

MIT Technology Review

Das Magazin für Innovation von Heise

Deutschland 12,90 € / Österreich 14,20 € /
Luxemburg 15,20 € / Schweiz 25.80 CHF **7/2021**

SPECIAL

KLIMAWANDEL

Batterie- Entwicklung

Mehr Reichweite für
weniger Geld

Kohlendioxid einfangen

Berechtigte Hoffnung
oder große Illusion?

Forschen für das Fahrrad

Wie die Verkehrswende
gelingen kann

Greentech- Start-ups

Sechs Ideen für
eine grünere Zukunft

Können wir diese Welt noch retten?

Es gibt keine Ausreden mehr. Was wir jetzt gegen
den **Klimawandel** tun müssen, um unseren **Kindern**
einen lebenswerten Planeten zu hinterlassen.

© Copyright by Heise Medien.





Hafven headquarters captured by Hélène Binet

Die Zukunft ist anders – neues Arbeiten auch.

Hafven
Innovation

Transformation & Innovation
as a Service for Corporates.
hafven-innovation.de



LIEBER LESERINNEN UND LESER,

2,7 Grad – das ist der Wert an globaler Erwärmung, auf den wir laut eines UN-Berichts zusteuern. Damit ist er fast doppelt so hoch wie das 1,5-Grad-Ziel, das die politischen Akteure in fast jeder Debatte um den Klimawandel gebetsmühlenartig nennen. Es ist ganz erstaunlich, wie wirklichkeitsfremd das ist: Da klammert sich die Politik noch immer an einen Wert, den sie in der Vergangenheit mit Füßen getreten hat und der auch mit den aktuellen Vorhaben nicht zu erreichen ist.

Wie ernst es schon ist, zeigt zum Beispiel die Tatsache, dass es immer mehr Zonen auf der Erde gibt, die an bestimmten Tagen im Jahr eine Kombination aus Temperatur und Luftfeuchtigkeit aufweisen, die lebensbedrohlich für Menschen ist. Laut einer Studie ist das für 30 Prozent der Weltbevölkerung an mindestens 20 Tagen im Jahr bereits der Fall – Tendenz steigend (Seite 32).

Die gute Nachricht: Deutschland kann bis Mitte des Jahrhunderts klimaneutral werden. Wir fassen die wichtigsten Szenarien bezüglich der Veränderungen zusammen, die dafür nötig wären (Seite 14). Es sind Szenarien und keine Prognosen, machen aber deutlich, dass es hart wird: Weniger individuelle Mobilität, also deutlich weniger fliegen und Auto fahren. Weniger Fleischkonsum. Noch mehr Windräder – ja, auch direkt vor der eigenen Haustür. Die Liste ist lang.

Gleichzeitig räumen wir mit unrealistischen Argumenten auf, die immer wieder aufkommen. Die Idee zum Beispiel, CO₂ aus der Atmosphäre zu entnehmen, klingt gut. Das funktioniert technisch sogar. Die Wahrheit ist aber auch, dass die nötige Menge, um bei einer globalen Klimaneutralität bis 2050 das 1,5-Grad-Ziel einzuhalten, gigantisch ist. Das ist mit technischen Lösungen kaum zu schaffen (Seite 48).

Das Beispiel zeigt: Technologische Innovationen allein werden nicht genügen, um das 1,5-Grad-Ziel zu erreichen. Der Klimawandel ist vor allem eine kulturelle und soziale Frage. Sind wir bereit für die Einschnitte, die in unserem Alltag nötig wären? Ist die Politik bereit, die Grenzen des Wachstums anzuerkennen und danach zu handeln? Und sind wir alle bereit, die Konsequenzen, die sich daraus ergeben, fair zu verteilen? Die Antworten auf diese Fragen werden darüber entscheiden, ob wir es schaffen, unseren Kindern einen lebenswerten Planeten zu hinterlassen.

Ihr

Luca Caracciolo
@papierjunge

7.2021 INHALT

MIT Technology Review ist die deutsche Ausgabe des gleichnamigen Magazins vom Massachusetts Institute of Technology MIT



© Copyright by Heise Medien

DIE GRÜNE NULL

Wie realistisch ist deutsche Klimaneutralität bis 2050?
Und was bedeutet das für unser Leben?



96

FORSCHEN FÜR DAS FAHRRAD

Was bringt mehr Menschen
aufs Rad? Wir haben sechs
Expertinnen und Experten zur
Verkehrswende befragt.



© Copyright by Reim Medien



EXPERTE IN 5 MINUTEN

8 POLITIK Der Green Deal der EU



AKTUELL

10 WELTRAUM Energie aus dem All

11 BAUEN Klimaschonender Zementersatz

13 CHEMIE Ammoniak-Herstellung mit Plasma



SZENARIEN

14 KLIMANEUTRALITÄT Was es für die grüne Null braucht

20 SOZIALER WANDEL Harald Welzer im Interview

24 GEOLOGIE Das Tempo des Klimawandels in Bildern

32 HITZEWELLEN Wenn es zu heiß zum Überleben wird

36 KLIMAMODELLE KI für bessere Computersimulationen

42 BIODIVERSITÄT Jedes Grad mehr tötet



INDUSTRIE

44 OFFSETTING Die Wirtschaft rechnet sich klimaneutral

48 NEGATIVE EMISSIONEN Die große Illusion

52 RENATURIERUNG Kann der Sinai ergrünen?

56 LEBENSMITTEL Mehr Resilienz für die Lieferketten

60 GREENTECH Sechs Start-up-Ideen für die Zukunft

66 STAHL CO₂-arme Alternativen zum Koks



ENERGIE

78 ATOMKRAFT Ein visueller Einblick

76 ERDGAS Kann Deutschland wirklich aussteigen?

88 PHOTOVOLTAIK Klimaschutz trifft Naturschutz

84 WINDKRAFT Offshore-Lücke mit Ansage



VERKEHR

88 BATTERIEN Ein Forscher über den Aufbruch im Markt

92 TRANSPORT Wie Daten den Nahverkehr verändern

96 FAHRRAD Viel Forschungsbedarf für die Verkehrswende



MEINUNG

102 POLITIK Merkels späte Reue

104 BÜCHER Die große Flut / Wir Klimawandler

104 KLASSIKER So lasst uns denn ein Apfelbäumchen pflanzen

3 Editorial **6** Impressum **100** Technologiezentren

106 Der Futurist

Personen dieser Ausgabe



HARALD WELZER ist Professor für Transformationsdesign in Flensburg und St. Gallen. Zudem gibt er als Direktor von „Futurzwei – Stiftung Zukunftsfähigkeit“ das gleichnamige Magazin heraus, das vierteljährlich erscheint. Im Interview fordert er, den Klimawandel endlich als „empirische Wirklichkeit“ anzuerkennen. Nur so könne unsere Gesellschaft wieder in den Modus der politischen Gestaltung kommen.

ANGELA MERKELs Bilanz fällt in puncto Klimapolitik zwiespältig aus: „Es hat schon immer zwei Angela Merkels gegeben“, schreibt Christian Schwägerl in seinem Rückblick auf ihre Amtszeit: die Physikerin, die sich klimapolitische Meriten verdient hat, und die Machtpolitikerin, die zentrale Ministerien Politikern und Politikerinnen anvertraut hat, für die Klimaschutz „eine lästige Sache“ war.



ANNA ALEX ist Mitgründerin des Berliner Start-ups *Planetly*. Es hat eine Software entwickelt, mit der Unternehmen ihren CO₂-Fußabdruck analysieren können. Alex wurde 2012 mit ihrer Gründung *Outfittery* bekannt – einem Online-Shoppingservice, der Männer mithilfe von KI und Stylisten besser einkleiden soll. Als Alex keine Software fand, um den CO₂-Fußabdruck von *Outfittery* zu berechnen, gründete sie kurzerhand *Planetly*, wie sie unserem Autor Jan Vollmer erzählt.

TIES VAN DER HOEVEN möchte die Welt ein Stückchen besser und die Wüsten grüner machen. Früher hat er für ein Baggerunternehmen an den künstlichen Palmen-Inseln in Dubai mitgearbeitet. Wegen der damit verbundenen massiven Eingriffe in die Natur hat er sich aus dem Geschäft zurückgezogen. Nun möchte er Bagger nur noch nutzen, um blühende Landschaft zu schaffen, erzählt er Jo Schilling im Interview.



Impressum

MIT Technology Review ist die deutsche Lizenzausgabe der MIT Technology Review aus den USA.

REDAKTION

Postfach 61 04 07, 30604 Hannover, Karl-Wiechert-Allee 10, 30625 Hannover, Telefon: 0511/53 52-764, Fax: 0511/53 52-767, www.technologyreview.de, E-Mail: info@technology-review.de

CHEFREDAKTEUR: Luca Caracciolo

REDAKTEURE/-INNEN: Gregor Honsel, Jennifer Lepies (Online), Dr. Jo Schilling, Dr. Wolfgang Stieler

REDAKTIONSSISTENZ: Carmen Lehmann, Michael Menzel

DTP-PRODUKTION: Matthias Timm (Ltg.), Beatrix Dedek, Madlen Grunert, Lisa Hemmerling, Cathrin Kapell, Kirsten Last, Martina Lübke, Steffi Martens, Marei Stade, Ricardo Ulbricht, Heise Medienwerk, Rostock

INFOGRAFIKEN: Matthias Timm

FOTOREDAKTION: Marei Stade

HERGESTELLT UND PRODUZIERT MIT XPUBLISHER: www.xpublisher.com

XPUBLISHER-TECHNIK: Kevin Harte, Pascal Wissner

MITARBEITER DIESER AUSGABE: Carsten Braun, Jan Berndorff, Ian van Coller, Casey Crownhart, Steffen Ermisch, Udo Flohr, Bernhard Janzing, Manuel Heckel, Bernhard Ludewig, Chrisitan Schwägerl, Klaus Sieg, John Surico, James Temple, Jan Vollmer, Eva Wolfangel

VERLAG

Heise Medien GmbH & Co. KG, Postfach 61 04 07, 30604 Hannover, Karl-Wiechert-Allee 10, 30625 Hannover
Telefon: 0511/53 52-0, Fax: 0511/53 52-129

HERAUSGEBER: Christian Heise, Ansgar Heise

GESCHÄFTSFÜHRER: Ansgar Heise, Dr. Alfons Schröder

MITGLIED DER GESCHÄFTSLEITUNG: Beate Gerold, Jörg Mühle

VERLAGSLEITER: Dr. Alfons Schröder

ANZEIGENLEITUNG: Michael Hanke,

Telefon: 0511/53 52-167, Fax 0511/53 52-200,

michael.hanke@heise.de, www.heise.de/mediadaten/tr

ANZEIGENPREISE: Es gilt die Preisliste vom

1. Januar 2021

LEITER VERTRIEB UND MARKETING: André Lux

VERTRIEBSABTEILUNG: 0511/53 52-157 (Aboservice:

0541/8 00 09-120), Vertrieb Einzelverkauf:

VU Verlagsunion KG, Meßberg 1, 20086 Hamburg;

Tel. 040/3019-1800, Fax: 040/3019-1451800; E-Mail:

info@verlagsunion.de, Internet: www.verlagsunion.de

SONDERDRUCK-SERVICE: Julia Conrades

DRUCK: Dierichs Druck + Media GmbH & Co. KG,

Frankfurter Str. 168, D-34121 Kassel, ISSN 1613-0138

ABOSERVICE

Heise Medien GmbH & Co. KG, Leserservice, Postfach 24 69, 49014 Osnabrück, Telefon: 0541/80009-120, Fax: 0541/800 09-122, E-Mail: leserservice@heise.de, Internet: www.heise.de/abo

ABONNEMENT-PREISE

Standardabo inkl. Versandkosten: Inland € 88,00, Österreich € 96,80, Schweiz CHF 175.60, restl. Europa € 103,60, im restl. Ausland € 108,80; ermäßigtes Abo für Auszubildende, Schüler und Studenten (gegen Vorlage eines Nachweises) inkl. Versandkosten: Inland € 51,60, Österreich € 56,80, Schweiz CHF 103.20, restl. Europa € 60,80, restl. Ausland € 63,60. Das Plus-Abonnement – inkl. Zugriff auf die App für iOS und Android, auf Heise Magazine (www.heise.de/magazine/tr) sowie das Artikel-Archiv von Technology Review kostet pro Jahr € 9,10 (Schweiz CHF 11,50) Aufpreis. Der Bezug der Zeitschrift Technology Review ist im Mitgliedsbeitrag des Verbandes BVIZ e.V., des hightech presseclub e.V. und des Vereins Munich Network e.V. enthalten. Für VDI-, VBIO-, VDE-, GI- (Gesellschaft für Informatik), bdvb e.V., /ch/open und JUG Switzerland-Mitglieder gilt ein ermäßigter Preis: Inland € 66,00, Österreich € 73,40, Schweiz CHF 131.70, restl. Europa € 77,70, im restl. Ausland € 81,60 gegen Vorlage eines schriftlichen Nachweises des Verbandes bzw. Vereins einmal pro Jahr. Eine Haftung für die Richtigkeit der Veröffentlichungen kann trotz sorgfältiger Prüfung durch die Redaktion vom Herausgeber nicht übernommen werden. Kein Teil dieser Publikation darf ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des Verlags in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet werden. Für unverlangt eingesandte Manuskripte kann keine Haftung übernommen werden.

PRINTED IN GERMANY, COPYRIGHT 2021 BY HEISE MEDIEN GMBH & CO. KG



DER
ENTSCHEIDER-TALK

„heise meets ... Der Entscheider-Talk“ ist der Podcast mit Entscheidern für Entscheider.

Wir besprechen kritische, aktuelle und zukunftsgerichtete Themen aus der Perspektive eines Entscheiders. Gisela Strnad (Heise Medien) begrüßt Persönlichkeiten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik. Immer aktuell und nah am Geschehen.

IHRE NÄCHSTEN GESPRÄCHSPARTNER

Schule Digital – Was muss noch passieren*

Dr. Rainer Ballnus, Senat Kinder und Bildung, Land Bremen

13.10.2021

Industrie 4.0 – 10 Jahre danach / Status quo und Wandlungsfähigkeit*

Dr. Philipp Ramin, Innovationszentrum für 4.0

27.10.2021

GAIA-X – macht Europa Wettbewerbsfähig*

Andreas Weiß, eco Verband

10.11.2021

* redaktioneller Podcast

** gesponserter Podcast

Bereits verfügbare Episoden:

Wo bleibt der Mensch im Digitalen Marketing?*

Dr. Ralf Strauß, Managing Partner Marketing Tech Lab GmbH,
Präsident DMV, Chairman of the Board European Marketing
Confederation

Digitale Revolution im Gesundheitswesen – Worauf warten wir?*

Gerhard Lesch, Director Business Development Healthcare &
Life Science, Intel

100 Tage – IT Sicherheitsgesetz 2.0 – erste Erfahrungen*

Arne Schönbohm, Präsident Bundesamt für Sicherheit in der
Informationstechnik
API First: Wellen der Transformation richtig reiten!**
Daniel Kocot, Codecentric

Digitale Infrastruktur ohne Limits –
Anforderungen an das Netz der Zukunft*
Antje Williams, Deutsche Telekom





Der Green Deal der EU

Der europäische Green Deal will nicht weniger, als Europa die weltweite Vorreiterrolle im Klimaschutz sichern. Europa soll 2050 der erste klimaneutrale Kontinent sein. Seit Juni 2021 ist Klimaschutz Gesetz – was steckt dahinter?

TEXT: JO SCHILLING; GRAFIK: MATTHIAS TIMM

DER GREEN DEAL – MANCHMAL KANN ES AUCH SCHNELL GEHEN

Dezember 2019

Kommission stellt europäischen Grünen Deal vor, der eine Verpflichtung zur Klimaneutralität bis 2050 vorsieht

September 2020

Kommission schlägt als neues EU-Ziel vor, die Netto-Emissionen bis 2030 um mindestens 55 Prozent zu verringern und dies in das europäische Klimagesetz aufzunehmen.

April 2021

Politische Einigung des Europäischen Parlaments und der Mitgliedstaaten über das europäische Klimagesetz

Juli 2021

Kommission legt Vorschlagspaket zur Umgestaltung unserer Wirtschaft vor, um unsere Klimaziele für 2030 zu erreichen. Verhandlung und Annahme des Legislativpakets durch das Europäische Parlament und die Mitgliedstaaten im Hinblick auf die Erreichung unserer Klimaziele für 2030.

März 2020

Kommission schlägt europäisches Klimagesetz vor, um das Ziel der Klimaneutralität bis 2050 in verbindliche Rechtsvorschriften aufzunehmen.

Dezember 2020

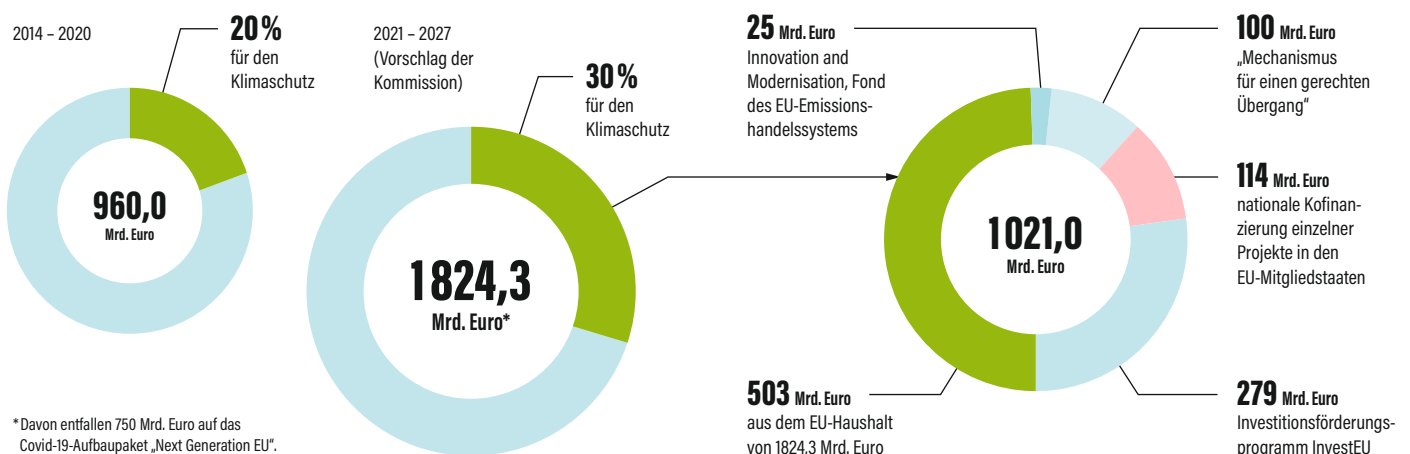
Die europäischen Staats- und Regierungschefs billigen das von der Kommission vorgeschlagene Ziel, die Netto-Emissionen bis 2030 um mindestens 55 Prozent zu verringern.

Juni 2021

Inkrafttreten des europäischen Klimagesetzes

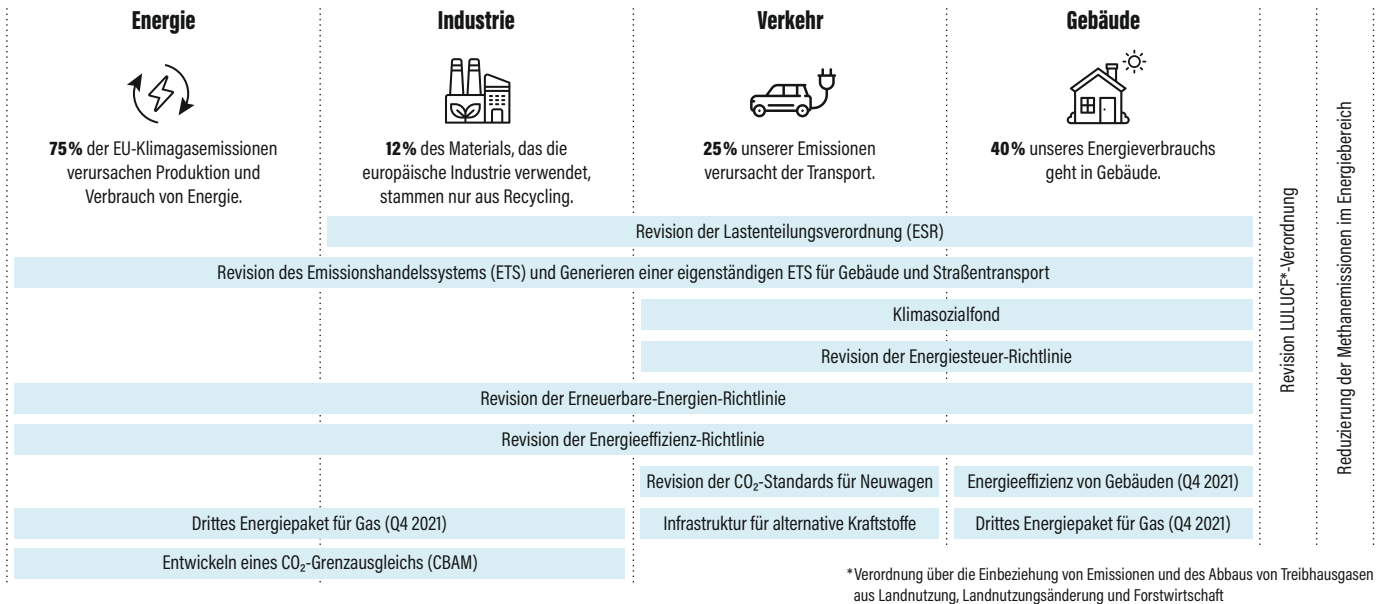
DIE KOSTEN DES GREEN DEAL

Ab 2021 wächst der EU-Haushalt. Der Green Deal soll allerdings nur knapp zur Hälfte aus dem EU-Haushalt finanziert werden. Hinzu kommen weitere Finanzierungsquellen, sodass insgesamt gut eine Billion Euro zur Verfügung stehen wird.

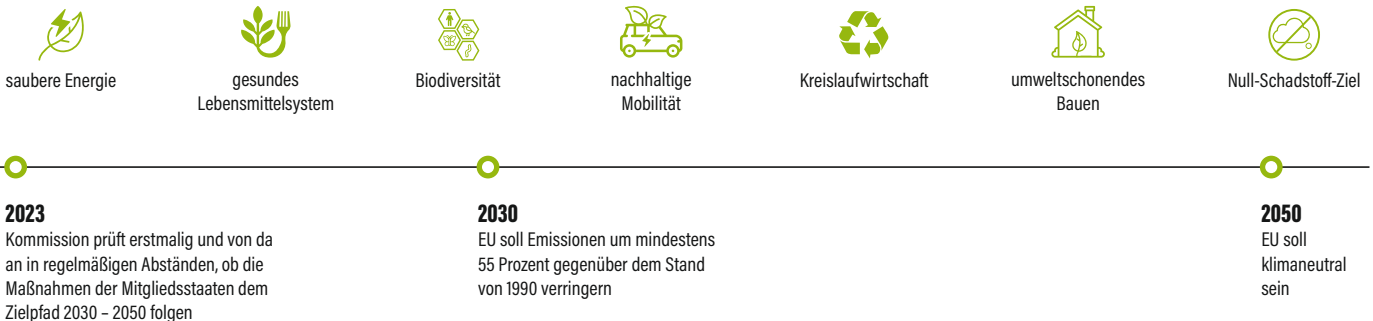


DIE „FIT FÜR 55“-STELLSCHRAUBEN

Mit dem Klimagesetz hat die EU sich verpflichtet, in zehn Jahren etwa die gleiche Menge Treibhausgase einzusparen wie von 1990 bis heute. Wie die EU sich die Umsetzung dieser Ziele vorstellt, präsentierte sie im Juli mit dem „Fit for 55“-Konzept – acht Vorschläge für den Ausbau bestehender Gesetze und fünf neue Initiativen für die Bereiche Klima, Energie und Kraftstoffe, Verkehr, Gebäude, Landnutzung und Forstwirtschaft.

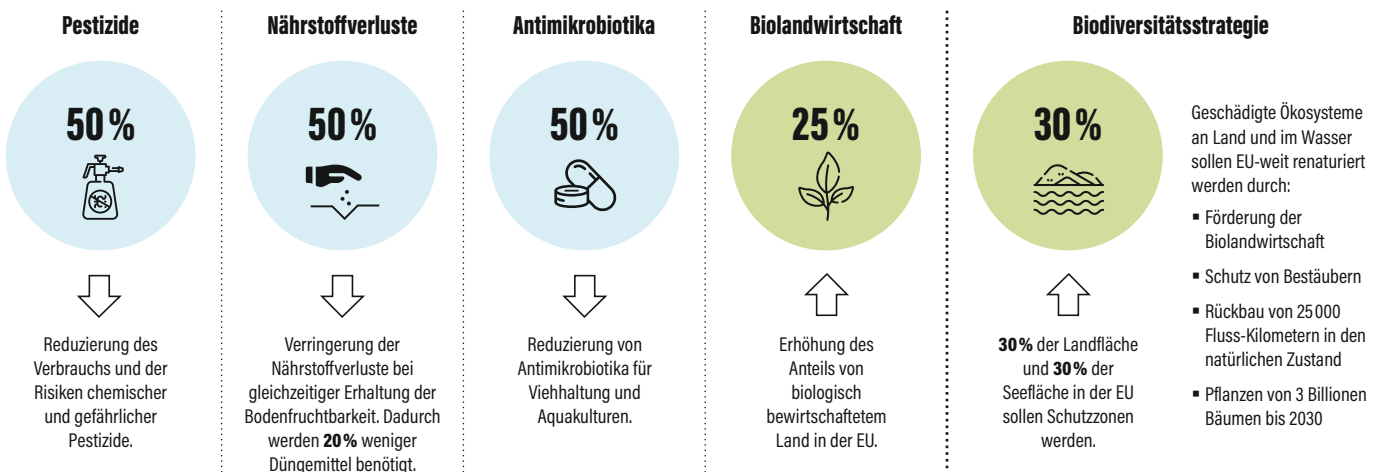


DIE ZIELE FÜR EIN KLIMANEUTRALES EUROPA BIS 2050



UNSERE LEBENSGRUNDLAGE

Die 2030-Ziele der EU für eine nachhaltige Lebensmittelproduktion und mehr Biodiversität.





Solarmodule fangen heute schon Sonnenenergie im All auf – allerdings kann der gewonnene Strom nicht verschickt werden.

WELTRAUM

Energie aus dem All

China plant Solarkraftwerke im geostationären Orbit, die Energie mit Mikrowellen zur Erde schicken können. Die Energieübertragung soll zunächst mit Ballons getestet werden, die in die Stratosphäre aufsteigen – bereits 2030 soll dann ein Prototyp im Megawatt-Bereich um die Erde kreisen.

So ein Kraftwerk könnte 24 Stunden am Tag die Sonne nutzen. Allerdings muss die im All gewonnene Energie in Mikrowellen gewandelt, gesendet und wieder in Strom gewandelt werden – ein wenig effizienter Prozess. Duan Baoyan von der Xidian University hat jedoch nicht notwendigerweise die Versorgung der Erde im Blick. Er denkt eher an eine Art „Ladestation“ im Orbit für kleine und mittlere Satelliten. Solche Satelliten bräuchten dann keine Sonnenkollektoren mehr, sondern nur noch Mikrowellen-Empfangsantennen. Um solche Kraftwerke zu bauen, müsste allerdings tonnenweise Material ins All transportiert werden. Experten schätzen, dass die Transportkosten mindestens um einen Faktor zehn sinken müssten, um Solarkraftwerke im All auch nur annähernd wirtschaftlich betreiben zu können.

WOLFGANG STIELER

PHOTOVOLTAIK

Solarmodule in Stein-Optik

Das Institut für Solarenergieforschung hat ein Verfahren entwickelt, um PV-Module unauffällig in Gebäude einzufügen. Deren Oberfläche besteht aus Stein. Dazu ersetzen die Forschenden entweder die Frontscheibe eines handelsüblichen PV-Moduls durch ein Steinfurnier oder laminieren es auf die bestehende Frontscheibe auf. Das 1,5 Millimeter dünne Furnier besteht aus Glasfaserkunststoff und einer 0,5 Millimeter dicken Steinschicht.

Der Nachteil: Die Steinschicht senkt den Wirkungsgrad und Maserungen und Unregelmäßigkeiten lassen nur ungleichmäßig Licht durch – etwas, was Solarzellen gar nicht gerne haben. An einer Fassade montiert, sinkt die Stromausbeute gegenüber Dachmodulen weiter, weil sie schlechter zur Sonne ausgerichtet sind. Trotzdem können sie eine sinnvolle Ergänzung zu Dachmodulen sein – etwa, weil sie an Ost- und Westfassaden morgens respektive abends verstärkt Strom liefern. Folgeprojekte sollen nun die Kommerzialisierung vorantreiben.

GREGOR HONSEL

WASSERKRAFT

Wellengenerator mit höherem Wirkungsgrad

Ohne Unterlass treffen Wellen auf die Küsten entlang der Ozeane. Ihre Bewegungsenergie ist groß genug, um allein in Europa – rein rechnerisch – etwa ein Zehntel des Strombedarfs zu decken. Allerdings ist es bislang nicht gelungen, die Kraft der Wellen tatsächlich zur Stromgewinnung zu nutzen. Einen neuen Ansatz für wartungsarme und leistungsfähige Wellenkraftwerke verfolgen nun australische Wissenschaftler vom Royal Melbourne Institute of Technology. Erste Laborversuche zeigen, dass ihr sogenannter Punktabsorber doppelt so viel Strom gewinnen könnte wie bisher konzipierte Wellenkraftwerke.

Xu Wang und seine Kollegen nutzen eine Boje, in der sie – sicher vor dem Meerwasser abgeschirmt – einen Generator installierten. Den treiben zwei gegenläufige Propeller an, die

an einer doppelten Achse in das wellenbewegte Wasser eintauchen. So können beide Drehrichtungen gleichzeitig für den Antrieb des Generators genutzt werden und die Stromausbeute verdoppelt sich, nach Aussagen der Forschenden.

Der nur 13 Kilogramm leichte Prototyp ist bisher allerdings von bescheidener Größe: Die Propeller haben einen Durchmesser von knapp einem halben Meter. Doch für erste Versuche in einem kleinen Wellentank im Labor reichte er aus und funktionierte am besten bei einer Amplituden-Wellenhöhe von 80 Millimetern. Damit erzielte er eine Leistung von 25 Milliwatt und einen beachtlichen Wirkungsgrad von knapp zwölf Prozent. Nun hofft Wang auf Investoren aus der Industrie, um den Schritt aus dem Labor zu wagen.

JAN OLIVER LÖFKEN

Neue Quellen für Zement-Ersatz

Die Zementherstellung ist für fünf bis zehn Prozent des globalen CO₂-Ausstoßes verantwortlich. Ursache dafür ist nicht nur der Energieaufwand beim Brennen, sondern auch die chemische Umwandlung des Kalks, bei der Kohlendioxid frei wird.

Zwar gibt es Ersatzstoffe wie Hüttensand aus der Stahlproduktion oder Flugasche aus Kohlekraftwerken, doch diese werden bereits fast vollständig für die Zementherstellung benutzt. Auch Pflanzenasche, etwa aus Reis- oder Maniok-Schalen, eignet sich als Ersatz für klassischen Portland-Zement, doch auch diese steht nur lokal und begrenzt zur Verfügung.

Eine weitere große Quelle für Zement-Ersatzstoffe hat nun ein Forschungsteam der Uni Halle-Wittenberg und der brasilianischen Universität Pará aufgetan: Belterra-Lehm. Dies ist ein bislang ungenutztes Abraumprodukt der Förderung von Aluminiumerz (Bauxit).

Die Forschenden untersuchten, welches Mischverhältnis aus Belterra-Lehm, Kalk und Gips die besten Eigenschaften

hat. Bei einer Beimischung von 42 Prozent Lehm, sank die nötige Brenntemperatur von rund 1450 Grad auf 1250 Grad Celsius. Nach 28 Tagen Aushärtung erreichten Testkörper aus diesem Zement eine Festigkeit von 40 Megapascal (Portland-Zement schaffte unter denselben Bedingungen 46 Megapascal). Insgesamt lasse sich so der CO₂-Ausstoß um zwei Drittel zu 30 Prozent gegenüber Portland-Zement senken.

Breiter verfügbar als der lokale Belterra-Lehm dürfte ein Zement-Ersatzstoff sein, den Forscher von der Texas A&M University entdeckt haben: Lehm aus dem Garten. Das Problem bei solchen Zement-Alternativen: Sie sind unterschiedlich zusammengesetzt und haben unvorhersehbare Eigenschaften. Deshalb sei solches Material vor allem für nicht-lasttragende Strukturen wie die Fassade geeignet, schränken die Forschenden ein. Aber das Team arbeite daran, die Belastbarkeit so zu verbessern, dass sich komplette Gebäude bauen ließen – mit einem 3D-Drucker.

GREGOR HONSEL

gründen MIT DER IBB

Für Ideen, die durchstarten

Sie suchen die passende finanzielle Förderung für Ihre Geschäftsidee? Wir haben sie. Kompetent, zuverlässig und mit dem Ziel, Ihr Start-up nachhaltig erfolgreich zu gestalten. Sprechen Sie mit uns!

Hotline Wirtschaftsförderung: 030 / 2125-4747

ibb.de/gruenden



200 Millionen

Menschen könnten laut einem Bericht der Weltbank bis 2050 durch den Klimawandel zur Flucht aus ihrer Heimat gezwungen werden. Allein in Afrika werden voraussichtlich etwa 86 Millionen südlich der Sahara umsiedeln müssen.

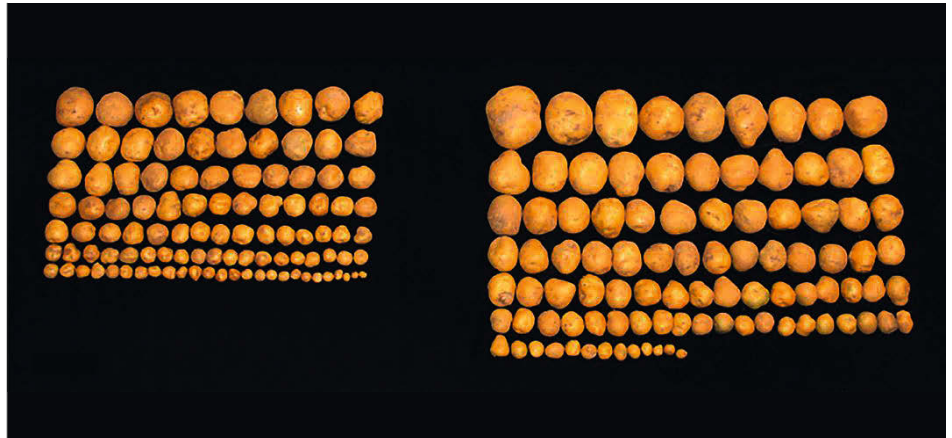


Foto: Qiong Yu, Shun Liu, Lu Yu et al.

Menschele Kartoffeln (rechts) neigen eher zur Leibesfülle als ihre natürlichen Verwandten.

ERNÄHRUNG

Menschliches Gen macht Kartoffeln dicker

Eine Forschungsgruppe aus den USA und China hat den Ertrag von Kartoffeln und Reis dramatisch gesteigert, indem sie ein menschliches Fettleibigkeits-Gen in Reis- und Kartoffelpflanzen eingeschleust hat. In Gewächshäusern brachte der veränderte Reis dreimal so viel Ertrag wie die Ursprungssorte. Auf Versuchsfeldern konnten die Forschenden doppelt so viel Kartoffeln und Reis ernten, so die in *Nature Biotechnology* veröffentlichte Studie (doi: 10.1038/s41587-021-00982-9).

Das eingeschleuste Gen codiert das sogenannte FTO-Protein, eine RNA-Methylase. Sie nimmt Einfluss auf die Protein-Produktion einer Zelle. Um ein Protein herstellen zu können, muss die Zelle eine Abschrift der passenden genetischen In-

formation aus dem Zellkern ausschleusen – die RNA. Damit diese RNA dann tatsächlich in das Protein übersetzt wird, muss sie aktiviert werden. Das ist die Aufgabe des FTO-Proteins. Während des Wachstums von Säugetieren ist es besonders aktiv. In Pflanzen gibt es jedoch kein Pendant dazu.

Der Haken: Die Ausgangssorten, denen die Forschenden das FTO-Gen eingeschleust haben, waren keine modernen züchterisch optimierten Hochleistungspflanzen. Daher waren sie leichter zu beeindruckenden Leistungssteigerungen zu bewegen. Was FTO in bereits optimierten Sorten noch erreichen kann, müssen weitere Experimente zeigen.

JO SCHILLING

Anzeige



PSI



Softwareinnovationen für
Energie- und Materialeffizienz

GEOENGINEERING

Kunstwolken für Korallenriffe

Mit schwimmenden Nebelmaschinen wollen australische Forscher Korallenriffe retten. Wird das Meer zu warm, bleichen Korallen aus und sterben. Besonders betroffen ist das Great Barrier Reef in Australien, das größte zusammenhängende Korallenriff der Welt. Dort soll sich der Korallenbesatz in den vergangenen 20 Jahren etwa halbiert haben.

Um die Sonneneinstrahlung auf die Korallen zu reduzieren, installierten Forschende der Southern Cross University (SCU) ein großes Gebläse auf einer umgebauten Fähre. Darenin bauten sie 320 Spezialdüsen ein, die Meerwasser in nanometergroße Tröpfchen zerstäuben. Hundert Kilometer vor der Küste erzeugten die Forschenden damit Miniwolken, die zunächst über die Meeresoberfläche drifteten und dann fahnenförmig in den Himmel stiegen. Das Ausmaß der Verschattung wurde mit Sensoren, Drohnen und einem zweiten, entfernt liegenden Boot ermittelt (doi: 10.1038/d41586-021-02290-3).

Die ersten Experimente waren zwar nicht groß genug, um die Wolkenbildung tatsächlich signifikant zu verändern. Doch Computermodelle zeigen laut Studienleiter Daniel Harrison, dass die Idee grundsätzlich funktioniert. „Wir sind sehr zuversichtlich, dass wir die Partikel hoch in die Wolken kriegen“, sagte er gegenüber *Nature*. Derzeit wisse man allerdings noch nicht, wie die vorhandenen Wolken darauf reagieren.

Das Projekt läuft seit März 2020 und ist der erste Feldversuch des „Cloud Brightening“. Andere Wissenschaftler kritisierten die SCU-Gruppe, weil sie bislang zu dem Vorhaben kaum etwas publiziert habe. Es werden zwar keine chemischen Stoffe oder Partikel verwendet, aber dennoch könnte es zu unvorhergesehenen Auswirkungen kommen, fürchten sie.

BEN SCHWAN

Foto: Shutterstock/Jon Rehg



Ammoniak wird in großen Mengen verbraucht – entsprechend groß ist der Energieverbrauch für die Herstellung.

Ammoniak wird in großen Mengen verbraucht – entsprechend groß ist der Energieverbrauch für die Herstellung.

Ammoniak wird in großen Mengen verbraucht – entsprechend groß ist der Energieverbrauch für die Herstellung.

Wirklich klimaneutral ist dieses Verfahren allerdings erst, wenn der Strom zur Erzeugung des Plasmas ausschließlich aus erneuerbaren Quellen stammt. Zudem muss sich noch zeigen, ob andere Forschungsgruppen die koreanischen Laborergebnisse reproduzieren können und ob sich das Verfahren auf großtechnische Maßstäbe skalieren lässt.

JAN OLIVER LÖFKEN

CHEMIE

Dünger aus Plasma

Die Produktion von Ammoniak verursacht rund 1,8 Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen. Forschende vom Korea Institute of Machinery and Materials (KIMM) haben nun einen Weg gefunden, Ammoniak deutlich klimafreundlicher herzustellen.

Ammoniak (NH₃) ist eine wichtige Basischemikalie für die Herstellung von Dünger. Sie wird mittels Haber-Bosch-Verfahren unter Einsatz von Wasserstoff hergestellt. Dieser Wasserstoff wird fast ausschließlich aus fossilem Erdgas gewonnen.

Das koreanische Forschungsteam nutzt stattdessen ein heißes Plasma aus Wasser und Stickstoff. In dieser Ionen-Wolke bilden sich Stickstoffmonoxid und Wasserstoff, die katalytisch unterstützt zu Ammoniak reagieren. Im Unterschied zum Haber-Bosch-Verfahren sind dafür keine Drücke von bis zu 200 bar und keine Temperaturen von 400 Grad nötig. Die Ausbeute ihres Prozesses beziffern die Forscher auf stolze 95 Prozent (doi: 10.1021/acsenergylett.1c01497).

Wirklich klimaneutral ist dieses Verfahren allerdings erst, wenn der Strom zur Erzeugung des Plasmas ausschließlich aus erneuerbaren Quellen stammt. Zudem muss sich noch zeigen, ob andere Forschungsgruppen die koreanischen Laborergebnisse reproduzieren können und ob sich das Verfahren auf großtechnische Maßstäbe skalieren lässt.

JAN OLIVER LÖFKEN

Anzeige



www.psi.de

PSI



Die grüne Null

Deutschland kann den Ausstoß seiner Klimagase bis Mitte des Jahrhunderts komplett auf Null senken. So rechnen es zumindest zahlreiche Studien vor. Doch wie realistisch sind deren Annahmen – und was bedeutet das für Gesellschaft, Unternehmen und Bürger?

VON GREGOR HONSEL

Bis Mitte des Jahrhunderts soll Deutschland klimaneutral werden. Studien, die den Weg dorthin vorrechnen, gibt es reichlich. Zahl auf Zahl fügt sich in ihnen zu einem hübschen, stimmigen Bild. Doch ist es wirklich so einfach? Wo ist der Haken?

Zum Beispiel bei mitunter sehr mutigen Annahmen, etwa eine dauerhafte Einlagerung von CO₂ oder ein massiver Import von Synfuels. Für beides gibt es bisher allenfalls vage Pläne. Oder eine Selbstbescheidung der Menschen beim Wohnen, Essen, Verkehr und Konsum, für die sich bisherige Trends komplett umkehren müssten.

Das Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme (ISE) etwa unterstellt in seinem „Suffizienz“-Szenario, das im Zeichen der Bescheidenheit steht, für 2050 rund 30 Prozent weniger motorisierten Individualverkehr und 55 Prozent weniger Flüge. Wer zwei Mal im Jahr per Flugzeug verreist, sollte also einen Flug streichen. Damit wollen die Autoren keineswegs vorhersagen, dass es so kommen wird. Auch mit anderen Szenarien ließe sich, zumindest hypothetisch, das angesetzte Klimaziel erreichen. Es würde nur sehr viel teurer (siehe S. 19).

» Die Diskussion über die Benzinpreiserhöhung war nur ein Vorgeschmack. «

Zu entscheiden, welches der Szenarien das wahrscheinlichste ist, bleibt den Lesern überlassen. Aber alle Szenarien zeigen: Es wird – auf die eine oder andere Weise – hart. „Das Ambitionsniveau der 2030er-Ziele ist bisher weder von Politik noch Gesellschaft verinnerlicht worden“, meint Benjamin Pfluger vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI). „Die Diskussion über die Benzinpreiserhöhung war nur ein Vorgeschmack.“

Auf die Frage, wie sich die einzelnen Maßnahmen umsetzen lassen, geben die Studien meist nur begrenzt Auskunft. Aber Modellrechnungen dienen schließlich „dem methodischen Aufzeigen von Pfaden und Zusammenhängen – und keiner politischen Agenda“, verteidigt Pflugers Kollegin Ulrike Herrmann den Ansatz. Pfluger ergänzt: „Szenarien sind die Diskussionsgrundlagen zwischen den Ministerien. Dann geht das große politische

Tauziehen los. Zumindest auf Sachebene werden die sehr genau wahrgenommen. Es gibt da Fachleute, die haben alle Szenarien der letzten 20 Jahre Seite für Seite gelesen.“

Die Studien geben also keine Lösungen vor, sondern zeigen uns unsere Optionen – und die Konsequenzen, die sich aus bestimmten Entscheidungen ergeben. Im Folgenden geben wir einen Überblick darüber, wo sich die Studien einig sind und wo nicht und wie realistisch ihre Annahmen sind. Wenn Studien mehrere Szenarien behandeln, haben wir jeweils das optimistischste dargestellt (siehe Kasten S. 17).

Strom

Werden Verbrennungs- durch E-Motoren oder Ölheizungen durch Wärmepumpen ersetzt, steigt zwar der Stromverbrauch, aber wegen der höheren Effizienz sinkt gleichzeitig der Bedarf an Primärenergie. Die Mehrheit der Studien erwartet für 2050 einen Stromverbrauch von knapp 1000 Terawattstunden (siehe Tabelle). Das ist rund doppelt so viel wie heute.

Konsens herrscht darüber, dass dieser Strom künftig möglichst vollständig aus erneuerbaren Quellen stammen soll. Dies erst schafft die Voraussetzung für den sinnvollen Umbau von Sektoren wie Industrie, Wohnen und Verkehr. Nötig sei zudem ein Kohleausstieg bis spätestens 2030.

Wie viel Sonne und Wind muss dafür zugebaut werden? Nimmt man den höchsten angenommenen Wert für die Photovoltaik von 530 Gigawatt (GW), bräuchte es rechnerisch einen jährlichen Zubau von 16 GW – mehr als das doppelte des bisherigen Rekordjahrs 2011. Das klingt sportlich.

Beim Wind sieht es entspannter aus: Um den Höchstwert der Szenarien von 310 GW zu erreichen, wäre ein jährlicher Zubau von etwa 2,4 GW Offshore und 7,6 GW Onshore nötig. Das liegt nur moderat über den bisherigen Rekordjahren. Allerdings sind die besten Standorte schon vergeben, und weitere immer schwerer zu finden. Bei einem

Mindestabstand von 1000 Metern zu Wohngebieten, wie er in den meisten Bundesländern derzeit vorgeschrieben ist, hält das Umweltbundesamt (UBA) einen weiteren Zubau für „faktisch nicht möglich“. Und auch auf See wird es eng (siehe S. 84).

2050	Stromverbrauch (TWh)	PV (GW)	Wind (GW)
Agora	934	355	200
ISE	1068	530	310
BDI	715	130	162
UBA	750	131	155



Batterien, Wasserstoff, Synfuels

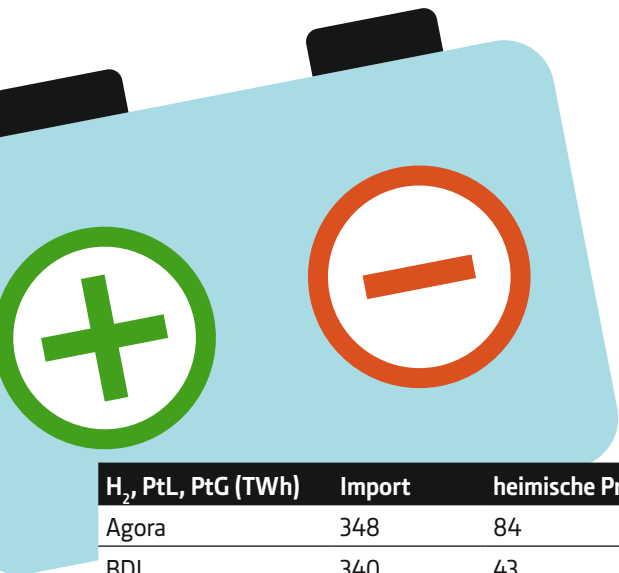
Was ist, wenn die Sonne nicht scheint und der Wind nicht weht? Batterien und andere Stromspeicher spielen in den meisten Studien keine große Rolle – höchstens flankierend zum Netzausbau, zum Stromimport und zur Abregelung großer Verbraucher. Doch auch dann bleibt ein Bedarf an regelbaren Kraftwerken, so der weitgehende Konsens. „Anders als Kohlekraftwerke werden Gaskraftwerke auch künftig für eine sichere Energieversorgung Deutschlands benötigt“, meint etwa das UBA.

Doch womit sollen sie betrieben werden? Das ISE hält am Erdgas (siehe S. 76) fest, die Agora glaubt, dass Wasserstoff 2040 Erdgas als wichtigsten Brennstoff für Gaskraftwerke ablösen wird, und die BDI-Studie setzt auf synthetisches Methan.

Auch bei der Verwendung zeigen sich deutliche Meinungsverschiedenheiten. Die Agora sieht Wasserstoff am besten im Stromsystem untergebracht, das UBA und die Scientists for Future (S4F) eher in Verkehr und Chemie.

Allein mit heimischer Energie sei der riesige Energiebedarf für die Herstellung des Wasserstoffs und der Synfuels nicht zu decken, meinen die meisten Studien. Dies würde laut BDI eine erneuerbare Stromerzeugung erfordern, die „den gesamten Nettostromverbrauch Deutschlands in 2015 übersteigt“. Also seien Importe nötig. „Damit diese Mengen bis 2050 verfügbar sind, sollten die ersten großtechnischen Anlagen bereits bis etwa 2025 in Betrieb genommen werden. Dazu wären in den nächsten Jahren erhebliche Anstrengungen sowie entsprechende politische Sondierungen notwendig.“

Lediglich die S4F sehen das anders: Der Aufbau solch großer Erzeugungskapazitäten in anderen Ländern sowie entsprechende Transportwege erscheine ihnen „schwieriger als ein Ausbau in Deutschland.“



H ₂ , PtL, PtG (TWh)	Import	heimische Produktion
Agora	348	84
BDI	340	43
ISE	75	50
UBA	371	k. A.

PtL: Power-to-Liquid; PtG: Power-to-Gas



CO₂-Abscheidung und negative Emissionen

Bestimmte Emissionen lassen sich nicht durch den Einsatz Erneuerbarer vermeiden – etwa bei der Landwirtschaft, der Müllverbrennung, der Stahl- und Zementproduktion. Theoretisch lassen sich diese Emissionen abfangen und einlagern („Carbon Capture and Storage“, CCS, siehe S. 48).

BDI und Agora halten das Einfangen von jährlich 93 beziehungsweise 73 Millionen Tonnen CO₂ für nötig. „Erste CCS-Anlagen in der Zementindustrie können schon 2030 in Betrieb sein“, hofft die Agora. „Dafür wären nach derzeitigem Stand allerdings noch gravierende Akzeptanzprobleme in der Bevölkerung zu überwinden“, warnt die BDI-Studie.

Die Agora Energiewende will es nicht damit bewenden lassen, das aufgefangene Kohlendioxid einfach unter die Erde zu bringen. Rund acht Millionen Tonnen sollen in „grünem Naphta“, vulgo „Rohbenzin“, gebunden werden. Dies ließe sich mit grünem Wasserstoff zu Kunststoffen weiterverarbeiten.

» Dafür wären allerdings noch gravierende Akzeptanzprobleme zu überwinden.«

Das Umweltbundesamt sieht keinen Bedarf an „technischem“ CCS: Auch durch „eine nachhaltige land- und forstwirtschaftliche Bewirtschaftung“ ließen sich „Netto-Null-Emissionen sicher erreichen“.

Das deutsche Klimaschutzgesetz folgt dieser Linie. Es sieht allein durch „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ bis 2045 die Entfernung von 40 Millionen Tonnen CO₂ aus der Atmosphäre vor – also unter anderem durch den Erhalt der Wälder und den Stopp der Bodenversiegelung durch neue Siedlungen und Straßen. Das ist allerdings deutlich weniger, als die Szenarien von BDI und Agora für nötig erachten. Zudem ist unsicher, ob das gebundene CO₂ nicht durch Waldbrände irgendwann wieder in die Atmosphäre gelangt.

Eine große Rolle als CO₂-Senke spielen auch die Moore. Das UBA geht davon aus, dass fünf Prozent der landwirtschaftlichen Fläche auf trockengelegten Moorböden jährlich restauriert werden und insgesamt 6,5 Prozent aus der Nutzung genommen oder umgewandelt werden müssen. Zudem sei der Torfabbau bis 2040 zu stoppen.

Hier treffen Vision und Wirklichkeit hart aufeinander. Während der gesamten vergangenen Legislaturperiode schafften es Agrar- und Umweltministerium nicht, sich auf eine Strategie zum Schutz der Moore zu einigen – obwohl das bereits vor vier Jahren im Koalitionsvertrag vereinbart wurde.

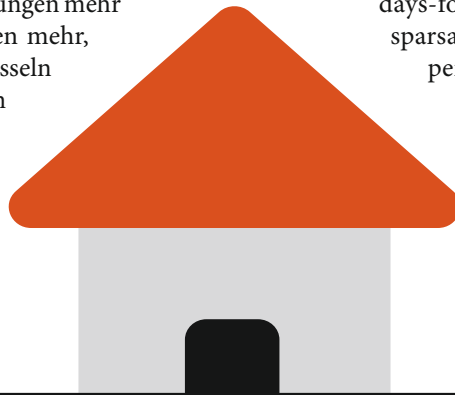
Gebäude

Um 2050 Klimaneutralität zu erreichen, müssen deutlich mehr Gebäude saniert werden, sind sich die Studien einig. Die Schätzungen der nötigen jährlichen Sanierungsrate liegen zwischen 1,6 Prozent (Agora) und 2,8 Prozent (UBA). Heute beträgt sie rund ein Prozent. Für eine „derart große Steigerung“ brauche es „zeitnah sehr wirksame politische Instrumente“, fordert das UBA. Zudem müsse die Wohnfläche pro Person von im Schnitt knapp 50 auf gut 41 Quadratmeter sinken.

In rund der Hälfte der Gebäude werden 2050 Wärmepumpen installiert sein, sieht das „Suffizienz“-Szenario des ISE vor. Weitere 38 Prozent werden an Wärmenetze angeschlossen, die dann ebenfalls von Wärmepumpen gespeist werden sollen. Derzeit stammt Fernwärme meist aus Gas-Blockheizkraftwerken. „Die finanzielle Förderung ist heute noch sehr stark an die fossilbefeuerte Kraft-Wärme-Kopplung gebunden“, so das UBA.

Im Gegenzug müssen fossile Heizungen aus dem Markt gedrängt werden. Am konkretesten hat das UBA dies in seinem „GreenSupreme“-Szenario formuliert:

- ab 2020 keine neuen Ölheizungen mehr
 - ab 2030 keine Gasheizungen mehr, auch nicht mit Brennwertkesseln
 - ab 2030 keine Renovierungen der Gebäudehülle ohne energetische Sanierung.
- Wer also eine Fassade neu streichen oder verputzen will, muss sie gleichzeitig dämmen.



Auch hier klappt eine große Lücke zwischen Ambitionen und politischer Realität: Der Gebäudesektor hat 2020 als einziger Sektor seine Klimaziele verfehlt. Der von der Bundesregierung eingesetzte „Expertenrat für Klimafragen“ hält die vom Bauminister Horst Seehofer und Wirtschaftsminister Peter Altmaier vorgeschlagenen Maßnahmen für „ungenügend“.

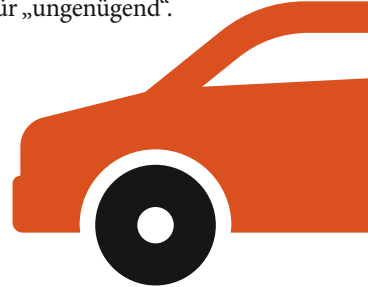
Verkehr

28 bis 40 Millionen E-Autos erwarten die Studien bis 2050 auf deutschen Straßen (siehe Tabelle). Verbrennungsmotoren, Plug-ins und Brennstoffzellen spielen keine große Rolle. Das UBA skizziert die Entwicklung im GreenSupreme-Szenario so: „Ab 2040 werden nur noch Elektro-Pkw neu zugelassen. 2050 gibt es in den Städten keinen signifikanten Pkw-Besitz mehr.“ Insgesamt gehe die Anzahl der Privatwagen um circa zwei Drittel zurück. Ursachen dafür seien unter anderem eine „dichtere Besiedlung“ und eine „geänderte Verkehrsmittelwahl“.

Die Agora sieht das ähnlich: „Die persönliche Mobilität bleibt vollständig erhalten, aber sie verändert sich“ – zugunsten von Bahn, Bus, Rad und den eigenen Füßen.

Wie realistisch ist solcher Verzicht? Einen Hinweis darauf können die SUVs liefern. Schon seit Mitte der Neunziger steigt ihr Marktanteil Jahr für Jahr. Weder Klimadebatten und Fridays-for-Future konnten den Trend brechen. Kleinere und sparsamere Autos würden zwar keinerlei Einschränkung der persönlichen Bewegungsfreiheit bedeuten, doch großen Teilen der Bevölkerung ist eine etwas höhere Sitzposition offenbar wichtiger als ein niedriger CO₂-Fußabdruck.

Das ISE unterstellt im Suffizienz-Szenario zudem 21 Prozent weniger „Tonnenkilometer“ im Güterverkehr. Angesichts des wachsenden Online-Handels erscheint auch dies fraglich.



Untersuchte Studien

- Scientist for Future (S4F): Klimaverträgliche Energieversorgung für Deutschland (April 2021). Meta-Studie
- Umweltbundesamt: Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE (November 2019). Szenario: GreenSupreme. Reduktionsziel: 100 Prozent. Annahmen: 70 weniger Ressourcenverbrauch bis 2050, kein Wirtschaftswachstum, sehr hohe Einsparungen durch „bewusste Verhaltensweisen“.
- Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme (ISE): Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem (Februar 2020). Szenario: Suffizienz. Reduktionsziel: 95 Prozent. Annahme: Verhaltensänderungen in weiten Teilen der Gesellschaft.
- Boston Consulting Group und Prognos im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI): Klimapfade für Deutschland (Januar 2018). Reduktionsziel: 95 Prozent
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität: Klimaneutrales Deutschland 2050 (Juni 2021). Reduktionsziel: 100 Prozent. Eine nachgelegte Studie für Klimaneutralität bis 2045, bei der Maßnahmen schneller umgesetzt werden als in der Vorgängerstudie, wird hier aus Gründen der Vergleichbarkeit nicht berücksichtigt.



2050	batterieelektrische Autos
Agora	30 Millionen
BDI	28 Millionen
ISE	40 Millionen

Weitgehende Einigkeit herrscht in den Szenarien aber darüber, dass an flüssigen Brennstoffen bei Güterverkehr, Schiffen und Flugzeugen kein Weg vorbeiführt. Im 95-Prozent-Szenario des BDI laufen 2050 etwa ein Drittel der Lkw mit Batterien oder Brennstoffzellen, der Rest mit Verbrennungsmotoren, die überwiegend mit Synfuels gefüttert werden. Das sehen die anderen Studien ähnlich. Lediglich das ISE erwartet eine Synfuel-Quote von lediglich 12 Prozent (neben 49 Prozent fossilem und 39 Prozent Biosprit).

Eine wichtige Rolle sehen sowohl BDI, UBA als auch Agora in Oberleitungs-Lkw. „Trotz der erforderlichen Infrastrukturinvestitionen ist diese Option aktuell der kostengünstigste Weg zur Treibhausgas-Reduktion“, heißt es in der BDI-Studie. 8000 Kilometer würden rund 91 Prozent des heutigen Güterverkehrs auf Autobahnen abdecken.

»Der Umbau des Energiesektors ist mit rund 30 Milliarden hingegen vergleichsweise preiswert.«

Auf einen besonderen Aspekt des Flugverkehrs machen die S4F aufmerksam: „Er verursacht durch verstärkte Wolkenbildung einen deutlich höheren Treibhausgaseffekt als durch die reinen CO₂-Emissionen. Deshalb kann eine Reduktion des Flugverkehrs überproportional zum Klimaschutz beitragen. Eine CO₂-neutrale Herstellung von synthetischem Kerosin führt nicht zur Klimaneutralität.“

Biomasse

Für das ISE bleibt Biomasse eine wichtige Säule der Energieversorgung. Im Suffizienz-Szenario beträgt der Anteil von Biogas im Gasnetz 47 Prozent, der von Biosprit bei den flüssigen Treibstoffen 39 Prozent. Allerdings sei es kostengünstiger und effizienter, diese Biomasse für Anwendungen ohne praktikable Alternativen zu re-servieren – etwa für industrielle

Prozesswärme. Beim Heizen oder der Warmwasserbereitung spiele Biomasse 2050 hingegen „nahezu keine Rolle“ mehr.

Die Agora sieht eine besondere Rolle für das sogenannte BECCS-Verfahren (siehe S. 48): Wird Biomasse verbrannt und das dabei entstehende CO₂ aufgefangen und eingelagert, werden langfristig Treibhausgase aus der Atmosphäre entnommen. „Gerade die hohen kontinuierlichen und räumlich konzentrierten Wärmebedarfe der Stahl- und chemischen Industrie bieten hier die Möglichkeit, Biomasse in großem Stil einzusetzen.“

UBA und S4F sehen Biomasse hingegen kritisch. „Der Ausstieg aus der energetischen Nutzung von Anbaubiomasse hat mittelfristig zu erfolgen, um Umwelt, Natur und Biodiversität zu stärken“, schreibt das UBA. Stattdessen seien verstärkt „biogene Abfall- und Reststoffe“ zu nutzen. Und die S4F argumentieren: „Biomasse in Form von Energiepflanzen zu nutzen, ist ineffizient und steht im Konflikt mit anderen Arten der Landnutzung“ – etwa dem Anbau von Nahrungsmitteln, dem Naturschutz und als CO₂-Senke.

Aus anderen Ländern sollte nur Biomasse aus kontrolliert nachhaltigem Anbau importiert werden. Das aber erfordere „extrem große Investitionen im Ausland“. Biomasse sei eine „ungesicherte Option auf die Zukunft“, folgern die S4F. Für die Energieerzeugung hätten Wind- oder Solarparks eine „wesentlich höhere Flächennutzungseffizienz“. Biomasse solle deshalb hauptsächlich als Rohstoff für die Baubranche oder die chemische Industrie benutzt werden.

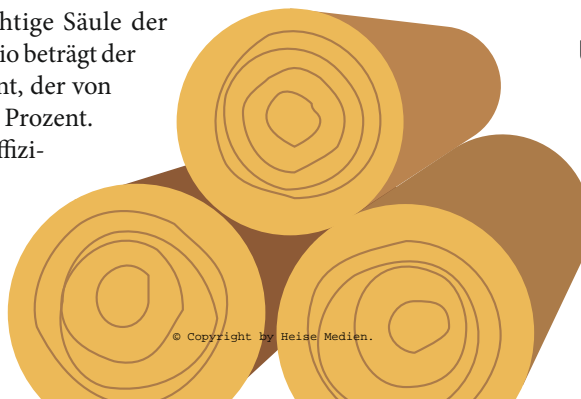
Landwirtschaft

Alle Studien sind sich einig, dass die Tierhaltung reduziert werden sollte. Was das bedeutet, hat das UBA im GreenSupreme-Szenario konkretisiert: Wöchentlich 300 Gramm Fleisch pro Person. Das sind zwei bis drei Hamburger, mehr nicht.

Auch die BDI-Studie hält eine rund 30-prozentige „Reduzierung von Emissionen im Tierbestand“ bis 2050 für nötig. Sie macht sich aber auch Hoffnung auf Futterzusätze, die den Methanausstoß von Rindern um etwa 30 Prozent senken könnten. „An solchen Zusätzen wird derzeit aktiv geforscht“, heißt es in der Studie. „Sie sind jedoch nicht in allen Fällen mit dem EU-Recht konform.“

Und was kostet das alles?

Die BDI-Studie sieht bis 2050 Zusatz-Investitionen von 2300 Milliarden Euro auf Deutschland zukommen. Rechnet man Einsparun-





gen durch den sinkenden Bedarf an Öl und Gas dagegen, bleiben allerdings nur noch 380 Milliarden an echten „Mehrkosten“ übrig – zumindest, wenn es keinen nationalen Alleingang gibt. Die größten Kostentreiber sei der Flug-, Schiffs- und Schwerlastverkehr, da für diesen „fast ausschließlich verhältnismäßig teure Lösungen“ zur Verfügung stünden. Der Umbau des Energiesektors sei mit rund 30 Milliarden hingegen vergleichsweise preiswert. Nach 2030 werden die Kosten für Erneuerbare dem BDI-Szenario zufolge wieder sinken.

Noch höhere Kosten, nämlich 2330 Milliarden Euro nach Abzug der zu erwartenden Einsparungen, kalkuliert das ISE – allerdings nur für das Szenario „Beharrung“, das die Ablehnung neuer Technik modelliert. Im Suffizienz-Szenario sind es nur 440 Milliarden. Dort liegen die CO₂-Vermeidungskosten mit 50 Euro pro Tonne am niedrigsten, da Verzicht nichts kostet.

Über 30 Jahre hinweg bedeuten die ISE-Schätzungen jährliche Mehrkosten von 15 bis 78 Milliarden Euro. Eine ähnliche Summe veranschlagen die S4F allein für Investitionen in das Energiesystem. Zum Vergleich: Der Etat für Arbeit und Soziales lag im Bundeshaushalt 2020 bei 150 Milliarden Euro. In den vergangenen zwei Jahren hatte der Bund rund 80 Milliarden Euro für den Klimaschutz bereitgestellt.

„Mittel- bis langfristig“ seien die Kosten eines klimaverträglichen Energiesystems allerdings nicht höher als im derzeitigen System, schreiben die S4F. „Gleichzeitig entstehen Arbeitsplätze und Exportchancen. Berücksichtigt man die aktuell nicht eingepreisten Umweltbelastungen, ist ein klimaverträgliches Energiesystem sogar schon heute deutlich günstiger.“

Allerdings seien Einsparungen und Aufwendungen nicht gleichmäßig über die Gesellschaft verteilt, merkt die BDI-Studie an. Die Mehrkosten könnten vor allem an einzelnen Firmen hängen bleiben. „Volkswirtschaftlich gesehen sind diese Effekte jedoch neutral bis leicht positiv“, so die Studie. Das Bruttoinlandsprodukt dürfte dadurch 2050 um 0,9 Prozent höher liegen als im Referenz-Szenario. „Auch Beschäftigung und Haushaltseinkommen profitieren langfristig von den klimapolitischen Maßnahmen“. Die von „Mehrinvestitionen induzierten positiven Einkommenseffekte“ überwiegen laut BDI die Kosten.



Die soziale Frage

So weit die diversen Szenarien. Doch was taugen sie als Fahrplan für die Klimawende? „Darin stecken viele gute Nachrichten“, sagt Bernd Hirschl, Leiter des Forschungsfelds Klimaschutz beim Institut für ökologische Wirtschaftsforschung. Zum Beispiel, dass die Energiewende grundsätzlich technisch funktioniert oder dass man mit fluktuierender Energie gut umgehen könne. „Aber dafür braucht es eine Dynamik, die wir heute nicht haben.“ Zudem würden soziale Fragen, Akzeptanz, Zielkonflikte und Hemmnisse wie Fachkräftemangel oder Bürokratie weitgehend ausgeblendet.

Als Beispiel nennt er die Gebäudesanierung: „Eine Studie, die einfach nur eine Sanierungsrate von fünf Prozent ab 2021 vorschreibt, ist nutzlos, wenn man nicht mal ansatzweise weiß, wie man wenigstens zwei Prozent hinbekommt. Wie wollen Sie das in einer Stadt wie Berlin schaffen, wo die Bau- und Mietpreise schon so durch die Decke gehen?“ Das Ganze sei keine technische, sondern eine soziale Frage: Wer bezahlt: Mieter oder Vermieter?

Auch bei der Windkraft hält Hirschl die Anreize für falsch gesetzt: „Der Treiber ist die finanzielle Teilhabe, weniger der Klimaschutz.“ Ein Windpark müsse den Leuten vor Ort gehören. Doch die Bundesregierung habe mit ihren zentralen Ausschreibungen genau den gegenteiligen Pfad beschritten. „Und wenn das Geld woanders hin abfließt, fahren Sie die Akzeptanz gegen die Wand.“ Die Forschung müsse sich mehr mit solchen Restriktionen beschäftigen, fordert Hirschl. „Das ist ein blinder Fleck der Wissenschaft.“

Auch die BDI-Studie warnt: Die Transformation werde Deutschland vor „erhebliche Umsetzungs Herausforderungen“ stellen. Die betrachteten Klimapfade seien zwar „volkswirtschaftlich kosteneffizient“, unterstellen aber auch eine „ideale Umsetzung im Sinne sektorübergreifender Optimierung und richtige Entscheidungen zum richtigen Zeitpunkt“. Fehlsteuerungen könnten die „Kosten und Risiken erheblich steigen oder das Ziel sogar unerreichbar werden lassen“.

Mit anderen Worten: In der Politik muss wirklich alles flutschen. Danach sieht es im Moment nicht aus. In den letzten Jahren war Deutschland oft genug nicht einmal in der Lage, die denkbar niedrigst hängenden Früchte zu ernten – etwa beim Schutz der Moore, dem Zubau der Erneuerbaren oder einem Tempolimit.

Sind die Szenarien also naiv? Vielleicht. Aber sie geben trotzdem Orientierung – zum Beispiel, indem sie zeigen, dass zeitiges Handeln günstiger ist als zaudern, dass keine einzige Maßnahme so wirksam ist wie Sparen, dass die Kosten langfristig sogar sinken können. Damit räumen sie ökonomische Argumente beiseite, die den Wandel bisher oft blockiert haben.



„Optimierung ist die falsche Richtung“

Der Soziologe und Transformationsforscher Harald Welzer fordert, den Klimawandel endlich als „empirische Wirklichkeit“ anzuerkennen. Nur so könne unsere Gesellschaft wieder in den Modus der politischen Gestaltung kommen.

INTERVIEW: LUCA CARACCILO

Harald Welzer gilt als einer der einflussreichsten Intellektuellen Deutschlands. Seine Publikationen sind in 21 Ländern erschienen. Bereits 2008 hat er sich in seinem Buch „Klimakriege. Wofür im 21. Jahrhundert getötet wird“, mit den Folgen des Klimawandels auseinandergesetzt. Der 1958 geborene Welzer ist Professor für Transformationsdesign an der Universität Flensburg sowie an der Universität St. Gallen. Zudem gibt er als Direktor von „Futurzwei – Stiftung Zukunftsfähigkeit“ vierteljährlich das gleichnamige Magazin heraus.

In seinem neuesten Buch „Nachruf auf mich selbst: Die Kultur des Aufhörens“, beschäftigt sich Welzer mit der Frage, warum uns eigentlich in unserer Gesellschaft ein Verständnis von Endlichkeit fehlt – und welche Konsequenzen daraus folgen. Er selbst hat erst im vergangenen Jahr eine sehr bedrohliche Erfahrung seiner eigenen Endlichkeit machen müssen.

Harald, wie geht es Dir heute?

(lacht) ... In Anbetracht der Tatsache, dass ich gestern trotz beendeten Bahnstreik das Problem hatte, dass bei einem Zug der Lokführer nicht kam und dass ich deshalb stundenlang ratlos auf dem Bahnsteig warten musste, geht es mir sehr gut.

Ich frage deshalb, weil Du 2020 einen Herzinfarkt hattest. Und jetzt schreibst Du in Deinem neuen Buch einen Nachruf auf Dich selbst. Warum?

Das ist ja kein Nachruf im klassischen Sinne. Vielmehr geht es um einen methodischen Vorschlag. Die Idee ist, dass man einen Nachruf auf sein noch zu lebendes Leben schreibt, damit man sich orientieren kann. Wir neigen nämlich dazu, im Fluss der Ereignisse zu vergessen, was wir eigentlich machen wollten.

Du bist Soziologe und Sozialpsychologe und beschäftigst Dich viel mit Transformationsforschung. Was hat diese Betrachtung auf Dein Leben mit unseren Herausforderungen bezüglich des Klimawandels zu tun?

Beim Klimawandel ist es ja so, dass wir schlicht ein Problem mit unserer biologischen Lebensform bekommen, – wenn es etwa zu heiß wird. Unser Überleben hängt von einer ziemlich schma-

len Temperaturspanne ab. Das ist – wie das Artensterben – ein Endlichkeitsphänomen. Und Endlichkeitsphänomene kann ich nicht adäquat angehen und bewältigen, wenn ich keine Vorstellung von Endlichkeit habe. Die Geschichte mit dem Herzinfarkt ist das individuelle Korrelat, weil wir ja auch in unserer Kultur kein gesellschaftliches Konzept von unserer persönlichen Endlichkeit haben. Der Tod ist eine individualisierte Angelegenheit, aber meistens nicht mal das, weil die Leute in Pflegeheimen und Krankenhäusern sterben und der Tod insofern etwas höchst Bedrohliches und Unangenehmes ist.

» Dieses ständige Weitergehen ist die Erfolgsgeschichte der Moderne und hat uns viel Wohlstand gebracht, aber ... «

Warum fehlt uns denn ein Konzept von Endlichkeit?

Wir haben ein Gesellschaftsmodell, das von der Idee einer permanenten Grenzüberschreitung und von der Vorstellung der Unendlichkeit geprägt ist. Dieses ständige Weitergehen ist ja auch die Erfolgsgeschichte der Moderne und hat uns viel Wohlstand eingebracht. Das Modell ist aber in dem Augenblick, in dem wir es mit Endlichkeitsphänomenen zu tun haben, ein echtes Problem.

Inwiefern? Können wir nicht wie bisher auch Lösungen entwickeln, die uns bei der Bewältigung der Klimakrise helfen?

Diese Lösungsperspektive ist ja schon problematisch: Wir wollen immer alles im Modus der Optimierung lösen. Dabei wäre es bei vielen Dingen notwendig, mit Praktiken aufzuhören und bestimmte Dinge aus der Welt zu schaffen. Optimierung ist die



falsche Richtung. Deshalb spreche ich auch nicht von Klimakrise, weil der Begriff „Krise“ suggeriert, dass man sie bewältigen kann und dann in den Status quo davor zurückkehren wird.

Aber wie verändern wir den politischen Diskurs? Wo sollte man ansetzen?

Wir müssen einfach eine andere Erzählung über die Situation haben, damit wir in der Argumentation wieder in den Modus einer politischen Gestaltung kommen. Wenn wir die ganze Zeit sagen, dass noch Zeit ist, umzukehren, dann sind wir natürlich immer auf dieses magische 1,5-Grad-Ziel fixiert. Und jedes Jahr heißt es dann, dass wir nur noch neun Jahre Zeit haben, dann acht, dann sieben ... Anstatt endlich mal einzugestehen, dass der Klimawandel eine Tatsache ist, und unser politisches Handeln darauf auszurichten.

Was wäre denn die Konsequenz, wenn wir diese andere Form der Erzählung forcieren könnten?

Es bedeutet natürlich nach wie vor die Reduktion von Emissionen. Aber eben nicht nur das, sondern auch die politische Gestaltung von Migration, der Anpassung an den Klimawandel und des Zusammenlebens unter verschärften Umweltbedingungen. Ich würde erst mal eine Tür öffnen, um sagen zu können, was unsere eigentlichen Aufgaben sind. Und vielleicht gelingt es uns, daraus etwas Besseres zu machen, als nur auf das 1,5-Grad-Ziel zu blicken.

» Die Überschwemmungen waren kein ›Weckruf‹. Das waren 200 Tote und völlig zerstörte Infrastrukturen. «

Aber glaubst Du nicht, dass die Überschwemmungen in der Eifel und in Nordrhein-Westfalen Veränderungen im Bewusstsein ausgelöst haben?

Genau das ist doch das Problem – der Umstand, dass wir die ganze Zeit versagen und die Erzählung aber immer noch dieselbe ist. Nein, die Überschwemmungen waren kein „Weckruf“, das waren 200 Tote, völlig zerstörte Infrastrukturen, Milliarden von Kosten. Das ist doch kein Weckruf! Das ist empirische Wirklichkeit. Und trotzdem ist das politische Narrativ immer noch: „Ja, ja, wir müssen jetzt aber dringend handeln.“ Das ist eine vollkommen verzerrte Wirklichkeitswahrnehmung.

Haben wir denn aus der Pandemie nichts für die Bekämpfung des Klimawandels gelernt?

Nicht wirklich, obwohl wir mit einem Ereignis konfrontiert sind, das selbst für meine Generation das erste Mal Normalität radikal unterbrochen hat. Arnold Gehlen hat das „Konsequenz-

erstmaligkeit“ genannt – ein Ereignis, das Folgen nach sich zieht, die nicht mehr verschwinden und mit denen man umgehen muss. Das wäre ein Umgang mit der Pandemie als Lern-Geschichte, während wir die Pandemie eher als Vermeidungsschichte behandeln.

Was ist die politische Konsequenz daraus?

Daraus folgt eine Politik, die auf eine unglaublich hilflose Art jongliert, aber immer in den Modus dessen zurückkippt, was sie immer schon kannte. Da herrscht ja immer noch der Modus vor, mit dem Virus verhandeln zu wollen: „Ach bitte keine Mutation mehr, jetzt nicht, jetzt haben wir diesen Impfstoff, lass mal bitte. Wir haben uns solche Mühe gegeben.“ Mit dem Klima ist es genau dasselbe: „Wir haben jetzt noch circa so viel Tonnen CO₂, die wir in Deutschland ausstoßen dürfen. Aber dann ist bitte Schluss, ja? Dann hörst du mal auf mit dieser Erwärmung. Und wir hören auf mit den Emissionen.“ Das sind alles vollkommene Fiktionen, die damit zu tun haben, dass man glaubt, so ermächtigt zu sein, dass alle Probleme verhandelt werden können. Mit der Natur lässt sich aber nicht verhandeln.

Du hast neulich auf einer Utopie-Konferenz gesagt, dass wir viel zu unpoetisch sind, wenn es darum geht, etwas Neues in die Welt zu bringen und eine Veränderung anzustoßen. Was meinst Du damit genau?

Ein Beispiel: Ich habe kürzlich auf dem Luzern-Festival mit Musikern und Musikerinnen unter dem Motto „Musicians for Future“ diskutiert. Eine junge Dirigentin erklärte, dass der Gegenstand, mit dem sie arbeitet, – Musik, Noten, Aufführung, Interpretation – etwas sei, was in sich eine Qualität habe, mit der man gegen das Bestehende agieren kann. Und sie hat recht, weil wir ja nach Dingen suchen müssen, die sich der unmittelbaren Steigerungslogik entziehen. Und davon gibt es vieles in der Kunst. Du kannst ja einen Roman nicht optimieren und in gewisser Weise auch eine Sinfonie nicht.

Ja, aber auch Musik, Kunst oder Literatur unterliegen durchaus einer Verwertungslogik. Ich versuche Dinge zu komponieren oder zu schaffen, die sich besonders gut verkaufen.

Natürlich. In dem Moment, in dem es Teil eines Marktes wird, unterliegt es denselben Mechanismen. Aber eine Klaviersonate von Beethoven ist was anderes als ein iPhone. Und ich kann die Klaviersonate von Beethoven auch nicht updaten. Es geht eher um das, was der Soziologe Hartmut Rosa das Unverfügbare nennt. Wir haben ja ein Kultur- und Wirtschaftsmodell, das alles verfügbar macht. Wovon wir aber leben, ist das Unverfügbare: der Moment, das Musikstück, das Bild, die Aufführung. Das Vergängliche.

Sobald man das Unverfügbare jedoch sucht, wird es wieder verfügbar.

Nicht ganz. Das hat mit Verweilen zu tun, mit Schönheit. Es ist weg, wenn die Aufführung vorbei ist. Das heißt ja auch, dass Du zwar die Konserve besitzen und Dir hinterher anhör-

ren kannst, aber das ist ja nicht dasselbe wie der Moment der Aufführung.

Aber noch mal die Frage an Dich als Transformationsforscher: Wie bekommen wir Veränderungen auf die Straße? Reine Poesie wird uns dabei ja nicht weiterhelfen.

Man kann eben nur das machen, was man machen kann. Das heißt, ich kann Impulse setzen. Ich nenne das: „Perforierung“ vornehmen. Wir haben diese hermetischen Wirklichkeitsbehauptungen, bei denen alle nicken, insbesondere die politischen Akteure. Diese Entscheidungsträger versichern sich wechselseitig, dass das, was sie tun, auf einer Wirklichkeit basiert, die sie teilen. Du kannst dann ja nur irritieren, indem du sagst: Nein! Dann entsteht an der Stelle ein kleiner Riss, dort fällt ein anderes Licht rein und die Sache sieht etwas anders aus.

Ist das alles? Nur das machen, was man kann? Ist das nicht zu wenig?

Niemand von uns hat je den Auftrag bekommen, die Welt zu retten.

Ist das nicht frustrierend? Wie gehst Du persönlich damit um?

Wenn ich meine Bücher veröffentliche, dann bin ich immer verblüfft darüber, wie groß doch die praktische Wirkung ist. Weil es viele Leute gibt, die etwas anfangen, weil sie meine Sachen gelesen haben. Das heißt auf mich bezogen: Ich kann nichts außer schlau daherreden und Impulse in das System geben. Und damit hab ich, glaube ich, eine realistische Einschätzung meiner Handlungsmöglichkeiten. Aber Leute machen dann etwas damit, was über mich weit hinausgeht. Deshalb sehe ich es als meine Verantwortung, wenigstens diese Impulse zu setzen.

Siehst Du in der jüngeren Geschichte denn einen Impuls mit transformativem Potenzial?

Die größte Überraschung ist, dass es die Fridays for Future plötzlich gegeben hat. Und die sind ja nur in die Welt gekommen, weil sich ein kleines Mädchen mit einem Schild vor das schwedische Parlament gesetzt hat. Das ist ganz zentral: Zu berücksichtigen, dass die Wirkungen solcher Impulse niemals linear sind. Und deshalb kann man auch das Glück haben, dass durch solche Impulse tatsächlich mal was passiert – wie bei Greta Thunberg.

» Die Wirkungen solcher Impulse sind niemals linear. Deshalb kann man Glück haben, dass mal was passiert.«

Was können wir denn daraus für die Zukunft lernen?

Dass es historisch immer Dinge gibt, die in der Luft liegen. Und dann gibt es jemanden, der das auch formuliert. Weil Greta auch noch ein bisschen schräg ist, hat sie alle Eigenschaften, um eine ikonische Figur zu werden. Solche Leute wie Luisa Neubauer oder Carla Reemtsma können dann solche Impulse in eine politische Öffentlichkeit tragen. Wenn es diese uns alle überraschende, soziale Bewegung der Fridays for Future nicht gegeben hätte, sähe die reale Politik heute noch anders aus.

WIBU
SYSTEMS

**Auf was kommt es bei Ihren
sicheren Lizenzcontainern an?**

- Die Robustheit eines Hardware-Dongles?
- Die Offline-Nutzung einer Software-Aktivierung?
- Die Freiheit des Cloud-Zugriffs – jederzeit und überall?



formnext
Halle 120
Stand A01G



sps
smart production solutions
Halle 6
Stand 436

© Copyright by Heintz Medien

+49 721 931720
sales@wibu.com
www.wibu.com



**SECURITY
LICENSING**
PERFECTION IN PROTECTION



Geologie im Zeitraffer

Der Fotograf Ian van Coller ließ seine Fotos von Wissenschaftlern kommentieren, um aufzuzeigen, in welchem Tempo der Klimawandel die Welt verändert.

FOTOS: IAN VAN COLLER, KOMMENTIERT VON CARSTEN BRAUN
(ÜBERSETZUNG: BEATRIX STOEPEL)



Die Allan Hills in der Antarktis – eine der ältesten bekannten Eisflächen der Erde. Das Eis an der Gletscheroberfläche ist über tausend Jahre alt. Eisbohrkerne aus 160 Metern Tiefe zeigen, dass das Eis insgesamt über zwei Millionen Jahre alt ist.

❶ Als sich Asche abgelagerte, bildete sie vermutlich eine horizontale Schicht. Normalerweise lagern sich Sedimente entsprechend der Schwerkraft horizontal ab. Jetzt aber liegen sie mehr oder weniger vertikal. Das deutet darauf hin, dass auch das Eis ähnlich geschichtet ist.

❷ Dunkle Minerale in den Ablagerungen absorbieren mehr Sonnenwärme. Sie lassen das Eis in der Nähe der Ablagerungen stärker schmelzen, was letztlich zur Abnahme der gesamten Eisstärke führt.

❸ (links) Scharfe Kanten deuten auf altes Eis hin – ❹ (rechts) unscharfe Kanten deuten auf junges Eis hin.

❺ Sastrugis (stromlinienförmige Rillen im Schnee) deuten auf ständigen starken Wind in den Allan Hills hin.

❻ Wahrscheinlich wurde diese Schlackeschicht nach einem historischen Vulkanausbruch irgendwo auf dem Antarktischen Kontinent abgelagert.

❼ Gletschereis enthält etwa zehn Prozent Luft, das bei seiner Bildung eingeschlossen wird. Die Luftbläschen sind so etwas wie ein Archiv der Erdatmosphäre und belegen, dass der Kohlendioxidgehalt derzeit höher ist als jemals zuvor in den letzten zwei Millionen Jahren.

Der Klimawandel scheint die Zeitskala natürlicher Prozesse zu komprimieren. Mit Fotografien aus aller Welt hat Ian van Collier diese rasanten Veränderungen dokumentiert, die sich in Gesteinen, Sedimenten und Gletschern widerspiegeln. Er arbeitet mit Forschenden zusammen, die seine Bilder mit Anmerkungen versehen und damit auf wichtige geologische Merkmale hinweisen. Um die Veränderungen noch stärker zu verdeutlichen, stellt van Collier historische Schwarz-Weiß-Aufnahmen früherer Expeditionen den Bildern heutiger Landschaften gegenüber. Einst schneebedeckte Gipfel sind heute kahle Felsen.

Der Quelccaya-Gletscher in Peru, hier im Jahr 2017, zieht sich zurück. Die Felsen im Vordergrund zeigen Anzeichen von Gletscher-Erosion und waren wahrscheinlich noch vor zehn Jahren von Eis bedeckt.

❶ Noch vor kurzem – vielleicht vor nur fünf oder zehn Jahren – lag diese Felsformation, „Rundhöcker“ oder „Roche Mautonnée“ genannt, noch unter Eis, wahrscheinlich seit mehreren Jahrtausenden. Das Eis schabte ständig über den Felsen und formte diese typische Landschaft. Die ansteigende Seite ist dank des Gletscherabriebs glatt und steigt nur sanft an – wie mit Sandpapier bearbeitet! Die abfallende Seite ist steil und zerklüftet – der Gletscher friert an dem Felsen fest, bewegt sich dennoch vorwärts und reißt dabei Felsstücke ab. Das ist in etwa das, was passiert, wenn man im Winter mit der Zunge einen eiskalten Metallstab berührt.

❷ Fließrichtung des Gletschers

❸ Abrieb, ❹ splitternde Gletschererosion, ❺ Untergrund

❻ Schichtung erkennbar! Jede Schicht entspricht der Schneemenge eines Jahres.

❼ In der Region zwischen dem Eis und den vom Gletscher erodierten Felsen lag noch vor wenigen Jahren ein See. Das Eis hat sich zurückgezogen, wodurch der See ablaufen konnte. Übrig geblieben ist nur sehr feines Sediment, das sich in dem See abgelagert hat.

❽ Frischer Eisabbruch! Wenn sich das Eis zurückzieht, brechen große Brocken ab – im Meer oder in Seen wären das Eisberge.

❾ Dies war früher der Grund eines Sees.

❿ Das ist ein perfektes Beispiel für einen Rundhöcker = eine durch Gletschererosion entstandene Felsformation. Die sanfte Seite (oder „Luv-Seite“) ist die aufsteigende Seite – dem Gletscher zugewandt.



Foto: Ian van Collier

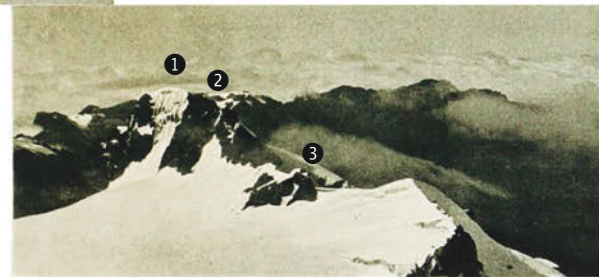




- ① Savoia ist im linken Bild aus diesem Blickwinkel nicht zu sehen
- ② Elena
- ③ Moebius
- ④ Der Gletscher unterhalb von Savoia ① ist die Spitze des Elena-Gletschers.
- ⑤ Nord-Ost Rinne von Elena – Route der Erstbesteigung am 20. Juni 1906

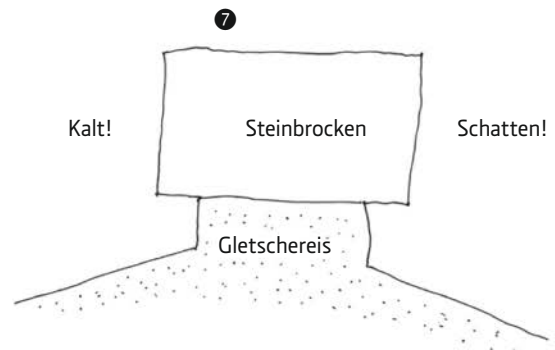


- ⑥ Die Männer stehen auf dem East Stanley Gletscher
Gletscherausdehnung 1906: etwa 2.85 km²
Gletscherausdehnung 2006: etwa 0,72 km²
Gletscherausdehnung heute: viel kleiner als 2006
- ⑦ Ein großer Steinbrocken (Größe eines Mini-Vans) sitzt auf einem Sockel aus Eis. Hier schützt der Brocken das darunterliegende Eis vor der Sonne. Das Eis ringsum schmilzt weiterhin und senkt sich ab, während der Steinbrocken auf der ursprünglichen Höhe liegen bleibt.
- ⑧ Untergrund (= schneefrei) + schmutziges Eis.
Das zeigt, dass wir im Bereich der Ablation des Gletschers sind (Ablation = Schmelzen und Verdunsten).



Fotos von 1906 (Abruzzi Expedition)

- Kein Zugewinn an Masse!
 - Nur Massenverlust
- Das ist ein Problem und bedeutet, dass der Gletscher sich nicht selbst erhalten kann. Deshalb wird er schrumpfen und in naher Zukunft verschwunden sein.



Das Foto von 2020 zeigt, wie wenig von dem Gletscher am Mount Stanley in Uganda geblieben ist. Auf dem Foto einer Expedition aus dem Jahr 1906 ist der Gletscher unterhalb des Elena-Gipfels deutlich zu sehen; heute ist nur noch schmutziges Eis übrig, ein Zeichen dafür, dass der Gletscher bald verschwunden sein wird.





Mount Speke von der Edward Spitze
aus gesehen, Mount Baker (1906)

Am nahe gelegenen Mount Baker, ebenfalls in Uganda, sieht es ähnlich aus. Die gestrichelten Linien zeigen die geschätzte Größe der Eisfläche an, wie sie frühere Expeditionen auf dem Semper Peak gesehen haben. Heute besteht er aus nacktem Felsen. Von dem, was auf dem Foto von 1906 als Moore Gletscher bezeichnet wird, fehlt heute jede Spur.

① Blick gen Norden von der Edward-Spitze, der höchsten Erhebung (4844 m) des Mount Baker-Bergmassivs.

② Mount Speke (4891 m)

③ Semper Spitze (4796 m)

④ Grauers Rock (4485 m)

⑤ Moore Spitze (4625 m)

⑥ Die gestrichelten weißen Linien geben die geschätzte Ausdehnung des Eises von 1906 an (bitte beachten, dass der Blickwinkel etwas abweicht).

Foto: Ian van Coller



Zu heiß zum Überleben

Im Zuge des Klimawandels entstehen auf der Erde immer mehr Zonen, in denen Menschen ohne technische Hilfsmittel nicht überleben können. Vor allem Südasien ist betroffen.

VON CASEY CROWNHART UND WOLFGANG STIELER

Menschen interessieren sich nicht für Durchschnittstemperaturen“, schreibt der Klimaforscher Steven S. Sherwood im Wissenschaftsmagazin Science. „Aber die Vorhersagen der Klimamodelle zeigen, dass in den meisten Regionen der Erde mit der Jahresmitteltemperatur auch die Extremwerte ansteigen.“ Dass extreme Hitze schwere gesundheitliche Folgen haben kann, ist keine wirklich neue Erkenntnis – in den vergangenen Jahren setzte sich aber unter Fachleuten immer stärker die Erkenntnis durch, dass diese Folge des Klimawandels bislang nicht genügend berücksichtigt worden ist – und dass bei der Gesundheitsgefährdung durch extreme Hitze nicht nur die Temperatur wichtig ist, sondern auch die Luftfeuchtigkeit. Modellrechnungen gehen davon aus, dass solch eine – potenziell tödliche – Kombination in Zukunft immer größere Regionen der Erde und da-

mit auch immer mehr Menschen treffen wird. Vor allem in Südasien.

Für eine Studie, die 2017 in Nature Climate Change veröffentlicht wurde (doi:10.1038/nclimate3322), analysierten Camilo Mora, Klimaforscher an der Universität von Hawaii, und sein Team Hunderte von extremen Hitzeereignissen auf der ganzen Welt, um festzustellen, welche Wetterbedingungen am wahrscheinlichsten tödlich sind und wo diese Bedingungen in Zukunft wahrscheinlich auftreten werden. Sie fanden heraus, dass bereits heute etwa 30 Prozent der Weltbevölkerung an mindestens 20 Tagen im Jahr einer gesundheitsgefährdenden Kombination aus Hitze und Feuchtigkeit ausgesetzt sind. Dieser Prozentsatz wird nach den Berechnungen der Forschenden bis zum Jahr 2100 auf fast die Hälfte ansteigen – selbst bei einer drastischen Verringerung der Treibhausgasemissionen.

Was aber macht die Kombination aus Wärme und Feuchtigkeit so ungesund? Als warmblütige Säugetiere versuchen wir Menschen, eine konstante Körpertemperatur von ca. 37 Grad zu halten. Wenn die Kerntemperatur zu heiß wird, reagiert der Körper mit Gegenmaßnahmen. „Wenn der menschliche Körper Hitze ausgesetzt ist, löst der Hypothalamus eine kardiovaskuläre Reaktion aus, die die Blutgefäße erweitert, um das Blut vom Kern in die Peripherie umzuleiten“, schreiben Camilo Mora und Kollegen. Wird dieses System der Wärmeabfuhr zu lange überlastet, führt die „kompensatorische Umleitung von Blut“ zur Haut „zu einer unzureichenden Durchblutung anderer Organe. Ischämie und nachfolgende Hypoxie (Sauerstoffmangel)“ – was wiederum die Organe schädigt. Insgesamt listen die Forscher „27 Wege“ auf, über die zu viel Hitze Menschen töten kann. Darunter Nieren- und Herzprobleme und sogar Hirnschäden, sagt Liz Hanna, eine ehemalige Forscherin für öffentliche Gesundheit an der Australian National University, die sich mit extremer Hitze beschäftigt.

Um solche Schäden zu vermeiden und möglichst effizient zu kühlen, verdunstet der Körper Schweiß. Wenn es so feucht ist, dass sich bereits eine große Menge Wasserdampf in der Luft befindet, kann der Schweiß nicht so schnell verdunsten und das Schwitzen kühlt den Körper nicht so stark ab. Forscher beschreiben diesen Zusammenhang über eine Größe, die sie „Kühlgrenztemperatur“ nennen. Die Kühlgrenztemperatur ist buchstäblich das, was ein Thermometer misst, wenn ein nasses Tuch darum gewickelt wird. Mithilfe dieser Größe kann man abschätzen, wie hoch die Hauttemperatur wäre, wenn man ständig maximal schwitzen würde.

Eine Kühlgrenztemperatur von 35 Grad ist so ziemlich die absolute Grenze der menschlichen Toleranz, sagt Zach Schlader, Physiologe an der Indiana University Bloomington. Oberhalb dieses Wertes ist der Körper ohne technische Hilfe nicht mehr in der Lage, Wärme effizient genug an die Umgebung abzugeben, um seine Kerntemperatur zu halten. Das bedeutet nicht, dass die Hitze sofort tötet. Sie hat aber auf die Dauer gravie-

rende gesundheitliche Auswirkungen. Die Wetterbedingungen, die zu solch einer Kühlgrenztemperatur führen können, sind sehr unterschiedlich. Bei Windstille und sonnigem Himmel wird in einem Gebiet mit 50 Prozent Luftfeuchtigkeit eine unerträgliche Kühlgrenztemperatur bei etwa 43 Grad Celsius erreicht, während bei überwiegend trockener Luft die Temperaturen über 54 Grad Celsius liegen müssten, um diese Grenze zu erreichen.

Einige Klimamodelle sagen voraus, dass wir bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts Kühlgrenztemperaturen von über 35 Grad erreichen werden. Andere Forscher glauben, dass wir diese Tem-

» Eine Kühlgrenztemperatur von 35 Grad ist so ziemlich die absolute Grenze der menschlichen Toleranz. «

peraturen bereits erreicht haben. In einer Studie (DOI: 10.1126/sciadv.aaw1838) vom Mai 2020 wies Colin Raymond von der NASA anhand der Analyse von Wetterdaten nach, dass an einigen Orten, in Südasien, dem Nahen Osten und dem Südwesten der USA, bereits solche Bedingungen aufgetreten sind – allerdings nur für jeweils ein bis zwei Stunden pro Tag.

Der Klimawandel wird bewirken, dass sich diese Zonen immer mehr ausweiten und immer mehr Menschen in Gebieten leben, die zu heiß sind. Bereits jetzt, schreiben Dawei Li von der Rutgers University und Kollegen (<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7d04>), seien bereits 275 Millionen Menschen an mindestens einem Tag im Jahr einer Kühlgrenztemperatur von 33 Grad ausgesetzt. Bei einem Anstieg der globalen Mitteltemperatur um 1,5 Grad werden es rund 500 Millionen sein – nach den Berechnungen der Forscher vor allem in Südasien, wenn



iENA
4.-7. Nov. 2021
Internationale Fachmesse
• Ideen
• Erfindungen
• Neuheiten

www.iena.de

4.+ 5. Nov. 2021
iINNOVATIONS KONGRESS

Messe Nürnberg · NCC West

Partner:








- Perspektiven schaffen. Jetzt!
- Innovationen erfolgreich managen
- Patente, Schutzrechte, Fördermöglichkeiten
- Kreativität und Innovationsentwicklung



2-Tages Kongressticket
€ 80,- statt € 120,-
Promocode: TR21INKO
iena.de

Außerdem während der iENA:



6.+7. Nov. 2021
Hack & Make
Das Kreativ- und Technikfestival



Viele Städte in den USA, wie etwa Los Angeles, unterstützen das Streichen von Flachdächern oder ganzer Straßen mit weißer Farbe wie hier im Bild. Das soll die Sonneneinstrahlungen besser reflektieren.

dort die Luftfeuchtigkeit aufgrund gestiegener Regenmengen stark zunimmt.

Zwar kann sich der menschliche Körper mit der Zeit an die Hitze gewöhnen, ähnlich wie er sich an den niedrigeren Sauerstoffgehalt in großer Höhe akklimatisieren kann. Menschen, die sich besser an die Hitze akklimatisiert haben, schwitzen mehr und ihr Schweiß ist verdünnter, was bedeutet, dass sie weniger Elektrolyte über den Schweiß verlieren. Dies kann den Körper vor Dehydrierung und Herz- und Nierenproblemen schützen, sagt Forscherin Liz Hanna. Der Akklimatisierung sind jedoch Grenzen gesetzt, wie Hanna betont. Wir werden nicht in der Lage sein, uns über die Bedingungen hinauszuentwickeln, die der Klimawandel in den kommenden Jahrzehnten wahrscheinlich mit sich bringen wird. Sie sagt auch, dass physiologische Grenzen zwar wichtig sind, wir aber auch andere Faktoren wie Verhalten und Infrastruktur berücksichtigen müssen. Wenn man sich im Freien bewegen oder dort arbeiten muss, können auch geringere Temperaturen bereits gefährlich werden. Denn der Gesamtenergie, die Sie für eine Aufgabe verbrauchen, egal ob Sie rennen oder Geschirr spülen, gehen 20 Prozent in die Bewegung Ihrer Muskeln und die anderen 80 Prozent werden in Wärme umgewandelt. Mehr Bewegung bedeutet also, dass Ihr Körper mehr Wärme loswerden muss.

Der so unweigerlich entstehende Hitzestress mindert nicht nur die körperliche Leistungsfähigkeit. In einem Experiment ließen Yuta Masuda von der internationalen Naturschutzorganisation Nature Conservancy und Kollegen 2019 indonesische Landarbeiter 90 Minuten lang im Wald und in einer entwaldeten Umgebung arbeiten, um sie danach standardisierten Kognitions- und Gedächtnistests zu unterziehen. Die Gruppe, die in der heißeren Umgebung gearbeitet hatte, schnitt in den Tests signifikant schlechter ab (<https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb96c>). Da Hanna in Australien lebt, weiß sie besonders gut, wie sich extreme Hitze auf Menschen und Gemeinden auswirkt. „Die Welt erwärmt sich“, sagt Hanna, „und diese Erwärmung wird über das hinausgehen, was die normale Physiologie verkraften kann“.

Selbst wenn die globale Erwärmung auf 1,5 Grad im Vergleich zum vorindustriellen Temperaturmittel begrenzt werden kann – was zurzeit längst nicht klar ist – drohen also drastische Hitzefolgen. International diskutieren Mediziner, Klimawissenschaftler aber auch Stadtplaner deshalb vermehrt über Schutz- und Gegenmaßnahmen, die punktuell in einigen besonders betroffenen Regionen bereits umgesetzt werden. Nach einer Hitzewelle im Jahr 2010, bei der mehr als 1300 Menschen starben, organisierten die Behörden im indischen Ahmedabad mit rund sieben Millionen Einwohnern beispielsweise ein Frühwarnsystem, das an zahlreichen öffentlichen Orten warnt, wenn die Temperaturen in den nächsten sieben Tagen 41 Grad übersteigt. Stadtplaner propagieren die Bewässerung und Begrünung urbaner Flächen, viele Städte in den USA, wie etwa Los Angeles, unterstützen das Streichen von Flachdächern mit weißer Farbe.

Erschwerend kommt jedoch hinzu, dass die Folgen der Erwärmung vor allem die Armen des globalen Südens treffen werden. „Der hervorstechendste Aspekt der prognostizierten Auswirkungen extremer Hitze – und eine besondere Herausforderung aus politischer Sicht – ist die Tatsache, dass sie in hohem Maße regionaler Natur sind, wobei schwere oder lebensbedrohliche Auswirkungen an einigen Orten in scharfem Kontrast zu harmlosen Auswirkungen an anderen stehen“, schreiben Colin Raymond und Kollegen im „Oxford Handbook of Planning for Climate Change Hazards“. In tropischen und subtropischen Ländern werde, obwohl sie voraussichtlich die geringste absolute Erwärmung erfahren werden, die Belastung durch Hitzestress am stärksten zunehmen. „Künftige extreme Hitze wird die Fähigkeit zum kollektiven Handeln und zur Anpassung vieler (vielleicht der meisten) Gesellschaften auf der ganzen Welt auf die Probe stellen“, schreiben die Autoren. Die bisherige Erfahrung mit weltweiter Klimapolitik vermittelt allerdings nur begrenzten Optimismus, dass die Welt dieses – zusätzliche – Problem besser in den Griff bekommt als die anderen gravierenden Auswirkungen des Klimawandels. <

Die Welt verstehen,
wie sie morgen sein wird.



40 %
Rabatt

2 Ausgaben MIT Technology Review
als Heft oder digital inklusive Prämie nach Wahl:

mit-tr.de/testen

Modelle auf dünnem Eis

Computersimulationen sind zentrale Elemente der Klimapolitik geworden. Doch ausgerechnet jetzt, wo die Folgen des Klimawandels spürbar und Gegenmaßnahmen überfällig werden, zeigen sich die Grenzen der Modelle. Künstliche Intelligenz könnte helfen.

VON WOLFGANG STIELER

Klimapolitik hin oder her, um 2070 wird die Menschheit den CO₂-Gehalt der Atmosphäre auf das Doppelte des vorindustriellen Wertes erhöht haben. Das wird nicht ohne Folgen bleiben, nur welche sind das genau? Die Computermodelle besagen, dass die globale Mitteltemperatur zwischen 2,1 und 4,7 Grad steigen wird. Das ist auf den ersten Blick wenig überraschend. Auf den zweiten allerdings schon, denn die Streuung der Simulationsergebnisse ist in den vergangenen 40 Jahren nicht kleiner geworden.

Und es gibt weitere offene Fragen: Wie genau hängen Hitzewellen mit dem Temperaturanstieg zusammen und wie sind sie regional und lokal verteilt? Gibt es besonders betroffene Regionen? Wie sehr steigt der Meeresspiegel? Wo gibt es Überflutungen, wo Dürren? Was bedeutet das für die Landwirtschaft und die Versorgung mit Trinkwasser? Auf diese Fragen gibt es wenig Antworten – und wenn, sind sie mit einer großen Unsicherheit behaftet.

»Der Hauptgrund für die Unsicherheit ist die Modellierung niedriger Wolken in den Klimamodellen.«

An den wesentlichen Kernaussagen der Klima-Modellierung besteht dennoch kein Zweifel. „Der menschliche Einfluss ist nicht nur der wesentliche Treiber für die Erwärmung des Klimasystems, sondern auch für die Zunahme von Wetter- und Klimaextremen. Die Häufigkeit und die Intensität etwa von Starkregen-Ereignissen oder Hitzewellen steigen durch den Klimawandel an“, erklärt Veronika Eyring. „Es geht nun darum, die Treibhausgas-Emissionen sofort, schnell und drastisch zu reduzieren. Ansonsten wird die Begrenzung der Erwärmung auf 1,5 Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Zeitraum unerreichbar sein“, ergänzt sie. Eyring muss es wissen. Sie ist Leiterin der Abteilung Erdsystemmodell-Evaluierung

und -Analyse beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Professorin für Klimamodellierung an der Universität Bremen und Koordinierende Leitautorin von Kapitel 3 des sechsten IPCC-Sachstandsberichtes, der im kommenden Frühjahr veröffentlicht wird.

Dass Computermodelle nicht nur wesentliches Vorhersage-Instrument der Klimawissenschaften, sondern auch unverzichtbarer Bestandteil der Politikberatung sein sollten, war in der Vergangenheit allerdings nicht immer so unumstritten wie heute: Zwar wurden mit der Entwicklung leistungsstarker Computer Klimamodelle in den 1960er Jahren zu einem anerkannten Forschungsinstrument – der Japaner Syukuro Manabe und sein US-Kollege Richard Wetherald berechneten beispielsweise bereits 1967 die Auswirkungen einer Verdopplung der CO₂-Konzentration auf das Klima. Erst einer neuen Generation von Klimaforschern wie James E. Hansen von der Nasa, die durch die damals aufkommende Umweltschutzbewegung geprägt waren, gelang es aber auch, die öffentliche Aufmerksamkeit auf das Problem des Klimawandels zu lenken. In einem Paper, das Hansen und Kollegen 1981 in Science veröffentlichten, berechneten sie einen Temperaturanstieg zwischen einem und vier Grad bis 2100 – und landeten damit auf Seite eins der New York Times. Prompt wurde ihnen „Alarmismus“ und eine Vermischung von Wissenschaft und Aktivismus vorgeworfen. Ein Vorwurf, der noch einmal erheblich lauter wurde, als Hansen sich in den frühen 2000er Jahren immer stärker im Naturschutz engagierte und bei Protesten gegen ein Bergwerk auch verhaftet wurde.

Weil Klimawissenschaftler mit ihren Computersimulationen die wissenschaftliche Basis für politische Handlungen liefern, haben Gegner einer aktiven Klimapolitik, Verschwörungstheoretiker und Lobbyisten der Kohlenwasserstoff-Industrie diesen Vorwurf des „Aktivismus“ in der Vergangenheit genauso gründlich ausgeschlachtet, wie offene Fragen rund um Klimamodelle. Zwar sind diese Stimmen mit den zunehmend auftretenden Hitzesommern, Kälterekorden in den USA, Dürren und Überflutungen leiser geworden, aber weg sind sie nicht – und sie werden lauter werden, je dringlicher die politische Diskussion um Maßnahmen gegen den Klimawandel wird. Es lohnt sich also, einen Blick unter die Motorhaube der Vorhersage-Maschine zu werfen, um zu verstehen, was an den real existieren-



Veronika Eyring arbeitet im EU-Forschungsprojekt „Understanding and Modelling the Earth System with Machine Learning“ seit 2020 mit Kolleginnen daran, mithilfe von Künstlicher Intelligenz Unsicherheiten in Klimavorhersagen zu reduzieren.

den Klimamodellen Probleme macht – und wie KI helfen kann, diese Probleme zu lösen.

Wolken sind schwer zu modellieren

„Der Hauptgrund für die Unsicherheit ist die Modellierung niedriger Wolken in den Klimamodellen“, sagt Tapio Schneider vom California Institute of Technology. Das ist zwar auf den Punkt gebracht, aber ein wenig knapp: Klimamodelle (siehe Kasten S. 39) modellieren das Klimasystem in einem Raster mit einer Kantenlänge von 100 Kilometer. Wolken sind viel kleiner – sie werden daher „parametrisiert“, das heißt, dass eine Zelle des Modells beispielsweise als „zu 20 Prozent bewölkt“ gerechnet wird. Die Parameter selbst – wann Wolken eine Zelle wie verändern, sind in der Regel grob empirisch, also nicht der in der zugrunde liegenden Physik verankert. Auf der ande-

ren Seite macht es aber für Klimamodelle einen entscheidenden Unterschied, welche Art von Wolken vorherrscht, denn Stratocumulus-Wolken beispielsweise reflektieren mehr Sonneneinstrahlung als Cumulus-Wolken.

Das Ergebnis: Nahezu alle globalen Klimamodelle simulieren zu wenige Wolken, die dann künstlich heller gerechnet werden, um die Energiebilanz zu korrigieren – was in der Simulation in niedrigen Breiten zu vergrößerten Regenmengen führt: Klimaforscher nennen diesen Effekt „rainfall bias“ – Regen, der sozusagen an den falschen Orten fällt. Physikalisch realistische Wolkenmodelle könnten das Problem lösen, aber sie würden zu viel Rechenkapazität erfordern. „Wird der Zuwachs an Rechenkapazität, den wir durch das Mooresche Gesetz bekommen, uns helfen dieses Problem zu lösen?“, fragt Schneider rhetorisch. „Leider nein. Um die horizontale Auflösung von Klimamodellen um eine Größenordnung zu steigern, in der man Wolken physikalisch realistisch simulieren kann, braucht



man um einen Faktor 10^{11} höhere Rechenleistung als bisher. Auch wenn Moores Law weiter funktioniert, schaffen wir das frühesten etwa 2060. Das ist viel zu spät“.

Maschinelles Lernen kann an dieser Stelle erstaunlich gut helfen. Denn neuronale Netze können aus hoch aufgelösten Modellen lernen, was für Ergebnisse ein physikalisch aufgebautes Modell bei gegebenen Startwerten produzieren würde – etwa so, wie ein großes Sprachmodell aus genügend Beispielen lernen kann, wie ein Satz wahrscheinlich weiter geht. Die neuronalen Netze produzieren ihre Ergebnisse aber sehr viel schneller und effizienter als physikalische, hoch aufgelöste Modelle.

„Man muss allerdings aufpassen, dass das Modell nichts Unphysikalisches lernt“, sagt Jakob Runge, Leiter der Arbeitsgruppe Klimainformatik am DLR und Professor des gleichnamigen Fachgebiets von der TU Berlin. „So ein Neuronales Netz kann allerlei Unfug lernen“. „Unphysikalisch“ bedeutet beispielsweise, dass der Energieerhaltungssatz verletzt wird oder mehr Wasser aus den modellierten Wolken regnet, als vorher in Form von Luftfeuchtigkeit hineingeströmt ist. Um solche Ausreißer zu verhindern, können Klimaforscher beispielsweise zusätzliche Schichten in die neuronalen Netze einbauen, die die Einhaltung physikalischer Randbedingungen erzwingen, weiß Runge. Aber noch sind diese Methoden des „constraint machine learning“ in der Entwicklung.

Tapio Schneider vom California Institute of Technology geht das Problem daher anders an: Er arbeitet an einer Art Fusion von physikalischen und datengetriebenen Klimamodellen. Denn Deep Learning habe zwar zum Beispiel in der Bildver-

arbeitung hervorragende Erfolge erzielt, das sei aber nur durch eine „Überparametrisierung“ gelungen. Mit anderen Worten: Tiefe, neuronale Netze sind zwar in der Lage, nahezu jede beliebige Funktion zu modellieren, aber nur, indem sie eine große Zahl von Parameterwerten so lange an die Trainingsdaten anpasst, bis sie passen. Versucht man nun, mit diesem neuronalen Netz Daten zu erzeugen, die außerhalb des Bereiches der Trainingsdaten liegen – und genau das sollten Klimamodelle tun – kann das gut gehen, muss aber nicht. Die Vorhersagen des Modells sind nicht nur möglicherweise unphysikalisch, sie „generalisieren“ auch nicht.

Schneider und seine Kollegen nehmen deshalb die physikalischen Grundgleichungen physikalischer Klimamodelle und „vergrößern“ sie, indem sie auf einem gröberen Raster beispielsweise gemittelte Werte einsetzen. Um die kleinräumigen, dynamischen Prozesse der Wolken dennoch modellieren zu können, ergänzen sie zusätzliche Funktionen in den Gleichungen, die diese Prozesse abdecken. Diese – für die Dynamik ganz wesentlichen – Funktionen lernen neuronale Netze aus hoch aufgelösten, lokalen Wolkensimulationen und Wetterdaten. Die ersten Ergebnisse sind vielversprechend: Die Modelle sind nicht nur quasi per Definition physikalisch realistisch, sie arbeiten auch mit so wenig Parametern wie nötig, für die das maschinelle Lernen zudem auch statistische Unsicherheiten mit auswirft. Vergrößerte Wolkenmodelle berechnen Regenverteilungen tatsächlich so realistisch wie physikalische Wolkenmodelle – und sie lassen sich in ein verbessertes, sehr viel schnelleres globales Klimamodell integrieren, an dem Schneider gemeinsam mit Kollegen arbeitet.

Denn grundsätzlich funktioniert solch eine „physikalisch inspirierte“ Methode nicht nur bei Wolken. Schneiders Kollege Christian Frankenberg hat sie auch erfolgreich auf die Modellierung von Pflanzen angewandt: „Was uns am meisten interessiert ist das Wechselspiel, zwischen dem Wasser- und Kohlenstoffkreislauf“, sagt Frankenberg. „Denn die große Frage ist doch, ob die Biosphäre uns weiterhin den Gefallen tut und 30 Prozent des emittierten CO_2 absorbiert.“

Frankenberg und seine Kollegen haben ein Modell konstruiert, das aus den physikalischen Eigenschaften von Blättern den Farbwert der Vegetation so berechnet, wie ihn ein Satellit sehen würde. Aus gemessenen Satellitendaten lernt das Modell seine Parameter: „Wir berechnen, wie die Farbe des Canopys aussehen würde, wenn es mehr oder weniger Blätter gibt oder mehr oder weniger Chlorophyll. Das vergleichen wir dann mit gemessenen Daten, sodass das Modell konsistent ist mit dem, was man beobachtet“, sagt er.

Der Austausch von Wasser und CO_2 mit der Atmosphäre wird im Wesentlichen über die Blattöffnungen der Pflanze geregelt. Um zu modellieren, wie diese Stomata sich öffnen und schließen, modellieren Frankenberg und seine Kollegen eine Art Wirtschaftsprozess, mit Kosten und Gewinn für die Pflanze: Die CO_2 -Aufnahme ist der Gewinn, die Wasser-Verdunstung sind die Kosten. Die Pflanze versucht diesen Prozess so zu optimieren, dass sie möglichst viel CO_2 aufnimmt und dabei so wenig Wasser wie möglich verliert. Den Wassertransport über die Wurzeln zu den Blättern schließlich modellieren die For-



Foto: Ryan Young

Tapio Schneider vom California Institute of Technology arbeitet an einer Art Fusion von physikalischen und datengetriebenen Klimamodellen.



Niedrige Wolken, wie hier im Landschaftsbild zu sehen, sind eine der größten Herausforderungen bei Klimamodellen.

Die Berechnung des Klimas

Die Erde ist eine riesige Wärmekraftmaschine mit zahlreichen Rückkopplungsprozessen: Die Sonne speist das Erdklima mit Energie – allerdings nicht gleichmäßig. In niederen Breiten ist der Neigungswinkel der Sonnenstrahlung steil, in höheren dagegen flach. Das bewirkt einen Energieüberschuss in den tropischen Regionen. Die sich daraus ergebenden Unterschiede im Luftdruck erzeugen Winde, und unter Einwirkung der Erddrehung entsteht das atmosphärische Zirkulationssystem, das Energie von den tropischen in die höheren Breiten transportiert. Gleichzeitig finden solche Transportprozesse auch vertikal statt – warme Luft steigt auf und kühlt sich ab; kalte Luft sinkt zurück Richtung Boden.

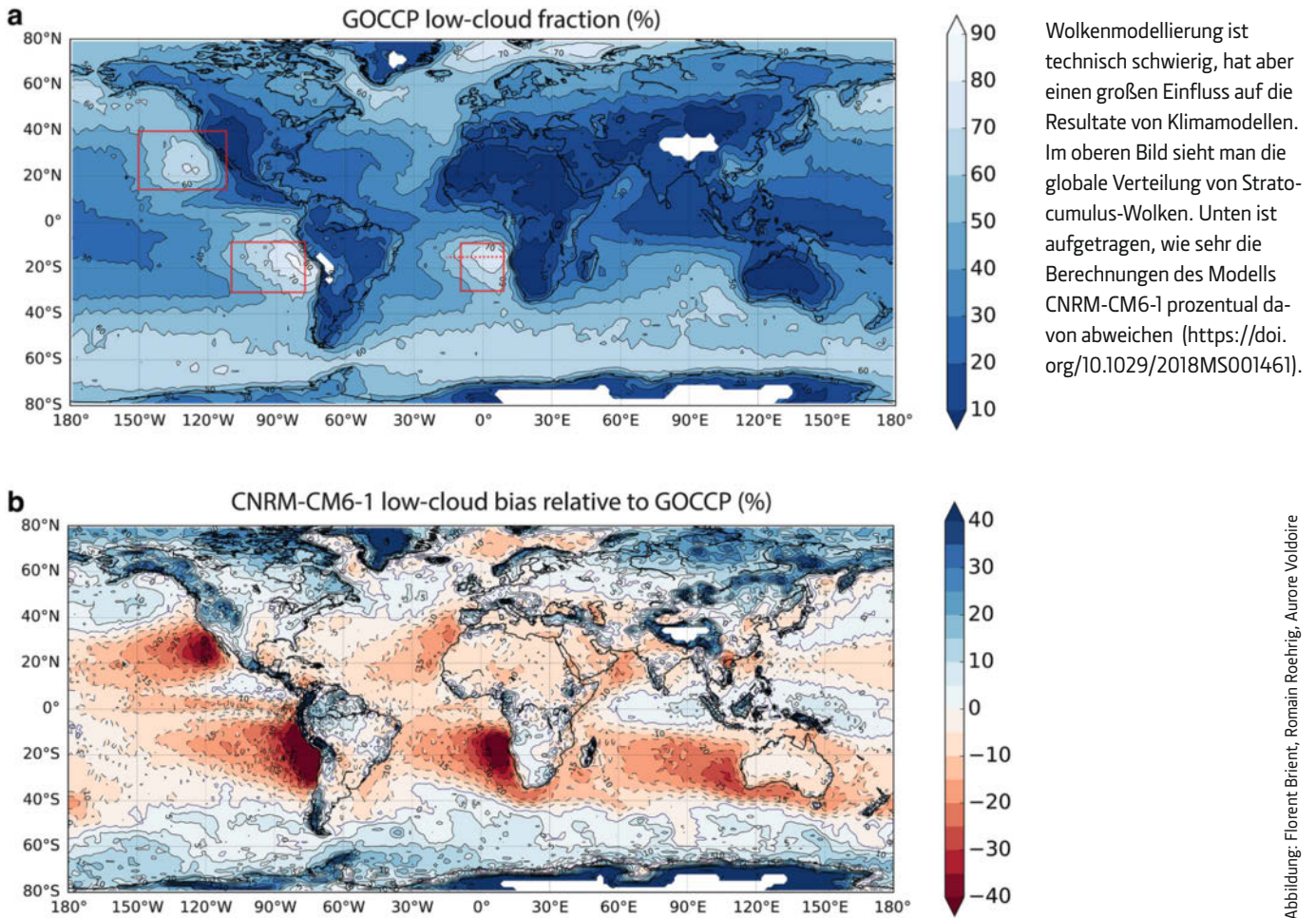
Ganz wesentlich für die globale Wettermaschine ist auch das Wasser: Erwärmte Luft steigt nach oben und kühlt dabei ab, wobei Wasserdampf kondensiert und Wolken bildet. Wolken wiederum können ausregnen, außerdem reflektieren sie Sonnenlicht, sodass weniger Energie die Erde erreicht. Auch Meerwasser trägt zum Ener-

gieausgleich zwischen niederen und höheren Breiten bei. So transportiert etwa der Golfstrom warmes Wasser in den Nordatlantik und sorgt für ein überdurchschnittlich warmes Klima in Westeuropa. Umgekehrt verfrachtet der Humboldtstrom kaltes Wasser aus dem Südpazifik entlang der südamerikanischen Westküste ab.

1903 gelang es dem norwegischen Physiker Vilhelm Bjerknes erstmals, die komplexe Maschinerie der Atmosphäre mathematisch zu fassen. Später kamen ähnliche Gleichungssysteme für die Meere und die Kontinente dazu, die zu globalen Erdsystemen gekoppelt wurden. Bjerknes entwickelte ein System von sieben miteinander gekoppelten partiellen Differenzialgleichungen, die zeitliche und räumliche Änderungen von physikalischen Variablen der Atmosphäre in Abhängigkeit von anderen Variablen beschreiben. Die Lösungen dieser Gleichungen sagen aus, wie die Variablen sich zu einem in der Zukunft liegenden Zeitpunkt verhalten werden, wenn man die Messgrößen für den Startzeitpunkt kennt.

Allerdings gibt es keine analytische Lösung für diese Gleichungen. Sie lassen sich nur numerisch lösen und auch das nur, wenn sie vereinfacht werden, da der Rechenaufwand sonst ins Unermessliche steigen würde. Globale Klimamodelle, die über größere Zeiträume gerechnet werden, arbeiten deshalb mit Rastern von etwa 100 Kilometer Seitenlänge.

Vor über 25 Jahren begann das Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) des Weltklimaforschungsprogramms (WCRP) mit der Koordinierung einer Handvoll atmosphärischer Modelle der ersten Generation, die mit einem Ozeanmodell, einer einfachen Landoberfläche und Meeris gekoppelt waren. Im Laufe der Jahre wurden die Klimamodelle weiter verbessert und die Zahl der CMIP-Modelle ist erheblich gestiegen. In den letzten zehn Jahren wurden viele der Klimamodelle zu Erdsystemmodellen erweitert, die neben dem physikalischen Klima auch interaktive Kohlenstoff- und andere biogeochemische Zyklen simulieren.



scher mit hydraulischen Gleichungen. Der Vorteil: Das Modell funktioniert nicht nur für Wälder, sondern auch für Grasflächen oder Äcker. „Wir müssen nicht festschreiben, dass ein bestimmtes Gebiet etwa ein Wald ist oder eine Weide. Das können wir allein über die physikalischen Eigenschaften bestimmen“, sagt Frankenberg.

Ursache und Wirkung auf der Spur

Ein grundsätzliches Problem aber können auch solche physikalisch inspirierten Modelle nicht lösen, denn dieses Problem liegt auf einer tieferen, konzeptionellen Ebene: Für sich betrachtet mag jeder einzelne Prozess, jeder Vorgang, der in ein Klimamodell gesteckt wird, perfekt wissenschaftlich beschrieben und abgesichert sein. Die Gesamtwirkung, die Entwicklung des Klimas, ergibt sich jedoch aus der komplexen Wechselbeziehung unzähliger physikalischer, chemischer und biologischer Mechanismen. Dabei entstehen bisweilen überraschende Zusammenhänge, die auf den ersten Blick keine direkte kausale Verbindung zeigten. „Teleconnection“ nennen das Klimaforscher: ein Zusammenhang zwischen Wetterbedingungen in räumlich und zeitlich weit voneinander getrennten Gebieten.

Jakob Runge von der TU Berlin setzt deshalb auf die Methode der „Kausalen Inferenz“ (siehe TR 02/2021). Die zugrunde liegende Methode hat der Mathematiker Judea Pearl entwickelt. Seine Idee: Kausale Zusammenhänge als Diagramme zu beschreiben, in denen zwei Größen, von denen die eine einen Einfluss auf die andere hat, mit Pfeilen verbunden sind. Ein komplettes kausales Modell sieht ein wenig wie ein kompliziertes Ablaufdiagramm aus, an dem man ablesen kann, was mit Variable Z passiert, wenn man Variable A oder B verändert.

Gibt es keinen kausalen Zusammenhang, wird auch kein Pfeil gezeichnet. Diese auf den ersten Blick unschuldig aussehende Bedingung erlaubt interessante Gedankenexperimente. Denn sie beantwortet die Frage, was mit Z passiert, wenn die Änderung von A keinen Einfluss auf Variable B hat – und so weiter, bis zum Ende der Kette: Pearl nennt das „Do Calculus“ – die Variable A wird auf einen (beliebigen) Wert gesetzt und dort festgehalten, weil die Änderung von A keinen Einfluss auf andere Variablen hat. Was hier zunächst sehr theoretisch erscheint, lässt sich praktisch anwenden, wenn man Messdaten betrachtet, bei denen verschiedene Einflussgrößen – beispielsweise Geschlecht oder Alter von Patienten – entweder berücksichtigt werden oder beliebig sind. Je nach-

dem, kann sich die statistische Verteilung der Ergebnisse stark unterscheiden. Um zu prüfen, ob zwei Variablen zusammenhängen, berechnet man die Wahrscheinlichkeitsverteilungen mit und ohne festgesetzte Variablen.

„Wir definierten uns Größen wie Temperatur, Druck und so weiter – in gewissen Regionen. Dann schauen wir, wenn wir das auf die Beobachtungsdaten anwenden, wie das kausale Netzwerk aussieht“, sagt Runge. „Manche Prozesse sind miteinander verbunden, andere nicht. Man bekommt daraus ein Netzwerk der Abhängigkeiten – eine Art Fingerabdruck. Dann nehmen wir dieselben Variablen in Klimamodellen, lernen das kausale Netzwerk in den Modelldaten und vergleichen. Sind das dieselben? Wo bilden die Modelle nicht so gut die Realität ab? Und zwar nicht unbedingt in den Absolutwerten, sondern in den Kausalbeziehungen.“ Die Methode könne also auch verwendet werden, um die „Verlässlichkeit“ eines Modells zu berechnen, und zwar nicht nur auf die aktuellen, sondern auch auf zukünftige Daten.

Auch Veronika Eyring setzt auf solch eine „Brücke zwischen Physik und maschinellem Lernen“. Im EU-Forschungsprojekt „Understanding and Modelling the Earth System with Machine Learning“ arbeitet sie seit 2020 mit Kolleginnen daran, Unsicherheiten in Klimavorhersagen zu reduzieren und Klima-

schwankungen und Extremereignisse wie Dürren mit Methoden wie Deep Learning auf kausale Zusammenhänge hin zu untersuchen und einen Paradigmenwechsel in der aktuellen Modellierung des Erdsystems hin zu einer neuen datengetriebenen Physik voranzutreiben.

» Manche Prozesse sind verbunden, andere nicht. Daraus entsteht ein Netzwerk der Abhängigkeiten. «

Noch ist diese Wette auf die Zukunft nicht eingelöst, aber „in zwei bis drei Jahren“, schätzt Jakob Runge, könne man vielleicht schon mit ersten Ergebnissen rechnen. „Es ist dringend notwendig, die Unsicherheiten in der Klimamodellierung zu verkleinern und zu quantifizieren“, ergänzt Tapio Schneider. „Der Erfolg ist in Reichweite.“ Das wäre gut, denn die Zeit drängt. <

BERLIN

Hier entstehen die Technologien für die Energiewende

Treffen Sie uns bei „The Business Booster“, der internationalen Netzwerkveranstaltung von EIT InnoEnergy, auf der mehr als 150 nachhaltige Energietechnologien unter einem Dach präsentiert werden.

3. – 4. November 2021 | Hub 27 | Berlin
tbb.innoenergy.com

BERLIN PARTNER
für Wirtschaft und Technologie

BERLIN

Jedes Grad tötet Arten

Derzeit sind mehr als 37 400 Tier- und Pflanzenarten vom Aussterben bedroht. Das sind 28 Prozent aller in der Roten Liste der Internationalen Union für Naturschutz (IUCN) erfassten Arten. Und es werden schnell mehr.

TEXT: JO SCHILLING; GRAFIK: MATTHIAS TIMM

Unsere Ernährung, Sicherheit und wirtschaftliche Entwicklung hängen direkt mit der Vielfalt des Lebens auf der Erde zusammen. Die Gründe für den rasanten Rückgang der Biodiversität sind divers und der Klimawandel kommt nun als relativ neuer Beschleuniger in das Geschehen: Durch die zügig steigenden Temperaturen auf der Erde und sich verschiebende Jahreszeiten verschieben sich auch die Lebensräume von Tier- und Pflanzenarten. Spezies, die einen kühlen Lebensraum benötigen, wandern im Meer polwärts oder in tiefere, kältere Gewässer. An Land ziehen sie in höhere Lagen. Arten, die auf wärmere Regionen angewiesen sind, konzentrieren sich innerhalb der Grenzen, die für sie noch tolerierbar sind. Da die verschiedenen Arten unterschiedlich schnell und stark reagieren, geraten die lokalen Ökosysteme aus dem Gleichgewicht.

AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF PFLANZEN UND TIERE

Phänologische Jahreszeiten*

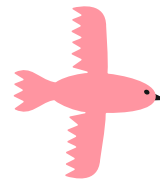
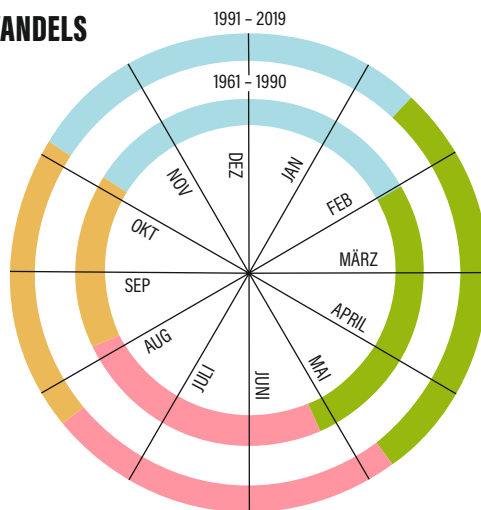
in Deutschland verschieben sich

120	Winter	102
96	Frühling	101
90	Sommer	89
59	Herbst	73

1961 – 1990 1991 – 2019

Länge in Deutschland (in Tagen)

* Phänologische Jahreszeiten beschreiben die unterschiedlichen Entwicklungsstadien von Pflanzen, von der Blüte über das Früchte tragen bis zum Blattfall.



Zugvögel

- kommen früher zurück
- Eiablage beginnt früher
- Verhaltensmuster verändern sich

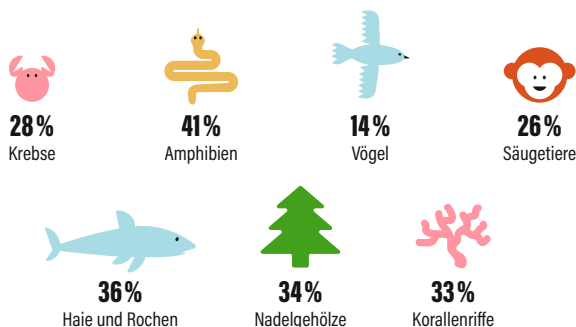
Pflanzen

- Hohe Temperaturen verlängern die Vegetationsperiode: Pflanzen fangen früher an zu blühen
- Lebensrhythmen von Pflanzen und bestäubenden Insekten verändern sich
- früherer Pollenflug, größere Pollenmenge, aggressiver für Allergiker

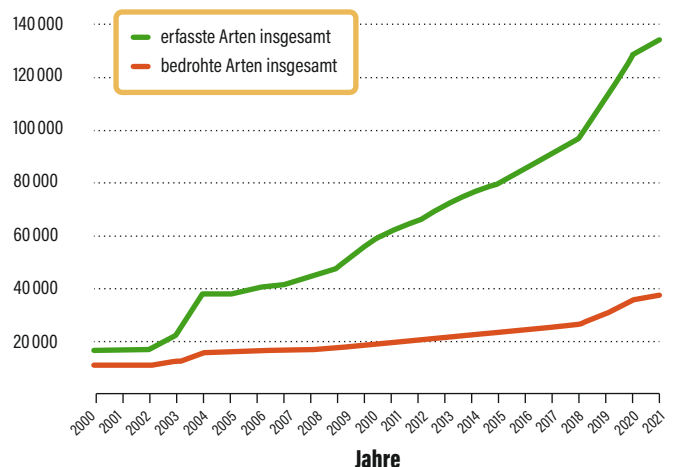


ENTWICKLUNG DES ARTENSTERBENS SEIT 2000

Die IUCN Red List beobachtet derzeit 134 425 Arten und sieht seit einigen Jahren einen dramatischen Rückgang der Artenvielfalt. Um etwa 60 Prozent ist die Artenvielfalt in den letzten Jahren weltweit zurückgegangen. Derzeit sind vom Aussterben bedroht:

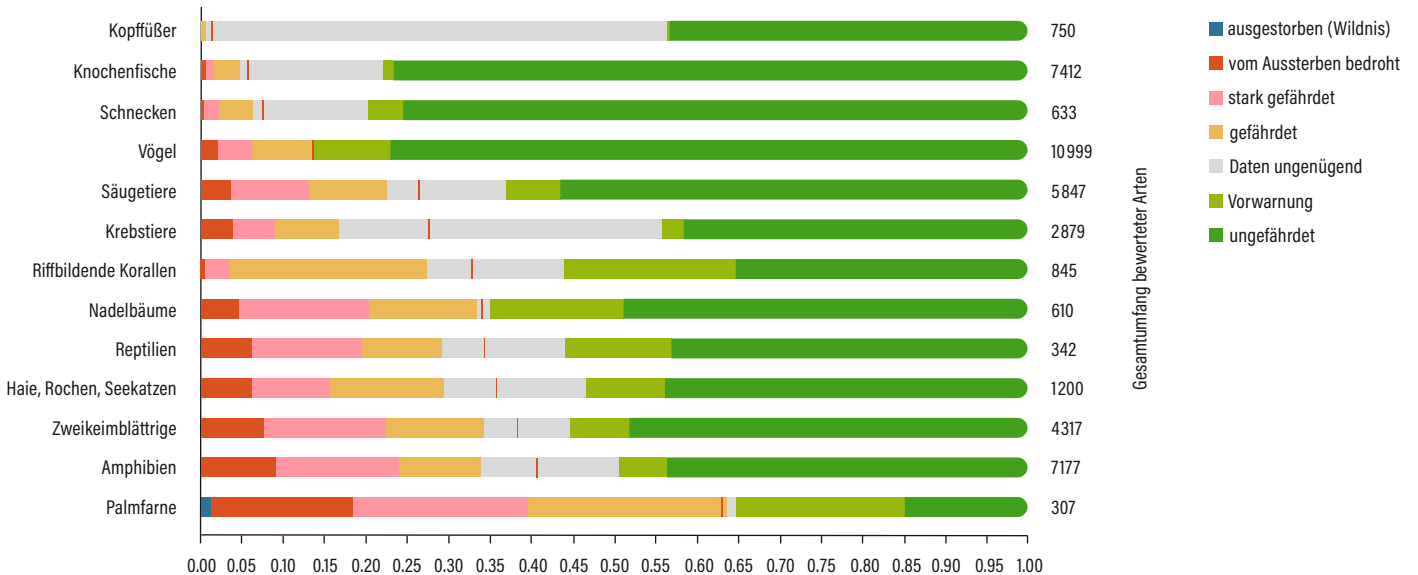


Arten



ANTEIL BEDROHTER ARTEN

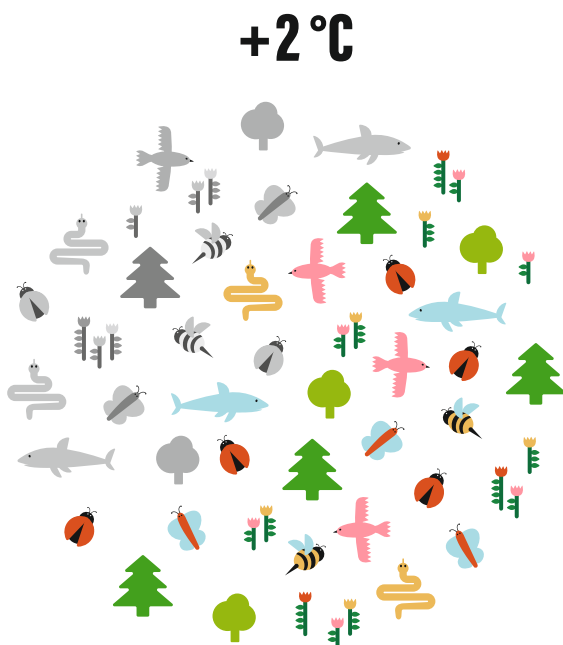
Fasst man Arten zu großen Gruppen zusammen, wird der Anteil der bedrohten Arten besonders deutlich. Die senkrechte rote Linie markiert den Prozentsatz der als bedroht geltenden Arten.



FOLGEN DES TEMPERATURANSTIEGS FÜR DIE ARTENVIELFALT

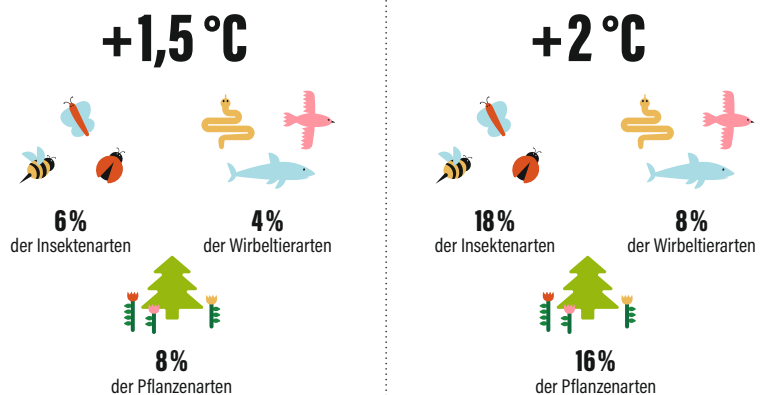
Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) über Klimawandel und Landsysteme stellt einen direkten Zusammenhang zwischen dem Rückgang der Artenvielfalt und dem Anstieg der Temperatur her. Es wurden 105 000 Arten betrachtet.

Bei einem globalen Temperaturanstieg um 2 °C wird sich die Artenvielfalt weltweit um ein Viertel verringern.

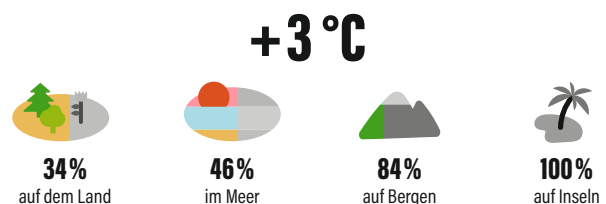


KLIMAWANDEL BEDROHT ARTENVIELFALT

Je höher der Temperaturanstieg, desto mehr Arten sind aufgrund von Populationsverlusten gefährdet. Die Prozentzahlen geben an, wie viel Prozent der Arten mehr als die Hälfte ihrer Population verlieren werden.



Für endemische Arten, also solche, die in begrenzten Gebieten leben – wie etwa unsere einheimischen Bienenarten, Seevögel, Lachs oder auch die gesamte Gebirgsflora und -fauna der Alpen –, ist die Bedrohung noch weitaus größer.



#greenwashing

CO₂-Emissionen zu messen und auszugleichen wird immer beliebter in der Wirtschaft. Aber ist es für Unternehmen wirklich so einfach, klimaneutral zu werden?

VON JAN VOLLMER

Der elektrische Porsche „Taycan Cross Turismo“ wirkt auf den ersten Blick nicht besonders klimafreundlich: Er ist 1,96 Meter breit und 4,97 Meter lang – damit ist er sechs Zentimeter breiter und sieben Zentimeter länger als ein aktueller VW-Transporter. Er wiegt leer 2,3 Tonnen – etwa so viel wie ein männliches Breitmaulnashorn.

Ein Taycan Cross Turismo soll vieles sein: Ein Sportwagen mit 476 PS. Ein Familienauto mit 446-Liter-Kofferraum und fünf Türen. Ein Geländewagen mit Allradantrieb. Ein Elektroauto. Porsche wirbt damit, dass der „Cross Turismo“ bilanziell „CO₂-neutral“ sei. Seit März 2021 gibt es ihn zu kaufen. Das Jahr, in dem an der amerikanischen Westküste über 50 Grad Celsius gemessen werden; in dem die Wälder des Amazonas – früher als „die grüne Lunge des Planeten“ bekannt – erstmals mehr CO₂ abgeben als sie aufnehmen; in dem bei Fluten in Westdeutschland über 170 Menschen sterben. Er ist „der neue Porsche“ in dem Sommer, in dem die Klimakatastrophe in der deutschen Öffentlichkeit ankommt.

Er nährt die Hoffnung der Verbraucher, dass beides geht: In 5,1 Sekunden von 0 auf 100 beschleunigen und dabei in Zeiten der Waldbrände und Flutkatastrophen kein schlechtes Gewissen haben zu müssen. Er nährt aber auch die Hoffnung der Industrie: Dass man eigentlich so weitermachen kann wie bisher, nur mit dem Label „klimaneutral“. Wir können auch „klimaneutral“ mit Easyjet von Berlin nach Fuerteventura fliegen. Bei Aldi-Süd gibt es „klimaneutrale“ Milch. „Hofer“ in Österreich verkauft „klimaneutrales“ Rindfleisch. Man kann es sogar auf „klimaneutraler“ Kohle grillen.

Hinter dieser ganzen Klimaneutralität steht ein bei Unternehmen zunehmend beliebtes Konzept: Carbon-Offsetting. Wie bei allen anderen Produkten auch entsteht CO₂ bei der Produktion oder dem Verbrauch eines Produkts in einem reichen Land wie Deutschland, England oder den USA. Unternehmen wie Porsche, Easyjet, Aldi-Süd oder Hofer zahlen dann eine bestimmte Summe an Umweltprojekte in ärmeren Ländern, die CO₂ einsparen sollen. Eine Tonne CO₂ wird hier ausgestoßen, Geld wird überwiesen, eine Tonne wird woanders eingespargt.

Offsetting wird schon seit 15 Jahren scharf kritisiert. Die Argumente von Gegnern wie dem Umwelt-Aktivisten und Guardian-Kolumnisten Georg Monbiot sind, dass das CO₂ erstens dennoch entsteht, auch wenn ein Produkt das Label klimaneutral

trägt. Zweitens produzieren reiche Länder in Europa, den USA, Kanada und China weitaus mehr CO₂, als man rein rechnerisch im Globalen Süden überhaupt einsparen kann. Und drittens ist nur bei wenigen Kompensationsprojekten überhaupt klar, wie viel CO₂ sie tatsächlich einsparen. 2006 prägte Monbiot das Bild vom Klima-Ablasshandel. „In dem sie uns ein reines Gewissen verkaufen, untergraben die Offsetting-Unternehmen den notwendigen politischen Kampf, um Klimawandel zu Hause anzugehen“, so Monbiot.

Wie Offsetting geht, weiß Anna Alex. Sie sitzt in dem grünen Innenhof eines vierstöckigen Bürogebäudes in Berlin Mitte und tippt in ihr LinkedIn-Profil: „Mit unserer Lösung werden Unternehmen #klimaneutral“. In der Berliner Start-up-Szene war Alex lange als Gründerin des Online-Shops „Outfittery“ bekannt. Seit sie im Winter 2019 „Planetly“ gegründet hat, wird sie auf Panels

» Wir können »klimaneutral« von Berlin nach Fuerteventura fliegen. Man kann sogar auf »klimaneutraler« Kohle grillen. «

eingeladen, um zu erklären, wie Unternehmen mit ihrer Software ihren CO₂-Ausstoß messen und klimaneutral werden können.

Hinter ihr liegt die offene Bürofläche von „Planetly“. Von den 60 Mitarbeitenden sitzen dort nur zwei oder drei hinter ihren Bildschirmen. „Als ich den CO₂-Fußabdruck von Outfittery berechnen wollte, habe ich keine Softwarelösung gefunden“, erzählt Alex. „Wir hatten einen Berater, der mit einem Excel-Sheet gearbeitet hat und uns dann ein PDF geschickt hat: Das ist jetzt euer Footprint. Aber ein Excel Sheet ist nicht für die Transformation gemacht. Es liefert keine Insights für Entscheidungsträger und -Trägerinnen“, sagt Alex.

CO₂-Rechner für Unternehmen gebe es schon seit einigen Jahren, der Unterschied zu Planetly sei, so Alex, dass Planetly auf Daten wie Stromverbrauch oder Geschäftsreisen aus der je-

weiligen Unternehmenssoftware der Kunden zugreift und den Prozess damit schneller und akkurater mache. „Wir schauen, was die Quick-Wins sind: Travel Policy anpassen, Mitarbeiter im Homeoffice auf grüne Energie umstellen. Oft sind das 20 bis 30 Prozent der Emissionen“, sagt Alex.

Über 150 Unternehmenskunden, so eine Unternehmenssprecherin, habe Planetly aktuell. Es gibt sogar ein eigenes Label „Carbon neutral + 2020. Planetly“ steht da in einem blauen Kreis auf den Seiten der Planetly-Kunden. Eines dieser Unternehmen ist das Weltraum-Startup „Yuri“. Es hat laut Planetly im Jahr 2020 141 Tonnen CO₂ emittiert. Das ist ungefähr so viel, wie 31 Autos durchschnittlich pro Jahr ausstoßen.

Ich erreiche Yuri-Gründer Mark Kugler per Videoanruf. Um mit Planetly „klimaneutral“ zu werden, erzählt er, habe er sich zwei Stunden hingesetzt und Zahlen zu seinem Start-up herausgesucht. Nach Planetlys CO₂-Berechnung seien Strom und Geschäftsreisen die größten Posten gewesen. Die CO₂-Emissionen der Raketen, so Kugler, hätten sie sogar vorsichtshalber rechnerisch verdreifacht, um sicherzugehen, dass sie auch alles ausgleichen. Sie seien jetzt auf grünen Strom umgestiegen und wollen auf Geschäftsreisen innerhalb Europas nicht mehr fliegen. Den Rest der Emissionen habe Yuri ausgeglichen – indem sie rund 1000 Euro an ein Solar-Energie-Projekt und ein Brunnenbau-Projekt auf den Philippinen gespendet haben.

Über 100 Unternehmen, so die Planetly-Sprecherin, „haben sich für ein bereits vergangenes Geschäftsjahr durch Kompensation klimaneutral gestellt.“ Auch der Möbelhändler home24

gibt an, dank Planetly „klimaneutral“ zu sein. 22100 Tonnen CO₂, heißt es auf der Website, habe man für das Jahr 2019 ausgeglichen. Wie viel Geld das Unternehmen dafür pro Tonne CO₂ ausgegeben hat, möchte es nicht verraten. Mit seinen rund 1000 Euro hat Weltraumunternehmen Yuri jedenfalls etwa sieben Euro für das Offsetting einer Tonne CO₂ gezahlt.

Nur zehn Gehminuten vom Planetlys Büro entfernt, liegt das Büro der Iota Stiftung. Iota ist 2016 als Kommunikationsprotokoll gestartet, das ähnlich wie eine Blockchain funktioniert, aber dabei einige der Probleme vieler Blockchains vermeidet. Während Bitcoins geschürft werden, existieren Iota-Einheiten schon auf dem Markt. Für jede Transaktion, die eine Iota-Nutzerin tätigen will, muss sie zwei andere Transaktionen überprüfen.

Iota versteht sich als digitale Infrastruktur, auf der alle möglichen Arten von verifizierten Informationen laufen können. Das „Internet of Everything“. Seit Ende 2020 arbeitet die Stiftung dafür mit „Climate Check“ zusammen. Das Unternehmen hat sich auf Messungen, Reporting und Verifikation spezialisiert. Die gemeinsame Idee ist, mit IoT- über das Iota-Protokoll verifizierte Daten zu CO₂-Emissionen oder Einsparungen der Geräte in Echtzeit zu erfassen.

Wenn Unternehmen ernsthaft über Nachhaltigkeit jenseits des Offsettings nachdenken, müssen sie ihre Lieferketten hinterfragen. Einhorn lässt etwa jetzt in Malaysia für seinen Kautschuk Gummibaumwälder statt der üblichen Monokulturen pflanzen.

Foto: Einhorn





Foto: Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) gGmbH / Matti Hillig

Mareike Blum erforscht Legitimität und Kontroversen in der Klimapolitik am MCC.



Foto: Yuri

Mark Kugler ist Gründer des Weltraum-Start-ups Yuri. Er setzt auf Offsetting für seine Raketen und versucht für Yuris Klimaneutralität, inneratmosphärische Flüge zu vermeiden.

Mathew Yarger, Iotas „Head of Smart Mobility“, erklärt mir das System via Zoom, von seinem Schreibtisch in Austin Texas aus. Er sei kein Klimaexperte. „Ich designe nur gerne Plattformen“, sagt Yarger. Er öffnet ein Dashboard, auf dem er mir die Sensoren eines Pilotprojekts auf Google Maps zeigen kann. Mit ein paar Klicks ruft er das digitale Modell einer Anlage in Chile auf, die die Treibhaus-Gase einer Müllhalde auffängt und zerstört. 27 Tonnen CO₂ hat die Anlage in den letzten 30 Tagen aufgefangen und damit reduziert, 348 Tonnen in den vergangenen 12 Monaten.

„Mit so einem System müssen Organisationen nicht Wochen damit verbringen, einen Experten zu der Anlage zu bringen, der dann ihre Leistung überprüft. Wir können vom Schreibtisch aus sehen, ob und wie viel sie reduziert“, so Yarger. In zwei bis drei Jahren, hofft er, „könnten ein paar dutzend Partner unseren Code für solche Projekte nutzen.“ Er selbst versucht gerade, die Stadt Austin davon zu überzeugen, über das Iota-System zu tracken, wie viel Strom Austins Solaranlagen in das Netz einspeisen. „Wir hoffen damit eine Datengrundlage in Echtzeit zu schaffen, mit der Investoren beurteilen können, welche Investitionen sich lohnen und wirklich CO₂ reduzieren, und welche nicht“, so Yarger.

Langfristig, so hofft Yarger, kann Iotas Dashboard damit zu einem digitalen Modell von weltweitem CO₂-Ausstoß und Reduktion werden. Je mehr CO₂-messende IoT-Geräte an Yargers Pilotprojekt angeschlossen werden, desto genauer wird es – und umso genauer wüssten wir über den tatsächlichen CO₂-Haushalt der Erde bescheid.

Natürlich könnte man auch ohne ein Protokoll wie Iota Echtzeitdaten über CO₂-Reduktion in einem Dashboard zusammen-

führen. Das besondere an Iotas Pilotprojekt ist allerdings, dass die Daten dank des dezentralen Systems sehr viel verlässlicher sind, als wenn Unternehmen selbst Angaben über ihren CO₂-Ausstoß oder ihre Reduktion machen. Und je mehr Daten in Iotas Dashboard eingehen, desto düsterer wird das Bild. „Es kann gut sein, dass wir uns am Ende die Zahlen anschauen und denken: Wow, wir haben einen viel größeren negativen Impact als wir dachten; wir sind viel weiter weg von unseren Zielen, als wir gehofft haben. Das kann unangenehm werden. Aber auch dann ist es besser, Klarheit zu haben, als ignorant zu sein.“

In den „Klimaneutral“-Labeln steckt genau diese Ignoranz und viele in der Nachhaltigkeitsszene sehen Offsetting kritisch: „Offsetting darf niemals darüber hinwegtäuschen, dass die Reduktion das ist, worum es gehen muss“, sagt auch Tilman Santarius, der an der TU Berlin zu Umwelt, Wirtschaft und Digitalisierung forscht. „Ich mach so weiter wie bisher und kann es mir leisten zu kompensieren – das ist ein zeitlicher und regionaler Verschiebepunkt. Es ist heute und langfristig nur eine Lösung für die Nische.“

„Offsetting kann eine billige und unkomplizierte Art sein, das eigene Unternehmen gut darzustellen“, erklärt auch Mareike Blum, eine Forscherin des Klima-Instituts MCC in Berlin. „Die einen sehen darin eine Gefahr des Greenwashings, die anderen verstehen es als ersten Schritt und sagen, es sei besser als nichts.“

Aktuell, so Blum, gehe der Trend dahin, dass sich Unternehmen auf Einsparpotenziale entlang ihrer eigenen Lieferkette fokussierten, was oft als Supply Chain Management oder Insetting bezeichnet wird. „Es geht dabei darum, in der eige-



Anna Alex stellt ihre Unternehmerinnenqualitäten seit 2019 mit Planetly in den Dienst des CO₂-Fußabdrucks von Firmen.

nen Lieferkette CO₂ zu reduzieren, statt zufällig irgendwo sonst auf der Welt etwas auszugleichen. Das macht die eigenen Problemzonen bewusster und ist auch greifbarer für die Konsumentenden.“ Dieser Trend, so Blum, greife einen zentralen Punkt der Offsetting-Kritik auf, die besagt, dass Staaten und Unternehmen eigene Anstrengungen unternehmen sollten, ihre selbst verursachten Emissionen zu prüfen und zu reduzieren, anstatt diese kostengünstig an anderer Stelle auszugleichen.

Um zu lernen, wie das funktionieren kann, treffe ich Elisa Naranjo in einer kanadischen Pizzeria in der Kreuzberger Dief-

» Die spannende Frage ist nicht das Tracking, sondern wie es danach weitergeht. Passiert dann was? «

fenbachstraße. Sie tunkt die Spitze ihrer Pizza-Ecke in einen scharf-süßen Dipp, die Spezialität des Hauses und verdreht die Augen, als ich sie frage, was sie davon hält CO₂-Emissionen einfach zu tracken und auszugleichen. Naranjo arbeitet seit sechs Jahren als „Head of Fairstainability“ für Einhorn, ein Berliner Unternehmen für nachhaltige Kondome und Hygieneprodukte. Für Einhorn ist die Beratung zu Nachhaltigkeitsthemen



Foto: Einhorn

Nachhaltige und faire Produktion von „Untenrumprodukten“ sind das Geschäft von Elisa Naranjo bei Einhorn.

neben Kondomen und Hygieneprodukten inzwischen zu einem eigenen Geschäftszweig geworden.

„Die spannende Frage ist nicht das Tracking, sondern wie es danach weitergeht. Passiert dann was, oder wird es nur ausgeglichen?“ sagt Naranjo. „Wenn man es ernst meint mit der Nachhaltigkeit, liegen Maßnahmen wie auf Ökostrom umstellen, Flotte umbauen, Inlandsflüge streichen eh auf der Hand. Dafür braucht man keine Beratung.“

Die erste CO₂-Lifecycle-Analyse für Einhorn, erzählt Naranjo, habe ein Student für seine Masterarbeit gemacht. Seitdem arbeitet Einhorn an der eigenen Lieferkette: Wo kommt der Kautschuk her? Wie viel Energie verbraucht der Hersteller? Lassen sich Kondome auch ohne Verbundmaterialien verpacken? „Die Frage ist, wie ernst man das Thema nimmt“, sagt sie. „Ich war die erste Angestellte bei Einhorn und wurde dafür bezahlt, nervige Fragen zu stellen.“ Wirklich spannend werde es für sie, wenn ein Unternehmen über das Produkt selbst nachdenkt. „Wenn jemand Socken produziert, macht es mehr Sinn, sich zu überlegen, wo die Socken kaputt gehen und wie sie länger halten könnten, statt erst zu produzieren und später nur auszugleichen.“

Wie sie unter dem Aspekt unseren Porsche vom Anfang der Geschichte sehe, will ich von ihr wissen. Zunächst lächelt sie nur. Dann sagt sie: „Wenn Porsche ernsthaft über Nachhaltigkeit nachdenken würde, wäre die erste Frage: Was ist hier das eigentliche Produkt? Geht es hier tatsächlich um Mobilität? Die könnte man sicherlich viel nachhaltiger anbieten, als wenn maximal fünf Personen mit 500 PS durch die Gegend schießen. Die Frage ist, ob Porsche sich diesen Fragen überhaupt ernsthaft stellen will.“



Die große Illusion

Jedes politisch auch nur halbwegs realistische Klimaszenario geht von einer Reduktion der CO₂-Emissionen aus, die nicht reichen wird, um die Erderwärmung zu begrenzen. Das heißt, dass wir CO₂ direkt aus der Atmosphäre entnehmen müssen. Wie gut kann das funktionieren?

VON WOLFGANG STIELER UND JAMES TEMPLE

Der sechste UN-Klimabericht des IPCC lässt sich auf zwei Kernaussagen zusammenstreichen. Die erste ist mittlerweile wohlbekannt, weil tausendfach gesagt, gedruckt und verbreitet worden: Die globalen Temperaturen werden bis Mitte des Jahrhunderts weiter ansteigen. Wenn wir es schaffen, die CO₂-Emissionen bis 2050 auf Null zu senken, haben wir vielleicht eine kleine Chance, die Erwärmung auf 1,5 Grad zu begrenzen. Die zweite Kernaussage ist weniger bekannt, spricht sich aber langsam herum: Selbst die in Paris vereinbarten Emissionsminderungen werden dafür nicht reichen. Um die Erwärmung auf 1,5 Grad Celsius zu begrenzen, muss die Welt Wege finden wird, um bis Mitte des Jahrhunderts etwa fünf Milliarden Tonnen (Gigatonnen) Kohlendioxid pro Jahr aus der Atmosphäre zu entfernen – bis zum Ende des Jahrhunderts muss diese Menge sogar auf 17 Milliarden Tonnen gesteigert werden. Das zumindest beinhaltet eines der Szenarien, das der IPCC für sehr realistisch hält – das Szenario wird als SSP1-1.9 bezeichnet.

Die Zahlen beruhen auf einer Analyse früherer Daten durch Zeke Hausfather, einem Klimawissenschaftler am Breakthrough Institute und Mitautor des Klimaberichtes. Um diese Zahlen ins Verhältnis zu setzen: Wir müssen so viel CO₂ aus der Luft fischen, wie die US-Wirtschaft im Jahr 2020 emittiert hat. Natürlich ließe sich dieses Ziel senken, aber nur wenn es gelänge, die Emissionen noch schneller zu reduzieren. Welche Technologien und natürlichen Wege gibt es aber, CO₂ dauerhaft aus der Atmosphäre zu entnehmen? Und wohin dann mit dem überschüssigen CO₂?

Eine „natürliche“ Technologie zur Emissionsreduzierung gibt es bereits in großem Maßstab. Sie kostet in der Regel weniger als 100 Dollar pro Tonne entfernten Kohlenstoffs: das Pflanzen von Bäumen. Eine 2017 durchgeführte Untersuchung der US-Naturschutzorganisation Nature Conservancy ergab, dass die Erde vermutlich über ein Potenzial von rund 678 Millionen Hektar – doppelt so groß wie Indien – für die Wiederaufforstung verfügt. Das würde nach Berechnungen der Ökologin Susan Cook-Patton bis zu 2,4 Gigatonnen CO₂ pro Jahr entfernen. Allerdings sind diese Zahlen unter Wissenschaftlern umstritten. Wie viel CO₂ welche Wälder unter welchen Bedingungen aufnehmen, wird unter Forschern heiß diskutiert, weil es nur

wenige, indirekte Messdaten dazu gibt und noch immer nicht klar ist, wie Pflanzen sich unter den geänderten Bedingungen des Klimawandels verhalten. Es besteht zumindest eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass der Klimawandel selbst die Fähigkeit der Wälder, Kohlendioxid zu binden und zu speichern, untergraben wird, da die Gefahr von Dürren, Waldbränden und Insektenbefall mit steigenden Temperaturen zunimmt. Zudem würde das Anpflanzen von mehr Bäumen zur Kohlenstoffbindung mit dem Anbau von Nahrungsmitteln für eine wachsende Weltbevölkerung konkurrieren.

Die bislang einzig wirklich gute Nachricht ist, dass es eine Vielzahl von Möglichkeiten gibt, Kohlenstoff aus der Luft zu entfernen und dass eine wachsende Zahl von Forschungsgruppen und Unternehmen an der Entwicklung besserer und billigerer Methoden arbeitet.

Zumindest auf dem Papier kann durch die Abscheidung von CO₂ bei der Gewinnung von Bioenergie auf lange Sicht ein großer Teil der menschengemachten CO₂-Emissionen kompensiert werden. Zu diesem Schluss kommt jedenfalls ein Forscherteam aus den Niederlanden um Steef Hanssen von der Universität Nijmegen in einer Studie, die im Fachjournal „Nature Climate Change“ erschienen ist.

„Bio Energy with CCS“ (BECCS) beruht auf einer simplen Idee: Pflanzen nehmen beim Wachsen Kohlendioxid auf. Die Pflanzen werden zur Gewinnung von Bioenergie verwendet – zum Beispiel, indem man Biogas erzeugt oder Holz verbrennt. Das dabei entstehende CO₂ wird bei der Verbrennung chemisch abgeschieden und unterirdisch gespeichert (Carbon Capture and Storage, CCS). Die niederländischen Forscher haben berechnet, dass die Wirkung von BECCS stark abhängig ist vom Ort des Anbaus der Biomasse, der ursprünglichen Vegetation auf der zu nutzenden Fläche, dem hergestellten Energieträger und der Dauer der Nutzung. Das größte Potenzial zur Kohlendioxidminderung soll es demnach bei der Erzeugung von Bioelektrizität und Biodiesel geben. Mögliche Nachteile sind laut dem Autorenteam die großen benötigten Landflächen für den Anbau der Biomasse und negative Auswirkungen auf Biodiversität.

Felix Creutzig, Leiter der Arbeitsgruppe Landnutzung, Infrastruktur und Transport, Mercator Research Institute on Global



Climeworks errichtet eine Demonstrationsanlage in Island: Bis zu 4 000 Tonnen CO₂ sollen hier pro Jahr aus der Luft entnommen werden.

Carbon Collect will einen „mechanischen Baum“ entwickelt haben, der so viel CO₂ sammeln kann wie 1 000 natürliche Bäume. Der mechanische Baum besteht aus einer Art Tonne, die 150 Scheiben mit Absorbermedium enthält.



Rendering: Carbon Collect

Foto: Technology Centre Mongstad



Das Technologie-Zentrum Mongstad ist eine der größten Einrichtungen zum Testen und Verbessern von CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre. Es nahm im Mai 2012 den Betrieb auf und kann jährlich bis zu 100 000 Tonnen CO₂ entnehmen. Das Projekt wird vom norwegischen Staat, Statoil, Shell und Total durchgeführt.



Commons and Climate Change gGmbH (MCC), Berlin, hält die Studie in einer Stellungnahme für das Science Media Center allerdings für „bestenfalls intellektuelle Spielerei“. Denn die zentrale Annahme der Studie sei, „dass Landfläche in der Größenordnung der USA, Russland, China und Brasilien für Bioenergie zur Verfügung steht. Das ist um den Faktor elf höher als das, was unter optimistischen Annahmen ansonsten in der Literatur für möglich gehalten wird. Diese Annahme wird von den Autoren an keiner Stelle diskutiert.“

Unterdessen gibt es bereits eine ganze Reihe von Unternehmen, die technische Verfahren zur Entfernung von CO₂ aus der Umgebungsluft anpreisen: „Direct Air Capture“ (DAC). Das funktioniert in der Regel mit flüssigen oder festen Chemikalien, in denen das CO₂ gefangen wird. In einem zweiten Prozess-Schritt wird das CO₂ dann aus dem Fängermedium wieder entfernt, konzentriert und gegebenenfalls weiterverwendet.

Das kanadische Unternehmen Carbon Engineering hat bereits 2015 in einer Pilot-Anlage gezeigt, dass es eine Tonne CO₂ pro Tag binden kann. Carbon Collect, das auf den Forschungen von DAC-Pionier Klaus Lackner von der Arizona State University beruht, will gar einen „mechanischen Baum“ entwickelt haben, der so viel CO₂ sammeln kann wie 1000 natürliche Bäume: Der mechanische Baum besteht aus einer Art Tonne, die 150 Scheiben mit Absorbermedium enthält. Die werden bis auf zehn Meter hochgefahren, sodass der Wind zwischen ihnen hindurchstreichen kann. Die Schicht ist sehr dünn, denn je dünner der Absorber, desto weniger Energie braucht man,

» Der Prozess benötigt Energie – und wenn man damit wirklich etwas gegen den Klimawandel tun will, sehr viel Energie. «

um das absorbierte CO₂ wieder zu mobilisieren. Sind die Scheiben beladen, werden sie wieder heruntergefahren, die Tonne schließt sich und das CO₂ wird mit warmem Dampf gelöst. Das Gas wird getrocknet und komprimiert und die Scheiben können wieder eingesetzt werden.

Das von der in Dublin ansässigen Carbon Collect Inc. vermarktete System, gehört zu sechs Projekten, die im Rahmen eines Programms des US-Energieministeriums (DOE) finanziert werden, das auf Technologien zur Kohlenstoffabscheidung und -sequestrierung abzielt. Das DOE-Programm stellt insgesamt 12 Millionen Dollar für die sechs Projekte zur Verfügung, wobei 2,5 Millionen Dollar an Carbon Collect gehen. Das aufgefangene CO₂ soll zunächst an eine Algenfarm an der Arizona

State University geschickt und später als „grünes CO₂“ als Alternative zu CO₂ aus Kohlenwasserstoffen für den Gartenbau und andere Sektoren verkauft, beispielsweise für kohlenensäurehaltige Getränke oder zur Herstellung von synthetischem Treibstoff für Flugzeuge.

In der TV-Show Unicorn Hunters ist allerdings zu sehen, dass Carbon Collect ein trickreiches Argument verwendet, um für seine Technologie zu werben: Reyad Fezzani, Geschäftsführer des Unternehmens (und Vizepräsident) argumentierte dort, dass eine Tonne CO₂ als Rohstoff zwischen 300 und 1000 Dollar kostet. Wenn Carbon Collect also die Tonne CO₂ zu weniger als 1000 Dollar pro Tonne produziere, wären die mechanischen Bäume konkurrenzfähig.

Das stimmt nur zum Teil, denn der geringe Bedarf für CO₂ ist ja gerade eines der Probleme des Konzepts. Der Preis für das abgeschiedene CO₂ muss sich nicht an industriellem CO₂ messen, sondern es muss billiger sein, eine Tonne abzuscheiden, als sie zu emittieren. Die Emissionspreise sind aber noch extrem niedrig – sie liegen derzeit bei 25 Euro pro Tonne und werden bis 2030 nach Schätzung von Experten auf etwa 90 Euro pro Tonne steigen – ein Preis der von verschiedenen Forschern als Grenze für eine wirtschaftlich tragbare Abscheidung von CO₂ genannt wird.

In Deutschland dürfte Climeworks am bekanntesten sein. Das Schweizer Start Up verwendet als Filtermaterial Matten aus Zellulose, an deren Oberfläche Aminverbindungen angelagert wurden. Voll „beladene“ Matten werden im Vakuum aufgeheizt, um das Kohlendioxid wieder freizugeben, das dann aufgefangen und komprimiert wird. In Pilotanlagen hat das Unternehmen gezeigt, dass es 900 Tonnen CO₂ pro Jahr binden kann. Zurzeit errichtet Climeworks in Island eine sehr viel größere Demonstrationsanlage, die sogar 4000 Tonnen CO₂ pro Jahr aus der Luft holen soll. Die Anlage mit dem Namen Orca wird geothermisch mit Energie versorgt. Sie soll zeigen, wie gut die Technologie skaliert. Orca soll noch in diesem Jahr den Betrieb aufnehmen.

Das Island-Projekt illustriert allerdings auch eines der Hauptprobleme dieser Technologie: Der Prozess benötigt Energie – und zwar, wenn man damit wirklich etwas gegen den Klimawandel tun will, sehr viel Energie. Ryan Hanna von der University of California San Diego und Kollegen haben das mithilfe eines Computermodells untersucht. Ihr Ergebnis: Der Strom- und Gasverbrauch der USA müsste um bis zu 50 Prozent steigen, um jährlich mehrere Gigatonnen CO₂ aus der Luft zu holen. Die auf den ersten Blick naheliegende Idee, für DAC erneuerbare Energiequellen zu verwenden, würde „aus Kostengründen“ nicht funktionieren, argumentieren die Autoren der Studie. Damit die Technologie schnell genug skaliert, müsse sie schon in einem frühen Stadium genügend Investitionsanreize für Investoren bieten. Und die entstünden nur, wenn die Kosten für solche Anlagen möglichst gering wären. Also müssten die DAC-Anlagen vermutlich mit Erdgas betrieben werden.

Selbst dann sind die Kosten für DAC ein erhebliches Problem. In einem Aufsatz für die Fachzeitschrift Nature Commu-

nications schätzt Jonas Meckling von der University of California, Berkeley die Kosten für die Bindung von einer Tonne CO₂ auf zwischen 600 und 1000 Dollar.

Dennoch sieht Meckling vor allem die internationalen Öl- und Gaskonzerne in der Lage, die Technologie weiterzuentwickeln. Sie hätten sowohl die Mittel als auch das technische Know-how dazu, müssten sich allerdings von der Vorstellung verabschieden, auch noch das letzte bisschen Kohlenwasserstoff aus der Erde zu holen und stattdessen die Chancen einer „Technologie der negativen Emissionen“ zu entwickeln. Tatsächlich scheint die Idee bereits dort angekommen zu sein. Der Weltenergieat – eine Organisation der Energieproduzenten – propagiert die Technologie bereits seit einiger Zeit. Und schließlich gibt es auch Geld – die britische Regierung will die Entwicklung von DAC finanziell fördern.

Bleibt das Problem der Speicherung. Die Bundesregierung hatte in den 1990er Jahren unter anderem tiefe geologische Formationen in Norddeutschland als Speicher für überschüssiges CO₂ im Auge. Mehrere Pilotprojekte sollten das Potenzial der Technologie ausloten. Eine Kampagne von Umweltschützern machte dem jedoch einen Strich durch die Rechnung. Die Umweltschützer fürchteten nicht nur, dass das Gas wieder aus unterirdischen Speichern entweichen könnte, sondern auch, dass die geologische CO₂-Speicherung als Rechtfertigung dienen könnte, weiterhin an Kohle, Gas und Öl festzuhalten. Unter dem politischen Druck knickte die Bundesregierung ein und gab den Bundesländern die Freiheit, die umstrittene Technologie per Verbot komplett zu stoppen.

Andere Länder sind allerdings weniger zögerlich: In Norwegen entsteht das Pilotprojekt „Northern Lights“, in dem bereits ab 2024 CO₂ vier Kilometer unter dem Meeresspiegel in einer Sandsteinformation verpresst werden soll. Bis 2050 wollen die Norweger dort 100 Millionen Tonnen CO₂ einlagern. Ein ähnliches Pilotprojekt entsteht vor der holländischen Küste. Auch die Briten sind offenbar weniger ängstlich als die Deutschen. Die britische Regierung hat bereits eine ganze Reihe potenzieller Lagerstätten unterhalb der Nordsee identifiziert,

und schätzt das gesamte Speichervolumen dort auf rund 70 Gigatonnen CO₂.

Ob und wenn ja, wie riskant die Speicherung des Klimagases in tiefen geologischen Schichten ist, darüber herrscht unter Wissenschaftlern aber noch immer keine Einigkeit. Zwar sind aus Pilotprojekten noch keine gravierenden Unfälle oder gar ein Entweichen des Gases in größeren Mengen bekannt. Das Umweltbundesamt beispielsweise lässt aber kein gutes Haar an der Technologie: „Einen effektiven Beitrag zur Bekämpfung des Klimawandels kann die Speicherung von CO₂ nur leisten, wenn das eingelagerte CO₂ dauerhaft und vollständig in den Speichern verbleibt“, schreibt das UBA auf seiner Website. „Risiken für das Grundwasser und für den Boden entstehen vor allem durch Leckagen“ von CO₂ – mit anderen Worten, das Gas kann durchaus wieder entweichen. „Das CO₂ kann Schadstoffe im Untergrund freisetzen sowie salzige Grundwässer aus tiefen Aquiferen (Grundwasser leitenden Bodenschichten) verdrängen. Unter ungünstigen Bedingungen können diese verdrängten salzigen Grundwässer bis in oberflächennahe süße Grundwässer und an die Erdoberfläche gelangen... Eine effektive Überwachung (Monitoring) ist daher eine zwingende Voraussetzung für den Einsatz der CCS-Technologie. Da Techniken für ein umfassendes Monitoring bislang nicht zur Verfügung stehen, besteht hier erheblicher Forschungsbedarf.“

Wie man es also dreht und wendet: Es scheint keine einfache und überzeugende Lösung für die Entfernung von großen Mengen an Kohlendioxid aus der Luft zu geben. Weder mithilfe von Pflanzen noch mithilfe von Technologie. Zwar gibt es mittlerweile eine Menge vielversprechender Ideen, aber bei all diesen Ansätzen gibt es eine Menge Fragezeichen und Forschungsbedarf. Auf der anderen Seite drängt die Zeit: Selbst nach optimistischen Rechnungen schmilzt das noch verfügbare Budget an Kohlendioxid, das die Menschheit bis 2050 in die Luft jagen kann, erschreckend schnell zusammen. Statt über immer neue Möglichkeiten „negativer Emissionen“ zu diskutieren, wäre es vielleicht vernünftiger, die eine oder andere Tonne CO₂ gar nicht erst zu emittieren. <

Foto: Jose Diaz



Eine der günstigsten Technologien zur Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre ist das Bäume pflanzen. Allerdings ist unter Forschern nicht klar, wie viel CO₂ Pflanzen und Bäume unter veränderten Klimabedingungen tatsächlich entnehmen können.



Der Regenmacher

Mit ein paar Freunden, einem Netzwerk aus international Forschenden und der Überzeugung, dass die Welt reif ist für den regenerativen Wandel, will Ties van der Hoeven die ägyptische Wüsten-Halbinsel Sinai in eine grüne, fruchtbare Landschaft verwandeln.

INTERVIEW: JO SCHILLING



Foto: Judith Jocke/laif

Ties van der Hoeven ist der kreative Kopf der Weather Makers – der Wettermacher. Mit seinem kleinen Unternehmen und einem Netzwerk aus eigenwilligen Köpfen möchte er nicht weniger, als das Klima retten. Sein erstes Ziel ist, dem – wie er sagt – heiligsten Ort der Erde wieder Leben einzuhauchen; seine Wettermacher-Crew ist überzeugt, die Wüste Sinai wieder begrünen und fruchtbar machen zu können. Und seine Theorie ist, dass ein grüner Sinai zu einer Watterscheide für ganz Nordafrika und den arabischen Raum werden kann, die Winde sich drehen und Wasser und Wohlstand in die Region zurückbringen werden. Herzstück dieser auf den ersten Blick surreal anmutenden Aktion ist eine niederländisch-belgische Domäne: Wasserbau mit schwerem Gerät, die Branche, aus der van der Hoeven ursprünglich kommt.

Bagger sollen die Lagune am Fuß der Sinai-Halbinsel ausbaggern, um Fischen wieder Lebensraum zu geben. Das nährstoffreiche Sediment, das sie ausbaggern, ist die Basis für das was er Öko-Oasen nennt: Gewächshäuser, in denen ein aquatisches Ökosystem für Nahrungsmittel, Bodennährstoffe und Trinkwasser entsteht. Diese Öko-Oasen sollen von Familien auf der ganzen Halbinsel bewirtschaftet werden, ihnen eine Lebensgrundlage bieten, mit der Zeit dem Gewächshaus entwachsen und irgendwann ein grünes Netzwerk bilden, das den Regen zurückbringt. Ties ist Niederländer – wir sind natürlich „per Du“.

Dein Unternehmen nennt sich Weather Makers – ein großes Wort. Glaubt ihr wirklich, Wetter machen zu können?

Ich bin überzeugt, dass der einzige Ausweg darin besteht, Wetter durch ökologische Sanierung wiederherzustellen, aber es gibt noch einen anderen Grund für den Namen. John Liu, ein chinesisch-amerikanischer Ökologe und ein guter Freund von mir, reiste mit mir zum Lössplateau in China, das ebenfalls von einer wüstenähnlichen in eine grüne Landschaft verwandelt wurde, und zeigte mir, was Renaturierung in großem Maßstab bedeutet. Er gab mir Flannerys Buch „Wir Wettermacher“ und auf Seite 66 erklärt er unseren Einfluss auf den Planeten und nannte „Wettermacher“ als Synonym für die Menschheit. Wir haben schon immer das Wetter gemacht. Schau Dir die Bücher von James Lovelock an oder Alexander von Humboldt... Renaturierung kann uns aus dem Schlamassel helfen. Deshalb haben wir uns Weather Maker genannt. Denn es ist die Ökologie, die die Welt verändert.

Das Projekt, an dem ihr arbeitet, ist die Transformation der Sinai-Halbinsel-Wüste in eine grüne Landschaft. Wie kommst Du als Niederländer auf die Idee, ausgerechnet die Sinai-Halbinsel zu renaturieren? Was treibt Dich an?

Reines Glück. Ich bin Morphologe und habe bei einem Baggerunternehmen im Wasserbau gearbeitet – aus den Niederlanden und Belgien kommen die vier größten Baggerunternehmen der Welt – und nach dem Studium hat meine Karriere in Dubai bei den künstlichen Palmeninseln begonnen. Wirklich keine nachhaltige Sache... Nun, in Dubai hat der Investor der Palmen angefangen, drei Inseln im Meer zu bauen, ohne einen richtigen Plan zu haben. Was ich also dort gelernt habe, ist dass man pro-

aktiv und adaptiv mit der Umsetzung beginnen und immer flexibel im Denken bleiben muss. Ich feierte gerne Partys, hatte Spaß, kam in der kapitalistischen Welt gut zurecht aber fing auch an, nach einem Sinn für die Dinge in meinem Leben zu suchen. Und dann rief mich plötzlich Malik Boukebbous an, der Vertreter unseres Bagger-Unternehmens in Ägypten. „Hör zu, Mann“, sagte er, „ich habe auf einer Party am Suez-Kanal einen Offizier getroffen. Sie suchen nach einer Möglichkeit, die sozialen Unruhen am Lake Bardawil zu befrieden und einer der ersten Schritte soll die Wiederherstellung der Fischbestände in

» Wir eröffnen eine Möglichkeit für Ägypten und sie müssen entscheiden, ob sie es tun. «

der Lagune sein.“ Ich hatte einen Großteil meines Lebens an einer Flussmündung in den Niederlanden verbracht, an der sie ein Sturmflutwehr gebaut haben, das hat das Delta völlig verändert. Ich habe ihm gesagt, „gib mir einen Tag, denn ich glaube, ich weiß, was zu tun ist.“ Und von da an tauchten wir in die Welt der ökologischen Renaturierung ein.

Eins Eurer Argumente für die Renaturierung: Der Sinai war vor 4000 bis 8000 Jahren einmal grün – aber das waren andere Wüsten auch. Was lässt Euch glauben, dass ihr dort eine Landschaft nachhaltig verändern könnt?

Es ist weniger als 10 000 Jahre her, dass ganz Afrika und der Sinai grün waren. Das wissen wir aus Sedimentkernbohrungen aus dem Ozean in der Nähe der Küste, wo die Flüsse in Deltas auslaufen und ihre Sedimente ablagern. Wir sehen Farbveränderungen von dunklen, grünlichen Sedimenten zu rotem Sand. Du kannst die ausgetrockneten Flusssysteme aus der Luft sehen... Die historischen Schriften, Koran, Thora, erzählen davon, dass der Sinai vor tausenden Jahren eine funktionale Watterscheide war und Nordafrika und Mesopotamien – jetzt die arabischen Staaten – mit feuchter Luft, mit Wasser versorgt hat. Ich glaube an diese historischen Belege. Und was war, kann auch wieder sein.

Ihr seid bereits in Gesprächen mit der ägyptischen Regierung. Wie überzeugt man eine Regierung – die dazu noch kulturell weit von uns entfernt ist – von der Renaturierung einer ganzen Halbinsel, dazu einem heiligen Ort?

Zunächst einmal war es die Idee der Regierung, auf uns zuzukommen und uns nach der Restaurierung der Fischgründe in Lake Bardawil zu fragen. Es war ihr Wunsch nach Veränderung für die Menschen auf dem Sinai, der wahrscheinlich einer der schwierigsten geopolitischen Orte auf dem Planeten ist.



Wie war das für Dich, mit dieser Idee nach Ägypten zu fliegen?

Ich werde nie das erste Mal vergessen, als ich dort war. Malik hat mich nach Kairo mitgenommen und wir sprachen mit Regierungsmitarbeitern und einem Techniker, der die Gegend sehr gut kennt. Es war das erste Mal, dass ich von dem Potential der Renaturierung erzählt habe und am Ende fing der Mann zu weinen an und umarmte mich. Das hat uns dann angespornt, einfach weiterzumachen. Als ich das letzte Mal im Februar dieses Jahres dort war, um Gespräche zu führen, wurde ich wissenschaftlich auf die Probe gestellt – von circa 25 Professoren aus Ägypten sowie meinen alten Professoren von der Uni und ein paar weiteren Professoren aus den Niederlanden und Belgien.

Wo steht das Projekt jetzt, heute?

Hauptsächlich in Excel... (lacht) Nein, es gibt eine unabhängige Forschungsgruppe im Norden der Niederlande, die bereits Ergebnisse zur natürlichen Wasserproduktion veröffentlicht hat und im September weitere veröffentlichen wird. Die wissenschaftliche Gruppe wächst, wir haben Nachwuchswissenschaftler, Doktoranden und einen Postdoktoranden. Wir nutzen Datenanalysen, um numerische Modelle zu validieren, die beantworten sollen, wie wir Wasserscheiden auf globaler Ebene wiederherstellen können. Im Sinai stehen wir in Verhandlungen über den ersten Teil des Projekts. Wir sind sehr, sehr nah dran. Die Lücke, die wir schließen müssen, beträgt weniger als zehn Prozent. Und wir sind jetzt wegen der Finanzierung in Gesprächen mit einigen Fonds. Einer der wichtigsten Gründe, warum ich mich im Moment sehr, sehr gut fühle, ist die positive, verantwortungsvolle Entwicklung in den Baggerunternehmen. Wir sind auf einem guten Weg.

Die Sinai-Halbinsel ist nicht gerade dafür bekannt, eine politisch besonders ruhige Zone zu sein – wie geht ihr damit um?

Wir eröffnen eine Möglichkeit für Ägypten und es liegt an ihnen, zu entscheiden, ob sie dies tun wollen. Inshallah, mehr kann ich nicht tun.

Foto: The Weather Makers



Miteinander verbundene und mit sedimenthaltigem Wasser gefüllte Zylinder sind das Herzstück der Öko-Oasen. In ihnen bildet sich ein kleines Ökosystem, das Wasser reinigt und Nährstoffe freisetzt. Sie sind die Basis für die Renaturierung der Sinai-Halbinsel.

Wie stellt ihr Euch das technisch vor?

Wir baggern die vertikalen, reichen Sedimente aus der Lagune aus, wodurch das aquatische Ökosystem im Lake Bardawil wiederhergestellt wird und die Fische zurückkommen. Das ausgebagerte feste Material verwenden wir dann, um Feuchtgebiete wiederherzustellen. Das nährstoffreiche Sediment wird mit dem Baggerwasser in die Berge zu den Öko-Maschinen gepumpt. Es handelt sich beim Lake Bardawil um die Überreste eines Ästuar-Deltas, in dem es Unterschiede im Salzgehalt gibt. Darin flocken auf natürliche Weise organische Stoffe, Tonpartikel und andere Dinge aus und lagern sich ab. Das sind mehr als 2,5 Milliarden Kubikmeter fruchtbare Sedimente, die fast alle Nährstoffe und Mineralien enthalten, die wir für die Renaturierung benötigen.

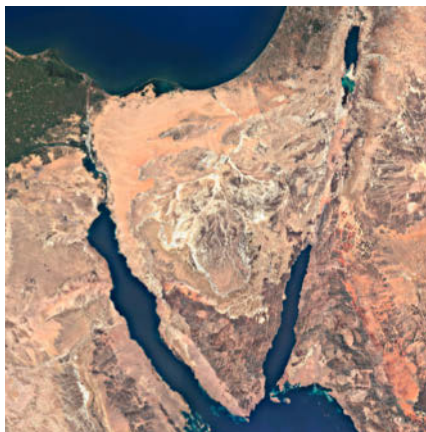
Und was für eine Rolle spielen dann die Öko-Oasen?

Über John Liu haben wir John Todd kennengelernt. Der Typ ist ein Jedi-Meister. Er ist Meeresbiologe und hat Öko-Maschinen gebaut, die aquatische Systeme nachbilden. Genauer gesagt hat er ein aquatisches Netzwerk entwickelt, um das Wasser zu reinigen und Ökosysteme wiederherzustellen. Wir haben also Wasser in Zylindern und drum herum ein Gewächshaus. Wenn es Nacht wird, gewinnt man im Gewächshaus Trinkwasser, weil es in der Wüste sehr große Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht gibt und Wasser an der Gewächshauskuppel kondensiert. In den Zylindern wachsen erst einmal Mikroorganismen – Diatomeen. Es entsteht im Durchfluss durch die Zylinder ein aquaponisches System, in dem sich Meeresfrüchte und Fische entwickeln. Das ernährt schon mal die Menschen, die in den Bergen leben und die Öko-Maschinen betreiben. Mit den Nährstoffen, die die Mikroorganismen in den Zylindern bilden und dem Trinkwasser lassen sich die landwirtschaftlichen Flächen außerhalb dieser Öko-Oase ausweiten. 45 Kuppeln sind unser Pilotmaßstab, man kann auch kleiner anfangen, aber sinnvoll ist es, Vitalspots zu erzeugen, in denen mehrere Öko-Oasen entstehen, die mit der Zeit einen geschlossenen Kreislauf bilden.

Wie lange wird dieser Prozess brauchen – wann könnte die Sinai-Halbinsel grün sein?

Erst mal können wir – unabhängig von der Veränderung der klimatischen Bedingungen – immer frisches Wasser, Lebensmittel usw. für die einzelnen Haushalte produzieren. Die Öko-Oasen sind bereits eine unabhängige Quelle für Nahrung und verbesserte Lebensgrundlage für Familien. Später kann man dann an die Vernetzung der Oasen und die Renaturierung der ganzen Halbinsel denken. Mit den ganzen Details über die genauen Dimensionen und Zahlen möchte ich vorsichtig sein – natürlich haben wir die, aber es ist ein ganzer Prozess, in dem wir uns befinden. Aber basierend auf den Daten, die wir schon im letzten Jahr gewonnen haben, könnte es in 20 Jahren möglich sein, den Sinai zu renaturieren, wenn genügend Menschen mitmachen und viele Öko-Oasen entstehen. Nur gibt es im Moment nicht genügend Leute, die dort leben. Ich bin deshalb sehr vorsichtig mit Prognosen, auch wenn Ägypten inzwischen Druck auf Menschen im Nil-Delta ausübt und mehr im Sinai ansiedeln will. Aber das ist deren Ding.

Die Sinai-Halbinsel ist eine vom Meer umgebene Wüste mit dem 2285 Meter hohen Berg Sinai in der Mitte. Auf ihm hat Moses laut altem Testament die Zehn Gebote von Gott entgegen-genommen.



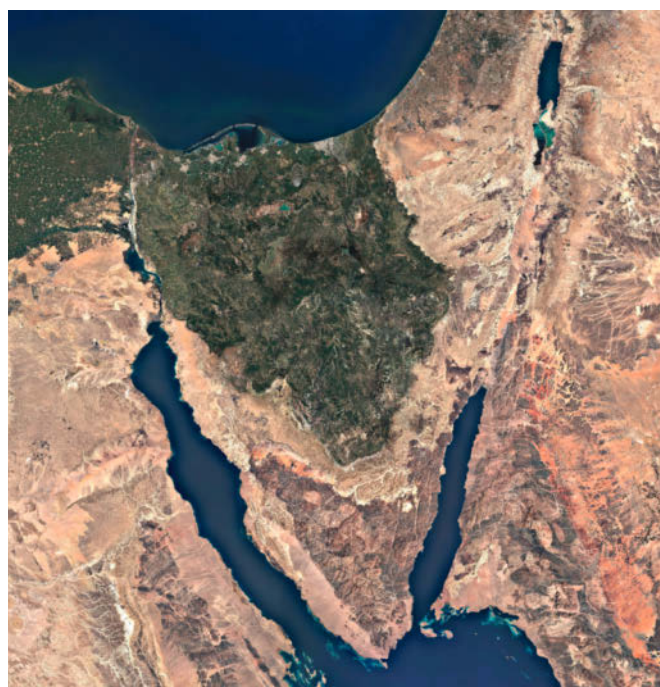
Wenn die Rechnung der Weather Makers aufgeht, könnte die Sinai-Halbinsel innerhalb von 20 Jahren grün werden.

Ist es verantwortungsvoll, ein so großes Gebiet so massiv zu verändern und damit – wenn es klappt – tatsächlich die klimatischen Bedingungen an der Grenze zwischen Afrika und Asien auf den Kopf zu stellen?

Um es ganz klar zu sagen: Wir befinden uns mit dem Klimawandel längst im größten Experiment unserer Spezies aller Zeiten. Und wir vermasseln es einfach. Wir müssen uns alle darüber im Klaren sein, dass die nördlichen Eiskappen in nicht allzu langer Zeit verschwunden sein werden und das wird verheerende, beängstigende Auswirkungen haben. Ökologische Renaturierung wird die klimatischen Bedingungen nicht auf den Kopf stellen, sondern könnte die Antwort darauf sein. Wir können anfangen, die ökologische Wiederherstellung zu fördern, sodass Menschen nicht aus ihrer Heimat fliehen müssen, weil die Auswirkungen des Klimawandels das Leben dort unmöglich machen. Wir westlichen Industrienationen sind dabei, diesen ganzen Planeten in die Luft zu jagen. So könnten wir eine Zukunftsperspektive für Menschen bieten und statt sie als Flüchtlinge aufzunehmen, Freunde werden.

Hast Du nicht Sorge, dass ein so massiver Eingriff in das Ökosystem eine Entwicklung entfesselst, die Du nicht mehr kontrollieren kannst? Dass Ihr tatsächlich Wetter macht, aber mehr davon als gut ist?

Ich habe keine Angst davor – ich habe vertrauen –, denn so funktioniert die Natur nicht. Und es gibt viele Beispiele, die das bereits gezeigt haben. Wir wissen aus den historischen Daten, dass es früher eine kontinentale Wasserscheide am Sinai gab. Und wenn die Kontinentscheide durch die Renaturierung durch feuchte Luftmassen wieder aktiv wird, dann stoppen wir den Abzug von feuchten Luftmassen aus dem Einzugsgebiet des Mittelmeers in den Indischen Ozean deutlich. Wir drücken ihn sogar zurück, sodass feuchte Luftmassen, so wie früher vom Indischen Ozean, nach Nordafrika und in den arabischen Raum strömen. Die Luftströme kehren sich um und die schweren



Abbildungen: The Weather Makers

Wetter im Indischen Ozean lösen sich auf, die feuchten Luftmassen können in Richtung Sinai abziehen und das ganze verdammte Gebiet wird klimatisch neu geordnet.

Der Klimawandel erfordert Handeln – die Zeit für solche Ideen wie Eure ist gekommen. Nur wer finanziert das? Ganz konkret: Wovon lebt Ihr Weather Makers?

Wir entwickeln Software-Tools. Als ich noch im Bagger-Unternehmen gearbeitet habe, habe ich immer öfter Diskussionen angezettelt und bin wohl nur noch schwer zu händeln gewesen. Eines Tages bestellte mich mein Geschäftsführer ein – ein visionärer Mann und inzwischen enger Freund. Ich dachte, okay, das ist jetzt der Moment, wo ich gefeuert werde. Also bin ich hinaufgefahren, kam in sein Büro und er sagte zu mir: „Herr Direktor, was wollen Sie trinken?“ Ich dachte, er macht einen schlechten Witz, aber er hat mir die Leitung einer Beratungsfirma angeboten. Ich sagte, das werde ich nicht tun, aber gib mir die Möglichkeit, mich selbstständig zu machen. Und so gründeten wir zu dritt das Unternehmen. Ich war gut darin, alternative Strategien im Baggermanagement zu entwerfen und habe eine Software entwickelt, die die Effizienz der Baggerschiffe gesteigert hat. Das bieten wir als externe Dienstleister für das Baggerunternehmen an. Aber wir haben auch andere Geschäftszweige entwickelt, bei denen wir naturbasierte Lösungen entwickeln. Auf diese Weise lernen wir auch ständig dazu.

Hast Du noch andere Gebiete im Blick, die ähnlich spannend für Eure Technologie sind, wie der Sinai?

Ich glaube, das ist der mit Abstand wichtigste Spot, den es derzeit gibt. Aber ja, es gibt andere Stellen, an denen man ökologische Renaturierung einsetzen kann. An vielen Orten. Ich würde es sehr gerne in Syrien versuchen. Vor allem, weil einer unserer Mitarbeiter aus Syrien, aus Aleppo, stammt. Ich denke, dieser Teil der Welt braucht besonders viel Liebe. <

Wenn die Ernte plötzlich ausfällt

Die Klimakrise hält nicht nur Unwetter für uns bereit, sondern auch eine Bedrohung, auf die wir so nicht vorbereitet sind: der Ausfall der Lieferketten und Nahrungsmittelknappheit. Die Pandemie hat uns das bewusst gemacht. Forschende simulieren jetzt diese Krisen und entwerfen Modelle für mehr Resilienz.

VON EVA WOLFANGEL

Als Alfonso Mejia in den ersten Tagen der Pandemie einkaufen ging und die endlos langen Reihen leerer Nudel- und Mehltreue sah, wurde ihm klar: Nun würden seine Landsleute verstehen, dass leere Supermarktreue auch den Westen treffen können. Die Pandemie hat einen kleinen Vorgeschmack darauf geliefert, was künftig auf uns zukommen könnte, denn der Klimawandel wird dazu führen, dass ganze Ernteregionen Ausfälle erleiden, wenn wir nicht jetzt vorsorgen. „Das Interesse an diesem Thema wächst“, sagt der Umweltingenieur der Pennsylvania State University, „die Leute realisieren jetzt, dass Food Shocks zunehmen werden.“

Extremwetter, steigende Temperaturen, Dürre, Überschwemmungen können für die Lebensmittelversorgung ernsthafte Dimensionen annehmen – und auch wenn leere Nudelregale in der Pandemie kein existenzielles Problem waren, haben sie viele Menschen beunruhigt. Panikkäufe verschärfen das Problem und offenbaren die gesellschaftliche Dimension leerer Super-

» Food Shocks sind eine große Bedrohung und wir müssen alle zusammenarbeiten, um sie zu verhindern. «

marktreue. Einige Forschende sehen in Weizenknappheit sogar den Auslöser des arabischen Frühlings – die Menschen in Ägypten sind auf Getreidelieferungen aus Russland angewiesen. Als die Ernte schlecht ausfiel, stiegen die Weizenpreise, Ägypten konnte sich kein Brot mehr leisten und die Menschen revoltierten gegen ihre autoritären Regime. Deshalb machen sich Forscher nun Gedanken darum, wie solchen Lebensmit-

telausfällen vorgebeugt werden kann und wie die Lieferketten resilienter werden können.

Aber von vorne: Food Shock nennt Mejia den Zustand, in dem plötzlich deutlich weniger eines bestimmten Nahrungsmittels in einer definierten Region vorhanden ist. In wohlhabenden Ländern führte das bislang meist lediglich dazu, dass die Preise stiegen. In ärmeren Ländern wurden solche Food Shocks jedoch schon häufiger spürbar und spätestens seit der Coronakrise ist klar geworden, dass Lieferketten abreißen können und Waren dann auch für viel Geld einfach nicht mehr zu kaufen sind. Das macht Lieferketten zu einem existenziellen Thema – auch für westliche Gesellschaften. Es ist also etwas dran, wenn Marc-Uwe Kling in *Qualityland* schreibt: „Jede Zivilisation ist nur drei Mahlzeiten von totalem Chaos entfernt.“

Die Gesellschaft – und insbesondere die Infrastruktur und Organisation von Städten – sind nicht auf Versorgungslücken vorbereitet. Schon heute lebt mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten, bis 2050 sollen es laut des United Nations Departments of Economic and Social Affairs bereits 68 Prozent sein. Damit nimmt die Bedrohung durch abreißende Lieferketten gleich in doppelter Hinsicht zu – der Klimawandel nimmt Fahrt auf und die Folgen treffen jährlich mehr Menschen. Ein komplexes System, dessen Resilienz zu beurteilen, Stadtverwaltungen überfordert. „Wenn es um die Versorgung einer Stadt mit Lebensmitteln geht, sind so viele verschiedene Player beteiligt – von Landwirten über Produzenten, Zwischenhändler und Supermärkte bis zu den Verbrauchern, die das Essen kaufen“, sagt Mejia.

Also hat er zusammen mit Kollegen eine Matrix entwickelt, mit der Städte ihre Resilienz in Bezug auf Food Shocks berechnen können. „Die Verantwortlichen können über die Matrix entscheiden, für welche Größenordnung von Schock das System ausgelegt sein soll und es entsprechend anpassen“, erklärt Michael Gomez vom Department for Civil and Environmental Engineering der Pennsylvania State University, der ebenfalls an der Studie beteiligt war. Die Maßeinheit, die den Behörden

damit zur Verfügung steht, ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Food Shock eintritt. Einer, der im Durchschnitt alle 100 Jahre zu erwarten ist, wird höher bewertet, als einer, mit dem im Schnitt alle zehn Jahre zu rechnen ist. Ähnlich wie eine Stadtplanung auf ein hundertjähriges Hochwasser ausgelegt wird oder Gebäude einer bestimmten Erdbebenklasse standhalten müssen, sollen sich Städte so auf Food Shocks vorbereiten können.

Die Basis dieser Resilienz-Matrix sind Zusammenhänge zwischen Lieferketten und Food Shocks. Dafür nutzten sie Daten des US-Verkehrsministeriums über Warenströme im Lebensmittelbereich, die protokollieren, wann welche Lieferungen von wo nach wo transportiert werden. „Diese Daten werden normalerweise für die Transportplanung oder die Planung der Verkehrsinfrastruktur genutzt“, erklärt Gomez.

Beim Vergleich dieser Lieferketten mit Daten über die Verfügbarkeit von Lebensmitteln und Lebensmittelknappheit zeigte sich eine eindeutige, an sich naheliegende Korrelation: „Es gibt einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Vielfalt der Lieferkette und Food Shocks“, sagt Gomez. Das heißt: Städte, die all ihre Lebensmittel aus ähnlichen Regionen beziehen, sind sehr viel gefährdeter als solche, die ihre Waren aus einem größeren Umfeld einführen. Das ergibt Sinn, wenn man an den Klimawandel und damit die steigende Gefahr von Ernteausfällen denkt: Regionen, die geografisch nah beieinander liegen, sind mit größerer Wahrscheinlichkeit auch gemeinsam von einer Flutkatastrophe, anhaltender Hitze oder Trockenheit be-

troffen. Das sei allerdings nicht per se ein Argument gegen regionale Versorgung, auch diese sei wichtig für die Resilienz, betont Gomez, aber eine Stadt dürfe sich eben nicht vorwiegend darauf beschränken. Das mache zu abhängig von den klimatischen Bedingungen einer Region – ein Unwetter könne die gesamte Ernte vernichten.

Aber wie groß ist das Risiko, dass tatsächlich mehrere Anbauggebiete für einzelne Nahrungsmittel ausfallen? Franziska Gaupp, Direktorin der Food System Economics Commission hat dafür untersucht, welche klimatischen Indikatoren historisch wichtig für Ertragsschwankungen waren – also beispielsweise Temperaturen oder Regenfälle in bestimmten Wachstumsperioden – und inwiefern manche Anbauggebiete davon betroffen waren. Daraus hat sie Regionen mit ähnlichen Klimarisiken identifiziert und vor allem, welche möglichst verschieden sind. „Wenn zwei Anbauggebiete perfekt negativ korreliert sind, profitiert eines von einem Ereignis, während das andere Schaden nimmt.“ Wer die Herkunft seiner Produkte also entsprechend verteilt, könnte so mögliches Risiko ausgleichen. Soweit die Theorie. In der Praxis ist die Negativ-Korrelation der Anbauggebiete jedoch noch nicht angekommen, denn ihre Studie deutet auf ein erhöhtes und zunehmendes Risiko für Weizen-, Mais- und Sojabohnenknappheit hin.

Verdorrende Weizenfelder – wie hier in den Niederlanden – werden künftig häufiger für Nahrungsmittelengpässe in den Städten sorgen.



Neben den Standorten, an denen die Lebensmittel erzeugt werden, spielen Lieferbetriebe eine zentrale Rolle: Beliefern viele kleine Betriebe eine Stadt, fällt es weniger ins Gewicht, wenn einer ausfällt – sind es wenige große Lieferanten, reißt die Lieferkette schon beim Ausfall eines einzigen ab. Im Prinzip geht es um Diversität auf vielen Ebenen und die Idee, Lieferketten auf diese Weise zu betrachten, sei ihm bei einem Blick auf die Ökosystem-Forschung gekommen, sagt Gomez: „Biodiversität bestimmt die Resilienz eines Ökosystems.“ Also berechneten Mejia und er für US-Städte die Wahrscheinlichkeit für einen Food Shock, indem sie die Lieferketten-Resilienz mit Lebensmittelengpässen der Vergangenheit korreliert haben.

Dazu entwickelten sie ein Modell, mit dem Bürgermeister oder Behörden die Resilienz ihrer Stadt selbst berechnen und ausprobieren können, an welchen Stellschrauben sie drehen müssen, wenn sie diese erhöhen wollen. „Dafür haben wir buchstäblich das System nachempfunden, das die Städte nutzen, um das Flutrisiko vorherzusagen“, erklärt Mejia, „es bildet die gleiche Denkweise ab und baut auf einem ähnlichen Gerüst auf“. Wasserbauingenieure nutzen sogenannte Intensitäts-Dauer-Häufigkeits-Beziehungen (IDF), um das Risiko einer Überschwemmung und die dahinterliegenden Zusammenhänge zu visualisieren. Dafür greifen sie auf die maximal tolerierbare Häufigkeit und Intensität für Bauwerke zurück, die in den Konstruktionsvorschriften oder -normen festgelegt sind. Übertragen auf Food Shocks würde eine Stadt auf dieser Basis Maßnahmen beschließen, um die Diversität ihrer Lieferketten zu verändern und damit die erwartete Häufigkeit und Intensität von Ausfällen unter das beschlossene Risikoniveau zu senken.

Die Resilienz-Indikatoren, die von den Forschern identifiziert wurden, sind unterschiedliche Klimata in den Regionen, aus denen die Städte ihre Waren beziehen, die geografische Distanz, die ökonomische Ausrichtung der Stadt, ihre Organisation – ist sie eher städtisch oder eher ländlich – und wie geschlossen das Netzwerk ist, in dem die Akteure Handel treiben – je verzweigter, desto resilienter. Da die Forschenden für nahezu alle US-Städte schon mal die Resilienz in ihrer Stu-

» Covid hat gezeigt, dass die Prioritätensetzung bei der Planung falsch ist. «

die berechnet haben, kann jede dieser Städte den ersten, einfachen Schritt gehen, ohne sich mit dem Modell auseinanderzusetzen zu müssen und nachschauen, wie es derzeit um ihre Resilienz bestellt ist. Eine schlechte Resilienz zu verbessern, ist allerdings schon weniger trivial. Dem politischen Wunsch nach Resilienz stehen nicht selten die Kräfte des Marktes entgegen, denn hinter dem Problem der zunehmenden Ausfälle von Nahrungsmittellieferungen stehe die Optimierung auf ein sehr einseitiges Ziel, sagt Gaupp: Just-in-time-Bestellungen.

Die Belieferung von Supermärkten ist darauf optimiert, möglichst wenig teuren Lagerplatz vorzuhalten. „Wir haben in den vergangenen Jahren immer auf die Effizienz optimiert, weil wir wissen, wenn wir heute bestellen, bekommen wir das zum

Foto: Matti Hillig

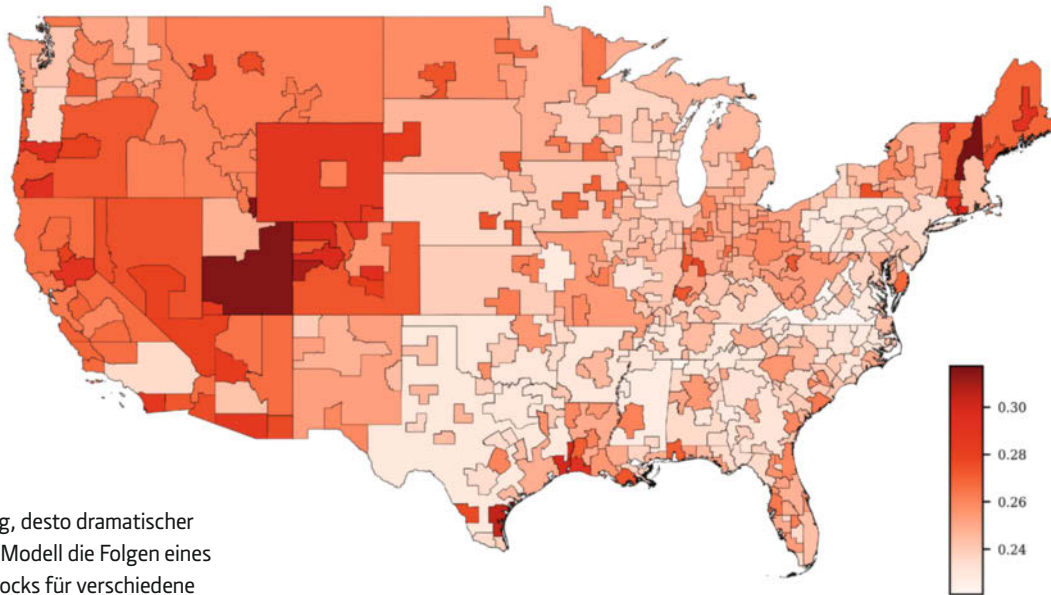


Felix Creutzig forscht für den Think Tank MCC und lehrt an der TU Berlin die Ökonomie des Klimawandels.

Franziska Gaupp ist Direktorin der Food System Economics Commission. Sie untersucht unter anderem, welche klimatischen Indikatoren historisch wichtig für Ertragsschwankungen waren.



Foto: Julia Dragosits



Je dunkler die Färbung, desto dramatischer schätzt das Resilienz-Modell die Folgen eines Jahrhundert-Food-Shocks für verschiedene amerikanische Städte und Regionen ein.

Zeitpunkt X.“ Nun würden Rufe laut, in diesen Prozess wieder etwas mehr Redundanz einzubauen und Lebensmittel mit ein wenig mehr Puffer und auf Vorrat zu bestellen. „Solche Schreie kommen immer, wenn wieder mal was passiert ist“, sagt Gaupp. Wenn nun aber alle zehn Jahre lang für Lagerhallen bezahlen, die jedoch nicht gebraucht würden, würden diese schnell wieder verschwinden. Das ist kurzsichtig: „Man kann entweder auf Effizienz oder auf Resilienz optimieren.“

Das hat auch Felix Creutzig beobachtet, Leiter der Arbeitsgruppe Landnutzung, Infrastruktur und Transport am Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change: „Covid hat gezeigt, dass die Prioritätensetzung bei der Planung falsch ist“, sagt er. Je knapper man kalkuliere, desto größer sei die Gewinnmarge – aber das sei nicht im Sinne der Bevölkerung, wenn dann ganze Produktgruppen nicht mehr vorhanden sind. „Das ist ein systematisches Versagen.“ Länder mit hoher Importquote sind besonders betroffen – von Lebensmittelknappheit aber auch von Verteuerung.

Die Forschenden sehen hier einerseits politischen Regulierungsbedarf. Andererseits nehmen sie auch die Verbraucher in die Verantwortung. Sie könnten sich für mehr Diversität in den Lieferketten einsetzen, indem sie beispielsweise Forderungen an ihre lokalen Supermärkte stellen oder gezielt in Geschäften einkaufen, die sich zu gewissen Standards verpflichten. „Food Shocks sind eine große Bedrohung und wir müssen alle zusammenarbeiten, um sie zu verhindern“, sagt Gomez.

Diverser, vernetzter, regulierter – neben diesen Faktoren für zuverlässig gefüllte Supermarktregale, sieht Creutzig allerdings noch einen weiteren für eine sichere Versorgung mit Nahrungsmitteln: „Reduktion unnötiger Nachfrage“, indem beispielsweise in den reichen Ländern weniger Fleisch gegessen werde. Dazu komme ein wenig nachhaltiger Umgang der industriellen Landwirtschaft mit Ressourcen wie fruchtbarem Boden: „Nachhaltige Landwirtschaft und Biodiversität sind zwei wichtige Faktoren für eine langfristige Strategie in der Versorgung mit Lebensmitteln.“

**PSP
CONFERENCE
2021**

23.–24. November 2021

Live aus dem Potsdam Science Park!

Best Practice und Diskussionen: Innovative Standorte und Startup Inkubatoren | Patente und Schutzrechte | Kooperation mit der Wirtschaft | Startup Session

Jetzt **Anmelden** unter: www.psp-conference.de



Grün gegründet

Gegen den Klimawandel lässt sich an ganz verschiedenen Stellen vorgehen: Bei der Zementherstellung, der Internetsuche oder der Batterieentwicklung. Wir stellen sechs Greentech-Start-ups mit ihren Geschäftsideen vor.

VON STEFFEN ERMISCH UND MANUEL HECKEL

„Mit jeder Suche im Schnitt ein Kilogramm CO₂ neutralisieren“

Gründer: Christian Kroll

Startup: Ecosia

Gründung: 2009

Mitarbeiter: 93

Geschäftsmodell: Eine klassische Suchmaschine, die sich über Werbeanzeigen und Weiterempfehlungen finanziert. Ein Großteil der Erlöse wird aber in Waldaufforstungsprojekte gesteckt – bislang wurden gut 130 Millionen Bäume gepflanzt.

Warum ist denn ausgerechnet eine Suchmaschine die beste Idee, um ein grünes Projekt voranzutreiben?

Wir leben in einer immer digitaleren Welt, in der Apps und Technologien ein wichtiger Teil des Alltags sind. Dazu kommt, dass mit Suchmaschinen sehr viel Geld generiert wird, dieses jedoch bei vielen großen Anbietern für alles andere, nicht aber das Gemeinwohl verwendet wird. Ecosia hat genau das erkannt und verwendet daher 100% seiner Gewinne für Klimaaktivitäten, davon mindestens 80% für das Pflanzen von Bäumen in Biodiversitäts-Hotspots auf der ganzen Welt. Mit unserer Suchmaschine haben wir so eine weltweite User-Community von 15 Millionen Menschen aufbauen können.

Wie überzeugt man Menschen davon, Ecosia gegen Google einzutauschen? Und wie klappt das aktuell?

Ecosia ist eine grüne Suchmaschine, die Bäume pflanzt und den Usern mit der Hervorhebung grüner Suchergebnisse zu nachhaltigeren Entscheidungen verhelfen will. Dank des Baus eigener Solaranlagen gehen wir über Klimaneutralität hinaus und produzieren mittlerweile doppelt so viel erneuerbare Energie, wie wir mit unseren Suchen verbrauchen. In Kombination mit dem positiven Klimaeffekt unserer Bäume sorgen wir so dafür, dass wir mit jeder Suche durchschnittlich 1 kg CO₂ neutralisieren können. Darüber hinaus legen wir einen großen Wert auf die Privatsphäre unserer User – Daten werden weder gespeichert, noch verkauft.

Christian Kroll, Ecosia

Wie soll es gelingen, stetig weiter zu wachsen?

Unser großes Ziel ist es, die Klima- und Biodiversitätskrise zu bewältigen, doch die Lage bleibt kritischer denn je. Wir als Unternehmen möchten unseren Einfluss noch signifikant erhöhen und noch schneller noch mehr tun. Neben unserer ersten großen Out-of-Home-Kampagne Anfang dieses Jahres ist unser Team in den letzten Jahren stark gewachsen. Zudem haben wir mittlerweile diversifizierte Einnahmequellen, die über die Suchmaschine hinausgehen. Dazu gehört zum Beispiel Ecosia Trees, ein Baumpflanz-Service, den wir Unternehmen mit denselben Werten und Zielen anbieten. Letztendlich müssen aber auch die anderen großen, weltweiten Unternehmen mitziehen und etwas an ihrem Verhalten ändern.

Und wie soll es gelingen, sich mit der Suchmaschine von der großen Konkurrenz abzuheben?

Wir geben weiter unser Bestes, um unseren Usern zu helfen, ein nachhaltiges Leben zu leben und werden weiterhin daran arbeiten, unsere Suchmaschine zu verbessern, damit unsere User bessere und umweltfreundlichere Entscheidungen treffen können, wenn es darum geht, wie sie leben und ihr Geld aus-



Foto: Ecosia / Shane Thomas McMillan

Wim Ouboter
(mitte) mit seinen
Söhnen Oliver
und Merlin,
Microlino



geben. Wir bereichern unsere Suchergebnisse daher beispielsweise mit unserem „das Grüne Blatt“-Icon oder dem „Kohlekraftwerk“-Icon. Diese dienen dazu, unseren Usern aufzuzeigen, welche Unternehmen nachhaltig sind und welche eben nicht. Eine weitere Idee wäre, dass wir, wenn jemand bei Ecosia nach einem Flug von Berlin nach München sucht, empfehlen, doch lieber den Zug zu nehmen.

Ecosia wurde vor drei Jahren in ein Stiftungsmodell überführt – Sie haben Ihre Anteile abgegeben. Warum?

Das war für mich und Ecosia ein wichtiger Schritt, denn auf diese Weise konnte ich über mein Versprechen hinaus auch rechtlich garantieren, dass ich Ecosia niemals gewinnbringend verkaufen oder weitervererben kann. Ecosia gehört jetzt für immer seinem Sinn und Zweck – egal wie viel wir noch wachsen werden und egal wer das Unternehmen irgendwann führen sollte.

INTERVIEW: MANUEL HECKEL

„Die Einstiegsdroge in die Elektromobilität“

Gründer: Oliver, Wim und Merlin Ouboter

Startup: Microlino

Gründung: 1996

Mitarbeiter: 10

Geschäftsmodell: Entwicklung des „Microlino“, eines Leichtelektromobils mit einer Reichweite von bis zu 200 Kilometern und einer Höchstgeschwindigkeit von 90 km/h. Der Einstiegspreis beträgt 12.500 Euro.

Sie waren um die Jahrtausendwende erfolgreich mit Tretrollern.

Warum denn jetzt noch ein Elektro-Fahrzeug?

Wim: Das hat alles mit einer Marketingidee begonnen. Wir wollten für die Spielwarenmesse vor einigen Jahren ein „Bubble-

Car“ für Kinder präsentieren. Das Modell im Maßstab 1:5 kam so gut an, dass wir uns dachten: Stellen wir das mal auf Automessen aus. Aus Jux haben wir eine Reservierungsliste ausgelegt – und hatten nach drei Tagen 400 Interessierte. Da wussten wir: Die Idee hat Potenzial.

Die erste Präsentation war 2016. Was ist zwischendrin passiert?

Oliver: Wir waren zu Beginn sicher noch nicht so selbstbewusst, dass wir uns das Projekt selbst zugetraut haben. Mit einem ersten Produktionspartner gab es dann aber einen Streit, der das ganze ziemlich in die Länge gezogen hat.

Merlin: Dann haben wir uns entschieden, dass wir die Kontrolle übernehmen. Und haben den Microlino noch einmal konstruiert. Letztendlich haben wir dann innerhalb von ein- einhalb Jahren ein komplett neues Fahrzeug entwickelt.

Und wo stehen Sie jetzt gerade?

Merlin: Das Zulassungsverfahren steht kurz vor dem Abschluss. Wir wollen die Bänder noch in diesem Jahr anlaufen lassen. Und wir haben bis dato 24.000 Reservierungen. Die haben zwar noch keine Anzahlung getätigt, aber schon ihre Wunschkonfiguration gemacht. Das ist ein gutes Zeichen, was die Nachfrage angeht.

Auf den Markt der Elektrofahrzeuge stürzen sich viele – auch die etablierten Hersteller. Wie wollen Sie dagegenhalten?

Oliver: Wir sind schnell. Wir arbeiten immer mit Partnern zusammen – und nehmen Standardkomponenten, wo immer es möglich ist. Zudem haben wir etwa 60 Prozent weniger Teile als in einem normalen Fahrzeug, das macht es einfach günstiger.

Der fertige Microlino soll als „Leichtelektromobil“ zugelassen werden, wie etwa der Renault Twizy. Diese Fahrzeugklasse spielt im Moment noch eine sehr untergeordnete Rolle auf den Straßen. Wie wollen Sie sie populär machen?

Wim: Unsere Chancen sind in der Nische deutlich besser. Andere E-Auto-Hersteller wollen in bestehende Modelltypen vordringen. Aber auch die Großen arbeiten daran, dort immer billiger und besser zu werden. Unsere Firma kann es schaffen, ein Produkt, das nicht cool ist, in eine coole Ecke zu bringen – das haben wir mit dem Roller auch bewiesen.

Merlin: Häufig schreien die Leichtelektromobile gewissermaßen nach Verzicht und Kompromiss. Das tut unser Microlino ganz sicher nicht. Wir haben uns sehr genau überlegt, wo wir Abstriche machen wollen. Und das ganz sicher nicht beim Schutz vor dem Wetter oder beim Stauraum. Wir wollten nicht einfach nur ein normales Auto nehmen und es herunterschrauben.

Wen haben Sie denn als Kunden im Blick?

Wim: Das geht Querfeldein, vom Stadtbewohner bis zum Vorstädter. Wir versuchen nicht unbedingt, das Erstauto anzugreifen. Unser Ziel ist es, ein Zweitfahrzeug zu sein. Und die Kunden werden dann merken, dass der Microlino mit einer Reichweite von 230 Kilometern für 95 Prozent ihrer Strecken im Alltag ausreicht. Wir bauen die Einstiegsdroge in die Elektromobilität.

INTERVIEW: MANUEL HECKEL

„Keiner will eine Klimaanlage, aber alle wollen kühle Büros“

Mitgründer: Alexander Buff

Start-up: Interpanel

Gründung: 2017

Mitarbeiter: 9

Geschäftsmodell: Entwicklung und Verkauf von Kühlsystemen, die überwiegend als Deckenpanele in Büros montiert werden – und parallel für Licht und Schallschutz sorgen.

Sie haben die „akustisch wirksame Klimaleuchte“ entwickelt. Was steckt dahinter?

Keiner will eine Klimaanlage haben. Die können gesundheitlich problematisch sein, wenn sie unregelmäßig gewartet werden. Dazu kommt ein hoher Energieverbrauch. Aber alle wollen kühle Büros. Den hohen Energiebedarf und Zugluft kann man mit stillen Kühlsystemen vermeiden. Durch unsere Klimapanele läuft kaltes Wasser – oder warmes Wasser, wenn damit geheizt werden soll. Einzigartig ist aber, dass die Kondensation durch einen speziellen Polymerfilm verhindert wird. Es tropft nicht mehr von der Decke und das System wird viel leistungsfähiger. Außerdem werden so Geräusche abgeschirmt. Und zudem haben wir eine tageslichtnahe LED-Beleuchtung verbaut und optionale Sensoren, etwa für die CO₂-Messung der Raumluft oder für das Licht.

Wie sind Sie auf diese Idee gekommen?

Für die Hochschule Rosenheim und die Fraunhofer-Gesellschaft war ich viel in Südostasien unterwegs, um die Entwick-

lung im energieeffizienten Bauen voranzutreiben. Dort ist es ohne Klimaanlage schwer auszuhalten. Aber sie fressen jede Menge Strom. Ich habe über Alternativen nachgedacht. Die Wärmetransportmechanismen zu trennen, war der entscheidende Gedanke. Diese Technologie wurde in den 60er-Jahren erdacht. Mein Team und ich haben sie weiterentwickelt und festgestellt: Da gibt es ein enormes Potenzial, was Energieeffizienz und gesundes Raumklima angeht.

Wie gelang der Sprung von der Wissenschaft in das Unternehmertum?

Wir konnten zu Beginn mit staatlicher Unterstützung über den Exist-Forschungstransfer loslegen. Aber es war ein großer Vorteil, dass wir zum Start schon sehr weit waren – und früh passende Projekte akquirieren konnten. Zudem kommen mein Mitgründer Daniel Himmel und ich aus Unternehmerfamilien. Das war auch eine wichtige Grundlage, was die Einstellung angeht: Bei uns werden nicht die Stunden gezählt, sondern die Ergebnisse.

Aber Sie müssen Ihr Produkt erst einmal erklären. Das klingt nach viel Arbeit.

Wer weiter eine Klimaanlage will, kann das gerne tun. Aber unsere Klimapanele sind effizienter, leiser und wartungsfrei. Und sie können auch gut nachgerüstet werden. Wir haben kürzlich ein Büroprojekt im Bestand abgeschlossen, da mussten die Mitarbeiter nicht mal den Schreibtisch räumen. Darum fokussieren wir uns aktuell auf den Gewerbebereich: Büros oder Verwaltungen, aber auch gesundheitsrelevante Bereiche, brauchen Lösungen, wo große Flächen mit einem veralteten Standard zügig umgerüstet werden müssen.



Foto: Interpanel

Alexander Buff, Interpanel

Wie groß kann die Idee insgesamt werden?

Wenn wir es global angehen wollen, brauchen wir Lösungen, die auch weltweit skalieren können. Global gesehen werden circa zehn Prozent des Stroms für Klimaanlage benötigt und dieser Wert steigt exponentiell. Die ersten Kontakte nach Nordamerika knüpfen wir gerade – und sind gespannt, was da kommt. Bis Ende des Jahres vergrößern wir unsere Produktion in Thüringen um den Faktor drei, um parallel auch mehrere Großprojekte umzusetzen.

Heiße Sommer sind also gut für Ihr Geschäft?

Tatsächlich korrelieren die Außentemperaturen mit eingehenden Anfragen. Aber im Wesentlichen sind unsere Kunden Architekturbüros oder Immobilienentwickler – da besteht das ganze Jahr über Bedarf. Aber mit jedem Hitzesommer steigt natürlich die Nachfrage.

INTERVIEW: MANUEL HECKEL

„Wir stellen echten Käse ohne den Umweg über eine Kuh her“

Mitgründerin: Britta Winterberg

Start-up: Formo

Gründung: 2019 (unter dem Namen Legendairy Foods)

Mitarbeiter: 21

Geschäftsmodell: Produktion und Vertrieb von Milchprodukten, die ohne Tierhaltung auskommen. Der Schlüssel dafür sind genetisch veränderte Hefepilze.

Vegane Ersatzprodukte für Milch, Joghurt oder Käse gibt es längst.

Braucht es da noch eine Alternative?

Wenn es darum geht, die Milch im Kaffee oder im Müsli zu ersetzen, findet man wunderbare pflanzliche Produkte wie Hafer- oder Mandelmilch. Aber beim Käse gibt es keine Alternative, die ebenso nahrhaft ist oder auf einer Pizza so schöne Fäden zieht. Die Milch von Säugetieren ist ziemlich einzigartig – die entsprechenden Proteine kommen in Pflanzen nicht vor.

Sie wollen genau diese Proteine in Bioreaktoren herstellen. Wie funktioniert das?

Wir haben im Genom der Kuh die Abschnitte identifiziert, die für die Produktion des Milchproteins Casein verantwortlich sind. Diese Gene bringen wir in Mikroorganismen ein – mit dem Ziel, dass diese Casein herstellen. In kleinem Maßstab gelingt uns das schon. Wir haben mithilfe von Hefepilzen bereits Käse hergestellt.

Formo hat angekündigt, ab 2023 erste Produkte wie Mozzarella zu verkaufen. Was sind die Hürden auf dem Weg zum Massenmarkt?

Die große Herausforderung ist die Skalierung. Die Fermentationsanlagen müssen eine ganz andere Größe haben als etwa in der Medikamentenproduktion. Es braucht Millionen-Investitionen, um in einem so großen Maßstab zu produzieren, dass die Produkte auch preislich konkurrenzfähig sind. Und wir



Foto: Legendairy Foods GmbH

Britta Winterberg, Formo

werden eine EU-Zulassung nach der Novel-Food-Verordnung brauchen.

Gibt es keine Vorbehalte von Seiten der Verbraucher?

Genau dazu haben wir zusammen mit der Universität Bath 5000 Menschen in fünf Ländern befragt. Die große Mehrheit kann sich demnach vorstellen, tierfreien Käse zu probieren und zu kaufen. Durch Fridays for Future aber auch durch die Coronakrise hat das Bewusstsein für Nachhaltigkeitsaspekte in vielen Bereichen stark zugenommen. Es sind nicht mehr nur überzeugte Veganer, die sich alternative Produkte wünschen.

Wecken Begriffe wie Gentechnik und Biotechnologie nicht Ängste?

Aufklärung ist da unglaublich wichtig. Man muss sich vor Augen führen, dass uns die Technologie längst umgibt. Rund ein Viertel aller Medikamente beispielsweise haben einen biotechnologischen Hintergrund. Und dass Hefepilze für die Nahrungsmittelproduktion genutzt werden, ist ein uralter Hut – man denke nur an Bier, Wein oder Brot.

Was treibt Sie persönlich an?

Zum einen die wissenschaftliche Begeisterung. Ich finde es faszinierend, Mechaniken der Biotechnologie auf eine ganz traditionelle Branche anzuwenden. Zum anderen Sorge ich mich tatsächlich darum, wohin wir als Menschheit mit unserem Planeten steuern. Es kann nicht gut gehen, wenn wir an der traditionellen Tierhaltung festhalten und damit eine wachsende Erdbevölkerung ernähren wollen. Wir müssen endlich umdenken.

Für Ihre Produkte mag es keine Tierhaltung brauchen – aber auch für Ihren Produktionsprozess braucht es doch Rohstoffe?

Wir müssen die Mikroorganismen mit Nährstoffen wie Kohlenhydraten und Stickstoff füttern. Aber die Hefepilze sind da relativ anspruchslos. Wir gehen davon aus, dass wir viele Abfallprodukte verwenden können – etwa Sud-Reste aus der

Brauerei oder von der Fruchtsaftproduktion. Selbst wenn für die Fermentation Pflanzen extra angebaut werden müssen, ist die Bilanz noch positiv. Der Prozess der Proteinherstellung ist im Labor 70-mal effizienter als der Umweg über die Kuh.

INTERVIEW: STEFFEN ERMISCH

„Wir haben das Herz der Batterie neu aufgebaut“

Mitgründer: Thorsten Seipp

Start-up: Volterion

Gründungsjahr: 2015

Mitarbeiter: 30

Geschäftsmodell: Produktion neuartiger Zellstapel für Redox-Flow-Batterien. Die Ausgründung des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT) will der Speichertechnologie so endlich zum Durchbruch verhelfen.

Redox-Flow-Batterien werden immer wieder als das nächste große Ding auf dem Speichermarkt gehandelt. Was macht die Technologie gegenüber klassischen Akkus überlegen?

Es gibt einen ganzen Strauß an Vorteilen, die sich aus dem Aufbau ergeben. Die Energiespeicherung findet in Elektrolyt-lösungen statt, die in externen Tanks gelagert werden. Sie werden nur zum Be- und Entladen durch die eigentlichen Batteriezellen gepumpt. Dadurch lassen sich Leistung und Speicherkapazität beliebig skalieren. Redox-Flow-Batterien büßen über die Lebensdauer kaum an Kapazität ein. Hinzu kommt: Die Batterien sind nicht brennbar, brauchen bei der Produktion keine kritischen Materialien wie Lithium oder Kobalt und lassen sich gut recyceln.

Trotzdem fristen Flussbatterien noch ein Nischendasein. Warum?

Während Lithium-Ionen-Batterien über viele Jahre durchoptimiert worden sind, stehen wir bei Redox-Flow-Batterien noch am Anfang. Der Einsatz hat sich in vielen Fällen bisher nicht gerechnet. Genau da setzt Volterion an. Uns ist es gelungen, sowohl die Materialkosten als auch das Gewicht der sogenannten Stacks, also der Zellstapel, deutlich zu senken. Wir haben gewissermaßen das Herz der Batterie komplett neu aufgebaut.

Was ist der Kern Ihrer Innovation?

Bisher mussten die Zellschichten, die aus Grafitplatten und Membranen bestehen, mit Dutzenden Schrauben und massiven Metallplatten zusammengehalten sowie mit zahlreichen Dichtungen versehen werden. Das ist komplex und sehr anfällig. Wir stellen die Elektroden aus einem Kunststoff-Grafit-Gemisch her. Das Ergebnis ist ein elektrisch leitfähiges Material, das biegsam und verschweißbar ist. Damit lassen sich die Zellschichten deutlich einfacher und kostengünstiger ohne Dichtungen aufbauen.

Thorsten Seipp, Volterion

Wo stehen Sie jetzt?

Wir haben bereits 1000 Stacks weltweit an Hersteller von Flussbatterien verkauft. Das entspricht einer Gesamtleistung von etwa zwei Megawatt. Das war für uns großer Erfolg – aber eigentlich geht es jetzt erst richtig los: Wir stellen noch in diesem Jahr von einer manuellen auf eine automatische Fertigung um. Dabei hilft uns das Know-how des Autozulieferers Boysen, den wir 2019 als strategischen Investor hineingeholt haben. In einer ersten Stufe wollen wir hier in Dortmund jährlich Stacks mit einer Gesamtleistung von 20 bis 30 Megawatt herstellen.

Wo rechnen Sie sich die größten Marktchancen aus?

Redox-Flow-Batterien rentieren sich vor allem als stationäre Energiespeicher, die immer wieder komplett gefüllt und geleert werden. Da gibt es in der Industrie viele Anwendungen, aber auch für Heimspeicher ist das interessant. Eine weitere Anwendung sind Speicher, die Schwankungen im Stromnetz ausgleichen. Wir wollen all diese Segmente bedienen – mit eigenen Komplettsystemen, aber auch Zulieferer für Batteriehersteller.

Die Forschung zu Redox-Flow-Batterien dreht sich weiter. Viele Projekte zielen darauf, Vanadium-freie Elektrolyte zu entwickeln. Jena-Batteries etwa will das Schwermetall, das teils unter fragwürdigen Arbeitsbedingungen gewonnen wird, durch Polymere ersetzen. Ist das eine Konkurrenz für Sie?

Nein, die Ansätze ergänzen sich. Wir setzen bei unseren eigenen Komplettsystemen zwar auf Vanadium, weil es damit die meiste Erfahrung gibt. Bei Alternativen wird tendenziell der Leistungsteil teurer, dafür sinken vielleicht die Kapazitätskos-



Foto: © Fraunhofer / Piotr Banczerowski

ten. Unsere Stacks funktionieren jedenfalls auch mit anderen Elektrolyten – in der Regel muss man nur die Membranen ändern. Mich persönlich freut es, dass die Redox-Flow-Szene in Deutschland wächst. Wir haben gerade die Chance, hier ein Ökosystem für eine neuartige Batterie-Technologie aufzubauen, die weltweit gefragt ist.

INTERVIEW: STEFFEN ERMISCH

„Die Betonbranche kann klimapositiv werden“

Mitgründer: Johannes Tiefenthaler

Start-up: Neustark

Gründung: 2019

Mitarbeiter: 10

Geschäftsmodell: Bau von Anlagen zur Speicherung von CO₂ in Betongranulat sowie Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur. Das Spin-off der ETH Zürich will Betonherstellern so zu CO₂-neutralen Produkten verhelfen.

Warum befassen Sie sich ausgerechnet damit, wie man Beton klimafreundlicher machen kann?

Kein anderer Baustoff wird so viel genutzt wie Beton – dadurch entstehen immense Treibhausgasemissionen. Die Branche emittiert weltweit etwa doppelt so viel CO₂ wie der Flugverkehr. Dabei gibt es Möglichkeiten, um die Emissionen bilanziell Richtung null zu senken. Genau das treiben wir voran. Und zwar nicht irgendwann in ferner Zukunft, sondern mit einer Lösung, die schon heute wirtschaftlich ist.

Wie stellen Sie das an?

Das Schöne an Beton ist, dass er in seinen Poren Kohlendioxid bindet. Das passiert bei jeder Betonkonstruktion auf natürliche Art – aber extrem langsam. Wir beschleunigen den Mineralisierungsprozess, der normalerweise mehr als tausend Jahre dauert, auf wenige Stunden. Dazu nutzen wir Betonabbruch, der zu Betongranulat recycelt wird.

Aber Betonrecycling ist doch ein alter Hut?

Im bisherigen Prozess wird das Potenzial der CO₂-Speicherung nicht beachtet. Der Betonabbruch reagiert aktuell mehr oder weniger zufällig mit CO₂ der Umgebungsluft. Wir führen dem Granulat dagegen hoch konzentriertes CO₂ zu. Das so behandelte Material hat einen weiteren Vorteil: Man benötigt bis zu zehn Prozent weniger Zement, um daraus frischen Beton herzustellen. Im Ergebnis verbessern wir so die Klimabilanz schon jetzt um rund zehn Prozent.

Und wie wollen Sie Klimaneutralität erreichen?

Wir arbeiten daran, die Speicherkapazitäten des Betongranulats noch weiter auszuschöpfen. Bis 2025 wollen wir in einer Einheit Frischbeton so viel CO₂ binden, wie bei der Produktion frei wird. Wenn es dann auch noch gelingt, die Zementproduk-



Foto: Neustark AG

Johannes Tiefenthaler, Neustark

tion CO₂-neutral zu gestalten, könnte die Branche sogar klimapositiv werden – statt den Klimawandel anzuheizen.

Die Physik hinter Ihrem Verfahren ist gut erforscht, dennoch wird es bisher nicht gemacht. Warum?

Dazu benötigt man ein attraktives Geschäftsmodell: Wir versorgen die Betonrecycler mit der Technik und dem Know-how, um CO₂ in Betongranulat zu speichern. Wir kümmern uns zudem um die Logistik und liefern CO₂ an, das zum Beispiel bei Biogasanlagen als Abfallprodukt anfällt oder direkt aus der Luft gewonnen wird. Die Unternehmen können so ohne große eigene Investitionen loslegen.

Trotzdem steigt der Produktionsaufwand. Wie rechnet sich das Ganze eigentlich?

Die Nachfrage nach klimafreundlichen Baustoffen steigt. Zur Wirtschaftlichkeit trägt auch der Markt für Emissionszertifikate bei. Weil wir CO₂ aus der Atmosphäre dauerhaft in Betonstrukturen binden, erhalten wir Gutschriften. Diese Zertifikate können andere Unternehmen kaufen, um ihre eigene Klimabilanz zu verbessern. Einen Teil der Einnahmen geben wir an die Betonhersteller weiter, einen Teil behalten wir für uns.

Sie betreiben bereits eine mobile Anlage, die unter anderem schon in Bern und in Berlin in Einsatz war. Was sind die nächsten Schritte?

Wir sind mit vielen Unternehmen im Gespräch, die Betonrecycling betreiben. Darunter sind Branchenriesen wie Holcim, aber auch kleine Familienunternehmen. Wir rechnen damit, dass wir im kommenden Jahr zehn stationäre Anlagen in Betrieb nehmen. Gegenüber der Containerlösung ist der Vorteil, dass wir uns dann nahtlos in den bestehenden Prozess einlinken.

INTERVIEW: STEFFEN ERMISCH



Ausgekokst

Bei der Stahlherstellung entstehen Unmengen an Kohlendioxid. Technisch ließe sich das ändern – aber der Aufwand dafür wäre immens.

VON UDO FLOHR

Elektrische Lichtbogenöfen wie dieser sind in der Stahlindustrie bereits weit verbreitet – vor allem zum Einschmelzen von Stahlschrott. Wird das Koks im Hochofen durch Wasserstoff ersetzt, müssen sich auch andere Prozesse der Stahlherstellung ändern. Lichtbogenöfen spielen dabei eine zentrale Rolle.

Stahl ist für rund sieben Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen verantwortlich – mehr als der Lkw-Verkehr. Allein in Deutschland verursachen die Stahlwerke rund halb so viele Emissionen wie die gesamte Pkw-Flotte. Und bis 2050 soll der weltweite Bedarf noch um mindestens ein Drittel steigen. Um die dabei entstehenden Emissionen zu senken, müssen die Stahlhersteller tief in die Trickkiste greifen, denn die Treibhausgase entstehen auf mehreren Wegen: Zum einen durch die Produktion der nötigen Hitze, zum anderen chemisch – ähnlich wie beim Zement (siehe TR 5/2021, S. 82).

Stahl wird im Prinzip immer noch hergestellt wie vor 3 000 Jahren: unter intensivem Einsatz von Kohle. Sie dient gleichzeitig als Energielieferant und als chemischer Reaktionspartner, der dem Eisenoxid im Erz den Sauerstoff entzieht (Reduktion). Im ersten Schritt erhitzt man die Kohle dazu unter Sauerstoffabschluss und wandelt sie so in Koks um. Das entfernt Verunreinigungen und erhöht den Kohlenstoffgehalt. Der Koks kommt zusammen mit Eisenerz in einen Hochofen und verbrennt bei rund 1 600 Grad, zusätzlich wird durch seitliche Düsen Kohlenstaub eingeblasen. Dabei entsteht unter anderem Kohlenmonoxid (CO), das sich mit dem Sauerstoff des Eisenoxids zu Kohlendioxid verbindet. Ein Teil des Kohlenmonoxids, etwa 22 Prozent, entweicht aus dem Hochofen, zusammen mit 22 Prozent Kohlendioxid und 52 Prozent Stickstoff. Diese Mischung nennt sich „Gichtgas“. Es wird in der Regel aufgefangen und anschließend zur Energieerzeugung verbrannt.

Führt man das Gichtgas allerdings zurück in den Hochofen, statt es zu verbrennen, kann das Kohlenmonoxid weiteres Eisenerz reduzieren. Dies könnte den Kohlenstoffbedarf eines Hochofens um etwa 24 Prozent senken. Mit einem solchen Verfahren experimentierte etwa ArcelorMittal in Eisenhüttenstadt. Eine Studie der niederländischen Technologieberatung TNO erwartet die Marktreife bis 2030.

Übrig bleiben aber immer noch mindestens zwei Tonnen CO₂ pro Tonne Rohstahl. Zwei Drittel davon entstehen im Hochofen, der Rest bei der Koks-Produktion. Wohin damit?

In den Vereinigten Arabischen Emiraten betreibt Emirates Steel eine Anlage, die jährlich rund 800 000 Tonnen CO₂ abscheidet und einlagert. Um die Emissionen der Stahlindustrie bis 2050 zu halbieren, müsste nach Berechnungen der Internationalen Energie-Agentur bis dahin allerdings alle drei Wochen eine derartige Anlage irgendwo auf der Welt entstehen.

Deutsche Konzerne wie ThyssenKrupp und Salzgitter setzen daher eher auf Wasserstoff, der den Koks als Reduktionspartner ersetzt. Dabei entsteht statt CO₂ nur Wasser. Einen ersten Schritt in diese Richtung unternahm ThyssenKrupp Ende 2019 in Duisburg. In eine der 28 Düsen eines Hochofens wurde kein Kohlenstaub, sondern Wasserstoff eingeblasen. Die zweite Testphase – mit allen Düsen – soll 2022 starten.

Auf diese Weise lassen sich allerdings nur 20 Prozent des CO₂ einsparen. Der Grund: Den Koks innerhalb des Hochofens ersetzt dieses Verfahren nicht, weil er erstens die nötige Verbrennungshitze erzeugt und zweitens dafür sorgt, dass das

Material im Hochofen ausreichend locker geschichtet ist, um für Gas überhaupt durchströmbar zu sein.

Völlig ohne Koks kommt hingegen die Wasserstoff-Direktreduktion (DRI) aus. Praktisch alle europäischen Stahlhersteller wollen in den nächsten 30 Jahren ihre Verfahren zumindest teilweise darauf umstellen. Die DRI benötigt rund 3,5 Megawattstunden Strom pro Tonne Rohstahl, das entspricht 30 Prozent weniger Energie als bei der klassischen Hochofenroute. Doch dazu muss das gesamte Verfahren umgebaut werden: Das Erz muss einen höheren Eisenanteil haben und teilweise zu einem feinen Pulver gemahlen werden. In einigen Varianten werden auch die Erz-Pellets in separaten Drehrohröfen vorreduziert.

Anschließend wird das Erz – heute mittels Gas-Verbrennung, künftig elektrisch – auf mindestens 800 Grad aufgeheizt und Wasserstoff eingeblasen, der das Erz reduziert. Statt flüssigem Roheisen wie beim klassischen Hochofen entsteht dabei ein fester, poriger „Eisenschwamm“ mit 92 bis 95 Prozent Eisengehalt.

» Da es kaum Überschüsse an Ökostrom gibt, arbeiten Stahlproduzenten mit Erdgas als Brückentechnologie. «

Diesen gilt es nun aufzuschmelzen. Salzgitter verarbeitet den Eisenschwamm in einem elektrischen Lichtbogenofen, ThyssenKrupp in einem Becken, in das zwei Elektroden ragen, durch die ein starker Strom fließt. Um mit den neuen Verfahren das ganze Spektrum an Stahlsorten produzieren und gleichzeitig möglichst viel der etablierten Hochofenprozesse beibehalten zu können, ist viel verfahrenstechnisches Feintuning nötig.

Wirklich klimaneutral wird Direktreduktion allerdings erst, wenn der Wasserstoff mit erneuerbarer Energie erzeugt wird – und nicht aus Erdgas. Der Salzgitter-Konzern hat dazu bereits Windräder auf seinem Werkgelände errichtet und betreibt die weltgrößte Hochtemperaturelektrolyse. Auch ThyssenKrupp installiert eigene Elektrolyse-Anlagen. Da es bisher aber weder nennenswerte Überschüsse an Ökostrom noch an Elektrolyse-Kapazität gibt, verwenden bisher praktisch alle Stahlproduzenten Erdgas als Brückentechnologie. Die typische DRI-Anlage kann wahlweise Wasserstoff, Erdgas, Biogas oder eine Mischung daraus nutzen. Nach Angaben des Bundesumweltministeriums reduziert schon Erdgas die direkten Treibhausgasemissionen um fast zwei Drittel gegenüber dem herkömmlichen Hochofen.

Zu den exotischen Ansätzen gehört die elektrochemische Spaltung des Eisenerzes. Potenziell verspricht sie die beste Rohstoff- und Energieeffizienz sowie signifikant niedrigere Inves-



Installation eines Zwei-Megawatt-Elektrolyseurs im Rahmen des Forschungsprojekts „Carbon2Chem“ in Duisburg. In den nächsten Jahren könnte ThyssenKrupp seine Elektrolyse-Kapazitäten in Duisburg-Walsum auf bis zu 500 Megawatt aufstocken – genug für rund 75 000 Tonnen Wasserstoff.

titionskosten, befindet die Analyse „Future of Steelmaking“ der Unternehmensberatung Roland Berger vom Mai 2020. Beim einfacheren Niedertemperatur-Verfahren („Electrowinning“) schwimmen ultrafeine Erzpartikel in einer 110 Grad warmen Natronlauge, in die zwei Elektroden ragen. Fließt Strom durch die Lösung, wird das Eisenoxid – ähnlich wie bei der Elektrolyse von Wasser – zerlegt. An der Anode wird Sauerstoff frei, an der Katode entsteht festes Eisen zur Weiterverarbeitung im Lichtbogenofen. Eine Pilotanlage nahe Bilbao kam bisher allerdings nur auf einige Kilogramm pro Tag.

Noch weiter vom praktischen Einsatz ist die Schmelzoxidelektrolyse entfernt. Dabei entsteht in einer durch den Stromfluss auf 1550 Grad aufgeheizten Oxid-Lösung direkt flüssiger Stahl, womit der Schmelzofen entfällt. Der gewünschte Kohlenstoff-Anteil des Stahls (bis zu zwei Prozent) wird der Lösung zugesetzt. Noch befindet sich dieses Verfahren im Stadium der Grundlagenforschung und sein Einsatz liegt vermutlich 20 bis 30 Jahre in der Zukunft. Das EU-Projekt ULCOS („Ultra Low CO₂ Steelmaking“) hat unter Beteiligung zahlreicher Stahlhersteller das Prinzip erfolgreich demonstriert, ebenso der US-Konzern Boston Metal.

Die Roland-Berger-Studie sieht Wasserstoff-DRI als aussichtsreichste Zukunftstechnologie. Allerdings hat sie – wie auch die elektrochemischen Verfahren – einen entscheidenden Nachteil: Bestehende Hochöfen lassen sich nicht nachrü-

ten, sondern müssen komplett neu gebaut werden. Das kostet jeweils rund eine Milliarde Euro. Allein die Umstellung der deutschen Infrastruktur würde 30 Milliarden Euro kosten. Mittelfristig bedeutet das eine Verdoppelung bis Verdreifachung des Stahlpreises.

Dazu kommt: 85 Prozent der Rohstahl-Kapazität verteilen sich auf China und verschiedene Schwellenländer. Mit einem Durchschnittsalter von 13 Jahren hat diese Hochofenflotte einen großen Teil ihrer Lebensdauer von im Schnitt 60 Jahren noch vor sich. Eine globale Umstellung auf Wasserstoff scheint daher nur durchsetzbar, wenn eine weltweite CO₂-Bepreisung in Kraft tritt. Bis dahin drängt die europäische Stahlindustrie auf Klimazölle für konventionell hergestellten Importstahl. Doch dies könnte einen Wirtschaftskrieg provozieren.

Gefragt sind also Wege, auch herkömmliche Hochöfen klimafreundlicher zu machen. Die einfachste Option ist pflanzlicher Biokoks. Der schwedische Stahlkonzern SSAB testet das seit 2017 mit einer Pilotanlage in Luleå. Als Ausgangsstoff scheint Eukalyptusholz am besten geeignet. Es verspricht eine 28-prozentige CO₂-Reduktion. Die Marktreife erwartet das EU-Projekt „GreenSteel for Europe“ für 2035. Der Ansatz ließe sich auch mit der Wasserstoffeinblasung verbinden, wie sie ThyssenKrupp testet. Dies würde weitere Verbesserungen mit sich bringen – zumindest, wenn der Wasserstoff sauber erzeugt wurde. <



INNOVATIONSZENTREN

Bundesverband Deutscher Innovations-,
Technologie- und Gründerzentren e.V.

Im Bundesverband Deutscher Innovations-, Technologie- und Gründerzentren e.V. (BVIZ) - sind rund 160 Innovationszentren vereint, deren Hauptaufgaben darin bestehen, Existenzgründungen zu fördern und neue, innovative Technologiefirmen zu unterstützen. Die Mitgliedszentren des BVIZ nehmen gründungswillige Unternehmer gern auf, beraten sie qualifiziert in allen die Unternehmensgründung betreffenden Fragen, betreuen sie bei den ersten Wachstumsphasen

und bieten ihnen eine hervorragende Infrastruktur – von modernsten Kommunikationsmöglichkeiten bis zu ausgestatteten Laboren. Der Verband vertritt in erster Linie die Interessen der Mitglieder gegenüber Öffentlichkeit, Politik und Wirtschaft. Darüber hinaus bietet er den Mitgliedern Erfahrungsaustausch, Know-how-Vermittlung, Zugang zu nationalen und internationalen Netzwerken sowie weitere Vorteile und Unterstützung.

ERFOLGSSTORY – 26 JAHRE INNOVATIONSZENTRUM WIESENBUSCH GLADBECK

INNOVATION MADE IN GLADBECK

Seit 26 Jahren ist das Innovationszentrum Wiesenbusch Gladbeck Heimat für junge, innovative Unternehmen und Start-ups. Von der Stadt Gladbeck für rund 21 Millionen Euro gebaut – unterstützt mit Fördermitteln des Landes – wurde es im Juli 1995 eröffnet, um den Strukturwandel der Nach-Bergbauära zu unterstützen. Seitdem ist das IWG ein etablierter, wichtiger Baustein der städtischen Wirtschaftsförderung. Zum Angebot zählen auf insgesamt 10.500 Quadratmetern Nutzfläche Arbeits- und Montageräume, Büros ab 25 Quadratmetern Größe und mehrere Tagungsräume.

WIRTSCHAFT IN GLADBECK - AKTIVES STANDORTDENKEN WIRKT SICH AUS

Vor über 26 Jahren wurde die Idee geboren, jungen, innovativen Unternehmen am Wirtschaftsstandort Gladbeck eine attraktive und auf die Bedürfnisse zugeschnittene Ansiedlungsmöglichkeit zu bieten. In Zusammenarbeit von Stadt, heimischer Wirtschaft, Kammern und dem Land NRW wurde das ehrgeizige Vorhaben Schritt für Schritt umgesetzt. Schon heute steht das IWG als Sinnbild für den Strukturwandel in Gladbeck. Aktuell finden 50 Firmen mit rd. 300 MitarbeiterInnen im Innovationszentrum eine wirtschaftliche Heimat. Innovation steckt nicht nur im Namen, sondern spiegelt sich im Branchenportfolio des IWG's wieder: Brennstoffzellentechnik, Elektrotechnik, Gesundheitswesen, IT Dienstleistungen, Logistik, Messtechnik, Metallindustrie, Energie-Erzeugungsanlagen, Software-Entwicklung, Sport & Entertainment, Umweltmanagement, Unternehmensberatung und Videobeobachtungssysteme. Die jeweiligen Branchen sind zwar sehr unterschiedlich, trotzdem oder gerade deshalb ist immer wieder festzustellen, dass sich hohe Synergieeffekte in direkter Nachbarschaft ergeben. Das Potenzial, die Vielfalt und das Spektrum

aller hier ansässigen Unternehmen sind die Bestätigung, dass sich auf über 10.500 m² ein starkes Stück Wirtschaft in Gladbeck entwickelt hat.

www.innovationszentrum.de

Ein Beispiel: FKBIT - DIE DIGITALISIERUNG IN DIE HEIMAT BRINGEN.

Dies hatte sich Florian Kropf mit der Gründung seiner Firma FKBIT UG im Januar 2020 als Ziel gesetzt. Durch seine berufliche Vergangenheit sowie aus dem persönlichen Umfeld habe er viele Eindrücke aus verschiedenen Kleinen- bis Großunternehmen, sowie Arztpraxen und Krankenhäusern sammeln können. Bei vielen Tätigkeiten kam ihm immer wieder der Gedanke: „Kann man das nicht automatisieren und effizienter machen?“.

Mit diesen Gedanken entwickelte er ein Unternehmenskonzept und unterstützt nun mit seiner Firma als Systemhaus kleine Unternehmen und Arztpraxen in seiner Umgebung. Florian Kropf bietet mit seinem Unternehmen FKBIT inzwischen nicht nur

Hardware und Support mit den alltäglichen IT-Problemen in den Büros; er entwickelt mit einem kleinen Team auch Apps und Software zur Automatisierung von wiederkehrenden Arbeiten in den Arztpraxen und Büros.

„Mit der Entwicklung von eigener Hardware haben wir nun auch Möglichkeiten geschaffen bereits vorhandene Geräte teils oder vollständig in eine digitale Umgebung mit einzubinden.“ So Florian Kropf. „Oft haben wir somit nicht nur die eigentlichen Bearbeitungszeiten gekürzt, sondern auch Stress von den Schultern der Angestellten genommen.“

Als „CEH“ sieht er natürlich nicht nur die Möglichkeiten der Digitalisierung, sondern auch die Gefahr bei unzureichend abgesicherten EDV-Umgebungen. Aufklärung und Absicherung sind die wichtigsten Prioritäten beim Auf- und Ausbau einer vernünftigen, digitalen Arbeitsumgebung. Gerade im Medizinischen Bereich gibt es sehr viel Potenzial, jedoch oft zu wenige oder zu teure Dienstleister. Digitalisierung muss nicht teuer sein, jedoch sollte sie sinnvoll eingesetzt werden.



Der ewige Traum

Nicht nur in den USA wird Atomkraft als eine Energiequelle angesehen, die angesichts des Klimawandels zur Dekarbonisierung beitragen kann. Kleine, modulare Reaktoren sollen der kränkelnden Atomwirtschaft neues Leben einhauchen. Angesichts des wiederentdeckten Interesses geben wir einen visuellen Einblick in die deutsche Atomkraft-Geschichte.

VON WOLFGANG STIELER; FOTOS: BERNHARD LUDEWIG

Als im Juni 1954 im russischen Obninsk das erste Atomkraftwerk der Welt ans Netz ging, war das für die damalige Sowjetunion nicht nur ein Beweis ihrer technischen Überlegenheit. Wie kaum eine andere Technologie verkörperte die Atomkraft damals überall die Zukunft: Uerschöpfliche, saubere, billige Energie, die der Mensch nur dank hoch entwickelter Wissenschaft erzeugen konnte, sollte den Fortschritt auch noch in den letzten Winkel der Erde tragen. Dann kamen Harrisburg, Tschernobyl, Fukushima. Doch der Traum von der sauberen Atomkraft ist anscheinend nicht totzukriegen – und er wird durch die Diskussionen um den Klimawandel neu belebt. Was steckt hinter dem wiederentdeckten Interesse an der Atomkraft?

Im Oktober 2020 kündigte das US-Energieministerium (Department of Energy, DOE) an, im Rahmen der „Dekarbonisierung“ der US-Wirtschaft den Bau von zwei neuen, experimentellen Atomreaktoren mit je 80 Millionen Dollar zu unterstützen. Die andere Hälfte der Kosten trägt jeweils das geförderte Unternehmen. Gefördert wird die Entwicklung eines natriumgekühlten Reaktors für hochangereichertes Uran und eines heliumgekühlten Kugelhaufenreaktors. Doch das ist nur ein kleiner Vorgeschmack auf die massiven Fördergelder, die im Infrastrukturgesetz der Biden-Regierung für die Entwicklung neuer Atomkraftwerke vorgesehen sind: Nach US-Medienberichten sollen dafür rund sechs Milliarden US-Dollar bereitstehen.

Die neue Generation von Atomkraftwerken soll vor allem zwei Probleme lösen, die die weltweite Verbreitung der Atomkraft erheblich ausgebremst haben: die hohen Investitionskosten und die Betriebssicherheit. Die Kosten wollen Terrapower, Nuscale, Terrestrial Energy und andere Start-ups senken, indem sie die Reaktoren aus kleinen, standardisierten Modulen aufbauen. Die standardisierte Bauweise soll die Kosten senken – die Module ermöglichen eine flexible Anpassung an den Bedarf.

Die Betriebssicherheit soll durch „passive Sicherheitssysteme“ erhöht werden. Terrapower setzt auf einen sogenannten Schmelzsatzreaktor. Eine mit Uran angereicherte Natriumsatzlösung, in der eine kontrollierte Kettenreaktion abläuft,

ist Brennstoff und Kühlmittel zugleich. In einem Wärmetauscher überträgt es die Energie auf einen zweiten Salzkreislauf, der dann beispielsweise einen Dampferzeuger antreibt. Der heliumgekühlte Kugelhaufenreaktor wird von X-Energy entwickelt. In dem Reaktormodul fallen kugelförmige Brennstoffkapseln langsam nach unten und werden dabei von Helium gekühlt. Auf 750°C erhitzt soll das Helium dann in einem Sekundärkreislauf Dampf erzeugen, der eine Turbine antreibt.

Die technischen Konzepte, auf denen die modularen Reaktoren beruhen, sind allerdings grundsätzlich nicht neu – viele haben bereits in mehreren Testreaktoren gravierende Probleme gezeigt. Ein prinzipielles Problem mit natriumgekühlten Reaktoren besteht etwa darin, dass Natrium nicht mit Wasser in Kontakt kommen darf – weil es sonst heftig reagiert. In Kugelhaufenreaktoren dagegen gab es Probleme mit beschädigten Kugeln. Die Befürworter der neuen Reaktorkonzepte argumentieren, dass es in den vergangenen 30 Jahren große Fortschritte bei Werkstoffen und der Berechnung der Reaktorkonstruktion im Computer gegeben hat. Das erste der neuen Kraftwerke soll bis 2030 in Ontario entstehen.

Ein grundsätzliches Problem klammert zudem auch die neue Atomindustrie aus: Den radioaktiven Müll. Auch in den USA gibt es – trotz jahrzehntelanger Diskussionen – derzeit keinen Standort für eine dauerhafte Lagerung von Atom Müll. Deshalb wird der größte Teil dieser Abfälle an den 80 Standorten gelagert, an denen er produziert wurde.

Über das Fotoprojekt

Die hier gezeigten Bilder stammen aus dem Bildband „Der nukleare Traum“. Das Buch ist eine umfassende fotografische Dokumentation der deutschen Atomgeschichte. Der Biochemiker Bernhard Ludewig besuchte dafür in acht Jahren 60 Orte in sieben Ländern, teils mehrfach. Das Ergebnis ist der rund 400 Seiten umfassende Bildband sowie die Webseite dernuklearetraum.de.

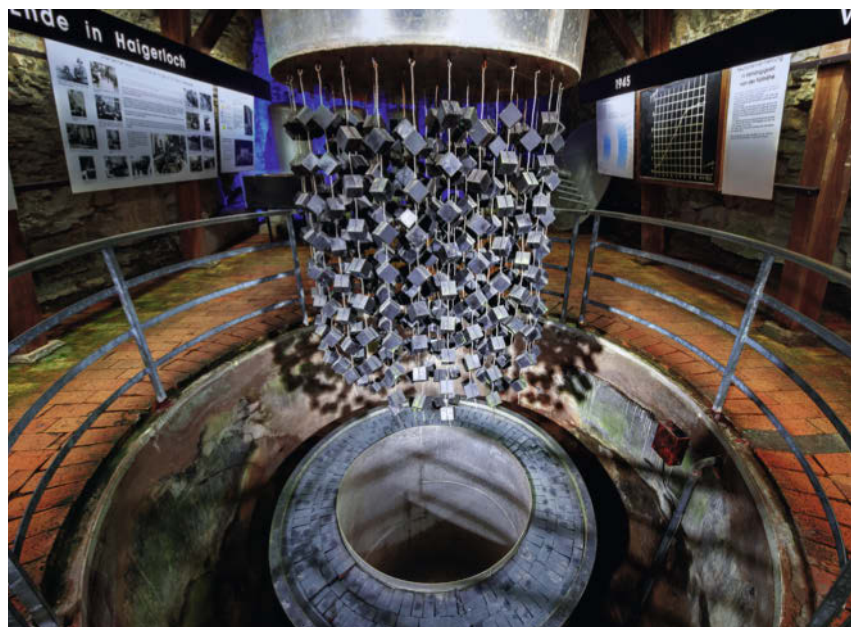
Kernkraftwerk Grohnde im Frühnebel: Zu sehen sind die großen Kühltürme mit ihren hochwachsenden Wolken. Die Heizleistung von etwa drei Millionen Herdplatten dampft ab. Nachts sind diese Wolken in Grohnde teilweise mit orangefarbenem Licht angestrahlt und machen klar, mit welchen Kräften hier hantiert wird.

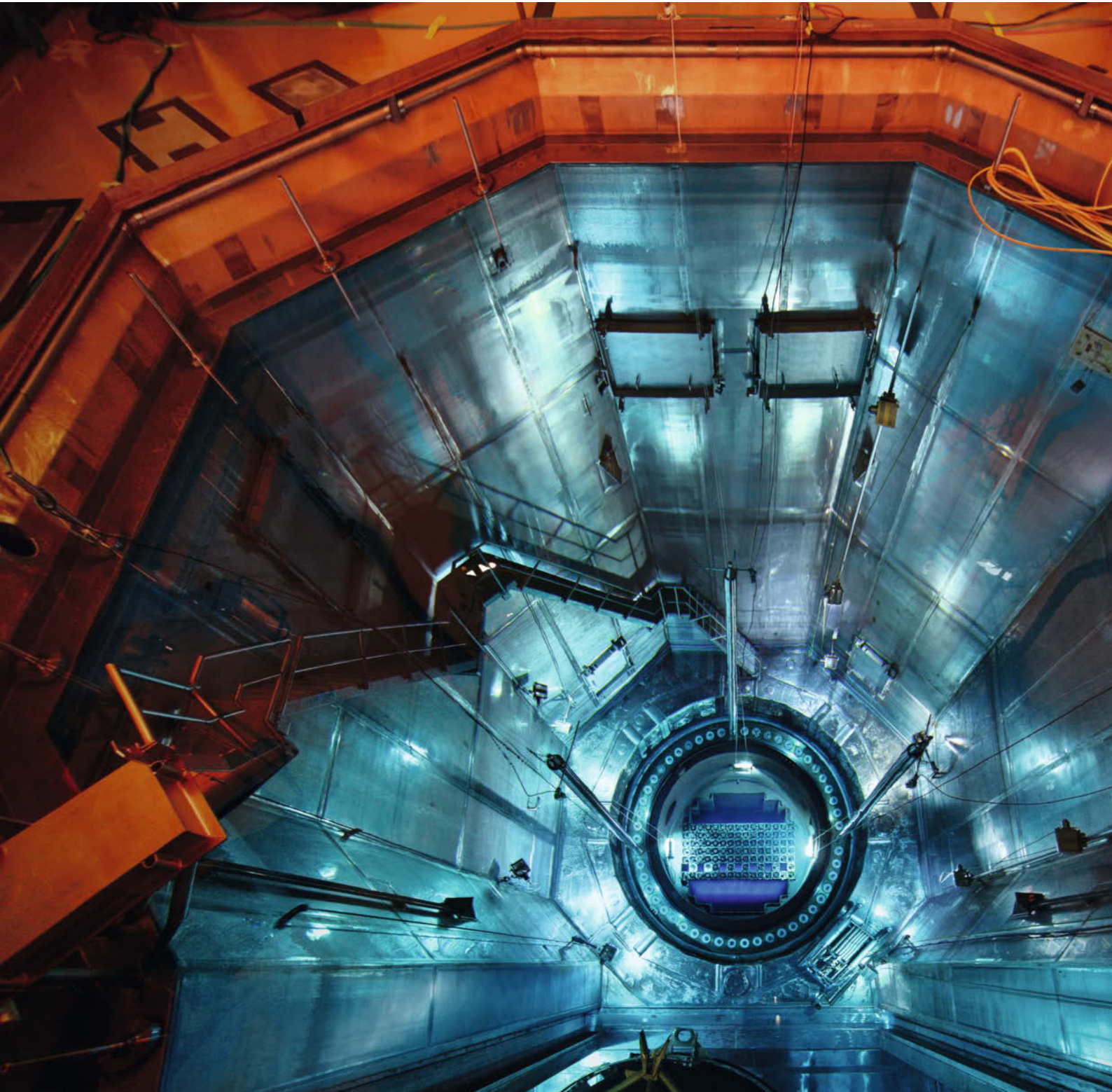


Fotos: Bernhard Ludewig

Das Atom-Ei in Garching, Ort der ersten Kettenreaktion auf deutschem Boden. Der 1957 in Betrieb genommene amerikanische Schwimmbadreaktor mit zuletzt 4 MW Leistung war bis zum Jahr 2000 im Einsatz. Die von Gerhard Weber entworfene, ikonische Kuppel steht unter Denkmalschutz und ziert sogar das Wappen der Stadt Garching.

Der Atomkeller in Haigerloch, Ort des letzten deutschen Reaktorversuchs im Zweiten Weltkrieg, wohin Werner Heisenbergs Forschungsgruppe 1945 ausgelagert wurde. Das Bild zeigt den nachgestellten Uranmaschinen-Vorversuch B-VIII: Uranmetallwürfel tauchen in einen graphitumhüllten Schwerwassertank. Etwas mehr Uran und schweres Wasser von einer konkurrierenden Forschungsgruppe, und es hätte mit der Kettenreaktion geklappt.





Kernkraftwerk Grafenrheinfeld beim Brennelementwechsel 2012: Etwa einmal im Jahr müssen in einem AKW Brennelemente ausgetauscht und die anderen neu angeordnet werden. Dazu wird der Reaktordeckel abgenommen und das darüber liegende, zwölf Meter tiefe Becken mit Wasser geflutet. Anschließend kann oben eine Lademaschine über den offenen Reaktor fahren, die Brennelemente einzeln herausgreifen und unter dem Schutz des Wassers in ein benachbartes Abklingbecken fahren.

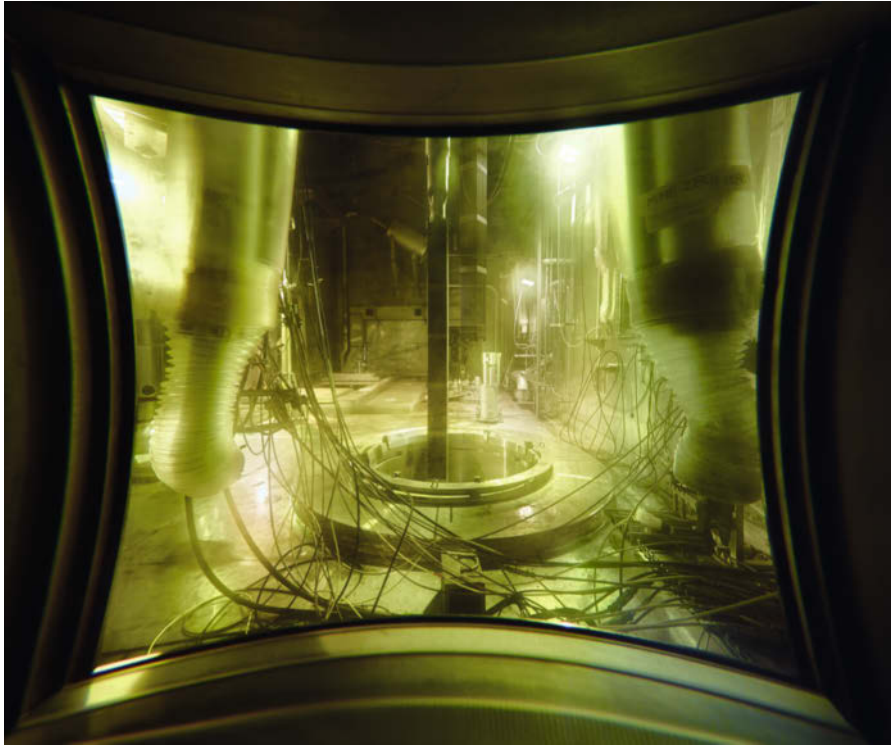


Fotos: Bernhard Ludewig

Warte des Europäischen Druckwasserreaktors (EPR) Olkiluoto 3 in Finnland während der Inbetriebsetzung: Der von Framatome und Siemens entwickelte Reaktor ist der letzte AKW-Typ mit deutscher Technik und komplexer als die Vorgänger.

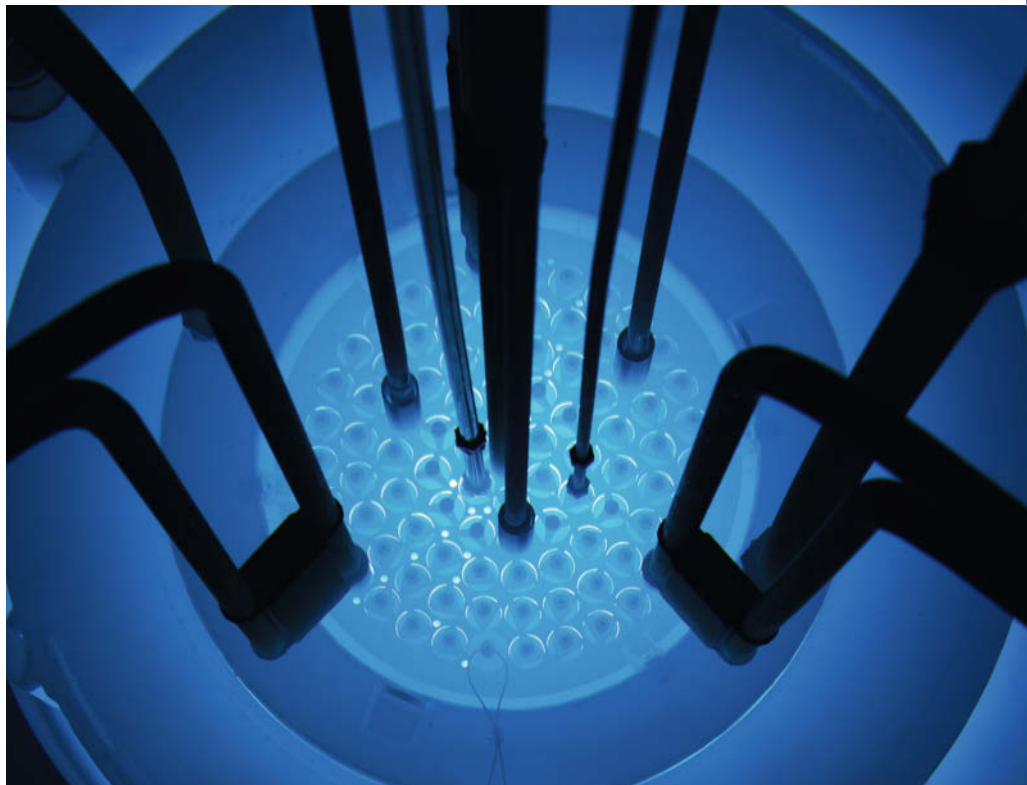


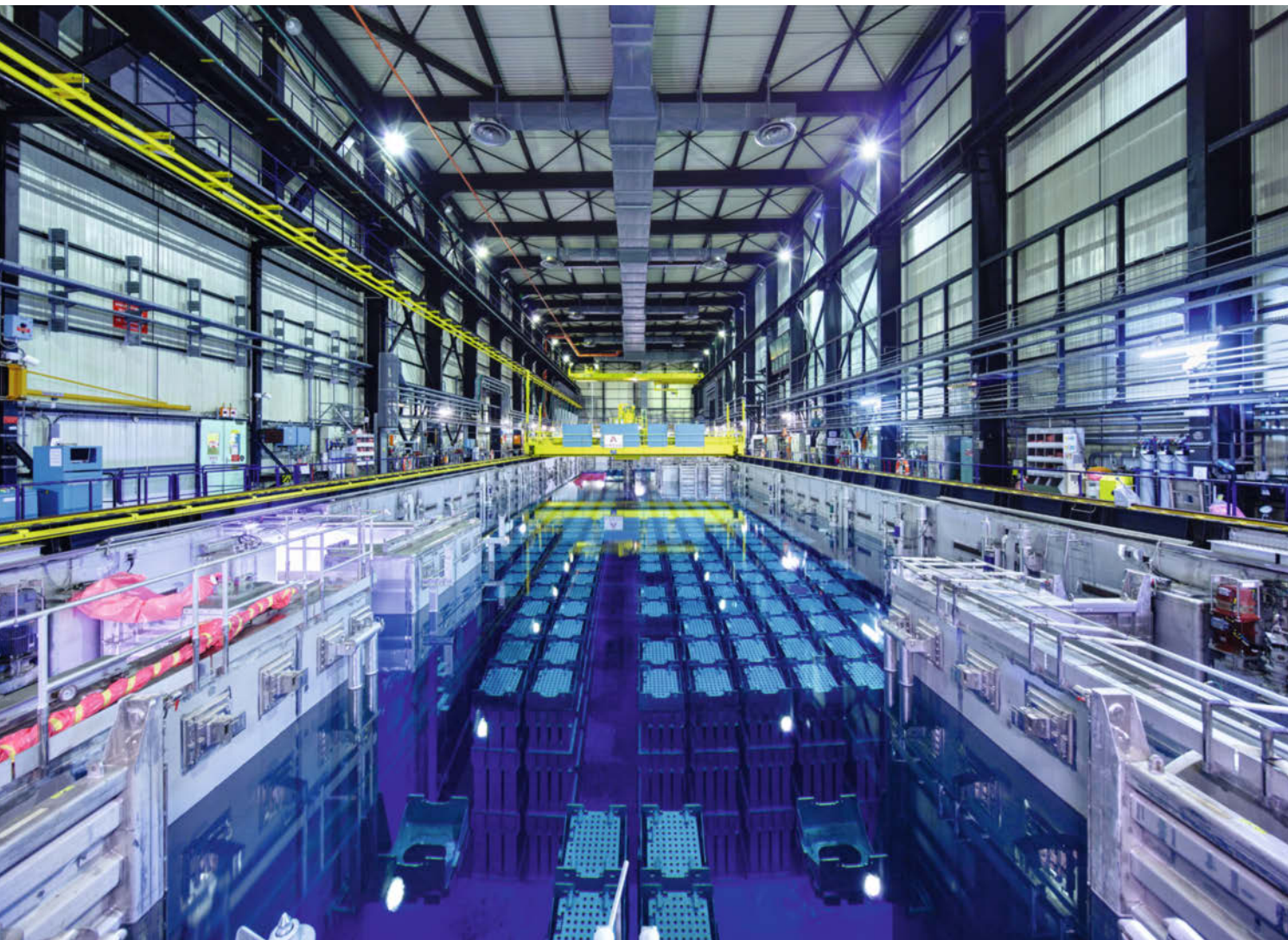
Warte des FR 2 in Karlsruhe. Der Schwerwasserreaktor ist die erste in Deutschland entwickelte und gebaute Anlage, geistiger Nachfolger der deutschen Forschung im Zweiten Weltkrieg und Keimzelle des Karlsruher Kernforschungszentrums. Er war von März 1961 bis Ende 1981 in Betrieb und mit 44 MW der leistungsstärkste deutsche Forschungsreaktor.



In der Wiederaufarbeitungsanlage La Hague wird ein bestrahltes Brennelement aus seinem Transportbehälter gehoben und begutachtet. Die Strahlung dieser abgebrannten Elemente ist tödlich, weshalb dies in einer abgeschirmten „heißen Zelle“ geschieht. Das Foto ist durch ein 120 Zentimeter dickes Fenster aus Bleiglas aufgenommen.

Forschungsreaktor Mainz am Institut für Kernchemie der Johannes Gutenberg-Universität: Der Schwimmbadreaktor vom Typ TRIGA Mark II wurde 1965 erstmals kritisch und 1967 offiziell in Betrieb genommen. Im Dauerbetrieb sind 100 kW möglich, konstruktionsbedingt kann der Kern aber prompt überkritisch gefahren werden, sodass die Leistung innerhalb von Millisekunden von Null auf 250 MW ansteigt.





Wiederaufarbeitungsanlage La Hague, eines von drei riesigen Lagerbecken für ankommende Brennelemente: Nach einer gewissen Wartezeit werden die hochradioaktiven Elemente in einem stark abgeschirmten Bereich zerkleinert und in Salpetersäure aufgelöst. Daraus gewinnt man im PUREX-Prozess Uran und Plutonium, was als „Mischoxid“ wieder in Brennelemente gesteckt werden kann.



HLW-Endlager Onkalo, Teststrecke mit Schächten für Endlagerbehälter: Das weltweit erste Endlager für hochradioaktiven Müll entsteht in Finnland nahe des Atomkraftwerks Olkiluoto. Eine LKW-gängige, spiralförmige Rampe führt bis in ca. 450 Metern Tiefe hinab, wo im Gneisgestein Einlagerungsstrecken mit runden Schächten entstehen, in die später Endlagerungsbehälter gesteckt werden.



Geht's auch ohne Gas?

Auch Erdgaskraftwerke belasten das Klima – und dies aufgrund des entweichenden Methans sogar stärker, als es die reinen CO₂-Werte vermuten lassen. Aber: Kann Deutschland wirklich schnell aus dem Erdgas aussteigen?

VON BERNWARD JANZING UND GREGOR HONSEL

Wer die Zukunft der Gaswirtschaft im deutschen Stromsektor ergründen will, muss vor allem eines tun: rechnen – und gezielt jene Stunden im Jahresverlauf suchen, in denen Wind und Photovoltaik ihre Tiefstwerte erreichen und dann schauen, was noch an Leistung fehlt. Das nennt man „Residuallast“.

Bei der Suche stößt man zum Beispiel auf den 9. März 2021. Gegen 18 Uhr brachten Wind und Sonne zusammen in Deutschland gerade mal eine Leistung von zwei Gigawatt. Fast 70 Gigawatt mussten durch andere Quellen beigesteuert werden. Zieht man davon grob 10 Gigawatt ab, die aus Biomasse und Wasserkraft inklusive der Pumpspeicher verlässlich verfügbar sind, bleiben 60 Gigawatt, die zu diesem Zeitpunkt atomar-fossil erzeugt oder importiert werden mussten.

Die wichtigste Erkenntnis dieser Kalkulation: Selbst ein massiver Ausbau von Wind- und Solaranlagen hätte den Bedarf an

konventionellen Kraftwerken – und den damit verbundenen Treibhausgasemissionen – in der besagten Stunde kaum reduziert. In der politischen Debatte um die Erneuerbaren geht das oft unter.

Zudem wird der Strombedarf, etwa durch E-Autos und Wärmepumpen, noch steigen: Für 2023 prognostiziert die Bundesnetzagentur eine Spitzenlast von 81,8 Gigawatt, für 2050 rechnet die Deutsche Energieagentur Dena in ihrer Leitstudie „Integrierte Energiewende“ 100 bis 160 Gigawatt, je nach Szenario.

Noch gibt es reichlich Überkapazität im konventionellen Kraftwerkspark. Doch 2022 geht das letzte Atomkraftwerk und spätestens 2038 der letzte Kohleleimer vom Netz. Und Pumpspeicher und Batterien können auf absehbare Zeit nicht die nötigen Kapazitäten aufbringen.

Bleibt also Erdgas. Die bestehenden Kraftwerke leisten heute allerdings lediglich rund 30 Gigawatt. Das könnte knapp wer-

den. „Für Gaskraftwerke brechen neue Zeiten an“, prognostiziert die Unternehmensberatung Enervis Energy Advisors: Ein Zubau neuer Gaskraftwerke rücke „bereits deutlich vor 2030 ins Blickfeld“. „Die viel zitierte Brückentechnologie Gas könnte in diesem Umfeld eine Renaissance erleben“, sagt Analyst Mirko Schlossarczyk.

Klimaschützer hingegen wollen Erdgas in den kommenden Jahrzehnten am liebsten komplett ausmustern, wie alle anderen fossilen Energien auch. Greenpeace etwa fordert das Erdgas-Ende schon für 2035. Würde darunter die Versorgungssicherheit leiden? Davor warnt Henrik Paulitz. Seit Jahrzehnten ist er in der Energie-, Ressourcen- und Friedensforschung tätig, engagierte sich einst bei *Robin Wood* und den *Ärzten gegen den Atomkrieg*. Nun hat er über die von ihm gegründete Akademie Bergstraße das viel beachtete Buch „Strommangelwirtschaft“ publiziert. Darin äußert er die Befürchtung, durch eine Gesetzgebung, die Gaskraftwerke unattraktiv macht, könnten „Gas-Reservekraftwerke ab 2023 bei Weitem nicht in hinreichendem Maße zur Verfügung stehen“.

Paulitz fürchtet auch, dass Neubauten oder bestehende Gaskraftwerke durch öffentliche Proteste unter Druck geraten könnten. Das Propagieren einer solchen „Gaswende“ sei „ein gefährliches Spiel mit dem Feuer, welches die Versorgungssicherheit gefährdet“ – zumal das Versprechen, man könne fossiles Erdgas kurzfristig und in ausreichender Menge durch synthetisches Gas oder Wasserstoff ersetzen, „unseriös“ sei (siehe TR 5/2021, S. 8).

Von einem Zubau an Gaskraftwerken geht auch die Denkfabrik *Agora Energiewende* aus. „Wir werden bis 2030 rund 20 Gigawatt neue Gaskraftwerkskapazitäten brauchen“, sagt Ingenieur Thorsten Lenck. Mehr sei allerdings nicht nötig, sofern sichergestellt sei, dass alle zusätzlichen Verbraucher – etwa Wärmepumpen und Kraftfahrzeuge sowie auch Elektrolyseure zur

Wasserstoffgewinnung – so flexibel einsetzbar sind, dass sie zu Engpasszeiten keinen Strom ziehen.

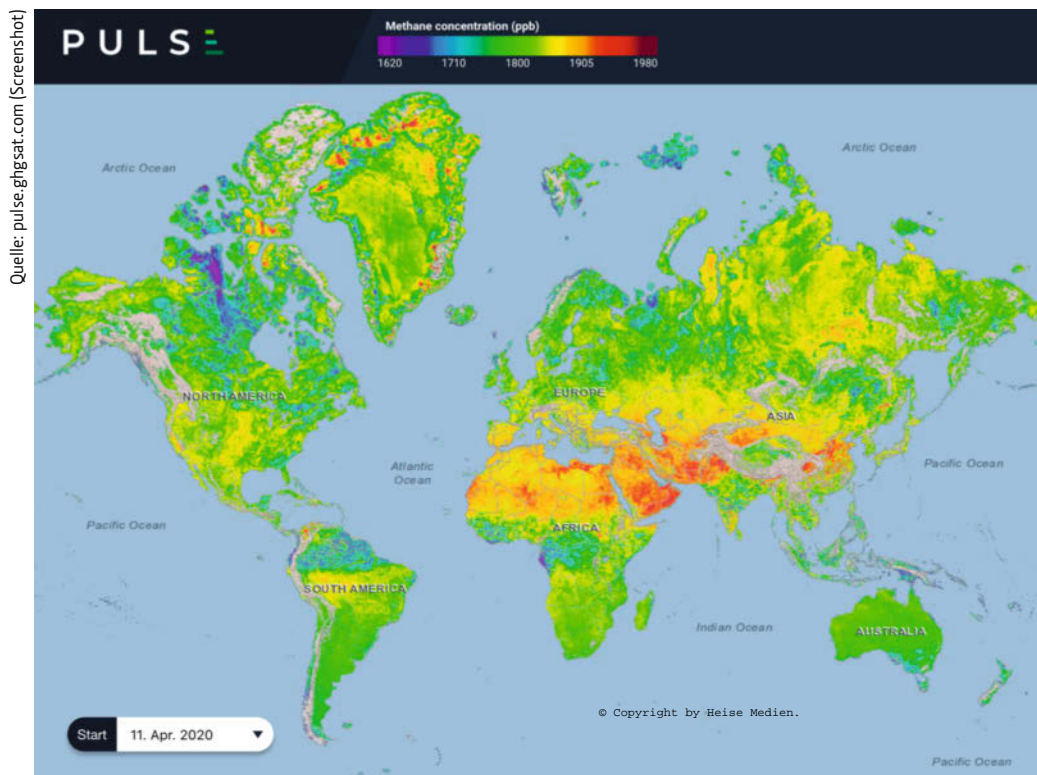
Hinzu kommen in den Agora-Simulationen auch nach dem grundsätzlichen Kohleausstieg weiterhin Kohlekraftwerke als Netzreserve. „Die Anlagen befinden sich dann außerhalb des Marktes und laufen allenfalls wenige Stunden im Jahr, sofern Engpässe herrschen“, sagt Lenck. Das werde aber so selten der Fall sein, dass die Anlagen für die CO₂-Bilanz bedeutungslos seien. Die nötige Leistung und die Laufzeiten der Kohlekraftwerke sind daher in den Agora-Studien auch nicht quantifiziert.

Der Thinktank geht zudem davon aus, dass Wasserstoff in den Gaskraftwerken zunehmend an Bedeutung gewinnen und nach 2040 wichtigster Energieträger für die Residualstromerzeugung sein wird. Zugleich rechnet die Denkfabrik aber auch damit, dass Deutschland sich im Jahressaldo vom Stromexporteur zum Stromimporteur wandeln wird.

Constantin Zenger von der Deutschen Umwelthilfe widerspricht: Unter günstigen Bedingungen – mehr Erneuerbare, ausgebauten europäischen Stromtrassen, reduzierter Energieverbrauch – sei „ein Zubau von Erdgaskraftwerken nach heutigem Stand gar nicht notwendig“.

Wer in dieser Debatte recht hat, ist schwer zu entscheiden. Schließlich ist jedes dieser Szenarien mit einem ganzen Bündel an Annahmen versehen: Strommix, Ausbau des Netzes, alternative Speichermöglichkeiten, Stromverbrauch und so weiter.

Was die Sache zusätzlich kompliziert macht: Erdgas ist nicht gleich Erdgas. Unstrittig ist zwar, dass Methan, der Hauptbestandteil von Erdgas, bei seiner Verbrennung deutlich weniger CO₂ ausstößt als andere Kohlenwasserstoffe oder als Kohle. Das liegt an seiner chemischen Zusammensetzung: Bei einem Methan-Molekül (CH₄) kommen vier Wasserstoffatome auf ein Kohlenstoffatom. Zudem lässt sich Erdgas in modernen Kraftwerken in zwei Stufen verstromen: Zunächst durch eine Gas-



Satellitenbilder zeigen, wo besonders viel Methan in die Atmosphäre entweicht – zum Beispiel in den Öl- und Gasregionen des Nahen Ostens, aber auch in den auftauenden Permafrostböden des hohen Nordens.

turbine, deren Abwärme anschließend eine Dampfturbine antreibt. Das erhöht die Effizienz. Stoßen Kohlekraftwerke im Schnitt rund 1000 Gramm CO₂ pro Kilowattstunde aus, sind es bei Erdgas nur gut 400 Gramm.

Noch nicht darin eingerechnet sind allerdings die Vorkettenemissionen – also der Energieverbrauch bei Gewinnung und Transport sowie die Klimaschäden, die durch entweichen des Methan bei Förderung und Transport entstehen (siehe Kasten). Besonders gravierend sind diese, wenn das Erdgas zum Transport mit Tankschiffen noch verflüssigt werden muss („Liquified Natural Gas“, LNG). Als Faustregel hat das Umweltbundesamt formuliert: „Die Vorkettenemissionen von LNG

fallen bei gleichen Herkunftsländern typischerweise höher aus als die von Pipeline-Gas.“ So kann etwa australisches Fracking-Gas, das als LNG verschifft wird, einen mehr als sieben Mal so großen CO₂-Fußabdruck haben wie konventionelles Pipeline-Gas aus Norwegen (siehe TR 12/2020, S. 82). Trotzdem seien die Gesamtemissionen von LNG in der Regel aber „geringer als die von erdöl- und kohlebasierten Energieträgern“, so das UBA.

Just auf LNG ruhen aber große Hoffnungen der Transportbranche – gerade dort, wo eine hohe Reichweite gefragt und die Elektrifizierung entsprechend schwierig ist: Langstrecken-Lkw, Fracht- und Kreuzfahrtschiffe (siehe TR 12/2018, S. 10). Bei kom-

Methan als Treibhausgas

Methan ist ein weitaus stärkeres Treibhausgas als Kohlendioxid. Allerdings verbleibt es mit rund zwölf Jahren auch deutlich kürzer in der Atmosphäre (siehe TR 2/2020, S. 39). Meist wird seine Treibhauswirkung auf den Faktor 21 bis 28 gegenüber CO₂ beziffert, bezogen auf einen Zeitraum von hundert Jahren. Über 20 Jahre betrachtet ist es jedoch 83 Mal so klimawirksam. Entsprechend stark schlägt es in der Klimabilanz zu Buche, wenn Methan bei Förderung oder Transport entweicht („Methanschlupf“). Im Umkehrschluss bedeutet das aber auch: Maßnahmen zur Reduktion wirken bei Methan deutlich schneller als bei CO₂.

Laut der Methane Tracker Database der Internationalen Energieagentur IEA stammen die meisten Methan-Emissionen aus Feuchtgebieten und der Landwirtschaft. Die Energiewirtschaft folgt erst auf dem dritten Platz. Dahinter folgen die Ausdünstungen von Müllkippen.

Die Quantifizierung des Methanschlupfs ist hochkomplex und daher nur bedingt möglich. Die Werte basierten stets auf Annahmen und Schätzungen, sagt Dirk Günther, Wissenschaftler beim Umweltbundesamt (UBA). Sie seien abhängig von vielen Faktoren wie dem Material, dem Druck und dem Überwachungszeitraum der Rohrleitungen. So habe zum Beispiel die Verbauung von Kunststoffleitungen anstelle von Graugussleitungen in den letzten 25 Jahren die Methanemissionen der deutschen Gaswirtschaft deutlich gesenkt. Grob überschlagen entweichen 0,26 Prozent des in Deutschland verbrauchten Erdgases in die Atmosphäre.

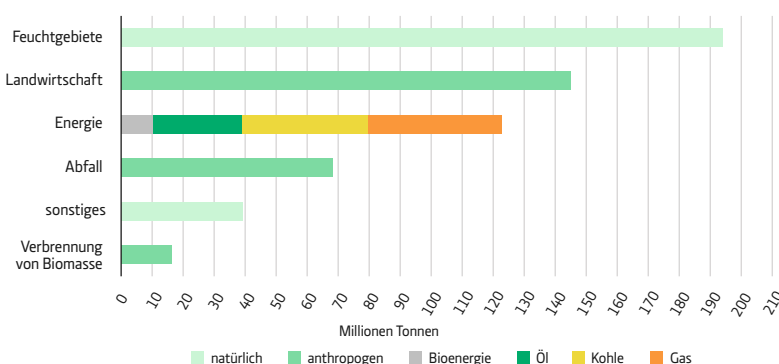
Zugleich zeigen Messreihen, dass die Konzentration des Methans in der Atmosphäre sich seit vorindustriellen Zeiten stark erhöht hat. Darauf weist die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) hin. Man wisse dies durch direkte Atmosphärenmes-

sungen, ergänzt durch Eiskernuntersuchungen. Satellitendaten helfen dabei, die Quellen zu identifizieren.

Allerdings sei „ein abschließendes Urteil zu den genauen Ursachen für den Anstieg der Methankonzentration in der Atmosphäre aktuell kaum möglich“, so die BGR. Eine Analyse der Kohlenstoffisotope lasse aber einige Wissenschaftler vermuten, dass der Trend zu einem großen Teil auch auf biogene Methanquellen basiere. Wahrscheinlich habe die atmosphärische Methanzunahme mehrere Ursachen, die verstärkte Förderung von Schiefergas scheine jedoch „für diesen Trend nicht ursächlich zu sein“.

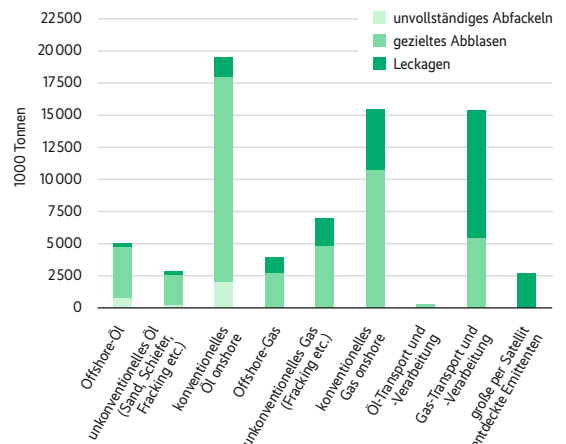
Allerdings ist der Mensch auch an den vermeintlich „natürlichen“ Methanemissionen nicht ganz unschuldig: Durch die Erderwärmung setzen Feuchtgebiete oder Permafrostböden mehr des potenten Klimagases frei – ein Teufelskreis.

Methanquellen insgesamt



Landwirtschaft und Energie sind die größten menschengemachten Methanquellen.

Methanemissionen bei Öl- und Gasförderung



Quelle: IEA/Methane Tracker Database



Die „Pioneering Spirit“ bei der Verlegung der Nord-Stream-2-Pipeline in schwedischen Gewässern.

primiertem Erdgas („Compressed Natural Gas“, CNG), wie es beispielsweise in Pkws und leichte Lkws getankt werden kann, ist die Energiedichte nicht ganz so hoch, aber dafür sind die Vorkettenemissionen geringfügig besser, da die energieaufwendige Verflüssigung entfällt.

Muss sich Deutschland also rechtzeitig den Nachschub sichern, etwa durch eigene LNG-Terminals an der Nordsee oder durch die Pipeline Nord Stream 2 in der Ostsee? Kritiker wie die Deutsche Umwelthilfe (DUH) fürchten, das Geschäft mit dem fossilen Gas werde durch Investitionen in Kraftwerke und Infrastruktur auf Jahrzehnte zementiert – nach dem Motto: Sind die Anlagen einmal da, werden sie auch benutzt, damit die Investitionen nicht umsonst waren. Schützenhilfe bekommt die DUH dabei vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW). Es kommt in einem Gutachten für den Naturschutzbund NABU zum Ergebnis, dass es „weder kurz- noch langfristig eine Deckungslücke in Deutschland und Europa“ gebe.

Die Befürworter argumentieren hingegen, dass sich über die Pipelines und LNG-Terminals eines Tages auch synthetische Gase aus Ländern importieren ließen, in denen es Ökostrom im Überfluss gibt. Denn in Deutschland werden die Erneuerbaren auf absehbare Zeit hinten und vorne nicht ausreichen, einen nennenswerten Anteil des Gasbedarfs durch synthetische Gase zu decken, die mit überschüssigem Ökostrom erzeugt werden. Zu diesem Schluss kommt eine Studie des Beratungsunternehmens Ecofys im Auftrag des Gasverbandes DVGW. Es hat zahlreiche Szenarien für den Ausbau von Wind- und Sonnenenergie ausgewertet. Sie sagen bis 2050 eine installierte Leis-

tung von 370 bis 430 Gigawatt voraus. Das entspricht einer jährlichen Stromproduktion von 723 bis 874 TWh. Abzüglich des nationalen Strombedarfs in Höhe von 600 Terawattstunden stünden somit 123 bis 274 TWh für die Gas-Synthese zur Verfügung. Bei einem Wirkungsgrad von 60 Prozent reicht das für Methan mit einem Energiegehalt von 74 bis 164 TWh.

Zum Vergleich: Der deutsche Jahresverbrauch an Erdgas betrug 2020 rund 965 TWh. Synthetisches Gas aus heimischer Produktion könnte nach diesem Szenario also maximal gut 16 Prozent des Bedarfs decken. Und selbst das ist noch optimistisch, denn die Prognose für den Stromverbrauch ist sehr niedrig angesetzt. Das Bundeswirtschaftsministerium hat seine Schätzung kürzlich schon für 2030 auf 655 TWh hochgesetzt. Und bis 2050 rechnet die Dena gar mit bis zu 1160 TWh.

Biogas ist ebenfalls nur eine begrenzte Alternative: Der BDEW rechnet damit, dass 2030 rund 100 TWh in das deutsche Gasnetz eingespeist werden können. Bis 2050 sieht eine aktuelle Studie des *Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches* „ein Gesamtpotenzial von bis zu 250 Terawattstunden Biogas pro Jahr, etwa aus der anaeroben Vergärung oder thermischen Umwandlung von Speiseabfällen, Ernteresten, Gülle oder Abfallholz“. Welchen Anteil der künftigen Residuallast damit abgedeckt werden kann, ist eine offene Frage. Sie hängt unter anderem davon ab, wie sich der Gasverbrauch für andere Zwecke, beispielsweise für die Hausheizung oder den Schiffsverkehr, entwickelt.

Man kann es also drehen und wenden wie man will: Ganz ohne fossiles Methan auszukommen wird schwierig. <

Strom von der Weide

Klima- und Naturschutz werden oft gegeneinander ausgespielt. Photovoltaik-Freiflächenanlagen können beides miteinander verbinden – wenn man einige Regeln beachtet.

VON JAN BERNDORFF

Insektensterben? Wer an einem Sommertag auf dem Gelände des ehemaligen Kalkwerks Gersheim unterwegs ist, kann daran kaum glauben. Hier, im Biosphärenreservat Bliesgau östlich von Saarbrücken, summt und brummt es unentwegt. Auf rund zweieinhalb Hektar wachsen überall Orchideen und andere Wildblumen. Sie locken Insekten und dadurch auch Vögel an. 15 Schmetterlingsarten sind dokumentiert, von denen 14 auf der Roten Liste stehen. Und sogar die Schwarze Mörtelbiene hat sich in einer alten Betonwand der Grube angesiedelt. Sie ist in Deutschland extrem selten geworden und steht unter strengem Schutz.

Doch es ist keine reine Naturidylle. Hunderte Solarmodule mit einer gesamten Leistung von 1,85-Megawatt sind hier in langen Reihen alle fünf Meter aufgeständert. Sie scheinen weder Pflanzen noch Tiere zu stören. Im Gegenteil: „Hier wurden die Ziele des Naturschutzes und des Klimaschutzes zugleich verwirklicht“, schreiben Bernd Demuth und Alexander Maack vom Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung der TU Berlin in einem Handbuch über die ökologischen Wirkungen von Photovoltaik-Freiflächenanlagen (PV-FFA).

» Hier wurden Ziele des Naturschutzes und des Klimaschutzes zugleich verwirklicht. «

Auch wirtschaftlich können sie punkten: Auf der letzten Ausschreibungsrunde der Bundesnetzagentur bekamen Freiflächenanlagen eine Einspeisevergütung von fünf Cent pro Kilowattstunde. Strom aus Onshore-Windparks ist etwa ein Cent teurer. Und im Vergleich zu Mais oder Zuckerrüben für Biogaskraftwerke holen PV-FFA rund 50-mal mehr Strom aus der gleichen Fläche heraus, hat das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) berechnet.

Trotzdem durften sie lange nur auf sogenannten „Konversionsflächen“ gebaut werden – also etwa alten Industriebrachen, Militärgeländen und ähnlichen Arealen. Außerdem wurden gern schmale Streifen entlang von Autobahn- und Eisenbahn-

trassen freigegeben. Dabei zeigen Installationen wie das Biosphärenreservat Bliesgau, dass sich klimaneutrale Energiegewinnung und Naturschutz vertragen. Trotzdem haben nur wenige Bundesländer dieses Korsett in den letzten Jahren gelockert und lassen PV-Parks nun auch auf „benachteiligten Acker- und Grünflächen“ zu, auf denen viel Dünger eingesetzt werden muss, damit auf ihnen etwas wächst.

Aktuell sind in Deutschland knapp 57 Gigawatt Photovoltaik-Leistung installiert, davon entfallen gut 30 Prozent auf Freiflächenanlagen. Nicht alle sind so naturverträglich wie die im Saarland. Damit sie für die Natur Positives bewirken können, müssen sie gewisse Kriterien erfüllen. Der Naturschutzverband Nabu hat dazu kürzlich gemeinsam mit dem Bundesverband Solarwirtschaft einen entsprechenden Leitfaden veröffentlicht:

- Naturschutzgebiete und andere schützenswerte Flächen sind tabu.
- Betonierte Flächen werden nach Möglichkeit aufgebrochen, um Wildblumen säen zu können.
- Die Fundamente dürfen nicht mehr als fünf Prozent der Gesamtfläche versiegeln.
- Die Modulreihen haben mindestens drei Meter Abstand und sind mindestens 70 Zentimeter hoch, damit Pflanzen und Tiere genügend Licht und Raum bekommen.
- Die Umzäunung lässt Amphibien und Kleinsäuger wie Hase und Igel passieren.
- Große Anlagen bestehen also aus mehreren eingezäunten Teilen mit Durchgängen für Großsäuger wie Rotwild.
- Die Wiese wird so gemäht, dass erwünschte Pflanzen Fruchtstände ausbilden können. Wahlweise könnten etwa auch Schafe die Wiesen beweiden.
- Dünger und Pestizide sind ausgeschlossen.

„Der Kreativität, eine Freiflächenanlage möglichst naturfreundlich zu gestalten, sind im Prinzip keine Grenzen gesetzt“, sagt die Biologin Christina Grätz, Geschäftsführerin der brandenburgischen Firma NagolaRe, die unter anderem Solarparkbetreiber berät.

Solche Bio-Solarparks produzieren durch ihre großen Modulabstände allerdings bis zu 20 Prozent weniger Strom pro Fläche. Im Gegenzug steigern sie aber auch Artenvielfalt und damit die Akzeptanz der Bevölkerung, sagt die Landschaftsökologin Nathalie Arnold vom Kompetenzzentrum Naturschutz und

Energiewende (KNE). Denn die ist keineswegs immer gegeben: Bei den Mulkwitzer Hochkippen, eine rund 410 Hektar große ehemalige Abraumhalden im Osten Sachsens, sollten beispielsweise zwei Solarparks errichtet werden. Eine lokale Interessengemeinschaft monierte jedoch, dass sich auf dem renaturierten Gelände neue, intakte Ökosysteme gebildet hätten. Daher hält der Nabu die Flächen für nicht genehmigungsfähig.

Oft werden Solarparks auch einfach durch ihre technisch-künstliche Anmutung als störend empfunden. „Darum sollten Solarparks nicht auf exponierten Flächen wie Hügeln angelegt werden“, empfiehlt Tina Mieritz, Nabu-Referentin für Energiepolitik und Klimaschutz. „Darüber hinaus kann außerhalb des Zauns zum Beispiel eine Hecke Sichtschutz bieten und gleichzeitig als weiteres Biotop für Tiere dienen.“

Das allein reiche aber nicht immer, meint Nathalie Arnold. „Unabhängig vom Eingriff in den Naturhaushalt sollten Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes ausgeglichen werden, etwa durch Anlegen einer Streuobstwiese. Und die Bürger sollten von Anfang an mitgenommen, ihre Wünsche gehört und einvernehmliche Pläne gemacht werden. Eine Option ist auch, sie an den Gewinnen des Stromverkaufs zu beteiligen.“

Ein zentraler Kritikpunkt an Freiflächenanlagen ist zudem, dass sie die Pachtpreise für Ackerflächen in die Höhe treiben. Der Bauernverband bezeichnet Solarparks deshalb als „Flächenfraß“. Ein Einwand, der auf den ersten Blick gerechtfertigt ist: Die durchschnittliche Jahrespacht für Ackerland liegt in Deutschland bei etwa 430 Euro pro Hektar, bei Grünland sind es 234 Euro. Doch Grundstücke, auf denen Solaranlagen errichtet werden, erzielen 1500 bis 3000 Euro.

Doch wenn der Gesetzgeber richtig steuert, ließe sich diese Befürchtung zerstreuen: Der Bundesverband Neue Energiewirtschaft weist darauf hin, dass nur 2,5 bis 3 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Fläche ausreichen würde, um den Strombedarf des gesamten Landes zu decken. Und dies ist nur ein kleiner Teil der Flächen, die aktuell für Energiepflanzen genutzt werden, also ohnehin nicht der Nahrungsmittelversorgung dienen.

„Das Potenzial ist enorm“, meint auch Christina von Haaren, Professorin für Landschaftsplanung und Naturschutz an der Uni Hannover. Sie hat untersucht, wie viel Fläche für erneuerbare Energien überhaupt infrage kommt. Dabei schloss sie alle Gebiete aus, deren Nutzung aus rechtlichen oder anderen Gründen unmöglich oder zumindest fraglich ist. Übrig blieben bundesweit 1,5 Prozent der gesamten Landfläche, die man „relativ sorglos“ nutzen könne. Würde man dort ausschließlich Windkraftanlagen bauen, würde dies – gemeinsam mit anderen Erneuerbaren wie Geothermie oder Solarmodulen auf den Dächern – bereits ausreichen, um den gesamten prognostizierten Strombedarf zu decken. Trotzdem hält sie Solarparks für notwendig, um vor Ort den richtigen Energiemix herzustellen. So können Solaranlagen beispielsweise im Sommer, wenn der Wind schwächelt, den Ausfall an Windkraft ausgleichen. „Außerdem glauben wir nicht daran, dass das Dachflächenpotenzial schnell aktiviert werden kann“, sagt van Haaren.

Wenn Solarmodule hoch genug angebracht sind, bleibt darunter genug Platz für andere Nutzer.





Foto: next2sun

Zwei-Megawatt-Solaranlage im
saarländischen Eppelborn.

Richtig angelegt,
können Solarparks
die Artenvielfalt
erhöhen.

Foto: Hofgemeinschaft Heggelbach



Foto: BayWa i.e./Jan Roeder



Bei der Agri-Photovoltaik sind
die Module so hoch aufgestellt,
dass selbst Traktoren noch
darunter passen – wie hier bei einer
2 500 Quadratmeter großen
Forschungsanlage in Heggelbach
in der Nähe des Bodensees.

Allein in Niedersachsen sind ihren Berechnungen zufolge 563.000 Hektar naturverträglich nutzbar. Darauf könnten nach derzeitigem Stand der Technik 614 Terawattstunden pro Jahr erzeugt werden. Das ist mehr als der Jahresverbrauch in ganz Deutschland. „Allein die politischen Rahmenbedingungen hemmen noch den Ausbau.“ So seien zwar die Gemeinden für die Ausweisung von Freiflächenanlagen verantwortlich, doch die hätten gar nicht den Überblick darüber, welche Flächen sich eher für die Landwirtschaft oder für die Energieerzeugung eignen. „Die Zuständigkeit sollte deshalb bei der Regionalplanung liegen“, so van Haaren.

Auch für Solarkraft auf herkömmlichen Ackerflächen gibt es eine Lösung: die sogenannte Agriphotovoltaik (APV). In Ländern wie Niederlande, Frankreich und den USA sind solche Anlagen längst im regulären Einsatz, in Deutschland bislang nur vereinzelt. Hierzulande werden sie vor allem vom Fraunhofer ISE propagiert und weiterentwickelt. Statt in Bodennähe werden die Solarmodule dabei in gut fünf Metern Höhe auf Stelzen installiert, sodass selbst große Mähdrescher noch unter ihnen hindurchfahren können. Die Solarzellen weisen genügend Abstand auf, um Licht durchzulassen. Alternativ gibt es auch senkrecht aufgestellte Solarmodule in Ost-West-Ausrichtung. Sie stehen schmal zwischen den Ackerfurchen und fangen auf beiden Seiten das Sonnenlicht ein.

Beide Varianten gehen mit leichten Ertragseinbußen bei den Nutzpflanzen und beim Solarstrom einher. Aber Versuche auf Testgeländen des ISE zeigen: Gut 80 Prozent des Feldertrags und 80 Prozent des Stromertrags sind möglich. Zusammen lässt sich also die Produktivität der Fläche auf 160 Prozent steigern. Bestimmte Kulturen profitieren sogar von der Verschattung, etwa Sellerie, Winterweizen und Kartoffeln (siehe TR 6/2019, S. 14). Und auch im Obst- und Weinbau, bei Spargel, Hopfen und Bärlauch versprechen sich Experten eher Vor- als Nachteile. Denn dort müssen die Bauern und Winzer ohnehin immer häufiger Folientunnel oder Hagelnetze einsetzen, um ihre Kulturen vor den zunehmenden Wetterkapriolen zu schützen. „Wir führen zurzeit Versuche auf Apfelplantagen durch, um zu sehen, wie groß diese Synergieeffekte sein können“, sagt Andreas Steinhüser, APV-Projektmanager beim ISE. Der Grad der Beschattung etwa lässt sich durch entsprechende Konstruktion der Anlage an die jeweilige Kultur und die Umstände der Anbaufläche anpassen.

Nachteile der APV sind die deutlich höheren Baukosten: Die Unterkonstruktion kostet rund 400 statt 70 Euro pro Kilowatt. Außerdem verliert ein Bauer zurzeit noch seine EU-Subventionen, wenn er sein Feld mit Photovoltaik überspannt, weil die Fläche dann rechtlich als versiegelt gilt. „Das gehört dringend neu geregelt“, sagt Steinhüser.

Mieritz, Arnold und von Haaren sind sich darin einig, dass man zunächst tunlichst andere Flächen für die Photovoltaik nutzen sollte, bevor man zur Agriphotovoltaik greift. Dem schließt sich ISE-Experte Andreas Steinhüser prinzipiell an. Aber er hält es „leider für fraglich“, ob die besser geeigneten Flächen tatsächlich alle genutzt werden können.

Jetzt im Handel

NEU!



**Blick
ins
Heft**

Ab sofort am Kiosk oder online unter
shop.heise.de/wissen-ozean21

Die On-Off-Beziehung

In diesem Jahr werden zum ersten Mal seit über zehn Jahren in Deutschland keine neuen Offshore-Windkraftanlagen in Betrieb genommen. Woran liegt das?

VON KLAUS SIEG

Albartos heißt der vorletzte deutsche Windpark, der auf See seinen Betrieb aufgenommen hat. Seit Anfang 2020 speist der Betreiber EnBW mit 16 Siemens-Anlagen à 7 Megawatt grünen Strom ein. Danach ging noch die zweite Ausbaustufe des Offshore-Windparks Borkum ans Netz. Dann war Schluss. 2021 werden sich erstmals seit über zehn Jahren keine neuen Offshore-Anlagen mehr drehen, weder auf der Nord- noch auf der Ostsee. Und bereits 2020 musste die Branche laut *Bundesverband der Windparkbetreiber Offshore* (BWO) einen Rückgang von 80 Prozent im Vergleich zum Vorjahr hinnehmen.

Wie konnte es dazu kommen – schließlich galt Offshore-Windkraft doch einst als große Hoffnung?

Der Gegenwind setzte unter dem damaligen SPD-Wirtschaftsminister Sigmar Gabriel ein. Aus Sorge vor Netzengpässen und steigenden Strompreisen hatte er die Ausbauziele gedeckelt: von 10 auf 6,5 Gigawatt bis 2020, von 25 auf 15 Gigawatt bis 2030.

Mit der Neufassung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) folgte 2017 zudem ein Systemwechsel. Bis dato gab es eine feste Vergütung von 15,4 Cent pro kWh für die ersten zwölf Jahre. Seitdem aber gilt: Wer in einer Auktion den günstigsten Strompreis anbietet, erhält den Zuschlag. Dadurch sanken die Vergütungen auf 0 bis 6 Cent pro kWh. Und die Risiken und Kosten der Finanzierung stiegen.

Zudem wird ab 2026 das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) neue Offshore-Flächen gemeinsam mit der Bundesnetzagentur ausweisen, damit sie an den Netzausbau gekoppelt sind. Das verlangsamt die Ausschreibung neuer Flächen. Alles zusammen verunsicherte Planer, Betreiber und Investoren. „Der Einbruch, den wir jetzt erleben, geht auf Fehlentscheidungen von damals zurück“, sagt Stefan Thimm, Geschäftsführer des BWO.

„Die Lücke war vorhersehbar“, bestätigt Andreas Reuter, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Windenergiesysteme (IWES). Auch wenn Reuter die Konsolidierung für eine teilweise notwendige Bereinigung der zu großen Anfangseuphorie hält, findet er es ärgerlich, „dass gerade jetzt kein Zubau auf See stattfindet.“

Dabei sind Windräder auf See eine wichtige Säule für die künftige Versorgungssicherheit. Wegen des stetigen Windes liefern sie deutlich gleichmäßiger Strom. Deutschlands erster Windpark Alpha Ventus etwa produzierte 2010 knapp 4500 Volllaststunden – fast dreimal so viel wie durchschnittliche Windräder

an Land. Und auch die Daten aus dem windschwachen ersten Halbjahr 2021 zeigen: Offshore-Windräder haben zwar deutlich weniger Strom geliefert als im Vorjahreszeitraum, aber die Windanlagen an Land waren noch stärker von der Flaute betroffen.

Damit einher gingen auch deutliche Kostensenkungen. Der 250 Millionen Euro teure Alpha Ventus wurde vom Bundesumweltministerium mit 30 Millionen Euro gefördert. Die von ihm erzeugte Kilowattstunde Strom erzielte nach EEG-Einspeisung sogar noch 19 Cent. Seitdem sind sie Kosten auf 5 Cent gefallen. „Wer hätte das am Anfang gedacht?“, sagt Andreas Reuter, der sich seit 35 Jahren mit Windenergie beschäftigt.

Erreicht hat die Branche das vor allem durch eine rasante technische Entwicklung. Die Windkraftanlagen von Alpha Ventus hatten eine Spannweite von knapp 120 Metern und eine Leistung von fünf Megawatt. Jetzt ist die Branche bei über 200 Me-



Foto: EnBW

tern und testet Prototypen mit mehr als zehn Megawatt (siehe TR 3/2021, S. 54). „Diese gigantische Geschwindigkeit beim Wachstum der Anlagen hatten wir noch nie. Gerade bei den Rotorblättern loten die Entwickler immer wieder neu die Grenzen der Technik aus“, sagt Reuter. Und je größer die Anlagen, desto günstiger der Strom, weil weniger Fundamente gebaut werden müssen und die Wartungskosten sinken.

Und diese technische Leistung wird jetzt durch falsche Rahmenbedingungen ausgebremst? Ganz so einfach ist es nicht. Und auch nicht ganz so schlimm. Immerhin waren Ende 2020 nach Angaben des BWO 1501 Offshore-Windräder mit einer Leistung von insgesamt 7,7 Gigawatt in deutschen Gewässern in Betrieb, also mehr als die ursprüngliche Zielmarke von 6,5 Gigawatt für 2020. Im europäischen Vergleich belegt Deutschland den zweiten Platz hinter Großbritannien.

„Ausschreibungen per se sind nicht schlecht. Investoren trauen sich heute Offshore-Anlagen zu bauen, die sich alleine durch den Stromverkauf an der Börse sowie an Direktabnehmer finanzieren“, sagt Reuter. Immer mehr große Unternehmen sind auf der Suche nach zuverlässigen Quellen für erneuerbare Energie. Die Entwicklung der letzten Jahre habe aber

Die beiden Schwester-Windparks „Hohe See“ und „Albatros“ wurden ab April 2018 rund 100 Kilometer nördlich von Borkum installiert. Mitte 2019 beziehungsweise Anfang 2020 gingen sie ans Netz. Seitdem wurde in deutschen Gewässern kaum noch etwas zugebaut.



zu einem Konzentrationsprozess geführt, bei dem mittelständische Akteure verloren gingen. „Nur die Großen haben die Möglichkeit, Ausschreibungsverfahren zu gewinnen und die Projekte durchzuziehen.“

Sie profitieren auch von der sehr guten Entwicklung des europäischen Offshore-Marktes mit einem stabilen Wachstum von drei bis fünf Gigawatt pro Jahr. „Wenn die großen Akteure mal

» Der Einbruch, den wir jetzt erleben, geht auf alte Fehlentscheidungen zurück. «

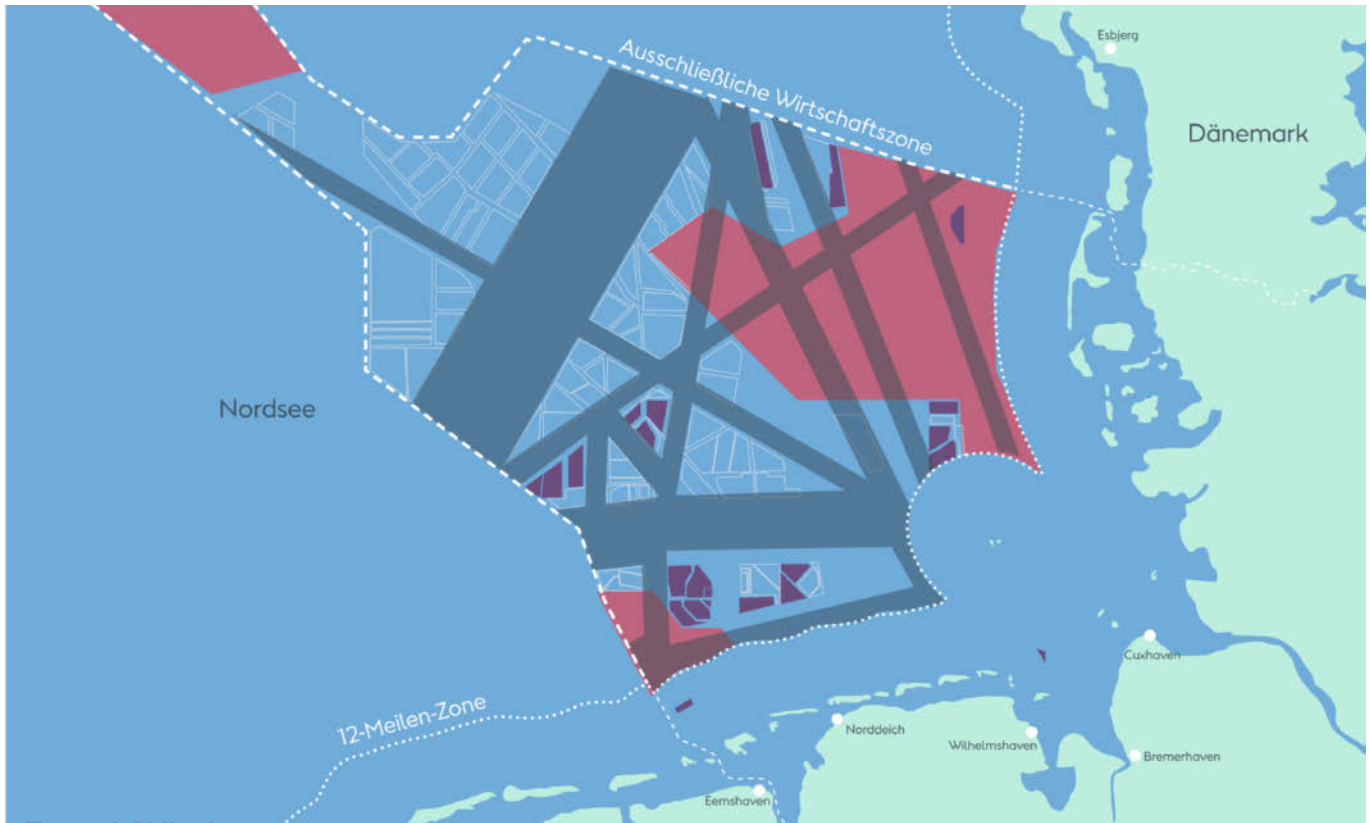
in Deutschland nichts aufstellen, dann tun sie das in Großbritannien, den Niederlanden oder Frankreich“, so Reuter. In Großbritannien werde die Offshore-Branche beispielsweise in ein gesamtwirtschaftliches Konzept eingebunden, mit einem ambitionierten Ausbauziel von 40 Gigawatt bis 2030. „Und dann beginnt das Ganze eben auch zu fliegen“, sagt Reuter.

Die Fertigung findet in Großbritannien vor Ort statt, weil es so vorgegeben wird und häufig auch sinnvoll ist. „Offshore-Anlagen sind ja nicht klein, da sollte der Transportweg möglichst kurz sein.“ Für deutsche Hersteller könnte das aber zu einem Problem werden, vor allem auch durch den parallel stattfindenden Einbruch der Onshore-Windkraft (siehe TR 2/2019, S. 68). In der gesamten Windkraftbranche arbeiteten in Deutschland zu Hochzeiten bis zu 150.000 Menschen. 2020 waren es noch etwas mehr als 100.000. Kapazitäten und Fachkräfte gehen verloren. „Es gibt zum Beispiel keine substantielle Rotorblattfertigung mehr in Deutschland“, sagt Reuter.

Trotzdem wird der Ausbau auch in Deutschland weitergehen. Nur eben mit Verzögerung. Nach Angaben des BWO werden ab 2022 die Windparks auf See in Betrieb gehen, die in den Ausschreibungsrunden 2017 und 2018 den Zuschlag erhalten haben. So soll sich die installierte Leistung sukzessive auf 10,8 Gigawatt bis 2025 steigern. Im Jahr darauf sollen die 2021 ausgeschriebenen Projekte ans Netz. Und die Bundesregierung hat sich wieder umbesonnen und das Ausbauziel für 2030 und 2040 wieder auf 20 respektive 40 Gigawatt erhöht.

Auch dafür tritt ab 1. September 2021 eine neue Raumordnung für die deutsche ausschließliche Wirtschaftszone in der Nord- und Ostsee (AWZ) in Kraft. Sie regelt die Nutzung von Militär, Fischerei, Rohstoffabbau, Forschung, Windenergie und Naturschutz in der 200-Meilen-Hoheitszone rund um die Küste.

Zumindest den Lobbyverband BWO stellt der zweite Entwurf zufrieden. „Er geht aus unserer Sicht in die richtige Richtung“, so Stefan Thimm vom BWO. Dem Ausbau der Windenergie auf See würden im Vergleich zum ersten Entwurf deutlich mehr Flächen bereitgestellt. Zielkonflikte zwischen allen Nutzungsarten seien klug abgewogen worden.



Quelle: EnergieWinde/BSH/WAB

Die Ausbaupläne für die Nordsee zeigen:
Es wird eng auf See.

Das sieht der Naturschutzbund Deutschland e. V. (Nabu) anders. „Die Raumordnung hat den Interessenausgleich verpasst, sichert Flächen für Schifffahrt und Offshorewind auf Kosten der Natur“, sagt Kim Detloff, Leiter Meeresschutz beim Nabu. Er trage das Ziel von 20 Gigawatt bis 2030 zwar mit, findet aber die Abstände zwischen den Windparks und zu den Schutzgebieten zu gering. Besonders kritisch sieht der Nabu, dass die Bundesregierung bis Ende 2024 prüfen will, ob sich auch im Naturschutzgebiet „Dogger Bank“, einer 18.000 Quadratkilometer großen Sandbank mitten in der Nordsee, 4 bis 6 Gigawatt installieren ließen. Dies soll unter der Federführung des Wirtschafts- und des Umweltministeriums passieren. „Interessanterweise ist das eher kritische Bundesamt für Naturschutz nicht beauftragt worden“, sagt Detlef.

Die Offshore-Windenergie drängt in Nord- und Ostsee in ein ohnehin belastetes System. Gehen sie als natürliche Kohlenstoffsenken verloren, könne man „gar nicht genug Windräder bauen, um das auszugleichen“. Detloff: „Wenn die Windenergie reingeht, muss etwas anderes wie Schifffahrt oder Fischerei raus.“ Doch das sei leider versäumt worden, obwohl es möglich gewesen wäre – etwa durch eine stärkere Einschränkung der Fischerei mit Grundschleppnetzen. Auch hätte eine der drei Schifffahrts-Linien vor Sylt gestrichen werden können, da zwei Linien für den bestehenden Verkehr ausreichen würden.

Die Befürworter eines beschleunigten Ausbaus verweisen darauf, dass Schiffsverkehr und Fischerei in den Offshore-Parks verboten seien und diese deshalb auch neue Lebensräume für Flora und Fauna bieten können. Laut BSH haben Biomasse und Artenvielfalt auf den Fundamenten der Anlagen tatsächlich zugenommen. Wie es sich damit aber langfristig verhält und ob dieser so genannte Riffeffekt großräumig wirkt, lässt sich noch nicht abschätzen.

Ebenso uneindeutig ist die Lage beim Lärm, der beim Rammen der Fundamente entsteht und der Robben, Seehunde und Schweinswale bedroht. Erst ab 2014 ist es gelungen, die vom BSH geforderten Lärmschutzwerte einzuhalten. Das am häufigsten dazu genutzte Verfahren ist der „große Blasenschleier“. Zwei mindestens 60 Meter von der Baustelle entfernte Ringe aus Luftblasen sollen einen Vorhang bilden, der den Schall dämpft. Nach einer vom BSH und Bundesumweltministerium geförderten Studie des Instituts für technische und angewandte Physik (Itap) von 2020 aber können Strömungen unter Wasser die Wirkung beeinträchtigen. Bei zunehmender Wassertiefe verringert sich zudem die Wirkung des Blasenschleiers. Deshalb wird er häufig mit anderen Systemen kombiniert.

Es gibt auch Verfahren, die gar nicht erst so großen Lärm entstehen lassen. Zum Beispiel die aus der Gasgewinnung bekannte Technik, bei der Vakuumpumpen Teile des Fundamentes in den Meeresboden einsaugen. Eingesetzt wurde sie bis-



Ein Blasenschleier in 60 Metern Abstand zur Baustelle soll Meeresbewohner vor dem Lärm der Rammarbeiten schützen. Mit zunehmender Wassertiefe verringert sich allerdings seine Wirkung.

lang aber erst bei zwei Windparks. Zudem ist das Verfahren nicht für alle Bodentypen geeignet.

Auch wenn von der Offshore-Branche beauftragte Studien gezeigt haben, dass die Populationen von Schweinswalen, Robben und Seehunden sich bislang nicht verringert haben: Die Anforderungen an den Schallschutz werden steigen. Erfahrungen gibt es bislang nur bei Pfahldurchmessern bis 8 Metern und Tiefen bis 40 Metern. Was aber, wenn die Anlagen immer größer werden? Dazu fehlen noch Erkenntnisse.

Beim Vogelschutz können KI-gesteuerte Abschaltautomatiken helfen. Nach einer Studie des BSH ist die Kollisionsgefahr für Seevögel ohnehin gering. Sie betrifft vor allem nachts ziehende Vögel. Am Tage würden diese den Anlagen ausweichen. Der Nabu sieht aber genau darin ebenfalls ein Problem: Weil Vögel den Windparks weiträumig ausweichen, verlieren sie dadurch ihre Habitate. Zumindest beim gefährdeten Seetaucher hat der Verband schon einen deutlichen Rückgang der Population festgestellt.

Bleibt das Problem Netzausbau. Der Flaschenhals ist vor allem der Weitertransport des Stroms an Land. Die Übertragungsnetzbetreiber haben den für 20 Gigawatt im Jahr 2030 nötigen Netzausbau zugesagt. Allerdings haben langwierige Genehmigungsverfahren und Bürgerproteste den Ausbau in der Vergangenheit immer wieder verzögert. „Der Ausbau des Stromnetzes kann

derzeit nicht mit dem der erneuerbaren Energien Schritt halten“, schreibt das Umweltbundesamt. „So kann bereits in einigen Regionen nicht mehr zu jeder Zeit der Strom aus erneuerbaren Energien vollständig abgenommen und übertragen werden.“ Ob sich das künftig ändern wird, steht in den Sternen.

Die Branche setzt auch deswegen auf Wasserstoff, produziert direkt auf hoher See. Die unter anderem von RWE, Eon, Linde, dem Hamburger Hafen und der Insel Helgoland getragene Initiative *Aqua Ventus* will bis 2035 aus zehn Gigawatt Windstrom eine Million Tonnen Wasserstoff pro Jahr erzeugen (siehe TR 3/2021, S. 55). Den Anfang sollen 2025 zwei 14-Megawatt-Anlagen mit integriertem Elektrolyseur vor Helgoland machen, deren Wasserstoff per Pipeline auf die Insel kommt – zunächst zur Versorgung von Helgoland selbst. Später sollen die Überschüsse per Schiff oder Pipeline an Land gebracht werden.

Kritiker halten wegen der hohen Umwandlungsverluste die direkte Nutzung des Stroms für sinnvoller: „Das verbraucht weniger Fläche und belastet somit das Ökosystem Meer weniger“, sagt etwa Kim Detloff vom Nabu. „Wasserstoff ist von der Effizienz nicht die cleverste Variante“, bestätigt Andras Reuter. „Aber wir haben keine Zeit mehr, wenn es darum geht, bestimmte industrielle Bereiche auf erneuerbare Energien umzustellen“ – etwa die Erzeugung von Hochtemperatur-Prozesswärme. Das sei besser, als noch Jahrzehnte auf den Ausbau des Stromnetzes zu warten. <

„Die Ereignisse überstürzen sich“

Der Batteriemarkt ist im Umbruch: Neue Materialien machen die Zellen günstiger und umweltfreundlicher, ein optimiertes Batteriedesign sorgt für längere Reichweite zu geringeren Kosten. Batterieforscher Maximilian Fichtner spricht über die Aufholjagd Europas und die Vor- und Nachteile der verschiedenen Konzepte.

INTERVIEW: GREGOR HONSEL

Mein Eindruck von der Batterieforschung ist: Immer, wenn sie gerade einen Bestandteil optimiert hat – etwa die Kathode –, bekommt sie Probleme mit etwas anderem, zum Beispiel dem Elektrolyt. Braucht man dafür eine besonders hohe Frustrationstoleranz?

Die brauchen Sie als Chemiker generell. Es gibt den Fall, dass man an einem Parameter dreht und ein paar andere Dinge funktionieren dann nicht mehr so gut. Aber es gibt auch den umgekehrten Effekt: Varta hat zum Beispiel der Anode Silizium zugemischt, um die Kapazität zu steigern. Gleichzeitig verbesserte sich dadurch die Schnellladefähigkeit. So etwas können Sie allerdings nicht immer im Voraus wissen. Es gibt viele, viele Schritte auf dem Weg zur fertigen Batterie und jeder dieser Schritte kann scheitern. Deshalb kommt nur ein Bruchteil von dem, was in den Labors gemacht wird, tatsächlich in einem kommerziellen System an.

Welche Schritte sind das?

Nehmen wir an, Sie wollen Kobalt in der Kathode schrittweise durch Mangan und Nickel ersetzen. Dann schauen Sie zunächst, ob Sie die gewünschte Kristallstruktur überhaupt hinbekommen. Als Nächstes machen Sie daraus eine Elektrode für kleine Knopfzellen. Meist stellen Sie dann fest, dass die Kapazität beim Be- und Entladen langsam abnimmt. Sie müssen also weiter optimieren. Wenn Sie denken, die Lösung zu haben, müssen Sie eine „Vollzelle“ in einem größeren Format bauen. Das ist eine Kunst für sich: Sie müssen vielleicht noch Zusätze zum Elektrolyten zugeben, die Oberfläche stabilisieren und so weiter. Irgendwann sind Sie an einem Punkt, wo Sie damit zu einer Chemiefirma gehen. Die sagen dann: „Wie soll ich davon bitte eine Tonne herstellen? Ich hab’ ja gar keinen Prozess dafür.“ Und wenn Sie das Ganze dann trotzdem hochskaliert bekommen, kann sich herausstellen: Aus irgendeinem Grund hat das Material nicht mehr diese tollen Eigenschaften wie die paar Gramm aus dem Labor. Oder es ist zu teuer und damit vielleicht nicht mehr konkurrenzfähig.

Könnte eine Künstliche Intelligenz solche Schwierigkeiten nicht vorher abschätzen?

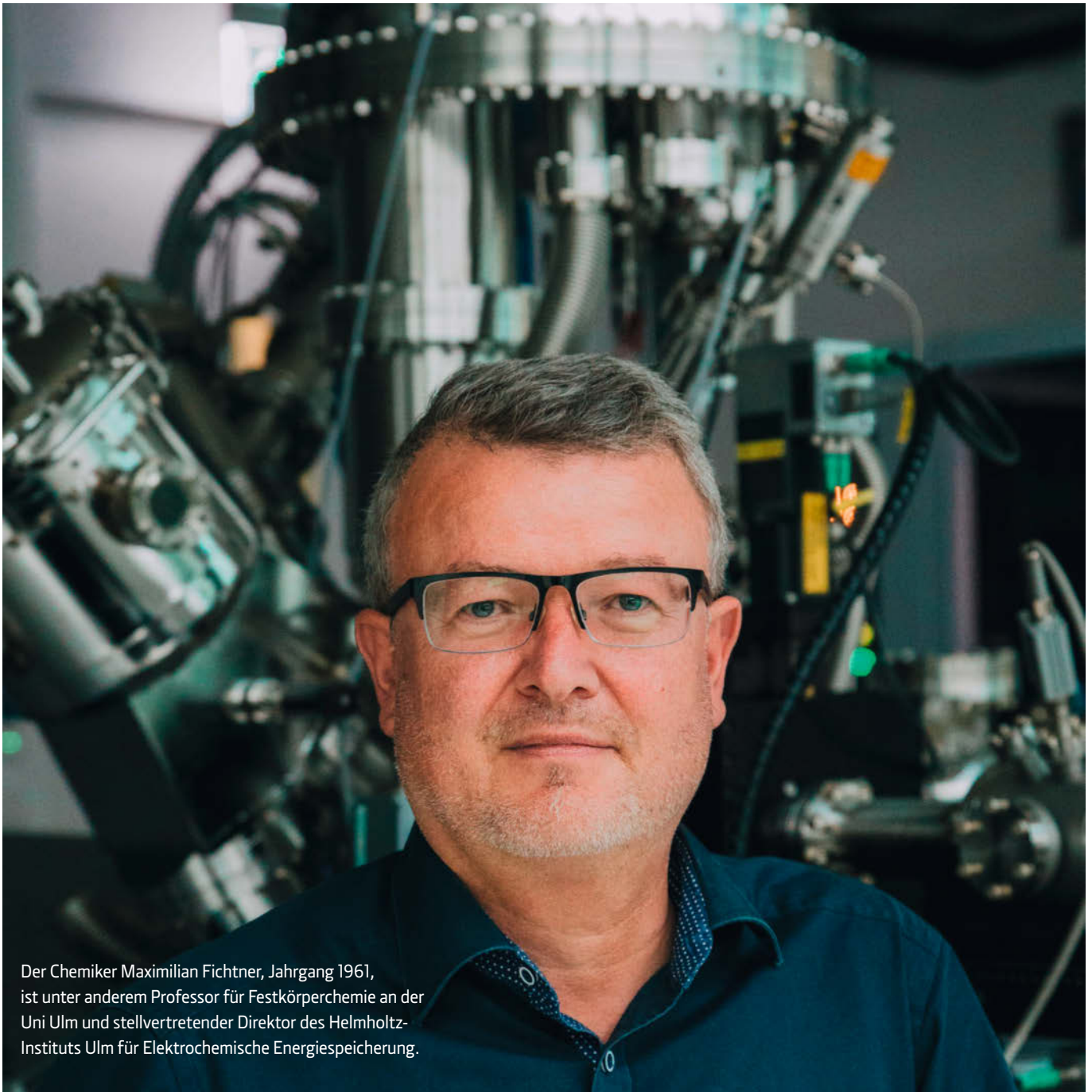
Schon früh kann man mit einer KI ableiten, ob ein Material etwa eher für den stationären oder den mobilen Bereich geeignet ist. Auch die Alterung von Zellen lässt sich mittlerweile recht erfolgreich damit vorhersagen. Jetzt versucht man, auch die Materialentwicklung zu beschleunigen. In Ulm bauen wir gerade eine riesige, europaweit einzigartige Anlage auf, mit einer autonomen, KI-gestützten Robotik.

Wie funktioniert dieser Roboter?

Der Roboterarm in der ersten Version hat einen Probenkopf aus dem 3-D-Drucker. Der Kopf ist mit ein paar Kubikzentimetern Elektrolyt gefüllt, das mit einer Pumpe in ein paar Sekunden ausgetauscht werden kann. Unten ist eine winzige Öffnung mit einer Gegenelektrode und einer Referenzelektrode. Der Kopf setzt dann auf eine Platte mit einer anderen Elektrode auf, zum Beispiel einer Magnesiumfolie. Dabei bildet sich eine Grenzfläche, ein dünnes Häutchen aus einem neuen Material, welches entscheidenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Batterie hat. Am Ende hat man eine Platte mit vielen Punkten drauf, die alle unterschiedliche Eigenschaften haben. Per Hochdurchsatz-Oberflächenanalytik oder Spektroskopie werden die dann autonom analysiert. Nachdem die KI aus den Ergebnissen etwas gelernt hat, sagt sie dem Roboter, was er als Nächstes zu tun hat – und so weiter, in einer Schleife. Das System erweitert auf diese Weise sein Wissen und man bekommt einen multidimensionalen Datensatz. Daraus kann die Mathematik Korrelationen erkennen, die außerhalb der üblichen Wahrnehmungsfähigkeit des Wissenschaftlers liegen. So können wir Treffer um den Faktor 5 bis 10 schneller identifizieren.

Über wie viele Materialkombinationen sprechen wir da?

Sagen wir mal tausend pro Tag. Sie kriegen in einer Woche eine Anzahl von Proben, für die ein einzelner Forscher sein ganzes aktives Forscherleben bräuchte.



Der Chemiker Maximilian Fichtner, Jahrgang 1961, ist unter anderem Professor für Festkörperchemie an der Uni Ulm und stellvertretender Direktor des Helmholtz-Instituts Ulm für Elektrochemische Energiespeicherung.

Bei wie vielen davon lohnt es sich, sie näher zu untersuchen?

Bei Batterien kann ich Ihnen das noch nicht sagen. In der Katalysatorforschung ist es ein Treffer auf einigen Tausend Daten. Unser Traum ist es, sagen zu können: Liebe KI, ich hätte gern ein Material mit diesen und jenen Eigenschaften, zeig mir bitte, wie ich das machen muss. Aber bis dahin ist es noch ein weiter Weg.

Ganz ohne Menschen geht es also auch in Zukunft nicht. Welche Eigenschaften sollte man als Batterieforscher denn idealerweise mitbringen?

Man muss neugierig und ehrlich sein. Mir scheint es, als ob Wissenschaftler manchmal unter dem Druck stehen, einen Wettbewerb gewinnen zu wollen. Sie lassen ihre Technik dann in beson-

ders gutem Licht erscheinen und verschweigen die Nachteile. Es führt aber zu nichts, sich in die Tasche zu lügen. Wir brauchen als Wissenschaftler auch Demut. Letztendlich fragen wir die Natur: Wenn ich das und das mache, welche Antwort gibst du mir? Diese Antwort müssen wir dann auch ehrlich zur Kenntnis nehmen.

Finden Sie genug Nachwuchs?

Jein. Wir hatten im letzten Jahr durch Corona keinerlei Schwierigkeiten, an gute Mitarbeiter zu kommen, – weil die Firmen praktisch gar nicht eingestellt haben. Üblicherweise gehen aber viele Absolventen in die Industrie. In der Forschung müssen wir uns da umschauen. Das führt auch dazu, dass wir hier sehr internationale Teams haben. Es gibt hervorragende Leute aus Indien und China. Seltener sind Leute aus den USA hier.

Ist die hiesige Batterieentwicklung im internationalen Vergleich denn wettbewerbsfähig?

Es ist in Europa zu großen Teilen gelungen, den Entwicklungsvorsprung der Chinesen einzuholen. Die Europäer haben in den letzten Jahren zwei bis drei Mal mehr investiert als China. Und Deutschland hat sich vom Enfant terrible der Batterieproduktion zum Musterknaben entwickelt. Es gibt kein Land in Europa, in dem mehr Gigafactorys geplant oder gebaut werden.

Haben diese neuen Fabriken einen Einfluss auf die Forschungslandschaft – oder sind das reine Produktionsstätten?

Das ändert sich gerade. In den letzten zehn Jahren konnten Sie mit einer Industriefirma nur kooperieren, wenn Sie etwas gemacht haben, was genau in deren Portfolio gepasst hat. Das ist in Asien anders. Dort arbeiten große Firmen sehr langfristig mit Einrichtungen zur Grundlagenforschung zusammen. Aber jetzt, da wir fast auf Augenhöhe mit den Chinesen sind, scheint sich die Lage auch hier ein bisschen zu entspannen. Die Firmen scheinen mehr Interesse zu haben an Themen, die in den nächsten 20 bis 30 Jahren relevant werden könnten.

Was kommt denn in Zukunft auf uns zu?

Die Ereignisse überstürzen sich etwas. Es gibt gleichzeitig Verbesserungen bei der Chemie und beim Batteriedesign. Allein bei der Anode kann man 30 bis 40 Prozent an Reichweite gewinnen, indem man dem Grafit speziell behandeltes Silizium beimischt, wie Varta das bereits macht. Und das Kathodenmaterial ist auch noch nicht am Ende.

Auf einem Batteriekongress im Februar haben die Teilnehmer darüber abgestimmt, was sie für das Batteriematerial der Zukunft halten. Das Ergebnis war Lithium-Eisenphosphat. Das hat mich etwas überrascht, denn das ist ja nichts wirklich Neues.

Lithium-Eisenphosphat hat Vorteile bei Kosten, Nachhaltigkeit und Sicherheit. Sie können einen Nagel in die Batterie einschlagen und es passiert nichts. Zudem kostet es nur etwa ein Achtel des herkömmlichen NMC-Materials (siehe Kasten). Das heißt: Das Ziel von unter 100 Dollar Zellkosten pro Kilowattstunde, bei dem das Batterieauto billiger wird als der Verbrenner, wurde im Prinzip letztes Jahr erreicht. Interessanterweise hat McKinsey das in einer Studie von 2017 erst für 2030 vorhergesagt. Es ist unglaublich, was für eine Dynamik da drin ist.

Ich dachte immer, Lithium-Eisenphosphat sei wegen zu geringer Energiedichte aus dem Rennen.

Es war immer klar, dass das Material in dieser Hinsicht keine Chancen hat gegen NMC. Die Dichte von Lithium-Eisenphosphat ist 2,75, die von Kobaltoxid ist 6. Sie brauchen also mehr als das doppelte Volumen an Lithium-Eisenphosphat für die gleiche Kapazität. Aber das eigentliche Speichermaterial macht nur etwa 25 Prozent von einem Batteriepack aus, die Kathode nur 15 Prozent. Der Rest sind die Kollektorfolien, Gehäuse, Verdrahtung, Elektrolyt, Grafit und so weiter – also totes Material. Wenn ich nun die Kapazität der Kathode verdoppele, spare ich nur rund acht Prozent des gesamten Batteriegewichts.

Batteriematerialien

Das Prinzip aller hier vorgestellten Batterietypen ist gleich: Positiv geladene Ionen wandern beim Laden von der Kathode zur Anode, beim Entladen in die Gegenrichtung (siehe TR 8/2020, S. 38). Die derzeit gebräuchlichste Variante ist NMC, aber andere holen auf.

Lithium-NMC

Kathode: Lithium-Nickel-Mangan-Kobaltoxid. Früher bestanden die Kathoden meist aus jeweils gleichen Teilen an Nickel, Mangan und Kobalt (NMC 111), der Trend geht aber zu niedrigeren Kobalt-Anteilen. Derzeit sind NMC 622 und NMC 811 gängig, die ersten kobaltfreien Materialien („NMX“) kommen gerade auf den Markt.

Anode: Grafit

Elektrolyt: flüssig

- ⊕ bewährt
- ⊕ hohe Energiedichte (entscheidend für Reichweite)
- ⊖ „thermisches Durchgehen“ (ungebremste Verbrennung) möglich
- ⊖ teilweise problematische Rohstoffe

Lithium-Eisenphosphat

Kathode: Lithium-Eisenphosphat (LiFePO₄)

Anode: Grafit

Elektrolyt: flüssig

- ⊕ preiswert
- ⊕ sicher
- ⊕ langlebig
- ⊕ hohe Leistungsdichte (entscheidend für Schnellladefähigkeit)
- ⊕ unproblematische Rohstoffe
- ⊖ relativ niedrige Energiedichte
- ⊖ Probleme bei niedrigen Temperaturen

Lithium-Feststoffzelle

Kathode: poröser Kohlenstoff

Anode: metallisches Lithium

Elektrolyt: fest

- ⊕ hohe Energiedichte
- ⊖ noch nicht marktreif
- ⊖ Kosten unklar

Natrium-Ionen

Kathode: Preußisch Weiß (bei CATL)

Anode: poröser Kohlenstoff

Elektrolyt: flüssig

- ⊕ preiswert
- ⊕ sicher
- ⊕ langlebig
- ⊕ hohe Leistungsdichte
- ⊕ wenig empfindlich gegenüber tiefen Temperaturen
- ⊕ unproblematische Rohstoffe
- ⊖ niedrige Energiedichte

Wie lässt sich bei der Gewichtseinsparung ein größerer Hebel nutzen?

Genau das machen Tesla und CATL sowie BYD. Statt kleinteiliger Zellen in Schokoladentafelgröße bauen sie eine Zelle, die man als Folie über den ganzen Pack ziehen kann. Die chinesische Version des Tesla Model 3 hat dadurch nur noch 4 statt 16 Module. CATL sagt, sie gewinnen dadurch 20 Prozent Raum für die Speichermaterialien und sparen 40 Prozent an Aufbau- und Verbindungstechnik. Das ist gigantisch.

Und was macht BYD?

BYD ist noch einen Schritt weiter gegangen. Ihre „Blade Battery“ ist eine etwa 15 Zentimeter dicke Platte im Unterboden. Wie sie es genau gemacht haben, weiß man noch nicht, aber sie sagen, sie haben für die Kathode 50 Prozent mehr Raum geschaffen. Und jetzt kommt Lithium-Eisenphosphat ins Spiel. Sie könnten natürlich diesen zusätzlichen Platz mit einem NMC-Material ausfüllen. Dann hätten Sie eine Batterie für 900 oder 1 000 Kilometer Reichweite. Aber mit Lithium-Eisenphosphat sind es immer noch 600 Kilometer.

Reicht ja.

Genau. Ich fahre seit fünf Jahren elektrisch. Ich brauche nicht unbedingt 900 Kilometer Reichweite. Ich finde es wichtiger, schnellladefähig zu sein.

Und bei der Schnellladefähigkeit sieht es bei Lithium-Eisenphosphat ja wieder ganz gut aus.

In der Formel 1 gibt es das „Kinetic Energy Recovery System“, KERS. Das ist eine Batterie, die beim Bremsen auflädt und beim Überholen wieder Energie abgibt. Lewis Hamilton hatte 2008 bei seinem ersten Weltmeistertitel ein KERS-System mit einer Lithium-Eisenphosphatbatterie im Kreuz. Vor allem, weil sie leicht und sicher ist. Das zeigt, welches Potenzial sie beim Schnellladen hat.

Hat Lithium-Eisenphosphat auch Nachteile?

Es wurde berichtet, dass Leute beim Tesla Model 3 mit Lithium-Eisenphosphat-Batterien im Winter Probleme mit der Schnellladefähigkeit hatten. Das liegt an der besonderen Struktur des Eisenphosphates. Es gibt aber eine technische Lösung: dünne Nickelfolien zwischen den Elektroden, die den Pack beim Beladen vortemperieren.

Wie sieht es mit der Haltbarkeit aus?

Wenn Sie heute ein Elektrofahrzeug kaufen, dann hält die Batterie etwa 2 000 Vollzyklen. Mit Lithium-Eisenphosphat können Sie 10 000 Zyklen machen. Bei 400 Kilometern Reichweite sind das vier Millionen Kilometer.

Wer braucht so etwas?

Wenn es tatsächlich dazu kommt, dass man autonome Autos per App bestellen kann, dann sind die fast rund um die Uhr unterwegs. Das entspricht 150 000 bis 200 000 Kilometern pro Jahr. Als Flottenbetreiber kann ich mich zwischen einem Verbrenner

entscheiden, der nach zwei Jahren schon das Ende seiner Lebensdauer erreicht, und einem Elektroauto, das mindestens fünf Jahre fahren kann. Interessanterweise hat die amerikanische Firma Waymo vor ein paar Monaten bei Tesla 63 000 autonom fahrende Mini-Vans bestellt, obwohl es die noch gar nicht gibt. Das heißt, die haben einfach mal eine Milliarde Dollar Investment festgelegt auf etwas, was es noch nicht gibt. Das ist unglaublich! Das heißt umgekehrt aber auch, dass sie sich relativ sicher sind, was kommt.

Lange Zeit galt die Feststoffzelle wegen ihrer potenziellen Energiedichte als Zukunft der Batterietechnik. Wenn ich mir anhöre, was schon alles mit Lithium-Eisenphosphat geht – was kann die Feststoffzelle darüber hinaus eigentlich noch bieten?

Ich glaube, dass die Feststoffzelle (siehe Kasten) durchaus ihre Berechtigung hat. Ich sehe aber nicht alles so rosig wie ihre Befürworter. Ihre Energiedichte kommt daher, dass man auf der Anodenseite metallisches Lithium verwendet. Allerdings bilden sich auf der Oberfläche des Lithiums beim fortgesetzten Be- und Entladen Nadeln, die dann durch die Zelle wachsen und einen Kurzschluss verursachen. Wenn wir einen festen statt einen flüssigen Elektrolyten nehmen, ist der erstens nicht mehr brennbar und verhindert zweitens, dass Dendriten da durchwachsen. Trotzdem haben wir immer unverdünntes Lithium, das an feuchter Luft anfangen könnte zu brennen, zum Beispiel bei einem Unfall. Zudem sind Feststoffzellen aus lauter dünnen Keramikschichten aufgebaut. Ich kann noch nicht sagen, ob so ein System im alltäglichen Betrieb sicher und robust genug sein wird. Und vor allem: Bei der klassischen Batterie haben wir einen dramatischen Abfall der Kosten. Das wissen wir bei der Feststoffzelle noch nicht.

Was ist sonst noch zu erwarten?

Der Stationärmarkt, also etwa Hausspeicher oder Pufferspeicher für das Stromnetz, boomt im Augenblick unglaublich. Wir haben 40 Prozent Zuwachs pro Jahr. In Australien konnte man dank großer Batterien von Tesla zwei Kohlekraftwerke abschalten, die nur zur Netzstabilisierung da waren. Batterien sind ja in den letzten zehn Jahren um 90 Prozent billiger geworden. Das setzt sich weiter fort. Ab einem bestimmten Punkt können Sie auch über Speicher nachdenken, die eine Versorgung über mehrere Tage ermöglichen, sodass keine Saisonspeicher mehr benötigt werden. Dafür muss aber eine andere Chemie her, auf der Basis von Rohstoffen, die häufiger vorkommen.

Auf Basis von Natrium-Ionen, nehme ich an?

Das ist im Augenblick am weitesten fortgeschritten. CATL will jetzt als größter Batterieproduzent weltweit Natrium-Ionen-Batterien produzieren. Zunächst wollen sie damit Bleibatterien ersetzen, dann Zwei- und Dreiräder ausrüsten und dann in den stationären Markt gehen. Sie sagen, dass das Material für Natrium-Ionen-Batterien zwei bis drei Mal billiger ist als Lithium-Eisenphosphat. Ich glaube, wir werden uns noch wundern, was noch alles möglich sein wird. Ich verfolge das mit großen Augen wie ein kleines Kind. <

Update für die Öffis

Die Pandemie hat die Nutzung des öffentlichen Nahverkehrs auf den Kopf gestellt. Verkehrsplaner überdenken nun ihre Prioritäten und setzen immer mehr auf Daten.

VON JOHN SURICO UND GREGOR HONSEL

Um das Coronavirus zu bremsen, stellte die New Yorker U-Bahn im Frühjahr 2020 zum ersten Mal seit 115 Jahren ihren Nachtbetrieb ein. Das bedeutete: Die *Metro-politan Transportation Authority* (MTA), ihre Aufsichtsbehörde, musste mehr als 1000 Kilometer Bahnstrecke durch Buslinien ersetzen.

Auch in Deutschland hat die Pandemie den öffentlichen Verkehr ausgebremst. „Die Fahrgastzahlen sind überall dramatisch zurückgegangen“, bestätigt das zu Siemens gehörende Unternehmen *Hacon*, das unter anderem die „DB Navigator“-App erstellt hat (siehe TR 9/2015, S. 40).

Nach einer bisher unveröffentlichten Studie des *Wissenschaftszentrums Berlin für Sozialforschung* geht der Einbruch allerdings nur zum Teil darauf zurück, dass viele Menschen Busse und Bahnen aus Angst vor Ansteckung meiden. Oft fehle es dem ÖPNV schlicht an „Flexibilität und Produktqualität“, zitiert der Spiegel aus der Studie. Den Anbietern falle es schwer, sich auf die veränderte Arbeitswelt einzustellen. „Wer morgens im Homeoffice arbeitet und erst nachmittags ins Büro fahren will, bemerkt beispielsweise schnell, wie ausgedünnt die Verbindungen außerhalb der morgendlichen und abendlichen Stoßzeiten vielerorts sind“, so der Spiegel.

Um auf solche Veränderungen reagieren zu können, brauchen die Verkehrsbetriebe vor allen Dingen Daten. In New York loggen sich die Planer der MTA dazu bei *Remix* ein, einem der weltweit am weitesten verbreiteten Transportplanungs-Programme. Damit hatte die MTA schon ihr Busnetz in Queens überarbeitet. Aber für das neue Vorhaben brauchte sie mehr Informationen: Wo lebten die Menschen, die auf den Nachtservice angewiesen sind? Und wohin waren sie unterwegs?

Das Remix-Team zog Daten aus einer Vielzahl von Quellen heran und fügte sie in das Tool ein. Das Ergebnis waren drei neue Busrouten, die etwa Mitarbeiter des Gesundheitswesens aus der Bronx in den Westen Manhattans brachten. Eine Planung, die normalerweise Wochen bis Monate gedauert hätte, war in wenigen Tagen erledigt.

Die Software von Remix ist zunächst eine Art Kosten-Nutzen-Kalkulator. Zeichnet ein Planer eine neue Route auf die Karte, schätzt die Plattform ab, was sie kosten und wie viele potenzielle Passagiere sie ansprechen würde. Mit ein paar Klicks lassen sich demografische Informationen und derzeitige Fahrgastzahlen aufrufen. Auch die Einführung von autofreien Stra-

ßen, breiteren Gehwegen oder Sharing-Systemen kann das System simulieren.

Jarrett Walker, ein renommierter Verkehrsberater, war einer der ersten Berater von Remix. Er schlug vor, auch die Fahrzeit zu integrieren. Daraus entstand eines der beliebtesten Werkzeuge der Plattform: die Reisezeit-Indikatoren („Isochronen“). So, wie Isobaren auf der Wetterkarte die Punkte gleichen Luftdrucks miteinander verbinden, zeigen die Isochronen alle Orte, die von einem bestimmten Ausgangspunkt beispielsweise innerhalb von 15 oder 30 Minuten zu erreichen sind. Eine Isochronen-Karte für Berlin zeigt für 1819 noch relativ konzentrische Kreise um das Zentrum, weil die Postkutsche in jeder Himmelsrichtung etwa gleich schnell war. 1906 hingegen haben die Isochronen tentakelförmige Ausbuchtungen entlang der Bahnstrecken gebildet. Sie zeigen unter anderem, dass sich



Breslau damals genauso schnell erreichen ließ wie das deutlich nähere Schwerin.

Die Isochronen spiegeln Walkers Philosophie wider: Verkehrsplaner sollen eher Möglichkeiten schaffen als Muster vorhersagen. Die Verfügbarkeit, nicht die Fahrgastzahlen, sollte der Maßstab sein. Denn die reale Nutzung spiegelt oft genug nicht die tatsächlichen Bedürfnisse der Bevölkerung wider, sondern nur den Service, den eine Verkehrsgesellschaft auf einer bestimmten Linie anbieten kann oder will. Auf dieser Basis hat Walker etwa kürzlich das Busnetz von Dallas umgestaltet. Ein durchschnittlicher Bewohner soll künftig innerhalb einer Stunde rund ein Drittel mehr potenzielle Arbeitsplätze erreichen können als bisher.

Natürlich gibt es Probleme, die Technik nicht lösen kann – zum Beispiel, verloren gegangenes Vertrauen in ein System wiederherzustellen. Oft genug brauchen Verkehrsgesellschaften aber nur Hilfe dabei, ihre Optionen auszuloten, argumentiert Evan Landman, Verkehrsanalyst in Walkers Firma: „Es gibt eine weit

Leere U-Bahn-Station in Hamburg. Durch die Pandemie ist der öffentliche Nahverkehr nicht nur insgesamt zurückgegangen – auch die Bedürfnisse der Nutzer haben sich verändert. Um Bahnen und Busse sinnvoller einsetzen zu können, sind viele Daten nötig.



Foto: Getty Images

© Copyright by Heise Medien.

verbreitete Auffassung, dass städtische Verkehrsplanung ein komplexes technisches Problem ist. Dabei handelt es sich in Wirklichkeit um ein heikles politisches Thema – mit seit langem bekannten Lösungen.“

» Es gibt keine Rushhours mehr, und viele bezweifeln, dass sie je wiederkehren werden.«

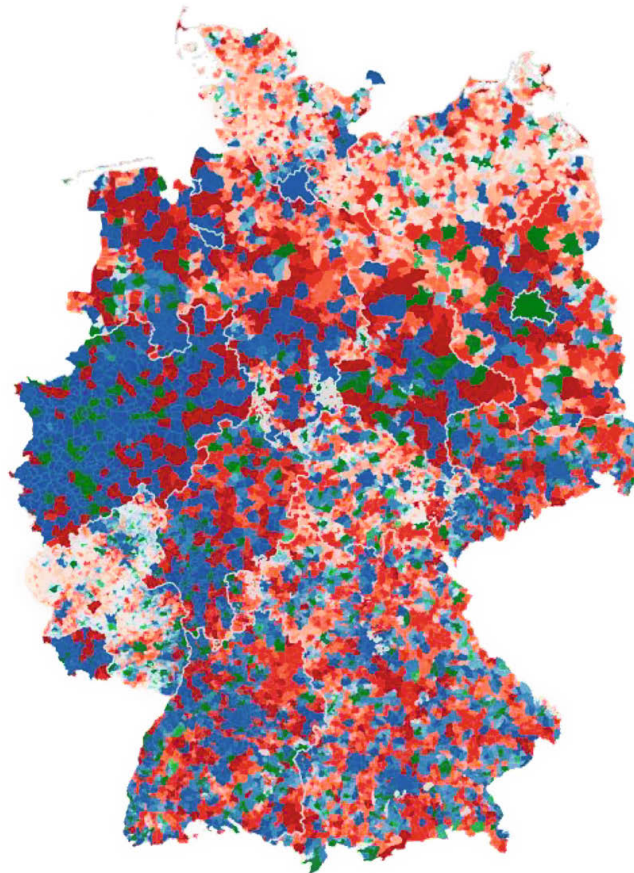
Remix beschäftigt heute etwa 70 Mitarbeiter und hat rund 350 Verkehrsbetriebe auf fünf Kontinenten als Kunden, darunter in so unterschiedlichen Städten wie London, Krakau, Tallinn, Luxemburg, Göteborg, Duisburg, Münster, Saarbrücken, Ulm, Leipzig und Berlin. Jeden Tag interagieren mehr als 240 Millionen Menschen mit Planungen auf Basis dieser Plattform. Im März erwarb das New Yorker Sharing-Unternehmen *Via* Remix für 100 Millionen Dollar.

Eine Art offenes Gegenmodell dazu will das Bundesverkehrsministerium mit dem „Datenraum Mobilität“ schaffen: einen Marktplatz für Mobilitätsdaten. Die Daten können von Pkws, Bussen, Bahnen, Ampeln, Parkhäusern, Logistikdienstleistern, Navigationsprogrammen, Bike-Sharing-Anbietern, Mitfahrzentralen, Wetterstationen, Luftsensoren oder Ladenetzbetreibern stammen. Anbieter können frei entscheiden, wer ihre Daten zu welchem Preis erwerben kann. Die Daten sollen dann über ein standardisiertes Verfahren direkt zwischen den Akteuren ausgetauscht werden, ohne Speicherung in einer Cloud. Bis 2024 ist die Teilnahme kostenlos.

„Es geht um den Erhalt unserer Souveränität bei der Kommerzialisierung unserer eigenen Mobilitätsdienste“, sagte Verkehrsminister Andreas Scheuer zur Gründung der Non-Profit-Organisation *DRM Datenraum Mobilität GmbH*. Das ist wohl in Richtung US-amerikanischer Dienste wie Uber und Lyft gemeint, die gewaltige Datenmengen anhäufen, sie aber nur widerwillig teilen (siehe TR 8/2017, S. 38). Die neue Plattform soll es nun Start-ups und „kreativen Köpfen“ ermöglichen, „innovative Anwendungen ohne Angst vor großen Datenkraken“ zu verwirklichen. Welche Unternehmen und Organisationen den Datenpool speisen werden und wie solche Anwendungen aussehen können, war zu Redaktionsschluss noch offen.

Solche Daten können helfen, die traditionellen Verkehrsnetze umzubauen, deren Linien wie Speichen von einer Nabe ausgehen und die vor allem zentrale Geschäftsviertel bedienen. Die Pandemie hat dieses Modell auf den Kopf gestellt. Es gab keine Rushhours mehr und viele bezweifeln, dass sie je wiederkehren werden. Außerhalb der zentralen Korridore gingen die Fahrgastzahlen in den USA allerdings weniger stark

Für den „Infrastrukturatlas Deutschland“ wurde für 22 Millionen Adressen berechnet, wie schnell die Bewohner mit dem Auto, dem Fahrrad, dem ÖPNV oder zu Fuß zu 22 verschiedenen „Infrastrukturtypen“ gelangen – etwa Krankenhäuser, Kindergärten oder Schulen. In grün markierten Gemeinden geht es besonders schnell, in roten langsam. Je dunkler die Farbe, desto größer die entsprechende Gemeinde.



Anzahl EW	Schnell	Mittel	Langsam
> 7.050			
> 2.620 – 7.050			
> 1.139 – 2.620			
> 492 – 1.139			
0 – 492			

Grafik: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Verfügbarkeit von Infrastruktureinrichtungen in Deutschland – Infrastrukturatlas zu Fahrzeiten und lokalen Knappheiten

zurück oder stiegen teilweise sogar an. Auf diese Verbindungen sind gerade ärmere Menschen angewiesen, die meist weiter draußen wohnen und seltener ein Auto besitzen. Sie wurden von den Planern typischerweise übersehen, weil die Passagierzahlen dort niedriger sind und damit auch die Erlöse. Also schränken die Verkehrsbetriebe dort das Angebot ein, was die Fahrgastzahlen weiter sinken lässt – und so fort, in einem klassischen Teufelskreis.

Doch seit Beginn der Pandemie hat Tiffany Chu, Mitgründerin von Remix und frisch gebackene CEO, eine bemerkenswerte Veränderung bei den Datensätzen festgestellt, die von den Verkehrsbetrieben angefordert werden. Statt um den Weg zum Job gehe es jetzt mehr um den Zugang zu wichtigen Dienstleistungen wie Gesundheitsversorgung, Bildung und Lebensmittel. „Wenn man sich nur die Lage der Arbeitsplätze ansieht, sieht man wahrscheinlich nicht das ganze Bild“, sagt Chu. „Man muss auch auf die grundlegenden Bedürfnisse schauen – etwa, wo man frische Lebensmittel kaufen kann. Dies ist einer der wichtigsten Maßstäbe, der üblicherweise nicht bei Diskussionen über Verkehrssysteme genutzt wird.“

Auch für Deutschland gibt es mittlerweile einen vergleichbaren Datensatz. Im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums wurden etwa zwei Milliarden Verbindungen durchgerechnet, unter anderem mit Daten von Hacon. Dabei ging es um die Erreichbarkeit von 22 Zielen wie Krankenhäusern, Arztpraxen, Unis, Schulen, Kitas, Museen, Schwimmbädern, Rathäusern oder Polizeistationen – und zwar mit ÖPNV, Auto, Fahrrad und

zu Fuß. Das Ergebnis floss in einen Ende 2020 veröffentlichten „Infrastrukturatlas“ ein (www.infrastrukturatlas-deutschland.de). Dort zeigen bunte Karten, in welchen Regionen Deutschlands die öffentlichen Einrichtungen eher gut (grün) oder eher schlecht (rot) zu erreichen sind. „Dadurch lassen sich Investitionen besser abschätzen und öffentliche Mittel gezielter einsetzen“, heißt es auf der Webseite.

Die Apps von Hacon produzieren laufend auch weitere wertvolle Daten. „Wir wissen genau, welche Bus- oder Zugfahrt wirklich stattgefunden hat, wo die Fahrgäste ein- und aussteigen, wann die Stoßzeiten sind, wo man überdurchschnittlich lang auf Anschlüsse wartet und wo es unzureichende Anbindungen gibt“, sagt Hacon-Sprecherin Leonie Wilken. „Anhand adressgenauer Anfragen kennen wir die zurückgelegten Wege sogar bis ins Detail.“ Das Ganze sei, betont sie, selbstverständlich datenschutzkonform.

Gemeinsam mit dem französischen Partner Padam Mobility hat Hacon zudem ein Simulationstool geschrieben, das anhand solcher Daten unter anderem Kosten, Umsatz und Auslastung von Strecken vorhersagt. Damit können Verkehrsbetriebe beispielsweise herausfinden, wo sich Shuttle-Busse lohnen, die nur bei Bedarf herbeigerufen werden. Und gemeinsam mit Siemens Mobility entstanden selbstlernende Algorithmen, welche die Auslastung von Linien und sogar einzelner Waggons mehrere Tage im Voraus vorhersagt. Sie sind bereits beim Rhein-Main-Verkehrsverbund im Einsatz und sollen Nutzern helfen, überfüllte Züge zu meiden. <

Beyond Code

Meistere die nicht-technischen Erfolgsfaktoren
in der Softwareentwicklung



12. Oktober 2021 Online

Effektive Zusammenarbeit in Softwareprojekten – Es geht um dich, dein Team und deine Organisation

- » In meinem Team funktioniert die **Zusammenarbeit** nicht.
Wie gehen wir besser mit Konflikten um?
- » Niemand übernimmt bei uns **Verantwortung**.
Was können wir daran ändern?
- » Wir haben keine Zeit zum **Lernen**.
Wie schaffen wir uns Freiräume dafür?
- » Ständig liefern wir neue Features, aber oft ohne Erfolg.
Wie **priorisieren** wir das richtig?
- » Es gibt eine Angst vor **Veränderung** bei uns.
Wie drehen wir die ins Positive?

Jetzt
Tickets
sichern!

www.continuouslifecycle.de

Platinsponsor



Goldsponsor



Veranstalter



heise Developer

dpunkt.verlag

Zwischen Eindhoven und Veldhoven schwebt der Radverkehr auf einem Kreisverkehr über eine große niederländische Auto-Kreuzung hinweg. Rund 5000 Radfahrer nutzen täglich den Hovenring.



Forschen für das Fahrrad

Dass weniger Auto- und mehr Fahrradfahren eine gute Idee ist, um das Klima und die Städte zu entlasten, ist beim Verkehrsministerium langsam angekommen: Im letzten Jahr hat es 8,3 Millionen Euro für sieben „Stiftungsprofessuren Radverkehr“ bereitgestellt. Wir haben bei sechs von ihnen nachgefragt, wie sich der Anteil des Fahrradverkehrs erhöhen lässt.

VON JO SCHILLING

Mit den Fahrrad-Professuren soll der Radverkehr in der Forschung und Ausbildung von Verkehrsplanerinnen und -planern Fuß fassen – dafür stehen den Lehrstühlen für fünf Jahre jährlich jeweils bis zu 400 000 Euro zur Verfügung. Bis 2023 hält das Bundesministerium für Verkehr zudem 125 Millionen Euro für die Realisierung von

Modellprojekten bereit. Sechs der sieben Professuren sind inzwischen besetzt und wollen für neuen Schwung im Sattel sorgen und den verkehrsplanerischen Nachwuchs für Sicherheit, Fußverkehr und Logistik fit machen. Wir haben Angela Francke (Hochschule Karlsruhe), Heather Kathes (Universität Wuppertal), Dennis Knese (Frankfurt UAS), Jana Kühl (Ostfalia

Foto: picture alliance / Jochen Tack

Hochschule), Martina Lohmeier (Hochschule RheinMain) und Christian Rudolph (Technische Hochschule Wildau) gefragt, wie sie den Radverkehr in Deutschland stärken wollen.

Viel Forschungsbedarf

Wer regelmäßig mit dem Rad unterwegs ist, kennt die Situation in vielen deutschen Städten: Es ist zu eng für Radfahrende, der Autoverkehr rauscht teilweise nur wenige Zentimeter an ihnen viel zu schnell vorbei. Städte für Radelnde attraktiver zu machen, könnte doch eigentlich ganz einfach sein: Straßen zugunsten von Radwegen verschlanken und Tempo drosseln.

Weshalb müssen dafür sieben Professuren eingerichtet werden?

Angela Francke: Die Forschung im Bereich Fahrrad und Radfahrende umfasst deutlich mehr als nur das Thema der Infrastruktur. Um Menschen zum Radfahren zu motivieren, die bisher das Fahrrad im Alltag kaum nutzen, gilt es herausfinden, wie diese Personen zum Radfahren motiviert werden können.

Martina Lohmeier: Es sind wichtige Fragen zu beantworten: Welche Nutzergruppen haben welche Sicherheitsbedürfnisse? Wie wirkt sich welche Situation auf das Fahrverhalten aus? Welche kombinierten, verkehrsträgerübergreifenden Angebote müssen wir schaffen? Wie können wir die Vision Zero im Straßenverkehr erreichen?

Heather Kath: Mehr Platz für den Radverkehr ist definitiv notwendig. Aber wo sollte dieser Raum zugewiesen werden? Derzeit werden Werkzeuge verwendet, die für den Kfz-Verkehr entwickelt und für Radfahrer leicht angepasst wurden. Wir müssen Werkzeuge erstellen, die den Fluss des Radverkehrs und die Entscheidungen von Radfahrenden widerspiegeln.

Christian Rudolph: Es geht darum, die Lebensräume, die wir uns in den letzten 100 Jahren rund um das Auto geschaffen haben, umzubauen.

Dennis Knese: Durch die sieben Stiftungsprofessuren erhalten wir in Deutschland ein wissenschaftliches Kompetenzcluster, das in dieser Form zuvor nicht existierte.

Heather Kath: Um ein Netz attraktiver, sicherer Infrastruktur zu schaffen, müssen wir Personen für die Umsetzung ausbilden.

Mehr Attraktivität für das Rad

Fahrradforschung kann nicht nur Infrastrukturforschung sein, sondern es muss auch darum gehen, wie man Menschen aufs Rad bringt. Breite, sichere Radwege sind die

Voraussetzung für sicheres Pendeln mit dem Fahrrad, aber noch kein Grund für den Umstieg. Die Hemmnisse sind manchmal trivial. Zu kalt, zu warm, zu nass, um ungeschützt mit dem Rad zur Arbeit zu fahren. Manchen dauert es zu lange oder ist

schlicht zu anstrengend. Eine Studie von Mobilität in Deutschland (MID) hat aber auch gezeigt, dass der Zugang zum Fahrrad von der Wohnung ein Schlüsselfaktor ist, ob das Rad genutzt wird oder nicht. Wer es erst aus dem Keller hochschleppen muss, nimmt lieber das Auto. Auch die Sicherungsmöglichkeiten sind ein wichtiger Faktor – weniger als 60 Prozent der Menschen in Metropolen geben an, ihr Fahrrad einfach sichern zu können, und wer Sorge hat, dass es gestohlen wird, lässt es lieber zu Hause.

Wo sehen Sie als Fahrradprofessorinnen und -professoren zentrale Anknüpfungspunkte, um mehr Menschen auf das Fahrrad zubekommen?

Angela Francke: Im Endeffekt geht es darum, eine gute Erfahrung zu machen mit dem Alltagsradeln, um diese als eine attraktive Fortbewegungsmöglichkeit in seinen Entscheidungsspielraum aufzunehmen.

Christian Rudolph: Neben dem infrastrukturellen Ausbau können auch finanzielle Anreize, zum Beispiel Ticketrabatte und Serviceangebote wie Reparaturmöglichkeiten, sinnvoll sein, die eine intermodale Nutzung von Fahrrad und öffentlichem Personennahverkehr attraktiver werden lassen.

Dennis Knese: Es gilt auch über Maßnahmen nachzudenken, die das Autofahren weniger attraktiv machen, wie Parkraummanagement, Geschwindigkeitsbegrenzungen, City-Maut ... Wir sehen ja den Fahrradboom im Freizeit- und Tourismusbereich. Warum dann also nicht auch für den Weg zur Arbeit?! Anreize von Arbeitgebern und Regionen können hier wirken. Dazu bedarf es eines Kulturwandels in der Verkehrspolitik und Verwaltung nach niederländischem Vorbild.

42%
fahren nicht mit dem
Rad zur Arbeit, weil
ihnen der Weg zu
weit ist.

Konsequenter Verkehrsmix

Alle Professuren haben einen Verkehrsmix im Blick, denn auf längeren Strecken ist das Fahrrad nur für die Hartgesottenen attraktiv. Diese intermodale Verknüpfung von öffentlichem Nah- und Fernverkehr und dem Fahrrad ist theoretisch jetzt bereits möglich. In der Praxis scheitern Fernreisende häufig an zu wenigen Plätzen für Fahrräder in den Zügen. Ob und wann man sein Fahrrad in Bus oder Straßenbahn mitnehmen kann, hängt von den jeweiligen Verkehrsbetrieben ab. In Hannover sind bis zu drei Fahrräder in Bus oder Bahn außerhalb der Stoßzeiten erlaubt. Das ist derzeit noch keine Option, mit der sich Fahrrad und öffentliche Verkehrsmittel auf dem Weg zur Arbeit kreativ verbinden lassen. Und ein Fahrrad in einen Linienbus einzufädeln, stellt einen auch vor motorische Herausforderungen.

Die derzeit in der Breite noch nicht einmal mögliche intermodale Nutzung ist nur der erste Schritt. Wie soll es weitergehen?

Angela Francke: Am Ende geht es nicht darum, jeden Verkehr auf den Radverkehr zu verlagern, sondern den motorisierten

66%
nutzen das Fahrrad
für Einkäufe
und kleine Erledigungen.



Foto: picture alliance / Rupert Oberhäuser

Der Radschnellweg Ruhr, kurz RS1, soll künftig Duisburg mit Hamm verbinden. Von den geplanten 100 Kilometern sind allerdings erst 15 fertig. Zwischen Mülheim an der Ruhr und Essen führt der RS1 auf der ehemaligen Bahntrasse der Strecke Osterath–Dortmund über die Ruhr.

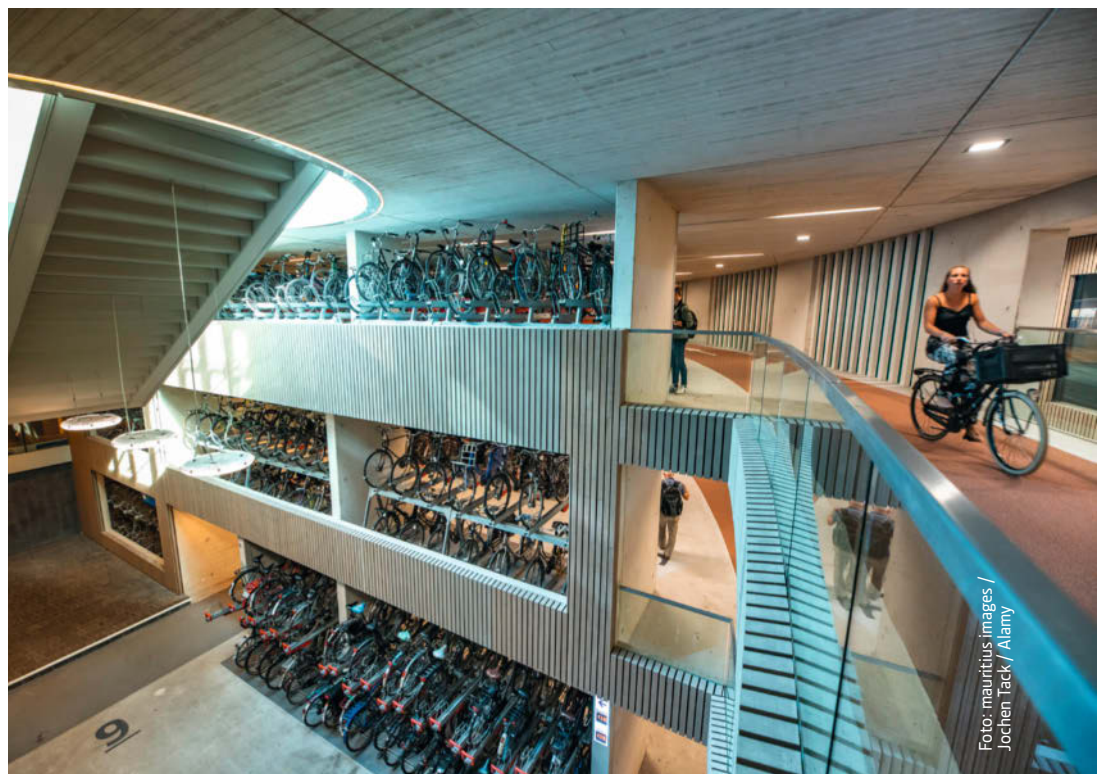


Foto: mauritius images / Jochen Tack / Alamy

In Utrecht am Hauptbahnhof steht das größte Fahrradparkhaus der Welt. Auf drei Geschossen haben über 13 000 Fahrräder darin Platz. Die Radfahrenden können bis zur Parklücke radeln – wie in Autoparkhäusern zeigen elektronische Signale freie Parkplätze an.

Individualverkehr auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel zu verlagern. Oder auch komplett neue Lösungen zu finden, zum Beispiel durch eine Stadt der kurzen Wege.

Martina Lohmeier: Wir sollten uns von dem Gedanken lösen, ein Standardverkehrsmittel zu haben, und die bereits vorhandene Vielfalt viel besser nutzen, ausbauen und die Angebote gut aufeinander abstimmen. Dennoch wäre ein erster Schritt, in Stadtquartieren, Innenstädten, Ortskernen etc. die Planungsphilosophie grundlegend zu erneuern und den Fokus auf Zufußgehende, Radfahrende und Barrierefreiheit zu legen.

Christian Rudolph: Ein Netz von Radschnellwegen, das Kommunen miteinander verbindet, reduziert die Fahrzeit und schafft Akzeptanz auch für größere Distanzen als die bisherigen 3,8 Kilometer, die die Deutschen durchschnittlich laut MiD2017 pro Strecke fahren. In der Metropolregion Kopenhagen und in Teilen der Niederlande ist das bereits umgesetzt. Der Fahrradanteil ist dort deutlich höher.

Jana Kühl: Es braucht mehr politische Entschlossenheit und mehr Mut zur konsequenten Förderung von Fahrradmobilität. Konkret braucht es zudem mehr Personal für die Radverkehrsplanung und eine Anpassung in den gesetzlichen Normen, Regularien und Empfehlungen, damit die Bedürfnisse von Radfahrenden in der Verkehrsplanung mehr Gewicht finden können.

Rad auf dem Land

Auf dem Land ist Radfahren in erster Linie eine Freizeitbeschäftigung: Die Wege zwischen Ortschaften sind weit, eine Kombination mit öffentlichen Verkehrsmitteln ist meist nicht möglich, weil das öffentliche Verkehrsnetz jenseits von Schulbussen schlicht nicht existiert. Paradoxe Weise werden laut der MID-Studie aber auch kürzeste Wege innerhalb der Ortschaften von den meisten Menschen mit dem Auto zurückgelegt.

Wie kann man den Radverkehr in diesen Regionen, in denen die Menschen seit Jahrzehnten auf das Auto angewiesen sind, stärken?

Dennis Knese: Es gibt auch ländliche Regionen, wie das Emsland, wo bereits viel Fahrrad/Pedelec gefahren wird. Aber ich würde mir wünschen, dass auch die Anforderungen an die Mobilität in ländlichen Räumen ein höheres Gewicht in der Debatte erhalten – insbesondere vor dem Hintergrund sozialer Nachhaltigkeit. Gleichzeitig ist es aber auch so, dass der Kampf zum Erreichen unserer Klima- und Umweltziele in den Städten und Ballungsräumen entschieden wird.

Jana Kühl: In ländlich geprägten Räumen ist das Radfahren als Mobilitätsoption in Vergessenheit geraten. Hier muss das Rad als Alternative zum Auto durch kommunikative Mittel ins Bewusstsein gebracht und gleichzeitig durch gute Angebote erlebbar gemacht werden. Dies gelingt zum Beispiel durch die Ertüchtigung von land- und forstwirtschaftlichen

Wegen als attraktive Radwegeverbindung abseits lauter Hauptstraßen.

Jana Kühl: Für weitere Distanzen ist der reibungslose Umstieg vom Rad auf die Bahn oder den (Schnell-)Bus wichtig und kann zum Beispiel durch wetter- und diebstahlgeschützte Radabstellanlagen oder die Fahrradmitnahme im Zug gefördert werden. Hier können Jobrad-Angebote und Ausprobier-Aktionen dabei helfen, die Vorteile und Potenziale des E-Bikes kennenzulernen.

Angela Francke: Wichtig ist das Radnetz in der Fläche, das heißt, direkte, möglichst flache und sichere Radrouten zwischen kleineren Orten zu identifizieren, zu unterhalten und gut auszuschildern.

Mehr Miteinander zwischen Auto und Fahrrad

In den Städten sollte Radfahren eigentlich besonders attraktiv sein – die Länge der Wegstrecken ist meist überschaubar, häufig lassen sich Abkürzungen nutzen, die mit dem Auto nicht befahrbar oder unattraktiv sind – etwa durch Parks oder Wohngegenden. Wären da nicht die großen, autodominierten Verkehrsadern. Nicht nur, dass es dort häufig gefährlich eng für Radfahrende wird – zwischen Auto- und Radfahrenden scheint zudem eine Art Bürgerkrieg zu herrschen.

Wie ist ein radzentrierter Verkehr in so einer Situation machbar?

Martina Lohmeier: Für mich ist es nicht zielführend, jeden Verkehr auf das Fahrrad zu verlegen, sondern wir müssen den Verkehr und die daraus resultierenden Anforderungen an das Verkehrsmittel differenzierter betrachten.

Christian Rudolph: Es geht uns nicht darum, das Auto zu verurteilen bzw. alle Wege und Transporte mit dem Fahrrad durchzuführen. Das Auto hat eine wichtige Funktion in unserer Gesellschaft und wird es voraussichtlich auch noch lange haben.

Angela Francke: Im Kern geht es eigentlich nicht um den Verteilungskampf an einer spezifischen Stelle, sondern um ein besseres Miteinander, um die Stadt als Lebensraum und den Raum, den wir als Gesellschaft lebenswert gestalten wollen.

Dennis Knese: Ein entscheidender Schlüssel ist es, die Vorteile von nachhaltigen, weniger-motorisierten Städten aufzuzeigen. Dazu gehören die reduzierten Luftschadstoffe, weniger Lärm, weniger Stau und weniger Unfälle in den Städten. All das führt schließlich auch zu einer erhöhten Wohn- und Lebensqualität, wie längst viele Beispiele im In- und Ausland zeigen.

Jana Kühl: Um von einer Auto-zentrierten zu einer Fahrrad- und Umweltverbund-orientierten Planungspraxis zu gelangen, ist ein Wandel in den Verwaltungen und Planungsämtern erforderlich. Gegnerschaften wird es immer geben. Wichtig ist, die Aggressivität des Konfliktes zu entschärfen. Die Kommunikationswissenschaften liefern dafür gute Ansätze. <

43%
würden öfter
mit dem Rad zur Arbeit
fahren, wenn die
Radwege besser aus-
gebaut wären.

TECHNOLOGIEZENTREN

POSTLEITZAHL 0



01217 Dresden

Elektronik, Produktions-/ Automatisierungstechnik, Life-Sciences, Green Economy

TechnologieZentrumDresden GmbH

4 Standorte für Ihr Technologieunternehmen. Kompetenz für Start-Ups und Wachstum.

Dr. B. Dressel

Tel.: 03 51/85 47 86 65

Fax: 03 51/85 47 87 34

E-Mail: kontakt@tzdresden.de

www.tzdresden.de

POSTLEITZAHL 1



12459 Berlin

Optische Technologien, Gerätetechnik, Medizintechnik, Umwelt- und Energietechnik

TGS Technologie- und Gründerzentrum Schöneeweide

Gründen und mieten in Schöneeweide.

Moderne Büro-, Labor- und Werkstattflächen auf ca. 20.000m².

Konferenz- und Seminarräume, Kantine mit Dachterrasse.

Tel.: 030/6576-4413

E-Mail: info@corona-immobilien.de

www.tgs.berlin



12489 Berlin

Photonik und Optik, Photovoltaik und Erneuerbare Energien, Mikrosysteme und Materialien, Informationstechnik (IT) und Medien, Biotechnologie und Umwelt

Wissenschafts- und Technologiepark Berlin Adlershof

Unsere Technologie- und Gründungszentren bieten Unternehmen maßgeschneiderte Services wie eine Gründerwerkstatt, Accelerator-Programme und Fachnetzwerke aus Wissenschaft und Wirtschaft sowie Raum für Wachstum in einem urbanen Umfeld. Sprechen Sie uns an!

WISTA Management GmbH

Dr. Peer Ambree, Rudower Chaussee 17

Tel.: 030/6392 2250

E-Mail: ambree@wista.de

www.adlershof.de



12555 Berlin

Optik und Photonik, Gesundheitswirtschaft, Energietechnik/Clean Technologies, IKT, Werkstoff, Gerätebau, Formbau

Technologie- und Gründerzentrum Innovationspark Wuhlheide

Gründen, mieten oder bauen im Grünen!

Seit 1990 bietet der Standort Büro- und Laborflächen an. Breitband Internet, Bistro und Seminar- und Konferenzräume.

Tel.: 030 / 6576-4400

E-Mail: info@corona-immobilien.de

www.ipw-berlin.info



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für
Regionale Entwicklung

14476 Potsdam

Biowissenschaft, Diagnostik, Chemie, Polymere, Physik, Optik, Informatik

Potsdam Science Park

Wir bieten: 30.000 m² Mietflächen für Labore und Büros, 4 ha verfügbare Gewerbeflächen, Startup Space, Startup Academy, Welcome Service, Sprachschule, Transferservice, sowie eine hochmoderne Forschungsinfrastruktur durch die Konzentration exzellenter wissenschaftlicher Einrichtungen.

Sprechen Sie uns an!

Standortmanagement Golm GmbH

Am Mühlenberg 11

Tel.: +49 (0)331 – 237 351 135

info@potsdam-sciencepark.de

www.potsdam-sciencepark.de

POSTLEITZAHL 3



34131 Kassel

Produktions-/Verfahrenstechnik, Technische Dienstleistungen, Informationstechnologie

FiDT Fördergesellschaft für innovative Dienstleistungen und Techniken mbH

Top-Standort für den Einstieg in den Markt, Perfekte Verkehrsanbindung. Breitband-IT-Infrastruktur, flexible Flächen von 13-200 m², vernetzt im Haus und in der Region.

Tel.: 0561/93897-0

www.fidt.de

UNSER SERVICE FÜR TECHNOLOGIEPARTNER

Die Rubrik „Technologiepartner“ ist eine Plattform für Technologie- und Gründerzentren sowie für Technologieparks. Als Technologie- und Gründerzentrum haben Sie die Möglichkeit, die Leser von Technology Review auf Ihr Zentrum und Ihre Dienstleistungen aufmerksam zu machen.

POSTLEITZAHL 4



40225 Düsseldorf

Biotechnologie, Medizintechnik,
Chemie/Pharma, Umweltschutz

Life Science Center Düsseldorf

Büros und Labore (bis S2-Standard) für
Existenzgründer & etablierte High-Tech-
Firmen und Dienstleister; Universitäts-
nähe; Netzwerk von Experten aus Wissen-
schaft, Wirtschaft & Finanzen

Dr. Thomas Heck

Tel.: 0211/9131 47-50

E-Mail: heck@lsc-dus.de

www.lsc-dus.de

POSTLEITZAHL 5



50829 Köln

Biotechnologie/Pharma, Medizintechnik,
Chemie, IKT, Cleantech

BioCampus Cologne Grundbesitz GmbH & Co. KG

Der BioCampus Cologne entwickelt sich zu
einem der größten Biotechnologieparks
Deutschlands. Vom Gründer bis zum
Global Player finden hier innovative Unter-
nehmen optimale Wachstumsbedingungen
und eine perfekte Infrastruktur.

Andre van Hall

Tel.: 0221/168095 90

Fax: 0221/168095 99

E-Mail: info@biocampuscologne.de

www.biocampuscologne.de

POSTLEITZAHL 6



69120 Heidelberg

Biotechnologie, Pharma, Medizin,
Umwelttechnik, Organische Elektronik, IT
Technologiepark Heidelberg GmbH
Büros, Labore, Reinräume, Co-Working
und Beratung für Unternehmen und
Existenzgründer, internat. Netzwerk aus
Wissenschaft und Wirtschaft. Seit 1984
wuchs der TP an 6 Standorten bedarfs-
orientiert, Ende 2019 wurde das Business
Development Center mit 7.000 m² Fläche
eröffnet

Dr. André Domin

Tel.: 06221/5025710

E-Mail: technologiepark@heidelberg.de

www.technologiepark-heidelberg.de

POSTLEITZAHL 8



86159 Augsburg

Carbonfaserverbund, Luft- und
Raumfahrt, Mechatronik, Automation,
Robotik, Umwelttechnologie,
Ressourceneffizienz

Augsburg Innovationspark mit Technologiezentrum

Wir beschleunigen Innovationen in
Produktionsfirmen! 70 Hektar Flächen
neben der Universität, 13 Technologie-
Forschungseinrichtungen, ein Technologie-
zentrum mit 3000 m² Technikumsfläche
sowie Event-Flächen. Erster Eindruck hier:
YouTube: Augsburg Innovationspark
Imagefilm

(0)821-80 90 30-40

E-Mail: info@augsbu-
rinnovationspark.com

www.augsburg-innovationspark.com

POSTLEITZAHL 9



91522 Ansbach

Umweltschutz/-technik, Technische
Dienstleistungen, Informations-
technologie, Produktions- und Verfahrens-
technik

Technologie- und Innovationszentrum Ansbach

Individueller Ausbau – Büros ab 16 m²

Tel.: 0981/953838-0

Fax: 0981/953838-38

E-Mail: info@tiz-ansbach.de

www.tiz-ansbach.de

Heise Medien GmbH & Co. KG · Technology Review Anzeigen
Karl-Wiechert-Allee 10 · 30625 Hannover

Ansprechpartner Marcel Ossenkop, E-Mail: marcel.ossenkop@heise.de
Fax: 0511/53 52-4 43 · Telefon: 0511/53 52-4 43

MIT TECHNOLOGY REVIEW: ANGEBOT FÜR TECHNOLOGIEPARTNER

Mit einem Eintrag unter der Rubrik „Technologiepartner“ haben Sie monatlich die Möglichkeit, die Leser von Technology Review auf Ihr Zentrum/Ihre Dienstleistungen aufmerksam zu machen. Ihr Angebot wird nach Postleitzahlen sortiert aufgenommen. Für einen Jahreseintrag (5 Zeilen à 40 Zeichen + Logo) berechnen wir exklusiv nur 1200 Euro (zzgl. MwSt.). Gerne sende ich Ihnen Informationen und Unterlagen zu, ich freue mich auf Ihre Anfrage.



Foto: ddp/Hannah Aspropoulos

Merkels Reue kommt zu spät

Zum Abschied ihrer Kanzlerschaft gibt Merkel zu, dass sie nicht genug zum Schutz der Lebensgrundlagen getan hat. Was heißt das für die Zukunft?

Am Ende von 30 Jahren in der Bundespolitik und 16 Jahren an der Spitze der Bundesregierung zeigt sich Angela Merkel in der Klimapolitik reumütig. Gemessen an dem Ziel, den weltweiten Temperaturanstieg auf maximal zwei Grad im Vergleich zur vorindustriellen Zeit zu begrenzen, sei während ihrer Kanzlerschaft „nicht ausreichend viel passiert“, sagte sie jüngst.

Doch zugleich versucht Merkel, ihren zu Beginn ihrer Amtszeit erworbenen Ruf als „Klimakanzlerin“ zu verteidigen: „Ich bin der Meinung, dass ich sehr viel Kraft für den Klimaschutz aufgewandt habe“, sagte sie. Das Thema habe ihre „gesamte politische Arbeit geprägt“.

Merkel fühlt sich offenkundig unter Druck, ihre Amtszeiten als Bundesumweltministerin und Bundeskanzlerin in ein gutes Licht zu rücken.

Das ist verständlich. Denn Verantwortliche, von denen es später heißen wird, dass sie die Klimakrise hätten abwenden können, es aber nicht getan haben, stehen in dem Risiko, dass alle anderen Erfolge dagegen vollständig verblasen. Euro-Rettung, Flüchtlingskrise und vieles mehr, was Merkel hoch angerechnet wird – es wird im Rückblick klein wirken, wenn ständige Extremwetter toben, die heißen Sommer von heute kühl wirken und wenn aus unbewohnbar gewordenen Gebieten Millionen Menschen gen Norden aufbrechen.

Die Klimakrise ist anders als die anderen Krisen, die Merkel meistern musste. Die meisten Krisen, mit denen es Politikerinnen und Politiker zu tun haben, sind zyklischer Natur: Eine Wirtschaftskrise kommt – und geht. Ein militärischer Konflikt kommt – und geht. Selbst eine Pandemie, die man als Jahrhundertkrise bezeichnen kann, kommt – und geht.

Die Klimakrise dagegen, sie kommt und kommt, wird schlimmer und schlimmer. Sie ist eine stetig eskalierende Krise. Weder in den Zeitskalen der Demokratie noch in denen von ein, zwei oder drei Generationen gibt es ein Zurück.

Um das Schlimmste noch abzuwenden, muss jedes Land ein CO₂-Budget einhalten, mahnt die Wissenschaft. Laut Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change kann das Erdsystem noch 271 Milliarden Tonnen Kohlendioxid aufnehmen, bevor die Erhitzung um 1,5 Grad Celsius komplett ist. 1020 Milliarden Tonnen Kohlendioxid sind es demnach bis zur Zwei-Grad-Schwelle.

Das ist der zweite große Unterschied der Klimakrise zu anderen politischen Krisen: In der Eurokrise zum Beispiel konnten Finanzminister und Zentralbanken flexibel reagieren, Geldmengen verändern, Zinsen senken, Kreditprogramme auflagen.

Bei der Klimakrise dagegen geht es um nicht verhandelbare Gesetze der Physik. Als Physikerin hat Merkel das verstanden – und doch nicht ausreichend danach gehandelt.

Deutschland hat mit einem Prozent der Weltbevölkerung sein Budget für diese 1,5-Grad-Schwelle schon in etwa fünf Jahren komplett aufgebraucht. Soll noch bis zum Jahr 2045 emittiert werden, stehen dafür nur 1,3 Tonnen pro Kopf und Jahr zur Verfügung. Jede und jeder Deutsche setzt am Ende der Ära Merkel noch immer 9 Tonnen CO₂ pro Jahr frei. Das bedeutet, dass jede und jeder Deutsche das wissenschaftlich definierte Budget um das 7,5-fache überzieht.

Es hat schon immer zwei Angela Merkels gegeben: Die eine ist eine Physikerin, die alle diese Berechnungen der Klimaforscher versteht, die sich erste klimapolitische Meriten schon in den 1990ern bei den Weltklimagipfeln von Berlin (1995) und Kyoto (1997) verdient hat, die zum Orts-termin in die Arktis reiste, die vor dem Klimagipfel von Kopenhagen gegen die versammelten Blockierer ihr ganzes politisches Gewicht in die Waage warf. Es ist die Merkel, die mehrfach Greta Thunberg traf und die viele nachdenkliche Reden hielt.

Die andere Angela Merkel ist Machtpolitikerin, deren Position davon abhing, im Netzwerk der Mächtigen Interessen zu bedienen. Diese zweite Merkel hat das Verkehrs- und Infrastrukturministerium ebenso wie das Landwirtschafts- und Wirtschaftsministerium durchgängig Politikern anvertraut, die Politik fast ausschließlich für große Autos, große Konzerne und große Bauernhöfe gemacht haben und für die Klimaschutz eine lästige Sache war, ein Feld des politischen Gegners, das man eben nicht ganz ignorieren durfte.

Dieser Angela Merkel fiel die deutsche Solarindustrie ebenso zum Opfer wie Offensiven für umweltfreundliche Mobilität. Sie hat die deutsche Autoindustrie in Brüssel mit

Zähnen und Klauen verteidigt, obwohl diese immer größere Benzinschlucker in den Markt gedrückt und Verbraucher systematisch betrogen hat.

Hunderte Modellprojekte der Bundesregierung können darüber nicht hinwegtäuschen: Während die Physikerin Merkel am Rednerpult zahlreiche klimapolitische Bekenntnisse abgab, verhinderte die CDU-Politikerin Merkel im Maschinenraum der Regierung systematisch die nötigen spürbaren und tieferen Veränderungen.

Ihrem Nachfolger oder ihrer Nachfolgerin hinterlässt Merkel nun gigantische Aufgaben: Die Stromproduktion, um die sich so viele der aufgeregten Debatten drehten, macht nur 20 Prozent des Endenergieverbrauchs aus. Auf ebenso großen Baustellen – der Beheizung von Gebäuden, der Mobilität, der Landwirtschaft – ist noch nicht viel passiert. Beim Schutz der Biodiversität ebenso wenig.

Merkel sagte zum Ende ihrer Amtszeit, sie sei „mit wissenschaftlichem Verstand ausreichend ausgerüstet, um zu sehen, dass die objektiven Gegebenheiten erfordern, dass man in dem Tempo nicht weiter machen kann, sondern schneller werden muss.“ Das Tempo müsse „angezogen“ werden.

Das heißt, 2022 und 2023 die dramatischsten Einschnitte in Wirtschafts-, Steuer- und Finanzpolitik auf den Weg zu bringen, die dieses Land je gesehen hat. Es gilt, 57 Milliarden umweltfeindliche Subventionen pro Jahr abzuschaffen, Bahn- und Radfahren Priorität vor Autos und dem Fliegen zu geben, die Natur als kritische Infrastruktur zu schützen.

Es heißt, mit den Bequemlichkeiten und Gewohnheiten der Boomer- und der Rentner-Generation zu brechen und das Land nicht nur auf digitale, sondern auch auf ökologische Modernisierung zu trimmen. Es geht darum, den Interessen der jungen Generation Priorität zu geben – und schon beim UN-Klimagipfel in Glasgow auf der Weltbühne zu vertreten.

Die Kanzlerin, die in der Diskussion um die Schuldenpolitik mit dem Titel der „schwäbischen Hausfrau“ kokettiert hat und der die „schwarze Null“ immer so wichtig war, hinterlässt ein Deutschland mit einer CO₂-Überschuldung riesigen Ausmaßes. Das kann nur ausgeglichen werden, wenn das Budget in den kommenden Jahren radikal weniger beansprucht wird. Versagt die nächste Bundesregierung beim Klimaschutz, ist ein solches rechtzeitiges Umsteuern im globalen Zusammenspiel der Nationen kaum noch möglich – ein Vabanquespiel auf Kosten vor allem der jungen Menschen.

Der Text ist erstmalig bei RiffReporter erschienen.



» Es hat schon immer zwei Angela Merkels gegeben: Die eine ist eine Physikerin, die andere Machtpolitikerin. «

CHRISTIAN SCHWÄGERL ist studierter Biologe, Journalist, Buchautor und Mitgründer des Journalismus-Portals „RiffReporter“.



GEOLOGIE

Wenn das Eis schmilzt

Peter Ward erweckt für uns die zwei Worte „steigende Meeresspiegel“ zum Leben. In sieben Kapiteln entfaltet er die Logik der Katastrophe – ein durch Hollywood abgenutztes

Wort für Schreckens-Szenarien, die dann doch irgendwie ein Happy End haben. Bei „Die große Flut“ ist das leider anders.

Mit kurzen, dichten Erzählungen am Kapitelanfang nimmt Ward uns mit in unsere klimaerwärmte Zukunft, um das Szenario anschließend wissenschaftlich zu erklären. Als Geologe ist er Experte für die Vergangenheit der Erde: Er beleuchtet die historischen Veränderungen des Meeresspiegels, erklärt die Wirkung von CO₂, analysiert die Auswirkungen der Anzahl der Menschen auf das schmelzende Eis. Und er zeigt uns, was bereits ein kleiner Anstieg des Spiegels für die landwirtschaftlichen Erträge, Städte und Menschen bedeuten wird.

Ward erzählt fesselnd und schmerzhaft beklemmend. Am Ende räumt er zwar noch ein kleines bisschen Hoffnung für die Erde ein, aber der Zug „verlasse bereits den Bahnhof“. Der winzige Ausweg, den er noch sieht, ist uns leider allen längst bekannt: Wir müssen unser Leben nachhaltiger gestalten.

JO SCHILLING

PETER D. WARD: DIE GROSSE FLUT. Oekom Verlag, 256 Seiten, 22 Euro (E-Book: 17,99 Euro)



REPORTAGEN

Wird schon schief gehen

Damit Chicagos Abwässer nicht mehr in den Michigan-See fließen, kehrten die Stadtväter Ende des 19. Jahrhunderts die Flussrichtung des Chicago Rivers um. Seitdem fließt er über

den Mississippi in den Golf von Mexiko. Dadurch wurden unbeabsichtigt zwei riesige, bisher getrennte Ökosysteme verbunden, über die sich gefräßige Eindringlinge wie Silberkarpfen durch die halbe USA zu verbreiten drohen.

Was das Ganze mit Klimawandel zu tun hat? Nur indirekt etwas. Die Pulitzer-Preisträgerin Elisabeth Kolbert schildert in lebhaften Reportagen, was alles schiefgehen kann, wenn Menschen an komplexen natürlichen Systemen herumdoktern, die sie weder verstehen noch beherrschen. Und schiefgehen kann viel: Etwa, wenn Maßnahmen, die New Orleans vor Hochwasser schützen sollen, im Wortsinne zu dessen Untergang beitragen.

Welche Auswirkungen es haben würde, wenn Flugzeuge reflektierende Partikel in der Stratosphäre ausbringen, um die Erderwärmung zu bremsen – das kommentiert Kolbert nicht explizit. Aber die Leser können es sich dank der anderen Kapitel denken.

GREGOR HONSEL

ELIZABETH KOLBERT: WIR KLIMAWANDLER. Suhrkamp, 239 Seiten, 25 Euro (E-Book: 21,99 Euro)

KLASSIKER NEU GELESEN

„Unsere Enkel werden uns verfluchen“

„Wir werden als Generation in die Geschichte eingehen, in deren Händen die Möglichkeit gelegen hätte, das Blatt noch zu wenden, und die vor ihrer Aufgabe versagt hat. Darum werden unsere Enkel uns verfluchen.“ Schon auf der ersten Seite macht Hoimar von Ditfurth (1921–1989) klar, dass er die Leser nicht schonen wird. Für den Neurologen und populären Fernsehjournalisten war das 1985 erschienene Buch ein Vermächtnis. Wortgewaltig warnt er, dass die Menschheit durch Atomwaffen, Artensterben und Überbevölkerung vom Aussterben bedroht sei. Der Klimawandel tauchte damals erst am Rande auf.

Auch wenn einige Prognosen – etwa, dass der deutsche Wald bis zum Jahr 2000 verschwinden wird – etwas zu apokalyptisch ausgefallen sind, haben heu-

tige Leser wenig Grund zur Entspannung. „Bei den Sauriern hat sich [das Aussterben] über viele Jahrhunderttausende hingezogen“, schreibt von Ditfurth. „Deshalb wäre eine Prophezeiung über das bevorstehende Ende der Menschheit nicht schon deshalb falsch, weil ihre Erfüllung ein oder zwei Jahrtausende auf sich warten lässt.“

Einen der „abstrusesten Aspekte des Geschehens“ sieht er darin, dass eine „beispiellos erfolgreiche Art keinerlei Anstalten macht, Verhaltensweisen zu ändern, die erkennbar im Begriff sind, ihren Untergang herbei-

zuführen“. Eine Ursache: „Menschen sind kurzatmige Lebewesen.“ Deshalb sei konkreter Verzicht nur dann durchsetzbar, wenn ihm ein „ebenso konkret erlebbarer Gewinn auf dem Fuße folgt“.

Trotzdem versucht von Ditfurth zum Schluss noch einen Twist ins Positive: Die bevorstehende Katastrophe könne auch als „erweckendes“ Geschehen betrachtet werden. Er schließt mit

dem Luther-Wort: „Und wenn ich wüsste, daß morgen die Welt unterginge, so würde ich doch heute mein Apfelbäumchen pflanzen.“

GREGOR HONSEL



HOIMAR V. DITFURTH: SO LASST UNS DENN EIN APFELBÄUMCHEN PFLANZEN. ES IST SOWEIT. Rasch und Röhrling, 432 Seiten, anti-quarisch

Das bringt Licht ins Dunkel!

Heft + PDF
mit 29 % Rabatt



shop.heise.de/ho-beleuchtung

Starten Sie mit dem Thema Smarte Beleuchtung in die **neue Heftreihe von heise online:**

- ▶ Smartes Licht in Haus und Garten
- ▶ Auch im Set mit Smart Steckdose zum Sonderpreis
- ▶ Smarte LED-Lampen für E14 und E27 im Test
- ▶ Für Abonnenten portofrei

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Bundle Heft + PDF 19,90 €

DER FUTURIST

Weißmalerei



Illustration: Marei Stade

Als er an diesem Morgen aufstand und das Radio anschaltete, ahnte er, dass die Dinge aus dem Ruder liefen. „I see a red door and I want to paint it white“, sang Mick Jagger. Nun hatten sich also sogar noch die Rolling Stones der „White is cool“-Bewegung angeschlossen und ihren 60er-Jahre-Hit „Paint it Black“ umgedichtet.

Als David Demain sein Telefon anschaltete, das seit Wochen ununterbrochen von Journalisten angeklingelt wurde, sah er, dass Andi mindestens dreißigmal versucht hatte, ihn zu erreichen.

„David ...“, sagte Andi atemlos. „Die Freiheitsstatue ... es ist einfach so krass.“

Hastig googelte David auf seinem Laptop „Freiheitsstatue“ und er sah, was Andi meinte: Krone, Fackel und den Oberkörper von Lady Liberty hatten die Aktivisten mit weißer Farbe angestrichen.

„Oh nein ...“, sagte David. Während er noch mit Andi sprach, piepte es in der Leitung. Auf dem Display sah er, dass es eine amerikanische Nummer war. „Scheiße“, sagte David, „das ist schon die amerikanische Presse. Ich gehe nicht ran.“

„Na klar gehst du ran“, sagte Andi. „Du bist berühmter als Greta Thunberg. Du musst dafür sorgen, dass es aufhört!“

Das alles kam David vor wie ein schlechter Traum, nur dass er nicht mehr enden wollte. Hätte er doch nur niemals dieses Video auf Youtube gestellt! Er hatte etwas für das Klima tun wollen, als er in einer Nacht-und-Nebel-Aktion das alte Fabrikgelände in Berlin-Wedding weiß angestrichen hatte.

Weißer Farbe reflektiert Sonnenlicht. Mehr weiße Flächen, weniger Erderwärmung – so die einfache Botschaft. „White is cool“, hatte er großspurig in die Kamera gesprochen. „Sei du auch cool.“ Das Video ging viral und dann fing das Unheil an.

Zwar begannen viele, ihre Häuser und Dächer weiß anzustreichen. Aber es waren vor allem junge Männer, die sich mit immer spektakuläreren „White-is-cool“-Aktionen gegenseitig zu übertrumpfen suchten: Erst strichen sie die Siegessäule weiß, dann die Reste der Berliner Mauer an der East Side Gallery und schließlich sogar das Brandenburger Tor. Dann schlugen Weißmaler weltweit zu: Der Arc de Triomphe, das Kolosseum, Big Ben, ja sogar Teile der Chinesischen Mauer erstrahlten in Weiß, alles angeblich zum Wohle des Klimas. Die Länder versuchten, ihre Sehenswürdigkeiten vor den Weißmalern zu schützen, was ihnen aber natürlich nicht gelang. Nur Griechenland und Indien blieben cool, die Akropolis und das Taj Mahal waren ja schon weiß.

„Mr. Demain“, sagte der Reporter der New York Times, „jüngstes Opfer der White-is-cool-Bewegung ist nun die Freiheitsstatue. Was sagen Sie zu den Geistern, die Sie riefen?“

„Mir ging es doch immer nur ums Klima ...“, sagte David in holprigem Englisch.

„Verkehrsunfälle nehmen zu, weil das viele Weiß die Menschen blendet.“

„Äh, das ist bedauerlich, das habe ich ...“

„Der Absatz von Sonnenbrillen und Sonnenmilch ist sprunghaft angestiegen. Haben Sie Gelder von Sonnenbrillen- und Sonnenmilch-Herstellern erhalten?“

„Natürlich nicht!“, sagte David entrüstet.

„Mehrere Städte haben angekündigt, Sie auf Schadensersatz verklagen zu wollen. Wollen Sie trotzdem weitermachen?“

„Nein, will ich nicht. Bitte hört mit der Weißmalerei auf!“

Bevor der Reporter ihn weiter mit Fragen bombardieren konnte, legte David auf. Als sein Telefon sofort wieder zu klingeln begann, schaltete er es wieder aus.

Er vergrub das Gesicht in seinen Händen. Was sollte er tun?

Er hatte eine Idee. Nach einer Weile fand er die alte CD und ein noch junger Mick Jagger sang:

*I see a red door
And I want it painted black
No colors anymore
I want them to turn black*

Er musste eine Gegenbewegung starten. David schaltete sein Smartphone wieder an. „Andi, ich bin's. Kauf schwarze Farbe. Heute Nacht müssen wir in den Wedding.“

JENS LUBBADEH

FINDEN SIE IHREN NEUEN ARBEITGEBER!

MINT

 Heise Medien

MIT
Technology
Review
Das Magazin für Innovation von Heise

 Jobware
...da heißt es: Job! Job! Job!

JOBTAG 2021

Mathematik – **I**nformatik – **N**aturwissenschaften und **T**echnik

Heise Medien und das Innovationsmagazin **MIT Technology Review** begrüßen Sie beim **MINT-Jobtag** in Stuttgart und München. Zusammen mit unserem Partner, dem Online-Stellenmarkt **Jobware**, bieten wir Ihnen die ideale Plattform für die Jobsuche. Zahlreiche attraktive Arbeitgeber präsentieren sich Ihnen mit ihren aktuellen Stellenangeboten und Aus- und Weiterbildungsplätzen.

TEILNEHMENDE STÄDTE

STUTTGART

05.10.2021 | 12-17 Uhr
Haus der Wirtschaft,
Willi-Bleicher-Straße 19

MÜNCHEN

19.10.2021 | 12-17 Uhr
IHK Campus, IHK für
München und Oberbayern
Orleansstraße 10-12

Eine Auswahl der teilnehmenden Unternehmen:

 **ASTech**
Automotive Safety Technologies

 **CyberLab**
HIGHTECH GRÜNDER SCHMIEDE

LAUTERBACH
DEVELOPMENT TOOLS

 **MHP**
A PORSCHE COMPANY

 **PIXIDA**

scandio
TECHNOLOGY & CONSULTING

TLH TECHNIKUM
LAUBHOLZ

TRÄNSNET BW

Kostenfrei registrieren unter
www.mint-jobtag.de

© Copyright by Heise Medien.

Mit Gegenwind kennen wir uns aus. Wir machen neue Energie daraus.

#echteAussichten



Aus Windenergie produziert Schleswig-Holstein Wasserstoff für CO₂-freie Mobilität.

Mehr unter [der-echte-norden.info](https://www.der-echte-norden.info)

© Copyright by Heise Medien.



Schleswig-Holstein
Der echte Norden