

carl

01
22

Die Zukunft der Labore ist **ROTH**

Grüne Chemikalien

Finden sich Alternativen für Problemchemikalien?

Seite 6–11

CO₂ als Rohstoff

Treibhausgas soll die Chemieindustrie retten

Seite 24–29

Nachhaltiges Labor

Lassen sich unsere Labore nachhaltig betreiben?

Seite 30–37

Schwerpunkt:

Science
goes green

Mit Erfahrung
neu denken

1879

22

Carl Roth

Wir glauben an die Kraft neuer Ideen, die auf der Erfahrung und der Kenntnis von Märkten aufbaut. Wir glauben, dass Tradition und Innovation die starken Wegbereiter der Zukunft sind. Wir sind davon überzeugt, dass die Kraft der Veränderung der gemeinsame Weg der kleinen Schritte ist.

Gemeinsam machen wir es besser.

**Laborbedarf,
Life Science und
Chemikalien.**

www.carlroth.de



vorwort

*Liebe Leserinnen und Leser
der ersten Ausgabe des carl,*

■ st es nicht immer die Neugier, die uns antreibt, Dinge besser zu machen? Herausforderungen zu lösen und neu zu denken? Wir alle wissen: Unsere Zukunft braucht mehr Nachhaltigkeit, sie braucht neue Ideen, aber vor allem braucht sie die Entschlossenheit und Kraft von uns allen.

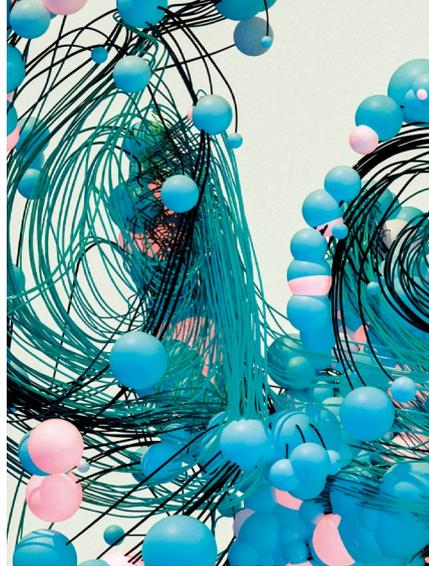
Deshalb haben wir den carl ins Leben gerufen. Wir wollen Erkenntnisse teilen, Netzwerke knüpfen und der Zukunft im Labor eine neue Plattform geben.

Wir von Carl Roth wissen – wie Sie – um die Bedeutung der Nachhaltigkeit. Deshalb achten wir schon heute permanent auf unseren ökologischen Fußabdruck.

Wir bei Carl Roth sind einen Schritt in Richtung grüne Zukunft gegangen und reihen uns damit ein in die immer größer werdende Gruppe derer, die daran arbeiten, dass alles nachhaltiger wird. Es ist uns gelungen, unseren Energiebedarf ausschließlich mit Ökostrom zu decken. Weitere interne Prozesse folgen. Wir haben hierzu eine eigene Projektgruppe eingerichtet, von deren Engagement unser Unternehmen sehr profitiert. Die Herausforderungen aber, vor denen wir als Firma mit dem Vertrieb von Laborbedarfsprodukten und Chemikalien stehen, sind nicht einfach – und vielschichtig obendrein.



Carl Roth ([links](#)), der Namensgeber dieses Magazins, seine Schwester Emilie und sein Bruder Ludwig.



01
22

In unserem Hause prüfen wir fortlaufend in allen Firmeneinheiten, von Produktion und Einkauf über den Versand bis hin zur Entsorgung, an welcher Stelle wir „grüner“ werden können. Die gute Nachricht: Einige Maßnahmen konnten wir bereits umsetzen. Wir reduzierten die Verwendung von Wickelfolie, stellten die Lieferscheintaschen von Kunststoff auf Pergament um, ergänzten ökologisch bedenkliche durch weniger für Mensch und Umwelt gefährliche Chemikalien und unterstützten externe Projekte in Sachen Biodiversität. Das reicht uns allerdings noch nicht. Wir arbeiten daher konstant an weiteren Maßnahmen, um „grüner“ zu werden, zum Beispiel am Einsatz von Verpackungen aus Gras (siehe Seite 50).

Aber am meisten treiben uns diese Fragen um: Wie können wir unsere Kunden mit unserer Erfahrung bei diesem Prozess unterstützen? Wie „grün“ kann ein Labor sein oder werden? Wie können wir helfen, dass Labore nachhaltig arbeiten, ohne dabei Qualität einzubüßen? Was genau können wir dazu beitragen und wobei können wir unterstützen?

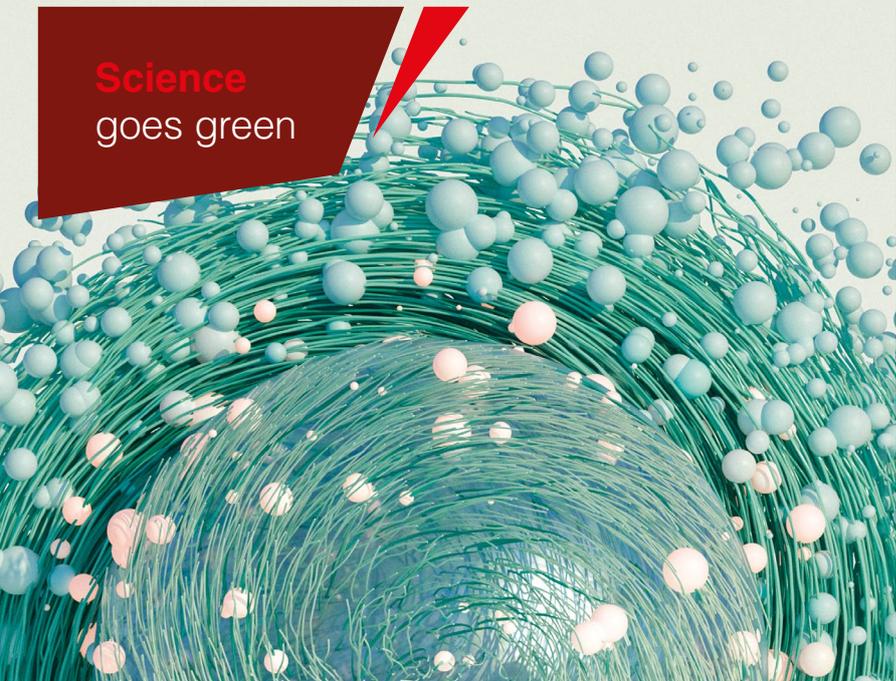
Wir sind davon überzeugt: Hier gibt es noch jede Menge Möglichkeiten, die noch nicht ausgeschöpft oder zu Ende gedacht sind.

Vor allem aber ist uns klar, dass wir diese Aufgabe nicht allein lösen können. Nachhaltigkeit ist ein gemeinschaftliches Unterfangen, eine gesellschaftliche Erwartung, eine Aufgabe, die wir nur gemeinsam bewältigen können. Es braucht den Willen, die Kraft und die Entschlossenheit aller, diese nötige Wende zu schaffen. Deshalb wollen wir mit einem neuartigen Magazin auf Sie zugehen und mit dem carl den ersten Schritt in diese Richtung tun.

André Houdelet

Geschäftsführer — Carl Roth GmbH + Co. KG

Science
goes green



inhalt

30

Nachhaltiges Labor

Greenify your lab

34

Minus 70 ist
das neue Minus 80

Nachhaltiges Labor



06

Grüne Chemikalien

Finden sich Alternativen
für Problemchemikalien?

16

Carl Roth Förderpreis

Dr. Jacob Schneidewind

17

Neue Wege zu
grünem Wasserstoff

Carl Roth Förderpreis

20

Biologie wirft
nichts weg

Interview mit Jürgen Eck

24

CO₂ als Rohstoff

Treibhausgas soll die
Chemieindustrie retten



09

CH₂O ist ein giftiger
Tausendsassa

Grüne Chemikalien

10

Einfach
Ethidiumbromid
– das war einmal

Grüne Chemikalien

12

Juliane Hollender,
die Spurensucherin
Erfolgreiche Forscher:innen

14

Ellen Fritsche,
die Testentwicklerin
Erfolgreiche Forscher:innen

35

Abzug schließen
und drosseln

Nachhaltiges Labor

36

Plastikmüll –
ein riesiges Problem

Nachhaltiges Labor

37

Eiskalter
Wettbewerb

Nachhaltiges Labor

38
Science oder
Science Fiction:
Wie man Forschung
nachhaltiger macht

Interview mit
Jeroen Dobbelaere

42
Digitales Labor?
Viel Luft nach oben

46
Klimaneutrales
Lithium aus
Deutschland

50
Umweltschonender
packen



54
Polyethylen auf
dem Speiseplan
Start-ups

56
Digital gegen
das Chaos im Labor
Start-ups

58
Grünes Licht
für alle
www.carlroth.blog

58
Impressum

59
Der Fux und
das grüne Labor
Comic



HELLO,
NEW
LABOPORT
SYSTEMS!

UNIQUE DESIGN FOR LAB LIFE

LABOPORT® VAKUUMPUMPEN
UND SYSTEME

Modular mit System.

Das neue Laboport-Pumpensystem garantiert höchste Performance und Sicherheit im Labor. Die leistungsstarke Basispumpe ist dank Abscheider, Hochleistungskondensator und neuem Vakuum-Controller zu einem umweltfreundlichen Pumpensystem ausbaubar. Passend für eine Vielzahl von Laboranwendungen.

Allrounder für Entgasung, Filtration, Flüssigkeitsabsaugung, Geltrocknung, Rotationsverdampfung, SPE, Vakuumkonzentrator.

KNF-Laboport.com

KNF

grüne



„Grüne Chemie“, die Umweltbelastungen minimieren will, ist nichts Neues und wird vielfach umgesetzt – doch nicht immer findet sich eine Alternative für eine Problemchemikalie.

— Karin Hollricher

01

Vor fast 25 Jahren wurden die zwölf Prinzipien der Grünen Chemie definiert.

02

Seitdem wurde die chemische Produktion grüner und weniger umweltbelastend. Doch die Suche nach Ersatzstoffen und -verfahren ist weiterhin nötig.

03

Formaldehyd ist gesundheitsschädlich. Es gibt Stoffe, die dessen Aufgaben im Labor übernehmen können.

04

Ethiumbromid als Färbemittel für Nukleinsäuren ist out. Es kann durch ungefährliche Substanzen ersetzt werden, die aber teurer sind.

chemikalien

Manche nennen es „Grüne Chemie“, andere „Nachhaltige Produktion“. Beides meint die Entwicklung neuer chemischer und biochemischer Verfahren, die weniger umweltbelastend sind als die bisherigen und die in einem Kreislaufsystem einen möglichst hohen Anteil eingesetzter Ausgangsstoffe wiederverwerten. Das ist aus Gründen des enormen Umsatzes von Chemikalien vor allem für die Industrie ein wichtiges Thema. Doch auch wenn Forschungslabore weit weniger Chemieabfall produzieren als die herstellende Industrie, sollte man sich auch dort damit auseinandersetzen, die Arbeit nachhaltiger zu gestalten.

Die US-amerikanischen Wissenschaftler Paul Anastas und John Warner definierten 1998 die 12 Prinzipien der Grünen Chemie [1]. Sie beschreiben stichwortartig Empfehlungen zur Vermeidung oder Reduktion von Umweltproblemen, die durch den Umgang mit Chemikalien entstehen. Prinzip Nummer 1 lautet beispielsweise „Vermeide Abfall“. Nummer 2 „Atom-Ökonomie“ ruft dazu auf, möglichst effiziente und produktive Synthesemethoden einzusetzen. Prinzip Nummer 5 fordert, harmlose Lösungsmittel und Hilfsstoffe zu verwenden.

Welche Kriterien aber sind heranzuziehen, um die „Harmlosigkeit“ beispielsweise eines Lösungsmittels zu beurteilen? Konrad Hungerbühler entwickelte mit seinem Team erste allgemein anerkannte Definitionsparameter für 26 ausgewählte organische Lösungsmittel [2]. Der inzwischen emeritierte Chemiker beschäftigte sich während seiner Professur an der ETH Zürich intensiv mit der Ökobilanz und Sicherheit von chemischen Substanzen und Verfahren. Die Kernkriterien sind EHS und LCA. EHS steht für Environment, Health, Safety – LCA für Life Cycle Analysis. Letzteres beschreibt den kumulativen Energieaufwand für eine saubere Kreislaufführung der Substanz. Hungerbühlers Ansatz gilt prinzipiell

Die 12 Prinzipien der Grünen Chemie

- 01 **Abfallvermeidung**
- 02 **Maximale Atomökonomie**
- 03 **Einsatz weniger gefährlicher Synthesemethoden**
- 04 **Design sicherer Chemikalien**
- 05 **Verwendung sicherer Lösungsmittel und Hilfsstoffe**
- 06 **Erhöhung der Energieeffizienz**
- 07 **Einsatz nachwachsender Rohstoffe**
- 08 **Verringerung der Anzahl von Derivaten**
- 09 **Einsatz von Katalysatoren**
- 10 **Produktdesign mit Blick auf später vollständigen Abbau**
- 11 **Echtzeitanalyse zur Vermeidung von Umweltverschmutzung**
- 12 **Minimierung des Störfallpotenzials**

[1] P. Anastas, J. Warner 1998, *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, S. 30

[2] C. Capello, U. Fischer, K. Hungerbühler 2007, *Green Chem.* 9, 927-934

auch heute noch, selbst wenn er mehrfach leicht abgewandelt wurde, indem weitere Kriterien in die Bewertung einbezogen wurden [3].

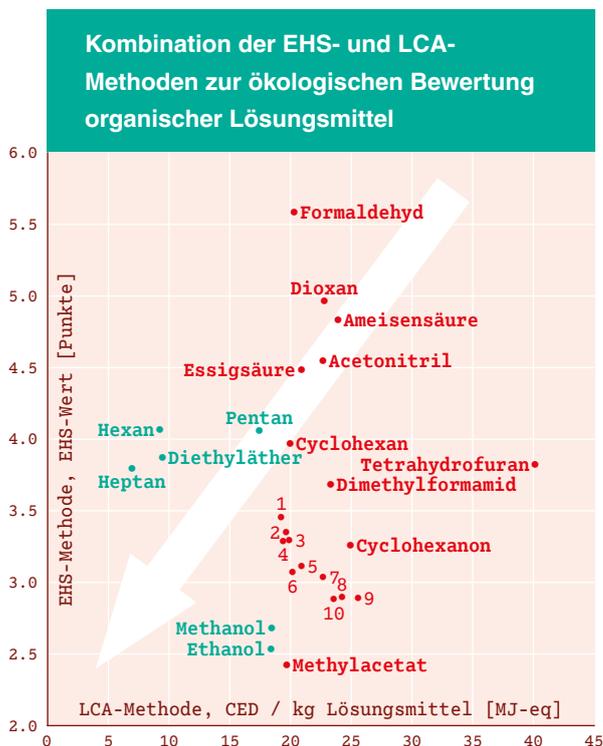
„Das beste Lösungsmittel ist natürlich Wasser“, sagt Hungerbühler. „Es ist die Benchmark für die Bewertung von Lösungsmitteln.“ Wasser hat einen sehr geringen EHS-Wert, denn es ist nicht toxisch, weder auf der Erde noch in der Troposphäre. Es

brennt und explodiert nicht. Sein LCA-Wert indes ist nicht so niedrig. Denn man muss erheblich Energie aufwenden, um das Wasser im Kreislauf zu halten, indem man es destilliert und dabei durch Verflüssigung des reinen Wasserdampfs zurückgewinnt. Das Fachwort Verdampfungsenthalpie beschreibt den Energieaufwand, der hierfür nötig ist.

Um Methanol oder Ethanol aufzureinigen, braucht man durch deren niedrigere Siedepunkte weniger Energie. Daher sind ihre LCA-Werte günstiger als der für Wasser. Dafür haben diese Alkohole etwas höhere EHS-Bewertungen. Hexan und Heptan zeichnen sich durch niedrige LCA-Werte aus, sind aber in puncto EHS nicht optimal. Von den 26 in der Publikation beurteilten Substanzen erreicht Formaldehyd den höchsten EHS-Wert, während Tetrahydrofuran die rote Laterne auf der LCA-Skala zugewiesen bekommt. Hungerbühler sagt: „Man muss die Stärken und die Schwächen der Lösungsmittel bewerten und dann die Substanz in der Gesamtheit beurteilen.“

Was die Suche nach Ersatzstoffen vor allem so schwer macht, sind die zahlreichen charakteristischen Eigenschaften jeder einzelnen Substanz wie Polarität, Viskosität, Oberflächenspannung und Siedepunkt. Für eine spezifische Anwendung ist oft eine dieser Eigenschaften von großem Interesse, die für einen anderen Einsatz eine untergeordnete Rolle spielt. Deshalb ist es nicht leicht, eine Verbindung universell durch eine einzelne, neue Verbindung zu ersetzen. Ein aktuelles Beispiel sind moderne Szintillationscocktails, komplexe Mischungen aus vielen Reagenzien, in denen ein ‚ausgemustertes‘ Lösungsmittel durch eine Kombination von mindestens fünf alternativen Reagenzien ersetzt werden muss.

Ein funktionierendes Experiment zu verändern und sich damit über den Grundsatz „Never change a running system“ hinwegzusetzen, erfordert schon eine ordentliche Portion Motivation. Wie gut grüne Chemikalien angenommen werden, kann man an deren Verkaufszahlen ablesen. Es hänge vom Kundenkreis ab, sagen Vertreter der Firma Carl Roth. Bioethanol oder Bioglycerin würden überwiegend aus der Industrie angefragt, ungefährliche Alternativen zu Ethidiumbromid und Formaldehyd (siehe nachstehenden Artikel, S. 9) zum weitaus größten Teil von Forschungseinrichtungen. Insgesamt sei die Nachfrage zwar noch gering, aber stetig steigend. —



- | | |
|----------------|-------------------------------------|
| 1 Xylol | • LCA-Option Destillation |
| 2 Butanon | • LCA-Option Verbrennung |
| 3 Toluol | |
| 4 Isopropanol | EHS = Environmental, Health, Safety |
| 5 Aceton | LCA = Life Cycle Assessment |
| 6 Ethylbenzol | CED = Cumulative Energy Demand |
| 7 Butanol | MJ = Megajoule |
| 8 1-Propanol | eq = equation |
| 9 Butylacetat | |
| 10 Ethylacetat | |

Der Einfluss von 26 organischen Lösungsmitteln auf die Umwelt wurde anhand ihrer EHS- und LCA-Werte bestimmt (abgeändert nach C. Capello, U. Fischer und K. Hungerbühler 2007, Green Chem. 9, 927–934).

CH₂O ist ein giftiger tausendsassa

Formaldehyd, wird im Labor und in vielen Industriezweigen verwendet, je nach Bedarf im Millilitermaßstab oder auch hektoliterweise. Doch es ist gesundheitsschädlich. Welche Alternativen gibt es?

Seit über 100 Jahren verwenden Mediziner und Biologen Formaldehyd (FA) und Formalin (FA in wässriger Lösung) zur Konservierung und Fixierung von organismischem Material, von der Zelle über den Spulwurm bis zur Leiche. In winzigen, nicht-toxischen Mengen ist FA in Totimpfstoffen enthalten, wo es Viren und Bakterien inaktiviert. Die chemische Industrie in Deutschland verbrauchte 2020 für viele verschiedene Zwecke fast 800.000 Tonnen FA. Die vielseitig einsetzbare, flüchtige Substanz gilt jedoch als krebserregend. Deshalb wurde 2015 ihre Konzentration in der Umgebungsluft von Arbeitsplätzen begrenzt.

Es gibt Alternativen zu FA, allerdings keine universell einsetzbaren, sondern nur spezielle für bestimmte Anwendungen. Beispielsweise wird FA in der Lederverarbeitung durch pflanzenölbasierte Polyphenole ersetzt [1], in der Holzindustrie durch Maisstärke und Tannine [2]. Als Holzklebstoff im Möbelbau verwendet man statt FA nun 5-Hydroxymethylfurfural (HMF), das auch in einigen Lebensmitteln enthalten ist.

FA im Labor

FA und Formamid stecken beispielsweise in Ladepuffern für die RNA-Elektrophorese. Das Formamid löst die Basenpaarungen der RNA auf, das FA verhindert deren Wiederherstellung. In der Histologie und Pathologie kommt FA zum Einsatz, weil es die Autolyse und Fäulnis von Geweben stoppt. Die Fixierung erfolgt über die Bildung von Methylenbrücken und

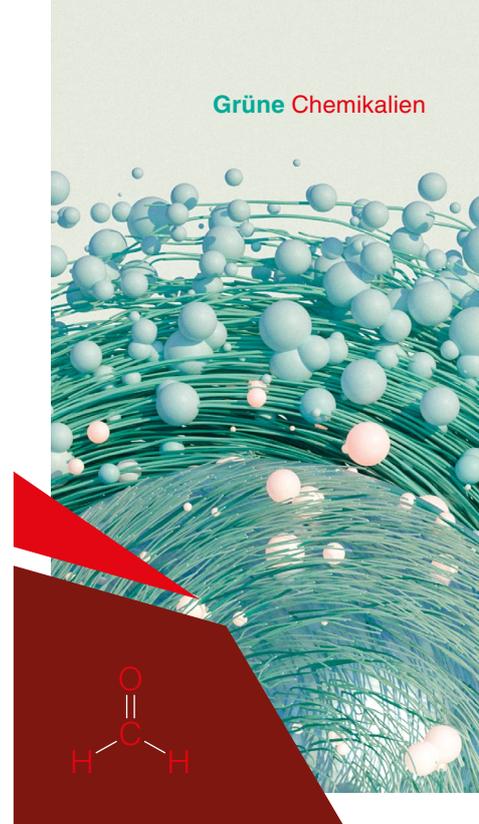
Brücken über Schiff'sche Basen. Sie ist reversibel durch Inkubation in Pufferlösungen unter Hitzeeinwirkung oder durch basische pH-Werte.

Ersatzstoffe für Histologie

Ein gebräuchliches, alternatives Mittel zur Fixierung von Gewebeproben ist Glutaraldehyd. Es riecht nicht minder scharf und unangenehm, gilt aber als weniger giftig. Gewebe erfolgreich und unverfälscht zu fixieren, müssen viele Einflussgrößen beachtet werden: Zeit, Temperatur, Penetrationsrate. Sie schlagen für Form- und Glutaraldehyd unterschiedlich schwer zu Buche.

Glutaraldehyd ist ein Di-Aldehyd und führt zu weitgehend irreversiblen Quervernetzungen. Zur Konservierung der zellulären Feinstruktur ist das günstig, nicht aber für immunhistochemische Färbungen. Glutaraldehyd dringt vergleichsweise langsam ins Gewebe ein, die Proben sollten daher maximal einen Millimeter dick sein. Auch Hexamethylentetramin (HMT) ist ein guter Ersatzstoff. Es ist nur in sehr hohen Konzentrationen giftig und wird beispielsweise als Konservierungsstoff für Käse verwendet. Man kann HMT zwar nicht bei einem pH von unter 4,5 anwenden. Aber durch die reversible, nicht-denaturierende Vernetzung bildet es keine Artefakte wie Gewebsschrumpfung und ist deshalb sehr geeignet für antikörperbasierte Downstream-Assays.

Eine andere Lösung entwickelten Forschende um den Humanmediziner Bernhard Hirt am Universitätsklinikum



Tübingen: Aminolipin. Hinter dem Handelsnamen steckt ein Propylendiamin-Derivat, das vom dafür 2021 gegründeten Spin-off Licit Solutions auf den Markt gebracht werden soll. Aminolipin ist ungiftig, eignet sich zur Fixierung tierischer und menschlicher Gewebe sowie wegen seiner bioziden Eigenschaften auch zur Konservierung.

Enzyme statt FA

Die (quer-)vernetzenden Eigenschaften von Formaldehyd und Glutaraldehyd macht man sich auch in der Biochemie zunutze – beispielsweise um Proteine mit funktionellen Gruppen auszustatten, Konjugate oder quervernetzte Proteinpolymere entstehen zu lassen. Die Quervernetzung muss aber nicht zwangsläufig chemisch erfolgen. Es gibt auch enzymatische Strategien, die nicht nur weniger schädlich sind, sondern auch schneller, spezifischer und unter milderen Reaktionsbedingungen ablaufen. Auch dabei gibt es keine One-for-all-Lösung. Ob Transglutaminase, Laccase oder eher Protein-Farnesyl-Transferase – welches Enzym unter welchen Bedingungen zielführend ist, zeigt ein aktueller Übersichtsartikel [3]. — Andrea Pitzschke

[1] A. Marsal, S. Cuadros, AM. Manich, F. Izquierdo, J. Font 2017, Journal of Cleaner Production 148, 518-526

[2] D. Goncalves, JM. Bordado, AC. Marques, RG. dos Santos 2021, Polymers 13, 4086

[3] D. Permana, HE. Putra, D. Djaenudin 2022, Biotechnol Lett 44, 341-365

einfach ethidiumbromid

– das war einmal

Früher war Färben von Nukleinsäuren in Agarosegelen ganz einfach: Ethidiumbromid und fertig. Heute gibt es viele andere Farbstoffe – welchen soll man nehmen?

Das fluoreszierende Ethidiumbromid (EtBr) zum Nachweis von Nukleinsäuren in Agarosegelen hält sich seit der Frühzeit der Molekularbiologie hartnäckig im Labor. Es ist preiswert, sehr sensitiv und stabil. Aber es gilt auch als mutagen und karzinogen. Die Datenlage zur Toxizität von EtBr für den Menschen ist noch immer spärlich, jedenfalls besteht ein „begründeter Verdacht auf kanzerogenes Potenzial“ [1]. Besonders in Pulverform kann EtBr durch Einatmen in den Körper kommen und Teile des inhalierten Staubes können über mukoziliäre Reinigungsmechanismen in den Magen gelangen. Die Haut ist Eintrittspforte für EtBr-haltige Flüssigkeiten.

Ein Blog in Science, in dem der organische Chemiker Derek Lowe die Gefährlichkeit der Substanz kritisch beleuchtete und die Aufregung darum als maßlos übertrieben darstellte, erzeugte viel Resonanz aus zwei Lagern [2]. Das eine applaudierte und führte „Da-kenne-ich-viel-Giftigeres“-Beispiele an, das andere buhte und zitierte Fachliteratur, um die Toxizität zu belegen. Im Ames-Test, dem Goldstandard zum Nachweis von Mutagenität, zeigte der in DMSO gelöste Farbstoff eine mutagene Wirkung nach einer ‚simulierten Leberpassage‘ ähnlich derjenigen, die in Säugern nach jeder Aufnahme in den Körper erfolgt. Die kalifornische Firma Biotium, die sich ganz dem Farbstoffgeschäft widmet, machte die Analyse. Die Testorganismen, *Salmonellen*-Stämme TA 98 und TA1537 mit

Leseraster-Mutationen (Histidin-Mangelmutanten), revertierten unter gleichzeitiger Einwirkung von S9-Leberextrakt und Ethidiumbromid. Die ersten Rückmutationen wurden sichtbar ab einer EtBr-Konzentration etwa doppelt so hoch wie derjenigen, die man typischerweise im Gel einsetzt [3]. Forschende der University of Notre Dame (USA) untersuchten die Auswirkung von EtBr über 22 Tage in Dauerkulturen mit Hefen [4]. Auch sie fanden erhöhte Mutationsraten, und zwar schon bei einer Konzentration von 0,1 bis 10 Mikrogramm pro Liter.

Es gibt Alternativen. Etliche Hersteller bieten andere fluoreszierende Färbechemikalien an, beispielsweise EZ-Vision®, EvaGreen®, Gelite™ Safe, GelGreen™, GelRed™, GelStar™, Midori Green, ROTI®GelStain, ROTI®GelStain Red, SmartGlow™, SYBR®Green, SYBR®Gold und SYBR®Safe, die sich neben der Gelelektrophorese teilweise auch für andere Anwendungen, etwa Fluoreszenzmikroskopie oder Durchflusszytometrie, eignen [5, 6]. Fast alle davon können auch für die Geldetektion unter dem (für Gesundheit und DNA-Probe) deutlich weniger gefährlichen Blaulicht eingesetzt werden. Außerdem gibt es DNA-Farbstoffe wie DNAzure® oder Methyleneblau, die man bei normalem Tageslicht sehen kann.

Andie Hall, Forschungsassistentin am Naturkundemuseum in London, machte einen Praxistest mit fünf alternativen DNA-Farbstoffen (GelRed™, GelGreen™, SYBR™Safe, SafeView™ and EZ-Vi-

sion®In-Gel Solution) und zwei vorgefertigten Ladepuffern (SafeWhite™ und EZ-Vision®One). EtBr war in der Vergleichsserie der Forscherin nicht dabei. Getestet wurden jeweils vier verschiedene Anwendungen: Die DNA-Proben, ein Größenmarker beziehungsweise ein PCR-Produkt, wurden vor dem Laden des Gels entweder mit einem der Farbstoff-Ladepuffer oder mit einem konventionellen Ladepuffer plus einem der DNA-Farbstoffe gemischt (beides pre-loading). Alternativ wurde der Farbstoff vor dem Gießen in die flüssige Agarose zugegeben (pre-casting) beziehungsweise das Gel erst nach der Elektrophorese (post-staining) gefärbt [7]. Pre-loading ist am sparsamsten im Verbrauch (bis 1 Prozent gegenüber pre-casting), pre-casting hingegen am sensitivsten und post-staining die verlässlichste Methode. Verlässlich? Es zeigte sich nämlich, dass einige Farbstoffe, teilweise sogar dosierungsabhängig, das Laufverhalten beeinflussten und somit eine falsche Bandengröße suggerierten. Da alle Wünsche – hochsensitiv, nicht verfälschend und sparsam – schwer unter einen Hut zu bringen sind, sollte man daher je nach Experiment den wichtigsten definieren und diesem entsprechend den geeignetsten Farbstoff wählen. **Bei vielen Firmen können Testgebilde für ein paar Euro erstanden werden und es empfiehlt sich immer, mit den Produktbetreuern der Hersteller und Händler Kontakt aufzunehmen.**

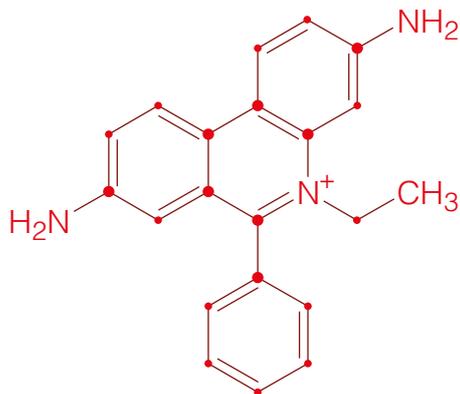
Weniger Farbstoff einzusetzen, ist ein sehr nachhaltiges Vorgehen im Sinne

[1] GESTIS Stoffdatenbank <http://www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank/>

[2] www.science.org/content/blog-post/myth-ethidium-bromide

[3] biotium.com/wp-content/uploads/2013/07/GelRed-and-GelGreen-Safety-Report.pdf

[4] J. Ong et al. 2021, Plos One, 16, e0235303

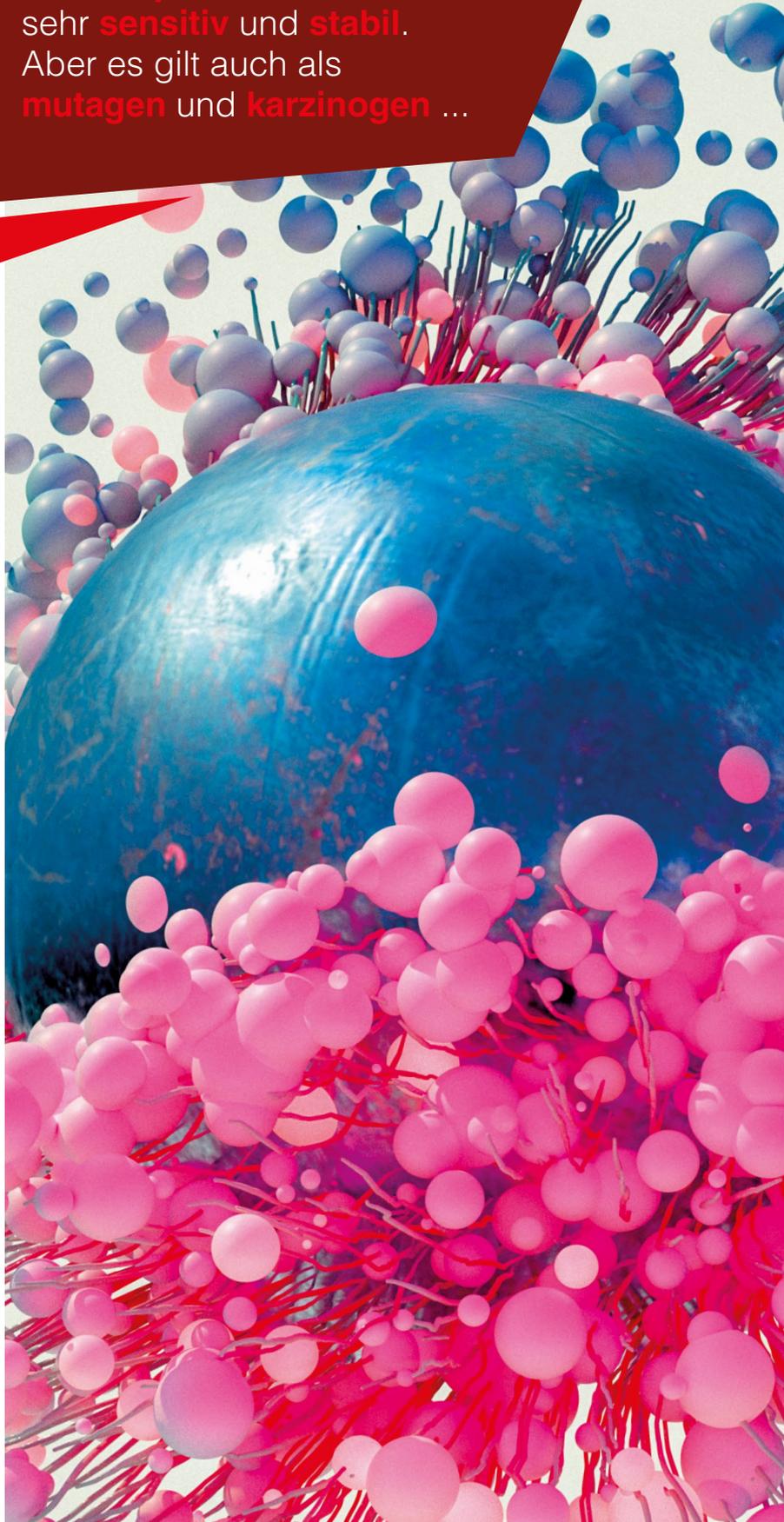


von Anastas und Warner, den geistigen Vätern der zwölf Prinzipien der Grünen Chemie – und zwar entsprechend der Prinzipien 1 „Vermeide Abfall“ und 6 „Gestalte energieeffizient“. Weniger Verbrauch kostet weniger Labormaterial und produziert weniger Müll. Und weniger Farbstoff bedeutet auch ein geringeres Gesundheitsrisiko.

Die meisten DNA-färbenden Substanzen interkalieren nämlich wie EtBr in den Doppelstrang – und das ist immer mit mutagenem Potenzial verbunden. Die geringe Gefährlichkeit moderner DNA-Fluoreszenzfarbstoffe hängt sehr häufig mit ihrer fehlenden Membrangängigkeit zusammen, also der Tatsache, dass sie den Zellkern gar nicht erreichen. So kann man lebende Zellen und deren Zellkerne prima mit SYBR-Farbstoffen und mit DAPI anfärben, mit GelRed® und GelGreen® dagegen nicht.

Die Frage, ob man für DNA-Gele Ethidiumbromid oder einen alternativen Fluoreszenzfarbstoff, und wenn ja, welchen verwenden sollte, ist also nicht ganz einfach oder pauschal zu beantworten. **So oder so ist es grundsätzlich empfehlenswert, jeden DNA-Farbstoff nur mit Handschuhen zu benutzen, sparsam einzusetzen und sich nach dem Experiment um eine umweltgerechte Entsorgung zu kümmern.** — Andrea Pitzschke

... Es ist **preiswert**,
sehr **sensitiv** und **stabil**.
Aber es gilt auch als
mutagen und **karzinogen** ...



[5] www.uvic.ca/ohse/assets/docs/haz-waste/saferalternatives.pdf

[6] www.biomol.com/resources/biomol-blog/the-10-best-dna-dyes-and-probes

[7] A. Hall 2020, bioRxiv, doi.org/10.1101/568253



juliane hollender, die spurensucherin

— Karin Hollricher

Sie solle eine „richtige“ Wissenschaft studieren, hatte man der Abiturientin Juliane Hollender gesagt. „Dabei wollte ich mich für Biochemie oder für einen Studiengang mit Bezug zur Umwelt einschreiben“, erzählt die Wissenschaftlerin. Doch sie hörte auf den Rat und studierte Chemie. Ihr Ziel aber verlor sie nie aus den Augen: sie machte Karriere „mit Umwelt“. Bis dato veröffentlichte die Wissenschaftlerin über 200 Fachartikel, die so viel Aufmerksamkeit bekommen, dass Hollender als „Highly Cited Researcher“ gilt. Heute leitet die in Remscheid geborene Professorin die Abteilung Umweltchemie der Eidgenössischen Anstalt für Wasser, Abwasser und Gewässerschutz (EAWAG). Außerdem unterrichtet sie an der ETH Zürich am Institut Biogeochemische Kreisläufe und Schadstoffdynamik.

Dass sie zwei Kinder hat, stellte die Forscherin vor besondere Herausforderungen. „Mit jedem Arbeitsplatzwechsel haben wir Betreuungseinrichtungen suchen oder gründen müssen, weil es die damals einfach nicht gab, angefangen von einer Tagesmutter bis zur Mittagsbetreuung während der Grundschulzeit“, erinnert sich Hollender. Anstrengend sei das gewesen, aber kein Grund, mit Wissenschaft aufzuhören.

Ihr Thema sind Mikroschadstoffe im Wasser und in dort lebenden Organismen. Mikroschadstoffe sind Substanzen, deren Konzentration bei wenigen Nano- oder maximal Mikrogramm pro Liter Flüssigkeit liegt. Vor zwanzig Jahren konnte man derart geringe Mengen nur mit sehr hohem Aufwand nachweisen. Die heutigen leistungsfähigen Massenspektrometer haben damit kein Problem mehr. Die Wasseranalysen der Arbeitsgruppe Hollender sind sehr umfangreich geworden. Am Anfang standen etwa 100 Pestizide und Pharmaka auf dem Screening-Programm. Hollender: „Inzwischen testen wir auf fast Tausend Stoffe mit Standards. Ohne Standards screenen wir auf viele Tausende. Das ist wirklich ein sehr breites Spektrum und analytisch ziemlich anspruchsvoll.“



In einem Suspect-Screening suchen Hollender und ihr Team mit dem Massenspektrometer nach den Spuren von Substanzen, die aus Haushalt, Landwirtschaft oder Industrie ins Wasser gelangen oder sich dort erst bilden. Dies können beispielsweise Abbauprodukte von Insektiziden oder Pharmazeutika sein, von denen man bisher gar nicht wusste, dass sie durch die Verstoffwechslung in Mikroorganismen, Pflanzen oder Tieren entstehen. **Zur Überraschung aller entdeckten sie, dass europäische Süßwasserflohkrebse aus Resten des vielfach verwendeten Schmerzmittels Diclofenac einen Methyl-ester synthetisieren.** Da das entstandene Molekül wenig wasserlöslich ist und schlecht ausgeschieden wird, reichert es sich in dem Flohkrebs an und geht von dort in die Nahrungskette ein. „Nach unseren ersten Untersuchungen findet diese Umwandlung auch in höheren Organismen statt und es ist davon auszugehen, dass auch diese Tiere die Substanz speichern“, sagt Hollender. In Flohkrebsen ist der Ester schädlicher als das Schmerzmittel. Wie es in höheren Organismen ist, weiß sie noch nicht. „Dieses Beispiel demonstriert aber eindrucksvoll die Notwendigkeit, erstens Abbauprodukte von Arzneimitteln zu identifizieren und zweitens ihr toxisches Potenzial im Organismus zu bestimmen. Bisher wird nämlich vorwiegend die Toxizität der Wirkstoffe selbst untersucht.“



Juliane Hollender sucht nach Mikroschadstoffen im Wasser. Sie arbeitet an der Eidgenössischen Anstalt für Wasser, Abwasser und Gewässerschutz (EAWAG), Abteilung Umweltchemie.

... In einem **Suspect-Screening** suchen Hollender und ihr Team mit dem Massenspektrometer nach **Spuren** ...

Erfolgreiche Forscher:innen



Eine vierte Reinigungsstufe in Kläranlagen kann mittels Ozon oder Aktivkohle Mikrosuren von potenziell schädlichen Substanzen wie Diclofenac aus dem Abwasser entfernen – ebenso wie die anderer Medikamente, etwa des Antiepileptikums Carbamazepin oder des Betablockers Metoprolol. Wie gut das funktioniert, wies das Hollender-Team in einer laufenden Kläranlage nach. Bevor diese mit einer vierten Stufe ausgerüstet wurde, fanden sich pro Gramm der unterhalb der Kläranlage lebenden Flusskrebse rund vierzig Nanogramm Mikroverunreinigungen – danach nichts mehr. Hollender: „Das ist doch ein deutliches Ergebnis und überzeugendes Argument für diese weitere Reinigungsstufe.“ In der Schweiz wurden bislang 14 Anlagen damit ausgerüstet, 46 sind in Planung oder Bau, in der EU diskutiert man aktuell über Kosten, Nutzen und Energieverbrauch solcher Anlagen. —

MACHEREY-NAGEL

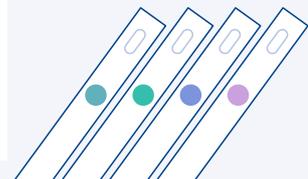
QUANTOFIX® Sensitiv Teststreifen

Kein Gerät erforderlich



Schnell und einfach!

Schauen Sie sich das Anwendungsvideo an:



Schnellteste

Hochempfindliche QUANTOFIX® Teststreifen

- Nachweis niedriger Konzentrationen
- Ohne Zusatzreagenzien
- Direkt einsetzbar
- Für die Trinkwasser-, Desinfektions- und Korrosionskontrolle

MACHEREY-NAGEL

www.mn-net.com





ellen fritsche,

... Die Forscherin und ihr Team entwickelten verschiedene Tests auf der **Basis von Stammzellen** ...

die testentwicklerin

— Karin Hollricher

Auf einen nicht alltäglichen Karriereweg blickt Ellen Fritsche zurück. Die Düsseldorferin studierte Medizin, stellte aber schon als angehende Ärztin fest, dass die Arbeit in der Klinik nicht so ihr Ding ist. Sie wechselte in die Forschung. „Zunächst ging ich mit einem Stipendium in die USA und lernte, wie Forschung geht. Als Rückkehrerin nach Deutschland begann ich, an Alternativen zum Tierversuch zu arbeiten, um die Mechanismen von toxischen Substanzen zu verstehen. Wenige Jahre später empfahl der amerikanische National Research Council, Tierversuche so weit wie möglich durch humanbasierte In-vitro-Systeme zu ersetzen“, erzählt die 54-jährige Düsseldorferin. „Das passte vom Timing her perfekt zu meinen Forschungsarbeiten, also blieb ich dabei.“ Zur richtigen Zeit an der richtigen Stelle, so lässt sich Karriere machen. Heute leitet Fritsche eine Arbeitsgruppe am IUF, dem Leibniz-Institut für umweltmedizinische Forschung in Düsseldorf, und sitzt in verschiedenen nationalen und internationalen Gremien, die sich mit der Bewertung der Giftigkeit von Substanzen beschäftigen.

Kann man Alternativen zu Tierversuchen eigentlich unter dem Begriff Nachhaltigkeit einordnen? „Aber natürlich!“, betont Fritsche. „Nicht nur, dass man Tierversuche reduziert oder so-

gar ersetzt. Alternativmethoden sind auch viel kostengünstiger und man kann in kürzerer Zeit eine größere Anzahl Substanzen testen.“

Die Forscherin und ihr Team entwickelten verschiedene Tests auf der Basis von Stammzellen. Sie verwendeten induzierte pluripotente Stammzellen, die sich in Kultur, je nach zugesetzten Signalmolekülen, entweder zu Zellen des Nervensystems oder auch zu Herzmuskelzellen differenzieren. Daran kann man den Einfluss von Substanzen sowohl auf die sich entwickelnden Herz- und Gehirnzellen, als auch auf reifere Zellen prüfen. Diese Tests an den noch unreifen Herzmuskelzellen sind deshalb so interessant, weil sich Herzen sehr früh während der Entwicklung des Embryos bilden. Wenn da etwas schief läuft, kommt es zum Abort. Dieser Test ist zwar publiziert – aber jetzt liegt die weitere Forschung auf Eis, denn die Förderung wird nicht verlängert. „Das ist allerdings nicht sehr nachhaltig“, sagt Fritsche. „Denn für Tests mit derart empfindsamen Zellen muss man das fachkundige Personal behalten. Geht dieses Knowhow verloren, funktioniert mitunter auch der Test nicht mehr.“

Ausgereift sind dagegen auf Stammzellen basierende Entwicklungs-Neuro-Toxizitätstests. Mit diesen lässt sich herausfinden, ob Substanzen nachteilig auf die Bildung des Gehirns wirken. „Wir haben diese Prozesse im Rahmen der Grundlagenforschung untersucht und auf dieser Basis Tests entworfen, die unter Standardbedingungen funktionieren“, sagt Fritsche. Die Tests bietet sie als Service über ihre frisch gegründete Firma DNTOX an.

Bei diesem Projekt arbeitete die Forscherin schon früh mit den für Toxizitätstests zuständigen Behörden, der OECD, der



Ellen Fritsche arbeitet am Leibniz-Institut für umweltmedizinische Forschung in Düsseldorf mit Stammzellen, um die Mechanismen toxischer Substanzen zu verstehen und darauf basierend Alternativen zum Tierversuch zu entwickeln.

US-amerikanischen EPA und der europäischen EFSA, zusammen. „Es zeigt sich, dass akademische Partner sich so früh wie möglich an die zuständigen Behörden wenden sollten, wenn sie auf diesem Feld etwas nachhaltig verändern und Tierversuche so weit wie möglich ersetzen möchten.“

Die Forschungserfolge bewirkten einen Ruf an die Charité. Den lehnte Fritsche ab, denn sie bezweifelte, dass sie in Berlin die Kinderbetreuung, die sie im Rheinland weitgehend privat organisiert hatte, schnell wieder so gut eingerichtet bekäme. Das tat ihr „ein bisschen weh“. Aber heute ist die Wissenschaftlerin froh über diese Entscheidung. „In diesem Job wäre ich nicht mehr so nah an der Forschung, doch das ist genau das, was ich will. **Wir entwickeln Testmodelle, um damit sowohl Grundlagenforschung als auch Substanztestungen durchzuführen. Dafür ist ein Leibniz-Institut mit dem Motto „Theoria cum Praxi“ der ideale Ort.** Rückblickend bin ich auch froh, Medizin studiert zu haben, da ich nun mit einer Perspektive auf die Forschungsarbeit schaue, die sich mit der der Naturwissenschaftler perfekt ergänzt.“ —



Weg vom FBS!

Nachhaltige Zellkultur mit dem Humanen Plättchenlysat!

hPL ist auch für
Deine Zellen geeignet!
Lies doch selbst:





carl roth förder preis

Der Carl-Roth-Förderpreis wird von der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) an junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verliehen, deren Studienabschluss nicht länger als fünf Jahre her ist. Der Preis wird für ressourcenschonende Synthesewege oder innovative Anwendungen von Chemikalien vergeben.

Steckbrief

Dr. Jacob Schneidewind



Dr. Jacob Schneidewind ist seit Anfang 2022 unabhängiger Leiter einer Forschungsgruppe am Institut für Technische und Makromolekulare Chemie an der RWTH Aachen. Er wird durch ein Liebig-Stipendium des Fonds der Chemischen Industrie unterstützt. Sein Alter: 25.

Bereits als 11-jähriger Schüler hatte er nach Chemiebaukasten-Experimenten in der Garage unter anderem mit seinem Großvater, einem Chemieingenieur, das Berufsziel Chemiker fest im Auge. Hinzu kam mit 13 der Wunsch, mit Methoden der Chemie dazu beizutragen, dass die Menschheit klima- und umweltverträglicher wirtschaften kann. Dabei spielte sicher der Einfluss seines Vaters eine Rolle, Betriebswirt und Nachhaltigkeitsexperte. Jacob ergriff daher die Möglichkeit, als Schülerstudent bereits während der Schulzeit fünf Semester Chemie an der Universität zu Köln zu studieren.

Im Studium beschäftigte er sich unter anderem theoretisch mit der Nutzung von CO₂ und dachte sich Katalysatoren für dessen Umwandlung aus. Da er an der Kölner Universität keinen ausgewiesenen Experten auf diesem Gebiet fand, wandte er sich parallel an vier deutsche Professoren. Matthias Beller, Wissenschaftlicher Direktor des Leibniz-Instituts für Katalyse (LIKAT Rostock), reagierte – und bot ihm ein Forschungspraktikum an. Schneidewind ging daraufhin nach seinen Abiturprüfungen für fünf Wochen ans LIKAT.

„Inzwischen wollte ich aber mehr als nur ein Chemiestudium absolvieren und dabei prinzipiell genauso weitermachen wie im Schülerstudium“, so Schneidewind. Daher hatte er sich unter anderem in Yale in den USA am Liberal Arts College beworben, das eine breite Allgemeinbildung vermittelt. Da hatte die Yale University zusammen mit der National University of Singapore gerade das erste Liberal Arts College in Asien gegründet. Dafür angenommen, ging Schneidewind nach dem Praktikum in Rostock nach Singapur: für ein Studium mit Fokus auf Literatur, Philosophie und Sozialwissenschaften.

Allerdings fand er dort keine Gelegenheit, um parallel zum Studium Generale seine Leidenschaft für die chemische Forschung auszuleben. Daher kehrte er nach einem Jahr zurück nach Deutschland. Dort absolvierte er an der Universität Rostock unter Anerkennung von Leistungen, die er in Köln und Singapur erbracht hatte, in nur drei Semestern das Bachelor- und das Master-Chemiestudium. Anschließend promovierte er am LIKAT.

neue wege zu grünem Wasserstoff

Unsere Forschung hat vielversprechende Ansätze aufgezeigt, um Wasserstoff mittels erneuerbarer Energie kostengünstig zu produzieren.

— Jacob Schneidewind, Carl-Roth-Förderpreisträger 2022

Wasserstoff gilt in Deutschland als wesentlicher Baustein der Energiewende. Denn er kann Wind- und Sonnenenergie in Zeiten des Überangebots speichern und später – bei Bedarf – wieder freisetzen. Wasserstofftechnologien ermöglichen es außerdem, die oft getrennt betrachteten Energiesektoren – Strom, Wärme, Industrie und Verkehr – zu koppeln und umfassend zu optimieren. Beispielsweise kann die Industrie bei einem Überangebot an erneuerbarem Strom Wasserstoff herstellen, der dann zum Antrieb von Brennstoffzellen-Fahrzeugen verwendet wird. Wasserstoff lässt sich zudem zusammen mit dem Treibhausgas CO₂ in kohlenstoffbasierte Energieträger und chemische Grundstoffe wie Diesel, Methan oder Methanol umwandeln. Neben Deutschland haben auch viele andere Länder Strategien entworfen, um ihre Volkswirtschaft auf den umfassenden Einsatz von grünem Wasserstoff umzustellen.

Die bekannteste Möglichkeit, grünen Wasserstoff zu produzieren, ist die katalytisch vermittelte elektrolytische Spaltung von Wasser mit Hilfe von Strom, der aus Sonne und Wind stammt. Dieses Verfahren ist technisch weit entwickelt und zahlreiche Unternehmen weltweit bieten entsprechende Anlagen – Elektrolyseure – an. Allerdings ist die Herstellung des grünen Wasserstoffs immer noch teurer als die von „grauem“ Wasserstoff aus fossilen Quellen wie etwa Erdgas. **Daher sind gegenwärtig noch mehr als 95 Prozent des weltweit verfügbaren Wasser-**

stoffs grau. Dessen Produktion ist mit erheblichen Mengen an CO₂-Emissionen verknüpft, sodass sich auf ihm keine klimaneutrale Wasserstoff-Wirtschaft aufbauen lässt.

Photokatalyse statt Elektrolyse

Damit grüner Wasserstoff möglichst schnell konkurrenzfähig wird, müssen die Kosten für seine Herstellung weiter gesenkt und die entsprechende Technologie möglichst rasch überall verfügbar gemacht werden. Aussichtsreich ist es, den Umweg bei der Wasserspaltung über die Elektrolyse zu vermeiden. Wie es uns die Natur bei der Photosynthese der grünen Pflanzen vormacht, kann Wasser durch Sonnenlicht direkt in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt werden. Diese photokatalytische Wasserspaltung kann in sehr einfachen Reaktoren, zum Beispiel Plastikbeuteln, durchgeführt werden.

Was ist ein Katalysator?

Chemiker definieren Katalysatoren als Stoffe, die die Aktivierungsenergie einer Reaktion herabsetzen und dadurch die Reaktionsgeschwindigkeit erhöhen. Sie selbst gehen unverändert aus der Reaktion hervor. In der Realität altern sie im Dauereinsatz jedoch. Rund 70 Prozent aller Herstellungsverfahren in der chemischen Industrie sind auf Katalysatoren angewiesen.

Es gibt zahlreiche Beschreibungen, die Nicht-Chemikern die Funktion eines Katalysators anschaulich erklären. Eine davon vergleicht Katalysatoren mit Heiratsvermittlern, weil sie es den reagierenden Molekülen erleichtern, neue Bindungen einzugehen. Tatsächlich ist auch das chinesische Schriftzeichen für das Wort Katalysator vom Zeichen für das Wort Heiratsvermittler abgeleitet.

Weltweit forschen Kollegen seit Jahrzehnten an solchen photokatalytischen Verfahren. Im Mittelpunkt steht dabei die Suche nach einem geeigneten Photokatalysator, der im industriellen Maßstab nutzbar ist. Dabei haben sich die Chemiker meist vom Mechanismus der natürlichen Photosynthese inspirieren lassen: Dabei entstehen aus jeweils zwei Wasser-Molekülen ein Sauerstoff-Molekül (O₂) sowie exakt vier Protonen des Wasserstoffs (H⁺) und vier Elektronen. Die Energie für die Freisetzung der vier Elektronen stammt von ebenfalls vier Lichtteilchen (Photonen). Um genügend Photonen zu sammeln, benutzt die Natur mehrere absorbierende Zentren.

Entsprechend sind sich die meisten photokatalytischen Verfahren, die Chemiker entwickelt haben, in ihrer prinzipiellen Arbeitsweise ähnlich: Die photoaktive Komponente, in der Regel ein Halbleiter,

absorbiert ein Lichtteilchen (Photon) und erzeugt ein Elektron-Loch-Paar. Das Loch wandert dann zur aktiven Stelle für die Wasseroxidation, die in den meisten Fällen ein spezieller Wasseroxidationskatalysator ist. Dies führt zu einer Ein-Elektronen-Oxidation des Katalysators. Nach vier dieser Absorptions-Oxidationsvorgänge wird O₂ abgeschieden. Dabei werden auch Protonen freigesetzt. Diese verbinden sich an der aktiven Stelle für die Wasserreduktion – häufig ebenfalls ein spezieller Katalysator – mit Elektronen, um Wasserstoff zu bilden.

Vier Photonen, zwei Probleme

Daraus ergeben sich vor allem zwei Probleme. Erstens: Da jede Photonenabsorption nur ein Elektron-Loch-Paar erzeugt, ist die Absorption von vier Photonen erforderlich, um die Reaktion abzuschließen. Bei jeder Oxidation um ein Elektron wird ein zunehmend reaktives Zwischenprodukt des Wasseroxidationskatalysators gebildet, das vor der nächsten Photonenabsorption zerfallen oder sich zersetzen kann. Das senkt die Produktivität und Effizienz dieser Systeme, was dazu beiträgt, dass sie noch nicht für die kommerzielle Anwendung geeignet sind.

Zweitens: Die Katalysatoren nutzen nur blaues Licht und UV-Licht, also nur einen kleinen Teil des Sonnenspektrums. Denn alle Elektron-Loch-Paare werden von der gleichen photoaktiven Komponente mit dem gleichen Mechanismus erzeugt.

Vor diesem Hintergrund haben wir am Leibniz-Institut für Katalyse (LIKAT) nach untypischen lichtgetriebenen Wasserspaltungsreaktionen gesucht, um möglicherweise neue, erfolgversprechende Mechanismen zu identifizieren. Dabei stießen wir auf eine solche Reaktion, die 2009 von einem Team um David Milstein vom Weizmann-Institut, Israel, mit Hilfe eines Katalysators auf Basis des Edelmetalls Ruthenium im Fachmagazin Science beschrieben wurde [1]. Ungewöhnlich daran

war, dass die Photolyse nicht an mehreren katalytischen Zentren, sondern nur an einem einzigen erfolgte. Niemand verstand daher die Reaktion wirklich: Dass ein katalytisches Zentrum allein vier Photonen absorbieren würde, erschien unwahrscheinlich – ebenso, dass die Energie eines einzelnen Photons ausreicht, um Wasser zu spalten.

Wir begannen, die Reaktion der israelischen Kollegen im Labor nachzustellen. Zunächst gelang das nicht. Später stellte sich heraus, dass der Misserfolg auf einen ungewöhnlichen Effekt zurückzuführen war: Wir hatten ein höheres Verhältnis von Wasser zum katalytisch wirkenden Ruthenium-Komplex gewählt als die Kollegen, was normalerweise ohne Einfluss auf die Reaktion sein sollte. Doch dadurch bildete sich ein anderer Ruthenium-Komplex, der katalytisch nicht aktiv war.

Nachdem wir unser Experiment entsprechend angepasst hatten, lief zwar die Wasserspaltung ab, aber mit einer deutlich geringeren Ausbeute als von Milstein und Kollegen berichtet. Auf der langen Suche nach der Ursache verblieb letztlich nur die Lichtquelle. Das israelische Team hatte eine herkömmliche Halogenlampe mit einem recht breiten Lichtspektrum benutzt, während wir eine Lampe einsetzten, die auf das Absorptionsspektrum des katalytisch wirkenden Komplexes abgestimmt war und überwiegend Licht im Wellenlängenbereich zwischen 320 und 400 Nanometern emittierte. **Als wir schließlich eine Lampe verwendeten, die zusätzlich grünes und gelbes Licht im Bereich von 500 bis 600 Nanometern abgab, steigerte sich unsere Ausbeute um den Faktor 3.**

Neuer Mechanismus

Das erschien paradox, war aber der Startpunkt zum Verständnis des Reaktionsmechanismus. Theoretische Berechnungen und Folgeuntersuchungen belegen:

Der ursprüngliche Ruthenium-Komplex wandelt sich nach der Absorption eines Photons um in eine neue Verbindung, die ein zweites Photon mit längerer Wellenlänge absorbieren kann. Die Absorption dieses zweiten Photons führt direkt zur Bildung der Sauerstoff-Sauerstoff-Bindung und ermöglicht die anschließende Freisetzung von molekularem Sauerstoff und Wasserstoff [2]. Dieser Zwei-Photonen-Mechanismus ist kinetisch weniger komplex als der Vier-Photonen-Mechanismus der Photosynthese und nutzt eine größere Bandbreite des Lichts als herkömmliche künstliche Katalysatoren. Mit ihm sollte es daher möglich sein, die Energie des Sonnenlichts besonders effizient für die Wasserspaltung zu nutzen. Unsere Ergebnisse weisen somit einen Weg zu einer besonders kostengünstigen Wasserstoff-Herstellung.

Allerdings: Der Komplex von Milstein und seinem Team weckt zwar Hoffnungen, ermöglicht aber noch keine wettbewerbsfähige Produktion von grünem Wasserstoff. Denn die Ausbeute an Wasserstoff ist sehr gering. Unsere Aufgabe an der RWTH Aachen in den kommenden Jahren wird es daher sein, Katalysatoren zu entwickeln, die das Potenzial des neu entdeckten Zwei-Photonen-Mechanismus ausschöpfen.

Technisch-ökonomische Analyse

Unsere Gruppe in Aachen wird stets im Auge behalten, ob unsere jeweiligen Forschungsaktivitäten zur Wasserstoff-Produktion und Wasserstoff-Nutzung tatsächlich zu Nachhaltigkeitsfortschritten führen können. Um das einzuschätzen, werden wir technisch-ökonomische Analysen und Life-Cycle-Analysen durchführen. Eine erste technisch-ökonomische Analyse hat bereits einige Eckdaten für eine wirtschaftlich konkurrenzfähige, photokatalytische Produktion von grünem Wasserstoff festgelegt: Die notwendige Menge an Katalysator sollte möglichst weniger als 0,2 Gramm pro Liter Wasser

[1] S. W. Kohl et al., 2009, *Science* 324, 74-77

[2] J. Schneidewind et al., 2021, *Energy & Environmental Science*, 14(8), 4427-4436

[3] J. Schneidewind, 2022, *Advanced Energy Materials*, 2200342

[4] J. Schneidewind et al., 2017, *Angewandte Chemie Int. Ed.* 56, 1890-1893



Dr. Jacob Schneidewind

bei der Preisverleihung des Carl Roth Förderpreises 2022

sein. Und der Sonnenenergie-zu-Wasserstoff-Wirkungsgrad müsste mindestens sechs Prozent betragen [3] – die besten existierenden Photokatalysatoren, die auf dem herkömmlichen 4-Photonen Mechanismus basieren, erreichen einen Wirkungsgrad von zwei bis drei Prozent. –



Carl Roth Förderpreis

Das Master-Stück

In seiner Masterarbeit hatte Jacob Schneidewind einen Katalysator für die Umsetzung von Kohlendioxid (CO_2) und Wasserstoff zu Methanol entwickelt [4]. Dieser Cobalt-Katalysator zeichnet sich durch zwei Besonderheiten aus. Erstens: Er ermöglicht es, die genannte Reaktion bei einer Temperatur von unter 100 Grad Celsius durchzuführen, während üblicherweise mehr als 200 Grad erforderlich sind. Zweitens: Er ist frei von Edelmetall und entsteht aus $[\text{Co}(\text{acac})_3]$, Triphos und HNTf_2 in einer Lösung, in der dann auch die Reaktion stattfindet. Bisher waren nur feste edelmetallfreie Katalysatoren bekannt. Ein echter Fortschritt für den Klimaschutz ist diese Art der Methanolherstellung allerdings nur dann, wenn der eingesetzte Wasserstoff grün ist. Daher hat sich Schneidewind nach seiner Masterarbeit dem Problem zugewandt, wie sich grüner Wasserstoff kostengünstig produzieren lässt.

Nutzen Sie den wertvollen Platz in Ihrem Labor optimal

Reinstwasser für Anwendungen in Biowissenschaften und Analytik mit Omnia xs^{touch} BlueLine

Ihre Vorteile:

- Kompakte Bauweise im xs Format
- Farb-Touch-Display: intuitiv bedienbar, auch mit Laborhandschuhen
- Autonomes System für konstant höchste Wasserqualität
- Hohe Betriebs- und Arbeitssicherheit durch Leckage-Sensor oder Druckminderer
- Höchste Qualitätsstandards gemäß ASTM
- Platzsparend auf dem Labortisch oder im Laborunterschrank

BlueLine-Serie für mehr Ressourceneffizienz

- Kartuschen mit Kapazitätsanzeige
- Nutzungsabhängige Austauschzyklen
- Rückspülbarer, langlebiger Ultrafilter
- Verpackung aus biomassebilanziertem Styropor



stakpure GmbH
info@stakpure.com • www.stakpure.de

stakpure

biologie

wirft

interview mit
jürgen eck

— Karin Hollricher

weg

nichts

Jürgen Eck hat eine Leidenschaft für biotechnische Lösungen. Er arbeitete viele Jahre daran, mit Hilfe von Mikroorganismen chemische Prozesse durch biologische, umweltschonendere Methoden zu ersetzen. Eck ist auch Mitglied im deutschen Bioökonomierat. Wir sprachen mit ihm darüber, was die Biotechnologie zu einer nachhaltigen Wirtschaft beitragen kann.

Wenn man über Nachhaltigkeit im wissenschaftlichen Kontext spricht, fällt schnell das Wort Bioökonomie. Was versteht man darunter?

Viele denken bei Bioökonomie nur an die Nutzung von Biomasse, aber Bioökonomie ist viel mehr als das. Der Begriff steht für eine umfassend nachhaltige Wirtschaftsform. Um bis 2045 klimaneutral zu sein, müssen wir unsere aktuell auf Erdöl basierende Wirtschaft umwandeln in eine Form, in der fossile Ressourcen durch nachwachsende Rohstoffe ersetzt und erneuerbare Energieformen genutzt werden. Dafür müssen wir ein neues Wirtschaftssystem entwickeln, aber auch in der Gesellschaft brauchen wir ein Umdenken.

Was können denn die Lebenswissenschaften dazu beitragen?

Heute haben wir überwiegend lineare Stoffwege, das heißt, fossile Ressourcen

werden aus dem Boden geholt, zu Produkten umgesetzt und diese am Ende ihrer Lebensdauer in der Regel vernichtet. Oder es wird CO₂ als Endprodukt der Kette freigesetzt. Wir verlieren diese Ressourcen also. Nachhaltig ist es, wenn wir Stoffkreisläufe kreieren, also die primär eingesetzten Rohstoffe immer wieder und wieder verwenden. Die Biotechnologie ist eine der Schlüsseltechnologien, um solche Kreisläufe zu etablieren.

Warum Schlüsseltechnologie?

Weil die Biologie nichts wegwirft. In den Milliarden Jahren der Evolution haben die Organismen gelernt, alles wieder zu verwerten. Selbst das CO₂ wird wieder in den Stoffkreislauf eingebunden. Wir müssen herausfinden, ob und wie wir diese Stoffwechselwege mit all den Enzymen, Organismen und Naturstoffen für unsere Probleme nutzen können. Die Forschung liefert die Basis für neue Lösungen zur

Kreislaufverwertung von Materialien und Ressourcen. Beispielsweise entwickelte das französische Unternehmen Cabrios ein enzymatisches Verfahren, womit man bei moderaten Temperaturen und Normaldruck die Polymere von PET-Flaschen in ihre Monomere zerlegen kann. Aus diesen Monomeren kann man dann wieder Polymere für neue PET-Flaschen synthetisieren. Die Enzyme sind Werkzeuge der Natur, die eine der Natur unbekannte PET-Flasche in ein Recycling führen können. Es gibt jede Menge Beispiele, etwa Verfahren zum Bio-Leaching, auf Deutsch Biolaugung. Darunter versteht man die Rückgewinnung von Metallen aus Abfallstoffen mit der Hilfe von Mikroorganismen. Das können Kupfer, Zink, Gold und auch Lithium sein.

Nun muss man neu entwickelte biotechnische Methoden vom Labormaßstab in den industriellen Maßstab hochskalieren. Werden die genannten Beispiele technisch-industriell bereits genutzt?

Ja, die Anzahl der biotechnologischen Prozesse in industriellem Maßstab wächst stetig und viele Produkte unseres täglichen Lebens werden mittlerweile mit

der Hilfe von Enzymen, Fermentationsmikroorganismen oder nachwachsenden Rohstoffen ressourcen- und energieeffizient hergestellt. Das ist in jedem Einzelfall eine sehr anspruchsvolle Aufgabe, denn meistens treten wir gegen Verfahren auf Basis fossiler Rohstoffe an, die über Jahrzehnte optimiert wurden. Auch die Rohstoffwende ist in vollem Gange, selbst CO₂ als Quasi-Endprodukt unserer auf Kohlenstoff basierten Welt kann mittlerweile wieder als Rohstoff genutzt und zurück in den Stoffkreislauf gebracht werden (siehe Seite 24).

CO₂ wird bereits im industriellen Maßstab genutzt, oder nicht?

Die chemische Industrie ist tatsächlich schon jetzt sehr gut darin, das C1-Molekül CO₂ in ein anderes C1-Molekül,

zum Beispiel Methan, umzuwandeln. Sie nutzt dazu Energie in Form von Strom oder Wasserstoff. Um aber komplexere Moleküle zu generieren, müssen wir wieder von der Biologie abgeschauten Methoden anwenden. Verschiedene Arbeitsgruppen und Firmen, wie beispielsweise LanzaTech in den USA, BRAIN und b.fab in Deutschland, haben Mikroorganismen so verändert, dass sie CO₂ in Bernsteinsäure und andere chemische Grundstoffe mit vier oder mehr Kohlenstoffatomen umsetzen. Dies gelingt jetzt schon in technischem Maßstab.

Das wäre also nicht Recycling sondern Upcycling.

Stimmt. Aber wir brauchen mehr solcher Beispiele. Wir haben etwa ein echtes Problem bei der Wiederverwertung von

...
die Enzyme sind **Werkzeuge der Natur**, die eine der Natur unbekannte PET-Flasche in ein **Recycling** führen können
...

Papier. Mit jeder Aufarbeitung von Papier werden die Zellulosefasern kürzer – bis sie schließlich nur noch zur Herstellung von Versandkartons taugen. Wir bräuchten eine Methode, diese Fasern wieder zu verlängern.

Plastic as Science

At the end of Fifties, the plastics technological developments led naturally to the birth of the **Labware Division**, the Kartell section specifically dedicated to study and supply products for the laboratory market. The Division uses raw materials, such as Polypropylene, Polystyrene and Polyethylene to produce a wide range of lightweight, highly resistant and economic products, the natural alternative to the glass. *That's the reason why Kartell is today internationally known as a leader in high quality technical laboratory products.*

Kartell LABWARE
 Kartell S.p.A. - Via delle Industrie, 1
 20082 - Noviglio (MI) - Italy
 Tel. +39 02 900121
 Fax +39 02 90096789
 www.kartell.it
 labware@kartell.it



„Biotechnologie ist einer der Schlüssel zu einer post-fossilen Wirtschaft“, sagt **Jürgen Eck**. Der Biotechnologe, Erfinder, Unternehmer und Investor war 1993 Mitbegründer, CTO und CEO der Firma BRAIN in Zwingenberg, einem Pionier der industriellen Biotechnologie. Dort entwickelte er neue Methoden, um chemische Prozesse nachhaltiger zu gestalten. Seit Anfang 2021 beschäftigt er sich bei seinem neuen Unternehmen SymbioPharm in Herborn mit Mikrobiomen. Er ist außerdem Mitglied im Bioökonomierat.

Gibt es nicht biologische „Kopiervorlagen“?

Klar, aber leider nutzen Pflanzen, die ständig Zellulose aufbauen, sehr komplexe Synthesewege, die sich technisch nicht so einfach nachbauen lassen. Wenn Sie eine Idee dafür hätten, würden Sie wohl sehr viel Geld verdienen.

Wo soll die für die biotechnischen Verfahren nötige nicht-fossile Energie herkommen?

Die kommt einerseits aus den energiereichen nachwachsenden Rohstoffen, zum Beispiel Fermentationszucker, oder pflanzlichen Reststoffen. Aber zunehmende Bedeutung hat auch grüner Wasserstoff, der mit Hilfe von Solar- oder Windenergie durch Elektrolyse von Wasser hergestellt wird und von einigen Mikroorganismen als Energiequelle genutzt werden kann. Das sind vor allem Archaeen und Bakterien, die im Dunkeln leben und arbeiten können.

Was ist mit Algen? Die könnten die Sonnenenergie direkt nutzen.

Stimmt. Um jedoch das Sonnenlicht effizient zu nutzen, muss man die Algen hierfür in speziellen Bioreaktoren in der Fläche kultivieren. Das bedeutet, dass man für ein paar Liter Algenkultur mehrere Quadratmeter Fläche bereitstellen muss, was für eine industrielle Produktion

die gleichen Probleme aufwirft wie die Suche nach Flächen für große Solarparks. Da fährt man mit Bakterien und Archaeen in einem Fermenter besser und wirtschaftlicher, da man hier wesentlich einfacher in den Tonnen-Maßstab skalieren und rund um die Uhr, Tag und Nacht, produzieren kann.

Wie gut unterstützen die Forschungsförderer denn solche Arbeiten zur nachhaltigen Biotechnologie?

Sehr stark. Gerade das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat viele Programme unter dem Dach der Bioökonomie und steckt viele Fördermittel hinein. Das ist wirklich richtig gut.

Also dürfen wir in Kürze viele neue Verfahren erwarten?

Es gibt da ein Problem: Es mangelt nicht an guten Ideen und brillanten Köpfen, aber leider bleiben viele Ideen im Forschungslabor hängen oder scheitern an der Finanzierung für den Transfer. Ein BMBF fördert Projekte. Ein Investor aber fördert PPP, also People, Patents, Products. Dieser Übergang gelingt uns noch nicht gut. Wir müssen uns jetzt viel intensiver mit den Themen Gründungskultur, Prinzipien des Technologietransfers und Innovationsfinanzierung befassen. **Der Volkswirtschaftler Joseph Schumpeter,**

der den Begriff Innovation in die Welt setzte, postulierte schon vor etwa 100 Jahren, was man dafür braucht, nämlich den Erfinder, den Unternehmer und das Kapital. Das hat nach wie vor Gültigkeit. Am Unternehmertum und dem notwendigen Wachstumskapital mangelt es ganz gewaltig.

Große Chemiefirmen hätten beides. Ist es für sie attraktiv, gut funktionierende chemische in biotechnologische Prozesse umzustellen?

Das geht nur über das Geld. Denn man muss sich schon fragen: Warum sollte eine Firma, die jährlich tausende Tonnen Bernsteinsäure aus fossilen Rohstoffen herstellt, eine neue Technologie einführen, um das gleiche Produkt aus nachwachsenden Rohstoffen zu produzieren? Das gelingt nur über das Einpreisen von Umweltkosten beziehungsweise die Bepreisung von CO₂-Emissionen. Die Attraktivität solcher Prozesse hängt natürlich von den Kosten ab. Je höher die Kosten für eine Tonne freigesetztes CO₂ sind, desto wirtschaftlicher ist die Bio-Produktion von Kohlenwasserstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen oder gar aus Kohlendioxid. CO₂ ist in Zukunft der einzige Rohstoff mit einem negativen Preis, wenn man nämlich die Zertifikate verrechnen kann.

Sie setzen also auf die Innovationskraft kleiner Firmen?

Ja, denn die sind viel schneller und agiler darin, neue Netzwerke zur Wertschöpfung aufzubauen, als das große Firmen können oder wollen. Aber der Kapitalmarkt, das Innovationssystem und die Gesellschaft müssen ermöglichen, dass auch kleinere Betriebe neue Ideen in neue Produkte umsetzen können. Ein gutes Beispiel in Richtung Bioökonomie sehen wir bei Herstellung von Nahrungsmitteln. Hier sind gerade kleine Firmen sehr aktiv.

Vegetarische Nahrung kommt doch vom Acker und nicht aus dem Labor.

Das ist natürlich richtig. Wenn wir jedoch mit Blick auf die Klimaziele die tierischen Lebensmittel um rund 75 Prozent reduzieren, dann stellt sich die Frage, wo in Zukunft bei einer zugleich wachsenden Weltbevölkerung ausreichend Nahrungsprotein herkommt. Es gibt Firmen, die Methoden entwickeln, um Fleisch- oder Fischprotein durch pflanzenbasiertes Eiweiß zu ersetzen. Die Schweizer Firma Planted stellt aus Erbsenprotein ein Produkt her, das dem Hühnerfleisch sehr ähnlich ist. Das tischt übrigens der Sternekoch Tim Raue in seinem Berliner Restaurant bereits auf. Noch besser sind Lösungen, die für die Versorgung mit Nahrungsproteinen keine weiteren Agrarflächen benötigen,

wo wir also nicht alle Äcker mit Soja und Erbsen bepflanzen müssen, was in direkter Konkurrenz zum Naturschutz steht. Auch hier ist wieder die Biotechnologie der Schlüssel für die Innovation. So gelingt schon heute verschiedenen Unternehmen weltweit die fermentative Herstellung von tierfreiem Milcheiweiß als Basis für Produkte, wie wir sie heute aus Kuhmilch kennen. Und in Finnland nutzt die Firma Solar Foods sogar Kohlendioxid plus Sonnenenergie zur Herstellung des Proteinpulvers Solein.

Arbeitet man nicht auch an Fleischprodukten, die in vitro erzeugt werden?

Ja. Es gibt erste Formen von Hähnchen- und Rindfleisch aus der Kulturschale. In Singapur kann man es bereits kaufen.

Fassen wir zusammen: Die bioökonomische Wirtschaft ist ...

... die Zukunft und die Biotechnologie ist der Schlüssel dazu. Wir müssen die Rohstoffbasis komplett umstellen und neue Produkte etablieren, die man in Stoffkreisläufe einpassen kann. Die Kombination von Biologie und Technologie liefert dafür neue Lösungen. Die Gewinner der alten Wirtschaft waren die Inhaber von Rohstoffen. Ich glaube fest daran, dass die Gewinner der Bioökonomie die Inhaber dieser neuen Technologien sein werden. —

Superior
TEMPERATURE
TECHNOLOGY for a
better **Life**



Julabo
THE TEMPERATURE CONTROL COMPANY

Die neue innovative Kältemaschine 450F

Kompakt, leistungsstark, umweltfreundlich und wahlweise mit natürlichem oder synthetischem Kältemittel verfügbar. In Kombination mit den Thermostatserien CORIO, DYNEO oder MAGIO die ideale Lösung für umweltbewusste Anwender.

www.julabo.com

treib- hausgas

CO₂

soll die
chemieindustrie
retten

— Frank Frick

01

In einer künftigen klimaneutralen Wirtschaft entfallen Erdöl, Erdgas und Co. als Kohlenstoffquelle für unzählige Konsumprodukte.

02

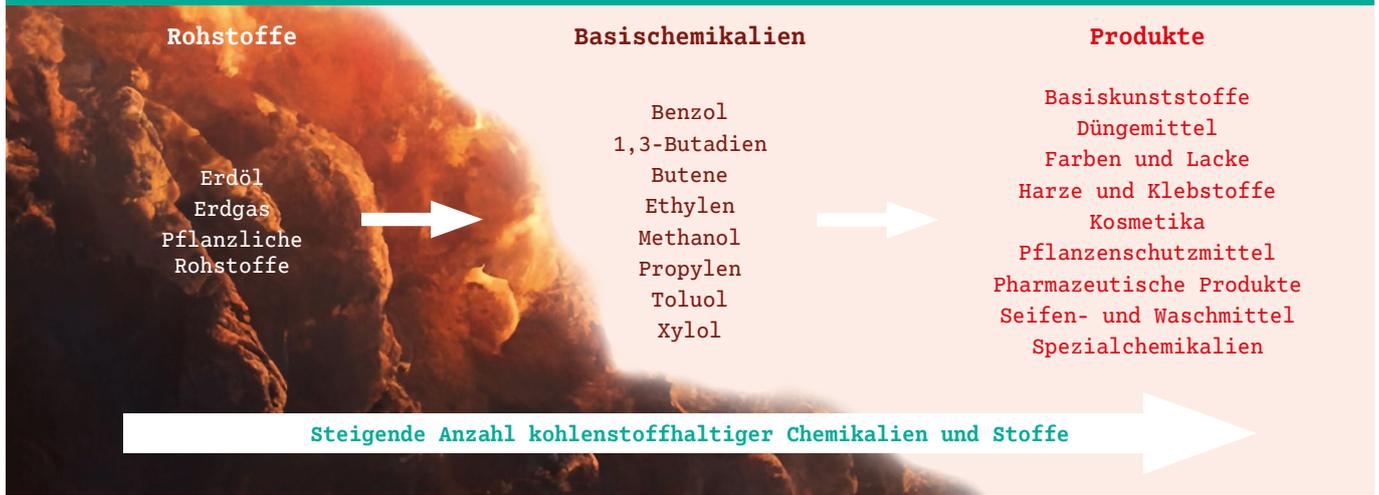
Daher arbeiten zahlreiche Forschergruppen und Unternehmen – oft bereits erfolgreich – an Methoden, Kohlendioxid (CO₂) wiederzuverwerten.

03

Ob das CO₂-Recycling den Klimaschutz tatsächlich voranbringt, muss für jedes Verfahren mit Hilfe einer vollständigen Ökobilanzierung beurteilt werden.

Ohne ihn kann die Industrie keine Kunststoffe, Kosmetika und Medikamente herstellen: Kohlenstoff. Derzeit stammt er hauptsächlich aus Erdöl, Erdgas und Kohle, in Deutschland zu fast 90 Prozent. Daher arbeiten Forschende weltweit intensiv daran, eine andere Quelle zu erschließen: Kohlendioxid (CO₂).

Vereinfachtes Schema der Wertschöpfungskette in der Organischen Chemie



Letztes Jahr verankerte die Europäische Union (EU) gesetzlich das Ziel, im Jahr 2050 klimaneutral zu sein: Alle durch die Bevölkerung verursachten Emissionen von CO₂ und anderen Treibhausgasen müssen wieder aus der Atmosphäre entfernt werden. Für die Gesellschaft – und damit auch für die chemische Industrie – bedeutet das bekanntermaßen, dass sie ihren Energiebedarf dann nicht mehr decken kann, indem sie Kohle, Erdgas oder Erdöl verbrennt. Heute gehen rund 76 Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen auf das Konto dieser energetischen Nutzung fossiler Rohstoffe [1].

Darüber hinaus existiert eine weitere Herausforderung: Kohlenstoffhaltige Konsumgüter, die aus Erdöl und Co. hergestellt werden, setzen CO₂ frei, sofern sie nach Gebrauch in der Müllverbrennung landen oder mikrobiell zersetzt werden. Deshalb müssen für eine künftige klimaneutrale Wirtschaft andere Quellen für Kohlenstoff erschlossen werden, der unter anderem für Verpackungen, Reifen, Lacke sowie Gehäuse von Smartphones und Unterhaltungselektronik benötigt wird. Eine dieser

Quellen sind Rohstoffe wie Holz oder Stroh, in denen während des Pflanzenwachstums CO₂ aus der Atmosphäre gebunden wurde (siehe auch Infokasten „Natürlicher Kohlenstoff-Kreislauf“, S. 29). Eine weitere Möglichkeit besteht darin, für die Kohlenstoffgewinnung CO₂ aus Abgasen oder der Luft als Rohstoff zu nutzen. Tatsächlich arbeiteten 2021 laut eines Berichts des US-Marktforschungsinstituts Lux Research weltweit mehr als 80 Unternehmen an diesem Ansatz [2]. Willkommen zum „Wettlauf um die Wiederverwertung von Kohlendioxid“ (The Race to Recycle Carbon Dioxide), titelte Nature im März dieses Jahres einen Bericht dazu [3].

Das Problem: Kohlendioxid-Recycling kann leicht zu einem Schildbürgerstreich werden, also zu einer Handlung, deren eigentlicher Zweck in dümmlicher Weise verfehlt wird. Um nämlich das energiearme und reaktionsträge CO₂ wiederzuverwerten, benötigt man Energie – die aber darf nur aus erneuerbaren Quellen stammen. Ansonsten wäre die CO₂-Bilanz noch unausgeglichener als bislang.

[1] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/168588/umfrage/verteilung-der-emissionen-von-treibhausgasen-nach-sektoren-weltweit/>

[2] Lux Research, 2021, CO₂ Capture and Utilization: The Emergence of a Carbon Economy

[3] M. Peplow, 2022, Nature 603, 780-783

Bedarf an enormen Mengen „grünen“ Stroms

Was das bedeutet, rechneten Wissenschaftler der RWTH Aachen und der University of California in Santa Barbara 2019 mit Hilfe eines eigens entwickelten Computermodells aus [4]: Eine gänzlich CO₂-basierte Chemieindustrie würde demnach global mindestens 18,1 Petawattstunden – 18,1 Milliarden Megawattstunden – aus erneuerbarem Strom benötigen. Das ist mehr als die Hälfte des weltweit prognostizierten Bedarfs an elektrischer Energie im Jahr 2030 und übersteigt aktuelle Ziele für die Produktion „grünen“ Stroms erheblich. „Die stromintensive Transformation der Industrie hin zur Treibhausgasneutralität erfordert sehr viel und günstigen erneuerbaren Strom“, betont daher auch der Verband der Chemischen Industrie (VCI) in einem Positionspapier, das er im Mai dieses Jahres veröffentlichte [5].

Prinzipiell ist die stoffliche Nutzung von CO₂ nichts Neues. So setzt die chemische Industrie jährlich weltweit rund 150 Millionen Tonnen CO₂ mit Ammoniak zu Harnstoff um. Dieser dient als Düngemittel oder als Rohstoff für Harnstoffharze, die wiederum als Klebstoffe oder zur Imprägnierung und Isolierung eingesetzt werden. Ein anderer etablierter Prozess, bei dem CO₂ in großem Maßstab als Rohstoff verwendet wird, ist die Kolbe-Schmitt-Synthese: Das Gas reagiert mit Natriumphenolat zu Salicylsäure – unter anderem Baustein von Acetylsalicylsäure, besser bekannt unter dem Markennamen

Aspirin®. Die Chemieindustrie verwendet das CO₂ in solchen Verfahren allerdings nicht, um das Klima zu schützen, sondern weil sie sich damit – lange vor der Diskussion um Dekarbonisierung – einen kostengünstigen Rohstoff für die Produktion begehrter Chemikalien im großen Maßstab erschlossen hat.

Pionier aus Island

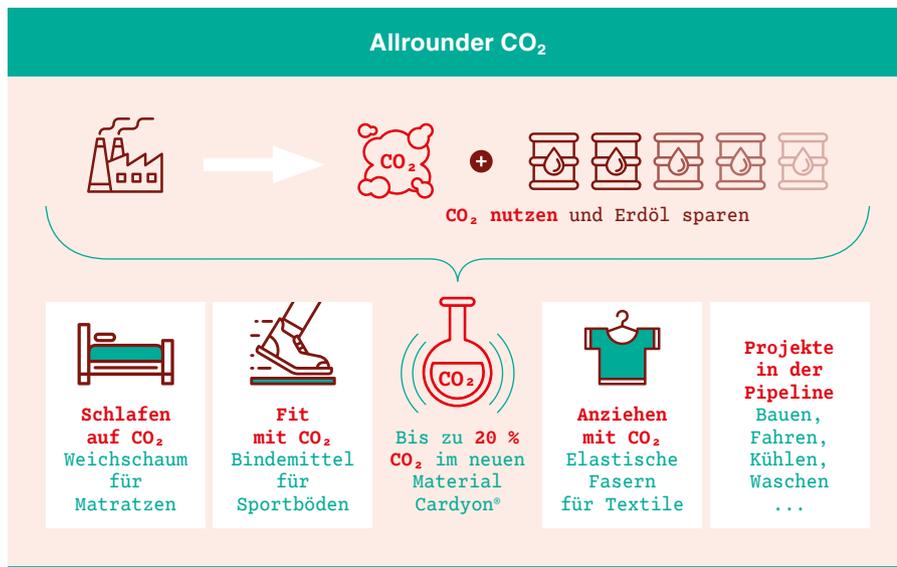
Im Gegensatz hierzu wurden in den letzten Jahren einige CO₂-basierte Prozesse mit explizitem Blick auf den Klimaschutz zur Marktreife entwickelt. Einer davon läuft in der Georg Olah Renewable Plant in Svartsengi, Island, nahe der Touristenattraktion Blaue Lagune. Die Anlage des Unternehmens Carbon Recycling International (CRI) nahm 2011 den Betrieb auf. Seit ihrer Erweiterung 2015 mischt CRI dort jährlich 5500 Tonnen CO₂ mit Wasserstoff. Erhitzt und unter Druck gesetzt, entsteht daraus mit Hilfe eines Katalysators Methanol. Dieser einfachste Vertreter der Alkohole gehört zu den organischen Chemikalien mit der höchsten Jahresproduktion, denn aus ihm werden zahlreiche andere Basischemikalien hergestellt. Außerdem kann er als Treibstoff dienen.

Ein Gewinn für das Klima ist das CRI-Verfahren, weil der Wasserstoff elektrolytisch mit „grünem“ Strom aus Geothermie und Wasserkraft gewonnen wird. Das CO₂ stammt aus dem Abgas einer Geothermie-Anlage. Obwohl dank der isländischen Naturkräfte erneuerbare Energie recht günstig zur Verfügung steht, kann das produzierte Methanol

Zielprodukte CO ₂ -basierter Synthesen			
	CO₂ $O=C=O$	Ameisensäure Konservierungsstoff, Klebstoffe, Vorprodukte	
		Anorganische Carbonate Mineralstoffe, Zement/Beton, Bodenverfestigung	
	Harnstoff Düngemittel, Kunstharze	Organische Säure Tenside, Pharmacy, Nahrungsmittelergänzung	Alkohole Lösemittel, Waschmittel
	Poly(propylen)carbonat Verpackungen/Folien	Salicylsäure Aspirin	Aldehyde Polymere, Lösemittel, Farbstoffe, Parfüme
	Polycarbonatetherol Polyurethan-Schäume	Organische Carbonate Pestizid, Polymer-Vorprodukte, Isoyanat-Vorprodukte	DME Kraftstoffzusätze, LPG-Substitut
	Cyclische Carbonate Lösungsmittel, Elektrolyte für Lithium-Ionen-Batterien	Methanol Essigsäure, Ethylen, Propylen, Polymer-Vorprodukte	

[4] A. Kästelhorn, R. Meys, S. Deutz, S. Suh, A. Bardow, 2019, PNAS 116 (23), 11187-11194

[5] VCI, 2022, Position kompakt: Energiewende und Versorgungssicherheit



preislich nicht mit seinem konventionellen, petrochemischen Pendant mithalten, wie Emeric Sarron, technischer Geschäftsführer von CRI, gegenüber Nature einräumte. Doch es gibt offensichtlich Kunden, die einen Aufpreis hinnehmen, um auf dem Gebiet der Nachhaltigkeit zu punkten. Katharina Schröder, Leiterin der Forschungsgruppe „Nachhaltige organische Synthese und Katalyse“ an der Technischen Universität Wien, macht darauf aufmerksam, dass es sich bei Methanol um eine der billigsten Grundchemikalien handelt. „Es ist daher relativ schwer, Methanol kosteneffizient herzustellen“, sagt sie. Dies sei ein Grund, warum sie selbst eher die nachhaltige Herstellung höherwertiger, komplexerer Moleküle erforsche [6].

CO₂ für Matratzen und Polster

Ein Unternehmen, das solche komplexeren Moleküle unter Nutzung von CO₂ bereits industriell herstellt, ist Covestro, hervorgegangen aus dem Bayer Geschäftsbereich MaterialScience. Covestro produziert Polyethercarbonatpolyole, die bis zu 20 Prozent CO₂ enthalten. Kunden des Leverkusener Unternehmens, das die Polyole unter dem Markennamen Cardyon® vermarktet, verarbeiten sie weiter zu Polyurethanschäumen etwa für Matratzen und für die Polster von Autositzen. Zudem werden mit diesen Molekülen Bindemittel hergestellt, die in Sportböden Verwendung finden. „Auch erste Prototypen von Dämmstoffen aus Hartschaum und Tensiden, die beispielsweise als Waschmittel eingesetzt werden, wurden kürzlich mit der CO₂-Technologie realisiert“, heißt es in einer Covestro-Mitteilung [7].

Schlüssel für die CO₂-Technologie, die gemeinsam mit der RWTH Aachen entwickelt wurde, ist ein Katalysatorsystem. Es beschleunigt die Umsetzung des reaktionsträgen CO₂ mit erdölbasiertem Alkylenoxid und lenkt die Reaktion so, dass die gewünschten Polyole entstehen. Dadurch wird der Prozess wirtschaftlich konkurrenzfähig.

Katalysatoren sind die Schlüssel

Die Suche nach effektiveren, langlebigeren und preiswerteren Katalysatoren ist eine wichtige Säule vieler Forschungsaktivitäten, bei denen es um die stoffliche Nutzung von CO₂ geht. Das gilt insbesondere für eine schon seit Jahrzehnten verfolgte Idee: Lässt sich nicht Sonnenlicht nutzen, um in miteinander gekoppelten Prozessen zum einen Wasserstoff aus Wasser zu gewinnen und zum anderen jenen Wasserstoff mit CO₂ umzusetzen? Produkte dieser Reaktion sind beispielsweise Kohlenwasserstoffe oder andere organische Chemikalien wie Alkohole oder gar Zucker. Das wäre das technische Gegenstück (siehe auch „Neue Wege zu grünem Wasserstoff“, S. 16) zur Photosynthese, wie sie in grünen Pflanzen abläuft.

Die natürliche Photosynthese lässt sich in zwei Teilprozesse untergliedern: die Licht- und die Dunkelreaktion. In der Lichtreaktion wird Licht von komplexen Molekülen eingefangen und in chemische Energie umgewandelt. Bei der sich anschließenden Dunkelreaktion katalysiert das Enzym Ribulose-1,5-bisphosphat-Carboxylase/Oxygenase (kurz RubisCO) die Bindung von atmosphärischem CO₂. Diese Carboxylase/Oxygenase arbeitet vergleichsweise

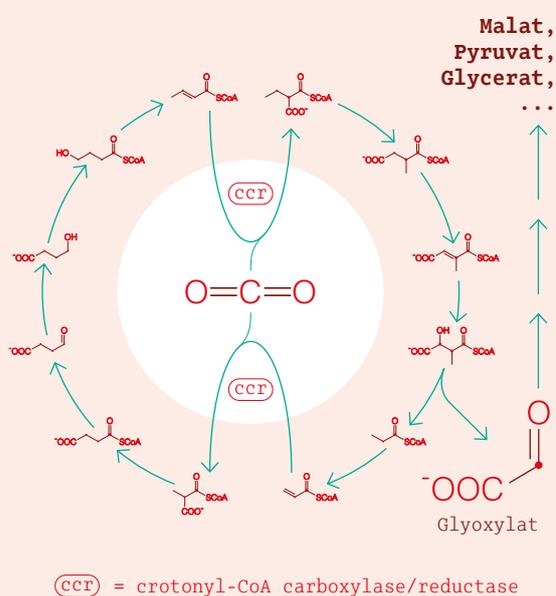
[6] www.tualumni.at/2021/05/kohlendioxid-als-legobaustein-fuer-die-nachhaltigkeit/

[7] www.covestro.com/press/de/covestro-traegt-mit-innovativer-co2-technologie-zur-nachhaltigkeit-bei-sportlichem-grossereignis-bei/



Tobias Erb, Direktor des Marburger Max-Planck-Instituts für terrestrische Mikrobiologie

CETCH-Zyklus



langsam, um die Fehlerrate gering zu halten. An diesem Punkt setzte Tobias Erb, Direktor des Marburger Max-Planck-Instituts für terrestrische Mikrobiologie, an: **Er entwickelte einen künstlichen Stoffwechselweg, den sogenannten CETCH-Zyklus, bestehend aus 15 bis 17 Einzelschritten, die von Hochleistungsenzymen aus ganz unterschiedlichen Organismen katalysiert werden – aus Bodenbakterien, Purpurbakterien, Gänserauke und der menschlichen Leber.** Er funktioniert sowohl außerhalb der Pflanze im Reagenzglas als auch in künstlichen Zellen und kann CO₂ erheblich effizienter verwerten als das natürliche Vorbild [8]. Doch bis zur industriellen Anwendung des CETCH-Zyklus werden auf jeden Fall noch Jahre vergehen.

Künstliche Blätter

Ähnliches gilt für viele Solar-Kohlenwasserstoff-Reaktoren, die oft plakativ als „künstliches Blatt“ bezeichnet werden. Einen dieser Mini-Reaktoren entwickelte ein internationales Team um Victor Mougel von der ETH Zürich und Marc Fontecave von der Universität Sorbonne, Paris [9].

Das künstliche Blatt der Forschenden besteht aus einer Solarzelle und einer elektrochemischen Zelle. Letztere enthält einen kostengünstigen Katalysator auf Basis von Kupfer. Dass dieser Katalysator sehr effizient arbeitet, trägt wesentlich dazu bei, dass der Mini-Reaktor einen Sonnenlicht-zu-Kohlenwasserstoff-Wirkungsgrad von 2,3 Prozent aufweist. Damit übertrifft er die durchschnittliche Leistung der pflanzlichen Synthese um das Doppelte.

Während diese Entwicklungen noch im experimentellen Status sind, befindet sich das unter dem Begriff „künstliche Photosynthese“ eingeordnete Projekt Rheticus bereits in der Hochskalierung auf ein industrielles Verfahren [10]. In einer Pilotanlage am Standort Marl des Chemiekonzerns Evonik werden in einem ersten Schritt Wasser und CO₂ elektrolytisch zu Synthesegas umgesetzt, womit hier eine spezielle Mischung aus Kohlendioxid und Wasserstoff gemeint ist. Dafür nutzen die Projektpartner – neben Evonik auch Siemens Energy – Strom aus erneuerbaren Quellen, allerdings nicht zwingend Solarenergie. Somit ist zwar wie bei der natürlichen Photosynthese erneuerbare Energie im Spiel, aber nicht unmittelbar Licht – von künstlicher Photosynthese zu sprechen, ist somit etwas weit hergeholt.

Innovativ ist besonders der zweite Schritt des Verfahrens: Spezielle Mikroorganismen setzen in einem Bioreaktor das Synthesegas zunächst für Forschungszwecke zu Spezialchemikalien um. Diese könnten künftig als Ausgangsstoffe für Kunststoffe oder Nahrungsergänzungsmittel dienen. „Das mit öffentlichen Mitteln geförderte Rheticus-Projekt wird Ende des Jahres mit einer vollständig fertiggestellten und validierten Pilotanlage beendet, die den gesamten Prozess ausgehend von CO₂, Wasser und Elektrizität in einer Größenordnung von 10 Tonnen pro Jahr durchführen kann“, sagt Thomas Haas, Projektkoordinator von Evonik Industries. Die Planungen sähen den Bau einer 5000-Tonnen-Anlage vor.

[8] T. Schwander, L. Schada von Borzyskowski, S. Burgener, N. S. Cortina, T. J. Erb, 2016, *Science* 354, 900-904

[9] T. Huan et al., 2019, *PNAS* 116 (20), 9735-9740

[10] www.creavis.com/de/erfolgsgeschichten/aktuelle-projekte/rheticus/ueber-rheticus

Eine Frage der Quelle?

Bei der Beurteilung, inwieweit ein Verfahren zur stofflichen Nutzung von CO₂ zum Klimaschutz beiträgt, spielen sicherlich die Art und Menge der eingesetzten Energie eine große Rolle. Aber ist es auch wichtig, ob das CO₂ direkt aus der Luft, aus Biogasanlagen oder aus den Abgasen von Fabriken stammt? Zumindest teilweise ist die CO₂-Quelle durchaus relevant. Solche, die in der Fachwelt als industrielle Punktquellen bezeichnet werden, weisen in starken Gasströmen hohe CO₂-Konzentrationen auf, sodass die Abtrennung und Aufreinigung des Kohlenstoffs daraus weniger Energie benötigt und weit kostengünstiger möglich ist als aus Luft. Die anfangs beschriebene schildbürgerhaft-negative Ökobilanz kann hierdurch vermieden werden.

So soll kurz nach Redaktionsschluss in der chinesischen Provinz Henan eine Anlage in Betrieb gehen, die dann jährlich 160.000 Tonnen CO₂ aus einem Koksofen für die Produktion von Methanol verwendet. Geplant wurde sie von Carbon Recycling International. **Und in Deutschland erforschen die Partner des Projekts Carbon2Chem, wie sich Methanol aus CO₂-haltigen Hüttengasen der Stahlproduktion gewinnen lässt.** In einem Labor am Fraunhofer UMSICHT in Oberhausen und einem Technikum neben dem Werksgelände der thyssenkrupp Steel AG in Duisburg soll das Verfahren bis 2025 zur Industriereife entwickelt werden.

Doch es gibt auch Wissenschaftler, die der CO₂-Nutzung aus industriellen Punktquellen absprechen, den Klimaschutz voranzubringen. Diese Kontroverse öffentlich geschildert hat beispielsweise das Konsortium des Kopernikus-Projektes „Power-to-X“, dem 50 Partner aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Industrie und Zivilgesellschaft angehören [11]. In ihrer „2. Roadmap“ stellt es zwei Positionen

gegenüber. „Position 1: Nur die Verwendung von biogenem oder aus der Luft abgetrenntem CO₂ ist im Sinne der Klimaschutzziele zulässig.“ Denn spätestens ab 2050 dürfe kein Nettozuwachs an CO₂ in der Atmosphäre mehr erfolgen und es sollten daher nur noch Technologien implementiert werden, die langfristig mit diesem Ziel kompatibel sind. Ansonsten bestehe die Gefahr, dass falsche Anreize gesetzt und fossilbasierte Prozesse über 2050 hinaus weiter betrieben werden, um genügend CO₂ für das Kohlenstoff-Recycling bereitzustellen.

Position 2 formuliert das Kopernikus-Konsortium so: „Die Herkunft des CO₂ spielt keine Rolle, solange es weitere fossile Emittenten gibt.“ Es gehe eben nicht nur um die ideale, treibhausgasneutrale Zukunft, sondern auch um die Übergangsphase bis dorthin. Während dieser Zeitspanne sei es schlicht besser, CO₂ aus Verbrennungen direkt abzufangen, als zuzulassen, dass es sich in der Atmosphäre verbreitet, um es dann unter höherem Aufwand zu recyceln.

Komplex aber notwendig

Die Rohstoffbasis der Industrie von Erdöl und Erdgas auf die stoffliche Nutzung des Treibhausgases Kohlendioxid umzustellen, ist also eine äußerst komplexe Angelegenheit. Stefan Gehrman und Nils Tenhumberg von der thyssenkrupp AG formulierten es treffend in einem Fachartikel, in dem es um die nachhaltige Produktion von C₂-C₄-Alkoholen geht [12]: „Nur eine vollständige Ökobilanz, die alle erforderlichen Stufen und Wirkungskategorien umfasst, kann dazu beitragen, die bei Nachhaltigkeitsbewertungen häufig auftretenden Probleme wie Greenwashing, Zielkonflikte oder Lastenverschiebungen zu vermeiden. Und selbst bei einer vollständigen Ökobilanz müssen bei der Interpretation der Ergebnisse regionale Besonderheiten beachtet werden.“ —

Natürlicher Kohlenstoff-Kreislauf

Um das Treibhausgas CO₂ wiederzuverwerten und als Kohlenstoffquelle zu nutzen, muss man es mit technischen Methoden aus Abgasströmen oder der Luft abtrennen. Nicht vergessen werden sollte dabei, dass CO₂ auch auf natürliche und besonders nachhaltige Weise aus der Atmosphäre entfernt werden kann: durch den Einbau in Biomasse. 2019 haben die deutschen Wälder 30,6 Millionen Tonnen Kohlendioxid mehr gespeichert als im Vorjahr. Diese erfreuliche Nachricht relativiert sich allerdings dadurch, dass diese Menge rechnerisch nur 3 Prozent der jährlichen CO₂-Emissionen in Deutschland abdeckt [13]. Deutschlandweit sind im Wald insgesamt rund 3,1 Milliarden Tonnen Kohlenstoff gespeichert – umgerechnet 11,5 Milliarden Tonnen CO₂.

[11] www.kopernikus-projekte.de/projekte/p2x

[12] S. Gehrman, N. Tenhumberg, 2020, Chem. Ing. Tech. 92 (10), 1444-1458

[13] www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2021/PD21_40_p002.html

greenify

Ein Mikrobiologielabor
produziert durchschnittlich
1,3 Mio. Tonnen Plastikmüll pro Jahr.

Allmählich zieht das Thema Nachhaltigkeit auch in die experimentellen Wissenschaften ein. Die Frage ist: Lässt sich ein Life-Science-Labor überhaupt nachhaltig, womöglich sogar CO₂-neutral, betreiben?

— Karin Hollricher

01

Die Forderung, nachhaltiger zu wirtschaften, betrifft auch die Arbeit im Labor.

02

Abzüge und Minus-80-Grad-Tiefkühler haben einen sehr hohen Energieverbrauch, der sich aber mit einfachen Mitteln reduzieren lässt.

03

Erste Öko-Labels für Laborartikel und Chemikalien geben beim Einkauf Orientierungshilfe.

04

Wegwerfprodukte aus Kunststoffen gehören zum Laboralltag, aber ihr Gebrauch lässt sich verringern. Ein Recycling ist noch nicht in Sicht.

05

Spare Zeit und Energie: Mache mit bei der Freezer Challenge!

Ohne Forschung keinen Fortschritt, auch nicht in den Lebenswissenschaften. Ohne Experimente und Laborarbeit gibt es keine neuen Medikamente und Therapien, keine neuen energiesparenden chemischen Produktionsprozesse, keine umweltfreundlicheren Lösungen für die Ernährung von morgen. Damit ist Forschung natürlich nachhaltig in einem gesamtgesellschaftlichen Sinn.

Doch ist die Laborarbeit nicht nachhaltig im Sinne von klimaschonend. Beispielsweise benötigt ein Mikrobiologielabor durchschnittlich etwa 228.000 Kilowattstunden Strom pro Jahr. Das ergab eine Messung der Universität für Bodenkultur in Wien [1]. Zum Vergleich: In einem Einfamilienhaus beträgt der durchschnittliche Verbrauch 3000 bis 3500 Kilowattstunden pro Jahr.

Am University College London (UCL) geht etwa die Hälfte des gesamten emittierten CO₂ auf das Konto der Labore [2]. Angesichts dieser Zahlen muss man fragen: Lassen sich Biologie-, Chemie- und Pharmazielabore überhaupt nachhaltig betreiben? „Da bin ich sicher“, ist Martin Farley überzeugt. Der Forscher engagiert sich seit vielen Jahren dafür, Labore nachhaltiger zu machen. Er ist Nachhaltigkeitsmanager am University College London und Direktor des dortigen Laboratory Efficiency Assessment Framework (LEAF) wie auch der Organisation Green Lab Associates. Allerdings sagt er auch: „Wir wissen nicht, wie man ein Labor wirklich mit Netto-Null-Emission betreiben kann. Aber wir sollten nach möglichst vielen Möglichkeiten zur Dekarbonisierung suchen.“

your lab

Labore brauchen
3 bis 5 Mal mehr Wasser und
10 Mal mehr Strom als Büros.

Öko-Labels für Laborbedarf

Dazu beitragen können Öko-Labels für Laborgeräte und -verbrauchsmittel. Sie informieren den Einkäufer darüber, welchen ökologischen Fußabdruck das Produkt – sei es eine Kühlzentrifuge oder eine Pipettenspitze – im Laufe seiner Herstellung und seines Gebrauchs verursacht. Ein solches Etikett mit dem Namen ACT (Accountability, Consistency und Transparency) gibt es in den USA seit 2017. **Der Aufwand an Energie, Wasser und Materialien während Herstellung, Versand, Recycling-Optionen, Lebens- und Nutzungsdauer sowie ein Innovationswert werden zu einem Environmental Impact Factor (EIF) verrechnet.** Je niedriger dieser Wert ausfällt, desto geringer ist der negative Einfluss des Produkts auf die Umwelt. Die Prüfung der ACT-gekennzeichneten Produkte obliegt der US-Firma SMS Collaborative LLC (SMSC), für die Veröffentlichung sorgt die amerikanische Non-Profit-Organisation My Green Lab. Im August 2022 waren dort Geräte und Verbrauchsartikel von 16 Herstellern gelistet.

Autoklaven stehen dabei – ökologisch gesehen – ganz schlecht da. Je nach Wasserverbrauch werden sie mit EIFs zwischen 150 und 350 bewertet. Dagegen erreicht ein Flüssigkeitschromatograph, der mit Strom aus erneuerbaren Energien produziert wurde und wenig Wasser und Strom verbraucht, einen EIF von 33. Solche Werte lassen sich von der ACT-Datenbank abrufen [3].

Wer auf Nachhaltigkeit beim Laborbetrieb achten möchte, sollte also beim Einkauf prüfen, ob das gewählte Produkt mit einem Öko-Label ausgestattet ist. Was kann der Forscher, die Wissenschaftlerin denn sonst noch tun? Was lässt sich ändern, ohne dass die Qualität der Experimente dabei leidet? In erster Linie Energie und Wasser sparen, möglichst viele Verbrauchsmaterialien der Wiederverwertung



Das erste „grüne Labor“ Deutschlands steht in Berlin. 2021 erhielt die **Arbeitsgruppe von Volker Haucke am Leibniz-Forschungsinstitut für Molekulare Pharmakologie (FMP)** das Zertifikat von My Green Lab. Diese Organisation unterstützt andere darin, ihr Labor nachhaltiger zu betreiben. Der Zertifizierungsprozess gilt weltweit als Goldstandard für Best Practices in Sachen Nachhaltigkeit im Laborbetrieb und wird von der UNO als Schlüsselmaßnahme der Race to Zero-Kampagne anerkannt. Je nachdem, wie erfolgreich ein Labor nachhaltige Alternativen umsetzt, wird es mit Bronze, Silber, Gold, Platin oder Grün ausgezeichnet. Das Haucke-Labor erreichte das höchste Niveau: GRÜN. [5]

zuführen, aber auch umweltschädliche Chemikalien durch umweltfreundlichere Alternativen ersetzen und Experimente möglichst miniaturisieren. Was aber ist konkret zu tun? „Damit sich nicht jeder selbst auf die Suche nach Antworten auf diese Fragen begeben muss – das wäre ja auch nicht nachhaltig – entwickelten wir bei LEAF einen Leitfaden, der Forschende genau bei diesen Überlegungen unterstützt“, sagt Farley [4].

Allerdings werben die Firmen noch nicht intensiv mit solchen Öko-Stickern für ihre Produkte. Auf der Analytica in München, der weltweit größten Messe

[3] <https://actdatabase.mygreenlab.org/>

[4] www.ucl.ac.uk/sustainable/leaf/take-part-leaf

[5] leibniz-fmp.de/de/research/initiatives-networks/fmp-gruene-initiative-1#c849

für Labortechnik, Analytik und Biotechnologie in München, suchte man den Begriff „Nachhaltigkeit“ bisher vergeblich an den Messeständen. Das überrascht. Denn: „Die so genannten Scope3-Emissionen, die entlang einer Wertschöpfungskette entstehen, also von der Erzeugung eines Produkts über dessen Transport, seiner Benutzung bis zur Entsorgung, stellen immerhin die Hälfte des CO₂-Ausstoßes, der mit Forschung und wissenschaftlicher Ausbildung verbunden ist“, sagt Farley. Immerhin: Die Firma Eppendorf bot einen Vortrag mit dem Titel „How to improve sustainability in the Lab“ an. Mit dem Argument „small footprint“ warb die Firma Axcend für ihre neue HPLC. Das Gerät verbrauche nur ein Tausendstel der üblichen Lösungsmittelmenge und produziere demzufolge entsprechend wenig Abfall, so der Hersteller. „Dieses Gerät ist sehr interessant, es könnte einen sehr niedrigen EIF erreichen“, urteilt James Connelly, CEO von My Green Lab. Das Geheimnis dieser HPLC heißt Miniaturisierung: Man kann das Gerät mit einer Hand halten. Miniaturisierte Geräte oder gar Labore führen zu Einsparungen: beim Einkauf, während der Benutzung, bei der Entsorgung der Abfälle. Man spart sogar Zeit, wie beispielsweise die Arbeitsgruppe „Bioprozesse und Bioanalytik“ des Forschungszentrums Jülich vorführte. Sie entwickelte eine automatisierte und miniaturisierte Plattform zur Anzucht von Mikroorganismen. Diese effizienzoptimierte Anlage schafft 48 Kultivierungen in der Zeit, in der man zuvor maximal vier durchführen konnte. Dafür wurde die Gruppe mit dem ersten Labvolution Award für Nachhaltigkeit ausgezeichnet.

Energiesparen kann einfach sein

Leitlinien, Wettbewerbe und Preise können dazu beitragen, dass das Laborpersonal sich mehr dafür interessiert und engagiert, Maßnahmen im Sinne eines nachhaltigen Labors umzusetzen. Motivation ist nötig. Denn für viele Forschende ist Nachhaltigkeit vor allem ein Thema im Privatleben: Da schaltet man Computer aus und nimmt Ladestationen vom Netz, bevor man zur Arbeit radelt. Doch im Labor bleiben Waagen, pH-Meter, Computer, Tischzentrifugen und Wasserbäder sehr oft angeschaltet oder im Stand-by-Modus, auch wenn sie gar nicht benutzt werden. In diesem Fall wären Zeitschaltuhren eine Hilfe. Klingt sehr nach old school – kann aber

... **Leitlinien, Wettbewerbe** und **Preise** können dazu beitragen, dass das Laborpersonal sich mehr dafür engagiert, Maßnahmen im Sinne eines nachhaltigen Labors umzusetzen.

...

erheblich Energie sparen, wie My Green Lab im Rahmen einer Fallstudie bewies. **Die Organisation versah 23 Wasserbäder und einen Heizblock mit Zeitschaltuhren. Diese simple Maßnahme ersparte dem betreffenden Labor 4800 Kilowattstunden pro Jahr.** „Laut Greenhouse Gas Equivalencies Calculator der US-Umweltschutzbehörde kann man dafür 8444 Meilen fahren“, sagt Connelly. „55 Prozent des Energieverbrauchs eines Labors kann durch das Verhalten der Menschen in dem Labor beeinflusst werden.“

Wie richtig diese Einschätzung ist, beweist auch eine Studie, die Mark Kirschner von der Harvard Medical School in seinem Labor durchführen ließ [6]. Über zehn Arbeitstage ließ er alle 15 Minuten den Energieverbrauch von Wasserbädern, PCR-Maschinen, Zentrifugen, Computern und einem Pipettenwechsler messen. Der Thermocycler und eine Bench-Top-Zentrifuge stellten sich als wahre Energiefresser heraus: Sie brauchten jeweils gute 9 Kilowattstunden pro Tag. Der Computer lag mit 5 Kilowattstunden im Mittelfeld, zwei Tischzentrifugen arbeiteten mit 0,5 Kilowattstunden sparsam. Dann ergriff man drei Maßnahmen: Erstens wurden an den Geräten Schilder angebracht, die darauf hinwiesen, dass ihr Energieverbrauch überwacht würde. Zweitens forderte der verantwortliche Labormanager alle im Labor arbeitenden Personen auf, sich bitte an der Studie zu beteiligen. Drittens schaltete er am Ende seines Arbeitstages alle Geräte aus, die nicht in Benutzung waren, aber dennoch angeschaltet waren. Resultat: Über die nächsten fünf Tage reduzierte sich der Stromverbrauch um etwa die Hälfte. Dies zeige, so heißt es in der Studie, dass man erheblich Energie sparen könne, wenn das Labor sich voll und ganz für energiebewusste Praktiken engagiere.

[6] green.harvard.edu/sites/green.harvard.edu/files/EnergyReductionPotential_KirschnerCaseStudy.pptx%20%28Read-Only%29.pdf

[7] E. Dolgin, 2018, *Nature*, 554, 265-267

Weitergeben statt entsorgen

Neben Energie gilt es auch, Ressourcen sinnvoll(er) einzusetzen. Dazu tragen Initiativen bei, die übrig gebliebene Chemikalien, Geräte und Material dorthin vermitteln, wo sie wahrscheinlich noch gebraucht werden können.

An der University of Michigan in Ann Arbor habe man auf diese Weise pro Jahr über 250.000 Dollar gespart, sagte der dortige Nachhaltigkeitsmanager der Zeitschrift Nature [7]. Hierzulande wurde an vielen, wenn nicht fast allen Hochschulen Chemikalienbörsen ins Leben gerufen. Dort finden Chemikalien, die nicht mehr gebraucht werden, vielleicht neue Interessenten. Man kann nach Substanzen suchen, von denen man so wenig benötigt, dass man keine handelsübliche Menge bestellen möchte. In den USA werden über solche Börsen sogar übrig gebliebene Antikörper ausgetauscht.

Inzwischen kann man gebrauchten Laborbedarf sogar bei ebay ersteigern. Zwar boomt dieses Geschäftsfeld längst nicht so wie die Märkte für Gebrauchtwagen oder Secondhand-Kleidung. Trotzdem verdienen auch einige Firmen Geld damit. Seit 20 Jahren am Markt und somit zu den Pionieren zählt die Laborgerätebörse GmbH im schwäbischen Burladingen, besser bekannt unter dem Namen Labexchange. In der Schweiz vermittelt die philanthropische Kuhner Foundation Geräte umsonst in Entwicklungsländer. Auch Hochschulen haben Gerätebörsen, etwa die Universitäten Zürich, Marburg und Oldenburg. Der Bedarf ist da – ein Angebot auch.

Aber wie so oft im Leben: Jemand muss sich engagieren und darum kümmern. Connelly: „Wir müssen die Menschen wirklich dazu bringen, ihre Gewohnheiten zu ändern. Nur so lässt sich eine globale Kultur der Nachhaltigkeit in der Wissenschaft etablieren.“ Auch im Labor kann jeder Mensch dazu beitragen. —

Bürkle goes Bio!

**Optimale Produkteigenschaften**

- ▶ Perfekte Eignung zu Probenahmezwecken
- ▶ Im Bürkle-eigenen Reinraum gefertigt und verpackt*
- ▶ Optional gammastrahlensterilisiert*
- ▶ Mit EU-Lebensmittel- und FDA-Zulassung

**Umweltfreundlich und nachhaltig**

- ▶ Produkt aus Biokunststoff
- ▶ Aus nachwachsenden Rohstoffen, Verzicht auf fossile Materialien
- ▶ 100 % recyclebar
- ▶ CO₂-Einsparung, Verminderung des Treibhauseffekts



*außer Bio-Flaschen Enghals PE

Reinheit von Einwegprodukten und ökologische Nachhaltigkeit perfekt vereint!



Bürkle GmbH
Rheinauen 5 | 79415 Bad Bellingen
Tel. +49 7635 82795-0
Fax +49 7635 82795-31
info@buerkle.de | www.buerkle.de



minus 70

ist das
neue
minus 80

Der „Minus-80-Grad-Tiefkühler“ ist ein Thema, das Forschende konstant begleitet: Ewig sucht man nach seinen Proben, während der offene Tiefkühler Eis ansetzt. Doch wer hat schon Lust und Zeit, die Geräte regelmäßig abzutauen und dabei auch gleich die Boxen und Racks auszumisten?

Dabei kann hier Ordnung tatsächlich eine Menge Energie sparen. Mit einem guten Ablagesystem findet man das Gesuchte schneller, der Tiefkühler wird nicht so warm, weil die Tür nicht so lange offensteht. Netter Nebeneffekt: Die konsequente Entsorgung nicht mehr benötigter Röhrchen und abgelaufener Reagenzien sorgt für mehr Platz. Vielleicht lässt sich sogar ein Gerät vollständig leeren und ausschalten?

Und muss eigentlich alles so kalt gelagert werden? Darüber machte sich schon vor über zehn Jahren die Arbeitsgruppe von John Collier an der Functional Genomics Facility der Stanford University Gedanken. Sie nahm deshalb an einem Programm namens Cash for Clunkers teil, das zum Ziel hatte, alte Tiefkühler auszusortieren. **Bei der vorbereitenden Inventarisierung des Inhalts kam heraus, dass 15.000 Proben, die bei Collers Team im Tiefkühler standen, problemlos bei Raumtemperatur gelagert werden konnten.**

Und auch bei denjenigen Proben, die wirklich tiefgekühlt werden müssen, kann man nachhaltiger vorgehen. Denn auch das Anheben der Kühltemperatur um nur zehn Grad Celsius, also von minus 80 auf minus 70 Grad, spart Strom – und zwar erstaunlich viel. Der Unterschied, so heißt es in einem Fact sheet der Stanford University, seien über 1000 Kilowattstunden pro Jahr und Gerät (umgerechnet in deutsche Stromkosten 370 Euro, Stand August 2022). Denjenigen, die ihre Geräte effizienter betreiben möchten, aber noch ein bisschen Motivation brauchen, sei der International Laboratory Freezer Challenge empfohlen (siehe Eiskalter Wettbewerb, S. 37). „Diesen Wettbewerb für eine nachhaltigere Nutzung von Ultratiefkühlgeräten haben wir vor einigen Jahren gestartet, um Forschende zu motivieren, sich zu engagieren“, erklärt Conelly.

— Karin Hollricher



abzug

schließen
und
drosseln

Ein Abzug, der auf maximaler Stufe bei offener Scheibe läuft, benötigt so viel Strom wie drei Eigenheime, berechneten Evan Mills und Dale Sartor vom Lawrence Berkeley National Laboratory [1]. Und damit nicht genug: Die Luft, die der Abzug nach außen befördert, muss ersetzt und diese wiederum im Winter geheizt oder im Sommer gekühlt werden. Wer umweltfreundlich arbeiten will, hält also die Scheibe unten und reguliert den Luftzug herunter, wenn der Abzug nicht benutzt wird.

Bei neuen Modellen kann die Luftwechselrate an Wochenenden und abends automatisch gesenkt werden. Unsere – nicht repräsentative – Umfrage an deutschen, österreichischen und schweizerischen Universitäten ergab große Unterschiede hinsichtlich der technischen Ausstattung der Abzüge. Während etwa an der einen Universität an sämtlichen 850 Laborabzügen bei Nichtbenutzung der Luftstrom automatisch herunterreguliert wird und bei vielen sich dann auch die Scheibe automatisch schließt, setzt eine andere Hochschule auf sogenannte Präsenztaster. Hier laufen die Abzüge mit gesenkter Scheibe und reduziertem Luftstrom, bis sie vom Nutzer in den Volllastbetrieb geschaltet werden. An einer Universität mit 35.000 Studierenden und Angestellten reduziert im Gegensatz dazu nur ein kleinerer Teil der hundert dortigen Abzüge bei Nichtnutzung den Abluftstrom. Einer großen Hochschule liegt keine Gesamtübersicht über die Abzüge vor. Eine weitere entschied sich bewusst gegen eine automatische Regulierung der Luftwechselrate, um über die Abzüge zur Belüftung der Labore beizutragen. Ob dieses durchaus übliche Vorgehen energetisch günstiger ist, als die Labore über eine Lüftung oder Klimaanlage zu regulieren, war nicht herauszufinden.

Dass ein vernünftiger Umgang mit Abzügen aber viel Energie und Geld sparen kann, ist wohl unbestreitbar. Wenn das Geld für eine Umrüstung



alter Abzüge fehlt, sollte man eine konsequente Regelung zum Schließen der Scheiben einrichten oder diese mit einem Alarm ausrüsten, der anschlägt, wenn der Abzug eine gewisse Zeit lang unbenutzt offensteht. Am Massachusetts Institute of Technology spare man dank einer solchen Maßnahme pro Jahr 3700 kWh, gab die Hochschule bekannt. Pro Abzug!

Am Department of Chemistry & Chemical Biology der Harvard University initiierte man schon 2005 einen Wettbewerb namens „Shut the Sash Program“, um gegen die Energieverschwendung durch Laborabzüge vorzugehen [2]. Damit habe man 70 Prozent der Energie einsparen können, die man für Heizung, Belüftung und Klimanlage in den Gebäuden aufwenden musste, umgerechnet etwa 1,6 Gigawattstunden pro Jahr bei knapp 280 Abzügen. Das bedeute bis zu 250.000 Dollar und 350 Tonnen CO₂ weniger pro Jahr, steht im Bericht „Validating Cost and Energy Savings from Harvard's Shut the Sash Program“ [3]. Umgerechnet in deutsche Stromkosten (Stand August 2022) beliefie sich der Einspareffekt durch konsequentes Schließen auf 1500 bis 2000 Euro pro Jahr und Abzug.

— Karin Hollricher

[1] E. Mills, D. Sartor, 2004, *Energy* 30, 1859-1864

[2] green.harvard.edu/programs/green-labs/shut-the-sash-program

[3] green.harvard.edu/sites/green.harvard.edu/files/FumeHoodWhitePaper.pdf

plastikmüll

- ein riesiges Problem



Während es vergleichsweise einfach erscheint, mit etwas Selbstdisziplin und Organisation Tiefkühler und Abzüge sparsamer zu betreiben, ist eine Lösung des großen Umweltproblems Plastikmüll nicht wirklich in Sicht. Denn wo geforscht wird, ist reichlich Einmalkunststoff im Einsatz: 1,5-ml-Reaktionstubes, Pipettenspitzen, 25- und 50-ml-Plastikgefäße, Petrischalen, Einweghandschuhe, Pipetten, Zellkulturflaschen, Küvetten und Multiwellplatten.

Ein weiteres Wegwerfprodukt, das in hohen Stückzahlen verwendet wird, sind Handschuhe aus Latex oder Nitril. Die Firma TerraCycle in Mainz bietet eine Weiterverwertung zu Transportboxen und Parkbänken an, allerdings nur für Handschuhe eines Herstellers. Leider muss man den Versand der gesammelten Handschuhe selbst organisieren.

Die Initiative Green Labs Austria berechnete, dass ein durchschnittliches Mikrobiologielabor etwa 1,3 Tonnen Plastikmüll pro Jahr produziert. Weltweit sollen durch die biologische, medizinische und landwirtschaftliche Forschung jedes Jahr 5,5 Millionen

Tonnen Kunststoff „verbraucht“ werden – das sind etwa zwei Prozent des weltweiten Plastikmülls [1]. Vielfach ist diese Gebrauchsplastik mit gentechnisch veränderten Organismen (GVO) oder ökologisch bedenklichen, wenn nicht gar giftigen Chemikalien in Berührung gekommen, sodass man es nicht einfach in den Gelben Sack werfen kann. **Kann man es also nicht recyceln? Doch! Man könne Polypropylen und Polystyrol getrennt sammeln, autoklavieren und dann einem Partner zur Wiederverwertung geben, verkündet Green Labs Austria.** Allerdings sei es nicht einfach, einen Wiederverwerter zu finden (siehe auch Interview, S. 38).

Auch in Deutschland erlaubt das Gentechnikgesetz die Wiederverwertung von Kunststoffartikeln, die mit GVO Kontakt hatten, nachdem sie autoklaviert wurden (Ausnahmen: Abfälle aus der humanmedizinischen oder tierärztlichen Versorgung oder Forschung). An dieser Stelle ist also noch viel Potenzial für nachhaltiges Engagement im Labor.

— Karin Hollricher

eiskalter wettbewerb

Was?

Seit fünf Jahren gibt es den International Laboratory Freezer Challenge, der von den US-amerikanischen Non-Profit-Organisationen My Green Lab und dem International Institute for Sustainable Laboratories (I²SL) ausgerichtet wird. Der Wettbewerb soll dazu beitragen, den Energieverbrauch von Labortiefkühlern zu senken, indem man die Geräte optimal betreibt und auslastet.

Wie?

Laut Webseite der Organisatoren haben im letzten Jahr 221 Labore aus 113 Forschungsinstitutionen teilgenommen und dabei rund 4,3 Millionen Kilowattstunden Strom gespart – damit könnte man 1000 Vier-Personen-Haushalte pro Jahr mit Strom versorgen (ohne elektrische Warmwasserbereitung). Seit 2017 sind demnach mehr als 14 Millionen Kilowattstunden durch verbesserte

Kühlagerung eingespart worden. Am eifrigsten ist die University of Illinois in Urbana-Champaign: Sie reduzierte den Verbrauch ihrer Tiefkühlgeräte um 300.000 Kilowattstunden. In Europa ist der Wettbewerb noch nicht so bekannt.

Wann?

Die Bewerbungsfrist läuft bis 1. Juli eines jeden Jahres. Registrieren kann man sich unter:

www.freezerchallenge.org

PROFESSIONAL MEASURING

KERN®

www.kern-sohn.com

interview mit

jerooen dobbelaere

„Science oder Science Fiction: Wie man Forschung nachhaltiger macht“. Das unterrichtet der Zellbiologe Jeroen Dobbelaere an der Universität Wien im Rahmen eines Seminars. Im Interview spricht er über seine Erfahrungen.

— Karin Hollricher





Sie geben ein Seminar zu Nachhaltigkeit im Forschungsbetrieb. Wie kommt das an?

Im letzten Semester hatte ich die erste Veranstaltung dieser Art mit sieben Studierenden, die fanden das richtig gut.

Warum nahmen nur so Wenige teil?

Vielleicht weil die Universität nur einen Creditpoint dafür gab, das kam schlecht an. Im nächsten Semester werden es zwei Punkte sein. Ich wollte dieses Seminar zu einer Pflichtveranstaltung machen. Das war wohl ziemlich naiv (lacht). Jetzt ist es eine Wahlveranstaltung.

Schulen Sie auch Doktoranden?

Ja, zu Beginn ihrer Dissertation. Ich informiere sie darüber, was der ökologische Fußabdruck eines Life-Science-Labors eigentlich ist, was die großen Energiefresser sind, wie viel Plastikmüll man im Laufe eines Experiments produziert.

Darüber macht sich ein Doktorand vermutlich erst mal keine Gedanken, oder?

Eher nicht. Die meisten – und das finde ich erstaunlich – wissen nicht viel darüber und haben sich mit dem Thema noch nie auseinander gesetzt. Also informieren wir die Doktoranden erst einmal über die für Labore spezifischen Nachhaltigkeitsdaten. Im zweiten Schritt sprechen wir mit ihnen darüber, was man wie ändern kann. **Denn es ist zwar richtig: Die Forschung ist frei und soll es auch bleiben. Dennoch müssen wir Forscher:innen die ökologische Nachhaltigkeit unserer Arbeit im Auge behalten.**

Wie kamen Sie selbst zu dem Thema?

Ich unterrichte auch Molekularbiologie und in den Praktika benutzen wir sehr viele Einmal-Plastikartikel. Das war vor 20 Jahren, als ich Praktika gemacht habe, wirklich anders. Als mir das bewusst wurde, begann ich, mich mit dem Thema zu beschäftigen, und ich stellte fest, dass es keine Daten zu unserer Ökobilanz gibt. Um den CO₂-Fußabdruck unserer Arbeit benennen zu können, mussten wir also erst einmal selber Daten sammeln. Damit haben wir vor etwa vier Jahren begonnen. Als wir diese Daten dann hatten, dachte ich: Daraus mache ich ein Seminar für Studierende.



Der Zellbiologe **Jeroen Dobbelaere** forscht an der Universität Wien und engagiert sich dort für mehr Nachhaltigkeit im Laborbetrieb.

Wie groß ist denn der Fußabdruck Ihres Labors?

Diese Daten darf ich leider – zumindest noch – nicht preisgeben. Die Universität Wien arbeitet an einem Nachhaltigkeitsbericht.

Warum diese Geheimniskrämerei? Das sind doch keine sensiblen Daten.

Da kann man unterschiedlicher Meinung sein. Bei uns gelten die Daten als sensibel, auch wenn ich persönlich an dieser Entscheidung keine Freude habe. Denn Transparenz ist der erste Schritt für eine tiefere Diskussion. Andere Universitäten, auch in Österreich, sind da schon weiter. Die TU Graz und die Universität für Bodenkultur in Wien haben schon öffentliche Berichte. Auch die EPFL Lausanne hat viele Daten gesammelt und veröffentlicht. Wir sind ein bisschen spät dran. Immerhin haben wir seit letztem Sommer eine Nachhaltigkeitsbeauftragte.

Dann kommen wir zurück auf das Labor, in dem Sie arbeiten.

Was wurde konkret geändert?

Wir kaufen jetzt bewusster ein. Dabei schauen wir auf eine möglichst hohe Wiederverwendbarkeit von Labormaterialien und wir nutzen verstärkt La-

... Wir haben berechnet, dass wir unseren **ökologischen Fußabdruck** um **60 bis 70 Prozent reduzieren** könnten.

...

borartikel aus Glas. Wir haben aufgelistet, welche Geräte man zu welchem Zeitpunkt abschalten kann. Nachhaltigkeit ist auch Thema in den Laborbesprechungen. Und wenn jemand neu anfängt, bekommt er oder sie einen Tag Schulung. Außerdem haben wir ein Plastik-Recyclingsystem initiiert.

Wie funktioniert das?

Wie sortieren und sammeln getrennt Polystyrol, HD-Polyethylen, PET und Polypropylen. Laborbedarf für Zellkultur ist meist aus Polystyrol und PET, die Deckel von Falcons sind HD-Polyethylen, die Röhrchen selbst und die Pipettenspitzen sind aus Polypropylen. Wenn diese Plastiksarten gut getrennt sind, kann man sie wiederverwerten – auch wenn sie aus dem Autoklaven kommen.

Wissen Sie, wie stark das Labor seinen ökologischen Fußabdruck verringert hat?

Noch sind wir kein nachhaltiges Labor. Wir haben berechnet, dass wir unseren Fußabdruck um 60 bis 70 Prozent reduzieren könnten. Neben den schon genannten Maßnahmen, die wir selbst ergreifen können, müsste man dafür aber auch in Gebäudetechnik investieren, Flugreisen für die wissenschaftliche Kommunikation soweit wie möglich einschränken und noch enger mit Zulieferfirmen zusammenarbeiten.

Wie sieht die Zusammenarbeit mit den Firmen aus?

Wir fragten Unternehmen, ob sie uns den Fußabdruck ihrer Produkte geben können. Wir hatten eine gute Zusammenarbeit mit Merck und NEB, sie haben uns diese Daten gegeben. Dabei kam heraus: Zwei Drittel des Fußabdrucks gehen auf den Transport zurück. Wir suchen nun nach Lösungen, das zu reduzieren.



Werben Sie auch außerhalb Ihrer Fakultät für das Thema Nachhaltigkeit?

Ja. Wir haben ein Projekt mit Green Labs Austria zum Recycling von Plastikartikeln. Ich sitze nun im Nachhaltigkeitsbeirat der Universität, pflege Netzwerke, halte Vorträge und mache Workshops an anderen Universitäten. Und wir schreiben nun auch wissenschaftliche Artikel über Nachhaltigkeit im Labor. Wir hatten gerade einen in One Earth [1], einer wurde gerade vom Journal of Cell Science

akzeptiert und einen weiteren schreiben wir für EMBO Reports. Aber es geht alles sehr, sehr langsam, denn die Beteiligten machen das alles freiwillig, neben ihrer eigentlichen Forschungsarbeit. Ich hoffe aber, dass bald auch solche Tätigkeiten finanziell unterstützt werden. Es ist an der Zeit.

Zum Thema nachhaltige Forschung gehört auch der Umgang mit experimentellen Daten.

Ja, das stimmt. Wir dürfen mit dem Streben nach Nachhaltigkeit nicht an der Labortür aufhören. Auch die schrankenlose Veröffentlichung der Ergebnisse, positiver wie auch negativer, ist eine Frage nachhaltiger Wissenschaft. Der freie Austausch von Forschungsdaten in digitaler Form maximiert den Nutzen der Forschung. Dazu tragen Open-Access-Publikationsorgane ebenso bei wie Preprint-Repositoryn und frei zugängliche Portale der Wissenschaftsorganisationen. —

Entdecken Sie die leistungsstarken PCR Produkte und Pipettenspitzen der AHN Biotechnologie GmbH

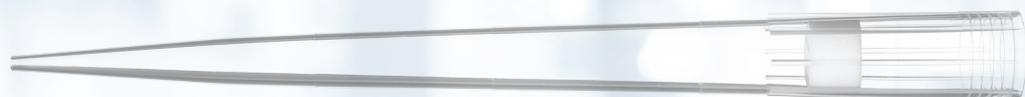
ahn

Bei AHN legen wir Wert auf kontinuierliche Verbesserung.

AHN Produkte sind zertifiziert frei von Endotoxinen, ATP, DNA, RNA, DNasen, RNasen und PCR-Inhibitoren, womit Sie nur die beste Qualität für eine zuverlässige Nukleinsäure-Amplifikation erhalten.



PCR und qPCR Platten



Filterspitzen

digitales lab

viel luft nach oben — Karin Hollricher

Digitale Technologien können die Produktivität steigern und somit zur Nachhaltigkeit beitragen, auch im Labor. Die Zeit ist reif für intelligentes Labormanagement – in der Theorie. Wie sieht die Realität aus?

ist das nicht eigenartig? Man bedient das Laborradio über Bluetooth mit dem Smartphone, aber die Feinwaage, die Zentrifuge oder die PCR-Maschine muss man händisch einstellen. Obwohl die Digitalisierung fast jeden Lebensbereich erreicht und verändert, scheint das Internet of Things (IoT) in vielen Laboren noch nicht angekommen zu sein. Da notiert man Angaben zu Experimenten gerne auf einem Schmierzettel, Ergebnisse schreibt man ins Laborbuch. Lediglich prozessindustrielle Anwendungen und F&E-Hochdurchsatzlabore sind weitgehend digitalisiert. Warum eigentlich?

Letzten Endes hat das mit Fördermitteln, Personalpolitik und den Aufgaben, die das Labor erfüllen soll, zu tun. Richtet man ein Forschungslabor neu ein, kann man, die finanziellen Mittel dafür vorausgesetzt, eine Digitalisierung der experimentellen Daten und die Vernetzung der Geräte mit einplanen. Das wäre ein Greenfield-Projekt. Dieser Begriff stammt aus der Software-Entwicklung und steht für „Neustart“. Forschungslabore und Serviceeinrichtungen, die Genom-, Transkriptom-, Proteom- oder Metabolom-Daten in großen Mengen generieren, sind typische Greenfield-Projekte. Die Realität der meisten universitären Forschungslabore heißt allerdings Brownfield – bei solchen Projekten werden Änderungen im Bestand vorgenommen. Als diese Labore eingerichtet wurden, waren das Internet of Things und ein Labor 4.0 noch keine Themen; die Geräte sind in der Regel zu

alt, als dass sie zur digitalen Kommunikation befähigt wären. Das zu ändern, ist nicht trivial, wie hier später im Text noch zu lesen sein wird.

Auf lange Sicht kommt man an einer Digitalisierung nicht vorbei, denn Labore sind Datenfabriken, auch wenn die Doktorandin nur 96 PCRs am Tag macht, der Masterand nur zwei DNA-Elektrophoresen laufen lässt. Aber wie soll man einsteigen? Dafür gibt es kein Patentrezept. Wichtig ist auf jeden Fall, sich darüber klar zu werden, welche Daten man speichern will, welche Geräte und Werkzeuge man benutzt, inwieweit diese bereits digital vernetzbar sind, in welchem Zeitrahmen man die Digitalisierung umsetzen will und – natürlich! – wie viel Geld zur Verfügung steht.

Zum Einstieg ein ELN

Ein vergleichsweise einfacher und preiswerter Start ist mit einem Electronic Lab Notebook (ELN) möglich. Jedenfalls theoretisch. In der Praxis gestaltet sich auch das nicht unbedingt als einfach, wie Michael Franke, Bereichsleiter Collections der Max Planck Digital Library, berichtet. „Die Max-Planck-Gesellschaft hat vor sechs Jahren ein elektronisches Laborbuch lizenziert. Aktuell arbeiten 30 unserer 86 Institute damit.“ Warum sind es nicht mehr Institute? „Unsere Forschenden haben sehr unterschiedliche Arbeitsabläufe, die sich mit einem Typ ELN nicht alle abbilden lassen. An der Software, die wir lizenziert haben, bemängeln etwa die Chemiker, sie könn-

ten nicht ausreichend Zusatzinformationen ablegen. Die Physiker wollen mehr und komplexe Geräte ansteuern, als mit diesem ELN machbar ist. Manche Forschende sehen auch rechtliche Probleme hinsichtlich der Dokumentation; sie drucken die digital gespeicherte Information nochmals aus. Das ist natürlich unsinnig.“

Die Durchführung und das Ergebnis eines Experiments digital zu dokumentieren, ist ein Gebot der Stunde. Denn: „Das Kladdenwesen ist einfach grotten-schlecht“, stellte Ulrich Dirnagl, Leiter der Abteilung Experimentelle Neurologie an der Berliner Charité, schon vor Jahren fest [1]. „Die Daten sind nicht recherchierbar, Dokumentationssicherheit ist nicht gewährleistet und nach zehn Jahren weiß doch keiner mehr, wo erstens die Dinger liegen und zweitens, wie man die Aufzeichnungen interpretieren soll.“ Manuelle Aufzeichnungen sind hochgradig fehleranfällig. Mitunter lassen sich im analogen Laborbuch die handschriftlichen Notizen nicht einmal zweifelsfrei entziffern. In einem ELN dagegen kann man Daten mit Bildern verknüpfen, nach Stichwort und Datum suchen. Allerdings ist dafür etwas Selbstdisziplin nötig: Für Ordnung muss man auch in einer digitalen Kladder selber sorgen.

Elektronisch gespeicherte Forschungsdaten könnten nicht nur der Arbeitsgruppe, sondern der gesamten Wissenschaftlergemeinschaft zur Verfügung gestellt werden. Das würde eine Überprüfung von Ergebnissen erleichtern

or?

01

Laborgeräte müssen standardisiert werden, damit sie miteinander kommunizieren können.

02

Das elektronische Laborbuch hilft, Experimente übersichtlicher zu dokumentieren, zu standardisieren und im Sinne der FAIR-Prinzipien zu speichern.

03

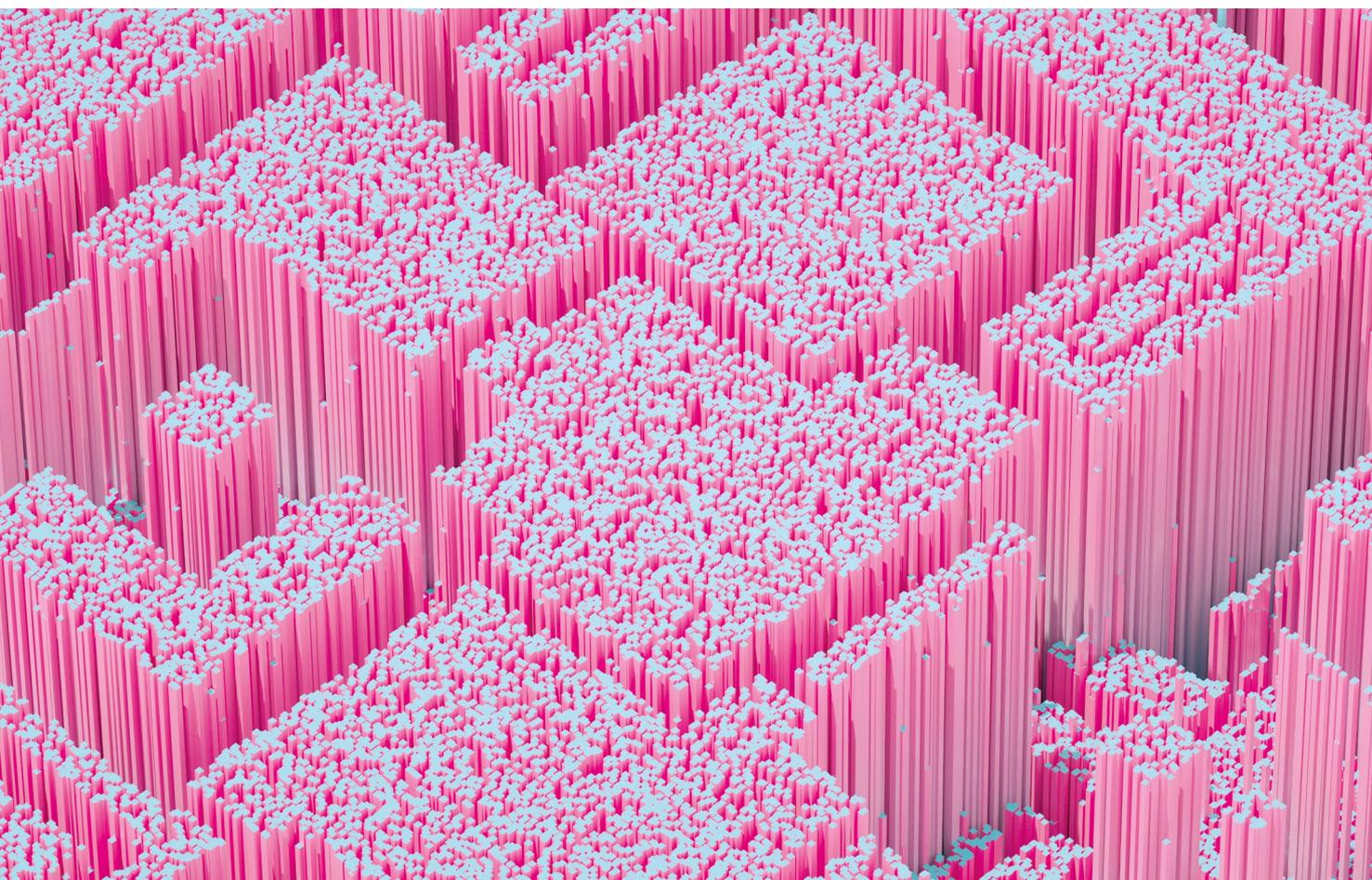
Labor-Informations-Management-Systeme können wiederkehrende Aufgaben im Laboralltag automatisiert abwickeln.

und die Standardisierung der Versuchsdurchführung unterstützen. „Es ist dringend notwendig, die Infrastruktur zur Verwaltung und Bereitstellung wissenschaftlicher Daten zu verbessern“, postulierten Forschende vom Zentrum für Pflanzenbiotechnologie und Genomik der Universität Madrid und 52 Gleichgesinnte [2]. Sie entwickelten deshalb die **FAIR-**

Prinzipien, wonach Daten **F**indable, **A**ccessible, **I**nteroperable und **R**eusable gespeichert werden sollten. Mit der digitalen Archivierung kann man diese Vorgaben erfüllen.

Größere Plattformen mit mehr Optionen als ELNs sind Labor-Informations-Management-Systeme (LIMS). Ein LIMS ist eine Software, die sämtliche Prozesse

im Labor in einer zentralen Datenbank abbildet, die Steuerung von Routineaufgaben automatisiert und den Arbeitsablauf insgesamt effizienter macht. Dies ist natürlich in erster Linie für Labore mit hohem Durchsatz und strukturierten Arbeitsabläufen interessant. Zahlreiche Firmen bieten solche Software-Systeme an. Ein LIMS sollte allerdings nicht nur die





... Pumpen,
Thermostate,
Sensoren,
Pipettierroboter,
Rührgeräte,
pH-Meter und
Plattenleser
**kommunizieren
miteinander ...**

Bromig skriptete und programmierte mindestens eineinhalb Jahre lang. Dafür kann er nun seine Experimente in Echtzeit am Handy steuern. „Wir haben einen automatisierten Bioprozess vom Milliliter in den Litermaßstab hochskaliert“, so Bromig. „Außerdem haben wir ein Reaktorsystem mit eigener Software so umfunktioniert, dass man es über mehrere Tage mit anderen Geräten automatisch betreiben und die Daten der involvierten Geräte in Echtzeit über eine Webapplikation abrufen kann. Dank der standardisierten Schnittstellen können einzelne Teilgeräte schnell ausgetauscht und der ganze Aufbau neu konfiguriert werden.“

Doch wenn Bromig in Kürze das Institut verlässt, fehlt dort sein Knowhow. Bromig: „Stimmt, dann gibt es nur noch eine Person am Institut, die die Software kennt und gegebenenfalls auch anpassen kann. Software muss verstanden und gepflegt werden und es gibt in Ermangelung langfristiger Stellen derzeit keine guten Lösungen, womit man dieses Wissen an den Instituten halten könnte.“ Er plädiert für mehr Interdisziplinarität in der Lehre. „Man könnte IT in den Lehrplan der Biotechnologen und Chemieingenieure aufnehmen. Das würde den Einstieg in die Digitalisierung eines Labors vereinfachen. Ich kann heute in wenigen Stunden Laborgeräte integrieren, während ein Anfänger dafür viele Wochen braucht. Wenn es dann darum geht, einheitlich Daten aufzuzeichnen oder Experimente zu steuern, wird es richtig komplex. Die komplette digitale Infrastruktur muss erst einmal aufgebaut werden. Es wird sehr viel manuelle und zeitaufwendige Arbeit einfach akzeptiert, weil die wirtschaftliche Hürde, sie zu automatisieren, noch sehr hoch ist. Ich sehe hier großes Verbesserungspotenzial.“ Darum will sich Bromig nach seiner Promotion in dieser Nische selbstständig machen.

bestehenden Prozesse abbilden, sondern auch zukünftige Aufgaben integrieren können. „Die Weiterentwicklung eines LIMS ist selbst eine Wissenschaft, die sehr stark vom Austausch zwischen den Kunden und den LIMS-Projektleitern lebt“, meint Mark Schneider von der Firma ACC Infotray AG in Winterthur (Schweiz): Ein solcher Firmenkunde ist beispielsweise ein medizinisches Labor, das wegen Corona seine PCR-Aufträge innerhalb kurzer Zeit von 500 auf 100.000 pro Woche hochschrauben musste. „Das war ein gigantischer logistischer Aufwand, der ohne ein LIMS, das die gesamte Auftragsabwicklung begleitet, nicht möglich gewesen wäre. Manpower alleine hätte nicht ausgereicht“, so Schneider.

Skripten statt klonieren

Wie es läuft, wenn der Markt keine passende und erschwingliche Software bietet, darüber kann Lukas Bromig von der Technischen Universität München

berichten. Vor knapp drei Jahren begann er im Rahmen des BMBF-Projekts „Digitalisierung in der Industriellen Biotechnologie“ [3] seine Promotion am Lehrstuhl für Bioverfahrenstechnik. Ziel des Projekts ist es, Entwicklungszyklen neuer Bioprozesse durch Digitalisierung und Automatisierung zu beschleunigen. Dafür braucht man Geräte, die sich digital in Echtzeit steuern lassen. Bromig: „Aber am Institut gab es nur Goldene Käfige.“ Darunter versteht man, dass die Software vom Hersteller nur genau für ein Gerät geschrieben wurde und nicht direkt kompatibel mit der Software anderer Geräte ist. Also begann der Chemieingenieur seine Promotion nicht damit, Bakterien zu transformieren und Proteine zu isolieren, sondern Software zu entwickeln. Und zwar solche, die alle für den Bioprozess notwendigen Instrumente wie Pumpen, Thermostate, Sensoren, Pipettierroboter, Rührgeräte, pH-Meter und Plattenleser integrieren kann und sie miteinander kommunizieren lässt.

Keine Schnittstellen

Was der Computer- und Mobilgerätee Welt die USB-Stecker und Gerätetreiber sind, das fehlt im Labor. „Die meisten neuen Geräte sind zwar digitalisiert, aber wenig standardisiert. Man muss Informatiker oder IT-affine Spezialisten beschäftigen, wenn man diese Geräte miteinander vernetzen will. Denn die Hersteller verwenden proprietäre Software, die es nicht erlaubt, Analysen und Daten zentralisiert zu steuern und zu prozessieren,“ erklärt Daniel Juchli. Er ist Experte für die Digitalisierung von Laboren und Chief Technical Officer (CTO) bei der Non-Profit-Organisation SiLA, die Kommunikationsprotokolle entwickelt.

Die am weitesten entwickelten Standardschnittstellen für Laborgeräte sind SiLA (Standardization in Lab Automa-

tion) und AnIML (Analytical Information Markup Language). SiLA ist ein Protokoll für die Kommunikation zwischen Laborgeräten, AnIML ermöglicht die herstellerübergreifende Ablage von Analysedaten. Beide Schnittstellen stehen weltweit als Open-Source-Systeme zur Verfügung. Ein dritter Standard für Laborgeräte namens LADS (Laboratory and Analytical Device Standard) befindet sich auf Initiative des Deutschen Industrieverbands für Optik, Photonik, Analysen- und Medizintechnik Spectaris noch in der frühen Entstehungsphase.

Doch der Druck auf die Laborgeräteanbieter steigt. Juchli: „Ich sehe immer mehr Ausschreibungen, bei denen verlangt wird, dass das gesuchte Gerät eine Standard-Schnittstelle hat und Daten im FAIR-Format liefert.“ Außer-

dem sind etliche Smart-Lab-Projekte am Start, die dokumentieren, was möglich ist. Am Institut für Energie- und Umwelttechnik (IUTA) entsteht beispielsweise das FutureLab. NRW, ein digitalisiertes Modelllabor für miniaturisierte Analytik. Auf der Online-Veranstaltung smartLAB connects wurde letztes Jahr das Connectivity Space Berlin vorgestellt. Dessen Betreiber, die Firma Labforward, beschreibt das Projekt auf seiner Webseite so: „In der zweiten Jahreshälfte wollten wir ein voll funktionsfähiges Smart-Lab in unserem Büro aufbauen, in nur einer Woche!“ Es gelang.

Man kann also hoffen, dass sich in – hoffentlich nicht allzu ferner – Zukunft die Forschenden mittels Gerätevernetzung, Automatisierung und Datenverarbeitung die Alltagsarbeit erleichtern können. —

VACUUBRAND®

PC 3001 VARIO select

- Niedriger Energieverbrauch
- Effiziente Lösemittelrückgewinnung
- Kurze Prozesszeiten

www.vacuubrand.com



Energieeffizienter Chemie-Pumpstand

klimateutrales lithium aus deutschland

— Frank Frick



Wer Elektromobilität sagt, muss auch Lithium sagen, denn das Leichtmetall ist der wichtigste Rohstoff für wiederaufladbare Batterien. Das Unternehmen Vulcan treibt derzeit das ehrgeizige und enorm kostspielige Vorhaben voran, Lithium im Oberrheingraben zu fördern – und sieht das Streben nach Nachhaltigkeit auf seiner Seite.

Derzeit stammt das Lithium für die Elektroautos, Smartphone-Akkus und stationären Batteriespeicher nur aus einigen wenigen Staaten. 80 Prozent kommen aus Australien und Chile, wobei 2021 der fünfte Kontinent mit geförderten 55.000 Tonnen gegenüber 26.000 Tonnen deutlich die Nase vorn hatte. Für die Batterieindustrie aufbereitet wird das Lithium vorwiegend in China.

Diese Situation ist aus deutscher und

europäischer Sicht vor allem aus zwei Gründen unerfreulich: **Erstens birgt die Abhängigkeit von wenigen Lieferanten und internationalen Lieferketten erhebliche wirtschaftliche und politische Gefahren. Zweitens erfolgt die Lithiumgewinnung in den genannten Ländern auf eine Weise, die in Zeiten der Energiewende und des europäischen Green Deals kaum mit den Zielen nachhaltigen Wirtschaftens in Einklang zu bringen ist.**

In Australien wird Lithium durch Erzbau gefördert, da es dort als Bestandteil von Mineralien, hauptsächlich von Spodumen, vorkommt. Um es aus den Erzen herauszulösen, benötigt die Industrie mechanische, andere physikalische sowie chemische Prozessschritte, die mit großem Energieaufwand verbunden sind und große Mengen umweltbelastenden Abfalls hinterlassen. Kostengünstiger, aber mindestens ebenso umstritten ist die Gewinnung von Lithium aus den Salzwüsten Südamerikas. Dabei pumpen die Unternehmen lithiumhaltiges Salzwasser – Sole genannt – aus unterirdischen Hohlräumen an die Oberfläche und lassen es dort in großen Becken verdunsten. Zurück bleibt ein Salz, das mit Hilfe von Chemikalien aufgereinigt werden muss. Im Zentrum der Kritik steht der gewaltige Wasserverbrauch: Auch wenn es sich nicht um Trinkwasser handelt, könne sich die Förderung doch nachteilig auf den Grundwasserspiegel auswirken, befürchten Anwohner und Umweltorganisationen.

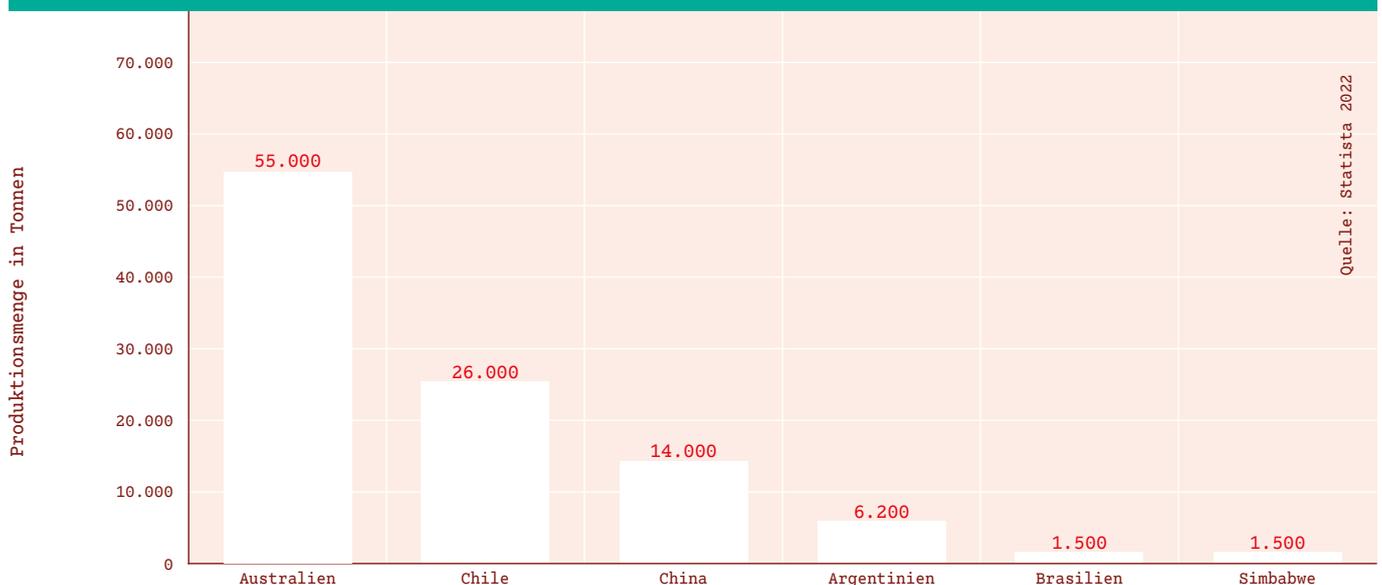


Stoff für die europäische Batterieindustrie

Da kommen die Pläne der Vulcan Energie Ressourcen GmbH aus Karlsruhe gerade recht. Die Firma will für die europäische Batterieindustrie Lithium auf CO₂-neutrale Weise gewinnen – und zwar im Oberrheingraben. Dort gibt es in unterhalb von 400 Metern Tiefe Thermalwasser in unterirdischen Reservoirs, das 160 bis 190 Milligramm Lithium pro Liter Wasser enthält. Zum Vergleich: Die Konzentration des Leichtmetalls im Tiefen-

wasser der Salzwüsten beträgt 300 bis 1600 Milligramm pro Liter. Die deutsche Unternehmenstochter des börsennotierten australischen Unternehmens Vulcan Energy Resources will dabei Erdwärme als Energiequelle nutzen, um Wasser an die Oberfläche zu befördern und daraus Lithiumchlorid zu extrahieren. Dieses soll dann in Kooperation mit dem Chemieunternehmen Nobian in Frankfurt-Höchst elektrolytisch zu hochreinem Lithiumhydroxid umgewandelt werden, wie es die Batterieindustrie benötigt.

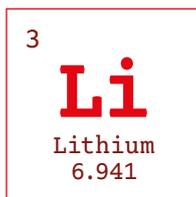
Minenproduktion von Lithium nach den wichtigsten Ländern im Jahr 2021 (in Tonnen)





Die beiden Vulcan-Gründer Horst Kreuter (r.) und Fancis Wedin

Schon 2025 will Vulcan davon jährlich 40.000 Tausend Tonnen produzieren. Das würde für die Batterien von rund sieben Millionen E-Fahrzeugen in Europa reichen. Als zentrale Herausforderung sieht eine aktuelle Studie von Geowissenschaftlern des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) die „tatsächliche Umsetzung der Extraktion“. Zwar gäbe es zahlreiche Methoden, die im Labor erfolgreich Lithium aus Thermalwasser extrahieren. Dabei reiche das Methodenspektrum von Flüssig-Flüssig-Extraktionen über die Adsorption an feste anorganische Stoffe und die Elektrodialyse bis hin zur Abtrennung mittels Membranen. „Doch eine Skalierung zu einem industriellen Prozess fehlt bisher“, so die KIT-Wissenschaftler. Der Technologie-Reifegrad betrage auf einer Skala von Eins bis Neun maximal Sechs, definiert als „Prototyp in Einsatzumgebung.“



... Das Extraktionsverfahren, das wir nutzen, ist bereits seit 20 Jahren in Südamerika großtechnisch und kommerziell im Einsatz. ...

Horst Kreuter, Firmengründer und Geschäftsführer der deutschen Vulcan, sieht das anders: „Das Verfahren, das wir nutzen – die Adsorption an Aluminiumhydroxid – ist bereits seit 20 Jahren in Südamerika großtechnisch und kommerziell im Einsatz. Das ist auch der Grund, warum wir uns hierfür entschieden haben, denn alle anderen Verfahren sind tatsächlich noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium.“

Von der Pilotanlage zur Industriereife

Momentan arbeiten die Fachleute des Unternehmens daran, das Adsorptionsmaterial an die Zusammensetzung des Thermalwassers im Oberrheingraben anzupassen, insbesondere an den Silicat-Gehalt, der sich als störend erwiesen habe, so Kreuter. Dafür steht ein Labor in Karlsruhe-Durlach sowie eine Pilotanlage am Geothermiekraftwerk in Insheim zur Verfügung, das Vulcan dieses Jahr erwarb. „Diese Pilotanlage läuft rund um die Uhr und produziert Hunderte von Gramm Lithiumchlorid pro Monat“, sagt Kreuter. Derzeit würde eine Demonstrationsanlage aufgebaut, die rund 500-mal größer sei und die monatlich Lithiumchlorid im Tonnenmaßstab produzieren solle.

Vulcan konnte für sein Vorhaben in den letzten zweieinhalb Jahren mehr als 200 Millionen Euro von Investoren sowie an der Börse einsammeln. Das Unternehmen selbst beziffert den finanziellen Aufwand bis zur anvisierten Jahresproduktion von 40.000 Tonnen Lithiumhydroxid auf rund 1,8 Milliarden Euro. Vulcan schloss bereits bindende Abnahmeverträge für das Lithium mit den Autokonzernen Renault, Stellantis und Volkswagen, dem Materialtechnikunternehmen Umicore sowie dem Batteriehersteller LG Energy Solution. Darüber hinaus will die Firma, die derzeit rund 150 Mitarbeiter beschäftigt, klimaneutrale Wärme aus der Geothermie gewinnen und vereinbarte

einen Abnahmevertrag mit dem Mannheimer Energieunternehmen MVV.

Vulcan versichert, die Förderung des Lithiums erfolge ausschließlich in geschlossenen Kreisläufen, sodass nahezu kein Frischwasser verbraucht werde und keine Schadstoffe aus dem Untergrund in die Umwelt gelangten.

Die Bürgerinitiative Geothermie Landau aber bezweifelt das und sieht zudem die Gefahr, dass durch die Bohrungen Erdbeben ausgelöst werden. Geschäftsführer Kreuter zeigt sich dagegen optimistisch, dass das Projekt nicht an mangelnder Akzeptanz in der Bevölkerung scheitern wird. „Die Bürgerinitiativen bestehen nur aus einigen

wenigen Personen, die in den sozialen Netzwerken größer und lauter auftreten, als sie eigentlich sind. Wir sprechen da etwa von vielleicht zehn bis zwanzig aktiven Personen im Projektgebiet. Die große Mehrheit in der Bevölkerung befürwortet unser Vorhaben und steht hinter unserem Projekt. Das spiegeln uns die Menschen bei unseren Informationsveranstaltungen und Roadshows immer wieder zurück.“

Noch mehr Lithium aus Deutschland?

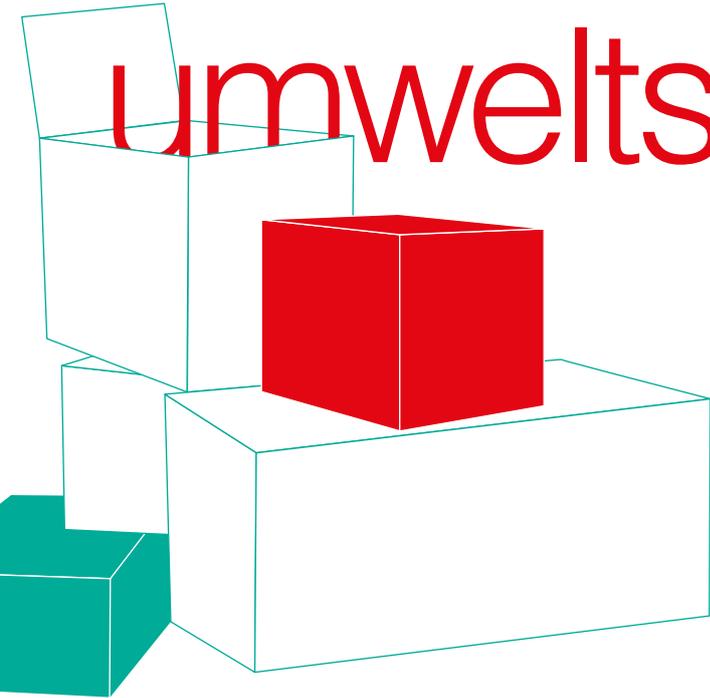
Hinsichtlich der anvisierten Fördermethode ist Vulcan in Deutschland einzig-

artig. Doch es gibt neben dem Oberrhein noch eine weitere Region mit Lithiumreserven, die von Unternehmen ins Visier genommen wurde: das sächsische Bergbauggebiet Zinnwald auf dem Kamm des Erzgebirges. Entsprechende Pläne wurden schon vor über zehn Jahren bekannt, doch ihre Verwirklichung kommt nur langsam voran: Erst im Juli dieses Jahres startete die Deutsche Lithium GmbH, Tochter des britischen Unternehmens Zinnwald Lithium, eine Bohrkampagne. Diese soll den bisher angenommenen Lithiumgehalt im Gestein bestätigen und helfen, die Bergwerksplanung zu optimieren. —



Das Geothermiekraftwerk Insheim in der Südpfalz gehört seit Anfang 2022 dem Unternehmen Vulcan.

umweltschonender



Verpackungen schützen Waren vor Wertverlust, sind aber aus ökologischer Sicht Ballast und Ressourcenverschwendung. Vermeiden, mehrfach verwenden und umweltfreundliche Materialien nutzen, lautet daher die Devise. Allerdings gibt es in der Praxis einige Hürden.

— Frank Frick

Die beste Verpackung ist keine Verpackung, könnte man witzeln. Doch ganz ohne kommen selbst die Unverpackt-Läden nicht aus, die in vielen Städten eröffnet wurden. Denn auch diese Geschäfte beziehen Lebensmittel und andere Waren in Groß- oder Mehrweggebinden, also verpackt. Ihre Kundschaft wiederum füllt die Lebensmittel in eigene Behälter ab. Doch zweifellos ist das Unverpackt-Geschäftsmodell mit einem geringeren Müllaufkommen verknüpft.

Für Unternehmen, die Chemikalien oder Laborbedarf liefern, ist es wohl noch schwieriger als für den Lebensmittelhandel, Flaschen, Beutel oder Kartons zu vermeiden. Doch zumindest Leerraum in Versandboxen lässt sich verringern. Das Chemieunternehmen Merck will ihn bis Ende dieses Jahres um 20 Prozent senken. „Selbstverständlich beschäftigen auch wir uns als Handelsunternehmen laufend damit, wo wir Verpackungsmaterial vermeiden können“, sagt Marcel Ohmer, Logistik-Leiter bei der Firma Carl Roth. So werden immer, wenn es möglich ist, die Artikel in der Original-Verpackung des Herstellers weitergeschickt, sie erhalten nur ein zusätzliches Versandlabel.

Ein anderes Beispiel betrifft die Wickelfolie, die verhindert, dass beim Transport Waren auf der Palette verrutschen. „Waren, die nur den kurzen Weg zu unserem Transportdienstleister nach Bruchsal überstehen müssen, umwickeln wir seit einigen Monaten nicht mehr so straff wie Waren, die ins Ausland versendet werden. Wir sparen auf diese Weise pro Palette einige Umdrehungen Wickelfolie ein“, so Ohmer. Wer denkt, das sei Kleinkram, der darf staunen: Zusammen mit einem Umstieg auf eine dünnere und leichtere Folie, die aber trotzdem reißfest

ist, kann das Unternehmen künftig geschätzt jährlich rund fünf Tonnen Wickelfolie einsparen.

Für den Transport von Laborbedarf aus Glas kann auf schützende Luftpolsterfolien oder Verpackungschips nicht verzichtet werden. Doch auch hier lässt sich Müll reduzieren: Im Logistikzentrum der Firma Carl Roth sammelt und sortiert man die Chips aus ankommenden Lieferungen, um sie beim späteren Warenversand einzusetzen.

Zum Alltagsgeschäft des Unternehmens gehört es, große Gebinde in viele kleine zu überführen. „Es ist eine Never-ending-Story, möglichst passende kleine Verpackungseinheiten zu entwerfen – da gibt es sicher immer noch Verbesserungspotenzial“, sagt Ohmer. Manche Umverpackungen erscheinen nötig, weil Gebrauchsanweisungen oder Analysezertifikate beigelegt werden. Einen möglichen Ausweg bietet die Digitalisierung: Beispielsweise könnten die Informationen künftig über einen QR-Code bereitgestellt werden, wie es viele Unternehmen der Unterhaltungselektronik schon seit geraumer Zeit tun.

Die Abfallhierarchie

Die Vermeidung von Müll hat in der sogenannten Abfallhierarchie die höchste Priorität. Im europäischen und im deutschen Recht definiert diese Hierarchie die Rangfolge für den Umgang mit Abfällen. Das Vermeiden hat demnach Vorteile gegenüber der nächsten Hierarchiestufe, nämlich der Mehrfachverwertung von Verpackungen. Erst auf der dritten Stufe folgt das Recycling. Das ist verständlich, weil sich auch eine mehrfach genutzte Verpackung am Lebensende noch recyceln lässt.

[1] www.stiftung-mehrweg.de/fileadmin/user_upload/2022-04_Kunststoffbasierte-Mehrwegsysteme-in-der-Circular-Economy_Fraunhofer-UMSICHT.pdf

[2] M. Bergmann et al., 2022, Nature Reviews Earth & Environment 3, 323-337

packen

01

Die Rangfolge im Umgang mit Verpackungen lautet: Vermeiden ist besser als eine Mehrfachverwertung. Diese wiederum hat eine höhere Priorität als das Recycling.

02

Es gibt für manche Anwendungen keine nachhaltige Alternative zu Verpackungen aus Kunststoff.

03

Innovativ-nachhaltige Verpackungsmaterialien sind zum Beispiel Graspapier oder Isolierpaneele aus Hanf.

Dass Mehrwegsysteme gegenüber den entsprechenden Einweglösungen auch bei Einberechnung des Recyclings in den Bereichen Zirkularität, Leistungsfähigkeit und Nachhaltigkeit klare Vorteile aufweisen, bestätigte kürzlich eine Studie des Fraunhofer Clusters of Excellence Circular Plastics Economy anhand von kunststoffbasierten Obst- und Gemüsesteigen, Pflanzentrays und Coffee-to-go-Bechern [1].

Auch im Chemikalienhandel können Mehrwegsysteme zum Einsatz kommen. So stellen einige Lieferanten von flüssigen Chemikalien gerade die 1000-Liter-Einweg-Intermediate-Bulk-Container (IBC) auf Mehrweg-IBCs um. Doch vor allem drei Faktoren begrenzen den Spielraum für den Einsatz von Mehrwegverpackungen. Erstens sind verwendete Primärverpackungen, die unmittelbar mit flüssigen oder festen Chemikalien in Kontakt standen, eine mögliche Gefahrenquelle beim Wiedereinsammeln oder beim Rücktransport. Zweitens müssen zurückgeholte Gebinde mittels mehrerer Lösungsmittel äußerst gründlich gesäubert werden, da jede noch so kleine Kontamination der neuen durch Reste der früheren Füllung vermieden werden muss. Diese Reinigung ist mit hohem Arbeits- und Energieaufwand verbunden und produziert nicht unerheblichen Chemikalienabfall. Drittens sind Rückholtransporte kleiner Verpackungsmengen mit einem unverhältnismäßig hohen CO₂-Ausstoß durch LKW verknüpft. Abhilfe schaffen könnte hier höchstens ein einheitliches Sammelsystem wie etwa bei Getränkeverpackungen, das aber nicht in Sicht ist.

Kontroverse um Plastik

Im Zentrum öffentlicher Kritik stehen vor allem Verpackungen aus Kunststoff. Unter anderem, weil in Gewässern Plastikmüll in einer Menge landet, die zwei LKW-Ladungen pro Minute entspricht. Selbst die entlegensten Gebiete unserer Erde – etwa die Strände der Arktis oder der arktische Meeresboden – sind mit Kunststoffresten verschmutzt [2]. Dass Verpackungen nach Gebrauch weder in die Umwelt noch in die Weltmeere gehören, betonen auch die Vertreter der Kunststoffindustrie.

Allerdings: „Die verbreitete Negativsicht auf Kunststoffe verstellt oft den Blick für das Wesentliche: Plastik ist ein hochinnovatives und auch absolut nachhaltiges Material, ohne das es einfach nicht geht. Unsere heutige Welt und die klimaneutrale Welt, die wir erschaffen wollen, sind nur mit Kunststoffen möglich. Und dafür bringen sie eine Ökobilanz mit, die vielfach besser ist als bei anderen Werkstoffen“, argumentierte etwa Markus Steilmann, Geschäftsführer des Leverkusener Polymerunternehmens Covestro gegenüber der IK Industrievereinigung Kunststoffverpackung [3]. Er fordert ein besseres Abfallmanagement und vor allem eine Kreislaufwirtschaft als Leitprinzip, um das Problem des Plastikmülls in den Griff zu bekommen.

Tatsächlich gibt es etwa eine Reihe von vielversprechenden Aktivitäten, die ein biologisches Recycling von PET und anderen Kunststoffen in greifbare Nähe rücken (siehe auch Polyethylen auf dem Speiseplan, S. 54).

[3] IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen, 2022, Im Dialog, <https://newsroom.kunststoffverpackungen.de>

Notwendige Praxistests

Unstrittig ist, dass die Wahl des Verpackungsmaterials eine Stellschraube in Richtung mehr Nachhaltigkeit darstellt. Bislang wurden bei Carl Roth beispielsweise Packzettel und Lieferscheine mit Kunststoff-Versandtaschen an der Außenseite von Versandkartons befestigt, um die Dokumente vor Nässe und Verschmutzung zu schützen. Nach umfangreichen Tests und Probesendungen an Kunden stellt das Unternehmen nun von Kunststoff auf Pergamentpapier um. „Dieses Pergamentpapier wird nicht als wasserfest beworben, hat sich aber für unsere Zwecke als ausreichend feuchtigkeitsstabil erwiesen“, sagt Sonja Lorsee, Leiterin des Qualitätsmanagements. Der große ökologische Vorteil der Umstellung: Die Kunden können nun in aller Regel die gesamte Umverpackung dem Papierrecycling zuführen.

Das Unternehmen Merck startete 2021 ein Pilotprojekt mit dem Ziel, durchsichtige Umschläge an der Kartonage gänzlich abzuschaffen. „Diese zunächst nur kleine Veränderung kann zu bedeutenden ökologischen und betrieblichen Einsparungen führen. Nach unseren Schätzungen könnten wir mit einer weltweiten Abschaffung dieser Plastikhüllen 20 Tonnen Plastikmüll und über 80 Tonnen CO₂-Äquivalente einsparen“, heißt es im Nachhaltigkeitsbericht des Unternehmens.

Cooler Verpackungen

Ein besonders schwieriger Fall ist der Versand in Kühlboxen. Das dafür verwendete Styropor isoliert zwar sehr wirkungsvoll und ist kostengünstig. Zwar kann Styropor recycelt werden, doch es ist nicht biologisch abbaubar und neigt dazu, in Form kleiner Partikel die Umwelt zu fluten. Eine Rücknahme der Styroporboxen ist nicht nur logistisch aufwändig, sondern verschlechtert auch über den LKW-Transport die Ökobilanz der Kisten zusätzlich.

Eine Alternative sind Boxen mit Isolierpaneelen aus Hanf, die vollständig in den Produktionsprozess zurückgeführt werden können. Zudem bindet die Hanfpflanze beim Wachstum mehr CO₂ aus der Atmosphäre als beim Anbau oder der Ernte entstehen. Sie ist damit ein positiver Faktor für die CO₂-Bilanz. Nachdem die temperaturisolierende Wirkung solcher Boxen ausführlich geprüft und für sehr gut befunden worden ist, stellt Carl Roth aktuell den Kühlversand auf diese nachhaltigen Kisten um.

Es gibt noch weitere Styropor-Ersatzmaterialien, beispielsweise ein von Forschenden der Technischen Universität Dresden entwickeltes Isoliermaterial aus Altpapier [4]. „Durch die geringe Temperaturleitfähigkeit und das höhere Wärmespeichervermögen von Cellulose übertreffen die Isoliereigenschaften der nachhaltigen Fasermatten sogar die der meisten

anderen Materialien“, sagt Thomas Schrinner vom Dresdner Institut für Naturstofftechnik.

Bei Carl Roth befindet sich ein weiterer möglicher Wechsel des Verpackungsmaterials in einer sehr frühen Testphase, denn Papier und Pappe müssen nicht zwangsläufig aus Holz gewonnen werden. Schon 2015 entwickelten Forschende in einem Projekt, das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert wurde, Papier, das aus Gras gewonnen wird. Danach startete das Hennefer Unternehmen Creapaper die erste Grasfaser-Produktionslinie [5]. Heute bieten in Deutschland nach Angaben des Handelsportals ecoon 14 deutsche Fabriken Graspapier an. Gras bringe als Rohstoff gegenüber Holz eine Menge Vorteile, so ecoon: „Gras wächst in Deutschland zuhause, bietet regionale Arbeitsplätze, hat dadurch kurze Lieferwege und verursacht auch noch weniger CO₂. Weiterhin verbraucht es in der Produktion weniger Wasser, weniger Energie und keine Chemikalien.“ Creapaper selbst gibt an: „Allein bei der Herstellung des Grasfaser-Rohstoffs reduziert man die CO₂-Emission um bis zu 95 Prozent.“ Der Laborbedarfshändler Carl Roth hat eine kleine, selbstentworfene Verpackung aus Graspapier herstellen lassen, um sie nun ausgiebig auf ihre Leistungsfähigkeit hin zu prüfen.



Kreislauf der Kunststoffe?

Bei Primärverpackungen für Lagerung und Transport von Chemikalien sind, anders als bei Umverpackungen, Kunststoffe nicht wegzudenken. Doch auch hier ist aus ökologischer Sicht Kunststoff nicht gleich Kunststoff. So hat die EU-Kommission bereits 2018 die Industrie aufgefordert, bis 2025 europaweit 10 Millionen Tonnen Rezyklate einzusetzen, was aktuell etwa 20 Prozent des europäischen Rohstoffbedarfs entspricht [6]. Von zunehmender Bedeutung wird hier das „chemische Recycling“ sein, bei dem Kunststoffe in Rohstoffe „zurückverwandelt“

[4] www.tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/int/das-institut/news/coolere-verpackungen-wissenschaftler-der-tu-dresden-entwickeln-nachhaltiges-isolationsmaterial-zum-versand-von-kuehlpflichtigen-produkten

[5] www.creapaper.de

[6] www.statista.com/statistics/987838/plastics-production-volume-in-the-eu-28/

[7] Cefic, 2022, Chemical Recycling, Cefic Position, <https://cefic.org/the-chemical-industry-position-papers>

Und was ist mit Biokunststoffen?

Der BUND spricht von einer Scheinlösung [8], die Deutsche Umwelthilfe fordert ein Ende der „Irreführung“ [9]: Gemeint ist Bioplastik. Die Vorsilbe Bio bezieht sich dabei darauf, dass die entsprechenden Kunststoffe auf nachwachsenden Rohstoffen beruhen. Anders als häufig angenommen, bedeutet diese biogene Herkunft nicht automatisch, dass ein Kunststoff auch biologisch abbaubar ist! Doch selbst da, wo die biologische Abbaubarkeit ausdrücklich versprochen werde, sei

sie oft real nicht gegeben, behauptet der BUND. Weitere Kritikpunkte von Naturschutzorganisationen: Durch den Anbau von Pflanzen für Biokunststoffe gingen Ackerflächen verloren. Die Pflanzen stammten nicht aus ökologischer Landwirtschaft, sondern würden in Übersee angebaut. Außerdem seien in Biokunststoffen Additive enthalten, die gesundheitsschädlich oder umweltgefährdend sein könnten.

Das Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe an der Hoch-

schule Hannover (IfBB) positionierte sich dazu dieses Jahr im Juni [10]: Einige Aspekte teile man als unabhängiges Forschungsinstitut durchaus. Doch nicht Biokunststoffe an sich seien das Problem, so das IfBB: „Statt sie in den Fokus zu nehmen, müssen im Rahmen der Kreislaufwirtschaft Mehrweglösungen und Recycling forciert und ein unnötiger Einsatz von Kunststoffen vermieden werden – und zwar für alle Kunststoffsorten.“

werden und das, im Gegensatz zum mechanischen Recycling, auch Misch-Kunststoffe verwerten kann. „Immer mehr industrielle Pilot- und Demonstrationsanlagen für das chemische Recycling sind im Bau oder werden angekündigt. Der vollständige Einsatz und die Integration des chemischen Recyclings in der europäischen Chemieindustrie erfordert umfassende Innovationen und Investitionen“, schreibt das European Chemical Industry Council (Cefic) [7], die „Stimme der großen, mittleren und kleinen europäischen Chemieunternehmen.“ Für Sonja Lorsee stellt sich die Lage derzeit so dar: „Wir würden gerne verstärkt Primärverpackungen mit einem hohen Recyclat-Anteil einsetzen. Wir wünschen uns daher Studien, die verlässliche Daten zur Beständigkeit solcher Verpackungen gegenüber Chemikalien liefern. Bei Verpackungen für Gefahrstoffe sind zudem behördliche Zulassungen erforderlich – in Deutschland von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).“

Es bleibt die Erkenntnis: Um die Kreislaufwirtschaft als Nachhaltigkeitsziel zu verwirklichen, bedarf es vieler kleiner Schritte und einer gewaltigen gesamtgesellschaftlichen Anstrengung. Der Chemikalienhandel hat ganz offensichtlich bereits die Ärmel hochgekrempt und sich auf einen nachhaltigeren Weg gemacht. —

[8] www.duh.de/bioplastik

[9] www.bund.net/service/publikationen/detail/publication/bio-kunststoffe

[10] www.ifbb-hannover.de/de/pressemitteilung/sind-biokunststoffe-eine-scheinloesung-fuer-die-plastikkrise.html



**BREITHAUP
HÜTTENFELD**

BREITHAUP GMBH MODERNE TRANSPORTVERPACKUNG
WWW.BREITHAUP-GMBH.DE

Gemeinsam engagiert in der
Metropolregion
Rhein-Neckar

poly ethylen

auf dem speiseplan

— Karin Hollricher

Im Darm einer Mottenlarve leben Bakterien, die Polyethylen zersetzen können. Das Team Beworm arbeitet daran, diese Eigenschaft technisch nutzbar zu machen.

Vor fünf Jahren entdeckte die spanische Wissenschaftlerin Frederica Bertocchini zufällig, dass Larven der Wachsmotte *Galleria mellonella* sich durch Plastiktüten fressen. Tat sich da eine Option für den biologischen Abbau von Polyethylen auf? Eleonore Eisath war von der Idee fasziniert und entschied, in ihrer Masterarbeit zu beschreiben, wie die Larve dazu beitragen könnte, das Plastikmüllproblem zu verringern. Allerdings studierte Eisath an der Technischen Universität München (TUM) nicht Biologie, sondern Industriedesign. Basierend auf dem damaligen Wissensstand entwickelte sie ein Konzept unter Zuhilfenahme des Speculative Design: Mit dieser von Designern entwickelten Methode beschreibt man, wie sich technische Neuerungen in imaginäre, aber möglicherweise realisierbare Szenarien umsetzen lassen könnten.

Inzwischen wurde aus dem spekulativen ein ziemlich konkretes Design. 2019 gewann Eisath einen Ideenwettbewerb der TUM. Das Preisgeld war der finanzielle Start für die Erforschung des biologischen Plastikabbaus. „Ich fand an der TUM mit Verena Wohlfahrt und Stefan Szalay zwei begeisterte Mitstreiter. Verena ist Mikrobiologin, Stefan ist Elektroingenieur und Biologe. Wir drei wollen eine Firma gründen und die Fähigkeit der Bakterien, Plastik abzubauen, technisch nutzbar machen“, sagt Eisath.



Industriedesignerin **Eleonore Eisath** gewann 2019 einen Ideenwettbewerb der TU München.

Galleria mellonella



Klasse:
Insekten (Insecta)

Ordnung:
Schmetterlinge (Lepidoptera)

Familie:
Zünsler (Pyralidae)

Gattung:
Galleria

Quelle: [de.wikipedia.org/wiki/Große_Wachsmotte](https://de.wikipedia.org/wiki/Gro%C3%9Fe_Wachsmotte)

Zunächst ging es in Laborräume, die die Universität ihren Start-ups in der Gründungsphase zur Verfügung stellt. „Wir haben Larven nur mit Plastik gefüttert und das Mikrobiom, also alle Mikroorganismen, aus den Därmen derjenigen Tiere isoliert, die diese Diät mit Polyethylen als einziger Kohlenstoffquelle überlebten.“ Ein kluger Ansatz, denn inzwischen nahmen einige Forscher an, dass die Larve das Plastik nur zerkleinert, aber nicht verdaut. „Wir aber fanden tatsächlich verschiedene Mikroorganismen, die Polyethylen zu kürzeren Kohlenwasserstoffketten, zu Alkanen, abbauen“, erklärt Eisath. Eine bisher unbekannte Bakterienspezies kann das besonders effektiv. Nun untersucht das Laborteam, welche Enzyme diese Spezies dafür verwendet. Diese Moleküle sollen dann isoliert und biotechnisch so optimiert werden, dass sie auch in einer großtechnischen Anlage die langen Polyethylenketten abbauen können. „Wir konzentrieren uns auf eine bestimmte Form des Polyethylens, das Low Density Polyethylen. Warum? Weil nur sechs Prozent dieses Plastiks weltweit wiederverwertet werden, denn es liegt in der Regel als verschmutzte, gefärbte oder bedruckte Folien vor und steckt in Verbundverpackungen. Wir träumen davon, diese Quote deutlich zu steigern.“ Bei der Verwirklichung dieses Traums helfen auch etliche Freiwillige, alles Studierende der TUM.

Bis dahin ist es noch ein langer Weg, der viel Geld kosten wird. Während die Biologen die Pipetten schwingen, schreibt die Industriedesignerin deshalb einen Businessplan und Förderanträge. „Wir bewerben uns aktuell um Preisgelder für Start-ups sowie um öffentliche Fördergelder. Viele solcher Ausschreibungen schließen allerdings bereits gegründete Firmen explizit aus“, sagt Eisath. Deshalb steht zwar mit Beworm schon der Name fest, aber noch existiert die Firma dazu nicht.

Wenn im Labor alles glatt läuft, soll die Enzymtechnologie patentiert und danach an große Partner in der Chemie auslizensiert werden. Interesse bestehe schon jetzt, so Eisath. Außerdem ist auch ein Direktverkauf der Enzyme geplant. Um bis dahin über die Runden zu kommen, wollen die drei Auftragsforschung anbieten. „Wir sind uns der Schwierigkeit der Aufgabe bewusst, aber wir wollen unbedingt zu einer Lösung des komplexen Problems Plastikmüll beitragen.“ —

Wer das Beworm-Team bei diesem Projekt finanziell unterstützen möchte, kann mit einer Spende ab 15 Euro „virtueller Wurm-Sponsor“ werden. Wie das geht? Ganz einfach über die Webseite:

www.beworm.org



Mitglied des Teams Beworm:
der Elektroingenieur und Biologe **Stefan Szalay**.



Sucht wie Stefan Szalay nach den Enzymen, die Polyethylen abbauen können: Mikrobiologin **Verena Wohlfahrt**.

digital gegen das Chaos im Labor

— Karin Hollricher

Das Team von Fluics entwickelte eine App, mit deren Hilfe man das Durcheinander im Labor und in den Kühlgeräten in den Griff bekommen kann.

In Tiefkühlgeräten Ordnung zu halten, ist nicht einfach – und umso schwieriger, je mehr

Forschende sie benutzen. Auf geheimnisvolle Weise verschwinden Proben, Chemikalien und Puffer in den Geräten: Sie wandern von vorne nach hinten oder werden in andere Schachteln und Racks umsortiert. Glaubt man schließlich, das Gesuchte in den Untiefen des Gerätes entdeckt zu haben, muss man leider oft genug feststellen, dass sich die Beschriftung nicht mehr zweifelsfrei entziffern lässt oder sich das Etikett abgelöst hat. Und das gilt nicht nur für Material im Tiefkühler, sondern auch für die meist umfangreiche Sammlung an Experimentierkits und Feinchemikalien im Kühlschrank. Für dieses Problem bietet das Unternehmen Fluics in München professionelle Hilfe an.

„Aktuell beschriften 90 Prozent der Beschäftigten in Forschungslaboren die Laborgefäße wie Eppis und Falcons händisch. Oft ist die Beschriftung nicht dauerhaft, vielfach die Handschrift unleserlich, meist passt nicht alles auf das Gefäß, was man dort eigentlich notieren möchte“, sagt Claudio Rolli, einer der beiden Firmengründer. „Natürlich kann man seine Proben und Chemikalien mit Excel-Listen verwalten. Doch dafür muss man sehr diszipliniert Listen im Computer

führen. Auf Dauer wird das zu mühselig. Wir haben daher eine mobile App entwickelt, die einem mitteilt, wo was steht.“

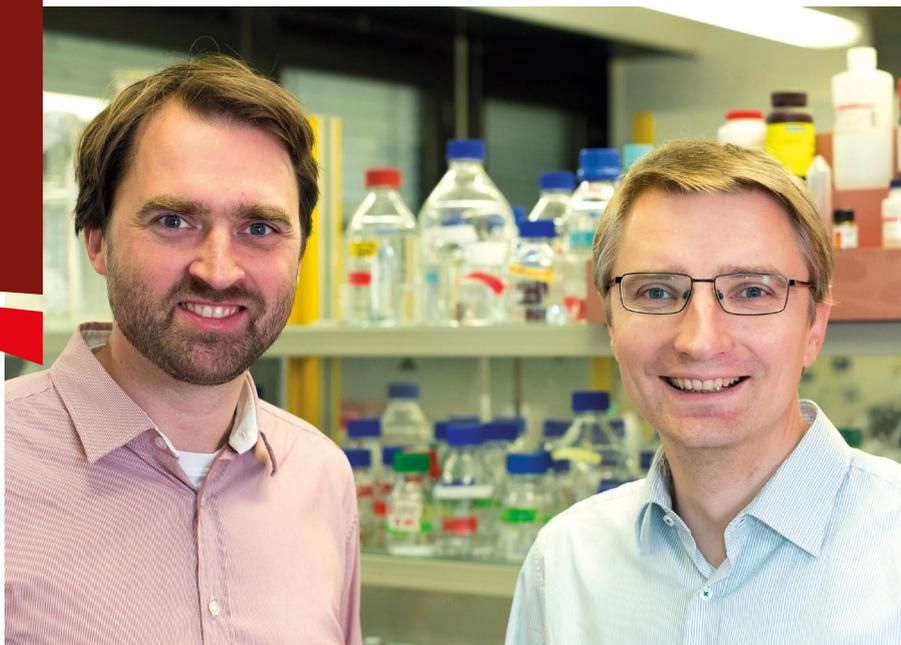
Raketenwissenschaft ist es nicht, was Rolli und sein Kollege Michael Lewton entwickelten. An der Technischen Universität München versah der gelernte Chemiker und Zellbiologe erstmals seine Experimente mit QR-Codes. „Ich dachte mir damals, wie toll es wäre, wenn ich alle meine Chemikalien und Experimente codieren und über eine mobile App verwalten könnte“, erinnert sich Rolli.

Gesagt, getan. Im Januar 2019 fiel der Startschuss für das Projekt Fluics. Es wurde ein Etikett entworfen, das sich mit einem kleinen Drucker – nicht viel größer als ein Kreditkartenlesegerät – beschriften lässt. Der Sticker klebt nicht nur bei Raumtemperatur, sondern auch bei minus 80 Grad Celsius langfristig auf Kunststoff- und Glasgefäßen. Der Toner ist abriebfest und hält Eis sowie Lösungsmitteln stand. Der Drucker lässt sich über eine eigens dafür entwickelte App steuern, die man auf jedem angemeldeten Mobiltelefon und auch über Browser benutzen kann. „Für die Registrierung der Geräte braucht man keinen IT-Spezialisten, das geht per Plug & Play“, erklärt Rolli. Das per Sticker codierte Laborgefäß wird gescannt und Daten wie Einlagerung, Entnahme, Name desjenigen, der es zuletzt in Verwendung hatte, werden in einer EU-basierten Cloud gespeichert.



Noch auf der Suche nach den Weihnachtskugeln? Im Keller oder auf dem Dachboden? Mit den robusten, individuell beschriftbaren, QR-codierten Etiketten kann man Proben und Chemikalien versehen und die Lagerung über eine App organisieren. Das wäre auch für den Weihnachtsbaumschmuck ganz praktisch.

... Für die Registrierung der Geräte braucht man keinen IT-Spezialisten, das geht per **Plug & Play** ...



Mit einer Idee, wie man leicht und besser Ordnung im Tiefkühler oder Chemielager halten kann, gründeten **Claudio Rolli** (links) und **Michael Lewton** (rechts) die Firma Fluics.

Die Datenbank ist über die App mit dem Smartphone oder am PC über den Browser bedienbar. Natürlich muss man jeden Umgang, den man damit hatte, auch in der App notieren. „Das Prozedere hilft effektiv, Fehler zu vermeiden, da man mit dem Handy an Ort und Stelle Zugriff auf die Datenbank bekommt. Auch langwierige Arbeiten wie die Inventur zum Jahresende erledigt man mit der Batch-Scan-Funktion in einem Bruchteil der sonst üblichen Zeit“, sagt Rolli.

Im Herbst 2019 gingen die Jungunternehmer an den Markt. „Wir sind in München und Umgebung von Labor zu Labor gegangen, um unser Produkt vorzustellen. Und dann kam Corona – das war der Hammer“, sagt Rolli. Plötzlich war persönlicher Kundenkontakt unmöglich. Finanziell war der Lockdown für die Firma nicht einfach, denn sie finanziert sich nur aus Mitteln der Eigentümer und dem, was die Produkte erwirtschaften. Erstmals wieder persönlich auf einer Messe und im Gespräch mit potenziellen Kunden waren Rolli und Lewton auf der Analytica im Juni 2022. Rolli: „Wir erlebten großes Interesse. Die Digitalisierung nimmt zu und kommt jetzt auch in den Forschungslaboren an Hochschulen und Instituten an, das merken wir deutlich. Deshalb erweitern wir gerade die Software um verschiedene Optionen.“ Beispielsweise kann die Datenbank nun Excel-Dateien im- und exportieren. Man

kann zu jedem Lagerort ein Foto hochladen und benennen. Und man kann die Etiketten mit allen in Umlauf befindlichen Gefahrensymbolen für gefährliche Substanzen versehen.

Zum Einstieg in das System und zum Ausprobieren bietet Fluics ein Starter-Set

an, bestehend aus der App für Android, iOS und Web-Browser, dem Drucker und 1000 beschriftbaren Etiketten. Wem das System gefällt, kann aufstocken und Etiketten nachkaufen. Weitere laufende Kosten wie beispielsweise Lizenzgebühren für die Software fallen nicht an. —

Den größten Nutzen seines Systems sieht Firmengründer Claudio Rolli bei Proben, die mit viel experimentellem Aufwand hergestellt wurden, sowie bei teuren Feinchemikalien und Molekülen.

„Ein solches Verwaltungssystem erleichtert den Forscherinnen und Forschern nicht nur den Arbeitsalltag. Sondern es sorgt auch für mehr Nachhaltigkeit, weil alles immer wieder auffindbar ist. Insbesondere wenn man mit Proben von Menschen oder Versuchstieren arbeitet, ist eine exakte Inventarisierung auch aus ethischen Gründen wirklich angezeigt.“

grünes licht

für alle, die noch mehr wissen wollen

So. Jetzt sind Sie, liebe Leserinnen und Leser, auf der letzten Seite des carls angelangt.

Wir hoffen von ganzem Herzen, dass Ihnen die erste Ausgabe gut gefallen hat und Sie auch in Ihrem Alltag davon profitieren können. Für Carl Roth ist es eine echte Herzensangelegenheit, zu einer überlegten Zukunft beizutragen. Nachhaltiger zu arbeiten. Als gutes Beispiel voranzugehen. Uns mit Ihnen allen zu vernetzen. Kurz: Die Umwelt liegt uns sehr am Herzen.

Und Sie möchten wir gerne dazu einladen, Teil von etwas Großem zu sein! Den allerersten Abschnitt des Weges sind Sie bereits mit uns gemeinsam gegangen, indem Sie den carl gelesen haben. Sie wissen jetzt, wie wir Forschung nachhaltiger gestalten können, welche neuen Wege zu grünem

Wasserstoff führen, haben an der Seite von Juliane Hollender und Ellen Fritsche geforscht und wissen, warum Minus 70 das neue Minus 80 ist. Doch bis Labore und unsere Umwelt ein Herz und eine Seele sind, dauert es noch seine Zeit. Doch keine Sorge: Die können Sie überbrücken – mit gut recherchierten Artikeln, die Sie digital an die Hand nehmen und spannende Themen behandeln. Von Umweltanalytik über Landwirtschaft ohne Kunststoffe bis hin zu den zwölf Prinzipien der grünen Chemie – in unserem Blog unter www.carlroth.blog bleiben Sie stets auf dem Laufenden und können die Frage „Alles im grünen Bereich?“ hoffentlich so schnell wie möglich mit einem klaren „Ja!“ beantworten.

Denn das ist es, was wir uns von Herzen wünschen – ein bedachtes und nachhaltiges Handeln auf allen Ebenen und in allen Bereichen. Stück für Stück gemeinsam. Für unsere Umwelt. Für Sie. Für uns. Für die nachkommenden Generationen. Für alle.

Fassen wir uns ein Herz. Fangen wir an.

carl 01
22

 Carl Roth GmbH + Co. KG

 @carlrothgmbh

*Die Zukunft der
Labore ist **ROTH***

Herausgeber

Carl Roth GmbH + Co. KG
Schoemperlenstraße 3-5
76185 Karlsruhe
Fon: +49 (0)721 / 56 06 - 0
Mail: info@carlroth.de
www.carlroth.de

Vertreten durch

André Houdelet,
Thorsten Wagner

Redaktion

Karin Hollricher,
Frank Frick

Autorinnen und Autoren

Julia Braun,
Frank Frick,
Claudia Götzingler,
Karin Hollricher,
Andrea Pitzschke,
Jacob Schneidewind

Anzeigen

top-ad Bernd Beutel
Schlossergäßchen 10
69469 Weinheim
Fon: +49 (0)6201 / 290 92 - 0
Mail: info@top-ad-online.de
www.top-ad-online.de

Gestaltung

goetzinger+komplizen Werbeagentur GmbH
Pforzheimer Straße 68b
76275 Ettlingen
Fon: +49 (0)7243 / 76 17 - 00
Mail: hallo@goetzinger-komplizen.de
www.goetzinger-komplizen.de

Druck

Vogel Druck und Medienservice GmbH
Leibnizstraße 5
97204 Höchberg
Fon: +49 (0)931 / 46 00 - 02
Mail: info@vogel-druck.de
www.vogel-druck.de

Umschlag

150g/m² holzfrei
weiß glänzend
Bilderdruck

Einlage

Steinbeis silk 80g/m²
Recyclingpapier
matt gestrichen



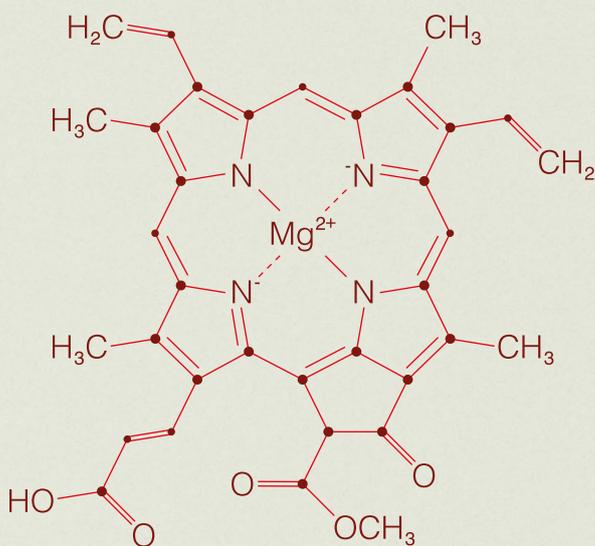
Bildnachweise

Titel: istockphoto.com, wayra | S. 3: istockphoto.com, wayra / Carl Roth GmbH + Co. KG | S. 4: istockphoto.com, wayra / shutterstock.com, Design Projects / istockphoto.com, fotografixx | S. 5: Carl Roth GmbH + Co. KG | S. 6: istockphoto.com, wayra | S. 9: istockphoto.com, wayra | S. 11: istockphoto.com, wayra | S. 12: istockphoto.com, Goldfinch4ever | S. 13: ETH Zürich / istockphoto.com,

com, Goldfinch4ever | S. 14: istockphoto.com, luismmolina | S. 15: Ellen Fritsche | S. 16: Martin Grolms | S. 19: Carl Roth GmbH + Co. KG / Dr. Jacob Schneidewind | S. 20: istockphoto.com, CHIARI_VFX | S. 22: © SymbioPharm GmbH Jürgen Eck | S. 23: istockphoto.com, CHIARI_VFX | S. 24: shutterstock.com, Design Projects | S. 27: www.stephanortmanns.de | S. 28: Chris Kettner | S. 31: FMP Berlin | S. 34: istockphoto.com, fotografixx | S. 35: istockphoto.com, pkujjahe | S. 36: Green Labs Austria | S. 38: istockphoto.com, Eplistera | S. 39: istockphoto.com, Eplistera | S. 40: Jeroen Dobbelaere | S. 43: istockphoto.com, akinbostanci | S. 44: Lukas Bromig | S. 46, S. 47, S. 48, S. 49: Vulcan Energie Ressourcen GmbH | S. 52: Carl Roth GmbH + Co. KG | S. 54: istockphoto.com, Bhupinder Bagga / istockphoto.com, Anastasiia Romashina / beworm GbR | S. 55: istockphoto.com, Bhupinder Bagga / beworm GbR | S. 56: FLUICS GmbH | S. 57: FLUICS GmbH



Growing ideas for science



Für die nachhaltige **Entfaltung** Ihres Labors haben wir genau das Richtige. Neben unserem breiten Angebot an green chemistry haben wir viele Prozesse grüner gemacht. — *#growwithus*



Laborbedarf,
Life Science und
Chemikalien.

www.carlroth.de

