß der Niederen Tatra und im Schatten einer Burg das Örtchen Slovenská Ľupča liegt. Für die Menschen, die hier leben, ist das Chemiewerk Evonik Femas ein wichtiger Arbeitgeber, für die Biotechnologiebranche ist es ein international bedeutender Produktionsstandort. 23 Tanks mit je 50 Kubikmetern Fassungsvermögen befinden sich in der riesigen Fermentationshalle, in der Pumpen und Motoren sonor brummen und selbst im Winter warme Temperaturen herrschen. Es riecht wie in einer Backstube.

90

PROZENT

der weltweit gehandelten Seide stammt vom Maulbeerseidenspinner.



Temperatur, pH-Wert, Zucker-
gehalt und andere Werte werden
rund um die Uhr überwacht.
Mithilfe großer Zentrifugen (r.)
wird das Seidenprotein anschlie-
ßend aus der Biomasse isoliert.



Gelbe Linien markieren die sicheren Wege. Schutzbrille, Ohrenschützer und Sicherheitsschuhe sind für jeden hier obligatorisch. Im Kontrollzentrum überwachen Fachleute im Schichtdienst rund um die Uhr die Fermentation, kontrollieren beispielsweise Druck, pH-Wert, Temperatur und Zuckergehalt. Direkt davor steht ein Lkw-hoher Tank, der allein Amsilk vorbehalten ist: Milliarden von Mikroorganismen produzieren darin Seidenprotein.

Der Prozess, der im Darchinger Labor entstand, wurde 2020 hier in den industriellen Maßstab überführt. Seitdem wird er ständig optimiert, um noch größere Mengen zu produzieren, berichtet Richard Vereš, Leiter Technologie und Prozessentwicklung bei Evonik Fermas. „Wir starten hier mit einzelnen Laborexperimenten, um uns mit einem neuen Produkt vertraut zu machen. Danach beginnen wir mit dem Hochskalieren.“ Manchmal rät Evonik dem Kunden, das Erbgut der Bakterien, die Zutaten oder die Reihenfolge der Isolationsschritte für die industrielle Herstellung anzupassen. Bis die Produktion eines Proteins im Großtank bei gleicher Quali-

tät wie im Labor gelingt, können Wochen, manchmal sogar Monate vergehen.

Die größte Herausforderung bei der Herstellung von Seidenprotein ist es, die Zielmoleküle aus der Bakterienlösung zu isolieren und zu reinigen – nur dann lassen sie sich zu einem Faden spinnen. Um die notwendige Qualität sicherzustellen, entwickelten die Experten von Evonik ein mehrstufiges Verfahren. „Für das Seidenprotein waren einige technische Änderungen in unserer Anlage nötig“, berichtet Vereš. „Wir brauchten zum Beispiel neue Spezialgeräte für den Zellaufschluss.“ Sie ermöglichen einen entscheidenden Schritt der Isolation. Die Geräte brechen die Bakterienzellen auf, die dann das Protein freigeben.

Mehrfach wird die Lösung danach zentrifugiert, bis nur noch Spinnenseideprotein übrig bleibt. Während der Verarbeitung durchläuft die Mischung mehrere Klärungs- und Konzentrationsstufen, wobei sie sich schrittweise in eine verfeinerte und konzentrierte Proteinlösung verwandelt. Nachdem im Trockner das Wasser →

32

KILOGRAMM

Maulbeerblätter
müssen an Raupen ver-
füttert werden, um ein
T-Shirt herzustellen.



Im Labor von Evonik Fermas überprüft Laborantin Kristína Gaboňová die Reinheit des Proteins per Flüssigchromatografie (l.). Nach dem Trocknen bleibt weißes Pulver übrig – Spinnenseideprotein.

verdampft ist, bleibt Proteinpulver übrig, das in Fässern zu je 20 Kilogramm an die Spinnerei geliefert wird. Durch neue Geräte, die Evonik speziell für Amsilk angeschafft hat, hat sich die Kapazität verdoppelt, die Verarbeitungszeiten wurden entscheidend verkürzt.

ES GEHT IMMER NOCH BESSER

Weil jede noch so kleine Veränderung der Parameter die Qualität des Seidenproteins beeinträchtigen kann, wird dessen Reinheit in Slovenská Ľupča streng überwacht. Regelmäßig nehmen die Beschäftigten während des Downstream-Prozesses Proben – Hunderte pro Charge. Sie werden akribisch im Labor kontrolliert. Die Messergebnisse übermittelt Evonik Fermas mehrmals pro Woche an Amsilk. Das fertige Pulver muss eine ausreichende Reinheit aufweisen, damit sich ein Faden später spinnen lässt. „Die heutigen Proben weisen eine höhere Reinheit als in den Vorjahren auf und liegen alle über dem erforderlichen Niveau“, berichtet Laborleiter Juraj Kasala nach einem Blick auf den Bildschirm. „Es hat Jahre gedauert, den Prozess so zu optimieren, dass die Qualität stabil bleibt.“

1

KILOGRAMM
Seide reicht für die
Produktion von
sechs Schals.

Begleitet haben diesen Prozess Tim Pohlmann und Ronald Mathä. Der Chemiker und der Biotechnologe reisen regelmäßig aus Deutschland nach Slovenská Ľupča. Die Evonik-Experten kümmern sich um die Auftragsfertigung im Bereich der mikrobiellen Fermentation: Sie ermöglichen Kunden die wirtschaftliche Herstellung ihrer Produkte bei Evonik und öffnen Start-ups Türen zu globalen Partnern. „Wir freuen uns, den Weg mit Amsilk zu gehen und das Verfahren immer weiter zu verbessern“, sagt Pohlmann. Dem Chemiker ist es wichtig, dass beide Partner eng zusammenarbeiten: „Evonik sorgt für Transparenz, und wann immer Herausforderungen auftreten, lösen wir sie im Team.“ Das funktioniert so gut, dass die Kapazität der mit Ökostrom betriebenen Anlage in Slovenská Ľupča seit dem Produktionsstart 2023 vervierfacht wurde – jeden Monat entstehen in der Slowakei heute mehrere Tonnen Seidenprotein.

Ronald Mathä fasziniert besonders die Nachhaltigkeit des Prozesses: „Wir brauchen beim Fermentieren keine gefährlichen Chemikalien. Zucker, in diesem Fall Glukosesirup, ist die wichtigste Zutat, um mithilfe



Aus dem Pulver entsteht in der Spinnerei ein schimmernder Faden aus Spinnseide, je nach Kundenwunsch und Endprodukt feiner oder gröber.

»Wir freuen uns, gemeinsam mit Amsilk das Verfahren immer weiter zu verbessern.«

TIM POHLMANN, LEITER DES WELTWEITEN GESCHÄFTS FÜR LOHNHERSTELLUNG IM BEREICH FERMENTATION VON EVONIK

von Bakterien in einem lebenden System nahezu jedes gewünschte Produkt herzustellen.“ Zum Beispiel ein Pulver aus Proteinmolekülen, die sonst nur im Hinterleib von Spinnen entstehen.

Doch wie wird dieses Pulver nun zu einem zugfesten Faden, der später vielleicht in einer Seidenbluse, einem Uhrenarmband oder dem Türgriff eines Autos verarbeitet ist? Sobald die Fässer in der Pilotanlage von Amsilk bei München ankommen, wird das Protein zunächst nach und nach in Lösungsmittel eingerührt. Keinesfalls darf das Pulver verklumpen: Dann würden sich die Proteine in der honigartigen Flüssigkeit niemals zu einer stabilen Schnur aneinanderreihen, und der „Magic Moment“ wäre dahin. Von der Kultivierung bis zum Spinnen kann viel schiefgehen, doch mittlerweile läuft der Prozess wie am Schnürchen: Zuverlässig zieht die Maschine in dem unscheinbaren Gebäude rund um die Uhr einen silbrigen Spinnfaden aus der Lösung und umwickelt damit Spule um Spule.

Je nach Kundenwunsch und Einsatzzweck ist Amsilk heute in der Lage, dünnere oder dickere Fäden zu produzieren. In jedem Fall sind sie federleicht, sehr belastbar,

nicht so klebrig – und doch nah am Vorbild der Natur. „Ich bin mir sicher, dass wir zu einem der führenden Anbieter von Hochleistungsfasern werden“, schwärmt CEO Ulrich Scherbel. „Denn trifft die Innovationskraft neuer Firmen wie Amsilk auf das Know-how erfahrener Industriepartner wie Evonik, kann Großes entstehen.“ Das Gefühl von Magie zum Beispiel, wenn sich aus einer eben noch zähen Masse ein zarter, silbriger Faden formt. —

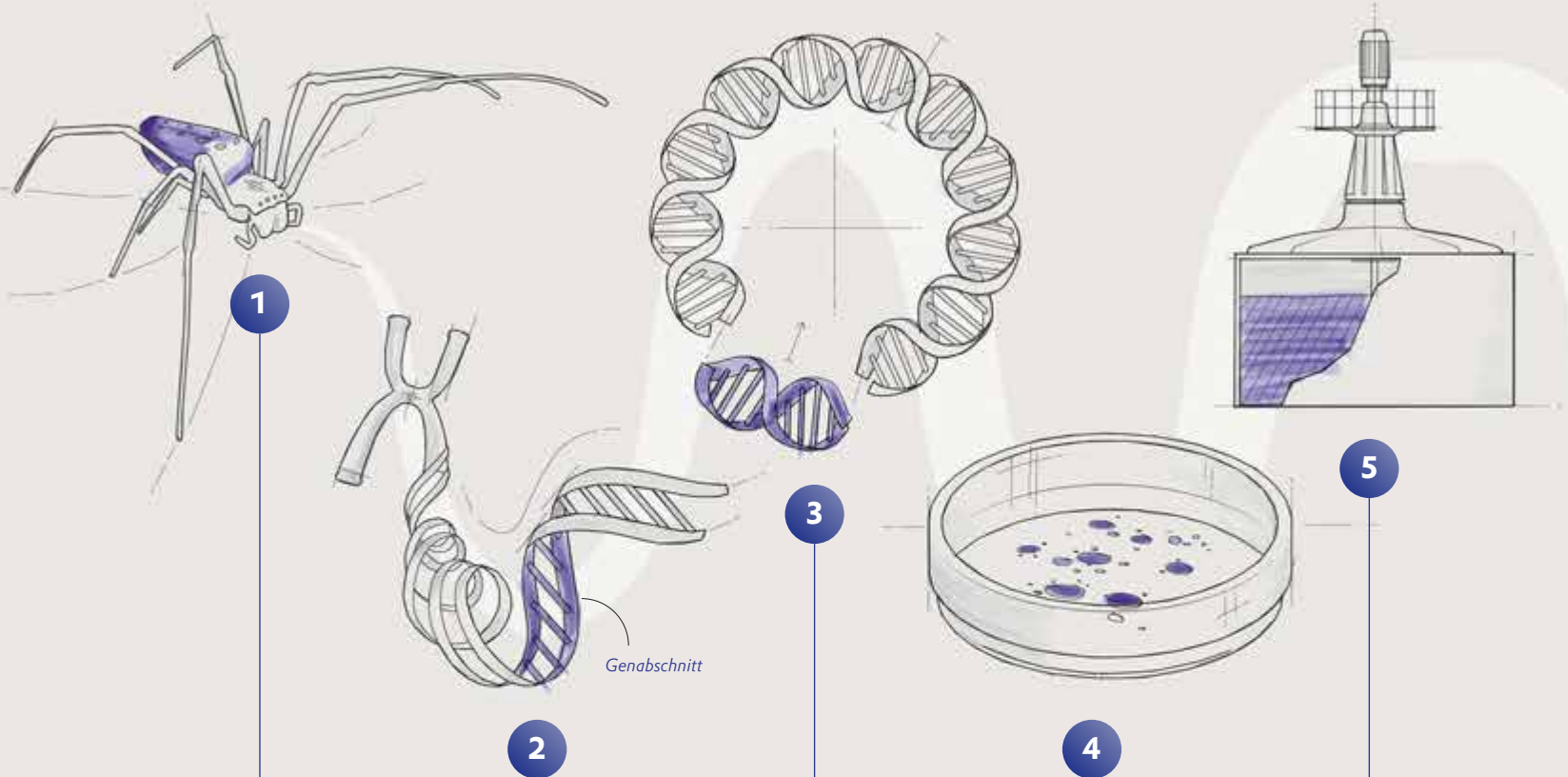
Sina Horsthemke ist Wissenschaftsjournalistin in München. Die Diplombiologin schreibt vor allem über Gesundheitsthemen und Biotechnologie.



Vom Spinnen-Gen zum seidenenen Faden

Amsilk hat einen Prozess entwickelt, der Bakterien das Protein produzieren lässt, aus dem Spinnen ihren Faden spinnen. Nach diesen zehn Schritten kann aus der Spinnenseide eine Bluse entstehen.

INFOGRAFIK MAXIMILIAN NERTINGER



VORBILD NATUR

Im Hinterleib der Spinne produzieren die Spinndrüsen einen feinen, stabilen Faden. Diesen verwebt die Spinne zu einem Netz, nutzt ihn zum Abseilen oder bildet einen Kokon zur Eiablage.

GEN-ANALYSE

Im Erbgut der Spinne wird jener Abschnitt gesucht, der den genetischen Bauplan für das Seidenprotein enthält, aus dem sie ihren Faden spinnt. Ziel ist, diesen Genabschnitt zu kopieren.

PLASMID-DESIGN

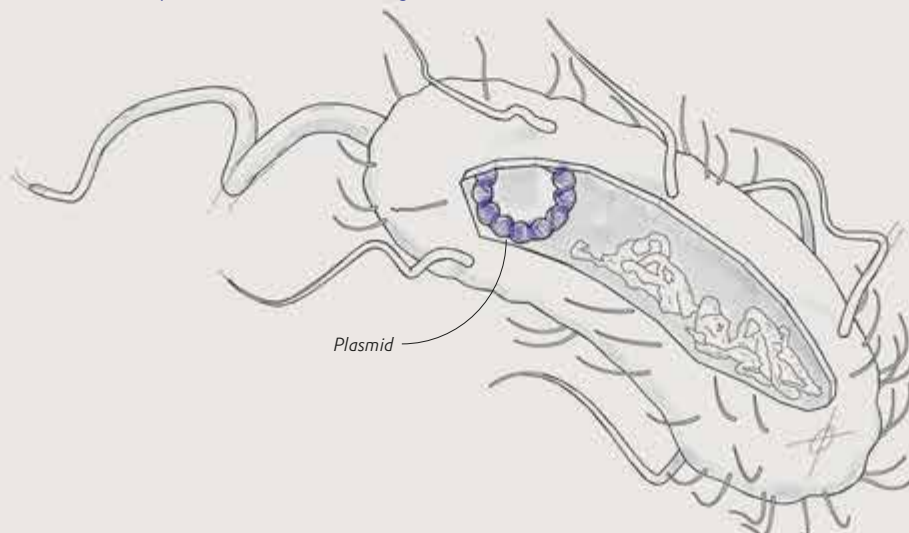
Zunächst am Computer, dann im Labor entsteht ein sogenanntes Plasmid. Dieses ringförmige DNA-Molekül mit dem Bauplan für das Protein wird mittels elektrischer Impulse in Kolibakterien gebracht.

KULTIVIERUNG

Die Bakterien, bei denen es sicher gelungen ist, das Plasmid samt Protein-Bauplan zu übertragen, gibt man auf ein Nährmedium in Petrischalen. Im warmen Brutschrank vermehren sie sich schnell.

FERMENTATION

In einem Bioreaktor werden die Bakterien mit Nährstoffen und Zucker gefüttert und vermehren sich weiter. Durch Zugabe einer speziellen Substanz beginnt die Produktion des Seidenproteins.



Kolibakterium

Neben seiner eigenen DNA befindet sich in seinem Zellinnern nun das Plasmid mit dem Bauplan für das Seidenprotein.

81%

kleiner ist der CO₂-
Fußabdruck, wenn man Seide
biotechnologisch herstellt.

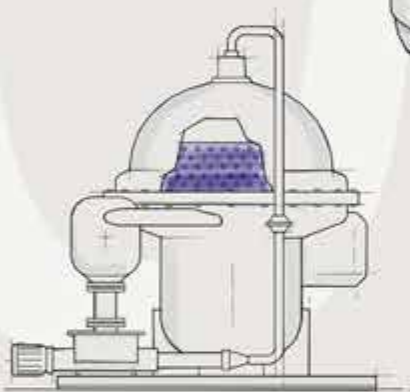
92%

weniger Land wird verbraucht,
wenn keine Maulbeerbäume
für die Raupenzucht benötigt
werden.

97%

weniger Wasser wird
verbraucht, wenn das
Seidenprotein durch
Fermentation entsteht.

Verglichen mit der herkömmlichen Seidenproduktion aus Kokons des Maulbeerseidenspinners. Quelle: Amsilk



6

REINIGUNG

Nun muss das Seidenprotein aus der Biomasse isoliert werden („Downstream“). Durch mehrfache Trennschritte wird das Seidenprotein angereichert und die milchkaffeeerbene Flüssigkeit nach und nach heller.



7

TROCKNUNG

Nach dem letzten Reinigungsschritt muss das Protein getrocknet werden. Dies geschieht in einem sogenannten Sprühtrockner, in dem das Wasser verdampft. Anschließend bleibt weißes Pulver übrig.



8

VORBEREITUNG

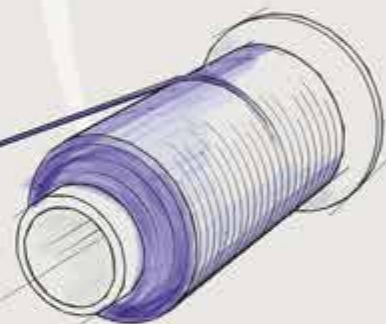
In der Spinnerei wird das Proteinpulver in Lösungsmittel eingerührt. Die Masse, die zähflüssigem Honig ähnelt, muss entgast und gefiltert werden, um Verunreinigungen auszuschließen.



9

FADENBILDUNG

Die Lösung wird durch eine Düse in ein Agglomerationsbad gepresst, wodurch das Protein ausfällt und sich die Moleküle aneinanderreihen. Die feinen Filamente werden in die Länge gezogen und zu einem Faden vereint.



10

AUFWICKELN

Der Seidenfaden durchläuft ein Wasserbad, trocknet auf beheizten Walzen und wird auf eine Spule gewickelt. Sie trägt am Ende einen Kilometer Faden, der lediglich neun Gramm wiegt.

PRODUKTE

Der biotechnologisch hergestellte Seidenfaden ist vielfältig nutzbar und kommt bisher vor allem in der Textilindustrie zum Einsatz – entweder als innovative neue Faser oder



als nachhaltige Alternative für herkömmlich produzierte Seide aus Asien. Aktuell ist das Material beispielsweise in Türgriffen verarbeitet, die im Innenraum des

Mercedes-Benz-Konzeptfahrzeugs Vision EQXX verbaut sind. Die Pariser Luxusmarke Balenciaga stellt Blumen aus



fermentierter Spinnenseide her. Und die Uhrenmarke Omega verwebt den Faden von



Amsilk bereits in einigen ihrer Uhrarmbänder. In Zukunft könnte das Protein auch in der Medizin und Landwirtschaft sowie bei Wasch- und Geschirrspülmitteln nützlich sein.

Silane aus der Spritzpistole:
In den Labors in Rheinfelden werden
neue Mischungen zunächst per Hand
aufgetragen, um sie auf Eigenschaften
wie Kratzfestigkeit zu untersuchen.

KLARE VERBESSERUNG

Kratzfest, stabil und glatt – so wünschen sich Verbraucher Flaschen und Gläser. Um diese Anforderungen zu erfüllen, müssen die Behälter beschichtet werden. Auf Basis von Silanen entwickelt Evonik mit dem Partner TotalEnergies eine besonders sichere und umweltfreundliche Alternative zum bisherigen Verfahren.

TEXT **TIM SCHRÖDER**

Was wäre unser Leben ohne Glas? Wir kaufen Gurken, Rotkohl und Senf im Glas. Wir schenken Bier, Sekt und Saftschorle aus Flaschen ein. Und zu Weihnachten liegt unter manchem Tannenbaum ein eleganter Glasflakon mit Parfüm. Gut 80 Millionen Flaschen und Gläser kommen laut dem Branchenverband FEVE allein in Europa jedes Jahr auf den Markt, gefüllt mit Lebensmitteln, Getränken, Cremes oder anderen Kosmetika. In Umlauf sind aber noch viel mehr Glasbehälter – Millionen von Pfandflaschen, die bis zu 25-mal zwischen Kunden und Abfüllern hin- und herreisen, ehe sie aussortiert und wieder eingeschmolzen werden. Damit gehört Glas neben Konservendosen zu den wenigen Verpackungstoffen, die ewig recycelt werden können, ohne dass die Qualität leidet. Es lässt sich immer wieder neu formen.

Im Grunde ist Glas so alltäglich, dass sich kaum jemand Gedanken darum macht. Schließlich kommt es auf den Inhalt an und nicht auf die Verpackung. Doch die muss viele Eigenschaften erfüllen. Gläser und Flaschen sollen griffig sein und dürfen selbst dann nicht aus der Hand rutschen, wenn sie beschlagen sind. Zudem müssen sie stabil sein. Selbst wenn Flaschen aneinanderstoßen, darf nichts splintern. Zu groß ist die Verletzungsgefahr. Wichtig ist auch, dass Etiketten und Aufdrucke fest an der Oberfläche haften. Bei besonders hochwertigen Produkten schließlich spielt die Optik eine große Rolle. Kein Kratzer soll die Champagnerflasche verunstalten. Und wer ein Parfüm für 100 Euro kauft, erwartet, dass die Oberfläche des Flakons makellos ist. „Die Glashersteller müssen daher für eine perfekte Optik und Haptik sorgen. Im Einzelhandel kann das kaufentscheidend sein“, sagt Dr. Stefan Hilf, Forschungsleiter der Businessline Smart Effects am Evonik-Standort Rheinfelden.

IN ZWEI SCHICHTEN ZUM ERGEBNIS

Damit Glasbehälter all diese Anforderungen erfüllen, werden sie beschichtet. Die Beschichtung ist nur wenige Nanometer dick, aber ungemein robust. Sie macht Glas kratzfest, griffig und verleiht ihm eine hochwertige, glatte Oberfläche. Bei Pfandflaschen verhindert sie, dass das Material zu schnell verschleißt, stumpf und unansehnlich wird. →



Die Glasbranche setzt dabei seit Jahrzehnten auf ein bewährtes Verfahren. Bei diesem Zweistufenprozess werden die Behälter zunächst mit der chemischen Verbindung Butylzintrichlorid besprüht, das auf der Oberfläche eine feste Zinnoxidschicht bildet. Diese Schicht glättet die Oberfläche, indem sie Mikrorisse gewissermaßen auffüllt. Zudem bildet sie als Haftvermittler die Grundlage für die zweite Schicht – ein Polyethylenwachs, das sich oberflächenthaftend mit dem Zinnoxid verbindet. Erst das Wachs macht das Glas griffig, kratz- und verschleißfest.

Dieses zweistufige Verfahren ist zwar weltweit etabliert, gilt aber als problematisch. Butylzintrichlorid ist ätzend und schädigt insbesondere Wasserorganismen. Zudem wird die Substanz nur langsam abgebaut, sodass sie lange in der Umwelt bleiben und sich in Organismen

anreichern kann. Da auf dem Glas nach der Reaktion aber nur die harmlose Zinnoxidschicht verbleibt, ist es dennoch für die Lebensmittelindustrie geeignet. Allerdings dürfen Glashersteller das Butylzintrichlorid nur unter hohen Sicherheitsvorkehrungen aufsprühen. Das macht den Arbeitsschutz aufwendiger und die gesamte Produktion komplexer. Aus diesem Grund hat Evonik zusammen mit dem französischen Unternehmen TotalEnergies eine neue, ungiftige Beschichtung entwickelt. Sie soll 2027 auf den Markt kommen. Unter dem Namen Glasskote Base 1 will TotalEnergies das neue Produkt an seine Kunden in der Glasindustrie ausliefern.

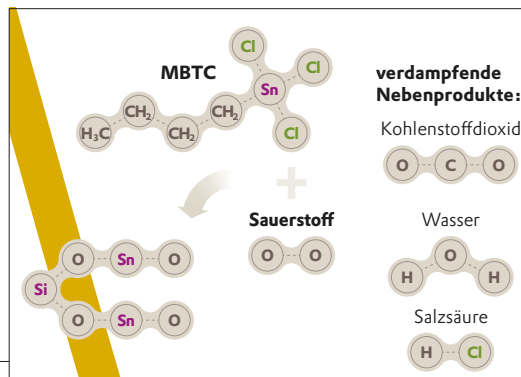
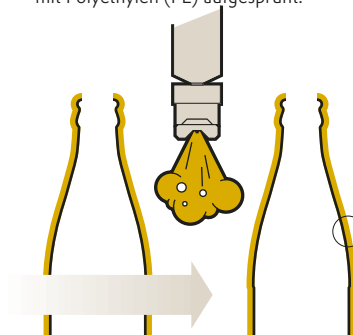
BESCHICHTEN IN EINEM RUTSCH

Bislang werden Glasflaschen in einem zweistufigen Prozess mit einem Polyethylen-Überzug versehen. Beim neuen Silanverfahren fällt die Heißbeschichtung weg.

STAND DER TECHNIK

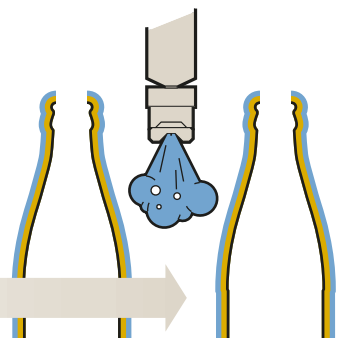
1 Heißbeschichtung (350–1.150 °C)

Im Heißbeschichtungsbereich wird **Monobutylzintrichlorid (MBTC)** als Basis für die spätere Beschichtung mit Polyethylen (PE) aufgesprüht.



2 Kaltbeschichtung (110–135 °C)

In einem zweiten Arbeitsschritt wird im Kaltbeschichtungsbereich die **PE-Dispersion** aufgesprüht.

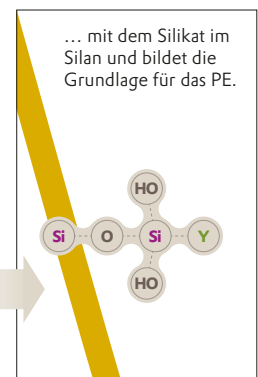
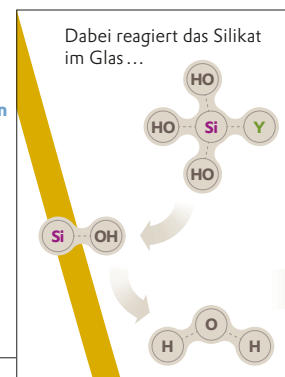
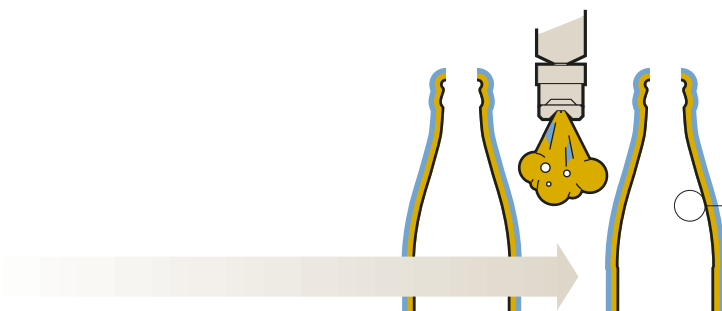


NEUES SILANVERFAHREN

Der Heißbeschichtungsbereich entfällt komplett.

1 Kaltbeschichtung (110–135 °C)

In einem einzelnen Arbeitsschritt wird das **silanbasierte Beschichtungsmaterial** mit Wasser verdünnt, mit der **PE-Dispersion** gemischt und aufgesprüht.





Langjährige Erfahrung: Der Chemotechniker Eckhard Just arbeitet seit Jahrzehnten an Silanen und weiß, wie man sie maßschneidert. Rechts: Die Reibprüfung zeigt, wie abriebfest die Beschichtung ist.



MASSGESCHNEIDERTE SILANE

Die neue Beschichtung basiert auf einer völlig anderen chemischen Stoffgruppe als Butylzintrichlorid, nämlich auf Silanen. Diese bestehen aus einem Siliziumgerüst, an das sich molekulare Anhängsel mit verschiedenen chemischen Funktionen knüpfen lassen, sogenannte funktionelle Gruppen. „So kann man Oberflächen mit ganz unterschiedlichen Eigenschaften ausstatten“, sagt Stefan Hilf. Metalle etwa werden unempfindlich gegenüber korrosiven Substanzen. Mauern kann man mit wasserabweisenden Silanen besprühen. So lässt sich verhindern, dass Feuchtigkeit in Wände einzieht und Moos gedeiht. „Mit der neuen Beschichtung für Verpackungsglas adressiert Evonik jetzt einen für den Konzern neuen Markt“, so Hilf.

Der Weg dahin war lang. Immerhin musste ein ebenbürtiger Ersatz für die ausgereifte und robuste Zinnoxid-Polyethylen-Beschichtung gefunden werden, die die vielen Anforderungen an Gläser und Flaschen erfüllt. Die Entwicklung begann 2019, als die amerikanische Landesgesellschaft von TotalEnergies bei Evonik anfragte. Sie beliefert die Glasindustrie schon seit vielen Jahren mit Gleit- und Trennmitteln für die Produktion von Glasbehältern, daher waren die Experten mit der Butylzintrichlorid-Problematik bestens vertraut. „Wir

nahmen zunächst Kontakt zu verschiedenen Firmen in den USA auf, die versucht hatten, eine Alternative zu entwickeln. Aber keine konnte die Anforderungen der Glashersteller erfüllen“, sagt Manuel Keller, Vertriebsleiter bei TotalEnergies Glass Lubricants Europe. „Erst bei Evonik haben wir Fachleute mit dem richtigen technischen Verständnis und vor allem der Chemieexpertise gefunden, die es braucht, um geeignete Materialien für diesen Einsatz maßzuschneidern.“

DAS ZIEL: EIN FEINER FILM

Es ist insbesondere dem Know-how der Chemiker am Standort Rheinfelden zu verdanken, dass es gelang, das perfekte Silan für die Glasindustrie zu finden – allen voran Eckhard Just, der seit 1987 bei Evonik in Rheinfelden arbeitet. Der Chemotechniker weiß, wie man Silanen →

Mit dem Kontaktwinkelmessgerät wird überprüft, wie gut sich die Silanmischung auf einer Glasflasche verteilt. Perlen die Tropfen ab, oder schmiegen sie sich an?



»Perfekte Optik und Haptik sind im Einzelhandel kaufentscheidend.«

STEFAN HILF, FORSCHUNGSLEITER
EVONIK SMART EFFECTS



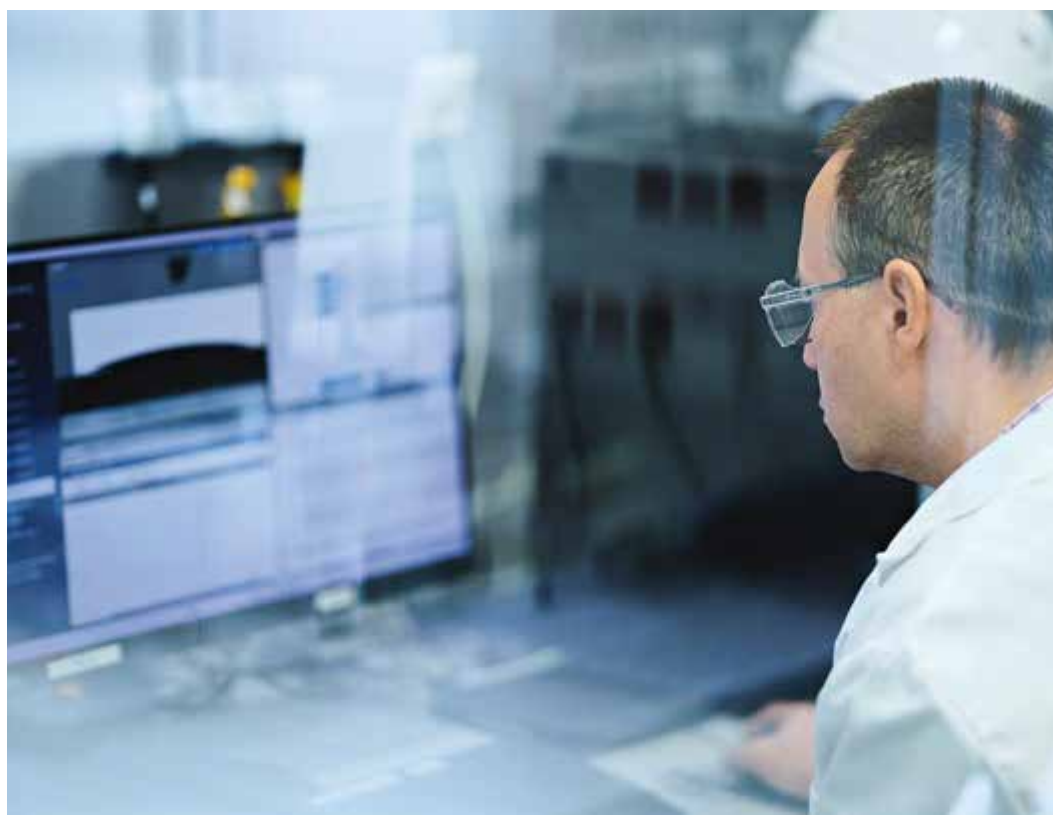
die gewünschten Eigenschaften verleiht und wie man sie handhabt – denn sie verhalten sich etwas kapriziös. Silane werden überwiegend als Flüssigkeiten an die Kunden ausgeliefert. Die Moleküle neigen jedoch dazu, sich unter Feuchtigkeitseinfluss miteinander zu vernetzen. Sie bilden zähe Gele, fallen in der Flüssigkeit als Flocken aus oder ballen sich gar zu Klumpen zusammen. Eine Silanlösung zu entwickeln, die über lange Zeit stabil bleibt und sich erst am Ende in der Glasproduktion zu einem feinen, gleichmäßigen Film auf die Flaschen legt,

braucht Erfahrung. „Es ist wirklich eine Herausforderung“, sagt Just. „Wenn die Flüssigkeit in den Schläuchen oder Sprühdüsen der Anlage verklumpt, hat man ein Riesenproblem.“

Zusammen mit seinen Mitarbeitern musste er unter anderem die passende Säure finden, um die Silane zu verarbeiten, den richtigen pH-Wert sowie den idealen Feststoffanteil in der wässrigen Lösung bestimmen und noch viele andere Parameter perfekt einstellen. Und natürlich kam es auch auf die richtigen Zutaten an. Silane werden aus einzelnen kleinen Siliziumbausteinen zusammengesetzt, sogenannten Monomeren. Diese Monomere verbinden sich zu zweit oder zu dritt zu größeren Molekülen, den Di- oder Trimeren. Ob ein Silan später auf der Oberfläche einer Flasche eine dünne, gleichmäßige Schicht bildet, hängt nicht zuletzt vom Mischungsverhältnis der Oligomere ab.

PRAXISEINSATZ IN DER TESTFABRIK

Schließlich fand das Team die richtige Rezeptur. Erste Sprühtests im Labor waren vielversprechend: Wenn Eckhard Just Glasflaschen mit einer Spritzpistole benetzte, bildete sich ein dünner, gleichmäßiger Film. Dann ging es zum ersten Praxisversuch an einer großen Testanlage in die USA. Sobald die Flaschen auf 130 bis 100 Grad Celsius abgekühlt waren, wurde die Silan-Polyethylen-Mischung aufgetragen – und bildete auf den Flaschen einen perfekten Film. →



Tropfen in Großaufnahme: An einem Kamerabild analysiert Joachim Beetz, Experte für anorganische Analytik, wie gut sich die Flüssigkeit auf die Glasoberfläche legt. Per Mausklick kann er die Wölbung des Tropfens am Bildschirm vermessen.

Am Nuklearmagnetresonanz-Spektrometer prüft Labormitarbeiterin Ivonne Gallazzini, ob die Mischung stimmt. Nur wenn die Silan-Monomere, -Dimere und -Trimere im richtigen Verhältnis vorliegen, gibt es eine perfekte Beschichtung.



»Für hochwertige Champagnerflaschen muss die Schicht noch kratzfester werden.«

FABIAN ZSCHOCKE, PROJEKTMANAGER
GLASSCHMIERSTOFFE BEI
TOTALENERGIES



Und noch etwas gelang den Experten. Das Silan und das Polyethylenwachs ließen sich in einem Rutsch auf die Flaschen auftragen. „Das war ein Riesenerfolg“, sagt Forschungsleiter Hilf, „weil das die Beschichtung im Vergleich zum herkömmlichen Verfahren deutlich vereinfacht.“ Butylzintrichlorid und Polyethylen müssen getrennt voneinander aufgetragen werden. Man dampft das Chlorid auf die Flaschen, wenn diese noch heiß sind. Dabei durchwandern sie eine Kammer, in der sich ein feiner Butylzintrichlorid-Nebel auf ihnen absetzt. Danach kühlen die Flaschen auf dem Fließband auf rund 90 Grad Celsius ab. Erst dann können sie mit dem Polyethylenwachs besprüht werden.

ALLES IN EINEM RUTSCH

Nicht so bei der Silanbeschichtung. Die Kunden mischen die Silanlösung in der Fabrik mit der Polyethylen-Emulsion ihrer Wahl an und füllen die Mixtur dann in die Sprühanlage – fertig. TotalEnergies hat in den vergangenen Monaten zusammen mit Glasherstellern weitere Produktionstests durchgeführt. Auch deren Ergebnisse sind vielversprechend. „Mit Glasskote Base 1 erzeugen

wir Oberflächen, die 80 bis 90 Prozent der Qualität einer Butylzintrichlorid-Beschichtung erreichen“, sagt Fabian Zschocke, Projektmanager und Experte für Glasproduktion bei TotalEnergies. „Für Bierflaschen und Lebensmittelgläser reicht das allemal. Für Champagner aber muss die Schicht zum Beispiel noch kratzfester werden.“ Er ist zuversichtlich, dass sich die Qualität weiter steigern lässt, denn aus jeder Anlage könne man noch etwas herauskitzeln. „Keine Produktionsanlage ist wie die andere“, erklärt Zschocke. „Da muss ein neuer Prozess erst einmal justiert und eingefahren werden.“

Auch Dr. Karsten Korth geht davon aus, dass die neue Silanbeschichtung die Performance von Butylzintrichlorid erreichen wird. „Wir gehen Anfang 2027 in den Markt und werden zusammen mit TotalEnergies und den



Kunden weiter optimieren – entweder an den Produktionsanlagen oder indem wir dem Silan noch Additive beimischen“, so der Technische Manager bei Evonik in Rheinfelden. „Entscheidend ist, dass die Glashersteller ohne große Veränderungen an der Produktionsanlage auf die neue Beschichtung umsteigen können.“ Fabian Zschocke arbeitet derzeit zusammen mit den Glasherstellern daran, die Sprühdüsenteknik weiter zu optimieren, damit sich auf den Flaschen wirklich eine gleichmäßige, perfekte Schicht bildet.

Für die Glashersteller bietet die neue Technologie einen großen Vorteil: Um die Silanbeschichtung anzuwenden, müssen sie ihre Produktionsanlagen kaum verändern. Zudem erleichtert Glasskote Base 1 den Übergang von Gasöfen auf Elektroöfen. Wie viele andere Branchen müssen auch Glashersteller künftig bei Kohlendioxidemissionen strengere Vorgaben einhalten. Bisher werden die Schmelzöfen mit Erdgas beheizt, wodurch viel CO₂ freigesetzt wird. Künftig sollen sie mit Strom →

Vollautomatische Abfüllung: Computer-gesteuert werden die Deckel der Transportfässer angefahren und abgeschraubt. Anschließend wird eine Abfülllanze in das Loch eingeführt und die flüssige Silanmischung ins Fass gepumpt.

MEILENSTEINE DER SILANCHEMIE

Seit vielen Jahrzehnten helfen Silane, die Nachhaltigkeit zu verbessern. Bei der Forschung ganz vorn dabei: Evonik und ihre Vorgängerunternehmen

1857 Die Chemiker Friedrich Wöhler und Heinrich Buff stellen erstmals eine **gasförmige Siliziumwasserstoffverbindung** her. Im selben Jahr gelingt Wöhler die Synthese der ersten Chlorsilane.

1942 Die Chemische Werke Griesheim Elektron AG nimmt im Südteil des heutigen Werks von Evonik in Rheinfelden die erste Anlage zur Herstellung von Siliziumtetrachlorid (SiCl₄) in Betrieb. Dies ist die **Geburtsstunde der industriellen Siliziumchemie** am Standort.

1992 Der „**grüne Reifen**“ senkt den Kraftstoffverbrauch um bis zu acht Prozent. Möglich machen das spezielle Kieselsäuren und Silane der Evonik-Vorgängergesellschaft Degussa, die der Gummimischung zugegeben werden.

2006 Das erste Gummisilan, das nach der Verarbeitung praktisch **keine flüchtigen organischen Verbindungen** freisetzt, kommt auf den Markt. Si 466 ist ein Meilenstein für Arbeitsschutz und Umweltfreundlichkeit.

2026 **Protectosil Antigrffiti** schützt Fassaden seit Jahrzehnten zuverlässig vor Verschmutzungen. In der neuen Variante **Ecotrete** geschieht dies erstmals ohne Fluorverbindungen – und damit noch umweltfreundlicher.



Vor der Abfüllung kontrolliert Chemikant André Schumacher die Schlauchleitungen. Zu viert auf eine Palette gestapelt, können die Fässer dann auf die Reise zum Kunden gehen.



betrieben werden. Das etablierte Verfahren schafft hier Probleme: Wenn sich aus dem Butylzintrichlorid auf der heißen Glasoberfläche die Zinnoxidschicht bildet, wird Salzsäure frei. Diese wird bislang mit dem Abgas aus den Gasöfen vermischt und dabei sehr stark verdünnt. Werden künftig Elektroöfen eingesetzt, entfallen diese Abgase, und die Salzsäurekonzentration im Abluftstrom erreicht kritische Werte. „Einem unserer Kunden haben die Behörden daher den Einsatz von Butylzintrichlorid verwehrt“, erzählt Zschocke. „Mit Glasskote Base 1 ist das Problem aus der Welt.“

Darüber hinaus habe der Umstieg auf Silane noch einen weiteren Vorteil, ergänzt Evonik-Forschungsleiter Hilf. Gemäß den neuen Lieferkettenreglements der Europäischen Union müssen Unternehmen dafür sorgen, dass nicht nur sie selbst, sondern auch ihre Zulieferer Umweltschutzbestimmungen einhalten. Hilf: „Damit spielt es auch für Abfüller und die Lebensmittelindustrie eine große Rolle, ob das Glas umweltfreundlicher produziert wurde.“

Evonik und TotalEnergies setzen große Erwartungen in die neue Technologie. Je weiter sich die Performance des Silans im industriellen Umfeld verbessert, desto mehr dürfte das Interesse der Glashersteller wachsen. Eine große Stärke liegt darin, dass es die Produktion durch den Verzicht auf Butylzintrichlorid in Sachen Arbeits- und Gesundheitsschutz sicherer und nachhaltiger macht.

Bessere Produktionsbedingungen, perfekte Kreislaufwirtschaft, ein kleinerer CO₂-Fußabdruck: Optimiertes Glas bietet beste Aussichten. Die Silane von Evonik ebnen den Weg dafür. —



Tim Schröder arbeitet als Wissenschaftsjournalist in Oldenburg.

DURCHSICHTIGE GESCHÄFTE

Glas lässt sich gut recyceln, ist geschmacksneutral und wirkt hochwertig. Als Verpackungsmaterial erfreut es sich deshalb großer Beliebtheit – und das weltweit.

Quellen: FMI, Statista

INFOGRAFIK **MAXIMILIAN NERTINGER**

Klarer Wachstumskurs

Umsatz mit Glasflaschen und -behältern,
in Mrd. US-Dollar



Gut verpackt

Anteil von Materialien
am weltweiten
Verpackungsmarkt,
in Prozent



Abgefüllt und eingemacht

Anteil der
Glasverpackungsarten,
in Prozent



A portrait of Dirk Diederich, a middle-aged man with short, light brown hair, wearing black-rimmed glasses, a light blue dress shirt, a dark blue striped tie, and a dark blue suit jacket. He is smiling slightly and looking directly at the camera. The background is a blurred industrial or laboratory setting with various equipment and structures.

Dirk Diederich ist Gründer und Geschäftsführer des Instituts für Glas- und Rohstofftechnologie (IGR) in Göttingen. Er verfügt über mehr als 20 Jahre Erfahrung in der Glastechnologie und ist seit 2020 öffentlich bestellter Sachverständiger auf diesem Gebiet. Für das Niedersächsische Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit identifiziert und analysiert er zudem Lebensmittel auf Fremdkörper wie Glas, Kunststoffe und Metalle.

»Es gibt viele Hebel, um Glas nachhaltiger zu machen«

Als Verpackungsmaterial steht Glas in harter Konkurrenz zu Kunststoff, Blech und Karton – aber bei der Wiederverwertung wartet es mit klaren Vorteilen auf. Dirk Diederich, Geschäftsführer des Instituts für Glas- und Rohstofftechnologie in Göttingen, erklärt, in welchen Anwendungen Glas besonders punkten kann und wie es sich weiter optimieren lässt.

INTERVIEW NADINE ALBACH

Herr Diederich, warum eignet sich Glas so gut als Lebensmittelverpackung?

Es ist unendlich formbar und bietet damit alle Möglichkeiten, Verpackungen zu gestalten. Zudem ist es praktisch unbegrenzt recycelbar, weil man es immer wieder einschmelzen kann, ohne dass die Qualität leidet. Glas ist praktisch inert, reagiert also chemisch kaum: Es gibt weder Substanzen ab, noch verändert es sich selbst. Diese Inertheit ist für die Lebensmittelindustrie und auch die Pharmabranche von oberster Priorität. Darüber hinaus ist Glas gasdicht. Das ist nicht nur für Medikamente wichtig. Wenn man zum Beispiel eine Mineralwasserflasche aus Kunststoff im Auto in der Sonne liegen lässt, bläht sie sich auf, und Kohlensäure entweicht.

Trotzdem gibt es Konkurrenz durch andere Verpackungsmaterialien wie Plastik, Konserven oder Getränkekartons. Vor allem beim Gewicht stechen sie Glas aus.

Stimmt, Plastikflaschen etwa sind tatsächlich leichter und verursachen beim Transport weniger Kohlendioxidemissionen. Kunststoff kann man aber nicht beliebig recyceln. Ich kann aus einer hundertprozentig recycelten Kunststoffcharge nicht ohne Weiteres ein neues Produkt machen, weil die Molekülketten kürzer werden. Ich brauche jedes Mal neue Polymere, die meist aus Rohöl hergestellt werden. Plastik hat auch den Nachteil, dass Substanzen aus dem Kunststoff in das Produkt migrieren und zum Beispiel den Geschmack ändern können. In der



Im IGR werden Scherbengemenge untersucht, um zu ermitteln, wie sich die Mischung auf die Weiterverarbeitung zu Recyclingglas auswirkt.

EU gelten für viele Kunststoff-Additive strenge Grenzwerte, die regelmäßig überprüft werden. Glas spielt also bei sensiblen Lebensmitteln seine Stärken aus, weil es praktisch inert ist.

Und wie schneidet Glas im Vergleich zur Konservendose oder zum Getränkekarton ab?

Blechdosen sind nicht inert. Entsprechend werden sie zum Korrosionsschutz auf der Innenseite mit dünnen Polymerbeschichtungen versehen – zum Beispiel bei Tomatenmark. Aus der Schicht können sich dann wieder Substanzen lösen. Und zu den Getränkekartons: Das Umweltbundesamt kam vor einiger Zeit zu dem Urteil, dass diese sehr umweltfreundlich seien, weil sie weniger wiegen. Das ist aber nur die halbe Wahrheit. Man muss bedenken, dass der Karton aus verschiedenen Verbundstoffen besteht, die nur schwer trennbar sind. Und wenn ich aus dem Papier etwas Neues machen →



Bevor die eigentlichen Messreihen im Labor starten, werden Probenlösungen in Volumenkolben angesetzt.

»Da Glas vollständig aus Scherben hergestellt werden kann, sind Einsparungen von bis zu 30 Prozent Primärenergie möglich.«

verbrauch im Vergleich zu neuem Glas stark reduziert – pro zehn Prozent Scherben spare ich drei Prozent Energie. Da ich Glas vollständig aus Scherben herstellen kann, sind also allein dadurch Einsparungen von bis zu 30 Prozent Primärenergie möglich. Beim CO₂-Fußabdruck von Lebensmitteln trägt das Verpackungsmaterial bis zu 50 Prozent bei. Insofern überlegt die Lebensmittelbranche sehr genau, welche Verpackungen sie einsetzen sollte. Für hochwertige Produkte, bei denen es auch auf die Farbe des Glases ankommt, können wir immerhin rund 40 Prozent Scherbenanteil erreichen. Bei anderen bis zu 100 Prozent.

will, muss ich neue Fasern dazugeben. Außerdem wurde nach meinem Kenntnisstand der alte Karton, ohne den heutigen Kunststoffverschluss, zur Ökobilanzierung herangezogen.

Trotz ihrer Vorzüge stehen Flaschen und andere Behälter aus Glas unter Druck. Die Produktion ist weltweit in den vergangenen Jahren um rund 20 Prozent geschrumpft. In Deutschland wurden Standorte geschlossen. Wie ist das zu erklären?

Wir kennen noch nicht alle Gründe für diesen Trend. Denn im Bereich der Lebensmittel haben alle Verpackungen verloren – Karton und PET-Flasche stark, Glas hingegen nur mäßig. Wir vermuten, dass sich der Konsum verändert hat, weil wir die Entwicklung bei allen Verpackungsmaterialien sehen. Klar ist, dass die Getränkedose insbesondere bei der Jugend in ist – etwa bei Energydrinks. Unter Marketinggesichtspunkten ist Glas hier derzeit wahrscheinlich eher oldschool. Hinzu kommt, dass Glasflaschen durch politische Vorgaben auf Massenveranstaltungen nicht mehr zugelassen sind, weil man sich verletzen könnte. In Südamerika oder auch Südafrika hingegen wächst der Glasmarkt deutlich.

Wie kann die Industrie Glasverpackungen künftig stärken?

Ganz klar, indem sie mehr auf Nachhaltigkeit setzt. Da gibt es viele Hebel, angefangen beim Material. Sie kann zum Beispiel bei der Produktion den Anteil an Scherben aus dem Recycling erhöhen, weil das den Energie-

Und was lässt sich beim Gewicht machen?

Tatsächlich ist Dünnwandigkeit ein großes Thema. Sie spart Rohstoffe und Energie bei der Produktion und macht die Verpackung leichter – was wiederum beim Transport Treibstoff spart. Dünnwandigkeit ist vor allem bei Einwegbehältern von Interesse, die oft über größere Distanzen transportiert werden. 48 Prozent aller Glasbehälter in Deutschland sind Einwegbehälter, da ist Materialeinsparung ein wirkungsvoller Hebel. Glas ist durch neue technische Verfahren im Lauf der Jahrzehnte bereits dünner geworden. Zudem wurde die Wandstärke immer gleichmäßiger. Aber da sind wir noch lange nicht am Ende. Mittlerweile wurden auch schon Mehrweg-Bierflaschen vorgestellt, die deutlich leichter sind als herkömmliche Exemplare.

Wie lässt sich das technisch umsetzen? Schließlich sollen Flaschen und Gläser nicht zu Bruch gehen.

Durch neue Formgebungsverfahren, die gezielte Steuerung der Temperatur entlang des Produktionsprozesses oder eine bessere Überwachung mithilfe von KI und Kamertechnik können wir dünneres Glas stabiler machen. Natürlich darf es keinen ungewollten Glasbruch geben. Kontamination mit Fremdkörpern, mit

Glassplittern beim Abfüllprozess muss verhindert werden. Dabei können auch neue Beschichtungen wie die von Total Energies und Evonik helfen, weil sie in der Lage sind, das Glas noch besser vor Kratzern und vor Beschädigungen zu schützen. Hinzu kommt, dass sich dadurch der Zinnverbrauch reduzieren lässt.

Durch welche anderen Maßnahmen lässt sich Glas noch nachhaltiger machen?

Indem wir die Recyclingquoten weiter erhöhen – nicht nur in Deutschland und Europa, sondern weltweit. Deutschland, Österreich und die Niederlande waren die Ersten, die das Glasrecycling in den 1970er-Jahren etabliert haben. In Deutschland werden heute mehr als 80 Prozent des Glases nicht weggeworfen, sondern recycelt. Inzwischen haben uns aber andere Länder überholt, die Schweiz, Norwegen und Schweden zum Beispiel. Erfreulicherweise haben andere Länder nachgezogen. In Spanien oder Italien wurde früher kaum recycelt. Heute erreichen auch diese Nationen hohe Werte. Anders in den USA, wo es keine 30 Prozent sind. Dort, aber auch hierzulande, ist es wichtig, die Bevölkerung weiter dazu anzuhalten, Altglas richtig zu entsorgen.

Recycling ist das eine. Kann man aus dem Material selbst noch etwas herauskitzeln?

Natürlich, durch weitere Energieeinsparungen in der Produktion oder durch alternative Rohstoffquellen. Glas wird aus den Primärrohstoffen Sand und Soda – also Siliziumoxid und Natriumkarbonat – sowie Dolomit oder Kalk – Magnesium – beziehungsweise Calciumcarbonat – hergestellt. Durch die Karbonatträger habe ich eine relativ hohe CO₂-Fracht. Kalk ließe sich künftig alternativ zum Beispiel aus Trinkwasser abscheiden, um andere Kalkvorkommen zu schonen. Soda könnte man aus dem in Meerwasserentsalzungsanlagen gewonnenen Salz umsetzen. Über Elektrolyse könnte man dieses Natriumchlorid in seine Bestandteile zerlegen – das Natrium anschließend mit Wasser und CO₂ aus der Industrie für die Soda-Produktion nutzen und das Chlor für die Desinfektion von Trinkwasser.

Sie sprachen eben von Kohlendioxidemissionen. Könnte sich die Glasindustrie hier in Zukunft durch Einsparungen hervortun?

Eindeutig ja, das muss sie. Denn durch den Handel mit CO₂-Zertifikaten ist die gesamte Branche in Europa massiv unter Druck. Ich sehe hier einen mehrstufigen Prozess. Wir müssen mehr recyceln und CO₂-neutrale Rohstoffe einsetzen. Wir müssen Gewicht reduzieren und auch an der Vergütung der Glasoberfläche arbeiten, um das Ganze zu optimieren. Hinzu kommen alternative Energiequellen – Wind, Solar, Wasserkraft. Dann können wir Glas in Zukunft tatsächlich ohne Erdgas und ohne Öl



Glasexperte Dirk Diederich
im Gespräch mit ELEMENTS-
Redakteurin Nadine Albach

schmelzen. Ob wir den Strom direkt nutzen oder zunächst Wasserstoff daraus machen, wird sich zeigen. Die Idee, Strom zu nutzen, ist übrigens nicht neu, das wird schon seit vielen Jahrzehnten so gemacht. Glas wird in Wannen geschmolzen, die normalerweise von oben mit Gas beheizt werden. Für dunkles Glas muss ich zusätzlich mit Elektroden Strahlungswärme von unten zuführen, weil ich über das Wannengewölbe allein nicht genug Energie in den Bereich des Wannenbodens bekomme. Entscheidend ist, dass der Strom finanzierbar ist und aus erneuerbaren Quellen stammt.

Welche Chancen sprechen Sie Glas für die Zukunft zu?

Die Verwendung des Werkstoffs wird massiv zunehmen – in ganz verschiedenen Bereichen. Künftig werden speziell ausgestattete Fensterscheiben Strom produzieren. Auch lassen sich Gebäude durch Strahlungswärme wie beim Wintergarten heizen. Allgemein wird Glas bei Isolierung, Hausbau und Gebäudetechnik weiter an Bedeutung gewinnen. Weil wir inzwischen in der Lage sind, immer dünneres Glas zu produzieren, lässt sich zugleich deutlich Material sparen. Die Autoindustrie tendiert dazu, bei bestimmten Kunststoffteilen zurück zum Glas zu gehen, etwa bei Linsen für LED-Scheinwerfer – wegen der hohen Qualität. Und dann gibt es sogar die Idee, Daten in Glas zu speichern, in riesigen Mengen. Für den Lebensmittelsektor erwarte ich, dass man in manchen Bereichen wegen der einzigartigen Eigenschaften zum Glas zurückkehren wird. —

Vancouver an der Westküste Kanadas ist Sitz zahlreicher Forschungseinrichtungen und Unternehmen, die sich auf Biotechnologie spezialisiert haben. Unten: Kendall Square in Cambridge (Massachusetts) mit dem MIT gilt als „die innovativste Quadratmeile der Welt“.



VON KÜSTE ZU KÜSTE

Lipidnanopartikel haben Therapeutika auf Basis von Messenger-RNA zum Durchbruch verholfen. Evonik treibt diese Entwicklung voran – nicht zuletzt durch eine starke Präsenz in den Biotech-Hochburgen Vancouver (Kanada) und Cambridge (USA).

TEXT **NORBERT KULS**



Im Labor von Pieter Cullis an der University of British Columbia (UBC) dominiert die Farbe Weiß: Sein widerspenstiges weißes Haar und sein strahlend weißer Laborkittel verleihen dem Wissenschaftler eine professionelle Ausstrahlung, Ideen für Artikel und Projekte sind mit weißem Marker direkt aufs Fenster gekritzelt. Bei so viel Weiß könnte die kleine weiße Anstecknadel mit dem goldenen Ahornblatt an Cullis' Revers leicht unbemerkt bleiben, dabei zeugt sie davon, dass er als Officer of the Order of Canada ausgezeichnet wurde.

Den hohen Verdienstorden hat der Professor für Biochemie und Molekularbiologie für seine Pionierarbeit in der Lipidnanopartikel-Technologie erhalten – ein zentrales Element der Covid-19-Impfstoffe von Pfizer-Biontech und Moderna. Doch Cullis ist weit mehr als ein klassischer Akademiker. Als Gründer zahlreicher Firmen hat der heute 79-Jährige vier Jahrzehnte lang den Aufstieg von Therapeutika auf Grundlage von Messenger-RNA (mRNA) →



»Derzeit erscheinen Anwendungen im Bereich Krebs besonders interessant.«

PIETER CULLIS, UNTERNEHMER UND
PROFESSOR FÜR BIOCHEMIE UND MOLEKULARBIOLOGIE
AN DER UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA

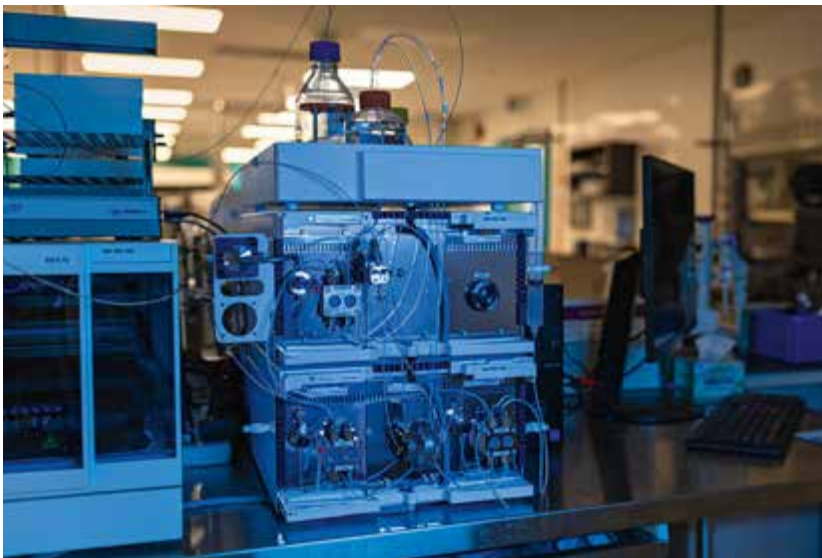


und Technologien für die präzise Verabreichung vorange-
trieben – er selbst nennt sich gern einen „wissenschaft-
lichen Unternehmer“. Cullis gilt als treibende Kraft hinter
dem Aufstieg Vancouvers zum Zentrum für Biotechno-
logie und Life Sciences, das mit etablierten Innovations-
standorten wie Boston und San Francisco konkurriert.

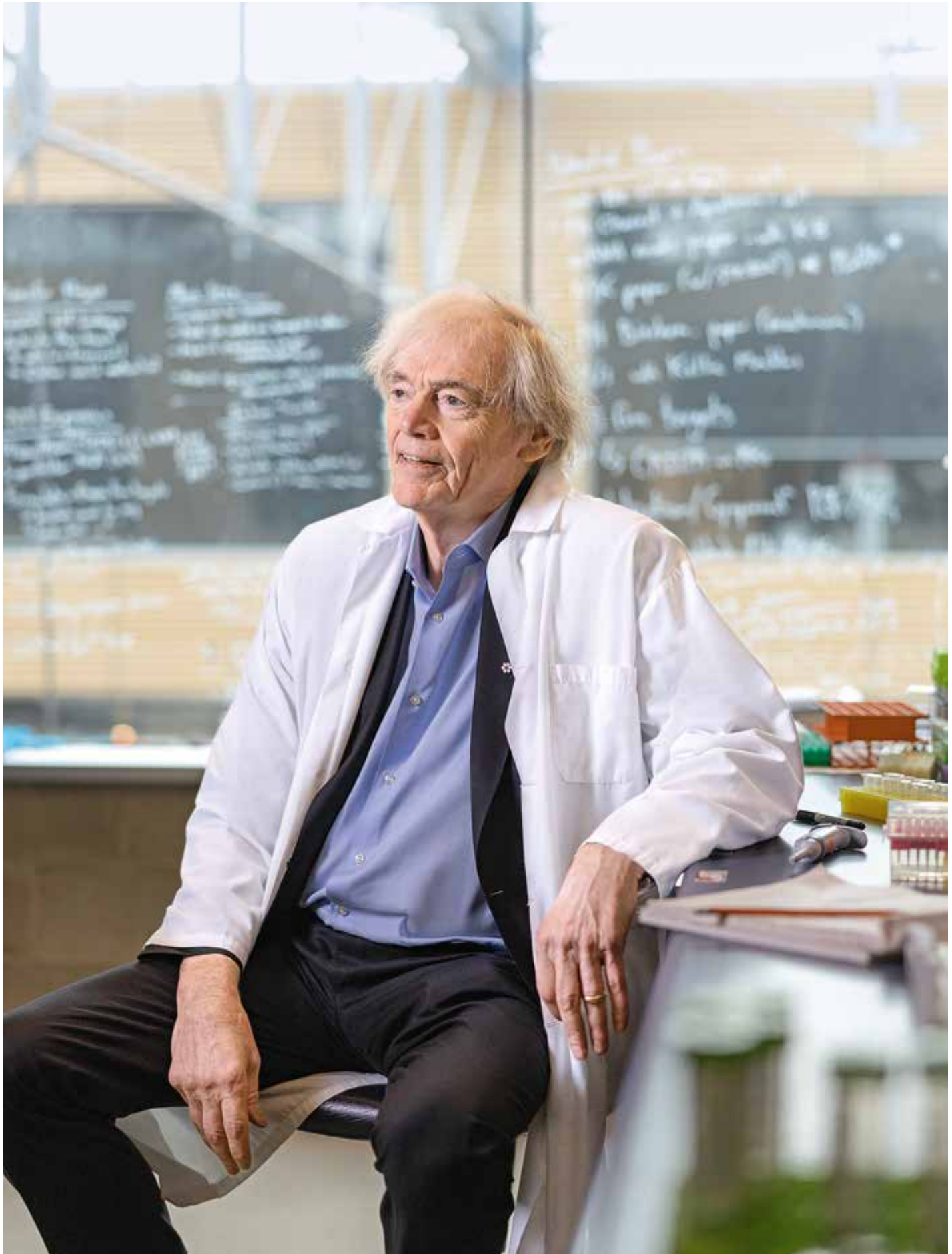
NEUE THERAPIEN IN SICHT

Jahrelang waren nukleinsäurebasierte Therapeutika
und die Lipidnanopartikel (LNP), mit denen sie in die
menschlichen Zellen transportiert werden, praktisch
nur Wissenschaftlern bekannt. Die Coronapandemie
änderte das schlagartig und katapultierte mRNA weltweit
ins Rampenlicht. Seitdem hat sich der Fokus von Impf-
stoffen zu einem immer umfassenderen therapeutischen
Spektrum verlagert: Mögliche Anwendungsbereiche sind
Krebs, HIV, Malaria, Tuberkulose, Erkrankungen des
Gehirns, Herz-Kreislauf-Leiden und Erbdefekte. „Der-
zeit erscheinen Anwendungen im Bereich Krebs beson-
ders interessant“, sagt Cullis und verweist auf persona-
lisierte Impfstoffe, die kurz vor dem Beginn klinischer
Studien stehen und viel höhere Heilungsraten verspre-
chen als Chemotherapie.

Neben Krebs gibt es aber auch seltene Krankheiten.
„Stellen Sie sich ein Kind vor, dessen Körper nicht in der
Lage ist, ein bestimmtes Protein zu bilden. Man könnte
sein Leben retten, indem man Medikamente einsetzt, die
die Leber anweisen, das fehlende Protein zu produzieren –
Medikamente, die in nur wenigen Monaten entwickelt
werden könnten. Das ist unglaublich spannend.“ →



Lipidlösungen, die Evonik in Vancouver zur Herstellung von LNPs
verwendet (ganz oben). Innovationsprojektmanagerin Zahra
Merchant testet LNP-Formulierungen an spezialisierten Laborgerä-
ten und überprüft die Ergebnisse auf einem Computerbildschirm
(M.). Ein Prallstrahlmischer erzeugt LNPs durch die schnelle, hoch-
energetische Vermischung von Lipiden und Nukleinsäuren.





Evonik-Mitarbeiter im Schutzanzug überwachen in einem Reinraum die Abfüllung von Lipidnanopartikeln in Ampullen.

Solche Medikamente auf Nukleinsäurebasis treiben auch Evonik um. Seit zehn Jahren ist der Chemiekonzern deshalb in Vancouver aktiv. Damals erwarb Evonik das Unternehmen Transferra Nanosciences – vormals Northern Lipids, eines der frühen unternehmerischen Projekte von Cullis – und baut seither die Kompetenz bei injizierbaren Arzneimitteln aus. Die Strategie ist klar: dort präsent sein, wo Wissenschaft auf Unternehmertum trifft, damit Ideen schnell vom Labor in die klinische Anwendung gelangen.

„Wir stehen an der Schwelle zu einer revolutionären Entwicklung“, sagt Mike Parr, Global Head, Strategic and Technical Marketing in den Vancouver Laboratories von Evonik. Cullis kennt er gut. In den 1990er-Jahren studierte er bei ihm, später war er an der Harvard Medical School als Postdoktorand tätig. „Die Pandemie hat das Potenzial der mittels Lipidnanopartikeln verabreichten Nukleinsäuren beschleunigt“, sagt Parr.

Derzeit unterstützt Evonik ein Programm namens ETH47. Hierbei geht es um einen mRNA-basierten Wirkstoff, der die körpereigenen Abwehrkräfte in den Atemwegen

stärken und so virusbedingten Asthmaanfällen vorbeugen soll. 2025 startete das Münchner Biotech-Unternehmen Ethris eine Phase-IIa-Studie zur Untersuchung des Therapeutikums, das als Nasenspray verabreicht wird. Um Nebenwirkungen zu vermeiden, entwickelt und testet Evonik außerdem eine neuartige Struktur für sogenannte PEG-Lipide.

HOCHLAUF IN WENIGEN MONATEN

45 Autominuten vom Stadtzentrum Vancouvers entfernt stellen die Forscher in den Evonik-Laboren Nanopartikel her, indem sie in speziellen Mischern Lipide mit einer Nukleinsäure-Fracht zusammenführen. Im Reinraum, hinter dicken Fensterscheiben und abgedichteten Türen, überwachen Mitarbeiter in Schutzkleidung, wie die Mittel anschließend in Ampullen abgefüllt werden. „Was wir hier herstellen, wird Menschen verabreicht“, sagt Parr, „und da darf es keine Fehler geben.“ Die klinische Produktion für Phase-I- und -II-Studien erfolgt hier, die Produktion in größerem Maßstab für die abschließende Phase III und die kommerzielle Herstellung finden am Evonik-Standort in Birmingham (Alabama, USA) statt.

» Wir stehen an der Schwelle zu einer revolutionären Entwicklung. «

MIKE PARR, GLOBAL HEAD, STRATEGIC AND TECHNICAL MARKETING IN DEN VANCOUVER LABORATORIES VON EVONIK





Dermot Kelleher, emeritierter Dekan der medizinischen Fakultät an der University of British Columbia, betont, wie wichtig die Vorbereitung auf eine neue Pandemie ist.

Während der Pandemie ging Evonik eine Partnerschaft mit dem in Vancouver ansässigen Unternehmen Acuitas Therapeutics ein. Dieses ebenfalls von Pieter Cullis mitbegründete Unternehmen entwickelte die LNP-Technologie für den Impfstoff von Pfizer-Biontech. Innerhalb weniger Monate fuhr Evonik die Produktion für zwei in den Nanopartikeln verwendete Lipide hoch.

VEREHRT WIE DIE GRÜNDER VON GOOGLE

Bei Ausbruch der Pandemie war Cullis bereits ein erfahrener Experte für LNP-Technologie. Ende der 1970er-Jahre hatte der studierte Physiker nach seinem Wechsel an die UBC damit begonnen, Lipidstrukturen in biologischen Membranen zu erforschen und zu verändern. Dass er zum wissenschaftlichen Unternehmer wurde, ergab sich eher zufällig. Er und seine Labormitarbeiter hatten ein Gerät zur Herstellung von Liposomen entwickelt, das auf kommerzielle Nachfrage stieß. „Ich wollte mein Team zusammenhalten, und dafür schien mir die Gründung eines Unternehmens ideal.“

In Vancouvers Biotech-Szene werden die Mitglieder von Cullis' damaliger Forschungsgruppe und die Mitbegründer der ersten Start-ups ähnlich verehrt wie die Gründer von Google oder Apple im Silicon Valley. „Über vier Jahrzehnte hinweg haben wir unzählige Unternehmen im Bereich Liposome und LNP gegründet. Die Mitarbeiter, die in Pieters Labor arbeiteten und dann in die neuen Unternehmen wechselten, gaben sich quasi die Klinke in die Hand“, erzählt Tom Madden, Mitgründer und CEO von Acuitas sowie einer der ersten von Cullis' Mitarbeitern. Im Konferenzraum seines Unternehmens zeigt eine große Grafik die Entwicklung des Unternehmens seit 2009 und bringt seine Vision in Großbuchstaben auf den Punkt: „mRNA ist die Zukunft. ES GIBT KEINE GRENZEN.“ Eine weitere Aussage lautet: „Wir retten die Welt.“

Die persönlichen Beziehungen in Vancouvers Biotech-Szene reichen tief. „Pieter hat eine Gruppe jüngerer Unternehmer aufgebaut, die seine Denk- und Handlungsweise verinnerlicht haben“, sagt Evonik-Manager Parr, der selbst einmal ein Start-up geführt →

hat. „Unsere Präsenz in Vancouver ist wichtig, um mit diesen Start-ups in Kontakt zu bleiben.“

INNOVATIONSFREUNDLICHE MENTALITÄT

Auch Wendy Hurlburt sieht in der herausragenden Rolle der örtlichen Forschungseinrichtungen einen wichtigen Grund für den ausgeprägten Unternehmergeist in Vancouver. „Die University of British Columbia ist seit Jahrzehnten eine treibende Kraft im Bereich der Biotechnologie“, sagt die Chefin des Branchenverbands Life Sciences British Columbia. Sie führt das Wachstum der Branche außerdem auf eine ganz eigene Mentalität an der Westküste zurück, die durch Einwanderung, Zusammenarbeit, Einfallsreichtum und Eigenverantwortung geprägt sei.

Mit fast 20.000 Beschäftigten in mehr als 2.000 Unternehmen – die meisten davon im Großraum Vancouver – weist British Columbia heute den am schnellsten wachsenden Life-Sciences-Sektor Kanadas auf. „Vancouver war schon immer ein Ort des Unternehmertums und der Innovation“, bestätigt Dermot Kelleher, emeritierter Dekan der medizinischen Fakultät der UBC. „Aber es fehlt immer noch die kritische Masse, die Life-Sciences-Zentren wie Boston auszeichnet.“

Um das Leistungsangebot in Vancouver zu ergänzen, ließ sich Evonik 2024 daher im Großraum Boston (US-Bundesstaat Massachusetts) nieder. Der Cambridge Innovation Satellite von Evonik ist ebenfalls auf Lipidnanopartikel spezialisiert und verfügt über moderne

MITTEN IM BIOTECH-CLUSTER

Forschungseinrichtungen und Unternehmen im Großraum Boston (Massachusetts, USA)



Wendy Hurlburt, CEO von Life Sciences British Columbia, führt das starke Wachstum der Biotech-Szene von Vancouver auf die unternehmerische Mentalität der Westküstenbevölkerung zurück.

Laborräume auf dem Campus des Massachusetts Institute of Technology (MIT) im Stadtviertel Kendall Square, das häufig als „innovativste Quadratmeile der Welt“ bezeichnet wird. Auch hier sind Koryphäen ansässig, die das Anwendungsspektrum von Lipidnanopartikeln ständig erweitern, etwa Robert Langer: „Die Verabreichung von Nukleinsäuren eröffnet neue Möglichkeiten in Bereichen wie dem Proteinersatz, Gentherapien und der zellspezifischen Modulation – vorausgesetzt, wir können die richtigen Zellen zuverlässig erreichen“, sagt der MIT-Professor, der als Pionier auf dem Gebiet moderner Biomaterialien und Arzneimittelverabreichung gilt und das Biotech-Unternehmen Moderna mitgegründet hat (siehe seinen Essay auf Seite 46).

In den vergangenen zwei Jahren hat sich Evonik als Teil des Netzwerks aus Unternehmen, akademischen Einrichtungen und Krankenhäusern in Cambridge etabliert. „Dieses einzigartige Umfeld ermöglicht es uns, beim wissenschaftlichen Fortschritt weiterhin eine Spitzenposition einzunehmen“, sagt Andrea Engel, Senior Director of Cell and Delivery Systems bei Evonik. Ein großes Augenmerk liege auf Forschung und Entwicklung in frühen Phasen der Arzneimittelentwicklung.

DIE PARTNER SIND GLEICH GEGENÜBER

In Cambridge werden innovative Ideen ganz ungezwungen ausgetauscht – sogar im Café. „Die Community ist unglaublich offen und hilfsbereit“, berichtet Engel. „Forscher können leicht Kontakt aufnehmen. Manchmal müssen sie nur auf die andere Straßenseite gehen, um gemeinsam an Formulierungen zu arbeiten.“

Im Labor des Cambridge Innovation Satellite setzt Daniel Costa, Senior Scientist for Nucleic Acid Delivery, einen Vernebler ein, um LNP-Formulierungen für Lungenerkrankungen wie Asthma zu testen. Sie werden nicht als Injektion verabreicht, sondern vom Patienten inha-



liert, wodurch sie direkt an die Schleimhäute der Atemwege gelangen. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt liegt auf In-vitro-Tests von Formulierungen in zellbasierten Systemen. Auf dem Computerbildschirm erscheinen die Zellbestandteile als blaue und rote Flecken, was an ein impressionistisches Gemälde erinnert.

Doch auch wenn es vorrangig um neue medizinische Anwendungen geht, sind die Folgen der Pandemie nicht in Vergessenheit geraten. „Wir müssen weiterhin unser Augenmerk auf Pandemien richten“, sagt der frühere UBC-Dekan Kelleher. In Vancouver ist er Teil der Leitung des Immuno-Engineering and Biomanufacturing Hub (CIEBH) der University of British Columbia. CIEBH wurde 2023 gegründet und ist eines von fünf →

A portrait of Andrea Engel, a woman with long blonde hair, smiling. She is wearing a dark green turtleneck sweater under a black jacket. The background is a warm, out-of-focus interior with wooden paneling.

»Das Umfeld in Cambridge ermöglicht es uns, beim wissenschaftlichen Fortschritt weiterhin eine Spitzenposition einzunehmen.«

ANDREA ENGEL, SENIOR DIRECTOR OF CELL AND DELIVERY SYSTEMS
IM CAMBRIDGE INNOVATION SATELLITE VON EVONIK



Evonik-Forscher Daniel Costa verwendet Vernebler (r.), um LNP-Formulierungen für Lungenerkrankungen wie Asthma zu testen.



nationalen Forschungszentren, die von der kanadischen Regierung zur Stärkung der Pandemievorsorge eingerichtet wurden. Seine Bedeutung hat zugenommen, seitdem US-Gesundheitsminister Robert F. Kennedy Jr. im vergangenen Jahr die Streichung von rund 500 Millionen Dollar an Bundesmitteln für die mRNA-Impfstoffforschung angekündigt hat.

„Kanada verfügt über umfassendes Know-how in den Bereichen RNA und Lipidnanopartikel. Unser Ziel ist es, diese Kapazitäten zu nutzen, um bei einer Pandemie innerhalb kurzer Zeit klinische Frühphasenstudien zu erstellen“, sagt Kelleher. „Die Partnerschaft mit Unternehmen wie Evonik wird entscheidend sein, wenn es darum geht, die Produktion hochzufahren.“ Evonik-Manager Parr ist Industrirepräsentant im Governance-Ausschuss des CIEBH.

Eine wichtige Initiative des CIEBH ist das von Pieter Cullis mitgeleitete Avenger-Programm, das sich auf die Entwicklung von mRNA-LNP-Impfstoffformulierungen zum Schutz vor viralen und bakteriellen Krankheitserregern konzentriert. Zugleich treibt die Gruppe die Forschung an personalisierten Krebsimpfstoffen und klinische Studien voran.

Für Cullis könnte dies weitere Auszeichnungen bedeuten. Wie sein amerikanischer Kollege Langer gilt er als Nobelpreiskandidat. Zu Beginn seiner Karriere hätte er sich nicht vorstellen können, dass seine Arbeit zu 400 Veröffentlichungen, 100 Patenten und einer pulsierenden Biotech-Szene in Vancouver führen würde. Dabei habe er nie am Potenzial seiner Forschung gezweifelt, sagt Cullis: „Ich wusste einfach, dass es funktioniert.“



Norbert Kuls ist Pressesprecher von Evonik in Nordamerika. Zuvor arbeitete er als US-Korrespondent mehrerer deutscher Zeitungen.

Wie RNA-Therapeutika und Lipidnanopartikel die Zukunft der Medizin prägen

Synthetische Messenger-RNA hat die Entwicklung von Medikamenten revolutioniert. Nach Infektionskrankheiten rücken nun Krebs und seltene Krankheiten in den Fokus. Ein wichtiger Faktor sind dabei die Verabreichungssysteme.

Von Robert S. Langer



Robert S. Langer ist Professor am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge. Er ist ein Pionier auf dem Gebiet Biomaterialien und Arzneimittelverabreichung. Seine Forschungsarbeit ermöglichte die Entwicklung sicherer und wirksamer RNA-Verabreichungssysteme und trug damit zur Weiterentwicklung der mRNA-Therapeutika bei. Als Mitbegründer des Biotech-Unternehmens Moderna leistete er einen Beitrag zur Entwicklung von Impfstoffen und RNA-basierten Medikamenten.

Auf RNA und insbesondere auf Messenger-RNA (mRNA) basierende Medikamente zeigen, wie die Verbindung von Technologie und Biologie völlig neue Möglichkeiten schafft, die menschliche Gesundheit zu verbessern. mRNA ist ein natürlich vorkommendes Molekül. Es transportiert in den Zellen genetische Anweisungen von der DNA zum Ribosom, wo Proteine gebaut werden. Synthetische mRNA in therapeutischen Anwendungen folgt dem gleichen Prinzip: Sobald sie in die Zellen eingebracht worden ist, dient sie als zeitweiliger Bauplan für die Produktion eines bestimmten Proteins, das verschiedene Funktionen übernehmen kann, etwa eine Immunantwort auslösen, ein fehlendes Protein ersetzen oder die Zellaktivität regulieren.

Ins öffentliche Bewusstsein gelangte mRNA während der Coronapandemie, die Grundlagenforschung reicht jedoch mehr als 60 Jahre zurück. Die Covid-19-Impfstoffe demonstrierten, dass diese Technologie ausgereift ist: Hochwirksame Vakzinen können in beispielloser Geschwindigkeit entwickelt, hergestellt und eingesetzt werden. Wie schnell die Forschung vorangekommen ist, lässt sich daran erkennen, dass der Impfstoff von Moderna eine rund 94-prozentige Wirksamkeit erzielt. Zum Vergleich: Der Grippeimpfstoff kommt in der Regel auf etwa 40 bis 50 Prozent. Zugleich gibt es nach wie vor zentrale Herausforderungen. So gilt es, den Schutz zu verlängern, die Verträglichkeit zu verbessern und zusätzliche Verabreichungswege zur intramuskulären Injektion zu erschließen, zum Beispiel die Inhalation.

Das Potenzial der RNA reicht weit über Infektionskrankheiten hinaus. Personalisierte Krebsimpfstoffe liefern bereits vielversprechende klinische Ergebnisse und dürften an Bedeutung gewinnen. Darüber hinaus eröffnet die Verabreichung von Nukleinsäuren neue Möglichkeiten in Bereichen wie dem Proteinersatz, Gentherapien und der zellspezifischen Modulation – vorausgesetzt, wir können die richtigen Zellen zuverlässig erreichen.

»Je reifer die RNA-Plattformen werden, desto stärker dürften sich Fortschritte in mehreren Bereichen abzeichnen.«

Lipidnanopartikel sind für RNA-Therapeutika von entscheidender Bedeutung. Sie sorgen für Stabilität und erleichtern die zelluläre Aufnahme. Allerdings kann eine einzige Formulierung nicht allen therapeutischen Anforderungen gerecht werden. Deshalb ist die Kombination von zweckmäßigem Design mit experimentellem Hochdurchsatz-Screening unverzichtbar. Maschinelles Lernen und andere KI-gestützte Ansätze beschleunigen den Fortschritt. Diese Tools können Lipidkombinationen und Formulierungsparameter vorschlagen, die schnellere Wege zu einer zellspezifischen Verabreichung aufzeigen und neue Designprinzipien etablieren, um die Präparate sicherer und besser verträglich zu machen.

Ebenso wichtig ist es, dass das, was wir verabreichen, und die Weise, wie wir es verabreichen, im Einklang miteinander stehen. Mikronadelsysteme bieten eine minimalinvasive Möglichkeit, RNA zu verabreichen, und versprechen einheitlichere Impfungen und eine globale Verbreitung. Daneben macht die Verabreichung über die Schleimhäute rasche Fortschritte.

GEGEN KREBS UND SELTENE KRANKHEITEN

Je reifer die RNA-Plattformen werden, desto stärker dürften sich Fortschritte in mehreren Bereichen abzeichnen. Die Onkologie wird weiterhin von verfeinerten personalisierten Impfstoffen und therapeutischen Kombinationen profitieren. Bei genetischen und bei seltenen Erkrankungen sind Verbesserungen durch gezielte RNA- und Gentherapie-Strategien zu erwarten, die die Leber zu passieren vermögen. Atemwegserreger könnten zunehmend durch intranasale oder pulmonale Formulierungen bekämpft werden, die eine starke Immunität der Schleimhäute aufbauen. Menschen, die von Immun- oder Entzündungserkrankungen betroffen sind, könnten von RNA-Medikamenten profitieren, die therapeutische Signale an bestimmte Zelltypen leiten.

Die Verwirklichung dieser Vision erfordert kontinuierliche technische Innovationen. Die Verabreichungssysteme müssen sich besser anpassen lassen, damit die RNA die Zielzellen mit ausreichender Wirksamkeit und Haltbarkeit erreicht und zugleich unerwünschte Arzneimittelwirkungen vermieden werden. Die Sicherheit muss weiter erhöht werden, auch wenn bestehende mRNA-Impfstoffe

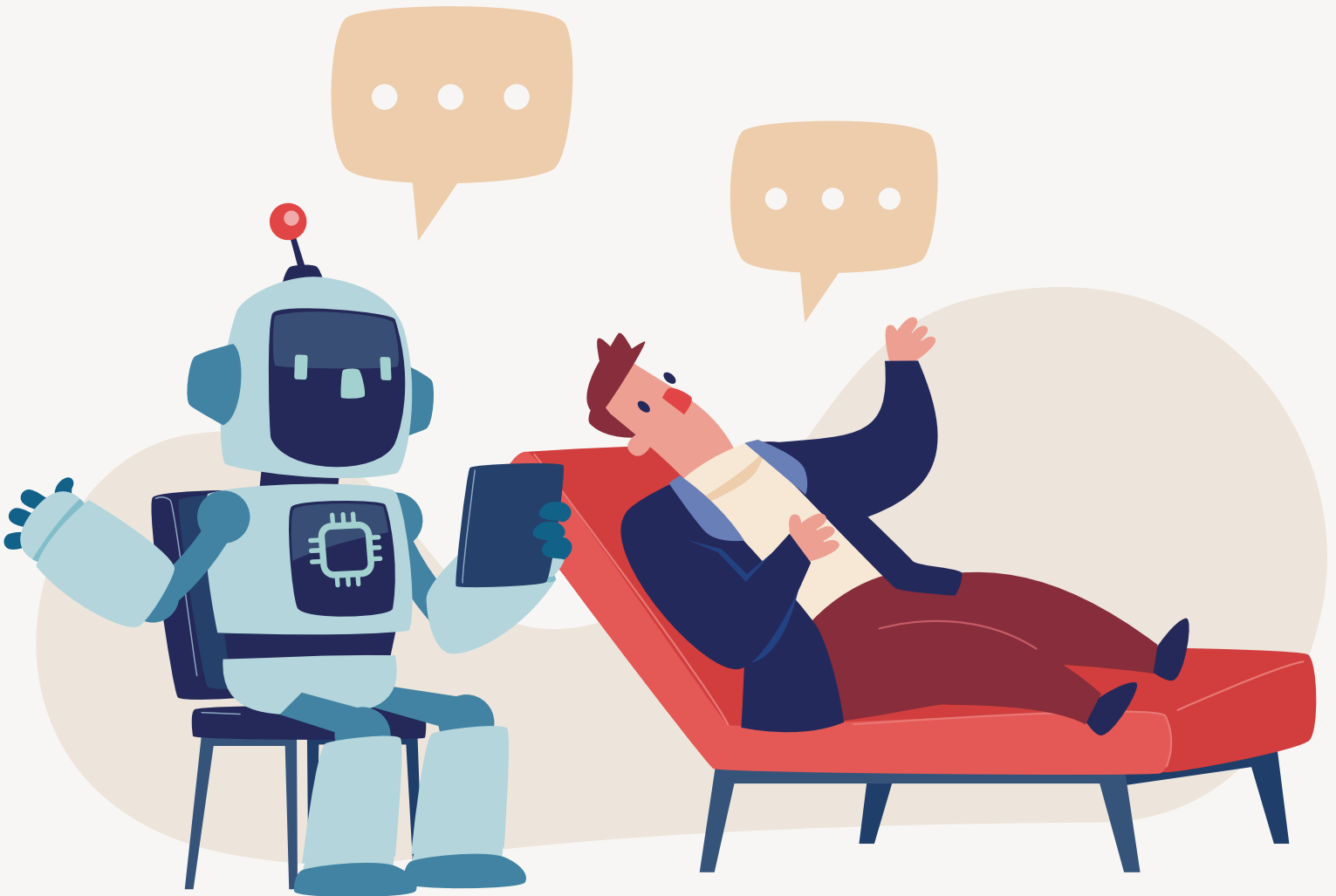
bereits besser abschneiden als viele herkömmliche Impfstoffe. Für eine weltweite Verbreitung braucht es robuste, skalierbare Verfahren und Formulierungen für Systeme, die ihre Eigenschaften bei Raumtemperatur oder als Trockenpulver behalten. Schließlich wird sich das Gebiet auch über Lipidnanopartikel hinaus weiterentwickeln. Polymere, Hybridsysteme und gerätebasierte Lösungen wie Mikronadeln werden Lipidnanopartikel ergänzen und so ein breiteres Instrumentarium schaffen, das auf vielfältige physiologische Probleme zugeschnitten werden kann.

DIE BEDEUTUNG DES „BUMP EFFECT“

Keiner dieser Fortschritte entsteht für sich allein. Das Ökosystem in Boston und Cambridge, das sich auf führende Universitäten, renommierte Krankenhäuser und ein dichtes Netzwerk von Unternehmen und Investoren stützt, hat maßgeblich dazu beigetragen, die grundlegenden Forschungsergebnisse schnell in zugelassene Medikamente zu übertragen. Diese Nähe fördert unerwartete Begegnungen, den Austausch von Ideen und die schnelle Bildung neuer Teams und Unternehmen – wir nennen das den „Bump Effect“. Und in einer Kultur, die akademisches Unternehmertum stärkt, finden bahnbrechende Konzepte mit bemerkenswerter Geschwindigkeit den Weg vom Labor in die Klinik.

Der aktuelle Stand der Forschung lässt sich auf diese Formel bringen: Die Verabreichung ist nach wie vor der kritische Schritt, birgt aber auch die entscheidende Chance. Indem wir immer bessere Nanopartikel, intelligentere Materialien und neue Verabreichungswege entwickeln und Ökosysteme wie das von Boston und Cambridge den Fortschritt vorantreiben, können RNA-Therapeutika den großen Sprung schaffen: vom Proof of Concept zu einer regulären Behandlungsmethode bei Infektionskrankheiten, in der Onkologie und vielen weiteren Bereichen der Medizin. —

MIT DER KI AUF DER COUCH



Und wie fühlen Sie sich
dabei? Sogar in der
Psychotherapie kommt
KI bereits zum Einsatz.

Künstliche Intelligenz dringt immer tiefer in unseren Alltag vor. Sie verändert Jobs, die Politik und sogar das Seelenleben. In Zukunft wird sie sämtliche Bereiche der Gesellschaft durchdringen. Daher hat das Foresight-Team von Evonik die Auswirkungen dieses Gamechangers analysiert.

TEXT **BJÖRN THEIS**

Manchmal kommt Fortschritt sehr teuer. Anfang Februar stellte das US-Unternehmen Anthropic, eines der führenden Start-ups auf dem Feld der künstlichen Intelligenz, neue Funktionen seiner Assistenzsoftware Cowork vor. Sie kann nun ganze Aufgabenpakete mehr oder weniger selbstständig übernehmen: etwa programmieren, Compliance-Prozesse überwachen oder juristische Gutachten erstellen. Die Folge: Innerhalb eines Tages wurden rund 285 Milliarden US-Dollar an der Börse vernichtet – denn Investoren stießen Aktien von Unternehmen ab, denen Cowork die Basis entziehen könnte.

Statt dem Menschen bloß zu assistieren, zielt Cowork darauf, anspruchsvolle Tätigkeiten zu substituieren. Etwas, das selbst den Anthropic-Chef beunruhigt: Dario Amodei warnt, dass KI-Anwendungen in wenigen Jahren rund 50 Prozent aller Einstiegsjobs im Büro- und Verwaltungsbereich überflüssig machen könnten.

Die rasante Entwicklung künstlicher Intelligenz ist eine der Entwicklungen, die das Foresight-Team von Evonik im Rahmen des Projekts „GameChanger 2035“ tiefgreifend analysiert hat. Im Fokus stehen disruptive Entwicklungen und Erfindungen mit dem Potenzial, wirtschaftliche, militärische und soziale Strukturen grundlegend zu verändern. Für KI gilt das allemal.

Bereits heute besetzen künstliche Intelligenzen prestigeträchtige Jobs. So wurde der albanische Chatbot Diella 1.0 Anfang 2025 zur Ministerin für künstliche Intelligenz berufen.

Die Nachfolgeversion Diella 2.0, die nicht nur Text, sondern auch Stimme versteht und deren Avatar in albanischer Tracht auftritt, ist mehr als ein PR-Gag. Schrittweise soll sie die Zuständigkeit über öffentliche Ausschreibungen übernehmen und dafür sorgen, dass Vergabeverfahren frei von Korruption sind. Dass die Einführung neuer Technologien jedoch zuweilen auch Reibungen verursacht, zeigt die Klage der Schauspielerin Anila Bisha, die nach eigener Aussage nicht um Erlaubnis für die Verwendung ihrer Stimme und ihres Kontexts gebeten wurde.

DIRTY TALK MIT DER KI?

Selbst in sensiblen Bereichen wie der Psychologie erhält die KI Einzug. Bisher nicht unmittelbar am Patienten, aber in Versuchen mit aufgezeichneten Gesprächen kamen die Maschinen schon zu Antworten und Ergebnissen, die die menschlichen Therapeuten tief beeindruckten – weil sie besser waren. Auch in die Schlafzimmer dringt die künstliche Intelligenz vor. So steht ChatGPT kurz vor der Einführung eines „Erwachsenenmodus“. Damit soll es Volljährigen möglich sein, erotische Gespräche mit dem Chatbot zu führen – immer mehr Kunden wünschten sich so ein Feature, heißt es beim ChatGPT-Betreiber Open AI.

Die Beispiele zeigen: KI-Anwendungen sind ein wahrer Gamechanger, der sich mit rasanter Geschwindigkeit in alle Bereiche des Lebens verbreitet. Schon bald werden KI-Systeme auch in großem Stil in der Chemie-industrie zum Einsatz kommen – etwa in der Forschung, wie es das A-Lab am Lawrence Berkeley National Laboratory in Kalifornien vormacht. Das A steht für „autonom“: Um die Synthese neuer Materialien zu beschleunigen, lässt man hier eine künstliche Intelligenz eigenständig ein ganzes Labor führen. Sie überlegt sich Experimente, führt sie durch und analysiert die Ergebnisse – rund um die Uhr, ohne menschliches Eingreifen und 50- bis 100-mal so schnell wie Menschen.

Das Foresight-Team evaluiert, wann und bei welchen Aufgaben solche Systeme in Zukunft die Innovationskraft von Evonik steigern können. Denn eines ist sicher: Auch in der Forschung wird KI die Spielregeln verändern. —

Björn Theis leitet die Abteilung Foresight der Evonik-Innovations-einheit Creavis.





»Unsere Spiegel umfassen den Raum«

PROTOKOLL ENRICO GERHARTH
FOTOGRAFIE JONAS HOLTHAUS

Steffen Noack ist Geschäftsführer eines Fachbetriebs im sächsischen Weißwasser. Der gelernte Mechaniker arbeitete 1989 in einer Spiegelfabrik, die nach der deutschen Wiedervereinigung geschlossen wurde. Er machte sich daraufhin selbstständig und baute sein Unternehmen fortan aus. In seiner Manufaktur fertigt er heute mit zehn Mitarbeitern Spiegel, Verglasungen, Türen und Vordächer.

Der Anruf liegt zwei Jahrzehnte zurück, doch ich erinnere mich gut. Ein Professor des Landesamts für Denkmalpflege Sachsen erzählte, das Grüne Gewölbe in Dresden solle wiederhergestellt werden. Etwa 80 Prozent der historischen Spiegel waren zerstört. Für mich als Kind der DDR hat diese Sammlung seltener Exponate von Weltrang eine hohe persönliche Bedeutung. Der Professor fragte, ob ich Spiegel nach originalem Vorbild mit Quecksilber fertigen könne. Das ist verrückt, dachte ich.

Normalerweise verspiegeln wir Glas durch Aufsprühen von Silbernitrat – modern und sauber. Für das Grüne Gewölbe sollte alles so hergestellt werden wie in den 1720er-Jahren: mit einer Zinn-Amalgam-Legierung. Dahinter steckt ein heikles Verfahren, und die Denkmalpflege hatte niemanden gefunden, der die Technik noch beherrscht.

Bei mir war es genauso – ich begann bei null, recherchierte in zwei Jahrhunderte alten Büchern, richtete ein Labor ein, beschaffte Schutzausrüstung. Dann arbeitete ich an ersten Mustern und ließ wegen des Kontakts mit Quecksilber regelmäßig mein Blut untersuchen.

Das Element ist widersprüchlich: Es fließt, ohne Oberflächen zu benetzen; verflüchtigt sich leicht, obwohl es schwer ist; glänzt, aber spendet kein Licht. Die Handgriffe sind die gleichen wie im 18. Jahrhundert: Stanniol auf einer Marmorplatte ausbreiten, etwas Quecksilber darauf geben. Warten, bis die Legierung anzieht. Dann die Platte einrahmen und eine größere Menge Quecksilber auftragen. In diese Schicht wird das Glas schließlich behutsam seitlich hineingeschoben. Die dünne Amalgamschicht haftet daran, überschüssiges Quecksilber

läuft ab. Jeder Schritt verlangt sein eigenes Tempo; wer drängelt, verliert. Doch so entsteht eine Oberfläche, wie sie kein moderner Spiegel hat. Der Reflexionsgrad ist geringer, das Spiegelbild ist farbecht.

Das Grüne Gewölbe verfügt heute wieder über 600 Quadratmeter Spiegel. Sie öffnen den Raum nicht, sondern sie umfassen ihn. Bin ich dort, spüre ich ihre Wirkung: weiches Licht, authentische Farben. Die Historie der ausgestellten Objekte tritt nach vorn, und die Spiegel bereiten die Bühne dafür.

Es macht mich stolz, meine Quecksilberspiegel an Orten zu sehen, die Geschichte erzählen. Im Grünen Gewölbe oder hier in den Paraderäumen des Dresdner Residenzschlosses denke ich an meinen ersten Impuls: „verrückt“. Vielleicht war es das – aber es war es wert.

Impressum

HERAUSGEBER Evonik Industries AG | Matthias Ruch | Rellinghauser Straße 1–11 | 45128 Essen |
BERATUNG UND KONZEPT Manfred Bissinger |
CHEFREDAKTION Jörg Wagner (V. i. S. d. P.) |
CHEF VOM DIENST Inga Borg, Bernd Kaltwaßer |
TEXTCHEF Christian Baulig | **REDAKTION** Stephan Siebenbaum, Anne Bauer | **BILDREDAKTION** Nadine Berger | **LAYOUT** Wiebke Schwarz (Art Direction) | **ANSCHRIFT DER REDAKTION** KNSK Group | Holstenwall 6 | 20355 Hamburg | **DRUCK** Linsen Druckcenter GmbH, Kleve | **COPYRIGHT** © 2026 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 +49 201 177-3276 | E-Mail elements@evonik.com |
BILDNACHWEISE Titel: Tobias Wüstefeld/Die Illustrierten | S. 3: Kirsten Neumann | S. 4–5: Robert Eikelpoth (2), Noel Hendrickson | S. 6–7: Getty Images | S. 8–9: Getty Images, European Patent Office, Luci Valentine Photography | S. 10–19: Robert Eikelpoth (8), Andrej Galica (7), imago images/UIG, ddp/Sipa USA, mauritius images/Rick Buettner/Alamy; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Luise Aedtner | S. 20–21: Maximilian Nertinger | S. 22–31: Robert Eikelpoth; Infografiken: Maximilian Nertinger; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Foto- und Bilderwerk | S. 32–35: Robert Eikelpoth | S. 36–45: Getty Images, Albert Vecerka/Esto, Noel Hendrickson: (8), Katharina Poblitzki (3); Kartengrafik: Maximilian Nertinger; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit einer privaten Fotovorlage | S. 46–47: Henrik Abrahams | S. 48–49: Blocberry/Shutterstock, Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Karsten Bootmann | S. 50: Jonas Holthaus

elements.evonik.de

»Mein Netz hat eine unglaubliche Zugfestigkeit«,

ließ Tom DeFalco den Titelhelden seines Comics »The Amazing Spider-Man« 1992 die Qualität seiner Kletterhilfe kommentieren. In den meisten Storys der Serie bildet sich das Netz aus einer Flüssigkeit, die aus dem Handgelenk verschossen wird und zu einer extrem starken, elastischen Faser polymerisiert. Dass aus Science-Fiction reale Innovation werden kann, zeigt die Kooperation von Evonik mit dem Unternehmen Amsilk: Aus biotechnologisch hergestelltem Seidenproteinpulver entsteht Spinnenseide, die leichter als Baumwolle ist, elastisch wie Gummi – und belastbarer als Stahl.