

# ELEMENTS

Forschen. Wissen. Zukunft.



## Ran ans Werk

**Wie die Chemiebranche die Transformation  
zu einer nachhaltigen Produktion angeht → S. 10**

Singapur: Aminosäure mit verbesserter Klimabilanz → S. 22

mRNA-Therapien: Eine neue Hülle hält Antikörper auf Abstand → S. 42

# Defossilierung

Bestreben der (chemischen) Industrie, von fossilen Rohstoffen unabhängig zu werden

---

Das Verbrennen fossiler Rohstoffe setzt jährlich rund 35 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre frei. Verantwortlich für den größten Teil dieser Emissionen und somit für das Vorschreiten des Klimawandels sind Energiewirtschaft, Industrie und Verkehr. Unter dem Begriff der Dekarbonisierung werden Maßnahmen vorangetrieben, fossile Energieträger und Rohstoffe durch erneuerbare Alternativen zu ersetzen. So soll der CO<sub>2</sub>-Ausstoß minimiert und der Weg zu einer klimaneutralen Wirtschaft gebahnt werden. Dabei wird beispielsweise auf Wind- und Solarenergie sowie den Einsatz grünen Wasserstoffs gesetzt. In der chemischen Industrie steht der Begriff der Dekarbonisierung in der Kritik. Stattdessen spricht man hier zumeist von Defossilierung. Kohlenstoff soll nicht ersetzt, sondern in eine Kreislaufwirtschaft eingebunden werden, um die Förderung und Verbrennung fossiler Rohstoffe zu reduzieren.

---

**Fossile Rohstoffe** Natürliche Kohlenstoffvorkommen, die aus pflanzlichen und tierischen Überresten entstanden sind und in Form von Erdöl, Erdgas und Kohle abgebaut werden

**Klimaneutral** Zustand, in dem Prozesse, Produkte oder Aktivitäten die Menge an klimaschädlichen Gasen in der Atmosphäre nicht erhöhen. Dies wird durch Reduktion eigener Emissionen oder durch Kompensation der verbliebenen Restemissionen erreicht

**Grüner Wasserstoff** Wird durch Elektrolyse von Wasser mit Strom aus erneuerbaren Quellen produziert. Seine Herstellung ist somit CO<sub>2</sub>-neutral



## **LIEBE LESERINNEN, LIEBE LESER,**

wenn man eine fürs Ruhrgebiet typische Stadt sucht, dann könnte es Herne sein: industriell geprägt seit Jahrzehnten, viele Menschen auf recht wenig Raum, die Grenzen zu den umliegenden Kommunen für Ortsunkundige kaum wahrnehmbar. Wie die meisten dieser Nachbargemeinden ist Herne auf Kohle gebaut. Der wertvolle Rohstoff tief unter der Erde brachte einst die Industrie in die Region.

Auch heute hängt noch vieles im dortigen Werk von Evonik am Kohlenstoff. Schließlich verwendet die Chemiebranche diesen Baustein des Lebens für viele Zwecke. Doch der Umbau von Industrie und Gesellschaft weg vom Kohlenstoff fossilen Ursprungs wird immer mehr zur Notwendigkeit und setzt ungeahnte Kräfte und Ideen frei. Das kann man in Herne eindrücklich erleben: Der Standort in der Kohleregion arbeitet an einer Zukunft ohne fossile Abhängigkeiten.

Der größte Hebel liegt in der Energie und den Rohstoffen. Kommt man hier weg von Kohle, Gas und Öl als Basis, kann man Chemie betreiben, ohne die etablierten Produktionsverfahren neu erfinden zu müssen. In Singapur verfolgt Evonik einen ähnlichen Ansatz, um die Herstellung der Aminosäure Methionin nachhaltiger und effizienter zu machen. Welche Pläne Evonik umsetzen will, lesen Sie ab Seite 10. Und welchen Schub dieser Ansatz dem Projekt einer klimaneutralen Chemieindustrie geben kann, erläutert Kohlenstoffforscher Ferdi Schüth im Interview ab Seite 26.

Einen ganz anderen Blick auf Kohlenstoff als Baustein des Lebens werfen wir in unserem Report ab Seite 42. Lipide sind ein wesentlicher Bestandteil, um mRNA-basierte Wirkstoffe erfolgreich an den Ort der Bestimmung im Körper zu bringen. Hier arbeitet Evonik zusammen mit der Universität Mainz an einer Art Harry-Potter-Umhang, der mRNA für Antikörper quasi unsichtbar macht.

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

**Jörg Wagner**  
Chefredakteur

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



Werksleiter Rainer Stahl (links) und sein Chef für Elektro-, Mess- und Regeltechnik, Lutz Komorowski, tüfteln an Dutzenden Projekten, die den Standort Herne klimafreundlicher machen sollen.

## DEFOSSILIERUNG

### 10 Kohlenstoff aus neuen Kanälen

In Herne stellt Evonik Produkte her, die unter anderem für den Bau von Windrädern wichtig sind. Nun werden in dem Werk zahlreiche Projekte angeschoben, die die Produktion selbst klimafreundlicher machen: Rohstoffe, Energie, Abfälle – in vielen Bereichen sollen künftig Alternativen zu fossilen Quellen den Vorzug haben.

#### SCHAUBILD

### 20 Alles bleibt anders

Von Fermentern für Bio-Aceton bis zu Verbrennungsturbinen – welche Vorhaben in Herne rund um die Isophoronproduktion geplant sind

### 22 Fortschritt fürs Klima

In Singapur betreibt Evonik seinen weltweit größten Produktionskomplex für Methionin. Die Herstellung der essenziellen Aminosäure wird künftig einen kleineren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck hinterlassen – unter anderem dank grünem Wasserstoff.

#### INTERVIEW

### 26 „Die Technologie muss es lösen“

Ferdi Schüth forscht seit Jahrzehnten daran, wie die grüne Transformation der Chemiebranche gelingen kann. Der Direktor des Max-Planck-Instituts für Kohlenforschung plädiert dafür, Rohstoffbasis und Energieversorgung so schnell wie möglich auf eine nachhaltige Grundlage zu stellen.

Délicieux! Macarons zählen zu den vielen Leckereien, die Frankreich zum Genussland machen.



32

**SPEZIALLIPIDE**

**42 Geschickt getarnt**

mRNA-Therapien könnten künftig zur Bekämpfung vieler Krankheiten beitragen. Damit sie optimal an ihr Ziel gelangen, arbeitet ein Team von Forschern der Uni Mainz und Evonik an einem Transportsystem, das Antikörper austrickst.

**51 Von der Klinik in die Praxis**

DATA MINING

Wie sich der Markt für mRNA-Technologien entwickelt

6 **START-UP**  
Implantate des US-Unternehmens Allay Therapeutics lindern Schmerzen nach Knie-OPs.

8 **PERSPEKTIVEN**  
Neues aus Wissenschaft und Forschung

32 **EVONIK-LAND**  
**Frankreich**  
Die Republik bietet viel für die Sinne – und jede Menge Innovationen in der Spezialchemie.

52 **FORESIGHT**  
**Statt Antibiotika**  
Wie spezielle Viren im Kampf gegen Bakterien helfen können

54 **IN MEINEM ELEMENT**  
**Phosphor**  
Projektingenieur Tim Bunthoff gewinnt das wertvolle Element aus Klärschlamm.

55 **IMPRESSUM**



42

Im Darmstädter Evonik-Labor werden aus rPEG-Lipiden und weiteren Komponenten Lipidnanopartikel hergestellt und getestet.

## KNIETHERAPIE

Das Einsetzen eines künstlichen Kniegelenks zählt zu den häufigsten Operationen weltweit. Oft klagen Patientinnen und Patienten nach dem Eingriff lange über Beschwerden und sind sowohl in der Akutphase als auch während des Genesungsprozesses auf starke Schmerzmittel wie Opioide angewiesen. Diese haben jedoch Nebenwirkungen, darunter ein hohes Abhängigkeitsrisiko. Hier kommen die Schmerzimplantate des kalifornischen Start-ups Allay Therapeutics ins Spiel, in das Evonik seit 2022 investiert. Die münzgroßen, dreieckigen Implantate werden am Ende einer Operation rund um das künstliche Kniegelenk platziert. Auf Röntgenbildern bleiben sie unbemerkt. Dank der neuartigen Struktur aus biologisch abbaubaren Polymeren von Evonik und einem opioidfreien Lokalanästhetikum lindern die Implantate bis zu drei Wochen lang Schmerzen und können dann einfach vom Körper verstoffwechselt werden.





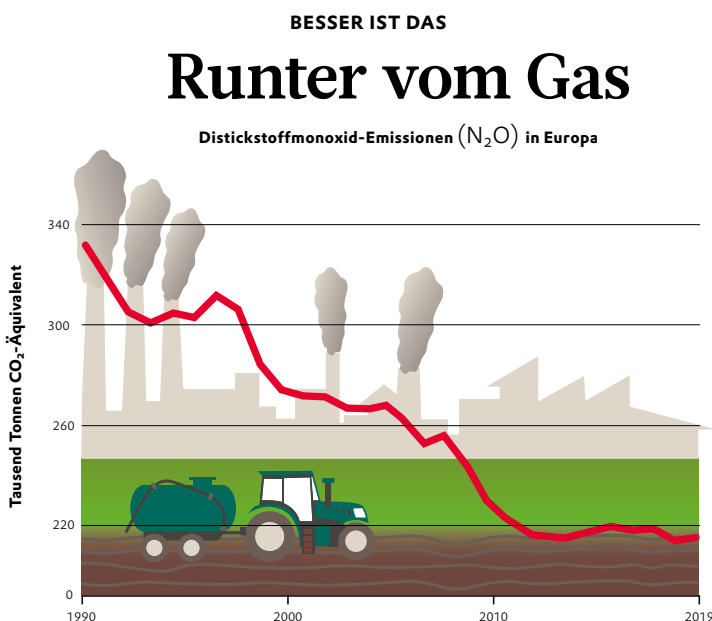
# Ein Kreislauf für Strumpfhosen

Ein Katalysator auf Basis seltener Erden ermöglicht das Recycling von Polyamid.

Elastisch, reißfest und beständig gegen Chemikalien: Diese Eigenschaften machen Polyamid-6 (Polycaprolactam) zum hochbegehrten Kunststoff für zahlreiche Produkte – von Strumpfhosen in der Textilbranche bis hin zu Fangnetzen in der Fischerei. Doch was Polyamid-6 in der Anwendung so attraktiv macht, erweist sich nach der Nutzung als schwerwiegender Nachteil: Der Kunststoff ist biologisch nicht abbaubar und belastet deshalb die Natur – Polyamid-Fischernetze sind allein für zehn Prozent des Plastikabfalls in den Meeren verantwortlich. Zudem verursacht die Produktion von Polyamid einen enormen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck, da für die Herstellung des Aus-



gangsmonomers  $\epsilon$ -Caprolactam fossile Rohstoffe und ein aufwendiges Verfahren nötig sind. Um den Kunststoff erfolgreich in eine Kreislaufwirtschaft einzubinden, haben Forschende aus den USA einen neuartigen Recyclingprozess entwickelt: Mithilfe eines Katalysators auf Basis seltener Erden depolymerisieren sie Polyamid-6 zurück in das Monomer  $\epsilon$ -Caprolactam. Der Prozess funktioniert ohne Lösungsmittel oder toxische Chemikalien bei relativ niedrigen Temperaturen. Er ermöglicht somit eine effiziente Rückgewinnung von  $\epsilon$ -Caprolactam – und könnte die Grundlage für einen umweltschonenden Materialkreislauf für Polyamid bilden.



Distickstoffmonoxid (N<sub>2</sub>O) oder Lachgas ist ein äußerst klimaschädliches Treibhausgas, das vor allem durch stickstoffhaltige Düngemittel, durch landwirtschaftliche Tierhaltung und Verbrennungsprozesse, zum Beispiel in der Industrie, frei wird. Während weltweit die N<sub>2</sub>O-Emissionen in die Höhe schießen, zeigen Messungen in der Europäischen Union, dass der Ausstoß hier zurückgeht. Das ist unter anderem auf einen reduzierten Tierbestand und einen effizienteren Einsatz von Düngemitteln in der Landwirtschaft zurückzuführen. Auch ressourcenschonendere industrielle Prozesse halfen, die Emissionen zu reduzieren.

Quelle: The World Bank

# 1,2

**MILLIARDEN \$**

werden laut Schätzungen in diesem Jahr weltweit mit essbaren Insekten umgesetzt. Heuschrecken, Mehlwürmer oder Grillen spielen eine zunehmende Rolle für die nachhaltige Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung. Im Vergleich zu Fleisch ist ihre Produktion deutlich ressourcenschonender. Zudem stecken Insekten voller wichtiger Nährstoffe.

## SUPERKONDENSATOREN ...

... sind Stromspeicher, die Akkus ergänzen oder teilweise ersetzen können. Sie stellen schnell große Mengen an Strom zur Verfügung – allerdings nur für einen kurzen Zeitraum. Um eine längere Einsatzdauer zu ermöglichen, entwickelten Forscher aus China und den USA ein neuartiges Verfahren: Eine Elektrode aus porösen Kohlenstoffmaterialien hält Chlorgas fest, sobald sie in eine als Elektrolyt dienende Kochsalzlösung getaucht wird. Beim Laden werden Elektronen auf die Chloratome übertragen, wodurch sie sich als Chlorid-Ionen in der Flüssigkeit lösen. Beim Entladen wird dies rückgängig gemacht und erneut Chlorgas gebildet. So steigt die Energiedichte des Superkondensators bei gleichbleibender Leistungsdichte drastisch.



# Kühle Räume dank Quantencomputer

Eine neuartige Fensterfolie senkt die Innentemperatur ohne Energieaufwand.

Der Klimawandel führt dazu, dass Gebäude häufiger und intensiver gekühlt werden müssen, was jede Menge Energie verbraucht. Neue Technologien setzen dort an, wo ein großer Teil der Wärme entsteht: im Fenster. Ursache für das Aufheizen von Räumen sind das unsichtbare ultraviolette und nahinfrarote Licht der Sonne. Es dringt durch das Fensterglas und bringt so die Wärme nach innen. Doch was wäre, wenn dieses Licht gar nicht erst durch die Fenster hindurchkäme? Die neue Beschichtungstechnik eines Forscherteams aus den USA und Südkorea soll diese Frage beantworten. Grundlage für ihren

neuartigen „transparenten Strahlungskühler“ (transparent radiative cooler, TRC) sind dünne Schichten aus Materialien wie Siliziumnitrid, Aluminiumoxid oder Titandioxid – und ein Quantencomputer. Damit spielten die Forscher zahlreiche Szenarien durch, um auf der Basis maschinellen Lernens die optimale Art und Kombination der Materialschichten herauszufinden. Das Ergebnis: eine Fensterfolie, die UV- und Nahinfrarot-Licht abweist und dadurch hilft, bei der Kühlung von Gebäuden Energie einzusparen. Zugleich ist die Beschichtung transparent und lässt sichtbares Licht hindurch.

## MENSCH & VISION

»Ich habe ein neues Material entwickelt, das als Grundlage für robustere Fasern dient.«



### DER MENSCH

Dr. Boris Marx ist in der belgischen Eifel aufgewachsen und war der Natur schon immer sehr verbunden. Nachdem er ein Mechatronik-Studium absolviert hatte, promovierte der Wissenschaftler an der Universität Hohenheim. Sein Themenfokus: die Verringerung der Bodenverdichtung im Ackerbau zur Entlastung der Umwelt. Der Wunsch, Umwelt und Natur zu schützen, führte Marx zu seiner aktuellen Tätigkeit am Faserinstitut in Bremen. Hier forscht er im Bereich Biopolymere nach Alternativen für erdölbasierte Kunststoffe. Vor allem interessieren ihn technische Fasern. „Eine Motivation für meine Arbeit sind auch meine Kinder: Sie sollen von einer nachhaltigeren Welt profitieren.“

### DIE VISION

Vom Sofapolster bis zum Trampolin – technische Fasern sind überall zu finden. Sie basieren meist auf Erdöl, könnten jedoch umweltfreundlicher aus Biopolymeren wie Polylactid (PLA) hergestellt werden. PLA eignet sich bisher nur für einfache Strukturen wie Textilfasern. Hier setzt Marx an: „Ich habe ein neues Material entwickelt, das als Grundlage für robustere Fasern dient.“ Mithilfe eines speziellen Compoundier-Prozesses modifizierte der Wissenschaftler zwei PLA-Ausgangsmaterialien zu einem sogenannten Stereokomplex-PLA-Blend in Pulverform. Mit Marx' Material können technische Fasern auch für komplexere Branchen wie Lufttechnik oder Medizin nachhaltig entwickelt werden und so herkömmliche Kunststoffe weiter ersetzen.

## GUTE FRAGE



### Professor Faisal, kann intelligente Kleidung Krankheiten heilen?

Ja, wenn man es richtig angeht. Wir setzen künstliche Intelligenz ein, um neurologische Erkrankungen zu diagnostizieren und zu überwachen. Das betrifft Menschen, die durch Krankheiten wie Multiple Sklerose oder einen Schlaganfall körperlich beeinträchtigt sind. Dafür messen auf Kleidung gesteckte Sensoren, sogenannte Wearables, die Bewegungsmuster der Patienten, zum Beispiel die Schnelligkeit ihrer Bewegungen. Die entscheidende Rolle spielt ein neuer Algorithmus, der diese Muster äußerst präzise analysiert und eine 24-Stunden-Erfassung des Gesundheitszustandes einer erkrankten Person ermöglicht. Auf dieser Basis können auch bisher unbemerkte Verhaltensveränderungen registriert werden. Die KI versteht die beobachteten Muster so gut, dass sich daraus individuell auf den Patienten zugeschnittene Therapien, Krankheitsprognosen und sogar genetische Marker ableiten lassen.

*Prof. Dr. Aldo Faisal ist Inhaber der Professur für Digital Health an der Universität Bayreuth und Professor am Imperial College in London.*



Seit beinahe 100 Jahren werden auf dem heutigen Werksgelände von Evonik in Herne chemische Produkte hergestellt – mithilfe fossiler Rohstoffe und Energieträger. An den farbig markierten Stellen sollen künftig neue Technologien einen verstärkten Einsatz nachhaltiger Alternativen ermöglichen.

# WERK IM WANDEL

Um Chemieproduktion nachhaltig zu machen, gibt es viele Wege. Einer davon: Nicht die großen Reaktoren werden umgebaut, sondern so gut wie alles drum herum. Rohstoffe, Energie oder Abfallströme smart zu managen kann der Schlüssel für eine grüne Zukunft sein. Evonik will das im „Herne Green Deal“ beweisen. Ein Ortsbesuch

TEXT TOM RADEMACHER

**R**atternd fährt das Rolltor hoch. Dr. Rainer Stahl breitet beide Arme aus und lässt den Blick durch die Halle schweifen: „Wir haben hier eine Menge Platz“, ruft er. Nach links und rechts erstreckt sich der gewaltige Raum jeweils 100 Meter weit. Früher wurde hier mal Dünger gebunkert, zigtausend Kubikmeter spezieller Salze. Das ist Jahrzehnte her. Jetzt lagern in der gut einen halben Hektar großen Halle Ersatzteile und ein paar alte Apparate. „Die Flächen können wir frei machen“, sagt Stahl. Er hat Großes vor. In der Halle soll grüner Wasserstoff für das Chemiewerk produziert werden. Der Bau des Elektrolyseurs wird noch in diesem Jahr starten.

Rainer Stahl ist promovierter Chemiker und leitet seit drei Jahren den Evonik-Standort in Herne. Das Werk im Herzen des Ruhrgebiets hat eine lange und bewegte Geschichte, die Strukturen sind über Generationen gewachsen. Früher wurde hier tief unter der Erde Steinkohle gefördert. Heute entsteht komplexe Chemie für den Weltmarkt, deren Herstellungsverfahren bis ins Kleinste ausgeklügelt sind. Dabei soll es bleiben. Doch dazu muss einiges passieren. Schließlich verlangen nicht nur die Kunden und die Politik nach nachhaltiger Produktion. Sondern Evonik selbst hat sich Innovation und Nachhaltigkeit als strategische Prinzipien auf die Fahnen geschrieben.

Um den Evonik-Standort Herne klimaneutral zu machen und in die Kreislaufwirtschaft zu bringen, müssen viele Dinge ineinandergreifen. Dafür sind die Aussichten hier besonders vielversprechend: „Unsere Chemieprozesse müssen wir gar nicht grundlegend verändern“, sagt Stahl. „Es genügt, bei Rohstoffen und Energie umzustellen.“ Überdies gehen wirtschaftliche und ökologische Interessen Hand in Hand. „Wir senken die Kosten und sichern Rohstoffversorgung sowie Energiebedarf stärker gegen Risiken ab“, ergänzt Lutz Komorowski, Leiter Elektro-, Mess- und Regeltechnik. „Außerdem sind die heute dazu verfügbaren Technologien nachhaltiger und zukunftssicherer.“

Der Plan ist umfassend: Fossile Quellen für Kohlenstoffe sollen sukzessive ersetzt, Stoff- und Energiekreisläufe geschlossen werden. Mit seinem ganzheitlichen Konzept könnte das Herner Werk zum Anschauungsobjekt für eine defossilisierte Chemieindustrie werden. Evonik nennt es den „Herne Green Deal“.



#### TEIL DER ENERGIEWENDE

Der Stoff, um den sich in Herne alles dreht, heißt Isophoron. Das Molekül ist ein einfacher Ring aus Wasserstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff. Seit vielen Jahren stellt es Evonik in Herne aus Aceton her. Herne ist die Wiege dieses industriellen Verfahrens. In den 1960er-Jahren wurde Isophoron vor allem als Lösemittel verkauft. Heute ist es ein viel gefragtes Vorprodukt für die Chemie.

Das größte Geschäft macht Evonik mit komplexeren Folgeprodukten. Dazu werden in der sogenannten I- und T-Chain schrittweise funktionale Gruppen ans Isophoronomolekül angebaut. So entsteht zum Beispiel Isophorondiamin, das die Hersteller von Windkraftanlagen brauchen, um spezielle Epoxidharze zu härten. Evonik ist einer der wichtigsten Hersteller weltweit, und in Herne befinden sich drei der fünf I-Chains des Konzerns.

„Wir produzieren Chemie für einen rasant wachsenden Weltmarkt und sind mit unseren Produkten Teil der grünen Energiewende“, sagt Lutz Komorowski. Er ist Stahls rechte Hand in Technikfragen. Die beiden sind ein eingespieltes Duo, das gern miteinander feixt und sich verbal die Bälle zuspielt.



Komorowski ist seit neun Jahren in Herne. Stahl kam vor drei Jahren als Standortleiter hierher, zuvor verantwortete er Produktion und Technik am Evonik-Standort in Schanghai. Die beiden verbindet ihr technischer Hintergrund und ein unbändiger Spaß daran, eingefahrene Prozesse ständig zu hinterfragen. Gern tüfteln sie auch nach Feierabend noch an kniffligen Technologiefragen. Und davon gibt es einige in Herne.

**WAS KOSTET DIE REVOLUTION?**

Ihr Vorhaben ist gigantisch: Stahl und Komorowski haben sich zum Ziel gesetzt, den Standort vollkommen unabhängig von fossiler Energie und fossilen Rohstoffen zu machen. Pläne für mehr als ein Dutzend Bauvorhaben haben sie schon in der Schublade, in Summe könnten damit 26.600 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr eingespart werden. Auch ein emissionsfreier Standort Herne ist denkbar. Die Vorhaben passen bestens in die Konzernstrategie: Bis 2030 will Evonik die sogenannten Scope-1- und Scope-2-Emissionen um ein Viertel reduzieren. Scope-1-Emissionen umfassen Klimagase, die Evonik selbst produziert. Zu Scope 2 zählt CO<sub>2</sub> aus eingekaufter Energie. Konzern-

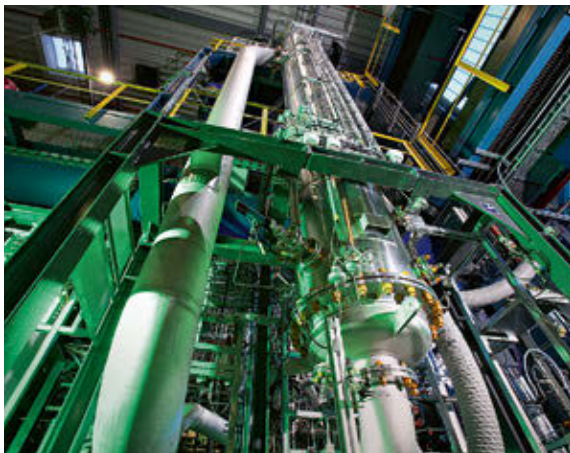
weit will Evonik 700 Millionen € in sogenannte Next Gen Technologies investieren – technische Maßnahmen, die Ressourcen, Energieeinsatz und Emissionen reduzieren helfen sowie zugleich Kosten senken.

„Die Chemieindustrie ist die härteste Nuss, die es zu knacken gilt“, sagt Professor Martin Stuchtey. „Sie ist die ultimative fossilbasierte und energieintensive Branche.“ Der Mitgründer des Beratungsunternehmens Systemiq hat zusammen mit der Universität Tokio eine Studie veröffentlicht, die zeigt, wie es gehen könnte: Der globale Chemiesektor könnte demnach bis 2050 nicht nur klimaneutral, sondern sogar klimapositiv werden – also die Atmosphäre von Kohlendioxid entlasten. Dazu müsste er statt Kohlenstoff aus Öl und Erdgas überwiegend solchen einsetzen, der bereits im Umlauf ist – sei es in der Luft, in Pflanzen oder in Abfällen. Ferdi Schüth, Professor am renommierten Max-Planck-Institut für Kohlen- →

Ein Fall für zwei: Gemeinsam mit seinem Chef für Elektro-, Mess- und Regeltechnik Lutz Komorowski (links) treibt Werksleiter Rainer Stahl die Transformation des Standorts Herne voran.

# »Die Chemie-industrie ist die härteste Nuss, die es zu knacken gilt.«

MARTIN STUCHTEY, MITGRÜNDER DES BERATUNGSUNTERNEHMENS SYSTEMIQ



## RHETICUS SPEZIALCHEMIE AUS CO<sub>2</sub>

In verschiedenen Projekten arbeitet Evonik daran, CO<sub>2</sub>-haltige Abfall- und Abgasströme biotechnologisch in wertvolle Chemikalien zu verwandeln. Eines der vielversprechendsten Vorhaben ist das Forschungsprojekt Rheticus, das der Konzern gemeinsam mit Siemens Energy vorantreibt. Die Projektpartner haben eine Technologie entwickelt, die mittels künstlicher Photosynthese wertvolle Spezialchemikalien aus Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) produziert. Dabei kommen erneuerbarer Strom, Wasser und Bakterien zum Einsatz. Die Versuchsanlage in Marl besteht aus einem Wasserelektrolyseur und einem Bioreaktor. In einem ersten Schritt wird Wasser (H<sub>2</sub>O) mittels Strom zu Wasserstoff (H<sub>2</sub>) umgewandelt. Mit CO<sub>2</sub> produzieren spezielle Mikroorganismen daraus Hexansäure. Diese kann zum Beispiel als Rohstoff für Lacke, Kosmetika oder auch Schmierstoffe genutzt werden. Evonik führt Gespräche mit potenziellen Kunden. Mit Beiersdorf gibt es bereits ein Forschungsprojekt für die Nutzung der Rheticus-Produkte als Kosmetikrohstoff.



Grün statt grau: Im früheren Salzlager soll künftig ein Elektrolyseur Wasserstoff aus grünem Strom produzieren. Der Baubeginn ist für dieses Jahr geplant.

forschung in Mülheim, ist etwas skeptischer. Für ihn ist schon Klimaneutralität für Europa ein sehr anspruchsvolles Ziel (siehe Interview Seite 26). Den Weg, der in Herne eingeschlagen wird, hält er aber für richtig: „Es ist wichtig, jetzt so schnell wie möglich voranzugehen, indem man die Glieder der Wertschöpfungskette beibehält, aber auf eine nachhaltige Basis setzt“, so Schüth.

Dass in Herne relativ wenige unterschiedliche und vergleichsweise simple Rohstoffe zum Einsatz kommen, macht das Werk zum optimalen Versuchskandidaten: „Wasserstoff, Ammoniak, Methan, Aceton, Sauerstoff – wir brauchen hier am Standort fast nichts, was man nicht aus dem Grundkurs Chemie kennt“, sagt Komorowski. „Diese Rohstoffe könnten wir auch aus grünen Quellen beziehen – oder produzieren sie selbst.“ Sogar die CO<sub>2</sub>-Emissionen und Abfallstoffe könnten wieder als Rohstoff in die Produktion eingespeist werden.

## GRÜN STATT GRAU

Im alten Salzlager geht es los: Der Standort benötigt heute bis zu 30 Millionen Kubikmeter Wasserstoff pro Jahr. Bislang kommt dieser per Pipeline, hergestellt aus Erdgas in Steam Reformern, die pro Tonne Wasserstoff zehn Tonnen und mehr an CO<sub>2</sub> ausspucken. Das ist nicht nur fürs Klima bedenklich, sondern auch für die Produktionssicherheit: Ein einziges Rohr versorgt den ganzen Standort – in der Spitze mit über 3.500 Kubikmeter Wasserstoff pro Stunde. Als Puffer dient ein Drucktank mit 6.000 Kubikmeter Inhalt. Fällt die Pipeline aus, müssen Stahls Mitarbeiter im Leitstand die Anlagen geordnet runterfahren. „Selbst wenn alles gut geht und die Versorgung nach ein paar Stunden wieder einsetzt, stehen wir erst mal für ein paar Tage“, sagt Komorowski.

Die Lösung heißt H<sub>2</sub>annibal – in Anlehnung an H<sub>2</sub> für Wasserstoff und die stillgelegte Zeche Hannibal in unmittelbarer Nachbarschaft. Die geplante Wasserelektrolyse im Salzlager ist ein Kooperationsprojekt mit Siemens Energy und wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Sie spaltet Wasser mittels Strom aus erneuerbaren Energiequellen auf in Wasserstoff und Sauerstoff. Die Wasserstoffausbeute soll den halben Bedarf des Werks abdecken. Fällt künftig die Pipeline aus, lässt sich ein gedrosselter Weiterbetrieb aufrechterhalten. Ganz nebenbei liefert die Elektrolyse auch noch Sauerstoff, der in der Produktion eingesetzt wird.





### ABFÄLLE VERWERTEN

Bei allen anderen Rohstoffen könnten in Herne ebenfalls nachhaltige Quellen erschlossen werden: Heute rollen pro Tag 50 Tonnen Ammoniak per Kesselwagen und mehr als 300 Tonnen Aceton per Lkw ins Werk. Beides ließe sich zumindest in Teilen bald vor Ort selbst gewinnen aus Abfall- und Abgasströmen.

Vergleichsweise einfach ist das bei Ammoniak. Stahl und Komorowski haben da schon mal eine Idee. Vor dem Salzlager baut sich die imposante Skyline des Standorts auf – ein Gewirr aus Rohren, Reaktoren und Schloten, die sich zum Teil Dutzende Meter in den Himmel strecken. Stahl deutet auf zwei Schloten, wo seine Ingenieure Umrüstungen planen. Im Projekt HAMst:ER soll als Nebenprodukt anfallendes Ammoniumsulfat per Elektrodialyse wieder zurückgespalten werden. Die Abkür- →

Das Projekt H<sub>2</sub>annibal wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen 03HY131B gefördert.

GEFÖRDERT VOM



**Bundesminister  
für Bildung  
und Forschung**

zung steht für „Herner Ammoniumsulfat: Elektrolysebasierte Rückspaltung“ – nicht nur in technischen Fragen beweisen Komorowski und Stahl Kreativität.

Bislang finden die Herner für ihr Ammoniumsulfat Abnehmer in der Landwirtschaft, wo es als Stickstoffdünger dient. Weil aber auch die Bauern künftig mit weniger Stickstoffdünger auskommen wollen, muss sich die Industrie ohnehin Gedanken machen, was sie mit ihren großen Mengen anfängt.

Weiter geht es mit dem Ammoniak: Das zweite Projekt hört auf den Namen HASE für „Herner Ammoniak-Separation“. Reste des Rohstoffs sollen vor der Verbrennung aus den Abgasströmen abgetrennt und so zurückgewonnen werden. Ganz nebenbei entsteht dann weniger Stickoxid in der Verbrennung.

Auch fürs Aceton haben sie in Herne Pläne: Gleich neben dem alten Salzlager reiht sich auf einer Grünfläche eine Handvoll Birken. In ihrem Schatten könnte die wohl revolutionärste Neuerung des Herne Green Deal entstehen: die Erzeugung von Aceton aus Kohlendioxid, auf biotechnologischem Weg mittels Bakterien. Aceton gehört zu den wichtigsten Rohstoffen für den Isophoronstrang. Er trägt aber auch den schwersten CO<sub>2</sub>-Rucksack: Rund die Hälfte der gesamten Scope-3-Emissionen der Business Line Crosslinkers stammt vom Aceton. Scope 3 umfasst unter anderem die Klimabelastungen aus eingekauften Rohstoffen.

Schon heute kauft Evonik kleinere Mengen Bio-Aceton aus zertifiziert nachhaltigen Quellen und speist sie in den Produktionsprozess ein. Die Kunden des Unternehmens können dann nach dem Massenbilanzverfahren – ähnlich wie beim Ökostrom – bei Evonik Folgeprodukte mit einem geringeren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck kaufen (siehe Kasten rechts). Aceton sogar aus Abgasen oder Abfällen zu gewinnen wäre aber so etwas wie der Goldstandard der Kreislaufwirtschaft.

„Die Technologie ist da“, sagt Stahl. Das US-Unternehmen Lanzatech hat ein Verfahren entwickelt, in dem ein anaerobes Bakterium aus Kohlendioxid und Wasserstoff Aceton erzeugt. Eine nicht übermäßig große Anlage würde reichen, um „zwei Fliegen mit einer Klappe zu schlagen“, wie Stahl sagt: Die Fermentation liefert Aceton und schluckt CO<sub>2</sub>-Emissionen. „Das grüne Aceton macht sich damit zusätzlich bezahlt, weil wir direkt CO<sub>2</sub>-Zertifikate einsparen können.“ Einen passenden Namen für das Projekt gibt es natürlich auch schon: SAcHer – „Sustainable Aceton for Herne“.

## HEIZUNG FÜR HERNE

Die Rohstoffe sind eine entscheidende Größe nicht nur in Herne, sondern insgesamt bei Evonik. Die größte Klimabelastung des gesamten Konzerns steckt in eingekauften Rohstoffen. Doch der zweite große Hebel ist die Energieversorgung. In Deutschland entfällt derzeit rund ein



## MASSENBILANZ

### GRÜNE BUCHHALTUNG

Chemie braucht Kohlenstoff. Aber der muss nicht aus der Erde kommen. Heute stammen etwa 85 Prozent des Kohlenstoffs in Chemieprodukten aus fossilen Quellen – allen voran aus Erdöl. Evonik setzt bereits heute mit rund elf Prozent der Rohstoffbasis auf nachwachsende Ressourcen. Derzeit bietet Evonik eine zunehmende Zahl seiner Produkte den Kunden wahlweise auf Basis erneuerbarer und zirkulärer Rohstoffe an. So hat das Unternehmen Isophoron und Folgeprodukte im Portfolio, bei denen das Aceton im Massenbilanzverfahren ausschließlich aus nachwachsenden oder zirkulären Quellen stammt. Das sogenannte Massenbilanzverfahren erlaubt es, Rohstoffe aus unterschiedlichen Quellen in ein und demselben Prozess zu verwenden. Die eingesetzte Menge erneuerbarer Ausgangsstoffe lässt sich trotzdem auch entlang komplexer Verarbeitungsschritte eindeutig einem Endprodukt zurechnen. Wie grüner und herkömmlicher Strom fließen hier erneuerbare und fossile Rohstoffe in denselben Leitungen und werden gemeinsam verarbeitet. Sauber abgerechnet wird am Schluss. Unabhängige Institute überprüfen und zertifizieren die Massenbilanzierung nach international anerkannten Standards. Der große Vorteil: Statt in neue grüne Anlagen investieren zu müssen, können Unternehmen ihre Produktionen Stück um Stück auf nachhaltige Rohstoffe umstellen.

Alternatives Aceton:  
Das US-Unternehmen  
Lanzatech hat ein  
Verfahren entwickelt,  
bei dem ein Bakterium  
den wichtigen Rohstoff  
aus CO<sub>2</sub> und Wasserstoff  
herstellt.





Viertel des industriellen Energieverbrauchs auf die Chemieproduktion. Auch in Herne ist der Energiehunger enorm: Zehn Megawatt Strom zieht der Standort zu Spitzenzeiten bisher aus dem Netz, dazu pro Jahr noch einmal 22 Millionen Kubikmeter Erdgas. Das Erdgas wird zwar überwiegend als Rohstoff eingesetzt, zusammen mit den Rückständen des Werks dient es aber auch zur Energieversorgung.

Konzernweit deckt Evonik bereits 27 Prozent des extern bezogenen Strombedarfs aus erneuerbaren Quellen, ab 2030 wird Evonik nur noch Strom aus erneuerbaren Quellen zukaufen. Die Versorgung mit Grünstrom ist das eine, das effiziente Management der eingesetzten Energie das andere. Auch hier legt Herne vor. Dieses Projekt trägt den Namen TORTE („Technische Optionen zur Rückgewinnung Thermischer Energie“): Große Teile seiner Abwärme soll der Standort künftig ins Fernwärmenetz des Energieunternehmens Uniper einspeisen – zunächst genug für rund 1.000 Haushalte.

Dass sich im dicht besiedelten Ruhrgebiet Chemie- und Energiewirtschaft so eng tummeln, hat Vorteile. „Hier soll die Hochtemperaturwärmepumpe stehen“,

sagt Stahl und zeigt auf eine Lücke neben den Kühltürmen, an der sich nur wenige Meter entfernt schon heute zwei dick isolierte Fernwärmerohre vorbeischlängeln. SaCHer würde direkt von TORTE profitieren. Dass die Namen sich so treffend fügen, sei Zufall, beteuert Stahl. „Sie sind völlig unabhängig voneinander entstanden, und wir haben erst nach einer Weile gemerkt, wie gut sie zusammenpassen.“

Noch in diesem Jahr startet zudem das Bauprojekt HerMES („Herne Managing Emissions and Sustainability“). Dabei installiert Evonik eine hochmoderne Verbrennungsanlage für Produktionsrückstände.

#### TURBINEN STATT ÖFEN

Ein gutes Stück weiter in die Zukunft reichen die Pläne für drei der bestehenden Verbrennungsöfen. Stahl und Komorowski legen den Kopf in den Nacken. Ihre Blicke wandern empor am backsteinernen Fabrikschornstein, der alles am Standort überragt. Gleich daneben, deutlich weniger markant, steht eine von drei Verbrennungsanlagen. „Die sorgen dafür, dass unsere Produktionsrückstände verbrannt werden“, erklärt →

## VON KOHLE ZU GRÜNEM WASSERSTOFF

Die Geschichte des Evonik-Standorts Herne

### 1872

**KOHLEBERGBAU**  
Neben dem Gelände des heutigen Evonik-Werks entsteht Schacht 2 der Zeche Hannibal – eine von elf Zechen in Herne, die ab Mitte des 19. Jahrhunderts die Ansiedlung von Industrieunternehmen nach sich ziehen.

### 1928

**GASERZEUGUNG**  
Rund um die Zechen entstehen Industrien zur Koksgasverwertung. Auf dem heutigen Werks-gelände entsteht das Stickstoffwerk Hibernia.

### 1935

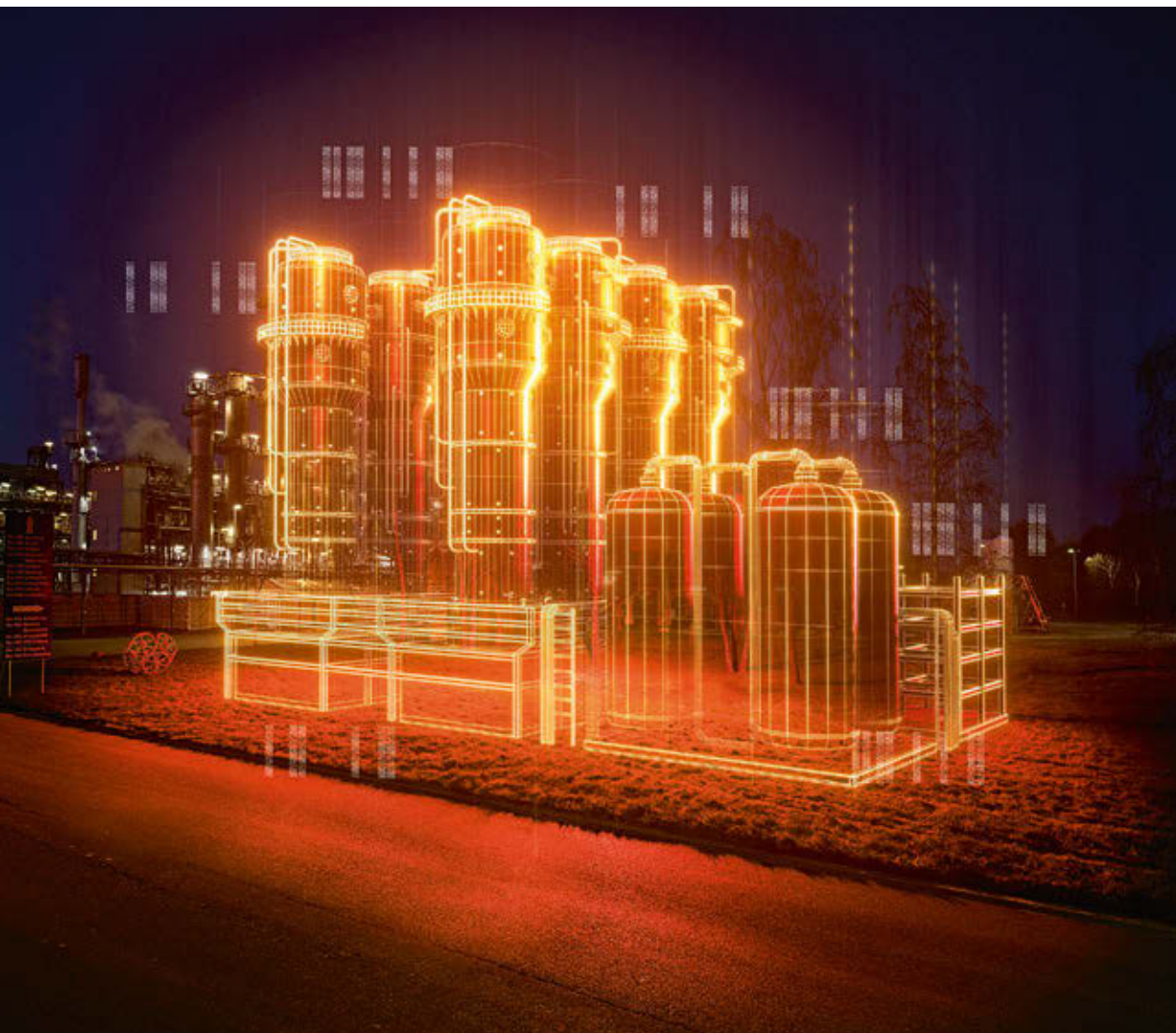
**SPRIT AUS KOHLE**  
Vor dem Zweiten Weltkrieg übernimmt Krupp das Werk und verlegt sich auf die kohlebasierte Produktion von Teer, Benzin und Paraffin.

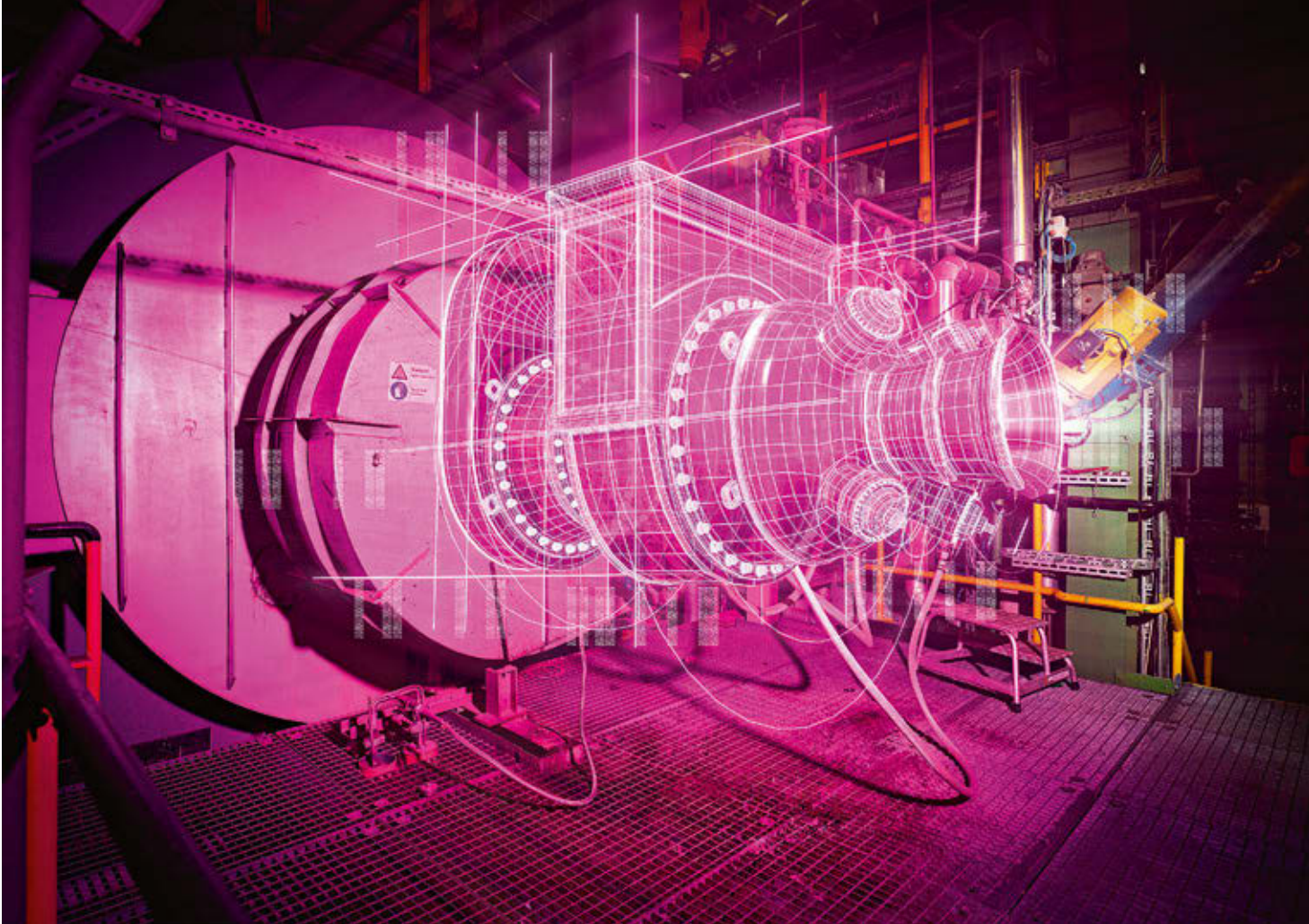
### 1945

**ENDE IN RUINEN**  
Nach der Zerstörung durch die Alliierten liegt die Produktion zunächst still; dann werden kurzzeitig Seifenrohstoffe produziert.

### 1952

**DÜNGER UND WACHS**  
In der Nachkriegszeit werden zunächst Paraffine, dann außerdem Ammoniak und Ammoniumsulfat produziert.





Energie aus Abfall: Robuste Verbrennungsturbinen könnten in Herne aus Produktionsrückständen Prozesswärme und bis zu sechs Megawatt Strom erzeugen.

Stahl. „Außerdem erhitzen wir damit Thermalöl, das die nötige Prozesswärme in unsere Anlagen bringt“, ergänzt Komorowski.

Auch hier haben die beiden Neues im Sinn. Sie wollen mit eigenen Abfällen Strom erzeugen. Dazu sollen die heutigen Öfen Verbrennungsturbinen weichen. Die würden dann aus brennbaren Produktionsabfällen neben Prozesswärme insgesamt bis zu sechs Megawatt Strom für den Standort erzeugen. Natürlich trägt auch dieses Vorhaben einen klingenden Namen: HErOdoT, für „Herner Energie-Optimierung durch optionale Turbine“.

Das Konzept dazu haben Stahl und Komorowski mit den Turbinenexperten des Projektpartners Siemens Energy ausgearbeitet. „Das war nicht einfach“, erinnert sich Stahl. Heutige Turbinen sind hochgezüchtet, getrimmt auf maximale Stromausbeute und minimale Emissionen. Dafür schlucken sie aber nicht mehr jeden Brennstoff. „Unser Projekt stellt die Anforderungen auf den Kopf“, sagt Komorowski: In Herne geht es in erster Linie ums zielgerichtete Entsorgen von Produktionsrückständen. „Es kommt nicht auf den letzten Prozentpunkt im Wirkungsgrad an.“ Siemens Energy und Evonik fanden ein über Jahrzehnte bewährtes, sehr robustes Turbinendesign, mit dem sich die Pläne möglicherweise realisieren lassen.

Siemens Energy erprobt derzeit in Schweden, wie gut sich Produktionsrückstände in einer Turbine verwenden lassen – mit Rückstandsproben, die Evonik aus Herne schickt. Selbst mit den CO<sub>2</sub>-haltigen Abgasen aus der Turbine lässt sich noch etwas anfangen: Die Stickoxide werden aus den Abgasen entfernt, das Kohlendioxid dient als Futter für die Aceton produzierenden Bakterien.

#### ROTORENRECYCLING

In Herne denken sie jedoch nicht nur über die Kreisläufe im eigenen Werk nach. Die Produkte aus Herne gehen in viele Industrien. Zu den wichtigsten zählen Härter für Epoxidharze, die beim Bau von Flügeln großer Windkraftträder eingesetzt werden. Die erste Anlagengeneration wird mittlerweile ausrangiert. Branchenexperten schätzen, dass 2030 über 100.000 Tonnen an alten Rotorblättern anfallen werden – 2040 sogar rund 700.000 Tonnen. Schon heute fragt sich die Branche, wie sich die verwendeten Materialien recyceln lassen.

Forscher und Entwickler bei Evonik arbeiten derzeit an Verfahren, um die organischen Bestandteile ausgemusterter Windkraftflügel von den darin verarbeiteten Glas- oder Kohlefasern zu trennen und dann wieder in einen Rohstoff für neue Rotorblätter oder andere Appli-

Zweites Leben: Entwickler bei Evonik arbeiten derzeit daran, die organischen Bestandteile ausgemusterter Windkraftflügel als Rohstoff zurückzugewinnen.



kationen zu zerlegen. Eine organische Restfraktion aus diesem Recyclingprozess könnte in Herne verwertet werden. „Mittels Pyrolyse kann man daraus Synthesegas gewinnen oder sogar über die vollständige Verbrennung gleich CO<sub>2</sub>, das unsere Mikroben zu Aceton verarbeiten“, erklärt Stahl.

Die vielen Ideen am Standort Herne passen ins Umfeld. Dr. Frank Dudda, Oberbürgermeister der Ruhrgebietskommune, hat seine Stadt darauf ausgerichtet, bis 2045 klimaneutral zu sein. „Wir wollen die grünste Industrieregion der Welt werden“, sagt Dudda. „Die Chemieindustrie spielt hierbei eine große Rolle und zeigt, dass sie auf dem richtigen Weg ist.“ Traditionell ist die Verbindung der Bewohner zur Industrie in dieser Region besonders eng.

Und so will Stahl das örtliche Evonik-Werk nicht nur nachhaltig umbauen, sondern auch stärker öffnen. Regionale Universitäten haben schon Kooperationen und Platz für Start-ups im Auge, die Räume im alten Salz-

lager beziehen könnten. Auf's Dach des Industriegebäudes kann ein Investor eine Fotovoltaikanlage bauen. Die würde von der stark befahrenen Straße neben dem Werk weithin sichtbar sein. Um einen Blick auf die neue Wasserstoffelektrolyse zu ermöglichen, überlegt Stahl, ein großes Fenster in die Hallenwand einzubauen und Banner an der Fassade aufhängen zu lassen: „Alle sollen sehen, dass wir hier viel bewegen.“ —



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

## 1962

**NEUES AUS ACETON**  
Erstmals wird in Herne Isophoron auf Basis von Aceton produziert. In den Folgejahren kommen immer mehr Ausbaustufen für neue Folgeprodukte wie Isophorondiamin und Isophorondiisocyanat hinzu.

## 1979

**DER WEG ZU EVONIK**  
Nach mehreren Namens- und Eigentümerwechseln gehört das Werk nun zu den Chemischen Werken Hüls, die später in der Degussa aufgehen, einem direkten Vorgängerunternehmen von Evonik.

## 1992

**EXPORTMODELL**  
In Mobile (Alabama, USA) entsteht ein integrierter Isophoronverbund (I-Chain) nach Herner Vorbild.

## 2012

**AUSBAU IN CHINA**  
Im chinesischen Schanghai baut der im Vorjahr auf den Namen Evonik Industries getaufte Konzern einen Isophoronverbund (I-Chain) – nahezu baugleich zu dem in Herne. Die Produktion startet 2014.

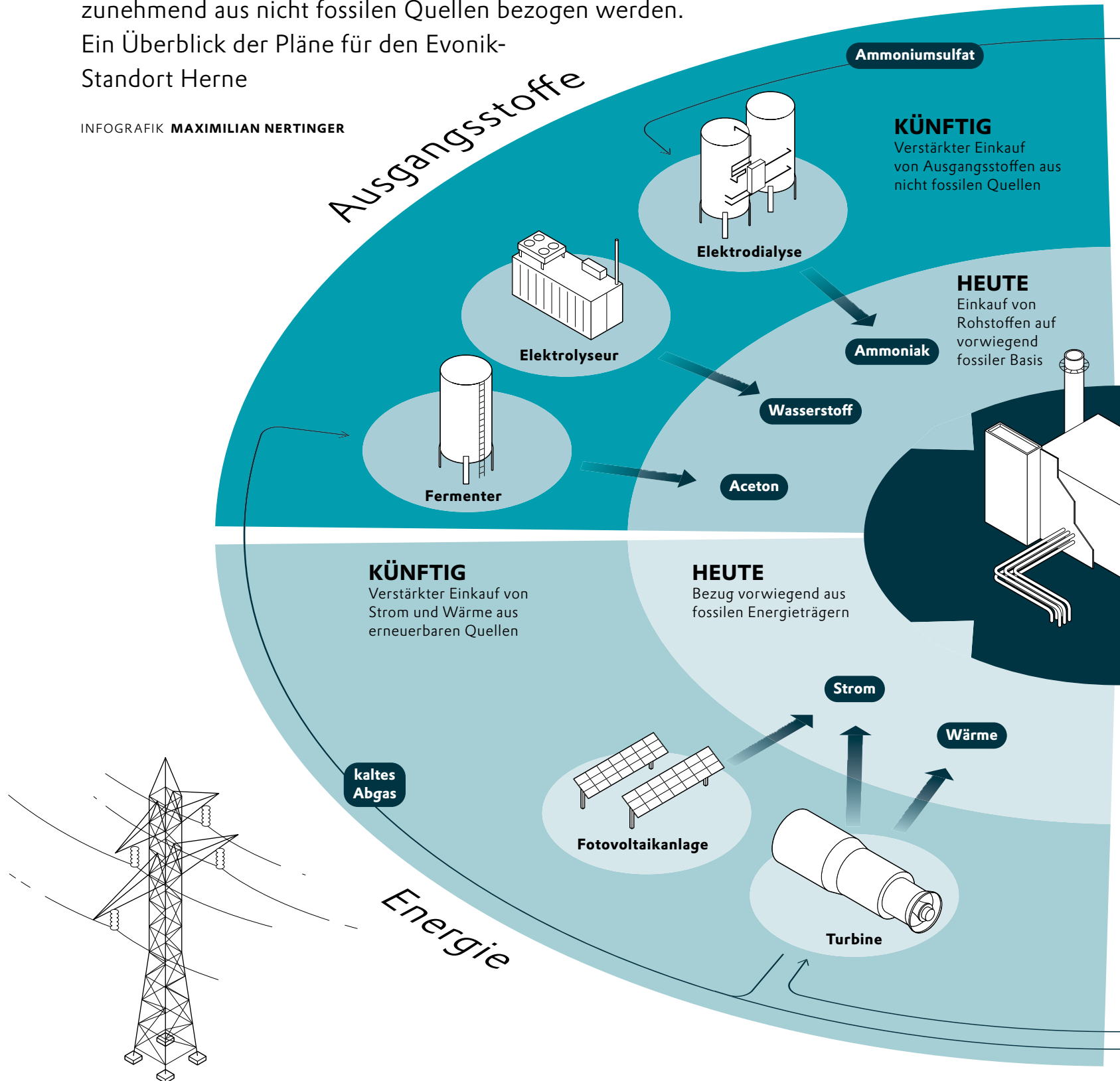
## 2023

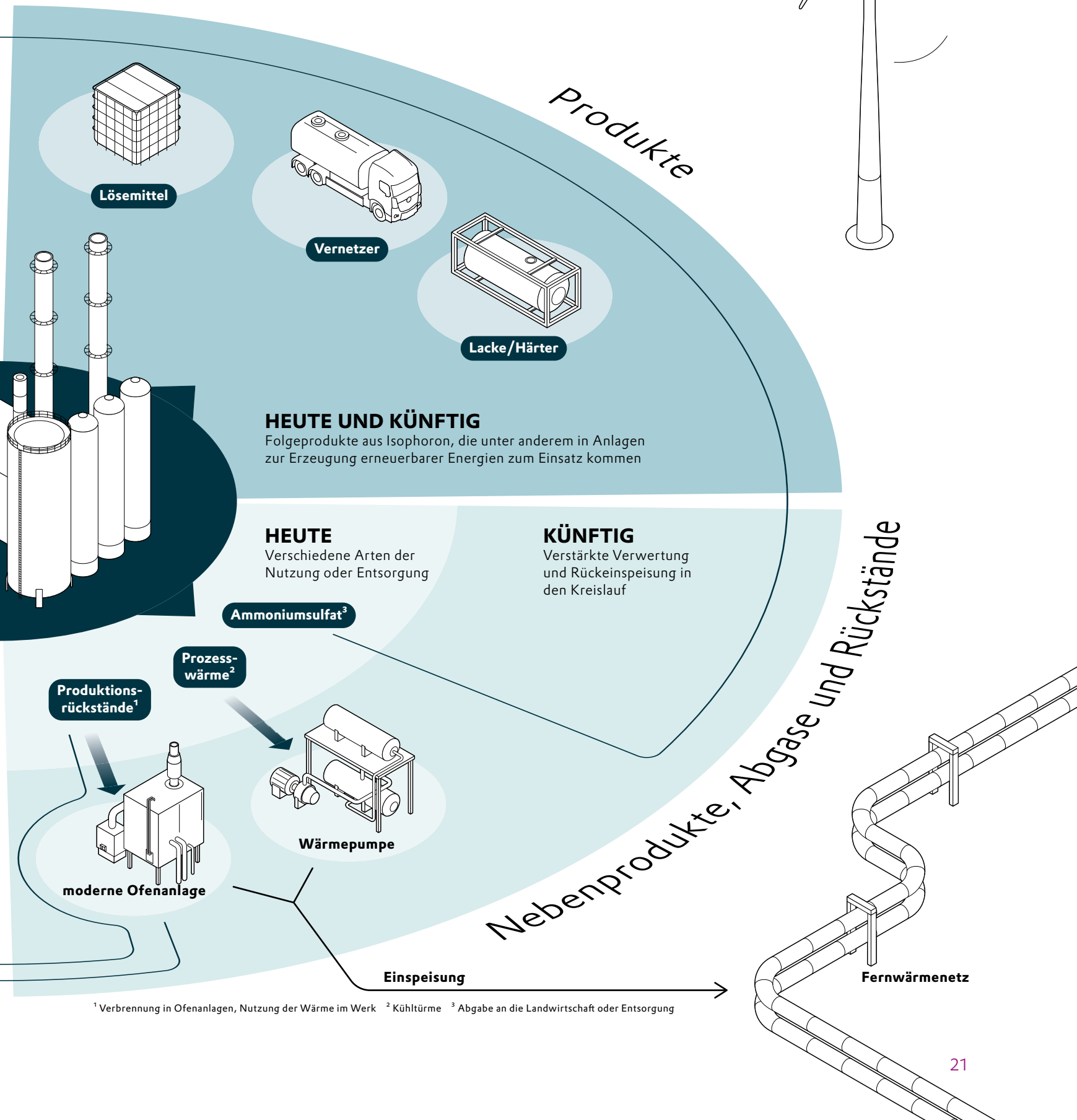
**HERNE GREEN DEAL**  
Geplanter Baubeginn für eine Wasserstoffelektrolyse zur Versorgung des Standorts

# Bitte recht klimafreundlich

Solarstrom, grüner Wasserstoff, Kohlendioxid aus Abgasen – um eine chemische Produktion umweltverträglicher zu gestalten, müssen Energie und Rohstoffe zunehmend aus nicht fossilen Quellen bezogen werden.  
Ein Überblick der Pläne für den Evonik-Standort Herne

INFOGRAFIK MAXIMILIAN NERTINGER





Produkte

Lösemittel

Vernetzer

Lacke/Härter

**HEUTE UND KÜNFTIG**

Folgeprodukte aus Isophoron, die unter anderem in Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien zum Einsatz kommen

**HEUTE**

Verschiedene Arten der Nutzung oder Entsorgung

**KÜNFTIG**

Verstärkte Verwertung und Rückeinspeisung in den Kreislauf

Ammoniumsulfat<sup>3</sup>

Prozesswärme<sup>2</sup>

Produktionsrückstände<sup>1</sup>

moderne Ofenanlage

Wärmepumpe

Nebenprodukte, Abgase und Rückstände

Einspeisung

Fernwärmenetz

<sup>1</sup> Verbrennung in Ofenanlagen, Nutzung der Wärme im Werk <sup>2</sup> Kühltürme <sup>3</sup> Abgabe an die Landwirtschaft oder Entsorgung

# WENIGER IST MEHR

TEXT ANNETTE LOCHER

Die Aminosäure Methionin erhöht die Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Tierhaltung. Eine Erweiterung der Produktionsanlagen in Singapur nutzt Evonik jetzt dafür, auch den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Futtermittelzutat signifikant zu verringern.

**D**er Lärm von Baumaschinen kündigt im Werk von Evonik Animal Nutrition auf Jurong Island die Zukunft an: Auf der Insel im Südwesten des Stadtstaats Singapur ebenen Bagger an einer Stelle am Rand des Werks gerade eine Fläche ein. Hier soll bald eine Dampfturbine installiert werden. An einer anderen Stelle markieren Pfähle, wo in einigen Monaten ein neues Anlagengebäude stehen wird. Und auch ein Rasenstück wird in Kürze weichen – für eine Elektrolyseanlage, die vom kommenden Jahr an sogenannten grünen Wasserstoff liefern soll. Er soll die Produktion von Methionin, einer wichtigen Aminosäure für Tierfutter, klimafreundlicher machen.

„Wir nutzen eine anstehende Kapazitätserweiterung unserer Methioninproduktion dazu, den Gesamtprozess an unserem Standort in Singapur zu optimieren – unter Aspekten der Energie- und Rohstoffeffizienz“, sagt Dr. Jan-Olaf Barth, der bei Evonik Animal Nutrition die Product Line Essential Nutrition leitet. In den Prozessen soll künftig statt fossiler Energieträger verstärkt Strom aus erneuerbaren Quellen zum Einsatz kommen. In dem südostasiatischen Land sei Evonik damit Vorreiter, so Barth: „Wir werden eines der ersten Großunternehmen in Singapur sein, die auf grünen Wasserstoff setzen.“ Bislang kommt vor allem „grauer“ Wasserstoff zum Einsatz, der aus Erdgas, Kohle oder Öl gewonnen wird.

Um die Produktion auf Jurong Island umweltschonender zu gestalten, arbeitet Evonik mit dem deutsch-amerikanischen Industriegaskonzern Linde zusammen, der die Elektrolyseanlage errichtet. „Wir haben uns →



Beginnend in den 1990er-Jahren wurden sieben Inseln, die der Hauptinsel Singapurs vorgelagert sind, durch Landgewinnung zu Jurong Island (Bildmitte) vereinigt. Zahlreiche petrochemische Unternehmen haben sich hier angesiedelt, darunter auch Evonik.





Singapur ist einer von drei Standorten, an denen Evonik Methionin für die Tierernährung produziert – pro Jahr verlassen bis zu 300.000 Tonnen das Werk auf Jurong Island.

für eine Technologie entschieden, die besonders zukunftsfähig ist und uns auf lange Sicht Kostenvorteile bringt“, sagt Projektdirektor Dr. Christof Grüner, der auf Jurong Island dafür sorgt, dass die von Evonik eingesetzte Technik auf dem neuesten Stand ist. Den grünen Wasserstoff nutzt Evonik, um daraus Methylmercaptan herzustellen, ein Vorprodukt für sogenanntes DL-Methionin.

### CO<sub>2</sub>-AUSSTOSS HALBIERT

Innerhalb eines internationalen Projektteams kümmern sich Dr. Henning Kaemmerer und seine beiden Kollegen Poh Leng Teh und Foo Chay Chong um die Umsetzung der verschiedenen Bauvorhaben. Die Prozessexperten stehen dabei vor besonderen Herausforderungen: „Nicht nur die Elektrolyse, auch alle anderen Teilprojekte müssen im kommenden Winter so weit fortgeschritten sein, dass wir sie während eines Wartungsstillstands unserer Methioninproduktion in den Prozess integrieren können“, sagt Kaemmerer. Dazu ist engste Abstimmung mit Standortleiter Kevin Kennedy erforderlich.

Evonik verspricht sich viel von der Umrüstung der Methioninproduktion. Die hinzukommenden 40.000 Tonnen Metamino pro Jahr sollen mit einem nur noch halb so großen spezifischen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck hergestellt werden wie bisher. Bezogen auf die Gesamtmenge von 340.000 Tonnen aus zwei Anlagen ergibt sich eine Verringerung um sechs Prozent.

Das Projekt in Singapur ist Teil der grünen Transformation, die der Konzern 2022 eingeleitet hat. Ihr Name: Next Generation Evonik. Sie zielt in zwei Richtungen: die

Produktion klimafreundlicher gestalten und den Umsatz mit nachhaltigen Innovationen steigern. Metamino, das DL-Methionin von Evonik, liefert bereits seit Jahrzehnten einen wichtigen Beitrag zu einer nachhaltigen Landwirtschaft. Nutztiere nehmen Methionin mit der Nahrung auf. Fehlt es an dieser essenziellen Aminosäure, können andere Nahrungsbestandteile nicht optimal verwertet werden. Häufig enthalten die pflanzlichen Bestandteile des Futters im Verhältnis zu anderen Aminosäuren zu wenig Methionin. Die Folge: Das Tier scheidet alle nicht verwertbaren Futterbestandteile wieder aus. Das ist weder umweltfreundlich noch kosteneffizient.

Durch einen kleinen Zusatz von Methionin im Tierfutter kann die Menge an anderen Futtermittelrohstoffen deutlich reduziert werden. Das spart landwirtschaftliche Fläche für den Anbau von Soja oder Hülsenfrüchten und mindert Stickstoffemissionen aus der Tierhaltung. Der Effekt auf die Nachhaltigkeit ist also positiv. Das belegen mehrere zertifizierte Ökobilanzen. „Wenn wir mit begrenzten natürlichen Ressourcen eine wachsende Weltbevölkerung mit hochwertigem tierischen Protein versorgen wollen, müssen wir das so effizient wie möglich tun“, sagt Barth.

Evonik Animal Nutrition gehört zur Division Nutrition & Care, der Life-Science-Division von Evonik. Sie ist komplett darauf ausgerichtet, das Leben von Mensch und Tier zu verbessern – mit Lösungen, die auch in Sachen Nachhaltigkeit Vorteile bringen.

### LAUFEND VERBESSERUNGEN

Um bei der Produktion Ressourcen zu schonen, verbessert Evonik den Herstellprozess von Metamino immer weiter. So ist die Business Line Animal Nutrition mit ihren Methioninanlagen in Antwerpen (Belgien), Mobile (Alabama, USA) und Singapur im globalen Wettbewerb in puncto Technologie, Produktionsmenge und Effizienz stets führend geblieben.

Die Grundlage dafür erarbeiten Menschen wie Dr. Martin Köstner, der zur Forschung und Entwicklung von Evonik gehört und dort für Innovation und Technologie von Animal Nutrition zuständig ist. Seit einigen Jahren kümmert sich sein Team darum, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Methioninherstellung zu senken. „Wir analysieren, an welchen Stellen im Produktionsprozess mit existierenden Technologien schnell und mit wenig Mitteln deutliche Einsparungen zu erzielen sind“, so Köstner.





# » Dampf ist ein zentrales Element der Energieintegration im Methioninwerk in Singapur. «

HENNING KAEMMERER, PROJEKTVERANTWORTLICHER



Die Arbeiten für die Erweiterung der Methioninanlage laufen bereits. Im kommenden Winter sollen die neuen Komponenten in den bestehenden Prozess integriert werden.

Der Umstieg auf grünen Wasserstoff ist nur eine von vielen Maßnahmen, die gerade in Singapur umgesetzt werden. Eine weitere ist die Verbesserung der Energie- und Rohstoffeffizienz. Statt einfach eine weitere Produktionsanlage zu errichten, wird der Prozess selbst intensiviert. „Ein Teil des Prozessstroms wird künftig eine Extraschleife durchlaufen“, erklärt Köster. „So erhalten wir mehr Produkt und weniger Nebenprodukte.“ Die Folge: Der spezifische Energie- und Rohstoffbedarf für das Endprodukt sinkt.

## AUS DAMPF WIRD STROM

Große Veränderungen lassen sich allerdings nicht im laufenden Betrieb vornehmen. Deshalb werden Zeitfenster genutzt, in denen die Anlage ohnehin für Wartungsarbeiten stillsteht. Der verlängerte Stillstand der Methioninproduktion für die Erweiterung ermöglicht es, parallel weitere Umbauten vorzunehmen. So wird etwa ein großer Apparat im Herstellprozess von Methionin gegen einen neuen mit innovativem Design ausgetauscht, der weniger Nebenprodukt erzeugt und weniger Dampf zum Aufheizen verbraucht.

„Der Dampf ist ein zentrales Element der Energieintegration im Methioninwerk in Singapur“, erläutert Kaemmerer. Neben Methionin werden dort alle wichtigen Vorprodukte hergestellt: Methylmercaptan, Acrolein und Blausäure. Während bei der Produktion von Acrolein und Blausäure sowie bei der thermischen Nutzung von Prozessnebenströmen Dampf entsteht, wird im Methioninprozess Dampf benötigt.

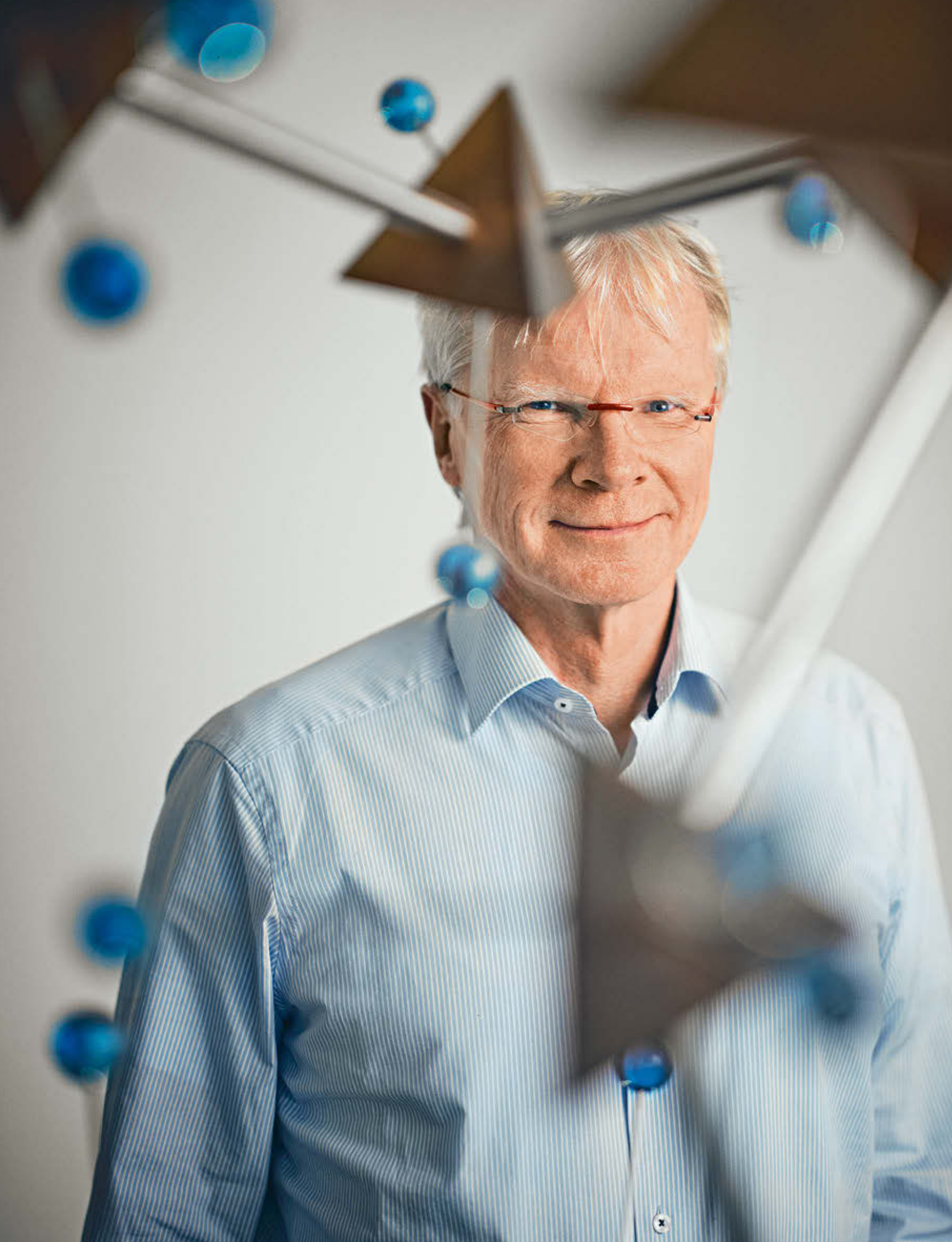
„Wir haben schon jetzt manchmal einen kleinen Dampfüberschuss“, sagt Kaemmerer. „Wenn wir künftig bei der Herstellung von Acrolein und Blausäure für die zusätzlichen Methioninmengen mehr Dampf erzeugen und der Methioninprozess selbst weniger verbraucht, vergrößert sich dieser Überschuss.“ Mit einer Extraktionsdampfturbine wird künftig aus dem nicht benötigten Dampf zusätzlicher elektrischer Strom erzeugt, sodass weniger Energie eingekauft werden muss.

Die thermische Nachbehandlungsanlage am Standort wird ebenfalls umgebaut. Indem bestimmte Abgasströme anders zugeführt werden, kann die Verbrennungstemperatur gesenkt werden. Dadurch wird weniger Erdgas verbraucht, weniger CO<sub>2</sub> ausgestoßen und weniger überschüssiger Dampf erzeugt. Und auch die neue Elektrolyse soll neben dem grünen Wasserstoff einen zusätzlichen Nutzen bringen: Der bei der Reaktion entstehende Sauerstoff hilft Erdgas beim Betrieb der Öfen einzusparen.

Während Köstners Team schon weit in die Zukunft denkt und an völlig neuen Prozessen mit ganz neuen Rohstoffen arbeitet, richtet sich die ganze Aufmerksamkeit von Kaemmerer und seinen Kollegen darauf, alle Umbauten und Erweiterungen bis zum Frühjahr kommenden Jahres betriebsbereit zu haben. Danach soll die Methioninanlage auf Jurong Island mit erhöhter Kapazität und kleinerem spezifischem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck wieder anlaufen. —



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



# »Wir müssen es jetzt tun«

Ferdi Schüth ist einer der renommiertesten Chemieprofessoren Deutschlands. Der Direktor des Max-Planck-Instituts für Kohlenforschung hält es technisch für machbar, dass die EU bis 2050 klimaneutral wird. Die Chemiebranche müsste dafür ihre Stoff- und Energieströme jedoch radikal umbauen.

INTERVIEW RANA SEYMEN, JÖRG WAGNER & CHRISTIAN BAULIG

**Herr Professor Schüth, seit einem Vierteljahrhundert widmen Sie sich dem Umbau der Chemieindustrie in Richtung Nachhaltigkeit – oft auch gegen Widerstände. Erfüllt es Sie mit Genugtuung, dass das Thema Defossilierung plötzlich so einen starken Schub bekommt?**

**SCHÜTH** In Anbetracht des Kriegs in der Ukraine ist Genugtuung das falsche Wort. Aber es ist ein gutes Signal, dass wir in dieser schlimmen Situation zum Beispiel innerhalb von fünf Monaten in Deutschland ein Flüssiggasterminal errichten konnten. Ich fürchte zwar, dass wir wieder in unsere Behäbigkeit zurückfallen und die Dringlichkeit beim Klimawandel vielleicht nicht in dem Maße erkennen wie bei der derzeitigen Energiekrise. Aber zumindest haben wir ein Beispiel: Man kann es machen, es geht!

**Nicht nur die Politik, auch die Industrie hat einen Beitrag dafür geleistet, dass die Transformation hin**

**Ferdi Schüth**, 62, ist seit 1998 Direktor am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr. Von Juni 2014 bis Juni 2020 war der Chemiker Vizepräsident der Max-Planck-Gesellschaft, für die er Energiethemen repräsentiert. Bereits 2007 koordinierte Schüth innerhalb der deutschen Chemieorganisationen ein Positionspapier, das die Bedeutung der Branche für die Energieversorgung und eine effiziente Energieverwendung aufzeigt.

**zu einer klimafreundlichen Wirtschaft lange Zeit schleppend vorankam. Erkennen Sie so etwas wie eine Einsicht in die Notwendigkeit?**

Ich bin 62 Jahre alt, und ich habe schon lange die Illusion aufgegeben, dass Dinge aus Altruismus getan werden. Wenn man radikale Änderungen will, muss man entweder knallharte Gesetze erlassen oder dafür sorgen, dass sie sich rechnen. Die Ökonomie ist schwer zu schlagen. An optimistischen Tagen sage ich: Die Menschen werden sich anders verhalten, weil sie das Problem erkannt haben. An pessimistischen Tagen sage ich: Die Technologie muss es lösen. Wir müssen technologische Alternativen bereitstellen, die es uns möglich machen, nachhaltig zu wirtschaften.

**In der Chemie gibt es im Wesentlichen zwei Wege zu mehr Klimaschutz. Entweder wir ändern die Kernprozesse der Produktion, oder wir setzen stärker auf die etablierten Verfahren – aber mit grüner Energieversorgung, nachwachsenden Rohstoffen und einer Kreislaufwirtschaft. Was führt eher zum Ziel?**

Man muss beides machen. Natürlich lassen sich ganz neue Prozesse, Produkte und Plattform-Moleküle implementieren. Den größten Effekt wird man jedoch über eine nachhaltige Rohstoffbasis und eine nachhaltige Energieversorgung erzielen. Es ist wichtig, jetzt so schnell wie möglich voranzugehen, indem man die Glieder der Wertschöpfungskette beibehält, aber auf eine nachhaltige Basis setzt. →



#### **Wie könnte so ein Ansatz in der Chemie aussehen?**

Im chemischen Produktionsprozess brauchen wir Wärme und Kompression, also typischerweise mechanische Arbeit. Wärme können wir über elektrische Beheizung bereitstellen oder über Wärmepumpen. Da muss man zwar viel Entwicklungsarbeit leisten, aber es funktioniert. Und statt einer Gasturbine oder Gas- und -Dampfturbine kann man elektrische Kompressoren verwenden. Es gibt sogar Pläne für einen elektrisch betriebenen Steam Cracker – viel mehr an konzentriertem Energie-Input braucht man nirgends. Das geht also!

#### **Und wie sieht es bei den Rohstoffen aus?**

Hier auf eine erneuerbare Basis zu kommen ist ein bisschen schwieriger. Wir müssen weg von unseren Grundchemikalien, die auf Öl oder Gas beruhen. Und das schaffen wir nur, wenn wir CO<sub>2</sub>, Biomasse oder Abfallstoffe – insbesondere Plastik – als Quelle für Kohlenstoff nutzen. Von CO<sub>2</sub> kann ich über eine Hydrierung mit Wasserstoff entweder direkt zu Methanol kommen. Oder wir erzeugen über die sogenannte Reverse-Water-Gas-Shift-Reaktion – CO<sub>2</sub> plus Wasserstoff ergibt CO und Wasser – Synthesegas. Aus diesem Synthesegas kann ich dann Methanol, Kohlenwasserstoffe oder Aromaten gewinnen. Es existieren bereits Anlagen, die mehrere 10.000 Tonnen pro Jahr produzieren, viele davon in China. Was mich etwas beruhigt mit Blick auf deutsche Unternehmen: Selbst wenn das Methanol dort noch aus Kohle gewonnen wird,

sammeln die Produzenten gerade Erfahrungen, die man braucht, um irgendwann Anlagen zu betreiben, die womöglich 100.000 Jahrestonnen produzieren.

#### **Welche Rolle spielen auf der Rohstoffseite Kunststoffe und Biomasse?**

Will man Polymere als Kohlenstoffbasis nutzen, hat man eine Reihe von Optionen: Man kann sie gezielt depolymerisieren und so zu Monomeren oder zu monomerverwandten Molekülen zurückkommen. Oder man pyrolysiert sie. Das dabei anfallende Pyrolyseöl muss man aufarbeiten und erhält so einen Feed für den Steam Cracker. Biomasse ist wahrscheinlich eine gute Rohstoffquelle für einen Teil unserer Versorgung mit Aromaten, weil das darin enthaltene Lignin reich daran ist. Auch hier gibt es bereits Erfahrung mit dem Betrieb von Anlagen, die mehrere 10.000 Jahrestonnen herstellen.

#### **Wo sehen Sie Möglichkeiten, relativ schnell und ohne Qualitätsabstriche auf alternative Rohstoffe auszuweichen?**

Zum Beispiel bei Polyethylenterephthalat, das wir unter dem Namen PET kennen. Die darin enthaltene Terephthalsäure stellt man letztlich aus Erdöl her. Wir könnten sie durch ein alternatives Monomer ersetzen: Furandicarbonsäure, die sich aus Biomasse herstellen lässt, nämlich aus Cellulose. Damit hat das Produkt zwar nicht ganz die gleichen Eigenschaften, aber das wird man hinkriegen.

#### **Bei Evonik und in vielen anderen Unternehmen wird für chemische Prozesse Ammoniak benötigt. Welche klimagünstigen Alternativen zu fossilen Quellen wie Erdgas oder Naphta sehen Sie dort?**

Wenn wir stattdessen grünen Wasserstoff einsetzen, der über eine Elektrolyse mit nachhaltigem Strom erzeugt wird, verschwindet ein großer Teil des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks. Werden die im Prozess erforderlichen Kompressoren dann noch elektrisch betrieben, kann man Ammoniak fast klimaneutral herstellen. Zusätzlich müsste man sich im Rahmen einer Lifecycle-Analyse allerdings die Anlage selbst anschauen: Solange ich für deren Bau Stahl und Beton benötige, schleppen wir den CO<sub>2</sub>-Rucksack dieser Materialien mit, aber auch den können wir erleichtern.

#### **Sie denken beim Stahl an Herstellungswege wie die Direktreduktion mit Wasserstoff?**

Genau. Das ergibt natürlich nur dann Sinn, wenn wir Elektrolyse-Wasserstoff nutzen und nicht Wasserstoff,



Forschungsobjekte: Im Max-Planck-Institut für Kohlenforschung sind zahlreiche Moleküle zu sehen, zum Beispiel ein Modell von Zeolith A – einem Alumosilicat, das als Enthärtungs- oder Trockenmittel verwendet wird.

## » Was die Chemieindustrie hier in den vergangenen Jahrzehnten investiert hat, ist ein riesiges Asset. «



der aus Erdgas hergestellt wurde. Viel schwieriger ist es beim Thema Zement für den Beton: Da müssen wir Calciumcarbonat rösten, um Kalk zu bekommen. Das Kohlendioxid, das dabei frei wird, macht etwa drei Prozent der globalen Emissionen aus – mehr als der gesamte Flugverkehr. Hier sehe ich, ehrlich gesagt, noch keine echte Lösung.

**Vieles von dem, was Sie ansprechen, funktioniert mit Strom, der idealerweise nachhaltig produziert wird. Was macht Sie so zuversichtlich, dass diese grüne Energie in absehbarer Zeit in ausreichenden Mengen zur Verfügung steht?**

Wollten wir die gesamte chemische Industrie mit Wasserstoff aus nachhaltigen Energien versorgen und CO<sub>2</sub> hydrieren, müssten wir von heute an bis 2050 weltweit jeden Tag etwa 1,5 Quadratkilometer Fotovoltaik installieren. Das sind gigantische Werte, aber es erscheint machbar. Wir können es uns bloß nicht leisten, noch einmal zehn Jahre zu überlegen, was wir denn nun tun wollen. Wir müssen das jetzt tun.

**In Europa, insbesondere in Deutschland, wird es kaum möglich sein, solche Kapazitäten zu errichten. Sehen Sie die Gefahr, dass die chemische Industrie in Weltregionen abwandern wird, in denen sich grüner Strom leichter herstellen lässt?**

Ich bin einigermaßen zuversichtlich, dass Deutschland ein wichtiger Industriestandort bleiben wird.

Auch heute findet die Chemieproduktion nur teilweise dort statt, wo die Erdöl- und Erdgasquellen liegen. Die Rohstoffe werden stattdessen hierher transportiert. Warum sollte das grundsätzlich anders sein, wenn wir mit grünem Strom erzeugte Rohstoffquellen nutzen? Sollte Methanol ein wesentliches Molekül der chemischen Industrie werden, dann lässt sich beispielsweise in Nordafrika oder Australien mit Sonnenenergie Wasserstoff erzeugen, aus dem wir dort auch gleich das Methanol gewinnen. Das Methanol kann dann per Schiff nach Leverkusen, Ludwigshafen oder Herne gebracht werden, um dort Rohstoffe zu produzieren.

**Die heutige Wertschöpfungskette ist allerdings entstanden, als Europa noch ein dynamischer Markt war. Viele Länder, die sich für die von Ihnen angesprochene Methanolproduktion eignen, wollen einen größeren Teil der Wertschöpfung bei sich behalten und eigene Chemieproduktionen aufbauen.**

Klar, das kann passieren. Aber was wir hier in den vergangenen Jahrzehnten investiert haben, ist ein riesiges Asset. Warum sollte man das alles abreißen →

» Wenn wir Energiequellen stärker diversifizieren, wird das System weniger anfällig für Störungen. «



und anderswo neu bauen? Wenn wir Wertschöpfungsketten, Logistik und Vertrieb beibehalten, aber unsere Rohstoffbasis nachhaltig machen, haben wir vielleicht eine Chance gegen das, was anderswo neu installiert wird. Zudem bin ich überzeugt davon, dass es am einfachsten ist, den Basisrohstoff im großen Maßstab zum Verbrauchsort zu transportieren und dort kundennah in den vielen differenzierten Produkten der Chemiewirtschaft weiterzuverarbeiten. Das ergibt etwa in der Sahara keinen Sinn. Aber etwas vom Kuchen müssen wir wahrscheinlich schon abgeben.

**Grünstromproduzenten sind die eine Konkurrenz, die andere sind Länder, in denen CO<sub>2</sub>-Zertifikate billiger sind als hierzulande – zum Beispiel China oder Indien. Laufen wir Gefahr, dass Industrien mit hohem CO<sub>2</sub>-Ausstoß kurzfristig dorthin verlagert werden?** Darin sehe ich tatsächlich eine Gefahr. Und wir sollten ihr mit Importsteuern begegnen, deren Höhe sich nach dem CO<sub>2</sub>-Rucksack bemisst, den ein Produkt mit sich schleppt. Ich weiß, dass Ökonomen grundsätzlich keine Freunde von Zöllen sind, weil ein möglichst

unbeschränkter Handel das Leben leichter macht und günstigere Lösungen hervorbringt. Wenn wir aber die Notwendigkeit erkennen, dass wir CO<sub>2</sub>-Emissionen, so schnell es eben geht, auf null reduzieren müssen, um die Erde weiter bewohnbar zu halten, dann bleibt uns nichts anderes übrig. Je mehr Staaten sich darauf einlassen, desto besser, weil dadurch Länder mit laxen Grenzwerten für Kohlendioxid eben doch nicht mehr so attraktiv sind.

**Darauf, dass Erdgas oder Strom zu jeder Tages- und Nachtzeit aus dem Netz kommt, können wir uns spätestens seit dem russischen Überfall auf die Ukraine nicht mehr verlassen. Müssen sich Industriestandorte nicht auch aus diesem Grund besser absichern, um eine kontinuierliche Produktion zu gewährleisten?**

Die Idee, sich selbst zu versorgen, führt nicht zum Ziel. Die Welt ist vernetzt und wird eher noch stärker vernetzt werden. Wenn wir unsere Energiequellen stärker diversifizieren, wird das System weniger anfällig gegen Störungen. Das Gleiche gilt für Rohstoffe.

**Aber sollten wir nicht dennoch stärker Abwärme und Abfälle, die an Produktionsstandorten anfallen, als Energie- und Rohstoffquellen in Betracht ziehen?**

Absolut. Man sollte sich alles angucken, was Möglichkeiten bietet. Aber bevor ich mit viel Aufwand vor Ort einen Wärmestrom mit 50 Grad für eine Produktion nutze, sollte ich doch lieber elektrische Energie aus der Sahara beziehen, die dort für 0,8 Cent pro Kilowattstunde erzeugt werden kann. Mit der Abwärme von 50 Grad können wir besser ein Treibhaus in der Nachbarschaft beheizen, um im Winter Tomaten zu züchten, als damit etwa einen Hochtemperaturprozess zu betreiben.

**Haben Sie den Eindruck, dass zumindest die europäischen Staaten in der Klimafrage an einem Strang ziehen?**

Die Bereitschaft ist sicher da, weil die Einsicht in die Probleme, die wir durch den Klimawandel haben, schnell wächst. Trotzdem ist es schwierig, unterschiedliche Länder auf einen Pfad zu bringen. Die Franzosen etwa halten uns vor, dass wir Braunkohlekraftwerke weiterbetreiben und Atomkraftwerke abschalten – wodurch der CO<sub>2</sub>-Preis in ganz Europa steigt. Wir müssen gemeinsam agieren, weil wir nun mal alle im selben Boot sitzen.

**Welche Position haben Sie als Naturwissenschaftler in dieser Frage?**

Die Debatte muss man gesellschaftlich führen. Es ist ganz simpel: Wir können nicht gleichzeitig auf Versorgungssicherheit pochen, auf dem moralisch höchsten Stand sein, den Industriestandort sichern und die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf null drücken. An manchen Stellen muss man Kompromisse machen. Deutschland fehlt eine Prioritätenliste, über die wir uns als Gesellschaft weitgehend einig sind.

**In den kommenden zehn Jahren sollen in Europa 800 Milliarden € investiert werden, um die grüne Transformation der Industrie voranzutreiben. Was braucht es, damit dieses Mammutvorhaben gelingt?**

Vor allem Planungssicherheit. Ganz offensichtlich müssen wir so schnell wie möglich die erneuerbaren Energien hierzulande ausbauen, und – wo es zu einigermaßen niedrigen Kosten geht – verlässliche Verträge mit Energiestandorten anderswo in



Ferdi Schüth mit den ELEMENTS-Redakteuren Jörg Wagner, Rana Seymen und Christian Baulig (per Handy zugeschaltet) in seinem Mülheimer Büro

der Welt schließen. Solche Lieferbeziehungen würde ich im Zweifel auch staatlich subventionieren, um die Geschäftsmodelle zu etablieren. Wenn wir diese Logistikketten nicht jetzt auf den Weg bringen, dann ist die deutsche Chemieindustrie irgendwann abgeschnitten. Zugleich benötigen wir die angesprochene Prioritätenliste. Und die dürfen wir auch nicht alle zwei Jahre wieder infrage stellen. Am besten wäre diese auf europäischer Ebene zu klären, auch wenn die Diskussion dadurch schwieriger wird.

**Blicken wir ein Vierteljahrhundert nach vorn, sind wir im Jahr 2050, in dem die Europäische Union klimaneutral sein will. Wie schätzen Sie mit Ihrer Erfahrung die Wahrscheinlichkeit ein, dass wir dieses Ziel erreichen?**

Wenn wir ein Apollo-Programm zum Quadrat auflegen, werden wir das technologisch hinbekommen. Es gibt natürlich Bereiche wie die Zementindustrie, bei denen wir im Moment nicht einmal eine Vorstellung davon haben, wie wir das CO<sub>2</sub> loswerden könnten. Uns wird deshalb nichts anderes übrig bleiben, als anderswo CO<sub>2</sub> aus dem Kreislauf zu nehmen, um das zu kompensieren – zum Beispiel über Aufforstungsprogramme, Landnutzungsänderungen oder durch Abscheidung und Speicherung, dem sogenannten CCS. Die größte Schwierigkeit liegt jedoch darin, dass wir es mit keinem rein technologischen Problem zu tun haben, sondern dass wir die Gesellschaft dazu bewegen müssen, global an einem Strang zu ziehen. Das wird die eigentliche Herausforderung sein. —



# WISSEN, WAS GUT IST

---

Mit Savoir-vivre wird der Lebensstil der Franzosen gern beschrieben. Doch das Land hat mehr zu bieten als feine Küche, exquisite Mode und große Kunst. Und so engagiert sich auch Evonik hier auf vielfältige Weise: von Innovationen im Gesundheitsbereich über die Herstellung natürlicher Hautprodukte bis hin zu Entwicklungen für die Ölindustrie und nachhaltigeren Lösungen für Zukunftsbranchen.

TEXT PAULINE BRENKE



Das Château de Sacy liegt ausgesprochen idyllisch: Egal aus welchem Fenster die Gäste des Fünfsternehotels schauen, ihr Blick fällt auf satte Weinreben, die sich gleichmäßig über die Hügel der Provinz ziehen. Bevor die Champagne Berühmtheit durch ihren Schaumwein erlangte, war die Region im 16. und 17. Jahrhundert ein Zentrum für Textilien. Inzwischen werden pro Jahr 300 Millionen Flaschen Champagner produziert, wovon rund die Hälfte die Franzosen selbst genießen (siehe auch Seite 38).



Die Pariser Biscuiterie de Montmartre lockt mit farbenfrohen Macarons und anderen Köstlichkeiten, die sie in ihrem Schaufenster kunstvoll in Szene gesetzt hat. Bereits im 17. Jahrhundert sollen die zur Familie der Baisers und Petits Fours gehörenden Macarons am Hofe von König Ludwig XIV. gereicht worden sein. Und noch immer ist das süße Gebäck äußerst beliebt. Die Kombination aus einer leicht knackigen Schale und einem weichen Kern sowie einer perfekt abgestimmten Füllung gilt als schwer zu meistern. Silikonbackformen mit Aerosil von Evonik sorgen für ein makellostes Gelingen der kleinen Gebäcke aus Mandelbaiser.





Instagram  
@Biscuiteriedemontmartre



Die Tour de France ist das berühmteste und anspruchsvollste Fahrradrennen der Welt. Jedes Jahr verläuft die Route ein wenig anders, führt jedoch stets durch malerische Landschaften und Orte wie Aix-en-Provence (Foto). Für die in der Regel über 3.000 Kilometer lange Strecke müssen die Sportler durchgehend mit Energie versorgt sein, um der körperlichen Belastung standzuhalten. Vor dem Rennen wird beispielsweise auf die Zufuhr von Kohlenhydraten als Energielieferant geachtet, währenddessen erhalten die Profis isotonische Getränke, die den Mineralienverlust des Körpers ausgleichen. Dabei unterstützt Evonik mit Rexiva, das wichtige Aminosäuren für Sporternährung und Nahrungsergänzungsmittel liefert.

■ Von Prêt-à-porter bis Haute Couture: Zweimal im Jahr zeigen die Maisons der Modewelt ihre neuesten Designs auf den Laufstegen der Pariser Fashion Week. Zum Gesamtlook gehören neben den Roben auch das passende Haarstyling und Make-up. Kosmetikprodukte made in France genießen weltweit hohes Ansehen. 2022 gingen etwa zwei Drittel der Produkte in den Export und brachten einen Umsatz von fast 20 Milliarden €. Im Cosmetic Valley, das sich über die Regionen Centre-Val de Loire, Normandie und Île-de-France erstreckt, arbeitet Evonik mit der Product Line Advanced Botanicals an Kosmetikprodukten der besonderen Art. Über ein ressourcenschonendes und biotechnologisches Verfahren werden pflanzliche Hochleistungswirkstoffe für Kosmetik hergestellt.



Wie in einer Schatzkammer lagern Hunderte Flaschen Armand de Brignac in den Kellern des Familienunternehmens Cattier in Chigny-les-Roses. Inzwischen teilen sich US-Rapper Jay-Z und der Konzern LVMH Moët Hennessy – Louis Vuitton die Anteile der Champagnermarke. Sein luxuriöses Image verdankt der Schaumwein unter anderem seiner aufwendigen und streng reglementierten Herstellung. Dabei haben es die Winzer auch mit Stickstoff zu tun, den sie zur Konservierung nutzen und zur Vermeidung ungewünschter Oxidation. Sepuran-N2-Membranen von Evonik können Stickstoff aus der Umgebungsluft abtrennen und nutzbar machen, womit Winzer unabhängig von Gaslieferanten sind.





Blauer Himmel, klare Luft und atemberaubende Natur: Die Französischen Alpen locken zu jeder Jahreszeit Wanderer und Sportler in die Berge. Besonders beliebt ist der Montblanc, der mit 4.810 Metern der höchste Gipfel Europas ist. Für einen Ausflug in die Berge setzen die meisten nicht nur auf feste Wanderschuhe, sondern auch auf möglichst atmungsaktive und wasserabweisende Kleidung. Um diese Eigenschaften zu erzielen, werden heute häufig noch synthetische Fasern auf Erdölbasis verwendet. Eine nachhaltige Alternative bietet Vestamid Terra von Evonik mit biobasierten Kunststofffasern aus Rizinusöl. Der Outdoor-ausrüster Vaude setzt die Fasern bereits erfolgreich in Trekkinghosen und weiteren Produkten ein.

Früher teilten sich hier Patienten die Betten, heute dienen die ehemaligen Krankenzimmer als Suiten eines Luxushotels: Das Grand Hôtel-Dieu (zu Deutsch: Herberge Gottes) am Ufer der Rhône in Lyon war einst ein Krankenhaus, in dem mittellose Menschen unentgeltlich aufgenommen und gepflegt wurden. Bereits im 12. Jahrhundert sollen hier kranke Menschen behandelt worden sein. Bis heute steht die Medizin immer wieder vor unerwarteten Herausforderungen. Dies wurde zuletzt während der Coronapandemie deutlich. Ein Evonik-Standort im nordfranzösischen Ham produziert Aminosäuren auf pflanzlicher Basis durch Fermentation, die unter anderem bei der Behandlung von Long Covid helfen. Das dabei erworbene Wissen könnte auch im Kampf gegen Krebs Fortschritte ermöglichen.







### GESUND UND SMART

In Frankreich ist Evonik mit vier Produktionsstandorten in den Bereichen Gesundheit, Körperpflege und Spezialindustrie vertreten sowie mit einer Verkaufsabteilung. Für die Wachstumsdivision Nutrition & Care produziert sowohl der größte als auch der kleinste Standort des Landes: In Ham arbeiten rund 242 Menschen an hochreinen Aminosäuren für die Business Line Health Care, in der Region Centre-Val de Loire entwickeln sieben Mitarbeiter Advanced Botanicals für den Bereich Personal Care. Die übrigen zwei Standorte sind auf Smart Materials und Specialty Additives spezialisiert.



#### Evonik-Standorte

- 1 Ham
- 2 Lauterbourg
- 3 Roussillon
- 4 Parçay-Meslay

An

4

Standorten arbeiten

351

Mitarbeiter.

# GETARNTE TRÄGER

Maske für die Medizin:  
Im Darmstädter Evonik-  
Labor werden aus rPEG-  
Lipiden und weiteren  
Komponenten Lipid-  
nanopartikel hergestellt.  
Das rPEG (r.) hierfür  
liefert die Uni Mainz.

Von Coronavirus-Impfstoffen bis hin zu Medikamenten gegen Krebs, Multiple Sklerose oder Alzheimer – die Anwendungsmöglichkeiten für mRNA-Therapien sind vielfältig. Doch wie gelangen die Wirkstoffe optimal in den Körper? Ein Team von Forschern der Uni Mainz und Evonik arbeitet gemeinsam am perfekten Transportsystem.

TEXT **TIM SCHRÖDER**



In der Wissenschaft gibt es Momente, da fügen sich plötzlich Dinge auf wundersame Weise zusammen. Gedanken, Ideen, die eigentlich nichts miteinander zu tun haben, ergeben gemeinsam einen Sinn. So ging es vor gut zwei Jahren einem Team um den Chemiker Professor Dr. Holger Frey von der Universität Mainz. Er beschäftigt sich seit vielen Jahren mit der Substanz Polyethylenglykol, einem nicht toxischen Tausendsassa unter den chemischen Stoffen.

Polyethylenglycol, kurz PEG, ist ein gut wasserlösliches Polymer, also eine lange Molekülkette. Ihr Grundbaustein ist Ethylenoxid (EO). Man verwendet PEG unter anderem in Zahncremes, Shampoos und vielen Kosmetika. Für solcherlei Anwendungen werden jedes Jahr weltweit viele Tausend Tonnen PEG verbraucht. Die Substanz spielt allerdings auch eine wichtige Rolle in der Medizin: Hier hilft das PEG unter anderem dabei, Wirkstoffe durch den Körper zu schleusen. →



Im Hanauer Syntheselabor wird getestet, unter welchen Bedingungen das rPEG an ein Lipid gekoppelt werden kann.

Mittels Chromatografie wird das rPEG-Lipid aufgereinigt.



Die Chemiker in Mainz suchten nach einem Weg, wie man PEGs modifizieren kann, um ihnen neue Eigenschaften zu verleihen und sie somit noch vielfältiger einsetzbar zu machen. Dabei konzentrierten sich Holger Freys Post-Doktoranden Rebecca Matthes und Philip Dreier vor allem auf ein vielversprechendes Molekül, das sehr eng mit EO verwandt ist: Glycidylmethylether, kurz GME. GME ist wie EO ein Baustein zur Herstellung von Polymeren. Beide Bausteine lassen sich auch kombinieren. Ihr auf diese Weise modifiziertes Polymer nannten die Forscher der Uni Mainz rPEG. Das r steht für „randomized“, weil sich die EO- und die GME-Bausteine bei der Herstellung zufällig in der Kette verteilen. Interessanterweise stellen alle Polymere aus den Bausteinen EO und GME Strukturisomere dar. Das rPEG hat im Vergleich zu PEG zusätzliche Molekülseitenketten, es ist aber ebenso gut wasserlöslich. Hinzu kommen weitere interessante Eigenschaften.

Medizinische Anwendungen von rPEG hatten die beiden Post-Doktoranden anfangs gar nicht im Sinn. Plötzlich aber fügte sich ein Bild zusammen: rPEG könnte einen Durchbruch in der Entwicklung neuartiger mRNA-Medikamente bedeuten. Zusammen mit einem For-

schungsteam von Evonik arbeiten Matthes und Dreier nun daran, aus ihrer Entdeckung eine für die Pharmabranche nutzbare Technologie zu entwickeln.

mRNA-Medikamente gelten als einer der größten Hoffnungsträger in der Medizin. Während der Covid-19-Pandemie kamen sie als Impfstoffe erstmals groß zum Einsatz und konnten ihre Wirksamkeit sowie ihr Potenzial unter Beweis stellen. Experten erwarten, dass sich damit noch viele andere Krankheiten behandeln lassen, die heute nur schwer therapierbar sind – etwa Multiple Sklerose oder Alzheimer. Auch seltene Krebsformen könnten mit einer mRNA-Therapie bekämpft werden.

Doch bislang gibt es eine Hürde: mRNA-Wirkstoffe werden unter anderem mit hochreinen Spezial-PEG-Lipiden umhüllt, damit sie unbeschadet ihre Zielzellen erreichen. Die Substanz PEG kann jedoch in seltenen



Die verschiedenen Fraktionen der Chromatografie werden in Reagenzgläsern aufgefangen.

Fällen die Bildung von Anti-PEG-Antikörpern hervorgerufen. Für künftige Anwendungen über einen längeren Zeitraum, zum Beispiel im Rahmen einer Krebstherapie, sollte dies ausgeschlossen werden. Die Pharmabranche sucht deshalb seit Längerem nach PEG-Alternativen.

Genau solch eine Variante entdeckten Rebecca Matthes und Philip Dreier vor gut zwei Jahren mit rPEG. Während die beiden an der Entwicklung von rPEG arbeiteten, erschienen in Fachzeitschriften gleich mehrere Artikel, die beschrieben, wie Antikörper an das PEG andocken und wie das Immunsystem PEG erkennt. „Uns war sofort klar, dass unser rPEG das Potenzial hat, diese Immunreaktion zu verhindern“, sagt Matthes. „Wir dachten uns, dass wir das Andocken der Antikörper durch die zusätzlichen Moleküläste im rPEG verhindern könnten“, so die Forscherin. „Damit müsste das modifizierte PEG für das Immunsystem unsichtbar werden.“

#### EIN DURCHBRUCH FÜR DIE PHARMABRANCHE

Es folgten umfangreiche Experimente. Über mehrere Wochen synthetisierten die beiden im Labor aus GME- und EO-Bausteinen verschiedene neuartige rPEG-Polymerstrukturen. Das Forschungsduo brachte dann das neue Polymer mit Antikörpern in Kontakt. Und tatsächlich: Die Wechselwirkung mit dem Antikörper bei vergleichbaren Konzentrationen blieb aus. Die zufällig →

## DIE FORSCHUNGSGRUPPE FREY

Polymere sind Holger Freys Spezialgebiet: Seine Forschungsgruppe an der Universität Mainz, wo er seit 2002 Organische und Makromolekulare Chemie lehrt, beschäftigt sich mit Synthese, Charakterisierung und Anwendungen neuer funktionaler Polymere. Seit Herbst 2018 ist Professor Frey (im Bild links) Mitherausgeber der Zeitschrift „Polymer Chemistry“. Dr. Rebecca Matthes und Dr. Philip Dreier haben sich bei Frey promoviert und sind als Post-Doktoranden in seiner Arbeitsgruppe tätig. Dort treiben sie die Entwicklung von rPEGs für eine Vielfalt pharmazeutischer Anwendungen voran.



## » Als ich den Evonik-Forschern von unserem rPEG erzählte, waren sie sofort begeistert.«



HOLGER FREY, CHEMIEPROFESSOR AN DER UNI MAINZ



Durch Gefriertrocknung wird aus der Reaktionslösung rPEG-Lipid in Pulverform gewonnen.

verteilten GME-Molekülseitenketten verhinderten das Andocken der Antikörper. Die Entdeckung der Mainzer Forscher könnte für die Pharmabranche von großer Bedeutung sein. PEG-Lipide gehören zu den wichtigsten Zutaten für die sogenannten Lipidnanopartikel (LNP), mit denen mRNA-Wirkstoffe umhüllt werden. LNPs sind kugelförmige, winzige Fähren, die den Wirkstoff durch den Körper bis in die Zellen transportieren. Denn mRNA ist äußerst instabil. Sie benötigt eine Schutzhülle.

LNPs ähneln Fetttropfen im Wasser: Die Fetttropfen im Nanometerbereich bestehen aus einer sorgfältig designten Kombination verschiedener Lipide. Dabei stabilisieren die nach außen ragenden rPEG-Ketten das Gebilde und machen es für das Immunsystem unsichtbar. Nach innen ragen die Wasser abweisenden Fettsäureketten des Lipids. Die mRNA selbst befindet sich im Innern der LNPs.

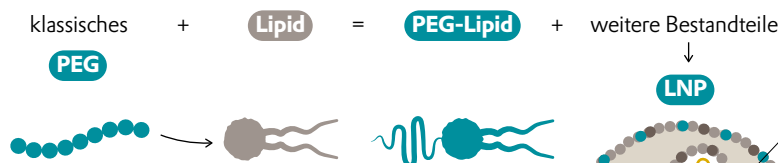
„Als wir erkannt hatten, dass sich mit rPEGs die Bildung von Anti-PEG-Antikörpern vermeiden lässt, wandten wir uns an die Industrie“, berichtet Frey. Und so meldete er sich bei Evonik. Er wusste, dass es dort Forschern in der heißen Phase der Covid-19-Pandemie gelungen war, wichtige Bestandteile für die Impfstoffe von BioNTech herzustellen – unter anderem maßgeschneiderte Speziallipide. „Als ich ihnen von unserem rPEG erzählte, waren sie sofort begeistert“, sagt Frey.

Die Evonik-Forscher übernahmen die Aufgabe, das rPEG aus Mainz zu Lipiden zu verknüpfen und daraus funktionelle LNPs zu entwickeln. „Wir hatten den großen Vorteil, dass wir auf unsere Kompetenzen bei der Herstellung und Charakterisierung maßgeschneiderter Speziallipide in Hanau und Dossenheim zurückgreifen konnten“, sagt Dr. Thomas Endres, der das Projekt bei Evonik leitet. Er holte Experten aus mehreren Bereichen in einem Projektteam zusammen – vor allem aus dem Syntheselabor in Hanau sowie aus dem Formulierungslabor und dem Zellkulturlabor in Darmstadt.

## Eingebaute Abwehr

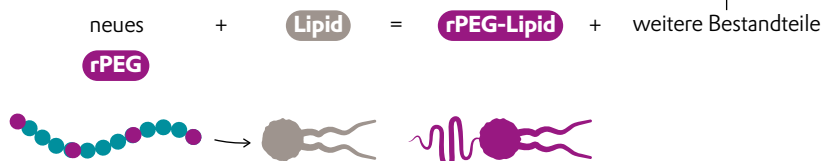
Wie Lipidnanopartikel (LNP) für Antikörper unangreifbar werden

### 1 LNP mit herkömmlichem PEG-Lipid

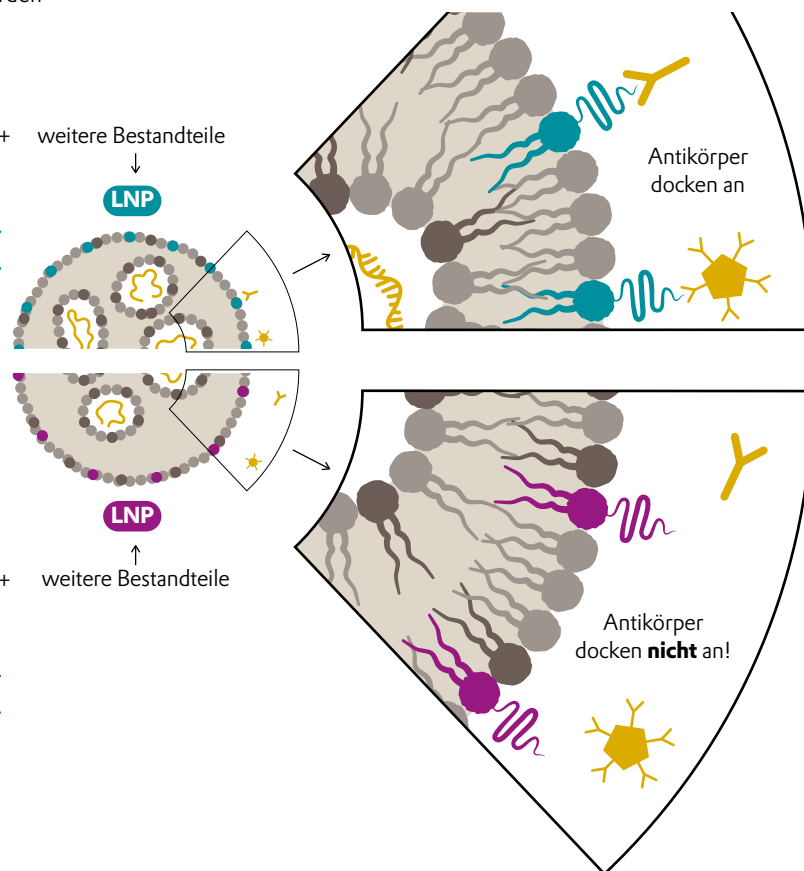


Polyethylenglykol (PEG)-Lipide sind ein wichtiger Bestandteil von Lipidnanopartikeln. Sie können von Antikörpern erkannt werden.

### 2 LNP mit neuartigem rPEG-Lipid



rPEG-Lipide sind für das Immunsystem quasi unsichtbar.



Zunächst galt es, das rPEG aus Mainz mit fettlöslichen Molekülsegmenten zu einem Lipid zu koppeln, das einer der Komponenten der Covid-19-Impfstoffe ähnelt (siehe Infografik oben). In kleinen Glaskolben testete Labormitarbeiter Erich Kraus in Hanau verschiedene Bedingungen: Er variierte die Reaktionstemperatur, die Konzentration der einzelnen Reagenzien und die Lösungsmittel, trennte unerwünschte Nebenprodukte ab und isolierte das Produkt.

#### INDUSTRIEPRODUKTION IM MINIMASSTAB

„Die ersten Versuche waren mit einer Ausbeute von nur etwa 30 Prozent des gewünschten rPEG-Lipids ernüchternd“, berichtet Dr. Ulrich Klöckner, der die Arbeit in Hanau leitet. Schnell wurde klar, dass das funktionale Ende des rPEG-Moleküls modifiziert werden musste, um eine bessere Umsetzung zu ermöglichen. „Das ist den Kollegen in Mainz sehr schnell gelungen“, so Klöck-

ner. Mit dem veränderten Molekül erreicht das Team in Hanau inzwischen Ausbeuten von mehr als 70 Prozent. Das ist auch für eine mögliche industrielle Produktion von Bedeutung, weil ein chemischer Prozess nur dann rentabel und nachhaltig ist, wenn der Großteil der Rohstoffe tatsächlich zum gewünschten Endprodukt umgesetzt wird. Im Moment arbeiten die Forscher in Hanau daran, den Prozess zur Herstellung des rPEG-Lipids noch effizienter zu gestalten.

Viele chemische Produkte werden im Tonnenmaßstab hergestellt. Bei der Produktion von LNPs und mRNA-basierten Impfstoffen oder Medikamenten dagegen läuft alles miniaturisiert ab. Der Covid-19-Impfstoff Comirnaty von BioNTech/Pfizer enthält gerade einmal 30 Mikrogramm mRNA. Gespritzt werden 0,3 Milliliter. Ein 300-Liter-Fass würde reichen, um Impfdosen für Millionen Menschen zu lagern. →



Labormitarbeiterin  
Melanie Liefke belädt in  
Darmstadt kleine Gefäße  
mit Lipidnanopartikeln.

## » Die rPEG-Technologie hat das Potenzial, zukünftige mRNA-Medikamente sicherer und besser zu machen. «

THOMAS ENDRES,  
PROJEKTLEITER BEI EVONIK



Melanie Liefke stellt im Darmstädter Labor von Evonik aus den rPEG-Lipiden und weiteren Komponenten die für weitere Tests benötigten LNPs her. Am Laborabzug sitzend dosiert sie mit Pipetten verschiedene Flüssigkeiten präzise in ein fingerhutgroßes Plastikgefäß – rPEG-Lipide, drei weitere Lipide und mRNA. Ihre Erfahrung und Geschicklichkeit ermöglichen es ihr, funktions-tüchtige LNPs in den gewünschten Größen herzustellen. „Man muss zügig und kontrolliert mischen, weil die mRNA sehr empfindlich ist“, erklärt sie.

Dass sich bereits beim kontrollierten Mischen wohl-strukturierte LNPs bilden, liege auch daran, dass sich die mRNA, das rPEG-Lipid und die anderen Komponenten von allein zusammenfänden, erklärt Molekularbiologin Dr. Anne Benedikt, die das Zellkulturlabor in Darmstadt leitet. „Das hat mit der Selbstorganisation der Materie zu tun. Die Fettsäuren zum Beispiel orientieren sich vom Wasser weg, und über die elektrische Ladung der Komponenten können wir vorgeben, wie sie sich zusammen-lagern.“ Die eigentliche Herausforderung beim Han-tieren mit mRNA bestehe darin, dass diese abgebaut werden könne, wenn man nicht sauber arbeitet. „Das liegt daran, dass wir Menschen auf unserer Haut Enzyme



Die Lipidnanopartikel werden zuerst auf physikalische Parameter wie Größe und Ladung untersucht.



tragen, die körperfremde mRNA schnell abbauen – das ist unser natürlicher Schutz“, so Benedikt. Wer im Labor mit mRNA arbeitet, muss deshalb für eine absolut reine Umgebung, frei von diesen Enzymen, sorgen.

#### BIOLOGIE UND CHEMIE TÜR AN TÜR

In Darmstadt werden die LNPs nicht nur hergestellt, sondern auch getestet. Das Team untersucht ihre Interaktion mit lebenden Zellen. Katrin Häfner, Senior Scientist im Zellkulturlabor, deutet auf eine durchsichtige Kunststoffplatte unter dem Laborabzug, deren Vertiefungen mit Flüssigkeit gefüllt sind. In manchen ist die Flüssigkeit eher orange, in anderen violett. „In diesem Test prüfen wir, bis zu welcher LNP-Konzentration die Zellen diese gut vertragen“, sagt sie.

Einen Raum weiter wird geprüft, ob die LNPs ihren Job erledigen und die mRNA in die Zielzellen einschleusen. Dies wird an speziellen Testsystemen untersucht, die bei erfolgreicher Übertragung der mRNA und nachfolgender Produktion der Zielsubstanz ein schwaches Licht aussenden, das von einem Sensor gemessen wird. Dieses Licht ist umso stärker, je besser das Trägersystem funktioniert. →



## »EIN INNOVATIVES GEBIET, DAS SICH SEHR SCHNELL ENTWICKELT«

Dr. Andrea Engel, zuständig für Wachstumsprojekte der Business Line Health Care von Evonik, über die Bedeutung von Lipidnanopartikeln (LNPs) für die mRNA-Wirkstoffe der Zukunft

### Frau Engel, Lipidnanopartikel sind vielen Menschen während der Covid-19-Pandemie bekannt geworden. Warum haben sie für die Medizin eine so große Bedeutung?

LNPs gelten schon länger als große Hoffnung für die Medizin, weil sie einen Weg zu individuell auf den Patienten zugeschnittenen Medikamenten ebnen. Vor Covid-19 wurden sie bereits für Wirkstoffe gegen Krebserkrankungen genutzt, um sie besser verträglich zu machen. Als Partner der pharmazeutischen Industrie sind wir permanent auf der Suche nach Innovationen, um Therapie-möglichkeiten weiter zu verbessern. Wie die neuen rPEG-Lipide zeigen, sind LNPs ein besonders innovatives Gebiet, das sich sehr schnell entwickeln dürfte.

### Wie bereiten Sie sich auf diesen Boom vor?

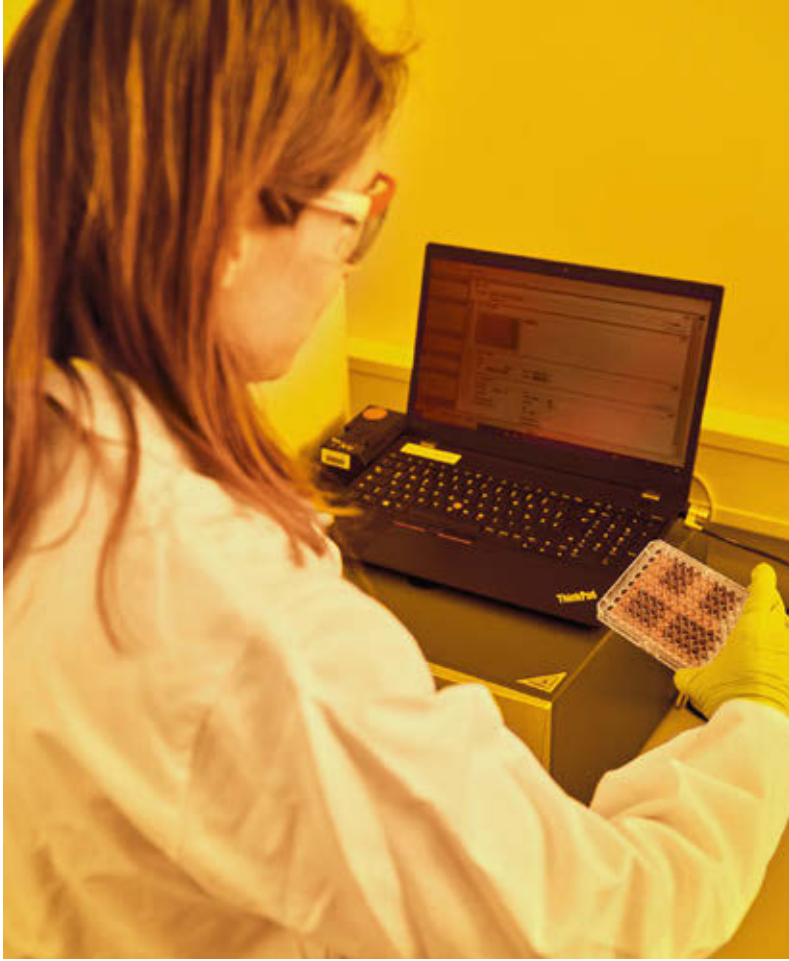
Wir entwickeln neue maßgeschneiderte Lipide, können Wirkstoffe wie mRNA in LNPs formulieren und beherrschen die Prozessentwicklung. Wir haben sehr erfahrene Engineering-Teams, die die Herstellung von wenigen Millilitern im Labor in einen stabilen Industrieprozess umsetzen, der viele Liter des Produkts in Pharmaqualität liefert. Unsere Kunden können alles aus einer Hand bekommen. Das beschleunigt die Entwicklung neuer Medikamente.

### Wo sind Ihre Lipidaktivitäten angesiedelt?

Pharmakunden ist es wichtig, dass die Lieferfähigkeit kritischer Ausgangsmaterialien sichergestellt ist, damit lebenswichtige Medikamente immer produziert werden können. Wir haben die Entwicklung und Produktion von Lipiden und LNPs deshalb global verteilt. In Hanau werden Lipide entwickelt und in kleinen Mengen hergestellt. An unserem Standort in Lafayette (Indiana, USA) haben wir gerade in eine große Anlage zur Lipidproduktion für mRNA-Wirkstoffe investiert. In Vancouver (Kanada) und Darmstadt finden die frühe Formulierungsentwicklung für LNPs und die ersten Tests damit statt. In Vancouver entwickeln wir darüber hinaus die Prozesse zur Bereitstellung von neuen Produkten für klinische Studien.

### Wer unterstützt Sie bei der Entwicklung?

Wir arbeiten mit mehreren Hochschulen zusammen. So sind wir seit Januar 2023 Partner in einem vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Projekt, in dem Hochschulen und Unternehmen gemeinsam neue Speziallipide für mRNA-Medikamente entwickeln. Mit der Stanford University in Kalifornien arbeiten wir an einer Hülle für mRNA, die aus Polymeren besteht. Diese Partikel sollen künftig unser Portfolio an lipidbasierten Produkten ergänzen. Und im Projekt mit der Uni Mainz stehen die neuartigen rPEG-Lipide im Mittelpunkt.



Biochemikerin Katrin Häfner prüft an Zellkulturen, wie gut verträglich die Lipidnanopartikel sind.



Projektleiter Endres ist stolz auf das bisher Erreichte. „Wir konnten zeigen, dass wir mit rPEG-Lipiden funktionsfähige LNPs für mRNA-Wirkstoffe herstellen können, die in Zellkulturen den gewünschten Effekt erzielen.“ Und das in ziemlich kurzer Zeit. „Von den ersten Gesprächen über die Herstellung und Testung der Substanzen in den drei beteiligten Laboratorien bis hin zum erfolgreichen Abschluss der Machbarkeitsstudie hat es nur ein Jahr gedauert“, sagt er. Forschung und Entwicklung im Pharmabereich seien anspruchsvoll und zeitintensiv und nähmen oft viele Jahre in Anspruch.

#### AUF DEM WEG ZU ERSTEN TESTS

Geholfen habe, dass sich die Eigenschaften und chemischen Strukturen von rPEG und PEG stark ähneln. „rPEG fügt sich nahtlos in industrielle Produktionsprozesse ein“, so Endres. Weltweit versuchten weitere Forschungsgruppen, PEGs durch andere wasserlösliche Makromoleküle zu ersetzen, um die Bildung von Antikörpern zu vermeiden. Diese neuen Substanzen seien jedoch von PEG chemisch so verschieden, dass für Herstellung von Makromolekül und Lipid ganz neue Produktionsprozesse entwickelt werden müssten.

Zur Schnelligkeit trug auch bei, dass sich die Kompetenzen der Partner so gut ergänzen. „Zusammen decken wir die ganze Kette von der Grundlagenforschung bis zur Lipidherstellung im kommerziellen Maßstab in definier-

ter Pharmaqualität ab“, so Endres. Gemeinsam wollen die Uni Mainz und Evonik auch den nächsten Schritt gehen. Die LNPs mit den rPEG-Lipiden müssen weitere Tests durchlaufen, bevor an eine Anwendung im Menschen zu denken ist. Wenn auch diese Tests erfolgreich verlaufen, kann Evonik Pharmaunternehmen die rPEG-Lipide als Formulierungsoption für mRNA-Wirkstoffe anbieten. Endres: „Das wäre die ideale Ergänzung unseres Portfolios.“

Das Magazin „Der Spiegel“ hat Lipidnanopartikeln und mRNA-Therapien zur Hochzeit der Covid-19-Pandemie eine große Geschichte gewidmet. Darin ist sogar von einer „Wunderwaffe“ die Rede. Ganz so weit will Thomas Endres nicht gehen. Aber er ist überzeugt: Die rPEG-Technologie hat das Potenzial, zukünftige mRNA-Medikamente sicherer und besser zu machen. —



Tim Schröder arbeitet als Wissenschaftsjournalist in Oldenburg. Beim Besuch in den Evonik-Laboren hat ihn einmal mehr erstaunt, wie unkompliziert Spitzenforschung manchmal beginnt.

# AUF WACHSTUM PROGRAMMIERT

mRNA-Technologien revolutionieren die Medizin. Welche Erkrankungen stehen im Fokus? Wie schnell kommen neue Therapien voran? Und wie gelangen die innovativen Wirkstoffe in den Körper? Ein Überblick in Zahlen

INFOGRAFIK **MAXIMILIAN NERTINGER**

## Jenseits von Covid-19

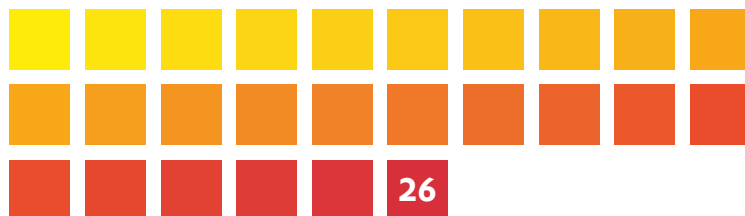
Anwendungsgebiete von mRNA-Medikamenten und -Impfstoffen<sup>1</sup> in der klinischen Entwicklung, in Prozent

Quelle: Roots Analysis, Stand: Januar 2023

### Infektionskrankheiten



### Krebs



### genetische Erkrankungen



### Lungenerkrankungen



### Autoimmunerkrankungen



### andere Krankheiten



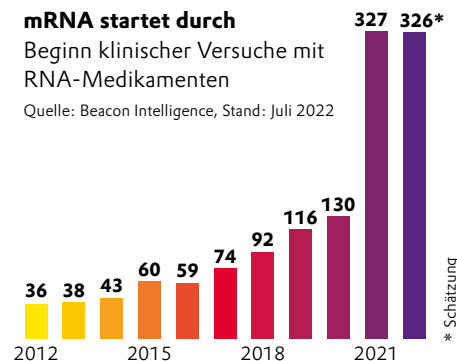
<sup>1</sup> Medikamente, über die Status-Informationen verfügbar sind

<sup>2</sup> u. a. intradermal, subkutan und äußerlich

## mRNA startet durch

Beginn klinischer Versuche mit RNA-Medikamenten

Quelle: Beacon Intelligence, Stand: Juli 2022



## Nanopartikel führen

Wichtigste Transportsysteme für mRNA-Wirkstoffe nach Anzahl von Produktentwicklungen

Quelle: Beacon Intelligence, Stand: Januar 2023

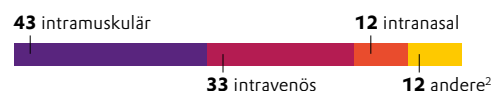
in Verbindung mit Nanopartikeln **391**

- 27 liposomal
- 24 viral
- 23 ohne Schutz
- 13 in Verbindung mit Exosomen
- 9 andere nicht virale Systeme

## Unter die Haut

Formen der Verabreichung von mRNA-Medikamenten und -Impfstoffen<sup>2</sup>, in Prozent

Quelle: Roots Analysis, Stand: Januar 2023




## Die Branchenpioniere

Wichtigste Entwickler von mRNA-Therapien, nach Anzahl von Produktentwicklungen

Quelle: Beacon Intelligence, Stand: Juli 2022

- 66 Moderna Therapeutics (USA)
- 38 Biontech (D)
- 27 Curevac (D)
- 21 Sanofi (CH)
- 18 Pfizer (USA)
- 16 Ethernal Immunotherapeutics (B)
- 12 Stemirna Therapeutics (CN)
- 11 Arcturus Therapeutics (USA)
- 11 GlaxoSmithKline (GB)
- 11 Ziphys Vaccine (B)
- 10 Factor Bioscience (USA)



Tödliche Landung:  
Phagen injizieren ihre  
Erbinformationen in ein  
Bakterium, sodass es  
weitere Phagen produ-  
ziert – bevor es stirbt.

# REVIVAL DER BAKTERIEN- KILLER

Was hilft gegen schädliche Bakterien, wenn Antibiotika machtlos sind? Bakterientötende Viren, sogenannte Phagen, könnten Menschenleben retten. Eigentlich eine altbekannte Therapie, doch das Wissen darum ging im Westen nach dem Zweiten Weltkrieg verloren. Für eine gesunde Zukunft könnte es wichtig werden.

TEXT **BJÖRN THEIS**

**D**ie Rote Armee sah sich 1942 gleich mit zwei Gegnern konfrontiert. Zum einen mit der deutschen Wehrmacht, die ihr beim Rückzug nach Stalingrad schwer zusetzte, zum anderen mit einem unsichtbaren Feind, der immer mehr Verluste forderte: Die Cholera breitete sich unter den russischen Soldaten und der Zivilbevölkerung aus. Um die Situation in den Griff zu bekommen, schickte die Moskauer Führung Sinaida Wissarionowna Jermoljewa, eine führende Mikrobiologin der UdSSR, nach Stalingrad. Da die Stadt von medizinischem Nachschub abgeschnitten war, fasste Jermoljewa den Plan, sich die natürlichen Fressfeinde des Choleraerregers zunutze zu machen. Sie errichtete eine Bakteriophagenproduktion und stellte genug Anti-Cholera-Suspension her, um täglich 50.000 Menschen zu behandeln. Nach wenigen Tagen war die Epidemie in der Stadt gestoppt.

Dass die Phagen im Kampf gegen Bakterien höchst wirkungsvoll sein können, ist über die Jahrzehnte vielerorts in Vergessenheit geraten. Zuletzt rückte die Therapie jedoch wieder stärker in den Blick der Forschung. Bakteriophagen – kurz Phagen – sind Viren, die für ihre Vermehrung höchst spezifische Bakterien als Wirte erwählen. Ein Phage, der etwa Choleraerregern befällt, kann auch nur diese infizieren, nicht jedoch menschliche oder tierische Zellen. Der Umgang mit Phagen ist daher recht sicher. Wie alle Viren docken sie an ihr Zielbakterium an, injizieren ihre Erbinformationen und programmieren es so um, dass es nach der Infektion weitere Phagen herstellt – so lange, bis keine Wirtsbakterien mehr übrig sind.

#### ZWEI FORSCHER, EINE ENTDECKUNG

Ihren Namen erhielten die Phagen 1917 vom französischen Mikrobiologen Félix Hubert d'Hérelle, der sie zeitgleich mit dem englischen Mikrobiologen Frederick Twort entdeckte. Beide beobachteten, dass sich in Bakterienfilmen Löcher bilden können, in denen die Bakterien absterben und sich nicht wieder ausbreiten. D'Hérelle vermutete, dass hierfür spezielle Mikroben verantwortlich sind, und taufte diese Phagen, abgeleitet vom griechischen Wort „phagein“ (essen). Sehen konnte er die Mikroben nicht, dies wurde erst 1931 mit der Erfindung des Transmissionselektronenmikroskops möglich. Dennoch begann d'Hérelle umgehend damit, Phagentherapien gegen Pest und Cholera zu entwickeln. Mit Erfolg: In den folgenden zwei Dekaden verbreiteten sich kommerzielle Phagenprodukte in Frankreich, Großbritannien, Deutschland, Italien und den USA rasant – bis in den 1940er-Jahren die Antibiotika auf den Markt kamen. Im Gegensatz zu den spezifischen Phagen töteten diese hochwirksam gleich alle Bakterien. Infolgedessen wurde die Phagenforschung im Westen fast gänzlich eingestellt, allein in der UdSSR wurde weiterentwickelt.

#### AUFHOLJAGD IM WESTEN

In Russland, Georgien und Polen sind Phagenprodukte seit Dekaden im Einsatz und frei erhältlich, während sie in den meisten westlichen Ländern nicht zugelassen sind. Nun scheint sich jedoch ein Umdenken abzuzeichnen. Ein wesentlicher Grund hierfür ist die rasante Ausbreitung von antibiotikaresistenten Bakterien. Weltweit sind

2019 rund 1,2 Millionen Menschen an Infektionen mit solchen resistenten Keimen verstorben. Schätzungen zufolge könnte sich diese Zahl bis 2050 auf zehn Millionen steigern. Um diesen resistenten Bakterien mit Phagen zu Leibe zu rücken, ist Forschung dringend erforderlich. Grundsteine sind gelegt: In Deutschland tagte 2017 das erste Nationale Forum Phagen, und das Leibniz-Institut Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen (DSMZ) hat begonnen, eine Sammlung potenziell therapeutischer Phagen anzulegen. In den USA sind bereits einige Phagenprodukte in der Lebensmittelproduktion zugelassen, beispielsweise um Infektionen mit Listerien zu vermeiden. Das Aufholrennen im Westen um funktionelle Phagen hat begonnen.

Ein guter Grund für das Creavis-Foresight-Team, das Thema im neuen Foresight-Fokus „GameChanger 2040“ vertieft zu evaluieren – schließlich könnten sich Phagen in manchen Einsatzgebieten als nachhaltige und günstige Alternativen für Antibiotika eignen. —



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



# »Wir schließen regionale Kreisläufe«



**Tim Bunthoff** ist Projektingenieur beim Gelsenkirchener Infrastrukturunternehmen Gelsenwasser und dort als Abteilungsleiter für die Klärschlammverwertung zuständig.

PROTOKOLL **ANNALENA BICKERT**  
FOTOGRAFIE **HENNING ROSS**

**D**er US-amerikanische Biochemiker und Science-Fiction-Autor Isaac Asimov hat einmal gesagt: „Phosphor ist das Nadelöhr des Lebens.“ Damit bringt er aus meiner Sicht die Eigenschaften des Elements auf den Punkt: Es ist die Voraussetzung für jegliches Leben auf der Erde, denn Phosphorverbindungen spielen eine entscheidende Rolle beim biologischen Wachstum und Energiestoffwechsel. Daher hat Phosphor in der Nahrungs- und Futtermittelindustrie einen hohen Stellenwert. Das Element zählt zu den häufigsten der Erde, doch die Vorkommen sind ungleich verteilt: Bedeutende Lagerstätten befinden sich in Marokko, China und Russland. Weil innerhalb der Europäischen Union wesentliche Lagerstätten fehlen, hat die EU-Kommission Phosphor als kritischen Rohstoff eingestuft.

In Deutschland ist die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlämmen der kommunalen Abwasserreinigung von 2029 an gesetzlich vorgeschrieben. Hierfür wird der Klärschlamm zunächst thermisch behandelt, also getrocknet und verbrannt. Der Phosphor findet sich dann konzentriert in der Asche wieder. Diese soll bei der Gelsenwasser-Gruppe künftig in einer der weltweit ersten Phosphorgewinnungsanlagen weiterbehandelt werden. In dem von uns favorisierten Verfahren wird die Asche durch

Salzsäure in ihre Schad- und Wertstofffraktionen aufgeteilt. Schwermetalle werden dem Stoffkreislauf entzogen und hochwertige Produkte gewonnen. Unser Hauptprodukt – Calciumphosphat – ist so etwas wie die Mutter aller Phosphate. Es ist hochrein und kann anstelle von importiertem Phosphor als Ausgangsstoff für eine Vielzahl von Produkten eingesetzt werden, zum Beispiel besonders saubere Düngemittel.

Unser Recyclingkonzept erfordert einen geringen Transportaufwand und hilft dabei, Schadstoffemissionen zu reduzieren und regionale Nährstoffkreisläufe zu schließen. Das ist ein wichtiger Schritt in Richtung zirkuläre Wertschöpfung. So können wir sauberen Phosphor gewinnen und die natürlichen Ressourcen schonen, was zu einer deutlichen Entlastung der Umwelt führt. —

# 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, Deborah Lippmann | **TEXTCHEF** Christian Baulig | **ONLINE-REDAKTION** Pauline Brenke | **BILDREDAKTION** Nadine Berger | **LAYOUT** Wiebke Schwarz (Art Direction), Victor Schirner (Grafik) | **ANSCHRIFT DER REDAKTION** KNSK Group | Holstenwall 6 | 20355 Hamburg | **DRUCK** Linsen Druckcenter GmbH, Kleve | **COPYRIGHT** © 2023 by Evonik Industries AG, Essen. Nachdruck nur mit Genehmigung der Agentur. Der Inhalt gibt nicht in jedem Fall die Meinung des Herausgebers wieder. Fragen zum Magazin ELEMENTS: Telefon +49 201 177-3315 | E-Mail [elements@evonik.com](mailto:elements@evonik.com) | **BILDNACHWEISE** Titel: Alex Broeckel/Die Illustratoren | S. 3: Frank Preuß/Evonik | S. 4–5: Robert Eikelpoth (2), Getty Images | S. 6–7: Getty Images | S. 8–9: Ulas & Merve/stocksy.com, Lena Kölsch/Faserinstitut Bremen e.V., Universität Bayreuth; Infografik: KNSK GROUP | S. 10–19: Robert Eikelpoth (7), Dieter Debo/Evonik Industries AG, Ralf Deinl/Evonik Industries AG, M. R. Stuchtey; Technische Illustrationen: Andreas Höher/Die Illustratoren; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Stefan Eisenburger | S. 20–21: Infografik: Maximilian Nertinger | S. 22–25: imago/UIG, Evonik Industries AG (3); Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Karsten Bootmann | S. 26–31: Robert Eikelpoth | S. 32–41: Martin/Le Figaro Magazine/laif, Getty Images (4), Getty Images/Cavan Images RF, IMAGO/Zoonar | S. 42–51: Robert Eikelpoth (10), privat, Nathalie Zimmermann, Stefan Wildhirt/Evonik Industries AG; Infografiken: Maximilian Nertinger; Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Foto- und Bilderwerk | S. 52–53: Getty Images, Illustration: Oriana Fenwick/Kombinatrotweiss mit Fotovorlage von Karsten Bootmann | S. 54: Henning Ross

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

# » Die Kunst des Fortschritts besteht darin ...

... inmitten des Wechsels Ordnung zu wahren und inmitten der Ordnung den Wechsel aufrechtzuerhalten.“ So schrieb es 1929 der Philosoph und Mathematiker Alfred North Whitehead in seinem Essay „Prozess und Realität“. Der Brite war davon überzeugt, dass es zwischen allen Dingen fließende Übergänge gibt anstelle abrupten Abbrüche.

Auch die grüne Transformation der Chemieindustrie kann nicht auf einen Schlag erfolgen. Damit sie gelingt, gilt es, schrittweise vorzugehen. So lassen sich bewährte Prozesse fortführen, wenn Rohstoffe und Energie aus nicht fossilen Quellen zum Einsatz kommen. Das nützt dem Klima und stärkt die Innovationskraft.