

**Zeit zur Umkehr** Der Abschied vom anthropogenen Kohlendioxid fällt schwer, ist aber ohne Alternative

**Lowtech für Nepal** Ein Projektteam der TU München unterstützt beim Aufbau nachhaltiger Energietechnik

**Eier haben viele Talente** Ein Bericht über die technische Bedeutung eines leicht verderblichen Agrarprodukts

# KULTUR & TECHNIK



## Energie und Klima

Neue Wege im Energiemix sind gefragt,  
um die Klimaziele zu erreichen

# Taxi anno dazumal



ca. 1845:  
Pferdekutsche als Taxi  
und Taxameter



ca. 1920:  
Erstes motorisiertes Taxi  
und Taxameter



## Taxi heute

### Rufsäulen 1958–2009



### Solarrufsäulen heute



**Taxiruf (089) 216 10**

Offizieller Partner von  
**TAXI DEUTSCHLAND**  
Die Bestell-App der Taxizentralen!

**T** - Zwei Klicks -  
ein Taxi!

Standplätze mit Rufsäulen  
auch in Ihrer Nähe!

[www.taxi-muenchen.de](http://www.taxi-muenchen.de)

#### Vorbestellungen:

Krankenfahrten, Buszugbringer, Fahrten-  
disposition, Besorgungsfahrten

#### Abrechnung:

Monatsabrechnung, Kreditkarten-  
Abrechnung, Fahrauftragscheine

#### Kundenberatung:

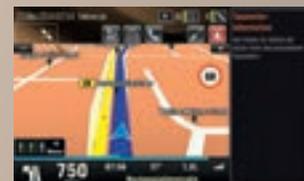
Frau Weigl, Tel. 089/2161-372  
Frau Flotzinger, Tel. 089/2161-399



### Neues Datenfunkgerät



**Grundgerät**  
Einfach zu  
bedienendes  
GPS-Daten-  
funkgerät mit  
Taxameter



**Sygic**  
Anzeige  
bei routen-  
geführter  
Navigation

### Kreditkarten-Terminal



**Kreditkarten-  
Lesegerät**  
Fahrtkosten  
mit Kreditkarte  
begleichen

### Digitale Auftragsvermittlung mit automatischen Bestellsystemen

### Bestell-App der Taxi-München eG



## TAXI-MÜNCHEN eG

Genossenschaft der Münchner  
Taxi-Unternehmen

Verwaltung: Engelhardstr. 6,  
81369 München, Tel. 089/77 3077





**Liebe Leserin,  
lieber Leser,**

kein Tag vergeht, an dem nicht über die Zukunft des Klimas debattiert oder informiert wird. Was noch vor wenigen Jahren als »Alarmismus« abgetan wurde, entpuppt sich im Licht der aktuellen Forschung als tatsächlich lebensbedrohliche Situation für die Menschheit. Auch die Internationale Sicherheitskonferenz, die im Februar 2020 in München tagte, widmete sich diesem Thema. Angesichts knapper werdender Lebensräume drohen Kriege und wir werden Wanderbewegungen bisher ungekannten Ausmaßes erleben. Die Industriestaaten sind gefordert, ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen innerhalb kurzer Zeit auf Null zu senken. Eine Herkulesaufgabe vor der man fast verzweifeln könnte.

Ich denke, wir können und sollten trotz alledem optimistisch bleiben. Längst suchen Wissenschaftler länder- und fachübergreifend nach Möglichkeiten, der Krise zu begegnen. Wir alle sind aufmerksam, und immer mehr Menschen versuchen, im Rahmen ihrer Möglichkeiten das ihre zu tun, um Energie und CO<sub>2</sub> einzusparen. Auch im Deutschen Museum thematisieren wir in Ausstellungen und Sonderausstellungen die Probleme, die durch die menschengemachte Erderwärmung entstehen. Einer katastrophenorientierten Endzeitstimmung, wie sie in manchen Medien verbreitet wird, dürfen wir uns nicht hingeben. Im Gegenteil: Es ist im Interesse jeder und jedes Einzelnen, den Lebensraum Erde für uns Menschen zu bewahren. Die Frage nach der Energie ist dabei – neben der Frage nach den materiellen Ressourcen – zentral.

Im Rahmen der Zukunftsinitiative des Deutschen Museums wird auch die Zukunft unseres Energiesystems als wichtiges Thema beleuchtet. Eine völlig neu konzipierte Dauerausstellung »Energie – Strom« wird sich dem komplexen System der Erzeugung, Verteilung und Nutzung elektrischer Energie widmen. Sie wird demnächst an die Stelle der Dauerausstellungen »Starkstrom« und »Neue Energietechnik« treten. Ein junges Team hat diese Ausstellung konzipiert und geplant. Derzeit feilt es unter Hochdruck an der Fertigstellung.

Auf den folgenden Seiten erwartet Sie ein kleiner Vorgeschmack auf Themen, die wir in dieser Ausstellung ansprechen werden: Entwicklungen, Probleme und Lösungsvorschläge. Zur Diskussion letzterer sind Sie wie immer herzlich eingeladen. Nutzen Sie jetzt noch die Gelegenheit, sich *kreuz & quer* (Seite 6 ff.) auf die Spuren der Energie im Deutschen Museum zu begeben und dabei auch den Ausstellungen »Starkstrom« und »Neue Energietechnik« einen Besuch abzustatten!

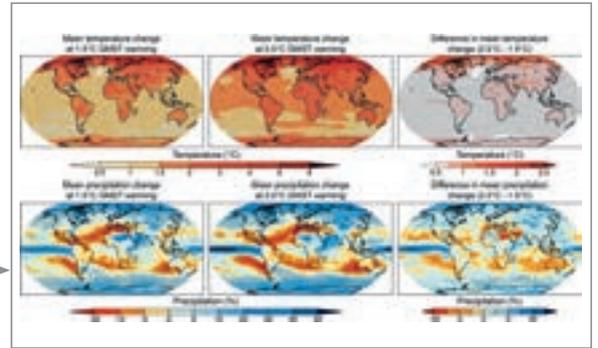
Freundlich grüßt Sie

Wolfgang M. Heckl  
Generaldirektor des Deutschen Museums



**6**  
 Kreuz und quer führen wir Sie durch Ausstellungen des Deutschen Museums. Immer auf den Spuren nach dem Thema »Energie«.

**10**  
 Die Industriestaaten müssen ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen auf Null senken.



**20**  
 In Nepal werden nachhaltige und kostengünstige Lösungen zur Energieversorgung realisiert.

**26**  
 Der Energiehunger Chinas ist gewaltig. Aus diesem Grund setzt das Land auf einen vielfältigen Energiemix.



**32**  
 Vorbildliches Modellprojekt: Ein Dorf in Simbabwe versorgt sich selbst mit Strom.

**36**  
 Forscher testen neue Wege zur Nutzung von Wasserstoff.



**42**  
 Kostbarkeiten aus der Bibliothek präsentiert von Helmut Hiltz: Tipps zum Energiesparen in der Frühen Neuzeit.

**46**  
 Historischer Bilderbogen der Elektrifizierung Berlins.



**50**  
 Eier werden seit Urzeiten für technisch-gewerbliche Zwecke genutzt.

**56**  
 Konrad Zuse sah die Arbeit des Bauhauses äußerst kritisch.



## ENERGIE UND KLIMA

- 6** **kreuz & quer**  
... durchs Deutsche Museum | **Von Sabrina Landes**
- 10** **Höchste Zeit zur Umkehr**  
Der Klimawandel bedroht die Menschheit | **Von Konrad Schönleber**
- 14** **»Ausgebremst«: Interview mit Volker Quaschnig; Die Saubermeister**  
Erneuerbare Energieträger sind besser als ihr Ruf | **Von Christian Rauch**
- 20** **Lowtech für Nepal**  
Studenten helfen beim Bau von Wasserkraftanlagen | **Von Stephan Baur**
- 26** **Chinas Spagat beim Klima**  
Der Energiebedarf Chinas wächst | **Von Joachim Sokol**
- 32** **Saubere Energie für alle**  
Ein Pilotprojekt der TU München in Simbabwe |  
**Von Johannes Winklmaier und Octavian Holtz**
- 36** **Wasserstoffwirtschaft – Ein flüchtiger Traum?**  
Eine Vision mit Zukunftspotenzial | **Von Konrad Schönleber**
- 42** **Bibliophile Kostbarkeiten**  
Energiesparen in der Frühen Neuzeit | **Von Helmut Hiltz**
- 44** **Die Stromrebelln vom Walchensee**  
Protestiert wurde auch schon vor 100 Jahren | **Von Sebastian Kasper**
- 46** **Unter Strom**  
Berlin auf dem Weg zur Metropole | **Von Dorothee Haffener und Christina Stehr**

---

## MAGAZIN

- 50** **Eier haben viele Talente**  
Die technische Bedeutung von Hühnereiern |  
**Von Elisabeth Vaupel und Florian Preiß**
- 56** **Konrad Zuse und das Bauhaus**  
Ein kritischer Brief des Computererfinders | **Von Wilhelm Füll**
- 60** **Freundes- und Förderkreis Deutsches Museum**  
Meister der Kunst – Meister der Schiffstechnik |  
**Von Sabine Rojahn und Monika Czernin**
- 62** **Spannende Geschichte ganz nah**  
Historische Spaziergänge an der Flugwerft Schleißheim |  
**Von Beatrix Dargel**
- 64** **Deutsches Museum intern**

---

## STANDARD

- 3** **Editorial**
- 66** **Vorschau, Impressum**

Die Geschichte der Menschheit ist eng verknüpft mit der Entwicklung der Geschichte der Umwandlung von Energie. Das Thema findet sich daher in zahlreichen Ausstellungen des Deutschen Museums. Der Gang durch die Geschichte illustriert auch die sich verändernden Herausforderungen an Erzeugung und Nutzung von Energie. Von Sabrina Landes, Fotos: Heike Geigl



[www.deutsches-museum.de/ausstellungen/lageplan/](http://www.deutsches-museum.de/ausstellungen/lageplan/)



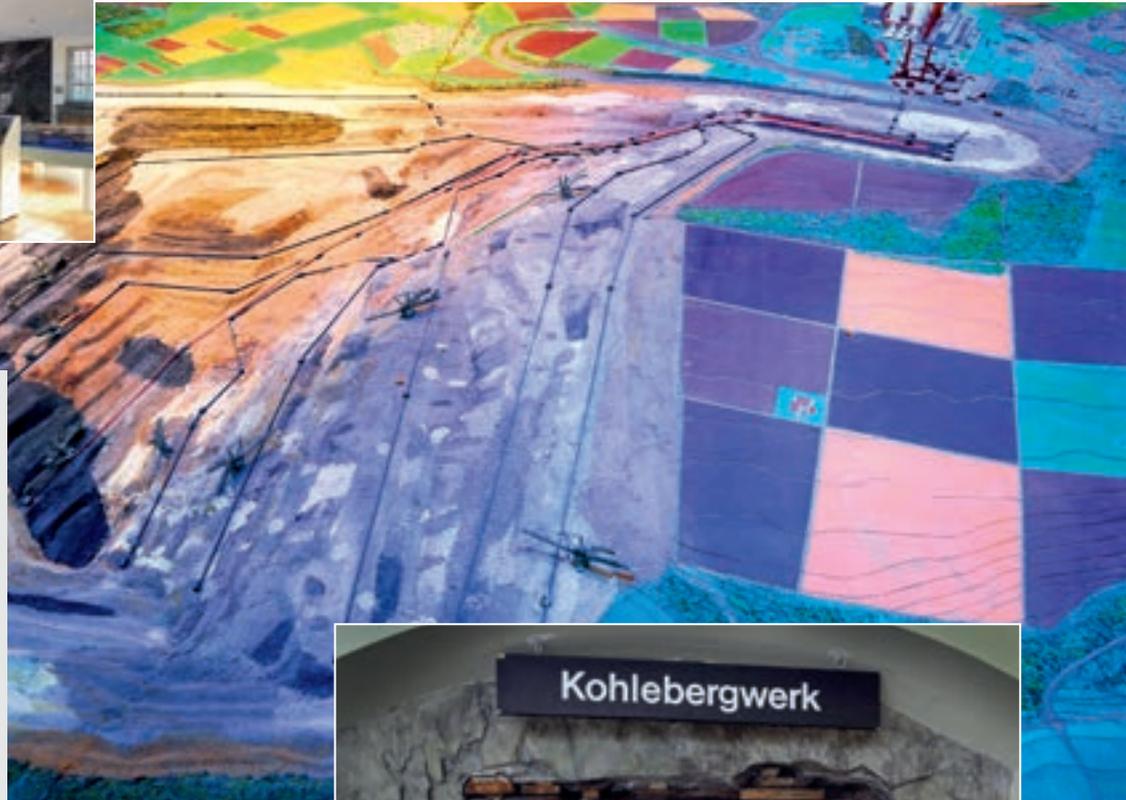
Die meisten Rohstoffe werden über Tage abgebaut.



## Landgestalter

### Ebene -1: Tagebau

Los geht es im Bergwerk: An der Garderobe vorbei, die Treppen hinunter, tiefer und tiefer, vorbei an den Kumpels im Erzbergwerk auf direktem Weg in den Tagebau. Insbesondere Braunkohle wurde und wird in Deutschland über Tage abgebaut. Modelle zeigen neben den verschiedenen Maschinen, die dabei eingesetzt werden, auch die großflächige Veränderung der Landschaft.



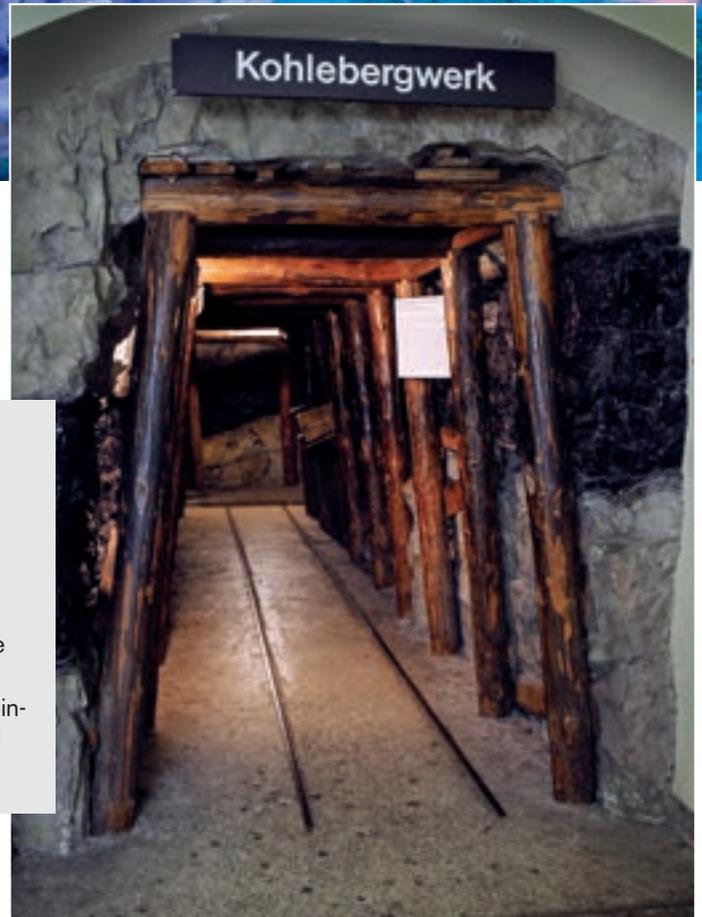
Großflächige Veränderung der Landschaft durch Tagebau.



## Höhlenbauer

### Ebene -1: Kohlebergwerk

Vom Tagebau lockt das Geplätscher von Wasser in den nächsten goldfarbenen schimmernden Stollen, den wir allerdings rasch durchqueren: Durch den Salzbergbau direkt ins Kohlebergwerk. Hier erleben wir die mühselige Arbeit der Bergleute, die um 1900 in Flößen liegend die Pechkohle abbauten. Im Zeitraffer durch die Jahrzehnte geht es weiter durch den Steinkohlebergbau und die damit verbundene Entwicklung immer größerer und effektiverer Maschinen, die die einst so schwere Arbeit erleichtern.





## Veredler

### Ebene -1: Bergbau

Am Ende der unterirdischen Tour steht die Aufbereitung des gewonnenen Materials. Modelle, Demonstrationen und Dioramen erläutern die verschiedenen Verfahren der Veredelung. Der Ausstellungsraum mag rein äußerlich etwas in die Jahre gekommen sein – es lohnt sich aber, ihn nicht achtlos zu durchleiten, sondern sich unter anderem das eindrucksvolle Diorama der Steinkohleaufbereitung genauer anzusehen.



Die unter Tage gewonnene Rohförderkohle wird gesiebt und gewaschen, ehe sie in den Verkauf gelangt.

Links: Am Ende des Bergwerks werden in einer eigenen Ausstellung unterschiedliche Verfahren der Aufbereitung erläutert.

Hingucker: Das schnell laufende Windrad von 1905 in der Ausstellung Kraftmaschinen.

## Naturkräfte

### Ebene 0: Kraftmaschinen 1

Etliche Irrwege und Treppen weiter gelangen wir wieder ins Erdgeschoss und orientieren uns hier an den Wegweisern Richtung »Kraftmaschinen«. Kraftmaschinen wandeln unterschiedliche Energieformen um in mechanische Energie. Laufräder, Wasser- und Windmühlen illustrieren die frühen Versuche der Menschen, Arbeitsprozesse zu erleichtern und zu optimieren.



Blick in die Ausstellung  
Dampfkraftmaschinen.

## Dampfnutzer

Ebene 0: Kraftmaschinen 2

Im nächsten Raum glänzt poliertes Messing mit Alu und lackierten Metalloberflächen um die Wette. Ein industriehistorisches Highlight neben dem anderen konkurriert um die Gunst des Publikums: Die erste Industriedampfmaschine von 1788 oder die Ventildampfmaschine der Gebrüder Sulzer von 1865. Jedes Stück ein technisches Kunstwerk.



## Kunstblitzmacher

Ebene 0: Starkstrom

Die nächste Station befindet sich genau gegenüber – wir folgen dem Pfeil »Starkstrom«. Zwei Säle illustrieren die Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie. Gleichstrom und Wechselstrom sind die Themen im ersten Raum. Generatoren, Schaltanlagen oder Transformatoren dominieren den zweiten. Hier befindet sich auch die beliebte Hochspannungsanlage mit Faraday'schem Käfig. Dreimal täglich gibt es eine Vorführung (11 Uhr, 14 Uhr und 16 Uhr).



Links: Verschiedene Maschinen zur Erzeugung und Verteilung von Energie.

Oben: Schirmgenerator von Siemens.

An der Hochspannungsanlage werden dreimal täglich künstliche Blitze erzeugt.



## Überblicker

### Ebene 1: Energietechnik

Dazu queren wir wie beim letzten Mal (*Kultur&Technik* 1/2020) die Akademiesammlung, werfen hier einen kurzen Blick auf den Kernspaltungstisch und betreten anschließend die Ausstellung Energietechnik. Ausgestattet mit dem Hintergrundwissen der vorausgegangenen Stationen lassen sich hier die verschiedenen Themen des aktuellen Magazins vertiefen. Windenergie, Solarthermie, Fotovoltaik und der Zusammenhang zwischen CO<sub>2</sub>-Emission und Energie werden an Objekten und Mitmachstationen erläutert.

Probleme und Lösungsvorschläge rund um Energieerzeugung und -nutzung im 21. Jahrhundert werden in der Ausstellung Energietechnik thematisiert.



Die begehbare Zelle in der Ausstellung Pharmazie.



## Energiezwerge

### Ebene 1: Pharmazie

Zum Abschluss lohnt ein Abstecher in die gegenüberliegende Ausstellung Pharmazie. Dort gehen Sie ins Innere der geheimnisvoll blau leuchtenden Zelle: Unübersehbar sind die rot leuchtenden Mitochondrien, winzige Organellen, die Nährstoffe in Adenosintriphosphat (ATP) umwandeln, den Treibstoff unseres Körpers.

www.ueberreiter.de

**WIR KÜMMERN  
UNS UM DICH  
BIS ZU DEINEM  
ABITUR.**



**INFOABEND**  
**07. MAI 2020**  
19:00 Uhr  
Pariser Str. 30

- Aufnahmegespräch statt Notenschnitt
- Intensive Hausaufgabenbetreuung
- Sportklassen von der 5. bis zur 7.
- Aufnahme während des Schuljahres möglich – auch für Realschüler



Staatlich genehmigtes Ganztagsgymnasium

**DR. FLORIAN ÜBERREITER**  
PRIVATGYMNASIUM

www.obermenzinger.de

**CLEVER MINDS  
LEARN  
BILINGUALLY!**



**UNTERRICHT  
AUF DEUTSCH  
ODER  
BILINGUAL**

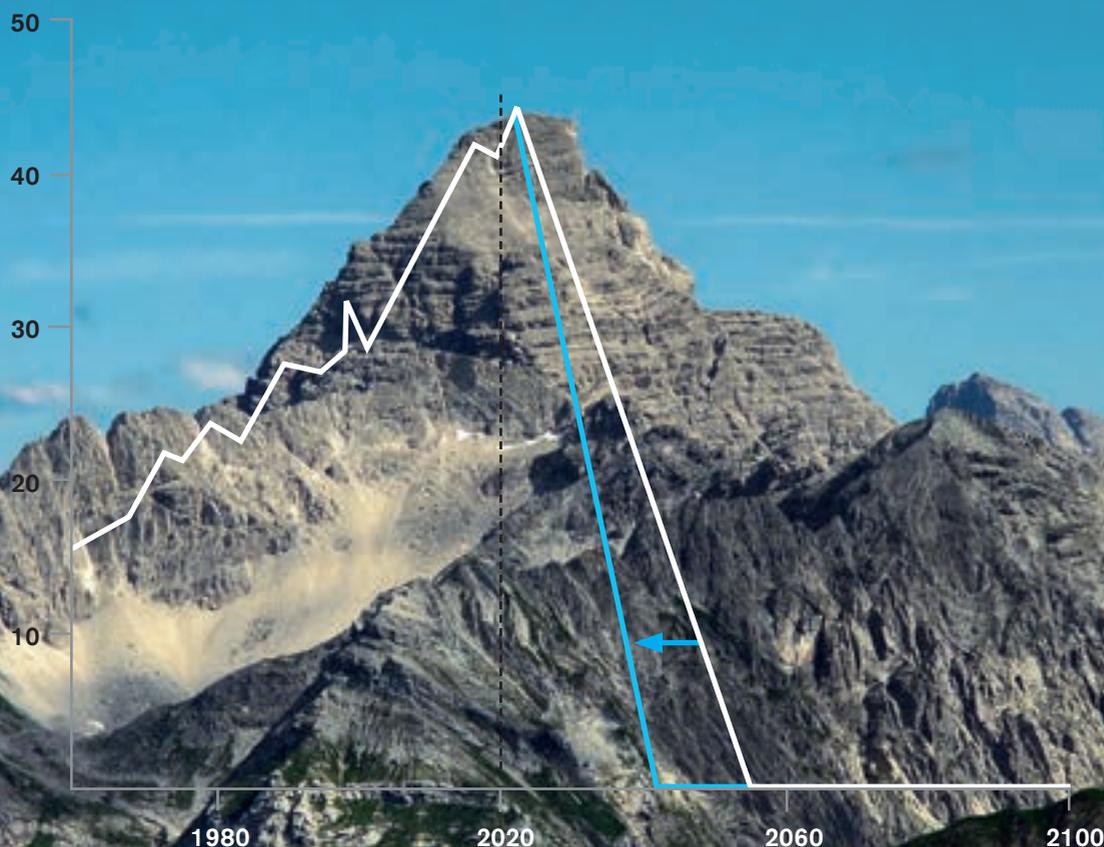
- Zwei-Pädagogen-Prinzip
- Wirtschaftswissenschaftlicher Zweig ab 8. Klasse
- ABiplus® – Berufsausbildung parallel zum Abitur
- Individuelle Förderung in familiärer Atmosphäre



Staatlich anerkanntes Ganztagsgymnasium

**OBERMENZINGER**  
GYMNASIUM

CO<sub>2</sub>-Emissionen  
weltweit  
in Gigatonnen/Jahr



## Höchste Zeit zur Umkehr

*Bergsteiger wissen: Hinauf geht es meistens einfacher als hinunter. So mancher wanderte schon forschen Schritts in die Höhe und wunderte sich, dass er mehr am Hosenboden rutschend als aufrecht wieder ins Tal gelangte. Einem Abstieg im zunehmend steiler werdenden Gelände gleicht auch das Vorhaben der Industriestaaten, den Klimakollaps zu verhindern. Doch mögen Angst und Jammer noch so groß sein: Es ist höchste Zeit, sich auf den Rückweg zu begeben.* Von Konrad Schönleber

Es sieht aus wie eine sehr steile Wand an einem Berg. Gezeigt werden jedoch keine Höhenmeter oder beschaulichen Wanderstrecken. Das Bild stammt aus einem Sonderbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) der Vereinten Nationen aus dem Jahr 2018 zu Auswirkungen einer globalen Erwärmung um 1,5 °C. Es demonstriert, wie sich die jährlichen globalen Emissionen an Treibhausgasen entwickeln müssen, um das Ziel einer Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1,5 °C mit einiger Wahrscheinlichkeit erreichen zu können. Was da-

An die Silhouette eines Berges erinnern die Anstiegs- und Abstiegslinien der oben gezeigten Grafik.

Im Hintergrund zu sehen ist der Allgäuer Hochvogel, 2592 Meter hoch, über dessen Gipfel die Grenze zwischen Deutschland und Österreich verläuft.

bei entsteht, erinnert eben an einen Berg mit einem leidlichen Anstieg auf der linken Seite, die die Vergangenheit repräsentiert und einem scharfen Absturz auf der rechten Seite, die für die Zukunft steht. Der aktuelle Zeitpunkt ist ebenfalls markiert als ein senkrechter Strich kurz vor dem Gipfel.

Bei der Betrachtung des Bildes wird eines klar: Wenn wir die globale Erwärmung auf ein erträgliches Maß reduzieren wollen, können wir uns nicht so verhalten wie in der Vergangenheit. Wir können uns noch nicht einmal

so *ähnlich* verhalten wie in der Vergangenheit. Im Gegenteil, der enorme Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft, zwischen sanftem Aufstieg und steilem Abstieg, bedeutet, dass wir unsere Lebens- und Wirtschaftsweise gewaltig werden umkrempeln müssen. Uns steht in den kommenden zwei bis drei Jahrzehnten ein steiler und äußerst schwieriger Abstieg bevor, an dessen Ende wir die Talsohle von Netto-Null-Emissionen erreicht haben müssen. Man muss kein Bergwanderer sein, um bei diesen Aussichten großen Respekt vor der anstehenden Aufgabe zu bekommen. Warum aber sollten wir uns diesen schwierigen, weil sehr schnellen Abstieg in das Tal der Netto-Null-Emissionen antun? Und wäre es nicht sinn- und maßvoll, hier langsamer vorzugehen?

Es ist wichtig sich klarzumachen, wie gefährlich eine zunehmende globale Erwärmung werden kann. Die Gefahr liegt in erster Linie in sich selbst verstärkenden Teufelskreisen, die durch eine Erwärmung angestoßen werden können. So taut zum Beispiel das arktische Meereis durch die Erwärmung auf. Dieses Auftauen führt dazu, dass vormals helle Eisfläche durch dunkle Meeresoberfläche ersetzt wird, welche die Sonnenstrahlen stärker aufnimmt. Das hat dann eine weitere Erwärmung mit noch stärkerer Eisschmelze zur Folge. Ist ein solcher Prozess erst einmal in Gang gesetzt, lässt er sich praktisch nicht mehr aufhalten. In der Arktis scheinen wir gegenwärtig Zeugen dieses unaufhaltsamen »Umkippen« zu sein. Seit der vorindustriellen Zeit hat sich die Ausdehnung des Meereises im Sommer in etwa halbiert, wobei sich die Geschwindigkeit dieses Schrumpfens von Jahrzehnt zu Jahrzehnt erhöht.

Das arktische Meereis ist nur ein Beispiel unter vielen. Ähnliche Mechanismen spielen sich bei allen Eisflächen der Erde oder den dauerhaft gefrorenen Permafrostböden ab. Es wird dabei üblicherweise von »Tipping elements«, deutsch: Kippelementen gesprochen, also von solchen Teilen des Klimasystems, die auf eine geringe Erwärmung scheinbar kaum, aber auf eine auch nur etwas höhere Erwärmung durch ein unaufhaltsames, sich beschleunigendes Umkippen reagieren. Blicke ein solcher Zusammenbruch isoliert, so ließe sich das sicher verschmerzen. Das Problem ist jedoch, dass ein Zusammenbruch ein anderes Kippelement, welches kurz vor der Schwelle steht, mitreißen kann und es wie bei Dominosteinen am Ende zum Zusammenbruch vieler Teilsysteme kommt. Dies kann unser »Raumschiff Erde« in einen für Menschen immer schlechter zu ertragenden Zustand katapultieren.

Es ergibt sich also die folgende Situation: Obgleich wir nicht genau sagen können, wie stark die Erwärmung bei gegebenen Emissionen ausfallen wird, so ist doch klar, dass jede noch so geringe weitere Erwärmung der Erde die Wahrscheinlichkeit eines dominoartigen Kippens vieler Kippelemente stark erhöht. Wozu der IPCC also in seinem Bericht zum wiederholten Male aufruft, ist letztlich eine

### Ein Pionier der Klimaforschung

Der schwedische Physiker und Chemiker Svante Arrhenius (1859–1927) machte als Erster darauf aufmerksam, dass die steigenden, von Menschen verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen zu einer globalen Erwärmung führen werden. Zu seiner Zeit hielt er diesen Anstieg jedoch nicht für bedrohlich. Die Emissionen durch die Industrie um 1900 waren deutlich geringer als heute, so dass es einige Jahrhunderte gedauert hätte, bis das menschliche Leben auf der Erde durch Erwärmung real bedroht gewesen wäre. Von den meisten seiner Zeitgenossen wurden Arrhenius' Thesen kritisiert oder nicht ernst genommen.

Minimierung dieses Risikos. Es soll der Eintritt eines solchen Katastrophenszenarios verhindert werden. Der steile Weg vom heutigen Gipfel der Emissionen in das Tal der Netto-Null-Emissionen ist demnach auch keine willkürliche oder übertriebene Forderung, sondern nach dem aktuellen Stand der Forschung eine notwendige Maßnahme zur Minimierung der Risiken. Im Gegensatz dazu bedeutet jedes weitere Aufschieben eines entschlossenen Klimaschutzes einen immer steiler werdenden Pfad für den Abstieg vom Gipfel der Emissionen, der schon sehr bald zu einer unbegehbaren, senkrechten Felswand zu werden droht. Es sind diese Tatsachen, auf die jeden Freitag junge Menschen auf der Straße aufmerksam machen.

In langfristigen politischen Absichtserklärungen wurde auf diese existenzielle Herausforderung bereits sehr breit reagiert. Im Pariser Klimaabkommen haben sich die Unterzeichnerstaaten dazu verpflichtet, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 °C, wenn möglich auf 1,5 °C, zu begrenzen. Sowohl das EU-Parlament, der Europäische Rat als auch die EU-Kommission haben sich auf europäischer Ebene dem Ziel der Klimaneutralität bis 2050 verschrieben. Diese Absichtserklärungen wurden allerdings bisher nicht ausreichend in klare politische Maßnahmen umgesetzt. Auch ist die Summe der nationalen Ziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen, die tatsächlich verabschiedet wurden, bei weitem nicht ausreichend, um die globale Erwärmung auf maximal 1,5 °C oder sogar nur 2 °C zu begrenzen.

Auf deutscher Ebene ist das Klimaschutzgesetz, welches vom Bundestag am 15.11.2019 verabschiedet wurde, das zentrale Werkzeug, die Emissionen zu senken. Als Zweck des Gesetzes ist dort die Formulierung zu finden: »...Grundlage bildet die Verpflichtung nach dem Übereinkommen von Paris [...], wonach der Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 Grad Celsius und möglichst auf 1,5 Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen ist [...], sowie das Bekenntnis der Bundesrepublik Deutschland [...], Treibhausgasneutralität bis 2050 als langfristiges Ziel zu verfolgen. [...]«

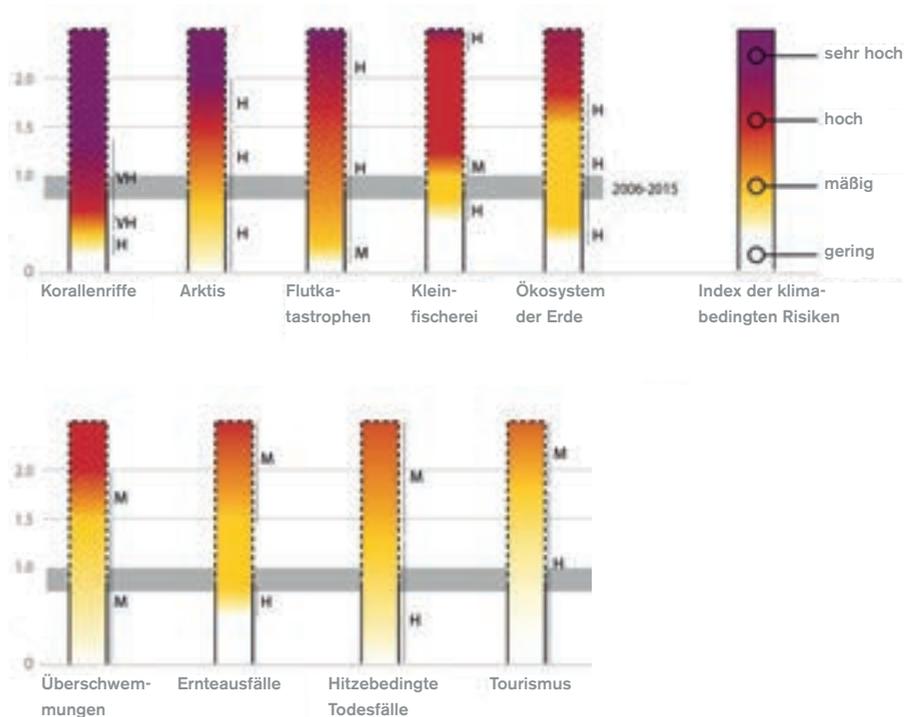
Den Empfehlungen des IPCC zu folgen, ist somit erklärtes Ziel auch der deutschen Politik. Zumindest in Worten und Absichtserklärungen haben wir uns also als deutsche Gesellschaft zusammen mit unseren europäischen Partnerländern und der Weltgemeinschaft dazu entschlossen, uns an den Abstieg vom nicht nachhaltigen Emissionsgipfel in das zukunftsfähige Netto-Null-Emissions-Tal zu machen. Dabei wird es nicht nur und vielleicht auch nicht in erster Linie darum gehen, die technischen Herausforderungen zu meistern. Diese werden natürlich eine wichtige Rolle spielen und einen notwendigen Anteil zur Lösung des Problems darstellen. Es wird aber ebenso wichtig sein, auf gesellschaftlicher Ebene Lösungen zu finden, die es allen in der Gesellschaft möglich machen, die anstehenden Veränderungen zu bewältigen.

Unser Wirtschaftssystem ist in hohem Maße vernetzt, und dieses Gewebe basiert momentan noch sehr stark darauf, unseren Energiebedarf über fossile Brennstoffe relativ preisgünstig zu decken. Für eine nachhaltige Zukunft auf einem Planeten mit einem menschenfreundlichen Klima wird eine ganze Reihe von Beziehungen in diesem Netzwerk neu zu verhandeln sein. Die Bürgerinnen und Bürger der Staaten werden dabei über ihre Konsum- und Wahlentscheidungen direkt Einfluss nehmen. Industrie und Politik werden hierauf reagieren und umgekehrt im eigenen Interesse Einfluss nehmen. Im Verlauf dieses Prozesses werden sich viele Gewissheiten unserer Art zu wirtschaften neu bewähren müssen und es werden sich Arbeitsplätze und Zukunftsperspektiven verschieben. Ein gutes Beispiel, wie schwierig solcher Strukturwandel für eine Gesellschaft konkret zu verhandeln sein können, ist aktuell in Deutschland mit der sehr kontrovers geführten Debatte über den Kohleausstieg zu besichtigen. Hier geht es nur um einen Baustein der Energiewende im Bereich der Erzeugung von elektrischer Energie, die ihrerseits nur ein Teil der Problemlösung ist.

Wie also soll dieser Abstieg aus den hohen Emissions-sphären in das Tal der Netto-Null-Emissionen konkret ausgestaltet werden? Welche gesellschaftlichen Wandlungs- und Anpassungsprozesse werden hier in Deutschland und darüber hinaus auf uns zukommen und wie werden wir als Gesellschaft damit umgehen? Als Inspiration für Antworten auf diese Fragen, lohnt es sich, ein Beispiel aus der jüngeren Vergangenheit näher anzuschauen.

Auf der technologischen Ebene bietet hier die Energiewende im Bereich der Erzeugung elektrischer Energie gutes Anschauungsmaterial. Das elektrische Energiesystem ist bis heute in Deutschland der Energiesektor mit dem höchsten CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Gleichzeitig ist in diesem Sektor auch der sich vollziehende Wandel hin in eine nachhaltigere Zukunft besonders eindrucksvoll zu sehen. Dieser Wandel wird verkörpert durch Windkraftanlagen, die vielerorts zu einem prägenden Element des Landschaftsbilds geworden sind und durch Solaranlagen, die besonders in ländlichen Regionen das Aussehen von Dörfern gewandelt haben und weiter wandeln. Der Erfolg beim Ausbau dieser Technologien ist bereits erheblich, und im Jahr 2018 wurden 38 Prozent der hierzulande verbrauchten elektrischen Energie aus erneuerbaren Quellen gedeckt. Diese Entwicklungen werden weitergehen und sich in Teilen sogar noch beschleunigen müssen, um den Abstieg vom Gipfel der Emissionen rechtzeitig bewerkstelligen zu können.

Es ist interessant zu rekapitulieren, wie diese Erfolge zustande kamen. Entscheidend hierfür war eine Reihe von politischen Weichenstellungen, die in das Erneuerbare-Energien-Gesetz aus dem Jahr 2000 mündeten. Dieses Gesetz hatte die Markteinführung von erneuerbaren Energieerzeugern als Ziel. Die Erwartungen an



Die Grafik veranschaulicht die Auswirkungen globaler Erwärmung auf das Ökosystem und die Gesellschaft. Ab 1,4 °C sind gravierende Schäden zu erwarten.

den Ausbau in Deutschland wurden dabei schnell erheblich übertroffen. Der über dieses Gesetz aufgebaute Markt für Wind- und Solarenergie hatte auch einen weltweiten Effekt. Dass heute beide Erzeugungsformen von elektrischer Energie weltweit ökonomisch konkurrenzfähig mit fossilen Kraftwerken sind, ist auch der Dynamik, die durch dieses Gesetz ausgelöst wurde, zu verdanken. Es ist allerdings nicht gelungen, in Deutschland die ursprüngliche Dynamik zu erhalten. Der Ausbau der Solarenergie geriet bereits im Jahr 2013 ins Stocken, die Windenergie spätestens ab 2019. Auch hier waren politische Weichenstellungen der Grund, bei denen allerdings nicht die Minimierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, sondern die Reduzierung der Kosten dieses Vorhabens im Vordergrund standen. Es ist an diesem Beispiel deutlich erkennbar, dass wir als Gesellschaft weit davon entfernt sind, nur der Spielball ökonomischer Notwendigkeiten zu sein. Im Gegenteil: Durch politische Steuerung können wir aktiv handeln. Für das Klima zum Guten wie zum Schlechten, wir haben die Wahl.

Eine demokratische Gesellschaft wie die unsrige ist durchaus dazu in der Lage, radikale Kehrtwenden ohne größere gesellschaftliche Verwerfungen zu organisieren. Wir können den Abstieg vom Gipfel der Emissionen in das Tal der Netto-Null-Emissionen durch gute Ideen und konsequentes Handeln nach wie vor bewerkstelligen. Dazu benötigen wir den Mut, alte Gewohnheiten zu hinterfragen und mit etwas Fantasie in die Zukunft zu schauen. Was wir auch brauchen, sind Visionen von möglichen Lösungen. Am Weg dorthin müssen wir gemeinsam arbeiten. Wir können schaffen, was die Klimawissenschaft uns als notwendige Kurskorrekturen aufzeigt. Nur warten dürfen wir damit nicht mehr. ■■■



DER AUTOR

**Dr. Konrad Schönleber** ist Physiker und wissenschaftlicher Mitarbeiter für die neue Ausstellung »Energie – Strom« am Deutschen Museum.

# Think! Store München

## Gesunde Schuhe, bewusst und schön

**Think! Store München** – Neu in der Reichenbachstraße 2, am Viktualienmarkt, findet man einen „kleinen, aber feinen“ Schuhladen mit außergewöhnlichen und nachhaltigen Schuhen. Das Schaufenster und der Store sind liebevoll dekoriert und geben einen kleinen Einblick in die Welt von Think!. Das Mobiliar im besonderen Stil, kombiniert mit bunten, floralen Mustern und farbenfrohen Flaschen unterstreicht das exklusive Design der Schuhe.

Think!-Schuh-Besitzer schätzen und lieben ihre Fußbekleidung nicht nur wegen ihres teilweise ausgefallenen Designs, sondern auch für ihren Tragekomfort und die Langlebigkeit. Besonderes Augenmerk legt die Marke auf die Schonung von Ressourcen und die Nachhaltigkeit der Schuhe. So erhielt der schwarze Think! Schnürschuh

CHILLI kürzlich den Blauen Engel, was wegweisend für die Produktion ist. In der neuen Kollektion Frühjahr/Sommer 2020 setzt Think! auf SeaqualTM. Eine recycelte Faser, die aus 10% wiederverwertetem Kunststoffabfall aus dem Meer besteht und aus 90% recycelten PET Flaschen. Und was gut für die Natur ist, ist auch eine Wohltat für die Füße.

Sie sind auf der Suche nach dem richtigen Schuh? Dann schauen Sie vorbei – in der Reichenbachstraße 2 – und lassen Sie sich vom Inhaber Herrn Stephan Fricke und seinem Team beraten.



### Kontakt

Think! Store München  
 Inh. Dipl. Kfm. Stephan Fricke  
 Am Viktualienmarkt  
 Reichenbachstraße 2  
 D-80469 München  
 Tel.: 089 54316 890  
[muenchen@think-schuh.com](mailto:muenchen@think-schuh.com)



# 5€ Gutschein

\*gültig bis zum 30.06.2020, einzulösen auf die aktuelle FS 20 Kollektion, nicht mit anderen Aktionen kombinierbar, keine Barabläse

## Think! Store

80469 MÜNCHEN – VIKTUALIENMARKT, Reichenbachstraße 2  
 93047 REGENSBURG-ALTSTADT, Untere Bachgasse 11  
 10623 BERLIN, S-BHF SAVIGNYPLATZ, Else-Ury-Bogen 598  
[www.think-schuh.com](http://www.think-schuh.com)

# Ausgebremst

*Volker Quaschnig ist Professor für das Fachgebiet »Regenerative Energiesysteme« an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin. Aus seiner Sicht wurde der Solar- und Windkraftausbau in Deutschland im letzten Jahrzehnt massiv behindert. Jetzt sind mutige politische Entscheidungen gefragt. Mit Volker Quaschnig sprach Christian Rauch*



Herr Quaschnig, die erneuerbaren Energien decken momentan gut 40 Prozent des Strombedarfs in Deutschland. Vor 20 Jahren waren es erst sechs Prozent. Ist das nicht eine Entwicklung auf die wir stolz sein können?

Teils, teils. In der Tat hat das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das die rot-grüne Regierung im Jahr 2000 in Kraft setzte, einen Boom ausgelöst. Davor gab es hauptsächlich Wasserkraft und ein klein wenig Solar- und Windkraft, gefördert durch das Stromeinspeisungsgesetz von 1991. Mit dem EEG wurden die Einspeisevergütungen vor allem für die Solarenergie, deren Ausbau noch sehr teuer war, deutlich erhöht. So wurde im Jahr 2000 noch weit weniger als ein Gigawatt Solarenergie in Deutschland ausgebaut, 2010 waren es schon über sieben Gigawatt pro Jahr. Beim Wind schwankte der Zubau, hielt sich im gleichen Zeitraum aber immer zwischen ein und drei Gigawatt pro Jahr. Innerhalb von zehn Jahren hat sich also der jährliche Stromverbrauch aus erneuerbaren Quellen in Deutschland verdreifacht. Vor allem aus Solar- und Windkraft, sowie ein wenig Wasserkraft und Biomasse.

**Das heißt, in den Anfangsjahren der Energiewende ging der Ausbau der Erneuerbaren stark voran.**

Richtig. Bei der Solarenergie hielt der Boom bis 2012. Und Prognosen gingen davon aus, dass es in rasantem Tempo weitergeht, auf Hausdächern ebenso wie mit Großanlagen. Doch 2012 begann man die Einspeisevergütung für Solarenergie, und damit ihre Förderung, drastisch zu reduzieren. Und der Solarausbau brach sehr schnell ein.

**Was ist passiert? Bekam die Politik Angst vor dem eigenen Erfolg?**

Schlimmer. Wäre der Ausbau der Solarenergie ab 2012 so massiv weitergegangen, hätte man bereits innerhalb weniger Jahre den Kohleausstieg beschließen müssen, denn schon sehr bald wären die unflexiblen Kohlekraftwerke nicht mehr in der Lage gewesen, den restlichen stark schwanken Energiebedarf zu decken. Dann hätte man sich aber mit den großen Energieversorgern anlegen müssen, die damals noch für viele Jahrzehnte mit Kohlestrom planten. Man hätte in Speicher investieren müssen, da Solarstrom natürlich nicht gleichmäßig fließt. Die neue schwarz-gelbe Regierung entschied also 2012, die Solarstromförderung massiv zu reduzieren. Vordergründig argumentierte man mit höheren Strompreisen für die Verbraucher, die man vermeiden müsse.

**Was waren die Folgen für den Solarstrom?**

Innerhalb eines Jahres sank die Vergütung für Solarstrom um fast 30 Prozent. Zusammen mit negativen politischen Signalen verschreckte das die Investoren massiv. Der jährliche Zubau von Solarenergie ging binnen drei Jahren, von 2012 bis 2015, auf ein Fünftel zurück! Zehntausende Arbeitsplätze gingen in der deutschen Solarwirtschaft verloren, die Fabrikation von Solarmodulen verlagerte sich nach China. Bis heute hat sich der Ausbau der Solarenergie hierzulande nur wenig erholt.

**Wie lief es mit der Windkraft?**

Da hat man die Axt zunächst nicht angelegt. Da die Windkraft damals deutlich preiswerter als die Fotovoltaik war und darum weniger gefördert werden musste, konnte man die Förderung schlecht mit dem Kostenargument zusammenstreichen. In den Folgejahren erlebte die Windenergie sogar einen neuen Boom. Von 2012 an hat sich der jährliche Zubau mehr als verdoppelt, 2017 lag er bei rund fünf Gigawatt pro Jahr.

**Und das war der Politik dann auch zu viel?**

Ja, offensichtlich. Ein anhaltend starker Windenergiezubau hätte wie seinerzeit der Fotovoltaikausbau den baldigen Kohleausstieg nach sich gezogen. Darum wurden Ausschreibungen eingeführt, die die installierbare Windkraftleistung etwa auf die Hälfte des Zubaus von 2017 deckelten und kleine Akteure mit hoher Akzeptanz aus dem Markt drängten. Im Jahr 2019 wurden nur noch wenige neue Windkraftanlagen in Deutschland gebaut, rund ein Fünftel dessen, was im Schnitt der vorangegangenen Jahre noch ausgebaut worden war. Und wieder gingen Zehntausende Arbeitsplätze verloren.

**Was wäre nun zu tun, um einen neuen Boom der Erneuerbaren auszulösen?**

Bei der Solarenergie sind die Kosten des technischen Aufbaus mittlerweile sehr stark gesunken. Trotz niedriger Einspeisevergütung lohnt eine Investition in eine Solaranlage, zumal wenn man sie für den Eigenverbrauch nutzt. Um die Investitionen wieder anzuschieben, bräuchte es einen Abbau von Bürokratie, die Beseitigung von Deckeln und keine weiteren Förderkürzungen. Bei der Windkraft hat man auch durch die Abstandsdiskussionen viel Akzeptanz verspielt. Hier sind mutige Entscheidungen und intelligente Überlegungen von Nöten, so dass Bürger und Kommunen vor Ort von Windkraft profitieren.

# Die Saubermeister



*Wind- und Solarenergie tragen zum Stromverbrauch in Deutschland schon kräftig bei. Viel mehr Windräder und Solaranlagen müssen aber entstehen, wenn spätestens in 20 Jahren nur mehr Ökostrom fließen soll.* Von Christian Rauch

**T**rotz des wachsenden Anteils Erneuerbarer verursacht der Energiebereich, also die Stromproduktion, noch fast 40 Prozent der Emissionen von Treibhausgas in Deutschland. Auf den Verkehr entfallen rund 20 Prozent. Die restlichen 40 Prozent kommen aus Industrie, Heizen und Landwirtschaft.

Im Energiebereich ist der Ausstieg aus der besonders klimaschädlichen Kohleverstromung bis spätestens 2038 so gut wie beschlossen. Zugleich gilt das politische Ziel, die globale Erwärmung auf maximal 1,5 °C zu begrenzen. Dazu müssen die Treibhausgasemissionen bis 2040 auf Null sinken. Im Energiebereich passen die reinen Zielvorgaben also zusammen. Doch dafür müssen die erneuerbaren Energieträger von jetzt gut 40 auf 100 Prozent ausgebaut werden. Und das in möglichst weniger als 20 Jahren. Zwar plädieren einige weiterhin für einen Anteil klimaneutraler Kernkraft am Energiemix, die in einigen Ländern weltweit weiter betrieben und teils sogar ausgebaut wird. Doch ein Konsens pro Kernkraft in Deutschland ist nach Fukushima und angesichts der Endlagerproblematik kaum mehr denkbar. Und da inzwischen der Anteil der Kernenergie

---

**Die erneuerbaren Energieträger müssen von jetzt gut 40 auf 100 Prozent ausgebaut werden. Und das in möglichst weniger als 20 Jahren.**

---

am Endenergiebedarf auf drei Prozent gesunken ist, würde auch ein Weiterbetrieb der Reaktoren kaum einen messbaren Beitrag zum Erreichen der Klimaschutzziele leisten. Als Zwischenziel hat die Regierungskoalition 65 Prozent bei der Stromversorgung in den nächsten zehn Jahren definiert. Doch wenn man sich den Ausbaugrad der letzten Jahre ansieht, scheint das sehr ambitioniert. Von 2017 bis 2019 kamen im Schnitt pro Jahr bei der Solar- und Windenergie jeweils knapp drei Gigawatt hinzu.

»Wenn wir die Ziele und darüber hinaus weitere Ziele zur Treibhausgaseminderung ernst nehmen, müssen wir in den nächsten Jahren wesentlich mehr zubauen, und zwar pro Jahr 10 Gigawatt bei Solaranlagen und rund sechs Gigawatt bei der Windkraft an Land und auf dem Meer«, sagt Simone Peter, Präsidentin des Bundesverbands Erneuerbare Energie. Dazu kommt noch ein Zubau von 0,6 Gigawatt Biomasse.

Nun haben kompliziertere Ausschreibungs- und Genehmigungsverfahren seit 2016 (siehe auch Interview) viele Pläne gestoppt oder verzögert. Dazu kommt die (Stand: Januar 2020) noch immer andauernde Diskussion

um die Abstandsregelungen. Welche Mindestabstände zu Wohnhäusern nun kommen und inwieweit einzelne Bundesländer davon nach unten abweichen können, bleibt abzuwarten. Auch wenn sich die Industrie mittlerweile auf eine neue Abstandsregelung vorbereitet – in der Windkraftbranche ist einiges an Vertrauen verloren gegangen. »Wir brauchen eine Akzeptanzkampagne für die Windkraft und die erneuerbaren Energien«, betont Simone Peter. »Wir müssen ehrlich sagen, dass wir hierzulande bedeutend mehr Ausbau brauchen.« Helfen können da auch akzeptanzfördernde Ideen, zum Beispiel Erlöse aus der Windkraftnutzung an die angrenzenden Kommunen und Bürger weiterzugeben.

Steigt der Ausbaugrad, sind jedoch auch technische Überlegungen zur effizienten Speicherung und intelligenten Verteilung von Nöten. Denn Solarenergie kann an langen sonnigen Sommertagen, Windenergie an stürmischen Tagen schon jetzt deutlich mehr Strom produzieren als das Netz an den Einspeisepunkten verkraftet. Nicht selten stehen deshalb trotz Wind Rotoren still und Solaranlagen werden trotz Sonnenschein abgeriegelt. Allerdings liegt das nur bedingt an den Erneuerbaren selbst. Noch immer ist viel Strom aus Kohle- und Gaskraftwerken in den Netzen unterwegs, auch in Situationen, in denen die Produktion aus erneuerbaren Energien den Bedarf alleine decken könnte. Denn viele Kraftwerke können aus technischen Gründen nicht so leicht heruntergefahren werden und manche bleiben zur Sicherung einer Grundversorgung, sowie aus rechtlichen oder wirtschaftlichen Gründen laufend am Netz. Außerdem fehlen noch immer viele Stromleitungen, um Wind- und Solarstrom effizient zu den Verbrauchern zu transportieren. Beim Stromtrassenausbau geben sich Experten allerdings zuversichtlich. Bis 2025 sollen unter anderem drei große Nord-Süd-Trassen fertiggestellt sein.

Auch grenzüberschreitenden Stromtransport aus erneuerbaren Energien will die Europäische Union bis 2030 deutlich vorantreiben. Denn über Europa hinweg gleichen sich mehr oder weniger windige und mehr oder weniger sonnige Wetterphasen an den meisten Tagen im Jahr gut aus. Neben kurzfristigen Wettervorhersagen sind statistische und saisonale Überlegungen wichtig, und die funktionieren umso besser, je größer und grenzüberschreitender das betrachtete Gebiet ist. So nutzt man längst den Strom-

---

**Mit steigendem  
Ausbau der erneuerbaren  
Energien sind technische  
Lösungen zur effizienten  
Speicherung und  
intelligenten Verteilung  
von Strom gefragt.**

---

import aus Österreich und der Schweiz in Frühjahr und Frühsommer, wenn dort dank Schmelzwasser die Wasserkraftturbinen stark rotieren. Umgekehrt importieren die Alpenländer in den Wintermonaten Strom. Sogenannte Grenzkuppelstellen, Netzverbindungsstellen zwischen den Ländern, ermöglichen diesen internationalen Stromhandel. Und der wird weiter massiv ausgebaut: Der aktuelle Zehnjahresplan des Verbands Europäischer Übertragungsnetzbetreiber sieht eine Investition von etwa 150 Milliarden Euro für die Optimierung und den Ausbau von rund 50 000 Kilometer Höchstspannungsleitungen in ganz Europa vor. Bei den meisten Projekten geht es dabei direkt oder indirekt um die Integration erneuerbarer Energiequellen.

### **Strom intelligent verteilen und speichern**

Zur intelligenten Verteilung von Strom müssen überdies Speicherlösungen kommen. Für kleine Solaranlagen auf Hausdächern gibt es längst effiziente Batteriespeicher. Bereits mehr als 120 000 Heimspeichersysteme wurden zusammen mit Fotovoltaikanlagen in Deutschland installiert. Der Preis für solche Heimspeicher hat sich binnen der letzten sieben Jahre rund halbiert. Und auch bei großen Solar- und Windkraftanlagen sind die Kosten von Speicherbatterien gesunken und ihre Kapazität ist deutlich gestiegen. Noch vor einigen Jahren lag sie erst bei wenigen Megawatt, so dass man verstärkt über mehr Pumpspeicherkraftwerke nachdachte, die aber vielerorts nur schwer realisierbar sind.

Nach Fortschritten in der Batterietechnik wurden jüngst Großspeicher von rund 100 Megawatt installiert. Das US-Unternehmen Tesla baut gegenwärtig gar erste Batteriespeicher mit einer Leistung von 150 Megawatt und 193 Megawattstunden Kapazität. Damit ließe sich der Strom von gut 60 einzelnen Windkraftanlagen eine Stunde lang speichern. Ein Pumpspeicherkraftwerk mit mehreren Hundert Metern Höhenunterschied ist kaum leistungsfähiger. Allerdings sind Pumpspeicherkraftwerke noch immer günstiger, so dass sie an geeigneten Stellen lohnen. Allerdings wehren sich vielfach Bürger dagegen, denn die Errichtung der Speicherseen erfordert zunächst einen großen Eingriff in die Natur.

## Stromverbraucher vernetzen

Eine weitere interessante und eher günstige Möglichkeit neben der klassischen Speicherung ist, den überschüssigen Strom in eine andere Nutzungsart zu verwandeln: Die Energie des Stroms wird also eingesetzt, um Elektroautos anzutreiben, Wärme zu erzeugen oder Wasserstoff herzustellen. Der umweltfreundliche, für das Netz überschüssige Strom hilft dann anderen Sektoren wie Industrie, Verkehr und Wärme, klimafreundlicher zu werden. »Power-to-X« nennen sich ganz allgemein sämtliche Ansätze, bei denen Strom auf diese Weise in eine andere Energieform gewandelt wird. Damit werden Sektoren, wie Strom und Verkehr, miteinander verknüpft, Experten sprechen daher auch von Sektorenkopplung. »Power-to-Mobility« beschreibt die Nutzung von Strom zur Fortbewegung. Für die meisten Züge ist das längst gang und gäbe. Für die nächsten zehn Jahre prognostizieren Experten jedoch einen enormen Anstieg durch Elektroautos. Da Elektroautos sehr viel effizienter arbeiten als Verbrennungsmotoren ist der zusätzliche Strombedarf überschaubar.

Problematisch kann es aber werden, wenn Millionen Elektroautos nach Feierabend gleichzeitig geladen werden wollen. Für Ingo Stadler, Professor für erneuerbare Energien und Energiewirtschaft an der Technischen Hochschule Köln, müssen die Ladestellen daher »smart« werden. »Die Menschen können ihr E-Auto am Abend einstecken. Doch die Ladestelle, die mit dem Energienetz im Rahmen eines ›smart grid‹ kommuniziert, weiß, wann sie während der Nacht laden soll und wann nicht.« Dadurch würden Spitzen vermieden, die Last verteilt und die geparkten E-Autos könnten überdies noch einen verteilten Stromspeicher darstellen.

Im Rahmen von »Power-to-X« ist auch die künstliche Herstellung von Kraftstoffen möglich. Dabei lässt sich zunächst durch Einsatz von Ökostrom mittels der Elektrolyse aus Wasser Wasserstoff gewinnen. Der Wasserstoff kann dann in Fahrzeugen oder auch Haushalten gelagert und später per Brennstoffzelle in Wärme oder Strom für einen Elektromotor umgewandelt werden. In Pkw ist zwar die direkte Nutzung von Batteriestrom im Elektromotor effizienter als die Nutzung durch die Brennstoffzelle. Letztere aber kann sich in größeren Verkehrsmitteln lohnen, in

---

**Power-to-X bezeichnet eine kostengünstige Möglichkeit, um überschüssigen Strom beispielsweise in den Batterien von Elektroautos zu speichern.**

---

Lkw, Schiffen und Flugzeugen, wo Batterien auf absehbare Zeit eine zu geringe Energiedichte besitzen. Ein weiterer Schritt, bei der Umwandlung von Strom in einen Kraftstoff (auch als »Power-to-Liquid« oder »Power-to-Gas« bezeichnet) ist, aus dem Wasserstoff durch Zugabe von Kohlendioxid einen Kohlenwasserstoff zu erzeugen. Der kann dann, als künstlicher Sprit oder künstliches Kerosin, direkt verbrannt werden.

Um klimaneutral zu bleiben, muss das zugeführte CO<sub>2</sub> jedoch entweder der Atmosphäre entnommen werden oder aus nachhaltiger Biomasse stammen. Der erstere Ansatz, »direct air capture«, wurde in der Praxis bisher nur in Versuchsanlagen getestet. Noch kostet es rund 600 US-Dollar, um eine Tonne CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu extrahieren. Mit zukünftigen Technologien könnte der Preis auf 100 Dollar und weniger sinken. Dann wäre die Nutzung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre wirtschaftlich. Deutlich günstiger ist es, das CO<sub>2</sub> zu verwenden, das in Biogas- und Biomasseanlagen ohnehin entsteht. Da die Energiegewinnung aus Biomasse jedoch in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion steht, ist hier das Potenzial begrenzt. Ein weiterer Ansatz ist, den künstlichen Kraftstoff durch die Verbindung von Wasserstoff und Stickstoff in Ammoniak zu erzeugen. Kohlendioxid wird dabei nicht benötigt.

## Ineffiziente Methode

Doch egal, ob CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre, CO<sub>2</sub> aus Biomasse oder Stickstoff, die Umwandlung von Strom in künstlichen Kraftstoff und dessen abschließende Verbrennung ist nicht sehr effizient. Während ein Elektromotor 80 bis 90 Prozent Strom in Bewegung umwandelt, ein Brennstoffzellenmotor über die gesamte Kette ab der Wasserstoffgewinnung noch rund 30 Prozent, und ein Diesel- oder Ottomotor im Schnitt 20 bis 25 Prozent Wirkungsgrad erreicht, schafft es die Kette vom Strom über Wasserstoff zum künstlichen Kraftstoff und seiner Verbrennung nur auf etwa 13 Prozent. Denn bei der Verbrennung entsteht erst einmal Wärme und aus der wiederum wird Bewegung gewonnen. »Der französische Physiker Nicolas Léonard Sadi Carnot hat schon vor 200 Jahren nachgewiesen, dass der Wirkungsgrad bei Verbrennungsprozessen beschränkt

ist«, erklärt Ingo Stadler. Rund 54 Prozent kann ein Verbrenner mit den im Fahrzeug vernünftig einsetzbaren Temperaturen theoretisch maximal erreichen, die praktische Technik liegt im Fahrbetrieb noch immer weit darunter. Künstliche Kraftstoffe lohnen also nur dann, wo der viel weniger dichte Wasserstoff zu große Lager- und Tankvolumen erfordern würde, also vor allem in bestimmten Schiffen und Flugzeugen.

Für reinen Wasserstoff gibt es aber neben der Brennstoffzelle noch weitere Anwendungsbereiche. So könnten mit erneuerbar erzeugtem Wasserstoff Gasheizungen in Haushalten oder Gaskraftwerke klimafreundlich betrieben werden. Wasserstoff ermöglicht auch umweltfreundlichere Prozesse in der Industrie. So kann Wasserstoff in der Stahlindustrie im Rahmen der Direktreduktion den klassischen Hochofen ersetzen, in dem die Koksverbrennung viel CO<sub>2</sub> freisetzt. Auch in der chemischen Industrie und bei der Zementherstellung sehen Experten für Wasserstoff großes Potenzial.

### **Umweltfreundlich heizen mit Wärmepumpen**

Schließlich kann Ökostrom auch den Energie- und Wärmebereich umweltfreundlich koppeln: »Power-to-Heat«. Neben den seit langem verfügbaren Elektroheizungen, die Strom direkt in Wärme umwandeln, setzen sich Wärmepumpen als innovative Technologie für Power-to-Heat durch. Wärmepumpen zapfen die Wärme aus äußeren Quellen, wie der Außenluft, Gewässern oder dem tieferen Erdboden, an. Nach dem Prinzip des Kühltanks steigert die Wärmepumpe mit Hilfe von Strom diese Wärme. So müssen beispielsweise die 10 Grad aus dem tieferen Erdboden auf 35 bis 40 Grad für Fußbodenheizungen oder über 60 Grad für Heizkörper gesteigert werden.

Bei alten Fernwärmesystemen sind noch über 100 Grad Zieltemperatur erforderlich, bei den neuesten teils unter 50 Grad. Trotz dieser Differenzen zur Zieltemperatur steckt in den 10 Grad Ausgangstemperatur aus dem Boden bereits Energie, und so wird der Wärmegewinn nicht allein durch den Strom erzielt. Wärmepumpen sind daher deutlich effizienter als direkte Stromheizungen. Rund eine Million sind in deutschen Haushalten bereits installiert. Bei gut gedämmten Gebäuden kann eine Wärmepumpe

---

**Gasheizungen in Haushalten können mit Wasserstoff klimafreundlich betrieben werden, wenn der Wasserstoff mit Hilfe erneuerbarer Energien hergestellt wurde.**

---

als Heizung ausreichen, bei anderen Gebäuden wird sie gern mit Gas, Solarthermie oder Holzheizungen kombiniert. Doch mittlerweile existieren auch leistungsstarke Großwärmepumpen für das Gewerbe, die Industrie und Heizkraftwerke. In Lemgo in Nordrhein-Westfalen betreiben die Stadtwerke eine Wärmepumpe, die die konstant 13 Grad warmen Abwässer aus der städtischen Kläranlage nutzt und mit rund 900 Kilowatt Stromzufuhr Warmwasser und Heizung für etwa 1600 Haushalte und Betriebe bereitstellt. Dabei werden gut 3000 Tonnen Kohlendioxid eingespart. Fast zehnmal mehr schafft die neue Großwärmepumpe Wien-Simmering in Österreich: 25 000 Haushalte werden hier versorgt, 40 000 Tonnen CO<sub>2</sub> im Jahr eingespart.

Beim Think Tank »Agora Energiewende« in Berlin sieht Matthias Deutsch, Projektleiter für die Themen Strom, Wärme und Speicher, noch wesentlich mehr Potenzial für Wärmepumpen. »Vier bis fünf Millionen Wärmepumpen in Haushalten werden bis zum Jahr 2030 für die Klimazielumsetzung benötigt. Im Gewerbe und der Industrie sollte die Zahl auch steigen. Dabei müssen wir noch andere effizientere Wärmequellen neben Luft, Wasser und Erdboden nutzen, zum Beispiel die Abwärme aus Betrieben, aus Computer- und Serverräumen, oder die Abwässer aus der Industrie, die mit 15 bis 30 Grad deutlich wärmer sind als normales Abwasser.« Laut dem Experten fällt überall in unseren Städten, Gemeinden, Industrie- und Gewerbegebieten Abwärme an, die durch Wärmepumpen in Wärmenetzen effizient genutzt werden könnte. »Die haben wir bisher weitgehend verpuffen lassen«, so Deutsch. Und dort wo Wärmepumpen große Wassermengen effizient wärmen, entstehen automatisch auch neue Speichersysteme. Mit wenigen Euro pro Kilowattstunde sind die sehr viel günstiger als Batteriespeicher.

Setzen sich Power-to-X-Technologien und die Sektorkopplungen mehr und mehr durch, kann damit überschüssiger Ökostrom effizient verwendet statt gespeichert oder gar abgewürgt werden. Fahren allerdings in absehbarer Zeit Millionen Elektroautos durch die Straßen, stehen Millionen Wärmepumpen in Haushalten und Betrieben und nutzt die Industrie mehr und mehr strombasierten Wasserstoff, reicht kein überschüssiger Strom – dann ist

insgesamt auch deutlich mehr Strom nötig. Zwar wird es im gleichen Zeitraum auch weitere Energieeinsparungen bei elektrischen Geräten und Maschinen geben. Dennoch müssen in den Sektoren Verkehr, Industrie und Wärme, auch andere Energieeinsparpotenziale realisiert werden. Gebäude müssen energieeffizient saniert werden, mehr Menschen mit öffentlichen Verkehrsmitteln fahren und die Industrie muss mehr Produkte wiederverwendbar machen, durch Recyclingfähigkeit und Kreislaufwirtschaft.

»Trotzdem wird der gesamte Stromverbrauch durch die Sektorenkopplungen in Deutschland ansteigen«, räumt Matthias Deutsch ein. Müssen dann hierzulande noch viel mehr Windräder und Solaranlagen gebaut werden, als man bisher prognostizierte? Die Rechnungen der Experten und Institute gehen auseinander. Manche sagen bis 2030 nur einen moderaten Anstieg des Stromverbrauchs in Deutschland voraus, der heute bei rund 570 Terawattstunden im Jahr liegt.

Andere prognostizieren eine deutliche Steigerung. Bis 2050 gehen einige von einer annähernden Verdopplung auf über 1000 Terawattstunden aus. Klar ist: Würden die 45 Millionen Pkw elektrisch fahren, würde allein dies einen zusätzlichen Strombedarf von gut 100 Terawattstunden bedeuten. »Mit insgesamt rund 800 Terawattstunden Stromverbrauch im Jahr 2050 kann man gut rechnen«, erklärt Deutsch. Wenn diese Strommenge dann zu 100 Prozent aus erneuerbaren Energien stammen soll, müsste sich die Ökostromproduktion verglichen mit dem jetzigen Stand etwa verdreifachen.

### Erneuerbare Energiequellen besser nutzen

Und dennoch: Eine überhandnehmende Ausweitung von Windrädern und Solaranlagen vor unseren Haustüren muss niemand befürchten. Denn: Schon heute tragen erneuerbare Energien, die zu rund 40 Prozent den Stromverbrauch decken, mehr Potenzial in sich. Nicht alles was Solar- und Windkraftanlagen an Strom einspeisen könnten, wird genutzt, da ein heute starr mitlaufender Sockel von konventionellem Strom gegeben ist. Wird der mit dem Kohleausstieg entfallen, können erneuerbare Anlagen besser ausgelastet werden. Des Weiteren werden viele neue Windkraftanlagen auf dem Meer entstehen.

---

**Niemand muss fürchten, dass durch Windräder und Solaranlagen die Landschaft zugebaut wird. Denn die bestehenden Anlagen schöpfen derzeit ihr Potenzial gar nicht aus.**

---

So hat das Klimakabinett der Bundesregierung beschlossen, die Offshore-Windenergie bis 2030 auf 20 Gigawatt auszubauen – das ist dreimal mehr als jetzt. Die Branche hält längerfristig sogar einen Ausbau auf 50 Gigawatt für möglich. Das könnte bereits ein Drittel des gegenwärtigen Stromverbrauchs decken. Auf dem Land können, neben dem Neubau, auch ältere Windkraftanlagen durch Repowering aufgerüstet und leistungsfähiger gemacht werden. Und schließlich sollte man die internationale Perspektive nicht vergessen. Denn weltweit gibt es viele dünner besiedelte Gebiete, wo Windkraftanlagen weniger stören, und es gibt Gebiete, wo die Sonne sehr viel öfter und länger scheint. Den Strom aus solchen Gebieten Kontinente übergreifend über lange Stromtrassen zu transportieren, wie es das Desertec-Projekt projektierte, scheint angesichts der Diskussion um Stromtrassen in Deutschland zwar schwierig. »Doch bestehende Erdgasleitungen und -pipelines können für den Transport von Wasserstoff umgerüstet oder Wasserstoff mit Schiffen transportiert werden«, gibt Ingo Stadler zu bedenken. Wird dieser Weg für die wenigen Zeiten mit sowohl geringer Solarstrahlung wie auch wenig Wind bestritten, spielt der Gesamtwirkungsgrad des Prozesses für das gesamte Energiesystem eine untergeordnete Rolle.

### Eine klimaneutrale Energiezukunft

Eine grüne, vollständig erneuerbare Energiezukunft erscheint für Deutschland binnen 20 Jahren also durchaus realistisch. Sicher werden noch deutlich mehr Windkraftanlagen und Solaranlagen sowie mehr Stromleitungen als bisher gebaut werden müssen. Viel Dialog mit der Bevölkerung muss es geben, da weitere Erschließungen und landschaftliche Eingriffe damit verbunden sind. Doch durch die Nutzung der Sektorenkopplung sind dann auch die CO<sub>2</sub>-Einsparziele in anderen Bereichen möglich. Nur so kann die Klimaerwärmung auf ein erträgliches Maß beschränkt werden. Und durch vernünftigen Ausbau der Offshore-Windkraft, durch intelligente Verteilung und Speicherung, wird der Zahl der Windräder und Solarzellen in der Landschaft nicht in unabsehbare Höhen steigen müssen. Ein »völlig verspargeltes« Deutschland braucht man auch in 20 Jahren nicht zu befürchten. ■■■



DER AUTOR

**Dipl.-Ing. Christian Rauch**  
ist freier Journalist für  
Zeitungen und Zeitschriften.  
Schwerpunkte: Wissen-  
schaft/Technik sowie Reise  
und Tourismus.



# Kleinwasserkraftanlagen Lowtech für Nepal

*In Nepal leben viele Menschen ohne Zugang zu elektrischer Energie. Ein Projektteam der Technischen Universität München forscht nach Lösungsansätzen, die sowohl nachhaltig wie auch kostengünstig sind.* Von Stephan Baur (Text und Bild)

In der kleinen Ortschaft Phu, die etwas nördlich des Achttausenders Annapurna liegt, sitzen Tsering, ihr Mann Karma und die beiden kleinen Kinder im Dunkeln der fensterlosen Küche. Nur das offene Kochfeuer und zwei Öllampen bringen etwas Licht in den niedrigen Raum. An der Zimmerdecke hat sich über die Jahre hinweg pechschwarzer und klebriger Ruß angesammelt. Umgerechnet drei bis fünf Euro investieren sie monatlich in Öl und Kerzen, damit sie am Abend und in der Früh nicht im Dunkeln sitzen. Eine saubere und funktionierende elektrische Beleuchtung würde den Alltag der Familie erheblich erleichtern. Die

Yak-Hirten bei der Mittagspause in ihrer einfachen Behausung in der Nähe der Ortschaft Nar auf weit über 4000 Meter im Annapurna-Gebiet.

Ortschaft mit ihren knapp 200 Einwohnern liegt jedoch abgeschieden auf einer Höhe von gut 4000 Metern an einem Talschluss und ist nicht an das öffentliche Stromnetz des Landes angeschlossen. Bis zur Ortschaft Chame gelangt man noch mit einem Jeep. Von dort ist es aber immer noch ein anstrengender zwei- bis dreitägiger Fußmarsch bis nach Phu. Aufgrund dieser abgelegenen geografischen Lage ist ein Netzanschluss für die Ortschaft sowohl technisch als auch finanziell schwierig bis unmöglich.

Die Rahmenbedingungen der Ortschaft Phu sind in Nepal jedoch keine Seltenheit. Im südlichen und zentralen



Bild unten: Inbetriebnahme der ersten Testanlage bei Kushadevi in der Nähe der Kathmandu University.

ern, da die meisten Haushalte den Strom ausschließlich für die elektrische Beleuchtung und weitere kleine Verbraucher benötigen.

Solar-Home-Systeme, kleine Fotovoltaikanlagen mit einer Speicherbatterie, kommen bereits weltweit bei derartigen Herausforderungen und Gegebenheiten erfolgreich zum Einsatz und sind sicher ein Lösungsansatz. Ein Nachteil ist jedoch die kostenintensive und anfällige Speicherbatterie. Zudem müssen in Nepal alle Komponenten für solche Anlagen in der Regel aus Indien oder China importiert werden. Ein alternativer Ansatz, der ebenfalls nachhaltig auf der Nutzung von erneuerbaren Energien beruht, sind Kleinwasserkraftanlagen. Eine Speicherbatterie wird in diesem Fall nicht benötigt, da die Anlage in der Regel rund um die Uhr Energie erzeugt. Zudem ist für das Land Nepal der Einsatz von Kleinwasserkraftanlagen naheliegend, da es in der Nähe der Ortschaften meist Bäche bzw. Bewässerungskanäle und damit zahlreiche Standorte gibt. Das vorhandene Potenzial ist immens.

Einheimischen in den abgelegenen Regionen Nepals mit kleinen dezentralen Anlagen die Nutzung des Wasserkraftpotenzials zu ermöglichen, ist das Ziel des Projekts

Teil des Landes sind die meisten Ortschaften und Städte mit dem öffentlichen Stromnetz verbunden. Wegen der Energiemangel und technischer Probleme kommt es hier aber zu häufigen Stromausfällen. Die Bevölkerung hat inzwischen gelernt damit umzugehen. Im Nordosten und Nordwesten Nepals leben jedoch etwa sieben Millionen Menschen ohne Zugang zu elektrischer Energie. Sie müssen ihren Alltag ohne Strom bewältigen. Eine technisch sinnvolle Lösung für diese Gebirgsregionen stellen dezentrale Energiesysteme, sogenannte Inselanlagen, dar. Bereits kleine Anlagen könnten die Situation dort deutlich verbes-





Aufbau und Installation einer Pilotanlage aus Holz, zusammen mit Einheimischen, zur Erprobung der Machbarkeit des Projekts.



von Diplom-Physiker Stephan Baur und seinem Team. Er ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme der Technischen Universität München und Lehrer für die Fächer Mathematik, Physik und Informatik am Gymnasium in Geretsried. Die Projektmotivation besteht darin, eine Anlage zu designen und zu entwickeln, bei der die meisten Komponenten in Nepal besorgt bzw. hergestellt werden können, um eine lokale Wertschöpfung sicherzustellen. Verwendung einfacher Materialien, Robustheit und niedrige Gesamtkosten sind bei dem Projekt wichtiger als ein optimaler Wirkungsgrad. Auf lange Sicht sollen kleine Unternehmen vor Ort in der Lage sein, die Anlagen völlig selbstständig aufzubauen und zu installieren. Das Projektteam liefert ausschließlich die Ideen und das Wissen und begleitet die Unternehmen in der ersten Phase.

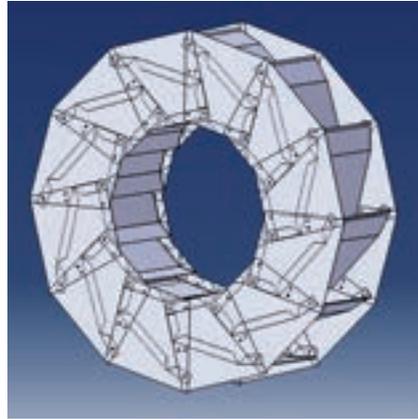


Bei dem Projekt wird für die Stromgewinnung auf klassische Wasserräder gesetzt. Die Idee ist uralte, aber der Ansatz ist neu. Heutzutage werden vorwiegend teure Wasserturbinen verwendet, die in der Regel Gefälle von vielen Metern benötigen. Im Gegensatz dazu arbeiten klassische Wasserräder schon bei Gefällen ab einem Meter, wie man sie überall in Nepal an den unzähligen Terrassenbauten findet. Obendrein sind die Einheimischen mit dem Wasserrad-Prinzip von ihren wasserbetriebenen Getreidemühlen her bestens vertraut. Ein riesiger Vorteil, denn dadurch können sie ohne große Umschulung einen erheblichen Teil der Installations- und Wartungsarbeiten selbst übernehmen. Die zentrale Herausforderung besteht somit darin, die alte und erprobte Technologie an die speziellen und aktuellen Gegebenheiten in Nepal anzupassen.

Von Anfang an wurde bei dem »Lowtech-Waterwheel Projekt« darauf geachtet, dass die Anlage stets in enger Zusammenarbeit mit den Einheimischen entwickelt wird, um auf die lokalen Möglichkeiten und Bedürfnisse einzugehen.

Mit Hilfe einer ersten Pilotanlage nahe der Ortschaft Sallerie im Gebiet Solu Khumbu wurde die Machbarkeit des Projekts erprobt. Zusammen mit einheimischen Freunden wurde innerhalb von knapp zwei Wochen eine Testanlage aus Holz konstruiert und installiert. Nach bud-

Mehrere Standardzellen werden zu einem kompletten Wasserrad verschraubt. Die modulare Bauweise ermöglicht eine einfache und flexible Anpassung an den jeweiligen Standort.



dhistischer Weihung durch den Dorfmonch wurde das Wasserrad in Betrieb genommen und konnte tatsächlich mehrere Leuchtmittel, Handys und eine kleine Bohrmaschine mit Strom versorgen. Während dieser Projektphase konnten viele wertvolle Erfahrungen und Ergebnisse gesammelt werden und das Grundprinzip wurde bestätigt. Zudem stellte sich heraus, dass sich deutsche Gründlichkeit und nepalesisches Improvisationstalent in vielversprechender Weise ergänzen. Klar wurde aber auch, dass sich Holz als Grundmaterial für das Wasserrad nicht optimal eignet, da dieses schwer und teuer ist. Mit einem Rucksack voller Erfahrungen und der Erkenntnis, dass sich dünnes verzinktes Stahlblech anstatt Holz gut und besser eignet, ging es wieder zurück an den Schreibtisch in Deutschland.

Auf der Grundlage von aufwendigen Berechnungen und Simulationen wurden schließlich das Design und der Aufbau eines Wasserrades für den Einsatz in Nepal entwickelt. Zentrale Komponente ist eine sogenannte Standardzelle, die aus vier Stahlblechen gefertigt wird. Mit Hilfe von Schablonen werden die Bleche zugeschnitten und mit entsprechenden Bohrungen und Biegungen versehen. Der Zusammenbau der Standardzellen erfolgt mit einfachen Nieten. Schließlich werden mehrere einzelne Standardzellen zu einem Radkranz, also einem kompletten Wasserrad, zusammenschraubt. Die Anzahl der Standardzellen gibt den Durchmesser des Rades vor. Mit dieser modularen Bauweise kann einfach und sehr flexibel ein passendes Wasserrad für den jeweiligen Standort gefertigt werden und Wasserräder mit einem Durchmesser von etwa einem bis zwei Metern hergestellt werden. Falls eine große Menge Wasser vorhanden ist, kann das Schluckvolumen der Anlage erweitert werden, indem zwei oder drei Wasserräder parallel auf einer massiven Achse montiert werden. Achsen, Lager und Verbindungsmuffen zum Generator werden aus dem Kfz- und Lkw-Bereich verwendet. Als Generator kommt ein Asynchronmotor zum Einsatz, der, mit drei Kondensatoren bestückt, im Inselbetrieb verwendet werden kann und direkt 230 Volt Wechselspannung liefert. Diese Art von Generator, auch wenn der Wirkungsgrad bei nur etwa 60 Prozent liegt, eignet sich hervorragend für das Projekt, da er weltweit verfügbar und besonders günstig, wartungsarm und robust ist.



Bild oben: Durch die Lowtech Konstruktion ist die Herstellung der Anlage auch in sehr einfachen Werkstätten möglich.





Während der Planungsphase fand ein ständiger und reger Austausch speziell mit der Kathmandu University und mehreren einfachen Handwerksbetrieben statt. Da die Anlagen in Zukunft in sehr abgelegenen Regionen installiert werden sollen, wurden bei der Entwicklung ebenfalls die Transport- und Installationsmöglichkeiten berücksichtigt. Die Anlage kann unproblematisch in einzelnen Komponenten an den jeweiligen Standort transportiert werden. Jede Einzelkomponente wiegt maximal 80 Kilogramm, da dies in etwa die Obergrenze für die lokalen Träger darstellt. Zudem lässt sich das Wasserrad am Standort mit sehr einfachen Möglichkeiten zusammenfügen und schließlich installieren, und all das sogar ohne Strom.

Nach dieser Planungsphase wurde das Konzept vor Ort in Nepal auf Herz und Nieren getestet. Die Herstellung und Installation einer realen kleinen Testanlage stand dazu auf dem Programm.

Mit den einheimischen Handwerkern in Kathmandu wird ausführlich über eine passende Welle und weitere Komponenten für die Kleinwasserkraftanlage philosophiert.

Kurzfilm: *Eigentlich wollten wir nur Bergsteigen – Nepal Waterwheel Project*  
[www.youtube.com/watch?v=4-jOwai3BPo](https://www.youtube.com/watch?v=4-jOwai3BPo)



Der Kontakt zu Laxman ist eher durch Zufall entstanden. Laxman war vor ein paar Monaten noch Geflügelzüchter und hat sich eine kleine Metallwerkstatt in der Nähe von Bhaktapur bei Kathmandu eingerichtet. Seine Ausstattung an Werkzeug ist zwar sehr gering, das Interesse an dem Projekt aber umso größer. Er und seine Mitarbeiter lernten schnell, und so konnte innerhalb von ein paar Tagen das Rad gefertigt werden. Die Fertigungsgenauigkeit ist zwar nicht ganz perfekt, führt jedoch aufgrund der geringen Umdrehungszahl des Rades zu keinen wirklichen Auswirkungen. Über den Kontakt zur Kathmandu University wurde ein passender Standort ausgewählt und die Anlage an einem Bewässerungskanal bei Kushadevi installiert. Schon während der Bauphase wurde die Anlage von der einheimischen Bevölkerung neugierig begutachtet. Und groß war das Staunen, als die Anlage mit Erfolg in Betrieb genommen werden konnte.



Blick auf die Ortschaft Ngawal auf knapp 3700 Meter im Annapurna-Gebiet. Im Hintergrund die Gipfel Chulu East (links) und Chulu Far East (rechts).

In Zukunft sollen weitere Pilotanlagen installiert werden und schließlich in den angedachten abgelegenen Hochgebirgsregionen zum Einsatz kommen. Die große Herausforderung bei dem Gesamtprojekt basiert auf der gut durchdachten Einfachheit.

Für passende Lösungsstrategien ist der enge kulturelle Kontakt und der konstruktive technische Wissensaustausch mit den Einheimischen entscheidend und stellt den Schlüssel für eine langfristige, nachhaltige und flächendeckende Umsetzung des Projekts dar. Zentraler Aspekt ist die Hilfe zur Selbsthilfe. Auf längere Sicht soll das Projekt durch kleine Unternehmen vor Ort zum Selbstläufer werden und eine lokale Wertschöpfung sicherstellen. Es wird sich herausstellen, ob zukünftig in zahlreichen Haushalten Nepals die Beleuchtung mit Hilfe von sauberem Strom durch Lowtech-Wasserräder betrieben wird. ■■



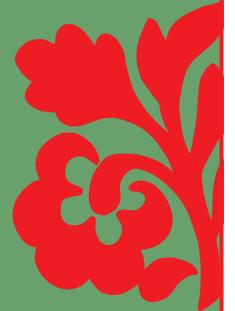
DER AUTOR

#### Stephan Baur

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme an der Technischen Universität München, Lehrer am Gymnasium Geretsried und Autor beim Bergverlag Rother.

# RADSPIELER

*Seit 1841*



*Radspieler –  
damit  
Einrichten  
Freude  
macht!*



*F. Radspieler & Comp. Nachf.  
Hackenstraße 7  
80331 München  
Telefon 089/23 50 98-0  
Fax 089/26 42 17  
[www.radspieler.com](http://www.radspieler.com)*



# Chinas Spagat beim Klima

Von Joachim Sokol

*»Die Energie kann als Ursache für alle Veränderungen in der Welt angesehen werden.«*

Diese Aussage des Physikers Werner Heisenberg (1901–1976) erscheint vor dem Hintergrund der Diskussionen um die bedrohlichen Veränderungen des Klimas geradezu prophetisch. Jahrzehntlang waren Energie und Energiegewinnung in der öffentlichen Wahrnehmung kaum präsent. Gemeinhin mit Strom assoziiert, kam Energie einfach aus der Steckdose. Mit der Klimaveränderung hat sich das grundlegend geändert. Energie ist als Treiber der Emissionen in den Fokus gerückt, auch wenn die dabei verwendeten Schlagworte in die Irre führen: Denn nicht das Klima muss geschützt werden, sondern die Menschheit muss sich vor zu starker und zu schneller Veränderung des Klimas schützen.

Die Klimaveränderung ist ein globaler, zeitlich nicht einzugrenzender Vorgang, während die Energieversorgung, -gewinnung, und -nutzung zersplittert individuell, regional, kommunal und staatlich geregelt sind. Einem grenzenlosen und erst einmal zeitlosen Problem steht also eine fragmentierte Phalanx von Verursachern aus Staaten, Regionen, Wirtschaft bis hin zu Individuen gegenüber. Um den Lebensraum »Erde« für die Menschen zu retten, bräuchte es global kontrollierte, radikale und rasche Veränderungen. Das aber widerspricht nicht nur den Gewohnheiten der meisten Menschen, sondern vor al-

lem auch den tradierten Methoden politischen Handelns, und es kollidiert massiv mit den Interessen unseres Wirtschaftssystems.

Grundlegende Fragen sind zu beantworten, ehe wirksame Maßnahmen ergriffen werden können, um die Menschen vor den Folgen einer ungebremsten Erwärmung der Erde zu schützen: Was beeinflusst die Energienutzung in den unterschiedlichen Regionen, und umgekehrt, wie beeinflussen Gesellschaft, Politik und Wirtschaft die Energienutzung in den jeweiligen Regionen der Welt? Warum führt die gleiche Diskussion über die Klimaveränderung zu unterschiedlichen Antworten in der Energieversorgung einzelner Regionen und wie werden die weiteren Entwicklungen aussehen? Wird oder kann der Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung erfolgreich sein trotz steigendem, aber ungleich verteiltem Bevölkerungswachstum, den ungleichen geografischen und klimatischen Bedingungen, die sich möglicherweise durch die Klimaerwärmung rasch ändern werden, die aber wesentlich für einen nachhaltigen und ökonomisch sinnvollen Einsatz erneuerbarer Energien sind? Und nicht zu vergessen, kann die Zunahme von erneuerbaren Energien die erwartete Abnahme der Verfügbarkeit (bzw. die damit verbundene Kostenzunahme der Bereitstellung) von fossilen Energieträgern kompensieren?

Neben den primären Faktoren wie Bedarf, Versorgung, Verbrauch, Verteilung, Kosten, Preise, Zuverlässigkeit, Wirkungsgrad und Energiemix spielen weitere Faktoren zur Beantwortung dieser Fragen eine wesentliche Rolle.



Hierzu zählen das Flächenangebot, das Bruttosozialprodukt und das damit korrelierte verfügbare Einkommen, das Bevölkerungswachstum und damit einhergehende demografische Entwicklungen. Ferner Haushaltsgrößen, Verkehr, Gewerbe, Handel, Industrie, Dienstleistungen und Strukturveränderungen. Großen Einfluss haben auch die klimatischen Gegebenheiten, insbesondere der jährliche Temperaturverlauf. Zwei Kernfragen sind für die Zukunft der Menschen essenziell – ungeachtet aller Komplexität und Meinungen:

- ▶ Haben wir genügend Energie zur Verfügung, ausreichend für das prognostizierte Bevölkerungswachstum mit einem akzeptierten Wohlstand?
- ▶ Wie entwickeln sich die Einflussgrößen des Energieverbrauchs im globalen Maßstab unter Berücksichtigung spezifischer Ausprägungen in einzelnen Ländern und Regionen?

### Energie für ein Megareich

Am Beispiel Chinas lassen sich Triebkräfte und Entscheidungsmuster rund um das Thema Energie erkennen. Sie gelten zwar nur für dieses Land, können aber als Blaupause für das Verständnis der Spezifika anderer Länder und Regionen genutzt werden. 2017 haben die weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen um 2 Prozent wieder kräftig zugelegt. Dies zeigten Berechnungen des internationalen Forschungsverbands »Global Carbon Project« (GCP). In absoluten Zahlen sind dies 41 Milliarden Tonnen durch menschliches Handeln verursachtes CO<sub>2</sub>. Die deutschen Emissionen in

diesem Zeitraum lagen bei etwa 0,9 Milliarden Tonnen. Drei Jahre lang zuvor existierte die Hoffnung auf ein Absinken des globalen CO<sub>2</sub>-Wertes, es wurde zumindest kein Anstieg verzeichnet. Der Grund für die Erhöhung ist ganz einfach zu benennen: vermehrter Kohleeinsatz in der Industrie und ein Rückgang der Wasserkraft mangels Regen in China.

Interessant in dem Zusammenhang ist die Entwicklung Chinas in der Vergangenheit. Im Jahre 1990 verbrauchte China an Kohle pro Tag 2,9 Millionen Tonnen, an Koks 189 Tausend Tonnen, an Rohöl 322 000 Tonnen und 17,1 Millionen KWh Strom. Bis 2006 stiegen die entsprechenden Zahlen für Kohle auf 6,6 Millionen Tonnen, für Koks auf 756 Tausend Tonnen und für Rohöl auf 883 Millionen Tonnen. Hochgerechnet auf ein Jahr verbrauchte China somit 1,1 Milliarden Tonnen Kohle im Jahre 1990. Dieser Wert steigerte sich bis zum Jahre 2018 auf 3,68 Milliarden Tonnen, das ist mehr als eine Verdreifachung. Betrachtet man den Verlauf der letzten Jahre anhand der gängigen Größe »Öleinheit«(oe) so ergibt sich ein Spitzenwert im Jahre 2013 mit 1,97 Mtoe der bis 2016 auf 1,89 fiel und im Jahr 2018 wieder auf 1,9 Mtoe anstieg.

Damit nicht genug, plant die Volksrepublik einen weiteren Ausbau der Kohlekraft. Mittlerweile sind über 1000 Gigawatt an Kohlekapazität in China installiert, das entspricht bereits der Hälfte der weltweit installierten Leistung. Und obwohl es bereits Überkapazitäten gibt, fordert die chinesische Kohleindustrie einen Ausbau auf 1400 Gigawatt bis zum Jahr 2035. China ist weltweit größter

Die Öleinheit (ÖE) ist eine Maßeinheit für die Energiemenge, die beim Verbrennen von einem Kilogramm Erdöl freigesetzt wird. Aus praktischen Gründen wird als Basiseinheit oft *toe* verwendet, also die Energiemenge aus der Verbrennung von einer Tonne Erdöl.

#### Chinas Kohleverbrauch Jahr/Mtoe:

2013 / 1,97
2014 / 1,95
2015 / 1,91
2016 / 1,89
2017 / 1,89
2018 / 1,90



Auf dem Land decken Windkraftwerke den Strombedarf der Bevölkerung.

CO<sub>2</sub>-Emittent und Nutzer von Kohle. Ohne Kohle geht es nicht und Kohle wird noch längere Zeit der wichtigste Primärenergieträger bleiben.

Gleichzeitig subventioniert China den Ausbau erneuerbarer Energien, es wurden Verträge für den Bau von Wind- und Solaranlagen abgeschlossen, die Strom zum gleichen Preis wie Kohlekraftwerke erzeugen. China sorgte nach einer Bilanz der Internationalen Energieagentur IEA auch dafür, dass 2016 zum ersten Mal weltweit mehr Stromkapazitäten für erneuerbare als für fossile Energie ans Netz gegangen sind. Auch bei der Nutzung von Kernkraftwerken liegt China weltweit mit 47 Reaktoren im Betrieb und 11 weiteren geplanten AKWs an Zahl und Leistung hinter den USA und Frankreich auf dem dritten Platz.

### Katastrophen am Perlfussdelta

Mit den letzten beiden Fünfjahresplänen und dem im Jahr 2006 in Kraft getretenen Gesetz für erneuerbare Energien hat die chinesische Regierung Regeln für die Veränderung der Deckung des Energiebedarfs aufgestellt, hin zur Entwicklung und Nutzung erneuerbarer Energien. Es beinhaltet Zielvorgaben für erneuerbare Energien auf nationaler Ebene, die auf die einzelnen Energieproduzenten übertragen werden sollen. Ferner die Verpflichtung der staatlichen Netzbetreiber, erneuerbar produzierten Strom abzunehmen, in das Stromnetz und die Überlandleitungen einzuspeisen sowie finanzielle Anreize zum Ausbau der erneuerbaren Industrie zu bieten.

Dies geschieht aus ureigenem Interesse. Denn neben der Umweltproblematik und den damit verbundenen Gesundheitsrisiken für die Bevölkerung ist das Perlfussdelta in Südchina nach Angaben der Weltbank eine der Regionen der Welt, die am meisten mit den Auswirkungen des Klimawandels zu kämpfen haben wird. Die Gegend mit den Metropolen Hongkong, Shenzhen und Guangzhou ist Chinas Werkbank und Hightech-Hochburg zugleich, außerdem eine der wirtschaftlich dynamischsten Regionen der Welt. Die Weltbank vermutet, dass China schon jetzt rund 1,4 Prozent seiner jährlichen Wirtschaftsleistung einbüßt, um die schweren Schäden von Tropenstürmen, Überschwemmungen, Erdbeben, Dürren und anderen Katastrophen zu beheben, die unmittelbar auf den Klima-



wandel zurückzuführen sind. Kein Wunder, dass es die chinesische Regierung ernst meint mit dem Klimaschutz. So wurden »Schlachtpläne« entwickelt, die eine Verringerung der Emissionen von Kohlekraftwerken allein für 2017 um rund sieben Prozent in 28 Städten vorsahen. Da im September 2017 dieses Ziel noch in weiter Ferne lag, wurde zu sehr viel drastischeren Maßnahmen gegriffen. Seit Anfang Oktober 2017 mussten landesweit schon mehr als 176 000 Fabriken und 44 000 Kohlekraftwerke zeitweise ihre Pforten schließen.

### Klimaschutz in die Verfassung geschrieben

»Wir müssen die strengsten Umweltschutzmaßnahmen umsetzen«, erklärte Xi Jinping Mitte Oktober 2017 zum Auftakt des 19. Parteikongresses, dem politischen Großereignis, dass nur alle fünf Jahre stattfindet. Und weil seine Worte Teil der neuen Parteiverfassung wurden, genießt seither auch der Klima- und Umweltschutz in China eine Art Verfassungsstatus. (Es sei in diesem Zusammenhang daran erinnert, dass der 15. Weltklimagipfel 2009 in Kopenhagen nicht zuletzt daran scheiterte, dass China – der größte Emittent von klimaschädlichem CO<sub>2</sub> – verweigerte, sich auf verbindliche Emissionsziele festlegen zu lassen. Der Durchbruch erfolgte erst sieben Jahre später beim Pariser Gipfel.) Bereits im Dezember 2019 startete China einen landesweiten Emissionshandel. Mit einem Volumen von rund drei Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> aus Kraftwerksanlagen umfasst dieser immerhin rund ein Drittel der gesamt-



ten chinesischen Emissionen. Auch damit geht die Volksrepublik einen wichtigen Schritt in Richtung Klimaschutz. Mit Hilfe des Emissionshandels soll das für 2030 gesetzte Klimaziel schneller erreicht und der Ausstoß von Treibhausgasen weiter reduziert werden.

### **Vom Klimasünder zum Klimaschützer?**

Der weltweit größte Klimasünder wird zum Musterschüler in Sachen Klima? Wie passt das zusammen? Durch einen Blick in die Vergangenheit und das Verständnis, wie Chinesen auf die Welt schauen, lassen sich die Zusammenhänge herstellen: China war jahrtausendlang eine Großmacht mit einem daran sich orientierenden Weltbild und Selbstverständnis. Das Reich betrachtete sich immer als Mittelpunkt der Welt und blieb bis ins frühe 19. Jahrhundert die weltgrößte Wirtschaftsmacht. Die alte Seidenstraße war das Symbol für Globalisierung, Reichtum und interkulturellen Austausch. Völker der unterschiedlichsten Kulturen und Religionen trafen in den großen Handelsstädten entlang des gigantischen Netzwerks aufeinander und tauschten neben Waren auch Ideen, Einstellungen, Philosophien und Traditionen aus. Toleranz war eine unabdingbare Voraussetzung für das friedliche Miteinander.

Das alte, dynastische chinesische Kaiserreich blickte dabei mit dem Selbstverständnis des damals mächtigsten Landes der Erde auf seine Handelspartner herab. Das Land begriff sich als ein Reich, das »alles unter dem Himmel« erfasst. Erst die wachsende Bedeutung der Seewege ge-

genüber der alten Seidenstraße hinsichtlich Schnelligkeit, Sicherheit und höheren Profiten sowie die technologische Überlegenheit der Europäer führten zur Abhängigkeit Chinas von den europäischen Großmächten sowie von Japan und den USA. Dies stellte eine Zäsur in der chinesischen Geschichte dar und resultierte in einem politischen, wirtschaftlichen und in Verbindung mit der Kulturrevolution sozialen Niedergang bis Ende der 1970er Jahre, als das Land ein Armenhaus und de facto bankrott war.

Erst mit der Verlockung eines riesigen Marktes für westliche Unternehmen und dessen langsamer Öffnung Ende der 1970er Jahre begann der erneute Aufstieg, besser die Aufholjagd zur zweitmächtigsten Wirtschaftsnation neben den USA. Die Rivalität zwischen beiden Nationen bestimmt seither die politische Bühne und hat starke Auswirkungen auf die Sicherung der Energieversorgung beider Länder.

Im Interesse aller Chinesen verfolgt die chinesische Regierung das eine eherne Ziel, China wieder zur größten Wirtschaftsmacht der Welt zu machen. Dieses Ziel geht einher mit dem Selbstverständnis Chinas von der unbedingten Zentralität und Universalität seiner Kultur. Die neu geplante Seidenstraße und die riesigen Investments in andere Länder zeigen, wie China strategisch den Aufbau zum (Wieder-)Erlangen des Status vorantreibt, den es jahrhundertlang innehatte. Aus der Sicht der chinesischen Regierung ist ein prosperierendes, reiches und starkes China die Voraussetzung für den globalen Aufstieg des Landes.

Die Hafenstadt Guangzhou im Süden Chinas ist ein bedeutender Industriestandort. Die Stadt hat mehr als 14 Millionen Einwohner.



Mit 24 Millionen Einwohnern ist Shanghai die größte Stadt Chinas. Die idyllische Darstellung auf dem Foto trägt: Die Bewohner von Shanghai leiden unter massiven Umweltproblemen: Luft und Gewässer sind stark verschmutzt. Der ständige Lärm macht den Menschen zu schaffen.

Mit zunehmender globaler Präsenz seiner Wirtschaft ist China gezwungen, sich auf der Suche nach Absatzmärkten, Investoren, Rohstoffen und Energie auch in Regionen zu behaupten, an denen das strategische Interesse traditionell bislang gering war, insbesondere Lateinamerika, Naher Osten und Nordafrika. Und mit der stark wachsenden Wirtschaft steigt auch der Energiebedarf überproportional an. Die Mission »globaler Aufstieg« verlangt Ressourcensicherung. Erkennbar ist, wie die chinesische Regierung von Land zu Land den Spielraum auslotet, um sich ihrerseits den stabilen Zugang zu den Ressourcen der jeweiligen Regionen zu verschaffen und sich aber andererseits politisch möglichst neutral zu verhalten. Bedenkt man ferner den notwendigen Transformationsprozess der chinesischen Wirtschaft für diese Mission von der »Produktion für die Welt« hin zur innovationsgetriebenen globalen Technologieführerschaft in den als wichtigsten angesehenen Bereichen, kann man den Drahtseilakt erahnen. Insbesondere die Frage nach der kontinuierlichen Befriedigung des damit einhergehenden wachsenden Energie- und Rohstoffbedarfs ist essenziell für das Gelingen. Schon im zehnten Fünfjahresplan von 2001–2005 wurde die Energieversorgung als eine der entscheidenden Schwachstellen im chinesischen Entwicklungsmodell identifiziert und Energiesicherheit zum ersten Mal offiziell als Ziel festgehalten.

### **Weltweit Ressourcen sichern**

In Chinas Energiemix spielt Kohle derzeit noch die wichtigste Rolle bei der Energieversorgung. Sie deckt knapp zwei Drittel des Energiebedarfs ab, gefolgt von Öl mit 25 Prozent, Wasserkraft mit 7 Prozent sowie Gas und Kernkraft mit 3 Prozent. Die wirtschaftliche Expansion, nicht zuletzt in den erdölverarbeitenden Industrien, ein wachsendes Transportaufkommen, steigender privater Ener-

giekonsum, und die Vermeidung von Engpässen in der Stromversorgung werden den Anteil von Erdöl und Erdgas in den kommenden Jahren aber erhöhen. Bereits heute ist China der zweitgrößte Erdölverbraucher hinter den USA. Bis 1993 exportierte China sogar noch kleine Erdölmengen, aber schon 1995 mussten 88 Prozent des Bedarfs importiert werden und seitdem wächst die Versorgungslücke stetig an. Die Nachfrage nach Rohöl hat alleine von 1993 bis 2002 um 90 Prozent zugenommen. Die Internationale Energieagentur prognostiziert ein Anwachsen der Ölimporte bis 2030 um knapp elf Millionen Barrel pro Tag. Das entspricht 80 Prozent des chinesischen Rohölbedarfs.

Diese Fakten führten zu der Erkenntnis, dass China die heimischen Energiequellen stärker diversifizieren, eigene Ölfelder durch neue Technologien intensiver nutzen und die Energieeffizienz verbessert werden muss. Dazu sind bilaterale Beziehungen mit den wichtigsten energieproduzierenden Ländern unerlässlich. Dies erfolgt durch strategische Ölpartnerschaften, langfristige Lieferverträge, den Erwerb von Konzessionen und Kapitalanteilen an ausländischen Unternehmen, hauptsächlich über die drei großen chinesischen Energiekonzerne China National Petroleum Corporation, China National Petrochemical Corporation und China National Offshore Oil Corporation. Dabei geht China sehr pragmatisch und opportunistisch vor, denn ins globale und hart umkämpfte Marktgeschehen, insbesondere den Ölmarkt, ist China im Vergleich zu Europa und den USA erst sehr spät dazu gestoßen. Daher werden auch in Ländern mit zweifelhaftem Ruf Ressourcen angezapft, teilweise auch mit hohem Risiko des Scheiterns.

Die Versorgung über den internationalen Energiemarkt, der von amerikanischen und europäischen Unternehmen dominiert wird, steht China dagegen zunehmend skeptisch gegenüber. Die Spitzenposition im globalen Import Ranking, gepaart mit der Finanz- und Wirtschaftsstärke, verleiht China eine ganz andere Marktmacht, der man sich sehr wohl bewusst ist. Ganz pragmatisch hat sich China Russland angenähert, da China angesichts der westlichen Sanktionen die einzige relevante Zukunftsoption für Russland darstellt. Der rekordverdächtige Vertrag über 270 Milliarden Dollar bis zum Jahr 2028 für die Lieferung von 300 000 Barrel Öl pro Tag über den staatlichen Ölgiganten

Rosneft, sowie für 85 Milliarden Dollar 200 000 weitere Barrel Öl für zehn Jahre an die chinesische Sinpec-Gruppe sprechen für sich. Russland nimmt diese Abhängigkeit in Kauf aufgrund der klammen Staatskassen, sogar der Verkauf von Ölfeldern ist Teil der Überlegungen. Mit diesen Verträgen unterläuft China die westlichen Sanktionen gegenüber Russland, aber befürchten muss China aufgrund seiner Machtposition nichts. Ganz im Gegenteil, zeigt es doch, dass China schon in die neue »alte« Rolle hinwächst, die es im Kontext der alten Seidenstrasse lange innehatte.

Auch der Neubau von Atomkraftwerken ist Teil dieser Strategie: So sollen schwimmende Atomkraftwerkwerke Chinas territoriale Ansprüche auf das Südchinesische Meer bekräftigen. Dort lässt die Regierung Inseln aufschütten und Verteidigungsanlagen sowie See- und Flughäfen bauen mit dem Zweck, die militärische Präsenz zu erhöhen. Die AKWs sollen den damit einhergehenden großen Energiebedarf decken und eine stabile Energieversorgung vor Ort gewährleisten. Die 100- und 200-Megawatt-Reaktoren sind auch geeignet für Meerwasserentsalzungsanlagen oder Leuchttürme

Das Beispiel China macht deutlich, wie komplex die Herausforderungen in Bezug auf eine globale Transformation der Energiesysteme sind. Die Veränderung des Klimas ist ein globales Problem, doch jeder Kontinent, jedes Land agiert auf Basis eigener regionaler Bedürfnisse, historisch gewachsener, sozialer, geografischer, politischer und wirtschaftlicher Motivationen. Wird es gelingen, in dieser Gemengelage zu optimalen erdweiten Lösungen zu kommen? Dazu müssten jetzt global verbindliche Rahmenvereinbarungen entwickelt werden, denn die Zeit läuft davon: Die Lösungen und deren Realisierung werden mit der Zeit immer drastischer ausfallen müssen, um die zwischenzeitlich erfolgten Veränderungen im Klima zu kompensieren. Ohne wirtschaftlich mächtige Staaten wie China wird die Umstellung auf neue Energiesysteme und neue Märkte kaum zu schaffen sein.

Die entscheidende Frage ist, ob sich die Weltgemeinschaft darauf einigen wird, sich vom Billionen-Dollar-Markt in Form fossiler Rohstoffe für die Energieversorgung zu verabschieden und den neuen Markt nachhaltiger, »grüner« Energie als Ersatz zu begreifen. ■■



DER AUTOR

**Joachim Sokol**

ist als Senior Consultant in der zentralen Forschung und Entwicklung der Siemens AG tätig. Schwerpunkte sind strategische Projekte und Technologieentwicklung.



## Unsere Schule

ein unbequemer –  
fröhlicher Ort



- Weil wir uns verpflichten, einander zu respektieren.
- Weil gegenseitiges Vertrauen stark macht.

- Weil alle ermutigt werden, die Freiheit des Einzelnen in unserer Gemeinschaft zu schützen.
- Weil junge Menschen sich selbst entdecken, ihre Gaben und Fähigkeiten entfalten.
- Weil wir den Widerspruch erwarten.
- Weil alle ermutigt werden, Bindungen einzugehen und Verpflichtungen wahrzunehmen.
- Weil uns Fehler helfen, Stärken weiterzuentwickeln.
- Weil wir im Interesse unserer Schüler auch dem Missbrauch von Macht und Einfluss entgegenreten.
- Weil wir den Mut haben, miteinander fröhlich zu sein.



[www.derksen-gym.de](http://www.derksen-gym.de)



**INTENSIVE BERATUNG  
UND VORBEREITUNG  
auf den Übertritt ins Gymnasium.  
Langjährige und gute Erfahrung mit  
Ein- und Umschulungen.**

60 JAHRE



SEIT 1959

KLEINES PRIVATES LEHRINSTITUT

**DERKSEN**

GYMNASIUM

SPRACHLICH • NATURWISS.–TECHNOLOG.  
STAATL. ANERKANNT • GEMEINN. GMBH

Pfingstrosenstrasse 73 • 81377 München  
Telefon 089/780707-0 • Fax 089/780707-10



# Saubere Energie für alle

*Im afrikanischen Simbabwe haben 40 Prozent der Menschen keinen Strom. Studierende der TU München zeigen mit einem Pilotprojekt, wie einzelne Orte selber Energie erzeugen können und in einem nachhaltigen Kreislauf damit die Versorgung der Bevölkerung verbessern.* Von Johannes Winklmaier und Octavian Holtz

Oben: Der Student Kartik Kapoor (Mitte) feiert mit Schülern der St. Rupert Mayer High School die erfolgreiche Installation des Biogas-Fermenters

**M**ashonaland West, Simbabwe: 38°C, die Sonne brennt erbarmungslos auf die staubige Trockensavanne. Nur eine Schirmakazie mit ihren dornigen Zweigen spendet ein wenig Schatten. Hier suchen Father Clemence Mutimutema und zwei Freiwillige von TU eMpower Africa e.V. Schutz vor der Mittagshitze und beraten gemeinsam die nächsten Schritte bezüglich der Umsetzung des weltweit ersten Energy-Water-Food-Systems in St. Rupert Mayer, einer ländlichen Gemeinde 160 Kilometer von der Hauptstadt Harare entfernt. Ein Kabel ist beschädigt worden, der Ersatz lässt auf sich warten – anscheinend gibt es Lieferengpässe. Der Jesuit wirkt trotzdem optimistisch, seinem breiten Grinsen kann man sich kaum verschließen, »You know, this is Africa. There are things that can not be planned before. But no worries, there will be a solution.«

Simbabwe steht vor großen Herausforderungen bezüglich der Stromversorgung: Aktuell haben nur ca. 40 Pro-

zent aller Haushalte Zugang zu Elektrizität. Und auch dort, wo ein Stromanschluss vorhanden ist, sind Stromausfälle, die oft tagelang andauern, keine Besonderheit. Simbabwe ist hierbei kein Einzelfall: Weltweit hat etwa eine Milliarde Menschen keinen Zugang zu Strom und jeder zweite lebt im ländlichen Afrika. Jedoch ist »Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, und nachhaltiger Energie für alle«, wie das Sustainable Development Goal 7 der United Nations lautet, unerlässlich für wirtschaftliche Entwicklung, da selbst für simple lokale Wertschöpfung wie das Mahlen von Mais Strom benötigt wird.

Studierende und Wissenschaftler der TU München forschen seit 2016 an Lösungsansätzen für dieses Problem und haben dabei das Konzept dezentraler Energy-Water-Food-Systeme entwickelt. Dabei versorgen Fotovoltaik-Module nicht nur Schulen, Krankenhäuser und Haushalte einer ländlichen Gemeinde mit günstigem Solarstrom,



sondern vor allem auch Wasserpumpen. Dadurch ist in der Gemeinde neben dem privaten Wasserbedarf auch die Wasserversorgung der lokalen Farmer gesichert, wodurch diese ganzjährig Landwirtschaft betreiben können. Die dadurch ermöglichte Produktivitätssteigerung in der Landwirtschaft führt zu vermehrten Biomasseabfällen, welche vor Ort in kleinen Biogasanlagen zu Biogas vergärt werden. Aus diesem kann wiederum mittels Gasmotoren genügend Strom erzeugt werden, um in Zeiten ohne Solarstrom den lokalen Bedarf zu decken, wodurch teure und wartungsintensive Batteriespeicher vermieden werden können. Vor allem aber können die hohen, bislang unerschwinglichen Investitionskosten in diese Infrastruktur durch die gesteigerten Erträge in der Landwirtschaft von der lokalen Bevölkerung zurückgezahlt werden.

Studierende aus verschiedenen Fakultäten der TU München haben das Computermodell OSDRIA entwickelt, das das kostengünstigste Design für ein dezentrales Energy-Water-Food-System für eine bestimmte Gemeinde berechnet. In Abhängigkeit vom lokalen Bedarf an Strom, Wasser und Nahrungsmitteln sowie Standortfaktoren wie Sonneneinstrahlung, Niederschlag, Bodenqualität und Grundwasservorkommen, berechnet OSDRIA die optimale Konfiguration an Fotovoltaikmodulen, Batterien, Wasserpumpen und -tanks, Biogasanlagen, Biogastanks und

-motoren sowie den bestmöglichen Mix an Feldfrüchten, inklusive aller Kosten und Erträge. Außerdem haben die Studierenden ein Lehrkonzept für den technischen Betrieb des Systems erstellt und mögliche Geschäftsmodelle und Sozialstrukturen für ein solches System untersucht.

Um diesen Ansatz vor Ort spendenfinanziert umsetzen zu können, haben Studierende, Forscher und Alumni der TU München 2018 den gemeinnützigen Verein TU eMpower Africa e.V. gegründet. Zuerst wurde zusammen mit den Bewohnern und Entscheidungsträgern St. Rupert Mayers ein Entwicklungsplan erarbeitet, wel-

Schüler der St. Rupert Mayer High School messen die Biogaszusammensetzung.

Oben: Kartik Kapoor (rechts) installiert den neuen Biogas-Fermenter mit dem »Team Biogas« der St. Rupert Mayer High School



Links und unten: Ein Schüler der St. Rupert Mayer High School bringt das frisch erzeugte Biogas in einem speziellen Transportsack zur Küche des lokalen Krankenhauses.

Oben: Der Gärtner Itai beim Reinigen der Fotovoltaik-Anlage.

Rechte Seite: Der Student Julius Hildebrand installiert eine neue Wasserpumpe zusammen mit Father Clemence Mutimutema und zwei lokalen Technikern



cher seit 2019 sukzessive umgesetzt wird. Bislang wurden zusätzlich zu einer schon vorhandenen Fotovoltaik-Anlage eine Wasserpumpe und eine Biogasanlage installiert und in Betrieb genommen und inzwischen wird das System von der Dorfgemeinschaft erfolgreich und eigenständig betrieben und gewartet. Die für 2020 geplanten nächsten Schritte sind Schulungen der lokalen Techniker, die Installation von zusätzlich Fotovoltaik-Modulen und Wasserpumpen sowie die Installation eines Biogasmotors zur Stromerzeugung aus Biogas. Durch die verbesserte Stromversorgung können somit Feldfrüchte zu wertvolleren Produkten wie Maismehl oder Erdnussbutter weiterverarbeitet werden. Durch die Einbettung solch eines wissenschaftlichen Pilotprojekts in ein reales Sozialsystem wie der Gemeinde St. Rupert Mayer wird hierbei von einem »Living Lab« gesprochen.

Aktuell werden von TU eMpower Africa e.V. weitere Energy-Water-Food-Projekte in Ghana und Ruanda vorbereitet. Der Verein unterstützt diese Pilotprojekte bei der Spendenakquise für Investitionen in die Infrastruktur und bietet vor Ort Trainings an, damit das Wissen in der Zielregion abrufbar ist. Primär nimmt er jedoch nur eine beratende Rolle ein, Umsetzung und Betrieb der Projekte vor Ort sollen durch lokale Firmen und Dorfgemeinschaften erfolgen: »real empowerment, so to say.«

Das Projekt in St. Rupert Mayer dient hierbei als Machbarkeitsstudie. Kurzfristig soll es NGOs, Stiftungen und andere Akteure inspirieren, die ebenfalls in Projekte zu ländlicher Entwicklung und Erneuerbaren Energien in Afrika involviert sind. Langfristiges Ziel ist es, mittels spendenfinanzierter Projekte wie St. Rupert Mayer nachzuweisen, dass solche Systeme nicht nur von lokalen Gemeinden und Firmen eigenständig umgesetzt und betrieben werden können, sondern auch, dass sie wirtschaftlich rentabel sind.

Diese Forschung zu dezentralen Energy-Water-Food-Systemen und die Aktivitäten in St. Rupert Mayer führen zum TUM SEED Center for Sustainable Energies, Entrepreneurship and Development, einem 2020 gegründeten und vom Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit geförderten Exzellenzzentrum für Entwicklungszusammenarbeit. An diesem Zentrum soll



in Kooperation mit acht Universitäten aus dem globalen Süden einerseits untersucht werden, wie solche Systeme technisch umzusetzen und zu verbessern sind. Andererseits wird erforscht, wie diese Infrastruktur zu unternehmerischen Aktivitäten und wirtschaftlicher Entwicklung in den Gemeinden führen kann. Dazu werden unter anderem gleichnamige Master- und Doktorandenprogramme initiiert und »Living Labs« an den acht Partnerstandorten in Äthiopien, Kenia, Ghana Uganda, Namibia, Indonesien, Indien und Peru errichtet, welche eng in Lehre und Forschung eingebunden werden.

Zurück in St. Rupert Mayer, drei Wochen später: Das Kabel ist endlich angekommen und wurde von den Volontären zusammen mit den Dorfbewohnern installiert. Der Strom fließt wieder und die Wasserpumpen fördern Grundwasser, welches aufgrund der Dürreperiode gerade dringend zur Bewässerung der Felder benötigt wird. Father Clemence lächelt zufrieden: »Africa is a complicated case, but I told you – everything will be allright, as long as you have faith.« ■



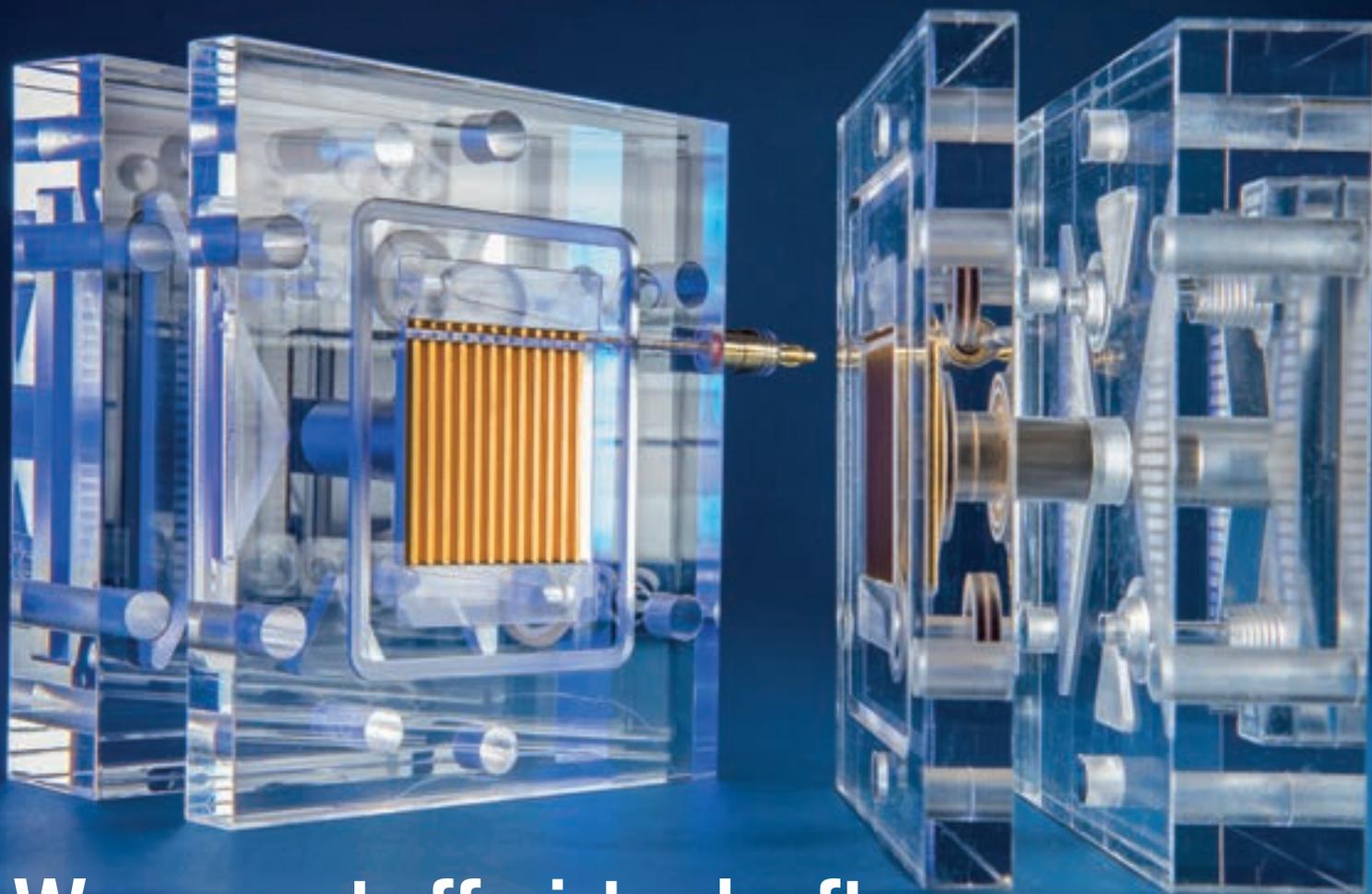
DER AUTOR

**Johannes Winklmair** hat Maschinenbau mit den Schwerpunkten erneuerbare Energiesysteme und Thermofluidynamik an der TU München (TUM) studiert. Derzeit promoviert er zum Thema »Sozio-ökonomische Entwicklung ländlicher Gemeinden in Afrika durch dezentrale Energie-Wasser-Nahrungsmittel-Systeme«. 2018 gründete er mit Studierenden der TUM die NGO »TU eMpower Africa e.V.«, um die erarbeiteten Forschungsergebnisse in ländlichen afrikanischen Gemeinden wie St. Rupert Mayer umzusetzen.



DER AUTOR

**Octavian Holtz** hat »Soziale Innovationen« an der Hochschule für angewandte Wissenschaften in München studiert. An der TU München macht er derzeit seinen Master im Bereich Politik und Technologie. Sein Fokus liegt auf der Erzeugung von Elektrizität durch erneuerbare Energiequellen in Entwicklungsländern.



## Wasserstoffwirtschaft –

# Ein flüchtiger Traum?

*Die Idee einer Energiewirtschaft, die auf Wasserstoff als zentralem Energieträger basiert, ist schon seit etwa 150 Jahren in der Welt. In dieser Zeit ist sie immer wieder aus unterschiedlichen Blickwinkeln diskutiert worden. Und auch im heutigen Diskurs über die Energiewende ist sie als »Power-to-Gas« oder »Power-to-X« wieder aktuell. Für die frühen Pioniere dieser Idee war es noch die Begrenztheit der fossilen Brennstoffe allein, welche die Wasserstoffwirtschaft attraktiv erscheinen ließ. Heute gesellt sich die durch den CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei der Verbrennung der fossilen Brennstoffe verursachte globale Erwärmung als drängende Zukunftsfrage der Menschheit hinzu. Von Konrad Schönleber*

Der Grundgedanke, der zum Interesse an einer »Wasserstoffwirtschaft« führte, ist recht einfach: Die Wasserspaltung in Wasserstoff und Sauerstoff unter Energieeinsatz und die kontrollierte Rekombination beider Substanzen zurück zu Wasser zur Energiegewinnung, machen ein schadstoffarmes, sicheres und nachhaltiges Energiesystem möglich. In einem Energiesystem basierend auf Wasserstoff kann auf den Einsatz begrenzter fossiler Brennstoffe verzichtet werden und alle Anwendungen von Energie in Industrie, Verkehr ebenso wie der allgemeine Strombedarf können damit gedeckt werden. Wasserstoff selbst ist dabei keine primäre Energiequelle, sondern ein Energieträger, der zur Speicherung und Verteilung von Energie dient. Er muss zunächst hergestellt werden, und dazu wird Energie benötigt. Da allen Ansätzen zur Wasserstoffwirtschaft die Idee zugrunde liegt, keine endlichen fossilen Brennstoffe einzusetzen, wurden als Energiequellen Wind, Sonne und später auch sehr intensiv Kernenergie diskutiert. Dabei wird meist zunächst eine Produktion von Strom aus diesen Primärenergiequellen mit anschließender elektrischer Wasserspaltung, der Elektrolyse, angenommen. Der so erzeugte Wasserstoff kann über Brennstoffzellen, Gasturbinen, Verbrennungsmotoren oder einfach durch Verbrennung in einem Heizkessel in allen Verbrauchssektoren von Energie eingesetzt werden.

Anzumerken ist, dass heute der weit überwiegende Teil des verwendeten Wasserstoffs noch aus fossilen Brennstoffen, etwa mittels Kohlevergasung oder Dampfreformierung von Erdgas, gewonnen wird. Somit hat der heute vor allem in der Industrie verwendete Wasserstoff mit der Idee der Wasserstoffwirtschaft zunächst nur wenig zu tun. Auch dieser Wasserstoffbedarf kann jedoch in Zukunft potenziell mit Hilfe von erneuerbaren Energiequellen gedeckt werden. In diesem Falle könnte die erhebliche Nachfrage der Industrie nach Wasserstoff aus ökonomischer Sicht zu einer bedeutenden Stütze bei der Einführung einer Wasserstoffwirtschaft werden.

### Frühe Visionen

Eine sehr frühe Vision der Wasserstoffwirtschaft entwickelte Jules Verne (1828–1905) in seinem im Jahr 1874 erschienenen Roman *Die geheimnisvolle Insel*. Darin lässt er den Ingenieur Cyrus Smith auf die Frage, wie denn in Zukunft die immer fortschrittlicher werdenden Vereinigten Staaten ihren Energiehunger stillen könnten, antworten: »...mit Wasser, das durch elektrischen Strom zerlegt worden ist [...] Wasserstoff und Sauerstoff, werden auf unabsehbare Zeit die Energieversorgung der Erde sichern. Eines Tages werden Dampfer und Lokomotiven keine Kohlebunker mehr führen, sondern Gastanks, aus denen komprimierte Gase durch Rohre in die Heizkessel strömen. Das Wasser ist die Kohle der Zukunft. ...« Damit führte Verne die wesentlichen Elemente der Wasserstoffwirtschaft bereits sehr präzise vor Augen. Diese zentrale Vision wurde in der wei-

### Zum Weiterlesen

F. Ausfelder, H. Durrer (Hrsg.), *Optionen für ein nachhaltiges Energiesystem mit Power-to-X Technologien*, 2019

J. O. Bockris, *A Hydrogen Economy*. *Science*, 1972

Bockris, J. O'M.: *A Hydrogen Economy*. In: *Science*, 1972  
dena-Leitstudie, *Integrierte Energiewende*, 2018

J. B. S. Haldane, *Daedalus oder Wissenschaft und Zukunft*, München 1925

M. Heymann, *Forscher, Pioniere und Visionäre – Wasserstoff als Energieträger*, 2009

L. W. Jones, *Liquid Hydrogen as a fuel for the future*, *Science*, 1971

E. Justi, J. Bockris, *Wasserstoff – Energie für alle Zeiten*, 1980

J. Rifkin, *Die H2-Revolution*, 2002

Jules Verne, *Die geheimnisvolle Insel*, 1874

teren Entwicklung der Idee nicht entscheidend verändert. Ein Aspekt zu dem Verne schweigt, ist jedoch die Frage danach, wie die benötigte elektrische Energie gewonnen werden soll.

Bereits im Jahr 1895 wurde in Dänemark erstmals ein auf Wasserstoff als zentralem Energieträger basierendes Energiesystem durch Poul la Cour (1846–1908) aufgebaut. Der Leitgedanke war dabei, eine Elektrifizierung von ländlichen Regionen mit einer energetischen Insellösung zu erreichen. La Cour, einer der frühen Pioniere der Windenergie, entwickelte zur Erzeugung der benötigten elektrischen Energie eine der weltweit ersten Windkraftanlagen zur Stromerzeugung. Er erkannte damals bereits die Problematik, dass die zeitlich variable Windenergieerzeugung und der Verbrauch der elektrischen Energie nicht zusammenpassen. Als Lösung für die notwendige Energiespeicherung wählte er bewusst Wasserstoff anstelle von Batterien als Speichermedium aus. Da damals elektrische Energie hauptsächlich zur Beleuchtung eingesetzt wurde, verzichtete La Cour in seinem System auf eine Rückumwandlung des Wasserstoffs in elektrische Energie und setzte ihn direkt in Gasleuchten ein. Dieses System war über sieben Jahre in Betrieb, wurde aber letztlich nicht zu einem Modell für eine breitere Anwendung der Wasserstoffwirtschaft.

Etwa 50 Jahre nach Verne und gut 20 Jahre nach La Cour, im Jahr 1923, legte der britische Genetiker J. B. S. Haldane (1892–1964) in einem Vortrag eine aus heutiger Sicht sehr moderne Version eines zukünftigen Energiesystems in Großbritannien vor, welches zentral auf Wasserstoff basierte. Der Vortrag beschäftigte sich generell mit der Rolle der Wissenschaft in der fernen Zukunft, und die Frage der Energieversorgung war in diesem Rundumschlag nur ein Aspekt unter vielen. In Haldanes Vision nimmt die Frage nach möglichen Primärenergiequellen eine zentrale Rolle ein. Er fragt dazu, welche erneuerbaren Quellen potenziell überhaupt in der Lage sein könnten, Energiemengen der vorgestellten Größenordnung bereitzustellen, und sieht als einzig sinnvolle primäre Energiequellen Wind- und Sonnenenergie an.

Zu Beginn der 1920er Jahre standen keinerlei technologische Optionen zur Erzeugung einer derartigen Menge an diesen erneuerbaren Energien zur Verfügung. Haldane ging aber davon aus, dass wohl in Zukunft Wege zur direkten Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie gefunden sein werden, wobei deren stark variierende Erzeugung durch die Elektrolyse von Wasser und die umgekehrte Umwandlung von Wasserstoff in elektrische Energie ausgeglichen werden sollte. Zudem wies er auf die Möglichkeit einer Verwendung des erzeugten Wasserstoffs in den Verbrauchssektoren Verkehr, Industrie und Raumwärme hin.

Haldanes Vortrag stellt bereits eine vollständige Vision eines integrierten Energiesystems dar. Dabei spielen zwei

Energieträger eine wichtige Rolle, Wasserstoff und elektrische Energie. Diese ergänzen sich, da elektrische Energie notwendig zur Erzeugung des Wasserstoffs ist und dieser wiederum als Speicher für das elektrische Energiesystem dienen kann. Dieser Aspekt wird in vielen danach diskutierten Visionen einer Wasserstoffwirtschaft genauso beibehalten.

Gemeinsam war Haldanes und Vernes Visionen auch ein offensichtliches Problem. Sie mussten Visionen bleiben, solange die Frage nach dem entsprechend skalierten Ausbau erneuerbarer Energien ungelöst blieb. Der Wasserkraft als der einzigen erprobten Technologie, wurde von Haldane die notwendige Kapazität nicht zugetraut. Auch die Windenergie, wie sie La Cour schon vorgeführt hatte, war noch nicht ausreichend ausgereift. Zudem waren auch die Wandlungstechnologien, also insbesondere Elektrolyseure, zwar im kleinen Maßstab bekannt und erprobt, allerdings weit von einer großtechnischen Reife entfernt.

### Ideen zur Umsetzung

Mit dem Aufkommen der friedlichen Nutzung der Kernenergie in den Jahrzehnten nach dem Zweiten Weltkrieg änderte sich auch der Traum von der Wasserstoffwirtschaft, da nun zum ersten Mal eine Umsetzung in greifbare Nähe zu rücken schien. Im Gegensatz zu den weit in die Zukunft schauenden Visionen von Verne oder Haldane, welche sich jeweils mehrere Jahrhunderte Zeit bis zur Umsetzung der vorgestellten Vision ließen, wurden bei den ab dieser Zeit entwickelten Ansätzen zu einer Wasserstoffwirtschaft eher an eine Umsetzung in Jahrzehnten gedacht. Grundlage war dabei die Überzeugung, dass Kernenergie in der Zukunft die entscheidende Energiequelle sein würde, eine Annahme, die in jener Zeit etwa der Physiker Lawrence W. Jones (\*1925) als »fast axiomatisch« bezeichnete.

Die Kernkraftwerke wurden dabei als große, zentrale Anlagen weit entfernt von den Verbrauchern angenommen. Von der Symbiose aus Nuklear- und Wasserstoffwirtschaft wurden zwei wesentliche Vorteile gegenüber einer ausschließlichen Produktion von elektrischer Energie aus Kernenergie erwartet. Zum einen sollte die Wasserstoffherzeugung direkt am Standort des Kernkraftwerkes einen verlustärmeren und kostengünstigeren Transport über größere Distanzen via Pipelines ermöglichen, als dies mit Stromleitungen zu bewerkstelligen wäre. Zum anderen sollten damit direkt alle Verbrauchssektoren, also neben elektrischer Energie auch Industrie, Transport und Raumwärmesektor, mit Energie versorgt werden. Die Erzeugung von elektrischer Energie sollte dann direkt beim Verbrau-



Am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung in Baden-Württemberg arbeiten Wissenschaftler an der Entwicklung von Brennstoffzellen, die künftig in Automobilen eingesetzt werden können. Im Brennstoffzellen-Testzentrum in Ulm werden dazu Belastungstests durchgeführt.

cher durch Brennstoffzellen geschehen. In diesen umfassenden Visionen wären also auch die Übertragungsnetze für elektrische Energie, Gas und Erdöl, wie wir sie heute kennen, weggefallen und durch noch zu entwickelnde Pipelinenetze für Wasserstoff ersetzt worden. Es wurde in einigen Ansätzen zudem angenommen, dass der Wasserstoff am Kernkraftwerk auch ohne den Umweg über elektrische Energie und Elektrolyse direkt aus der nuklearen Zerfallswärme, über Thermolyse, erzeugt werden könnte. Dieser Ansatz hätte allerdings den Einsatz von Hochtemperaturreaktoren wie etwa den sogenannten schnellen Brütern als Voraussetzung gehabt, welche bis heute unter anderem aus Sicherheitsgründen nur ein Nischendasein innerhalb der Kernenergienutzung fristen.

Trotz des Fokus auf die Kernenergie blieb auch die Idee, erneuerbare Energien als primäre Energiequelle zu verwenden, in der Diskussion über die Wasserstoffwirtschaft präsent, insbesondere die des Einsatzes von Solarenergie. Wie auch schon in den frühesten Visionen, wurde hierbei allerdings eher im Zeitraum von Jahrhunderten gedacht. Bei diesen Ideen sollte sich auch der angenommene große Vorteil der einfachen Transportierbarkeit von Energie in Form von Wasserstoff auf der globalen Skala verwirklichen, da sich damit eine Energieerzeugung etwa aus Solarenergie in Wüstenregionen, weit entfernt von den Verbrauchszentren der gemäßigten Breiten realisieren ließe. In Forschungsprojekten wurden in den 1980er und 1990er Jahren in Europa und darüber hinaus die Möglichkeiten einer solaren Wasserstoffherzeugung erprobt, wobei dadurch nebenbei erhebliche Mittel in die Forschung der industriellen Skalierung von Fotovoltaikzellen investiert wurden.

Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen bildeten sich in den 1970er Jahren Vernetzungsinitiativen. Aus Sicht der Verfechter der Wasserstoffwirtschaft stand eine technische Umsetzung in der nahen Zukunft bevor. Diese Initiativen blieben durch Fachmagazine und regelmäßige Konferenzen in der Folge bis heute relevante Träger der Idee einer umfassenden Wasserstoffwirtschaft. Ein breiteres öffentliches Interesse wurde auch durch Bestseller wie etwa *Die H2-Revolution* von 2002 des amerikanischen Ökonomen J. Rifkin (\*1945) aufrechterhalten. Letztlich erfüllten sich aber die hohen Hoffnungen an die Umsetzung einer umfassenden Wasserstoffwirtschaft bisher nicht.

### Der Stand heute

Heute ist die Idee der Wasserstoffwirtschaft, zumindest in Deutschland und unter diesem Namen, in der öffentlichen

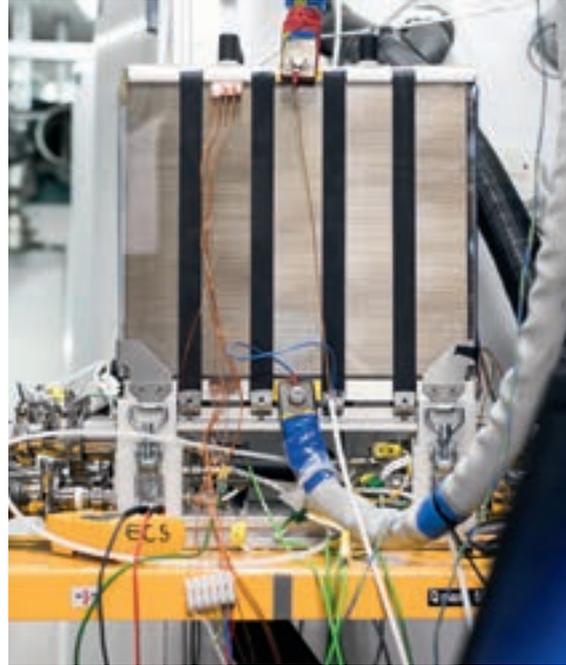
Diskussion auf den ersten Blick nicht besonders präsent. In zwei viel diskutierten Konzepten versteckt sich jedoch die Wasserstoffwirtschaft, und sie können daher als die heutigen Ausprägungen dieser Idee gesehen werden.

Das erste und ältere Konzept ist »Power-to-Gas«, manchmal auch »Windgas« genannt. Dieses ist direkt vergleichbar mit den bereits diskutierten Ideen einer Wasserstoffwirtschaft von Haldane und La Cour. Es wird dabei oft ganz pragmatisch mit dem bereits vorhandenen Netz zur Verteilung von Erdgas als wesentlichem Vorteil argumentiert, welches sich für eine nachhaltige Energiezukunft einsetzen lasse. Dabei soll aus erneuerbaren Energien mit Hilfe von Elektrolyse erzeugter Wasserstoff direkt in das Erdgasnetz eingespeist werden. Da dies nur begrenzt, bis zu einem Anteil von etwa 5 Prozent, zugelassen ist, kann in einem folgenden Schritt der erzeugte Wasserstoff zunächst mit  $\text{CO}_2$  zur Reaktion gebracht und in Methan, also synthetisches Erdgas, umgewandelt werden. Bei dieser Reaktion wird sogar noch Wärme freigesetzt. Dieses synthetische Erdgas kann dann zur Stromerzeugung im Haushalt oder auch im Verkehr eingesetzt werden.

### Vielversprechende Ansätze

Einen Schritt weiter in dieselbe Richtung gehen neuere Ideen, die unter der Überschrift »Power-to-X« zusammengefasst werden. Hier soll der erneuerbar erzeugte Wasserstoff ebenfalls mit  $\text{CO}_2$  zur Reaktion gebracht und neben Methan auch zu anderen Kohlenwasserstoffen umgewandelt werden. Die Bandbreite der damit erzeugbaren Produkte deckt die gesamte, heute durch fossile Brennstoffe herstellbare Palette an flüssigen und gasförmigen Kohlenwasserstoffen ab. Damit wären natürlich auch alle heutigen Anwendungen prinzipiell mit Hilfe dieser Technologiefamilie zu versorgen. Insbesondere für die nachhaltige Herstellung von Grundstoffen für die chemische Industrie oder für Flugbenzin gelten die entsprechenden »Power-to-X«-Ideen als sehr vielversprechende Ansätze.

Bei beiden Ansätzen ergibt sich als grundsätzliche Herausforderung, dass das eingesetzte  $\text{CO}_2$  in einer viel höheren Konzentration als in der Atmosphäre vorliegen muss. Es muss also entweder der Abgasstrom eines mit fossilen Brennstoffen betriebenen Kraftwerks oder einer Biogasanlage als  $\text{CO}_2$ -Quelle verwendet, oder dieses Gas aus der Atmosphäre gefiltert werden. In jedem Fall ergibt sich dadurch ein weiterer Prozessschritt und ein erheblicher Mehraufwand gegenüber der direkten Nutzung von Wasserstoff.



Im Rund-um-die-Uhr-Betrieb wird an einer 100-Kilowatt-Brennstoffzelle eine wöchentliche Fahrleistung von mehr als 5600 Kilometer simuliert.

Wie die verwendeten Bezeichnungen bereits deutlich machen, setzen die Ideen »Power-to-Gas« und »Power-to-X« einen Überschuss an elektrischer Energie voraus, welche im Englischen typischerweise einfach als »power« bezeichnet wird. Dieser ist bei einem stetig steigenden Anteil erneuerbarer Energien immer häufiger zu erwarten. Insbesondere der »Power-to-Gas«-Technologiepfad wird oft auch als Langzeitspeicher für erneuerbare Energien diskutiert. Damit wird recht exakt die beinahe 100 Jahre alte Vision Haldanes aufgegriffen, in welcher es heißt: »Das Land wird übersät sein mit ganzen Reihen metallener Windmühlen, und die von diesen in Bewegung gesetzten Dynamomaschinen liefern durch ihre Umdrehungen einen Strom [...] während windigen Wetters [wird] der Kraftüberschuss für die elektrolytische Zersetzung von Wasser in Sauer- und Wasserstoff ausgenutzt. [...] In windstillen Zeiten werden dann die Gase neuerdings zusammengesetzt in Explosionsmotoren, welche – auch ihrerseits elektrische Energie produzierende – Dynamos in Betrieb bringen, noch wahrscheinlicher übrigens in Oxidationszellen.«

Diese Beschreibung würde, abgesehen von etwas veränderten Fachbegriffen und dem Fehlen der Fotovoltaik, heute als Zielvorstellung eines erneuerbaren Energiesystems im Spektrum der vorgeschlagenen Möglichkeiten nicht weiter auffallen. Im Gegensatz zum – im Vortrag von 1923 – genannten Realisierungszeitraum von 400 Jahren werden zumindest die erneuerbaren Energien bereits heute, also keine 100 Jahre später, stark ausgebaut und es stehen alle angesprochenen Technologien auch im großtechnischen Maßstab zur Verfügung. Gleichzeitig wird als Teil der »Power-to-X«-Diskussion auch wieder verstärkt die Erzeugung von Wasserstoff bzw. synthetischen Treibstoffen im Sonnengürtel der Erde diskutiert. Dabei werden viele der Argumentationslinien der Befürworter der Wasserstoffwirtschaft aus der Hochphase dieser Idee in den 1970er Jahren und danach wieder aufgegriffen. So wird insbesondere mit guter Transportierbarkeit der synthetischen Kraftstoffe über das bereits bestehende Pipelinennetz für Erdöl und Erdgas und die günstigeren Produktionsbedingungen für erneuerbare Energien an diesen Standorten argumentiert.

Auf politischer Ebene wird in einigen europäischen Staaten und auch von der EU die Idee einer integrierten Wasserstoffstrategie vorangetrieben. Auch gibt es eine Reihe von Projekten, die die Anwendung von Wasserstoff im Alltag, insbesondere im Verkehrssektor erproben. So wird Wasserstoff in der Rhein-Main-Region

und in Niedersachsen im öffentlichen Nah- und Regionalverkehr in Bussen und Bahnen im regulären Betrieb eingesetzt.

### Die Entwicklung bleibt offen

Die Idee der Wasserstoffwirtschaft wurde von Anfang an durch eine Sorge um die Endlichkeit der fossilen Ressourcen begründet, wobei spätestens ab den 1980er Jahren auch die globale Erwärmung als drängende Motivation hinzutrat. Letztere ist heute der hauptsächliche Treiber der Diskussion und politischen Umsetzung einer Energiewende. Naturgemäß hat die Idee der Wasserstoffwirtschaft in den letzten 150 Jahren eine Reihe von Wandlungen erlebt, wobei sie in ihren Kernaspekten immer ähnlich geblieben ist. In Vernes Vorstellung vom Wasser als der »Kohle der Zukunft« spiegelt sich bereits die moderne Sicht von synthetischen Treibstoffen hergestellt mittels »Power-to-X«, und Haldanes Vision nimmt viele Aspekte der Diskussion um eine moderne Energieversorgung vorweg. Die notwendigen Technologien zur kostengünstigen Nutzbarmachung von Sonne und Wind als erneuerbare Primärenergiequellen stehen heute, viel früher als sich dies die frühen Visionäre vorstellten, zur Verfügung. Auch die Nutzung der Kernenergie liegt international als Option für das Energiesystem noch auf dem Tisch, wobei sie heute nur noch als ein Baustein unter vielen und nicht mehr »fast axiomatisch« als Basis der Energieversorgung gesehen wird. Auch die Elektrolysetechnologie ist seit Jahrzehnten großindustriell einsetzbar, es stehen daher keine technologischen Hürden der Umsetzung einer Wasserstoffwirtschaft im Wege.

Dies bedeutet allerdings nicht, dass in Kürze mit der Realisierung der Wasserstoffwirtschaft zu rechnen sein muss. Diese Frage wird als Teil einer gesellschaftlichen Aushandlung zwischen verschiedenen ökonomischen und politischen Interessen entschieden werden, bei der die technische Machbarkeit nur ein Aspekt unter vielen ist. Dabei stellt Wasserstoff schon lange nicht mehr die einzige Lösung zur Versorgung des Transportsektors oder der Speicherung von elektrischer Energie dar. Vielmehr sind in der Zwischenzeit in beiden Bereichen Konkurrenztechnologien, wie etwa die batteriegetriebene Elektromobilität oder elektrische Heizungen mittels Wärmepumpen, hinzugekommen. Wie so oft wird die Zukunft in einem komplexen Wechselspiel zwischen technologischen und ökonomischen, politischen und persönlichen Entscheidungen ausgehandelt. Ob die Zeit der Wasserstoffwirtschaft nun gekommen ist, bleibt weiterhin eine spannende Frage. ■■

#### DER AUTOR

##### Dr. Konrad Schönleber

ist Physiker und wissenschaftlicher Mitarbeiter für die neue Ausstellung »Energie – Strom« am Deutschen Museum.

## TECHNOLOGIEN DER WASSERSTOFFWIRTSCHAFT

### 1. Wasserspaltung

Grundlage aller Wasserstofftechnologien, auch der Erzeugung synthetischer Kraftstoffe, ist die Spaltung von Wasser. Je nach Energiequelle werden unterschiedliche Begriffe verwendet: Thermolyse bei thermischer Energie, Fotolyse bei Licht und Elektrolyse beim Einsatz von elektrischer Energie. Da aus den erneuerbaren Energiequellen Solar und Wind Strom erzeugt wird, stellt die Elektrolyse in Zukunft wohl die wichtigste Option dar. Thermolyse und Fotolyse sind derzeit Gegenstand der Forschung.

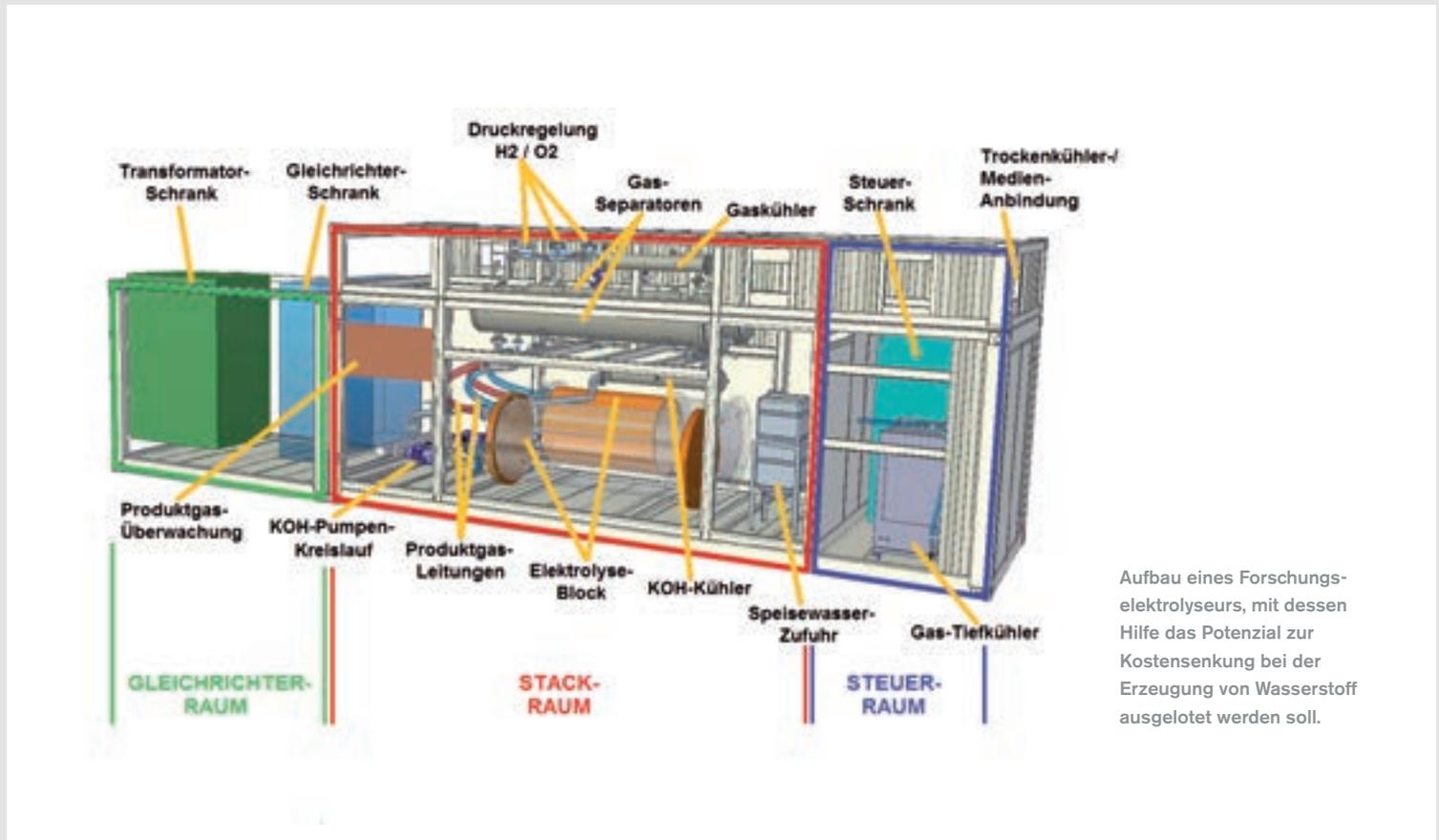
### 2. Elektrolyse

Bei der Elektrolyse wird in Elektrolyseuren Wasser unter Einsatz von elektrischer Energie gespalten. Dazu wird elektrische Spannung an zwei Elektroden angelegt, zwischen denen sich ein fester oder flüssiger Elektrolyt befindet. An beide Elektroden wird kontinuierlich Wasser zugeführt. An der Elektrode, die extern auf dem niedrigen elektrischen Potenzial liegt, der Kathode, wird dann Wasserstoff und an der anderen Elektrode, der Anode, Sauerstoff entwickelt. Dabei entstehen je nach Bauform auf einer der beiden Seiten elektrisch geladene chemische Moleküle (Ionen), die durch den Elektrolyten zur anderen Elektrode wandern und dort in einer zweiten elektrochemischen Reaktion wieder zu neutralen Molekülen umgewandelt werden. Diese Ionen schließen innerhalb des Elektrolyseurs den Stromkreis. Aktuell werden vor allem drei Verfahren zur Elektrolyse eingesetzt. Die alkalische Elektrolyse findet in einem flüssigen, stark basischen Elektrolyten bei niedriger Temperatur statt. Hierbei schließen Hydroxidionen ( $\text{OH}^-$ ) den Stromkreis, welche an der Kathode entstehen. Bei der Hochtemperaturelektrolyse wird ein fester Elektrolyt bei ca.  $900^\circ\text{C}$  eingesetzt. Der Stromkreis wird in diesem Fall von Sauerstoffionen ( $\text{O}_2^-$ ) geschlossen, die ebenfalls an der Kathode entstehen. Bei »PEM-Elektrolyseuren« werden durchnässte Polymermembranen als Elektrolyt verwendet, wobei an der Anode Protonen ( $\text{H}^+$ ) entstehen, die den Stromkreis schließen. Die Temperatur ist dabei niedrig. Je nach Anwendungsfall haben die drei Verfahren Vor- und Nachteile. Aktuell dominiert die alkalische Elektrolyse bei den realisierten Anwendungen. Zur Ermittlung des elektrischen Wirkungsgrads muss bei der Elektrolyse der Heizwert des erzeugten Wasserstoffs durch die eingesetzte elektrische Energie geteilt werden. Typischerweise erreichen moderne Anlagen dabei Wirkungsgrade von etwa 70 %. Bei diesem Wirkungsgrad können unter Einsatz von einer Kilowattstunde elektrischer Energie etwa 20 g Wasserstoff hergestellt werden.

### 3. Brennstoffzellen

Das Gegenstück zum Elektrolyseur ist die Brennstoffzelle. Diese funktioniert im Prinzip genau wie der Elektrolyseur, nur laufen hier alle Vorgänge umgekehrt ab und es wird aus Wasserstoff und Sauerstoff elektrische Energie und Wasser erzeugt. Die chemische Reaktion der beiden Gase ist die Verbrennungsreaktion des Wasserstoffs. Diese kann in der Brennstoffzelle bei niedriger Temperatur stattfinden. Daher wird diese direkte Umwandlung von Wasserstoff und Sauerstoff in elektrische Energie auch als »kalte Verbrennung« bezeichnet.

Der typische Wirkungsgrad von modernen Brennstoffzellen ist in etwa gleich hoch wie der von Elektrolyseuren, also ca. 70 %. Möchte man also elektrische Energie in Form von Wasserstoff speichern, so kann man für die beiden notwendigen Energiewandlungen zusammen mit einem Verlust von ca. der Hälfte der Energie rechnen.



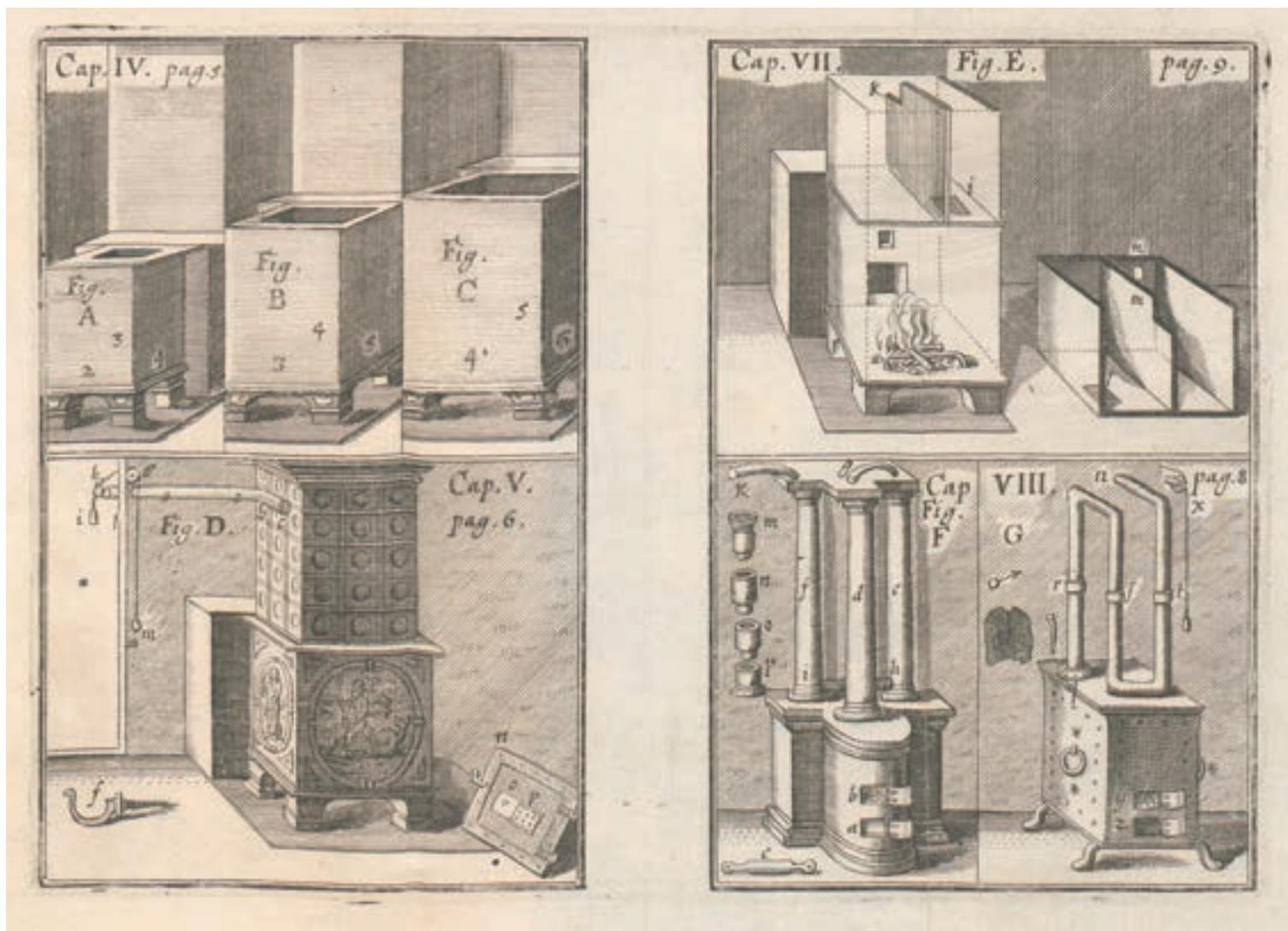
#### 4. Vergleich mit anderen Anwendungen für erneuerbaren Überschussstrom

In Zukunft, wenn fluktuierende, erneuerbare Energien die elektrische Energieversorgung mehr und mehr dominieren werden, kann Wasserspaltung als Speicher für die elektrische Energie verwendet werden. Dabei kann in Zeiten des Überschusses an elektrischer Energieerzeugung Wasser gespalten und in Zeiten der Unterversorgung der erzeugte Wasserstoff mit Hilfe von Brennstoffzellen oder Gasturbinen wieder in elektrische Energie umgewandelt werden. Zudem können zusätzliche Kapazitäten von Wind- und Solarenergie nur zur Produktion von Wasserstoff oder mit Wasserstoff hergestellten synthetischen Treibstoffen für andere Energiesektoren wie dem Wärme- oder Verkehrssektor geschaffen werden. Für all diese Anwendungen ist die Wasserstofftechnologie ein erprobter Technologiepfad, und es hängt auch von den Konkurrenztechnologien ab, ob und in welchem Maße er sich am Ende durchsetzen wird.

**Power-to-Heat:** Hier wird überschüssige, erneuerbare Energie für den Wärmesektor eingesetzt. Es gibt dabei zwei wichtige Varianten: Zum einen kann elektrische Energie direkt in Wärme umgewandelt werden und zum anderen können Wärmepumpen zum Einsatz kommen. Die erste Variante ist deutlich preisgünstiger in der Anschaffung der Geräte und kann für alle Temperaturbereiche eingesetzt werden. Bei der zweiten Variante sind die Anschaffungskosten höher und der Einsatz ist auf relativ niedrige Temperaturen beschränkt. Die Effizienz ist allerdings typischerweise mindestens dreimal höher als beim direkten Heizen. Damit die Wärme immer dann erzeugt werden kann, wenn gerade ein hohes Angebot an elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen vorhanden ist, werden für beide Varianten Wärmespeicher benötigt. Im Vergleich zur Energiewandlung unter Einsatz von Wasserstoff haben beide Varianten einen höhe-

ren Wirkungsgrad, d.h. man erhält für denselben Einsatz an elektrischer Energie mehr nutzbare Wärme. Dies ist beim Einsatz von Wärmepumpen besonders drastisch. Hier kann man bei der gleichen Menge eingesetzter elektrischer Energie realistisch etwa von einer vierfach höheren Wärmeproduktion gegenüber dem Einsatz von Wasserstoff ausgehen. Zudem sind die verwendeten Energiewandler aktuell auch deutlich preisgünstiger. Der große Vorteil von Wasserstoff ist die einfachere Speicherung der Energie, da Wärmespeicher wesentlich mehr Platz benötigen. Zudem können kleine wasserstoffgetriebene Blockheizkraftwerke neben Wärme auch Strom erzeugen und damit ein zweites Mal das elektrische Energiesystem unterstützen.

**Batteriefahrzeuge:** Im Verkehrsbereich insbesondere im nachhaltigen Individualverkehr, stehen batterieelektrische Fahrzeuge in Konkurrenz zu synthetischen Kraftstoffen aus dem Wasserstoffsektor oder direkt mit Wasserstoff angetriebenen Fahrzeugen. Ihr wesentlicher Vorteil ist der deutlich höhere Wirkungsgrad. Es kann für dieselbe Menge an elektrischer Energie etwa die eineinhalbfache bis doppelte Strecke gefahren werden. Dem stehen drei Nachteile gegenüber. Erstens sind die Batterien relativ schwer und daher ist aktuell die Reichweite der Fahrzeuge begrenzt. Zweitens dauert der Ladevorgang im Vergleich zu einem entsprechenden Tankvorgang deutlich länger. Drittens können batterieelektrische Fahrzeuge nur dann mit erneuerbaren Energien geladen werden, wenn sie an das Stromnetz angeschlossen sind. Dies würde eine erhebliche Anzahl an Ladesäulen voraussetzen.



# Energiesparen in der Frühen Neuzeit

Georg Andreas Böcklers Ratgeber für den Ofenbau

*Die Frage des Energiesparens und die Wahl einer möglichst kostengünstigen, auch ökologisch unbedenklichen Heizungsanlage ist eine Frage, die heute viele Menschen beschäftigt. Doch gibt es dieses ökonomische Problem nicht erst in unserer Zeit.* Von Helmut Hiltz

## Zum Weiterlesen

Joachim Radkau, *Holz – Wie ein Naturstoff Geschichte schreibt*, München 2007

Schon in der Frühen Neuzeit stellte das Energiesparen aus wirtschaftlichen Gründen ein wichtiges Ziel dar. Da zu dieser Zeit fast ausschließlich Holz verwendet wurde – Kohle spielte abgesehen von den Britischen Inseln nur in wenigen Regionen eine größere Rolle –, ging es also um die Frage der »Holzersparnis«. Vor dem Hintergrund der von den Zeitgenossen als Holznot empfundenen Mangelsituation und der damit verbundenen Verteuerung des Rohstoffes Holz wurde über Möglichkeiten nachgedacht

vor allem die Zimmeröfen zu verbessern. Der preußische König Friedrich II. initiierte, um den Erfindergeist anzuspornen, 1763 sogar ein Preisausschreiben der Akademie der Wissenschaften in Berlin über »einen Stubenofen, so am wenigsten Holz verzehret«.

Vom 16. Jahrhundert bis zum Beginn der Industrialisierung im frühen 19. Jahrhundert hat sich deshalb eine Reihe von Autoren mit den Möglichkeiten zur Verbesserung der Ofentechnik beschäftigt. Unter den Autoren finden

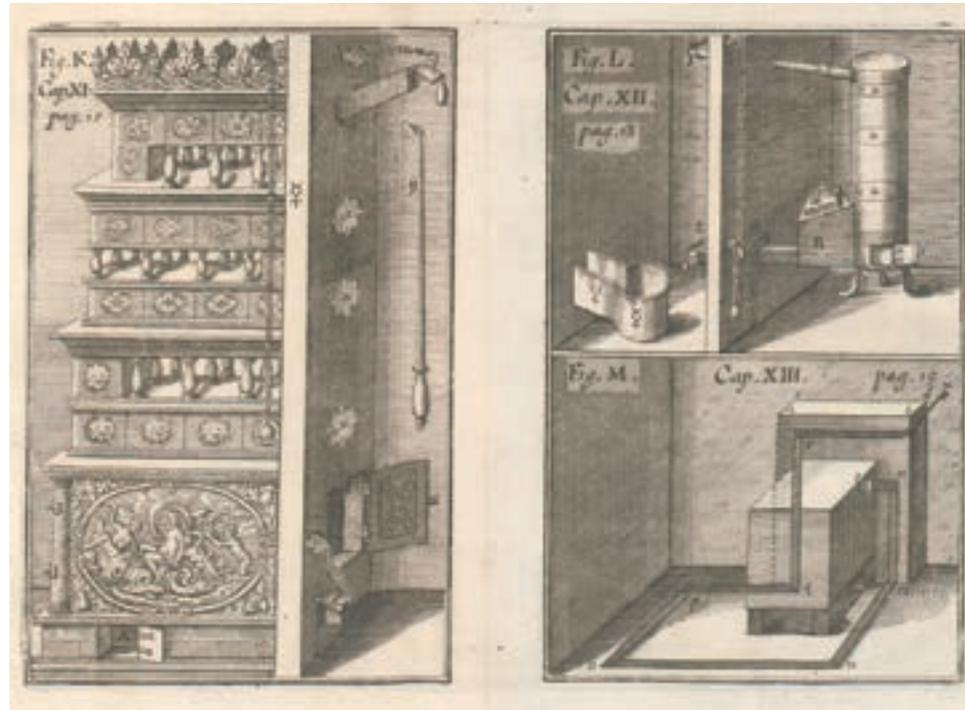
Links: Mehrere Rohre sollten für eine bessere Nutzung der Energie sorgen.

sich Ärzte und Pfarrer ebenso wie Architekten oder Kaufleute. Der sicherlich bekannteste von ihnen war Benjamin Franklin (1706–1790), der Erfinder des Blitzableiters und einer der Gründerväter der Vereinigten Staaten. Hatte doch jeder von sich die Meinung zur Frage des Heizens seinen Beitrag leisten zu können, schließlich war es ja allen möglich am eigenen Ofen Versuche mit Holz anzustellen. Es entwickelte sich deshalb eine richtiggehende Sparofen-Literatur mit Hunderten von Schriften, deren praktischer Nutzen sich allerdings letztlich in engen Grenzen hielt. Die Ofenbauer selbst konnten sich Bücher kaum leisten und waren wie viele Handwerker dieser Zeit zudem oft noch wenig lesekundig. Die Bibliothek des Deutschen Museums besitzt eine breite Auswahl von Werken dieser Art, in der erstmals das Thema Energiesparen im Mittelpunkt steht.

### Öfen für verschiedene Zwecke

Eines der frühesten in Deutschland erschienenen Werke zum Thema »Holzersparnis« verfasste Georg Andreas Böckler (1617–1687), der wesentliche Anregungen aus der 1618 von dem Maler und Erfinder Franz Kessler (ca. 1580–ca. 1650) in Frankfurt am Main veröffentlichten *Holtzsparkunst* erhielt. Böcklers Buch erschien 1666 unter dem Titel *Furnologia oder Haushältliche Oefen-Kunst* ebenfalls in der Mainmetropole. Das Wort *furnus* ist die lateinische Bezeichnung für Ofen. Der im mittelfränkischen Cronheim geborene Autor war als Baumeister und Ingenieur in Straßburg, Frankfurt am Main, Nürnberg und Ansbach tätig. Vor allem aber machte sich Böckler als Autor zu Architektur und Ökonomik einen Namen. Mit insgesamt vierzehn Veröffentlichungen zählt Böckler in der Frühen Neuzeit zu den bedeutenderen Autoren auf diesen Gebieten. Seine wohl bekannteste Veröffentlichung ist sein 1661 in Nürnberg erschienenes *Theatrum Machinarum Novum – Das ist neu-vermehrter Schauplatz der Mechanischen Künsten*, das zur Gattung der Maschinenbücher gehört. Es folgten als weitere größere Veröffentlichungen 1664 die *Architectura Curiosa Nova* und 1678 die *Nützliche Haus- und Feldschule*.

Böckler behandelt in seiner *Furnologia oder Haushältliche Oefen-Kunst* auf gerade einmal 23 Seiten Öfen mit ganz unterschiedlichen Verwendungszwecken: zum



Von hohen Öfen wurde eine bessere Heizleistung erwartet.

Wärmen, Kochen, und Waschen. Die Konstruktion der Öfen war im 17. Jahrhundert noch nicht so ausgereift, wie aufgrund der schon Jahrhunderte zurückreichenden Verwendung von Öfen eigentlich zu vermuten wäre. Die möglichst wirtschaftliche Nutzung des teuren Rohstoffs Holz hoffte Böckler durch die Verbesserung der Öfen zu erreichen. Viele seiner Gedanken erscheinen uns heute als ganz offenkundig, waren es aber im 17. Jahrhundert nicht.

Wesentlich waren aus seiner Sicht der Bau einer geschlossenen, ummauerten Feuerung und die Schaffung eines genügenden Zuges, ohne dass zugleich ein zu rascher Abzug der Wärme eintritt. Für den richtigen Zug sollte vor allem ein eiserner Rost sorgen, auf dem das Holz aufgeschichtet wurde. Auch weist Böckler auf die Bedeutung der richtigen Dimensionierung des Ofens hin. Überraschend ist sein Vorschlag, durch eine entsprechende Führung der Rohre den Fußboden zu erwärmen, also unsere heutige Fußbodenheizung. Die kleine Schrift Böcklers ist reichhaltig mit Kupferstichen illustriert, was das Verständnis seiner Verbesserungsvorschläge wesentlich erleichtert. Nicht zuletzt deshalb war die Schrift Böcklers bis zum Ende der Sparofen-Literatur für die nachfolgenden Autoren ein wichtiger Bezugspunkt.

Wie die *Nützliche Haus- und Feldschule* zählt auch die *Furnologia* zur Gattung der frühneuzeitlichen Hausväterliteratur. Diese befasste sich mit der Wirtschaft des einzelnen, vor allem landwirtschaftlichen Haushalts. Die Leser dieser Bücher waren die Besitzer großer Güter, vor allem auch Adlige. Die »Holzersparnis« und damit das Themengebiet Heizen gehören ganz selbstverständlich zum Inhalt dieser frühen ökonomischen Werke und werden deshalb von Böckler auch in seinem Werk *Nützliche Haus- und Feldschule* noch einmal behandelt. ■



DER AUTOR

#### Dr. Helmut Hiltz

Der Sozial- und Wirtschaftshistoriker leitet seit 1998 die Bibliothek des Deutschen Museums.



# Die Stromrebelln vom Walchensee

*»Fridays-for-Future«-Demonstrationen, »Ende-Gelände«-Besetzungen, Proteste gegen den Neubau von Windkraftanlagen und Stromtrassen – die Zukunft unsers Energiesystems ist umkämpft. Dabei handelt es sich keineswegs um ein ganz neues Phänomen, wie die Geschichte des Walchenseekraftwerks in Bayern zeigt.* Von Sebastian Kasper

**V**erfolgt man die Berichterstattung über aktuelle Proteste, erscheint die Einmischung der Bevölkerung in Fragen des Energiesystems als ein recht junger Vorgang. Manchmal wird in diesem Zusammenhang noch auf die Anti-Atomkraft-Bewegung, die sich Mitte der 1970er Jahre formierte, verwiesen. Weiter zurück reicht das historische Gedächtnis jedoch kaum. Dass aber schon lange vor der Anti-Atomkraft-Bewegung energietechnische Großprojekte Widerstand hervorriefen, zeigt das Beispiel des Speicherkraftwerks Walchensee. Dieses Kraftwerk, das sich ganz im Süden Deutschlands, nur wenige Kilometer von der österreichischen Grenze befindet, war, wie es nicht ganz zu Unrecht auf der Betreiberseite heißt, die »Wiege der industriellen Stromerzeugung in Bayern«. Als der Bau 1924 fertiggestellt wurde, war es darüberhinaus mit einer Leistung von 124 000 Kilowatt eines der größten Wasserkraftwerke der Welt. Dabei wird bis heute nur ein Teil ins allgemeine Drehstromnetz eingespeist, während ungefähr ein Drittel direkt an die Bahn geliefert wird. Hintergrund für den Bau war neben der Elektrifizierung der Bahn das

Vorhaben Bayerns, den bis dahin über weite Strecken unkontrollierten privatwirtschaftlichen Aufbau des elektrischen Energiesystems zu regeln und eine flächendeckende Stromversorgung aufzubauen. Mit dem Walchenseekraftwerk als Herzstück entstand so ein weite Teile Bayerns umfassendes Verbundnetz. Dadurch erhöhte sich die Netzsicherheit, vor allem jedoch konnte die damals kommerziell recht unattraktive Elektrifizierung ländlicher Regionen vorangetrieben werden.

## **Wer braucht so viel Strom?**

Schon Ende des 19. Jahrhunderts gab es Überlegungen, den Höhenunterschied von etwa 200 Metern zwischen dem Kochelsee und dem Walchensee zur Stromerzeugung auszunutzen. Bis es aber über ein Vierteljahrhundert später dazu kam, standen dem Projekt viele Hürden im Weg. Heute kaum noch zu glauben, fragten sich damals viele Menschen, ob man überhaupt so große Mengen elektrischer Energie brauchen werde und ob ein finanziell derart kostspieliger Kraftwerksbau nötig sei.

in der Ausstellung Starkstrom zeigt ein großformatiges Diorama eine idealisierte Landschaft rund um das Walchenseekraftwerk. Hinter dem Strommasten ist der Walchensee zu sehen, von dem Fallrohre zum Kraftwerksgebäude führen. Im Hintergrund des Sees das Karwendelgebirge.

Auch die Elektrifizierung der Bahn war noch umstritten. Selbst das Verkehrsministerium gehörte zu den Skeptikern.

Bei Teilen der lokalen Bevölkerung stießen die Ideen auf strikte Ablehnung, da sie ihre Lebensgrundlage in Gefahr sahen. So gab es die Befürchtung, dass die notwendigen Eingriffe in die vorhandenen Flusssysteme und das zeitweise Absenken des Wasserspiegels des Walchensees der Fischerei, der Land- und Forstwirtschaft schaden könnte. Flößer fürchteten, dass die Isar wegen notwendiger Umlenkungen von Teilen des Wassers über längere Strecken nicht mehr befahrbar sein werde. Auch wenn diese Befürchtung sich bewahrheitet hätten: Dieses Problem löste sich von selbst, da die Flößerei schon vor den ersten Baumaßnahmen weitestgehend ihre Bedeutung verloren hatte und zu Beginn des 20. Jahrhunderts als Erwerbszweig wegbach. Von größerer Bedeutung waren deshalb die Ängste der Tourismusbranche. Die bayerischen Voralpen waren schon damals ein Besuchermagnet, vor allem für das Münchner Bürgertum. Auch wenn heute das Walchenseekraftwerk zu einer touristischen Attraktion der Region geworden ist, fürchtete man seinerzeit, dass ein Kraftwerk dieser Größe die Region für Erholungsuchende uninteressant machen könnte.

### Der Heimatschutz mischt sich ein

Trotz dieser prinzipiellen Bedenken wurde 1908 ein Wettbewerb zur Planung eines Kraftwerks am Walchensee durch die Staatsregierung ausgeschrieben. Unter den 31 eingereichten Entwürfen setzte sich der des bedeutenden Pioniers der elektrischen Energieversorgung und Gründers des Deutschen Museums, Oskar von Miller, durch. Dass es von der Ausschreibung des Wettbewerbs bis zum Baubeginn 1918 noch einmal circa 10 Jahre dauern sollte, lag nicht nur am Ausbruch des Ersten Weltkriegs, sondern auch am anhaltenden Widerstand gegen das Projekt.

Zentraler Träger dieses Widerstands war die sogenannte Heimatschutzbewegung. Diese modernisierungsskeptische Strömung, die durch ein romantisierendes Naturverständnis getragen wurde, sah durch Bauprojekte wie dem Walchenseekraftwerk die regionale Identität gefährdet. Dementsprechend konnte man in der Zeitschrift

*Heimatschutz* schon 1908 über das geplante Walchenseekraftwerk lesen: »Es sind Pläne im Gang, die nicht nur ganz Bayern, die ganz Deutschland bewegen müßten, wenn nicht weiten Kreisen Fortschritt und Technik gleichbedeutend wären mit Fortschritt der Kultur. [...] Aus der lebendigen Isar, dem Urbild und Juwel unseres bayerischen Vaterlandes, ein abgestorbenes ödes Flußbett zu machen, ist nicht nur eine gegen das Menschengefühl gehende Barbarei, sondern es bedeutet auch eine enorme Schädigung der dortigen Bevölkerung.« (*Heimatschutz* 1908, H. 4-6, S. 49 ff.)

Zwei Hauptanliegen der Heimatschutzbewegung fanden dann auch tatsächlich Eingang in der Bauplanung: Erstens wurde eine zweite Wasserableitung zuerst nicht gebaut und erst in den Jahren akuter Energieknappheit nach dem Zweiten Weltkrieg mit der Reißbachableitung verwirklicht. Zweitens wurde die maximale Absenkung des Wasserspiegels des Walchensees von zuerst angedachten 16 Meter auf circa 6 Meter reduziert.

### Räte am Walchensee

Aber auch als der Bau im November 1918 begann, lief nicht alles so wie von den Bauherren erhofft. Gerade anfänglich herrschten auf der Großbaustelle katastrophale Zustände: Die Unterkünfte für die Arbeiter waren für den Winter nicht geeignet, die Lebensmittelversorgung machte große Probleme und die Arbeiter waren nur äußerst mangelhaft ausgerüstet. Darüber hinaus waren die Schutzmaßnahmen völlig unzureichend, so dass es während der Bauzeit zu siebzehn Todesfällen kam. Dies führte zu mehreren Arbeitsniederlegungen und Protestaktionen. Als dann in München und anderen Teilen Bayerns 1919 die Räterepublik ausgerufen wurde, beteiligten sich auch die Kraftwerksarbeiter an diesem kurzzeitigen Projekt.

Bei allen Unterschieden zur heutigen Situation zeigt das Beispiel Walchenseekraftwerk doch, dass technische Großprojekte schon vor mehr als hundert Jahren eines gesellschaftlichen Aushandlungsprozesses bedurften. Der Umbau des Energiesystems ist damals wie heute also nicht nur durch ökonomische und technische Voraussetzungen determiniert, sondern auch eine Frage der sozialen und politischen Durchsetzbarkeit. ■■



Die Turbinenhalle im Walchenseekraftwerk.



Vom Walchensee fließt das Wasser in sechs Rohrbahnen 200 Höhenmeter abwärts. Es treibt vier Francis- und vier Pelton-turbinen an.



DER AUTOR

**Dr. Sebastian Kasper** ist wissenschaftlicher Volontär für das Ausstellungsprojekt »Energie – Strom« am Deutschen Museum.

# Unter Strom

Berlin auf dem Weg zur Metropole

Von 1912 bis 1914 verband ein gleisloser Oberleitungsbus die Strecke von Berlin nach Steglitz.



*Die flächendeckende Versorgung mit Strom führte in den 1890er Jahren zu einem rasanten Aufschwung Berlins.* Von Dorothee Haffner und Christina Stehr

Als »Chicago von Europa« bezeichnete 1892 der Schriftsteller Mark Twain die Industriemetropole Berlin, deren rasante Entwicklung nur mit jener amerikanischen Großstädte vergleichbar war. Innerhalb weniger Jahrzehnte revolutionierte die Stromversorgung das wirtschaftliche Leben und den Alltag in der Großstadt. Berlin wurde zum Schauplatz und Vorreiter der zweiten industriellen Revolution, die mit ungeheurer Dynamik sämtliche Produktionsbereiche sowie den öffentlichen Nahverkehr neu gestaltete. Die Elektroindustrie entwickelte sich Ende des 19. Jahrhunderts zum führenden Wirtschaftszweig und machte Berlin zum innovativen Zentrum der europäischen Elektrizitätswirtschaft.

#### Zum Weiterlesen

Dorothee Haffner, Christina Stehr (Hrsg.), *Unter Strom – Berlin auf dem Weg zur Metropole*, Berlin 2019

Der Band *Unter Strom – Berlin auf dem Weg zur Metropole* zeigt in mehreren Kapiteln und mit über 100 Fotos, wie grundlegend sich der Nahverkehr, die öffentliche Beleuchtung, das Nachrichten- und Kommunikationswesen in Industrie und Forschung aber auch im privaten Bereich verändert haben. Zugleich entstanden vollkommen neue Tätigkeitsfelder vor allem für Frauen, die das Bild der modernen berufstätigen Großstädterin stark geprägt haben.

#### Die Akteure der Elektroindustrie: AEG, Siemens & Co

Die beiden Hauptakteure des elektrischen Umbruchs waren Siemens und AEG. Mit der Inbetriebnahme der ersten

Ferntelegraphenverbindung Europas im Jahr 1849 zwischen Berlin und Frankfurt hatte die Telegraphen-Bauanstalt von Siemens & Halske die Grundlage für die moderne Massenkommunikation geschaffen. Emil Rathenau, Gründer der späteren AEG, sicherte sich 1882 die Rechte für die wirtschaftliche Verwertung der Edison'schen Patente in Deutschland, nachdem er 1881 auf der Internationalen Elektrizitätsausstellung in Paris das große Potenzial der Glühlampe von Thomas Edison erkannt hatte. Ab 1884 folgte auf der Grundlage vertraglicher Regelungen zwischen der AEG und dem Berliner Magistrat der systematische Aufbau eines modernen Stromversorgungsnetzes, das die Voraussetzung für zahlreiche technische Innovationen schuf. Schon 1906 gab es im Berliner Stadtgebiet ein dichtes Netz an Kraftwerken und Verteilstationen, die vor allem der Elektrifizierung des öffentlichen Raums dienten.

Nach der Straßenbeleuchtung waren es vorrangig öffentliche Verwaltungsgebäude sowie Kultur- und Bildungseinrichtungen, die elektrifiziert wurden. Neu erbaute Museen wie das Museum für Völkerkunde und das Naturkundemuseum erhielten umgehend eine elektrische Beleuchtung, schon allein deshalb, um die Brandgefahr durch die Gasbeleuchtung auszuschließen. Die Staatsbibliothek »Unter den Linden« erhielt bereits beim Bau (1910–1914) elektrisches Licht. Neben der Beleuchtung öffentlicher Gebäude profitierte vor allem der Nahverkehr von der Stromversorgung. Elektrisch betriebene Straßenbahnen und Postwagen zählten zu den ersten Errungenschaften der Elektromobilität auf den Straßen Berlins. 1881 wurde die erste Straßenbahnlinie der Welt mit elektrischen Triebwagen der Firma Siemens in Lichterfelde in Betrieb genommen. 1902 wurde bereits die erste Teilstrecke der Berliner U-Bahn eröffnet.

### Die neue Welt der Elektrizität

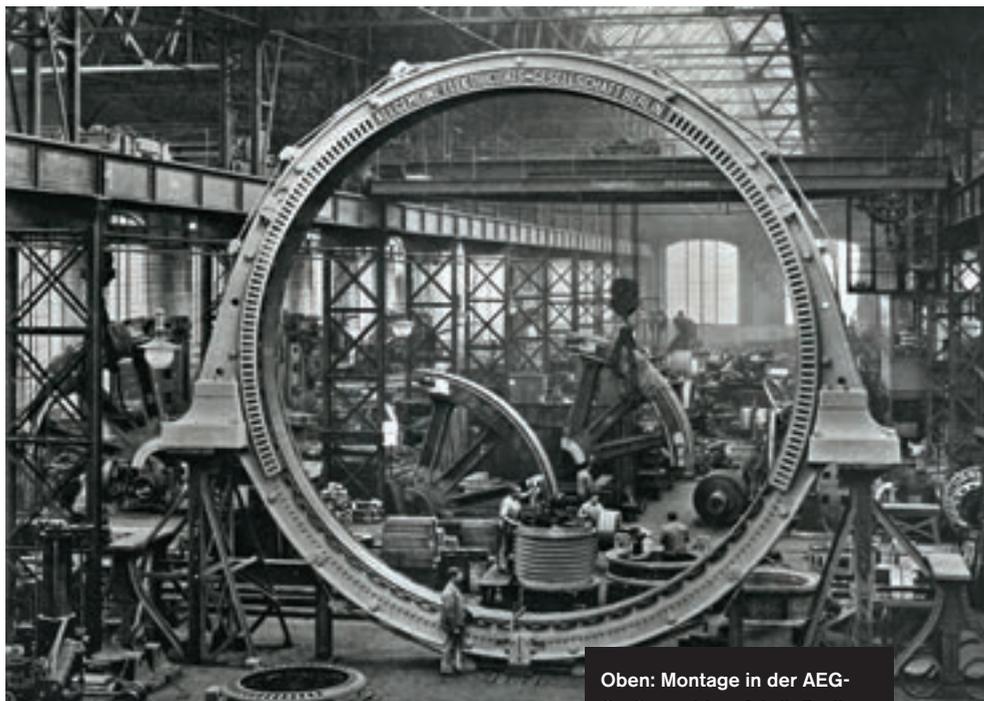
Der Einzug der Elektrizität verwandelte Berlin in wenigen Jahrzehnten in eine pulsierende Großstadtmetropole. Neben dem Bau riesiger Industriezentren entwickelte sich parallel dazu eine öffentliche Unterhaltungskultur, die einen enormen Aufschwung durch völlig neue Techniken erlebte. Zahlreiche Kinos, Konzerthäuser und Variététheater entstanden in kurzer Zeit und lockten allabendlich das vergnügungshungrige Publikum mit riesigen Leuchtreklamen an. Bis heute ist das Berlin der 1920er Jahre berühmt für sein ausschweifendes Nachtleben.

Das florierende Geschäft mit der Elektrizität dehnte sich zunehmend auch auf die privaten Haushalte aus. Die flächendeckende Stromversorgung führte zu zahlreichen technischen Neuerungen, die an den Mann oder besser die Frau gebracht werden wollten. Mit groß angelegten Werbekampagnen und eigens dafür eingerichteten Vorführräumen sollten vor allem die Frauen von den Vorzügen elektrischer Haushaltsgeräte wie Kühlschränke und Waschmaschinen überzeugt werden.



Oben: Blick in die nächtliche Friedrichstraße.

Rechts: Elektrische Bogenlampen-Beleuchtung in der Friedrichstraße.



Oben: Montage in der AEG-Großmaschinenfabrik Berlin.



Unten: Spulenkwicklerei in der Zählerfabrik der AEG.



Tanzmaschine in einem Berliner Café.



Oben: Luftaufnahme des AEG-Kabelwerks Oberspreewald.

Links: Die weltweit größte Glühlampe mit einer Leistung von 50 000 Watt.

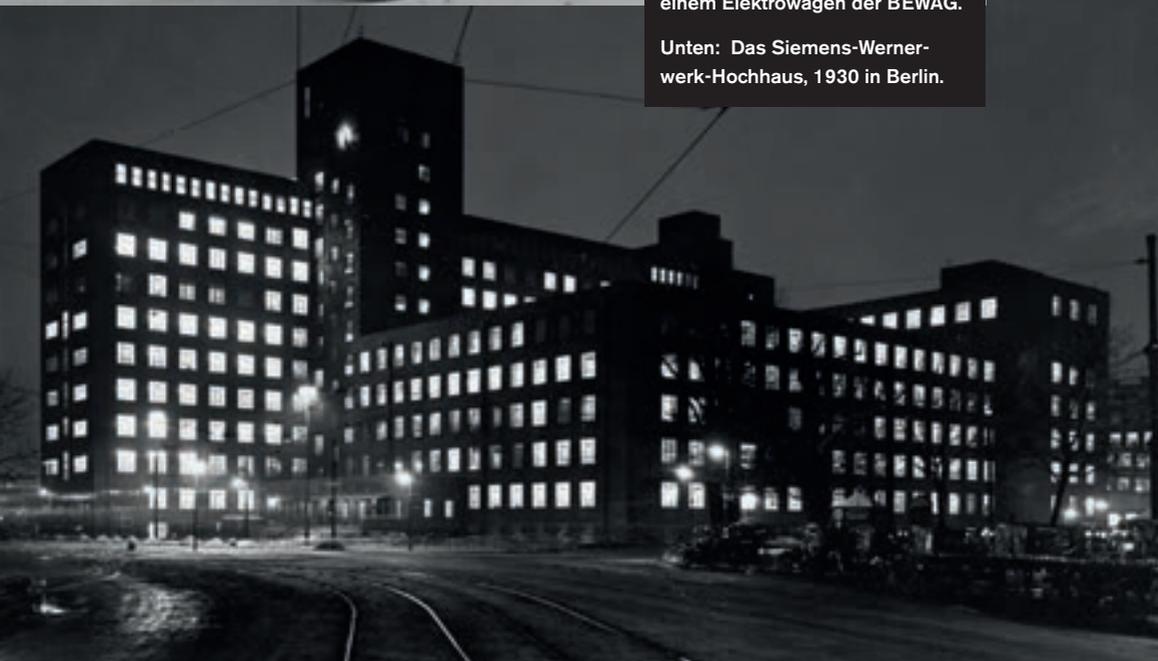


Oben: Elektrizitätswerbung auf einem Elektrowagen der BEWAG.



Oben: Der Kurfürstendamm am Abend.

Unten: Berlin-Alexanderplatz mit der U-Bahn-Baustelle.



Unten: Das Siemens-Wernerwerk-Hochhaus, 1930 in Berlin.



Das enorme Elektrifizierungstempo führte dazu, dass sich von 1900 bis 1904 der Strombedarf verfünffachte. AEG und Siemens, die zu internationalen Branchenführern aufgestiegenen Elektrokonzern, trieben die Entwicklung mit modernen Industriebauten und der Einführung technischer Innovationen weiter voran.

### Die Architektur der »Elektropolis«

Besonders eindrucksvoll waren die Kraftwerksbauten wie das Kraftwerk Klingenberg in Berlin-Rummelsburg, das seinerzeit zu den modernsten und weltweit leistungsfähigsten Wärmekraftwerken zählte. Die »Siemensstadt«, bis heute einer der wichtigsten Industriestandorte der Stadt, sprengte alle bisherigen Maßstäbe. Im westlich gelegenen Spandau entstand ein ganzer Stadtteil mit Werksanlagen und Arbeitersiedlungen, dessen Markenzeichen ein eigener Architekturstil war. Neben Standorten in Moabit und Wedding siedelte sich die AEG im Südosten der Stadt, in Oberschöneeweide, mit bedeutenden Industriebauten an: dem ältesten europäischen Drehstromkraftwerk, dem Kabelwerk Oberspree, einem Transformatorenwerk sowie weiteren Fabriken.

Die weltweit einmalige Konzentration von Großunternehmen der Elektrobranche und deren dynamische Entwicklung brachte Berlin den Ruf der »Elektropolis« ein. Unter Beteiligung namhafter Architekten, wie Peter Behrens, Karl Bernhard und Paul Tropp für die AEG sowie Karl Janisch und Hans Hertlein für Siemens, entstanden beeindruckende Zentren der Industriekultur, die nicht nur technisch, sondern auch architektonisch zum Symbol der Modernität avancierten.

Noch heute gibt es in Berlin vieles zu entdecken, das an die einstige Bedeutung der Industriemetropole erinnert. Visuell gesehen ist Berlin noch immer ein Zentrum architektonisch einmaliger Industriebauten, die das Stadtbild bis heute prägen. Die Geschichte der »Elektropolis« lässt sich in zahlreichen Fotos und Dokumenten dieser Zeit entdecken, die sich in der fotografischen Sammlung der bpk-Bildagentur und in anderen Archiven erhalten haben. Sei es das Historische Archiv des Deutschen Technikmuseums mit seinem umfangreichen Bestand an Firmenarchiven, das Fotoarchiv der BEWAG (heute bei der Vattenfall GmbH), das Landesarchiv Berlin oder das Messbildarchiv des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege – überall sind reiche fotografische Schätze verborgen, beeindruckende Zeugnisse der Entwicklung Berlins zur Metropole. ■■

#### DIE AUTORINNEN

**Dorothee Haffner** ist Professorin für Museumskunde an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin und Leiterin des Berliner Zentrums Industriekultur.

**Christina Stehr** ist stellvertretende Leiterin der bpk-Bildagentur und deren fotografischer Sammlung, Stiftung Preußischer Kulturbesitz zu Berlin.



Oben: Büro-Ausstellung am Kaiserdamm in Berlin.

Mitte: Das Variété »Wintergarten« in Berlin-Mitte.

Unten: Das Schauspielhaus am Gendarmenmarkt.





# Eier haben viele Talente

*Hühnereier werden wegen ihres Gehalts an Eiweiß, Fett und Emulgatoren seit Urzeiten für technisch-gewerbliche Zwecke genutzt. Aber erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entwickelten sie sich zu einem unverzichtbaren Rohstoff für mehrere, völlig verschiedene Industrien. Ein Bericht über die technische Bedeutung eines leicht verderblichen Agrarprodukts. Von Elisabeth Vaupel und Florian Preiß*

Jahrhundertlang wurden Hühnereier nicht nur verzehrt, sondern wegen ihrer Inhaltsstoffe auch für technische Zwecke genutzt – man denke etwa an die schon den alten Ägyptern bekannte Technik der Malerei mit Eitemperafarben. Um 1850 wurden Eier zu einem unverzichtbaren Industrierohstoff, zunächst vor allem wegen ihres Eiweißgehalts. Eiklar enthält nämlich unter anderem Ovalbumin. Dieses Protein wurde in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in derart großen Mengen benötigt, dass eine neue Industrie entstand, die Albuminfabrikation.

Die Arbeiterinnen in den Albuminfabriken schlugen jeden Tag Tausende von Eiern mit der Hand auf und trennten das Eiklar von den Dottern. Das Eiklar wurde dann zur Entfernung von Verunreinigungen (Stroh, Kot, Federn, Schalenresten etc.) durch ein Haarsieb passiert und in flachen Porzellanschalen getrocknet, bis es sich in hellgelb-transpa-

In einer in China errichteten Fabrik zur Herstellung von Eiprodukten (Albumin, Eigelb) schlugen Arbeiterinnen Eier auf (um 1900).

renten Blättchen von der Unterlage abschaben ließ. Um 50 Kilogramm Ovalbumin herzustellen, das zum Teil auch pulverisiert in den Handel kam, mussten etwa 11 500 Eier verarbeitet werden.

## **Eier – ursprünglich nur saisonal verfügbar**

Die ständige Verfügbarkeit von Hühnereiern ist heute eine Selbstverständlichkeit. Doch bis weit in die 1920er Jahre hinein waren sie nur zu bestimmten Jahreszeiten erhältlich. Vor der Züchtung moderner, auf Legeleistung optimierter Hühnerrassen und vor der Einführung industriell betriebener Hühnerhaltung legte eine Henne nur im Frühjahr und im Sommer einige Dutzend Eier; im Herbst begann sie ihre Legetätigkeit zu reduzieren und stellte sie im Winter ein. Dieser Produktionszyklus hatte zur Folge, dass die Albuminfabriken in den Frühlings- und Sommermonaten große Mengen Eier

zu günstigen Preisen kauften. Da nur ein Teil davon gleich verarbeitet werden konnte, musste der Rest durch Einlegen in Kalkwasser oder Wasserglas haltbar gemacht werden, um auch in den eierarmen Monaten Material zu haben. Eine häufig verwendete Konservierungsmethode war das Einlegen in Garantol. Dieses wasserglashaltige Präparat versiegelte die porösen Eierschalen, so dass keine Mikroorganismen eindringen und den Inhalt des Eis verderben konnten.

**Ovalbumin – der technisch wertvolle Inhaltsstoff des Eiklars**

Eiklar (Albumen, umgangssprachlich: Eiweiß) ist eine 10-prozentige wässrige Protein-Lösung, die noch Fett, Kohlenhydrate, Kalzium, Phosphor, Eisen und Vitamine enthält. Für die technische Nutzung des Eiklars ist nur der Proteingehalt relevant, besonders der Gehalt an Ovalbumin (von lat. *ovum* = das Ei und *album* = das Weiße). Albumine sind relativ einfach gebaute, gut wasserlösliche Proteine und im Tier- und Pflanzenreich weitverbreitet. Im Tierreich kommen sie vor allem in Körperflüssigkeiten und Sekreten vor. Wichtige Vertreter sind neben dem Ovalbumin des Eiklars das in allen Milcharten enthaltene Lactalbumin sowie das im Blutserum enthaltene Serumalbumin. Pflanzliche Albumine sind dagegen besonders in Samen zu finden. Wichtig sind vor allem das Leucosin des Weizens (und anderer Getreidearten) sowie das Legumelin der Hülsenfrüchte. Im 19. Jahrhundert wurden drei Albuminarten technisch genutzt, nämlich Ovalbumin, Blutalbumin und Legumelin. Der große Bedarf an Ovalbumin ging dabei vor allem von zwei Branchen aus: der Textilindustrie und der sich ab der Mitte des 19. Jahrhunderts herausbildenden Fotopapierindustrie.

**Albumin im Textildruck**

Bei der maschinellen Produktion bedruckter Baumwollstoffe nutzte man die Erfahrung, dass Eiweiß klebt und Ovalbumin – man denke ans Eierkochen – bei Temperaturen zwischen 60 und 70 °C fest wird. Das Koagulieren der Proteine durch Hitzeeinwirkung erlaubte es, Pigmente, die sich als anorganische, wasserunlösliche Substanzen eigentlich nicht zum Färben von Textilien eignen, mit Ovalbumin mechanisch auf der Faser festzukleben. Zu diesem Zwecke wurden die in ei-

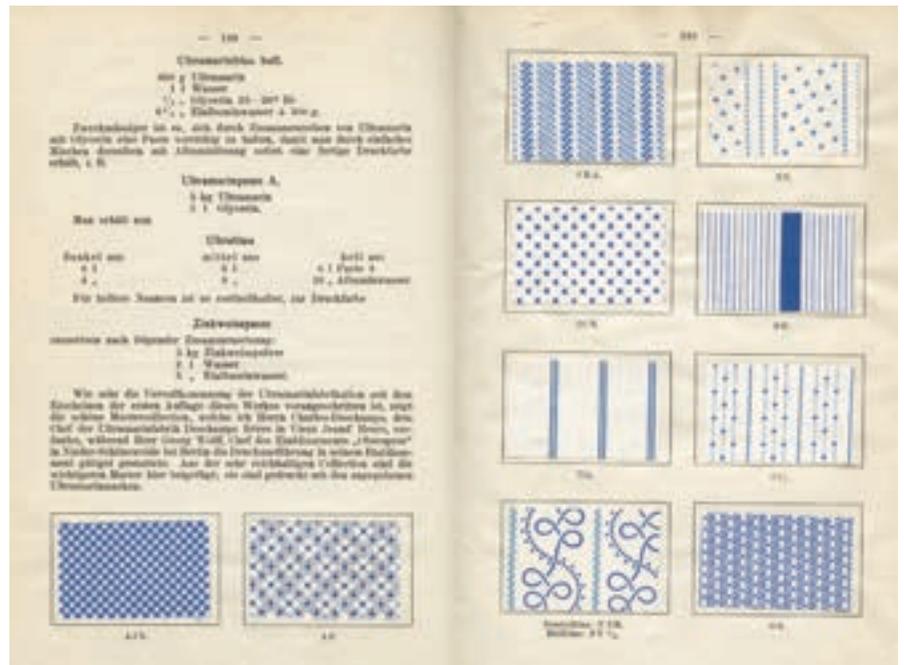


Bild oben: Beim Druck unlöslicher Pigmente auf Baumwollstoffe wurde im 19. Jahrhundert Hühnereiweiß als Klebstoff verwendet, um die Mineralfarbe auf dem Gewebe zu fixieren. Solche Textilien konnten zwar gewaschen werden, waren aber nicht reibecht.  
Bild unten: Werbeplakat für das Eikonserverungsmittel Garantol (um 1935).

ner wässrigen Ovalbuminlösung aufgeschlämmten Pigmenten mit einer rotierenden Metallwalze (in die das gewünschte Druckmuster eingraviert war) auf die Stoffe aufgedruckt. Durch anschließendes Dämpfen wurde das Eiweiß fest, so dass die Pigmente in einer zusammenhängenden Eiweißschicht auf der textilen Unterlage fixiert wurden. Da die mit Albumin Farben bedruckten Stoffe nach der Dampfbehandlung unangenehm nach verbranntem Eiweiß rochen, mussten sie noch mit Chlorkalk desodoriert werden, ehe sie in den Handel kommen konnten.

Nun waren in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts einige neue, synthetisch hergestellte Pigmente auf den Markt gekommen, die schnell zu Modifarben avancierten: zum einen das Ultramarin, das es in Farbnuancen von Dunkel- bis Hellblau, Violett-, Rosa- bis hin zu Grün- und Petroltönen gab; zum anderen Pigmente wie Chromorange, Chromgelb, Chromgrün, Schweinfurter Grün, Kadmiumgelb, Manganbraun oder Rußgrau, die eine neue Farbigkeit eröffneten. Um diese Pigmente auch im Zeugdruck verwenden zu können, wurden sie, wie beschrieben, mit Ovalbumin auf der Faser festgeklebt. Tatsächlich konnten Kattundrucke in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts dank der neuen Pigmente in



einer erstaunlichen Vielfalt hergestellt werden. In Kombination mit den verschiedenen Mustern auf den Druckwalzen eröffneten sich ungeahnte Designmöglichkeiten. Vom hohen Niveau des Textildrucks in dieser Zeit zeugen nicht nur die Exponate in den einschlägigen Museen (z.B. im Stoffdruckmuseum, dem Musée de l'impression sur étoffes, im elsässischen Mulhouse), sondern auch die vielen, mit eingeklebten Stoffmustern illustrierten Fachbücher, Zeitschriften und Manuskripte über den Zeug- und Kattundruck, die in der Bibliothek und im Archiv des Deutschen Museums aufbewahrt werden.

### Die Nachteile des Albuminverfahrens

Das für den Kattundruck mit Pigmenten entwickelte Albuminverfahren hatte jedoch auch Nachteile: Zum einen war Ovalbumin sehr teuer. Lediglich beim Druck dunklerer Farbtöne konnte man auf das billigere, leicht bräunlich gefärbte Blutalbumin ausweichen. Helle Farben ließen sich dagegen nur mit dem farblosen Ovalbumin drucken. Zum zweiten waren die Ovalbuminlösungen schlecht haltbar, sie faulten schnell. Zudem tendierten sie dazu, während des Drucks aufzuschäumen und die Gravur der Walzen zu verkleben, so dass die Muster unscharf wiedergegeben wurden. Um die Suche nach Alternativen zu stimulieren, setzte der Gewerbeverein im elsässischen Mulhouse einen hochdotierten Preis aus. Doch die vorgeschlagenen Ersatzstoffe (Kasein, Klebereiweiß, Pektin, trocknende Öle, Kautschuk etc.) hatten nicht die Eigenschaftskombination zu bieten, die das Ovalbumin trotz allem so nützlich machte: seine Wasserlöslichkeit, sein Klebvermögen, das Koagulieren seiner Lösungen bei Hitzeeinwirkung und die daraus resultierende Bildung einer zusammenhängenden, aber flexiblen Schicht, in der

Die Satirezeitschrift *Punch* karikierte 1862 die tödliche Gefahr, die von Ballkleidern ausging, die mit dem arsenhaltigen Pigment »Schweinfurter Grün« bedruckt waren. Das mit Albumin auf dem Stoff festgeklebte Farbmittel bröckelte leicht von der Faser ab, so dass die Tänzer bald in eine giftige Staubwolke gehüllt waren.

die Pigmente eingebettet waren. Erst die Erfindung moderner Textilveredelungs- und Bindemittel auf Kunstharzbasis – letztlich also die Fortschritte der Polymerchemie – ermöglichten es seit den 1920er Jahren, Textilien auch ohne Ovalbumin mit Pigmenten zu bedrucken.

Mit dem Albuminverfahren bedruckte Baumwolltextilien konnten zwar in Seifenlauge gewaschen werden, waren aber nicht reibecht. Das war fatal, denn die meisten Pigmente, die im 19. Jahrhundert im Textildruck verwendet wurden, waren wegen ihres Chrom-, Blei-, Kadmium- oder Arsengehalts giftig. Besonders problematisch war das arsenhaltige Schweinfurter Grün, das in den 1850er und frühen 1860er Jahren wegen seiner brillanten Farbe sehr beliebt war. Eine Karikatur aus der britischen Satirezeitschrift *Punch* von 1862 zeigt, dass Tänzerinnen, deren Ballkleider mit dem hochgiftigen, im Volksmund bald als »giftgrün« verunglimpften Farbmittel bedruckt waren, sich durch das bei heftigeren Bewegungen abbröckelnde Pigment leicht eine Arsenvergiftung zuzogen.

### Albumin in der Fotoindustrie

Das meiste Ovalbumin wurde im 19. Jahrhundert in der Textilindustrie verbraucht. Zwischen 1850 und 1900 begann eine weitere Anwendung eine wichtige Rolle zu spielen: die junge fotografische Technik. 1848 war es dem französischen Chemiker, Erfinder und Fotografen Claude Félix Abel Niépce de Saint-Victor (1805–1870) gelungen, eine Kaliumiodidhaltige Albuminlösung auf eine Glasplatte aufzutragen und sie nach dem Trocknen mit Silbernitratlösung lichtempfindlich zu machen. Seine Albumin-Negative zeichneten sich bereits durch zwei wichtige Charakteristika aus: der Glasplatte als Trägermaterial für die lichtempfindliche Schicht und der Verwendung von Ovalbumin als Bindemittel für die Silber-salze, die vermutlich von der damals üblichen Verwendung dieser Substanz im Stoffdruck inspiriert worden war.

An Niépce de Saint-Victors Vorarbeiten knüpfte jedenfalls der französische Tuchhändler, Chemiker und Hobbyfotograf Louis Désiré Blanquart-Evrard (1802–1872) an, der Ovalbumin im Jahr 1850 erstmals zur Herstellung von Kopierpapieren verwendete. Zu ihrer Fabrikation, die schon ab 1854 im industriellen Maßstab betrieben wurde, musste das Eiklar zunächst mit Ammoniumchlorid-Lösung schaumig geschlagen werden. Dann ließ man die aus speziellem Hadernpapier

### Zum Weiterlesen

Cornelia Kemp, *Foto und Film. Die Technik der Bilder*, München 2017

Eduard Lauber, *Praktisches Handbuch des Zeugdrucks*, Bd. 1, Leipzig 1902

Jürgen Osterhammel, Niels P. Peterson, *Geschichte der Globalisierung*, München 2019

Karl Ruprecht, *Die Fabrikation von Albumin und Eierkonserven*, Wien/Leipzig 1904

The Foreign Trade Association of China (Hrsg.), *Eggs & Egg Products*, Shanghai 1936

hergestellten Papierbögen so lange auf der klaren, proteinhaltigen, sich aus dem Eischnee absondernden Flüssigkeit schwimmen, bis sich die eine Seite des Fotopapiers mit Ovalbumin vollgesaugt hatte. Um das Papier lichtempfindlich zu machen, wurde es dann mit der Albuminseite nach unten in einer Dunkelkammer in Silbernitrat-Lösung gelegt, damit sie sich mit Silbersalzen anreichern konnte. Anschließend wurde das Fotopapier getrocknet.

Nach der Entwicklung wurde das sichtbar gewordene Silberbild durch das Ovalbumin an der Oberfläche des Kopierpapiers festgehalten. Da es nicht in tiefere Papierschichten einsinken konnte, waren Albumin-Abzüge außergewöhnlich scharf und detailgetreu. Ein weiterer Vorteil dieses zwischen 1850 und 1900 viel verwendeten Fotopapiers (95 Prozent aller damaligen Aufnahmen wurden darauf abgezogen) bestand darin, dass die Abzüge wesentlich kostengünstiger waren als die mit den zuvor üblichen Verfahren produzierten und es dadurch ermöglichten, die Fotografie zu einem Massenmedium zu machen. Von Nachteil war lediglich, dass das Albuminpapier im Lauf der Zeit vergilbte und sich in der alternden Ovalbumin-Schicht Risse bildeten. Mit dem Aufkommen der Kleinbild- und Amateurfotografie ging die Ära der Albumin-Kopierpapiere in den 1900er Jahren dann zu Ende, weil man mit ihnen keine Vergrößerungen herstellen konnte.

#### Technisch wertvolle Inhaltsstoffe des Eidotters

Da bei der Albuminfabrikation nur das Eiklar verarbeitet wurde, musste für das unweigerlich mitanfallende Eigelb ebenfalls ein Markt gefunden werden. Wegen des hohen Fett- und Lezithingehalts der Dotter war das allerdings nicht schwer. Aus Eidottern wurde beispielsweise das sogenannte Eieröl gewonnen, das bis heute zur Herstellung von Kosmetika (Hautcremes) und Shampoos verwendet wird. Die im Dotter enthaltenen Lezithine wurden im 19. Jahrhundert außerdem als Emulgator genutzt, d.h. als oberflächenaktives Hilfsmittel zur Stabilisierung von Dispersionen zweier nicht oder nur teilweise miteinander mischbarer Flüssigkeiten, von denen die eine in der anderen fein verteilt ist. Da bei vielen technisch-gewerblichen Anwendungen Emulsionen aus einer wasser- und einer ölhaltigen Flüssigkeit verarbeitet werden mussten, war deren Entmischung ein häufig auftre-



Fotoalbum aus dem Besitz des Deutschen Museums mit zahlreichen, für das 19. Jahrhundert typischen Porträtaufnahmen auf Albuminpapier.

tendes Problem, das sich durch Zusatz der lezithinreichen Eidotter verhindern oder zumindest verzögern ließ. Erst seit den 1920er Jahren wurde es dank der Synthese der ersten künstlichen Emulgatoren allmählich überflüssig, für technische Zwecke Eidotter als Emulgator zu verwenden, so dass sich deren Markt fortan auf die Lebens- und Arzneimittelproduktion beschränkte.

Bereits seit Mitte des 19. Jahrhunderts wurde ein Teil der bei der Ovalbuminfabrikation anfallenden Dotter an Bäckereien, Konditoreien sowie die damals entstehenden Teigwarenfabriken verkauft. Der Rest wurde durch Trocknung oder durch Zusatz von Kochsalz, Alaun, Bor-, Karbol- oder Salicylsäure haltbar gemacht und in Fässer gefüllt. Die sogenannten Fasseier waren zwar weniger gut als frisches Eigelb und für viele Zwecke sogar unbrauchbar, aber sehr preisgünstig. Obwohl Bor- und Karbolsäure giftig sind, wurden Fasseier, die mit diesen Chemikalien konserviert worden waren, bei der industriellen Herstellung von Margarine, Speiseeis, Backwaren, Keksen oder Eiernudeln gerne als emulgierende und zugleich fettliefernde Zutat verwendet.

#### Eidotter in der Weißgerberei

Fasseier wurden aber auch in der damals entstehenden Lederindustrie in erstaunlich großem Umfang eingesetzt. Die bereits in der Antike bekannte Alaun- oder Weißgerberei, bei der mineralische Gerbstoffe verwendet werden, ist eines von mehreren Gerbverfahren, um Tierhäute in Leder zu verwandeln. Die Weißgerber legten die Häute bestimmter Huftiere mehrere Wochen lang in eine wässrige Kochsalz- oder Alaunlösung, die sogenannte »Alaungare«. Dabei nahm das tierische Rohmaterial das basisch reagierende Aluminiumoxid auf und wurde zu einem besonders hellen Leder, dem Weißleder. Die Bindung des Aluminiums in einer weißgegerbten Tierhaut ist allerdings nicht stabil und wird schon durch Wasser wieder gelöst. Aus diesem Grund war weißge-



Blick in eine Weißgerberei,  
Anfang des 19. Jahrhunderts.

gerbtes Schafs- (Chevreau), Ziegen- (Kid) oder Kalbsleder (Glacé) sehr empfindlich und konnte nur zu Artikeln verarbeitet werden, die nicht regenfest sein mussten, etwa Beuteln, Buchdeckeln, Etuibezügen oder, besonders im Falle des Glacéleders, zu Handschuhen.

Seit dem 14. Jahrhundert setzten die Weißgerber der »Alaungare« Eigelb und Weizenmehl zu. Obwohl beide Ingredienzien keine Funktion beim eigentlichen Gerbprozess hatten, waren sie unverzichtbar: Das Weizenmehl gab dem Glacéleder seine typisch weiße Farbe und den gewünschten Griff, das im Dotter enthaltene Fett sowie das emulgierende Lezithin sorgten dafür, dass der mineralische Gerbstoff bis in die feinsten Fasern der Häute eindrang und sich das Leder nach dem Gerben weich und geschmeidig anfühlte. Das Eigelb war einer der teuersten Rohstoffe der Glacéleder-Fabrikation, besonders nachdem die Eierpreise in den 60er und 70er Jahren des 19. Jahrhunderts deutlich anzogen.

### Eikonserven aus China

Eier waren im 19. und frühen 20. Jahrhundert – nicht zuletzt wegen ihres massenhaften Gebrauchs in der Technik – in allen Industrieländern Mangelware. Das galt auch für

das Deutsche Reich, das – wie bei anderen Agrarprodukten auch – bezüglich seiner Eierversorgung nicht autark war. Lediglich die Landbevölkerung litt nicht unter Eiermangel. Für die ständig zunehmende städtische Bevölkerung waren Eier jedoch ein Luxusgut, das sich die meisten Bürger nur am Sonntag leisten konnten. Stimuliert durch die zunehmende industrielle Nutzung sowie den steigenden Privatkonsum stieg der Bedarf an Eiern in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts spürbar an. Da der Eierkonsum stärker als die heimische Produktion zunahm, musste dieses ernährungsphysiologisch und technisch wichtige Agrarprodukt in großem Umfang importiert werden.

Eines der wichtigsten Länder, aus denen das Deutsche Reich Eier einfuhrte, war vor dem Ersten Weltkrieg China. Im Durchschnitt besaß jeder Chinese ein Huhn, so dass auf etwa 474 Millionen Menschen 450 bis 475 Millionen Hennen kamen. Trotz des hohen Eigenkonsums produzierte China wesentlich mehr Eier als es selbst verbrauchte, so dass ein Teil exportiert werden konnte. Der Export sogenannter »Eikonserven« von China ins Deutsche Reich war um das Jahr 1850 von deutschen Kaufleuten initiiert worden. Über Zwischenhändler ließen sie im Umkreis von etwa 500 Kilometer tagtäglich Tausende von Eiern zu Spottpreisen aufkaufen und in den an Bahnlinien, Flüssen oder an der Küste errichteten Albuminfabriken zu Trockeneiweiß, Trockeneigelb und den flüssigen Fasseiern verarbeiten. Derartige Fabriken gab es zu Beginn des 20. Jahrhunderts in mehreren chinesischen Städten, beispielsweise in Hankow (das heutige Wuhan), Tsingtau oder Shanghai.

Die »Eierkonserven« wurden dann auf dem Seeweg nach Europa und in die USA transportiert, um dort den steigenden Bedarf an Ovalbumin und Eigelb zu befriedigen. Anfang des 20. Jahrhunderts bekamen die in China ansässigen deutschen Hersteller von Eikonserven zunehmend Konkurrenz durch britische und US-amerikanische Händler. Noch importierte das Deutsche Reich aber etwa die Hälfte aller in China produzierten Eikonserven.

Erst durch den Ausbruch des Ersten Weltkriegs erfuhr der deutsch-chinesische Handel mit Eikonserven signifikante Veränderungen: Infolge der britischen Blockade kamen ab Herbst 1914 nur noch vereinzelt Schiffe aus China in deutschen Häfen an, zudem wurden die deutschen Albuminfabri-

Reklame für das Ei-Ersatzmittel »Gluck-Gluck« von 1904. Da frische Hühnereier Mangelware waren, versuchte man, die Hausfrauen vom Vorteil minderwertiger Ersatzprodukte zu überzeugen.

ken in China 1917 beschlagnahmt. Die Versorgung des Deutschen Reichs mit Eiern und Eikonserven verschlechterte sich in der zweiten Kriegshälfte dramatisch. 1916 war die Eiernot so groß geworden, dass auch dieses Grundnahrungsmittel rationiert werden musste. Die deutsche Hausfrau war zunehmend auf die Nutzung dubioser Ei-Ersatzmittel angewiesen. Diese waren schon im späten 19. Jahrhundert auf den Markt gekommen, entwickelten sich aber erst während und wegen des Kriegs von einem Nischen- zu einem unverzichtbaren Alltagsprodukt. Meist handelte es sich bei diesen Präparaten um gelb gefärbte, mit Backtriebmitteln sowie pflanzlichem oder tierischem Eiweiß versetzte Stärke. Die Ei-Ersatzmittel wurden damals geradezu zum Symbol der miserablen Versorgungslage und der Defizite der deutschen Ersatzstoff-Wirtschaft. Obwohl sie nicht im Entferntesten den Nährwert echter Hühnereier besaßen, stellten sie zwei ihrer Eigenschaften zufriedenstellend nach: Sie lockerten einen Teig beim Backen auf und färbten ihn gelb.

### Transport in Kühlschiffen

Nach 1918 verlor der deutsche Import von Eikonserven aus China erheblich an Bedeutung. Im Bestreben, hinsichtlich der Versorgung mit lebensnotwendigen Agrarprodukten und Rohstoffen in Zukunft weniger krisenanfällig zu sein, importierte das Deutsche Reich den Großteil seines über die heimische Produktion hinausgehenden Eierbedarfs fortan aus Ost- und Südosteuropa, vor allem aus Polen und den Balkanländern. Zudem bemühte man sich, die heimische Eierproduktion zu steigern und die Qualität der deutschen Eier zu verbessern.

Der Handel mit Eikonserven aus China, der einen wichtigen Posten in Chinas Außenhandelsstatistik ausmachte, verlagerte seinen Schwerpunkt nach dem Ersten Weltkrieg endgültig nach Großbritannien und in die USA. Er erreichte dort in der Zwischenkriegszeit völlig neue Dimensionen, nicht zuletzt, weil nunmehr eine neue Technologie zur Herstellung der verschiedenen Ei-Produkte genutzt wurde: Statt diese, wie bislang, in getrockneter oder chemisch konservierter Form auf den Markt zu bringen, stellten die Briten und US-Amerikaner fortan tiefgefrorene Ei-Produkte her, die mit Kühlschiffen in die Industrieländer transportiert wurden. Da die Vorstellung, dass so leicht verderbliche Produkte wie Hüh-



**Prof. Dr. Elisabeth Vaupel** ist Chemiehistorikerin im Forschungsinstitut des Deutschen Museums.



**Florian Preiß** ist Bibliothekar in der Bibliothek des Deutschen Museums und dort u. a. zuständig für den Auskunftsdienst.

neriweiß oder -eigelb Tausende von Kilometern auf dem Seewege von China nach Europa transportiert wurden, viele Verbraucher verstört hätte, hängten die Importeure und Verarbeiter die Herkunft ihrer Ware nicht an die große Glocke. Folglich war den meisten europäischen und amerikanischen Konsumenten zu Beginn des 20. Jahrhunderts nicht bewusst, dass in industriell produzierten Nahrungsmitteln –Keks, Backwaren, Mohrenköpfen und Eiernudeln – häufig Eiweiß oder Eigelb aus China steckte.

Der Import von Eikonserven aus China zeigt exemplarisch, wie sehr der Handel – vorangetrieben durch die sich stürmisch entwickelnde Weltwirtschaft – schon im späten 19. Jahrhundert globalisiert war. Zu verdanken war dies maßgeblich den technischen Errungenschaften des 19. Jahrhunderts, vor allem der Entwicklung von Eisenbahn, Dampfschiffahrt und Telekommunikation. Der Import chinesischer Eikonserven zeigt aber auch, welche Rolle die chemische Industrie bei der Globalisierung der Weltwirtschaft spielte. Schließlich produzierte sie die Konservierungsmittel, die es vor dem Übergang zur Tiefkühlung ermöglichten, ein leicht verderbliches Agrarprodukt haltbar zu machen und auf dem Schiffswege um den halben Globus zu transportieren. ■■

# Konrad Zuse und das Bauhaus



*Das Jahr 2019 stand unter architekturgeschichtlichen Aspekten ganz im Zeichen des Bauhauses, das hundert Jahre zuvor in Weimar von Walter Gropius als Ort der Vereinigung von Kunst und Handwerk gegründet worden war. Alles scheint zum Bauhaus gesagt – fast alles! Eine spezielle Rezeption des Bauhauses findet sich in einem Brief des Computererfinders Konrad Zuse aus dem Jahr 1932. Von Wilhelm Füßl*

Konrad Zuse im Juni 1984 vor der ersten programmgesteuerten Rechenanlage »ZUSE Z3« im Deutschen Museum.

**D**er vor wenigen Jahren verstorbene Münchner Informatiker Friedrich Ludwig Bauer bezeichnete ihn als »Schöpfer der ersten vollautomatischen, programmgesteuerten und frei programmierbaren, in binärer Gleitpunktrechnung arbeitenden Rechenanlage«: Konrad Zuse (1910–1995). In seiner vielfach aufgelegten Autobiografie *Der Computer – mein Lebenswerk* hat sich Zuse selbst ein Denkmal gesetzt. Begriffe wie »Bauhaus«, »Walter Gropius«, »Weimar« oder »Dessau« kommen darin allerdings nicht vor. Dies überrascht, da sich Zuse zeitlebens mit Malerei und Kunst beschäftigt und nach dem Rückzug aus seiner Firma dem Malen gewidmet hat.

Gezeichnet hat Zuse schon als Schüler. Mit Bleistift und Wasserfarben karikierte er den Schulunterricht, porträtierte

sich selbst und hielt auch die industrielle Umwelt von Hoyerswerda mit ihrem Braunkohleabbau fest. Sein Talent wurde besonders von seinem Kunstlehrer am Reform-Realgymnasium in Hoyerswerda, Arthur Bracki (1892–1977), gefördert. Bracki fuhr 1927 mit seiner Klasse sogar zu der Internationalen Kunstausstellung nach Dresden, die zu den wichtigsten Schauen der Weimarer Republik zählt.

Zuse hat diesen Besuch auf einem Blatt festgehalten: Während die meisten Schüler gelangweilt sind oder herumtollen, steht am linken Bildrand direkt neben dem erklärenden Führer durch die Ausstellung der einzige offensichtlich interessierte Schüler, wohl Zuse selbst. In seinem Abiturzeugnis vom 12. März 1928 wird Zuses künstlerisches Talent eigens festgehalten: »Seine künstlerisch-ingenieurhafte Begabung

Konrad Zuse war schon während der Schulzeit ein begabter Zeichner. Das Bild »Bracki besucht mit der Prima die Dresdner Kunstausstellung« (1927), wird heute in der Staatlichen Graphischen Sammlung München unter der Inventarnummer 48861 Z aufbewahrt.



treibt ihn von jeher dazu, konstruktive und konstruktivistische Probleme zu durchdenken und zu gestalten.« Mit dem Zeichenlehrer Bracki blieb Zuse auch nach dem Abitur in Kontakt. Aus den Jahren 1930 bis 1932 haben sich im Nachlass Zuses, der im Archiv des Deutschen Museums verwahrt wird, mehrere Briefwechsel erhalten, die ein eindrucksvolles Bild des jungen Studenten zeichnen. Zuse war anfangs unentschlüssig, welches Fach er studieren sollte, da er gerne seine künstlerischen Neigungen mit seiner Affinität zur Technik verbunden hätte. Ein Studium in Maschinenbau gab er rasch wieder auf. »Ich glaubte damals«, so schreibt Zuse am 15. April 1930, »daß die Architektur eine gute Kombination aus Technik und Kunst wäre und sattelte um. Bald sah ich aber meinen schweren Irrtum ein. Der Architekt ist kein Techniker. Um ein paar Ziegelsteine aufeinanderzusetzen, dazu gehört keine Technik.« Schließlich entschloss er sich zu einem Bauingenieurstudium, das er 1935 mit dem Hauptdiplom erfolgreich beendete.

Zuses Polemik gegen die Architektenzunft, dass Ziegelsteine aufeinanderzuschichten keine besondere Kunst sei, führt hinein in das Hauptthema seines Briefs vom 3. Januar 1932 an Arthur Bracki (abgebildet auf Seite 59) Dieser zeigt, dass sich Zuse auch nach dem Abitur mit dem Zeichenlehrer über Kunstfragen austauschte. Anders als in der Schulzeit ist allerdings eine Distanzierung zu seinem Lehrer und dessen Kunstinteressen klar erkennbar, da Zuse einleitend eingesteht, dass sich seine Ansichten in den letzten Jahren »etwas gewandelt« hätten.

Im Fokus steht die Entwicklung des Bauhauses, das 1925 von Weimar nach Dessau umgezogen und seit 1928 erst von dem marxistisch orientierten Schweizer Architekten Hannes Meyer und nach dessen Entlassung 1930 von Ludwig Mies van der Rohe geleitet wurde. Möglicherweise spielten der Direktorenwechsel und die bauhauskritische Stadtpolitik in Dessau – seit 1931 hatte die NSDAP in der dortigen Stadtversammlung die Mehrheit – in dem nicht erhaltenen Brief Brackis an Zuse eine Rolle. Zuse antwortet heftig:

»Sie erzählen mir in Ihrem Briefe große Dinge vom Bauhaus. Ich selbst habe mich in den letzten Jahren herzlich wenig um das Bauhaus gekümmert, so daß ich nicht weiß, ob die Leute etwas können oder nicht. Das, was ich vom Bauhaus weiß, veranlasst mich nicht mehr dieselbe Begeis-

terung aufzubringen wie in meinen Schülerjahren, als es mir mehr darauf ankam die Welt auf den Kopf zu stellen, als sie vorwärtszubringen. Das meiste, was ich aus den Bauhausbüchern kenne, muß ich für verrückt erklären.«

Und weiter:

Ich habe den Eindruck, als ob beim Bauhaus der Schwerpunkt auf dem »Andersmachen« liegt anstatt auf dem »Arbeiten« und »Bessermachen«. Die Leute haben sich zwar vom Klotz der Tradition freigemacht, aber durch ihre starre Exzentrik, oder wie mans nennen will (Festhalten am Kubus usw.) haben sie sich mehr Fesseln auferlegt als vorher. Natürlich verkenne ich nicht die Verdienste, die darin bestehen, daß sie neue teils gute Formen geschaffen haben. Es scheint Ihnen [sic!] jedoch wenig darum zu tun zu sein, dieses Neue nun wieder weiterzuentwickeln. Man hat den Eindruck als kommt es den Leuten mehr auf ihren geheiligten Kubus an, als auf eine Weiterentwicklung der Architektur, so daß die Häuser besser statt anders werden.«

Bemerkenswert ist die Gegenüberstellung von »Arbeiten« und »Andersmachen«. Zuse sieht sich als angehender Bauingenieur in der Pflicht, Häuser nicht vom äußeren Gesamteindruck her zu planen, sondern von der Funktionalität der einzelnen Räume des Hauses. Eine Schule müsse auf die Bedürfnisse des Unterrichts hin konzipiert sein, ein Kino auf die Vorführung von Filmen für das Publikum. Für jeden einzelnen Raum müsse sich der Architekt den Kopf über dessen richtige Form zerbrechen, wobei ein rechteckiger Grundriss für die Zimmer nicht unbedingt Voraussetzung sei. Indem man dann die Räume geschickt und organisch aneinandersetze, entstehe ein »Baukörper von außerordentlicher Schönheit«. Auch zum ersten Direktor des Bauhauses Walter Gropius (1883–1969) äußert sich Zuse.

»Zu Gropius kann ich mir kein Urteil erlauben, denn ich kenne den Mann zu wenig. Ich habe nicht Gelegenheit mich genügend in seine architektonischen Arbeiten zu vertiefen,

#### Zum Weiterlesen

Wilhelm Fühl (Hrsg.),  
100 Jahre Konrad Zuse.  
Einblicke in den Nachlass,  
München 2010



Um 1931/32 betätigte sich Zuse auch als Werbegrafiker. Ein Beispiel für seine Arbeiten zeigt die Grafik »Familie in Ford« (o.J.), die in der Staatlichen Graphischen Sammlung München aufbewahrt wird (Inv.-Nr. 48869 Z.).

*um nachzuprüfen, ob er sich darin vertieft hat. Sein Karosserieentwurf für die Adlerwerke ist nicht der Beste auf dem Gebiet. Der gute Mann hat die vom Massivneubau schon sehr weit entwickelten und verfeinerten Formen durch die primitiven Architektenformen (Kreis, Gerade) ersetzt. Das ist glatter Rückschritt.«*

Interessant ist, dass Zuse den Bauhäusler Gropius nicht primär unter architekturästhetischen Gesichtspunkten kritisiert, sondern unter Designaspekten. Sein Seitenhieb gegen die Karosserieentwürfe von Gropius ist wohl aus seiner eigenen biografischen Entwicklung dieser Jahre zu erklären.

Zuse beschäftigte sich auch während seines Bauingenieurstudiums mit Malerei, wobei er für sich in Anspruch nahm, vollkommen selbstständig zu arbeiten. Aus diesem Grund besuchte er zwar Abendklassen im Aktzeichnen, jedoch, wie er schreibt, »ohne Korrektur«, da er sich von niemandem beeinflussen lassen wollte. Dem Lehrer Bracki schickte er einige Beispiele seines augenblicklichen Schaffens – Porträts des indischen Philosophen Tagore sowie ein Schwarz-Weiß-Bild seines Onkels.

Schwerpunkt seiner Arbeiten war jedoch um 1931/32 die Gebrauchsgrafik. Der Automobilkonzern Ford hatte

1926 am Westhafen in Berlin-Moabit ein Werk eröffnet, das Zuse während seines Studiums kennengelernt hatte. Gleichzeitig beschäftigte sich Zuse mit der Autobiografie des Firmengründers Henry Ford *Mein Leben und mein Werk*. Von dessen konstruktiven, sozialpolitischen und gesellschaftskritischen Ideen zeigte sich Zuse begeistert. Dieser Enthusiasmus für Ford und eigene künstlerische Neigungen führten dazu, dass sich Zuse als Werbegrafiker versuchte. In seinem künstlerischen Nachlass, der in den Staatlichen Graphischen Sammlungen München aufbewahrt wird, finden sich mehrere Blätter aus dieser Zeit. Eines davon zeigt ein umkonstruiertes Ford T-Modell mit dem typischen Kühler, den großen Scheinwerfern und den ausladenden Radkappen. Allerdings hat Zuse dem Auto ein neues Design gegeben. Das Modell ist als fünfsitziges Familienauto konzipiert, die Karosserie kompakter und das Dachsystem niedriger.

Mit seinen Fortschritten als Grafiker war Zuse offensichtlich zufrieden, wie ein Brief an einen anderen der Hoyerswerdaer Pädagogen, den Deutsch- und Religionslehrer William Meyer, ebenfalls aus dem Jahr 1932, zeigt:

*Da fange ich jetzt an, meine eigenen Wege zu gehen, indem*

In seinem Brief an den ehemaligen Zeichenlehrer Arthur Bracki äußerte Zuse heftige Kritik am Bauhaus.

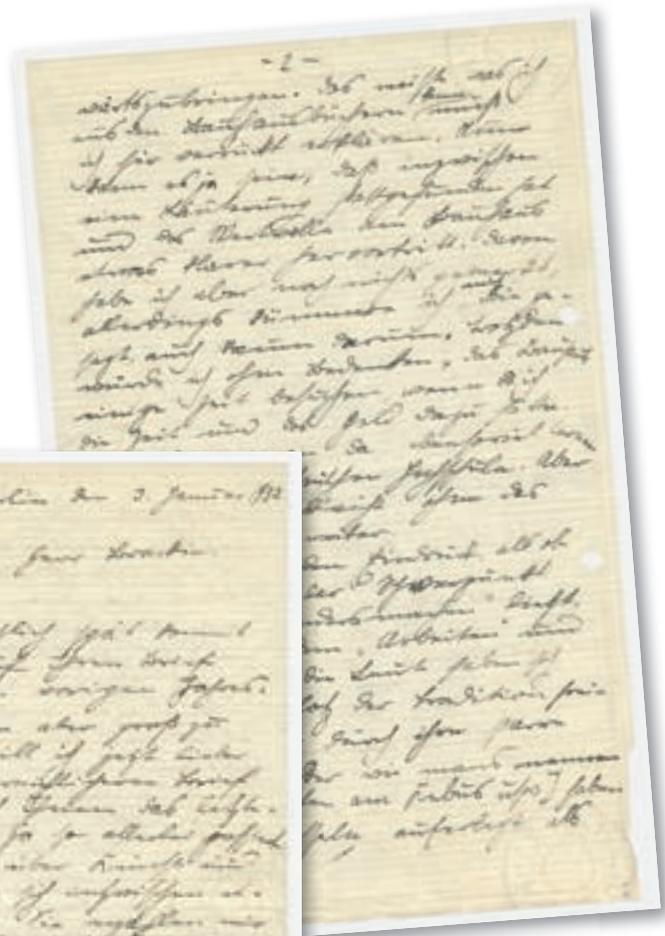
*[ich] auf die Sachlichkeit und Reklame Wert lege. Zu dem Zweck erforsche und rationalisiere ich das perspektivische Konstruieren von Autos. Das ist an sich eine wahnsinnige Arbeit. Ich bin aber dabei, es soweit zu vereinfachen und mich einzuarbeiten, dass es mir leicht von der Hand geht.»*

Im Vergleich zu seinen eigenen Entwürfen konnte das Automobildesign von Walter Gropius natürlich nicht bestehen. Gropius hatte für die Adlerwerke verschiedene Karosserien für Limousinen und Kabrioletts entworfen, die 1930 erstmals in Paris vorgestellt wurden. Zuse dürfte sie im Frühjahr 1931 anlässlich ihrer Präsentation auf der Internationalen Automobilmesse in Berlin kennengelernt haben. Damit identifizieren konnte er sich offensichtlich nicht.

Die fundamentale Kritik Zuses am Bauhaus kann aus unterschiedlichen Motiven erklärt werden. Zum einen wird aus verschiedenen Quellen deutlich, dass er sich in einer Orientierungsphase befand, in der er in Berlin nach dem adäquaten Studienfach suchte, einen neuen Freundeskreis um die studentische Verbindung »Akademischer Verein Motiv« aufbaute und zwischen seinen Neigungen Kunst und Technik schwankte. Zum anderen führten ihn die in der Reichshauptstadt diskutierten Themen aus Kunst, Film und Literatur zu neuen Überlegungen.

Zuse selbst schreibt in dem mehrfach zitierten Brief an Bracki, dass sich in seiner Einstellung zur Kunst eine durchgreifende Veränderung ergeben habe. Sie sei das Ergebnis seiner Beschäftigung mit dem Schriftsteller Rainer Maria Rilke (1875–1926) und dessen ein Jahr zuvor erschienenem Bändchen Briefe an einen jungen Dichter. Rilke habe in diesem Werk wie kein anderer das Los des richtigen Künstlers verstanden. Hier spielt Zuse auf die dort geäußerten grundsätzlichen Fragen und Probleme des Künstlertums an. »Dagegen ist das Bauhaus mit Ausnahme weniger Meister ein Kasten voll Phrase und Geschrei«, so die Konsequenz Zuses.

Inwieweit seine Kritik am Bauhaus auch politisch motiviert ist, lässt sich nicht sagen. Überliefert ist, dass sich Zuse in dieser Zeit intensiv mit dem Philosophen Oswald Spengler (1880–1936) und dessen Werk *Der Untergang des Abendlandes* beschäftigt hat. Zuse begeisterte die hier geäußerte Ansicht, dass Technik den prognostizierten Untergang aufhalten könne und zitierte auch in späteren Jahren ger-



DER AUTOR

#### Dr. Wilhelm Füßl

Der Historiker leitet seit 1992 das Archiv des Deutschen Museums. Er ist Autor der Biografie *Oskar von Miller* (2005) und veröffentlichte gemeinsam mit Helmut Trischler *Geschichte des Deutschen Museums. Akteure, Artefakte, Ausstellungen* (2003). Füßl ist (Mit-)Herausgeber verschiedener Publikationen, u. a. von *Wirklichkeit und Illusion. Dioramen im Deutschen Museum* (2017) und arbeitet mit Kollegen an einem Buch zu Konrad Zuse.

ne die Idee des »Faustischen«, die er auf sich als Künstler und später als Erfinder übertrug. Ob ihn auch die im Buch formulierten antidemokratischen Ideen, der Antisemitismus und die Glorifizierung des Preußentums beeinflussten, müsste genauer untersucht werden. Für sich zieht Zuse aus dem Buch die Konsequenz, dass der Mensch, auch der Künstler, nur durch permanentes Arbeiten vorankomme. Dieses »Arbeiten« ist für ihn der Gegenpol zu dem »Andersmachen« des Bauhauses.

Zuse scheint sich seiner heftigen Kritik bewusst gewesen zu sein, wohl auch darüber, dass er damit seinen ehemaligen Pädagogen irritieren würde. Dementsprechend schließt sein Brief mit dem Satz: »Hoffentlich habe ich Sie nicht enttäuscht, wenn ich das gute Bauhaus etwas runtergemacht habe.« ■■■



# Meister der Kunst – Meister der Schiffstechnik

Von Sabine Rojahn und Monika Czernin

Das 17. Jahrhundert wird als das Goldene Zeitalter der Niederlande bezeichnet, denn in dieser Zeit stiegen die Nordprovinzen des Burgunderreichs zur wirtschaftlichen, kulturellen und politischen Großmacht auf. Ihre Stärke lag im Seehandel, und um diesen zu dominieren, brauchten sie schnellere, in der Herstellung und im Unterhalt kostengünstigere Schiffe. Diese Schiffe wiederum wurden zu beliebten Motiven der niederländischen Kunst, deren Strahlkraft ganz Europa erfasste und uns heute in Staunen versetzt. »Meister der Kunst – Meister der Schiffstechnik« war deshalb nicht nur ein logisches, sondern ein geradezu exemplarisches Thema für unsere sich wachsende Beliebtheit erfreuende Veranstaltung »Kunst trifft Technik – Technik trifft Kunst«.

Der niederländische Maler Hendrik Cornelisz Vroom (1563–1640) gilt als Begründer der Marinemalerei. Sein Gemälde *Der Hafen von Amsterdam* kann in der Alten Pinakothek in München besichtigt werden. Der oben abgebildete Ausschnitt zeigt in der rechten Bildhälfte eine Fleute.

Gerade die Alte Pinakothek hat viele hervorragende Werke der niederländischen Marinemalerei, die uns Dr. Bernd Ebert, Kurator für holländische und deutsche Malerei des Barocks an den Bayerischen Staatsgemäldesammlungen, höchst lebendig vor Augen führte. So zum Beispiel erklärte er die Entwicklung des Genres anhand des 1630 von Hendrik Cornelisz Vroom geschaffenen Bildes *Der Seehafen von Amsterdam*. 60 Jahre später malte Ludolf Backhuysen dasselbe Sujet (das Bild hatte Dr. Ebert eigens aus dem Depot geholt) mit einer Fleute als Hauptmotiv, also jenem damals entwickelten Schiffstypus, der den wirtschaftlichen Aufstieg der Niederlande begründete.

In der Schiffstechnologie, so erklärte Dr. Sabine Rojahn, Vorsitzende des Freundeskreises Deutsches Muse-

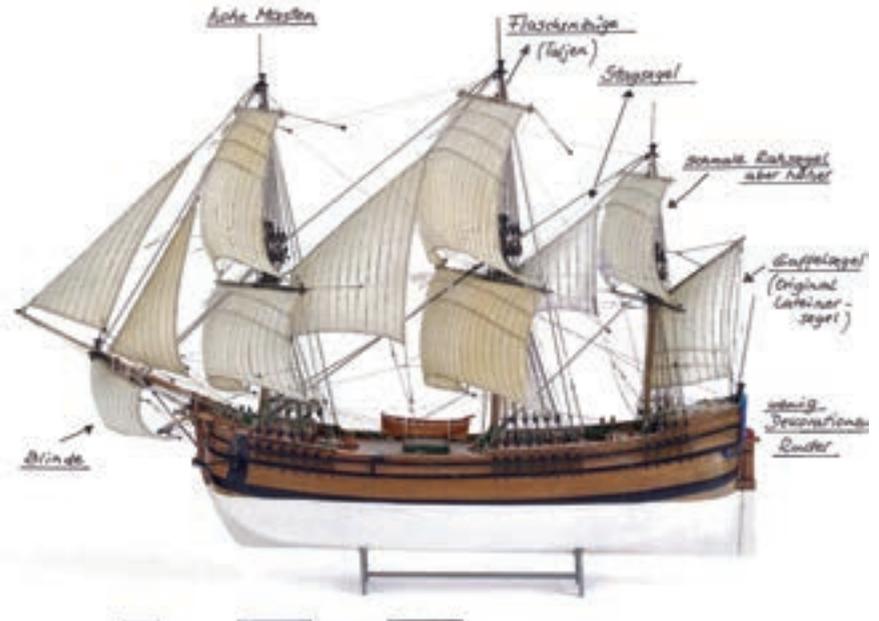
um, beschränkt die Niederländer völlig neue Wege. Ihre Entwicklung der Fleute (Fluit, Vliet oder Fluyt), die 1595 zum ersten Mal in Hoorn vom Stapel lief, sollte die Handelsschiffahrt für immer verändern. Der Ursprung des Namens Fleute ist unbekannt und seine Bedeutung umstritten. Er soll von »fluit – fließen« kommen oder von der Flöte, da das Heck mit der Öffnung für die Steuerpinne von der Seite wie ein Flötenkopf aussieht.

Die Fleute, die im Gegensatz zu den damals üblichen Stilmitteln keine Dekorationen aufwies, wurde ausschließlich aus pragmatischen Gründen mit einem runden Bootskörper gebaut. Denn dies ergab mehr Ladekapazität. Und um die Fleute auch mit einer kleinen Mannschaft segeln zu können, wurde die Takelage den Erfordernissen angepasst. Man wollte ein schnelles und kostengünstiges Schiff, das allen anderen Schiffen und damit allen Wettbewerbern überlegen war.

Doch alleine die Konstruktionsmerkmale der Fleute hätten für den kometenhaften Aufstieg der Niederländer nicht ausgereicht. Mitentscheidend war die Umsetzung mathematischer Erkenntnisse bei der Berechnung der Konstruktion des Schiffes, die eine Serienfertigung der Fleute ermöglichten. Dadurch beliefen sich die Baukosten einer Standardversion der Fleute auf etwa 800 Pfund gegenüber 1300 Pfund bei der englischen Konkurrenz.

Diese Kostenvorteile der Fleute hatten zur Folge, dass die Niederländer den Seetransport aller Güter erheblich günstiger anbieten und damit schließlich die anderen Wettbewerber aus dem Markt verdrängen konnten. Nördlich von Amsterdam entstand die damals größte Schiffsbauindustrie mit über 100 Werften und an die 10000 Arbeitern. Pro Jahr liefen 400 Schiffe vom Stapel, deren Bauzeit nur vier Monate betrug. Da die Niederlande selbst über keinerlei Ressourcen verfügten, waren sie auf die globale Vernetzung des Handels angewiesen. Tannen für die Masten kamen aus dem Schwarzwald, Eichen für den Bootskörper aus Skandinavien, Polen und Russland und aus den Eichenwäldern entlang des Rheins, Pech aus Skandinavien, Eisen und Kupfer aus Schweden, Flachs aus den Ostseeländern.

Die Schiffe wurden in der Folge nicht nur für den heimischen Markt gebaut, sondern auch an alle europäischen



Ende des 16. Jahrhunderts entwickelten die Niederländer die Fleute als neuen Typus eines Handelsschiffs. Die äußerst wirtschaftlichen Dreimaster setzten sich rasch durch und wurden zu einem der wichtigsten Exportartikel. In der Abteilung Schiffahrt des Deutschen Museums kann ein Modell des Dreimasters besichtigt werden.

Nationen verkauft, auch als Kriegsschiffe, ausgerüstet mit Kanonendecks. So entwickelte sich die Fleute zu einem der wichtigsten Exportgüter der Niederlande.

Sogar Zar Peter der Große arbeitete inkognito auf einer Werft in Holland, um sich klammheimlich das Wissen der besten Schiffsbauer seiner Zeit anzueignen. Sein Zeugnis, ausgestellt am 15. Januar 1698, befindet sich im russischen Staatsarchiv, und Albert Lortzing hat die Geschichte in seiner Oper *Zar und Zimmermann* für die Nachwelt festgehalten.

Die Fleute aber führte zum Goldenen Zeitalter der Niederlande, eine rund hundert Jahre andauernde wirtschaftliche und kulturelle Blütezeit, die in der Welt- und Kunstgeschichte wohl ohne Beispiel ist. ■■

## Werden Sie Mitglied im Freundes- und Förderkreis des Deutschen Museums!

### Jahresbeitrag:

- 500 Euro für persönliche Mitgliedschaften
- 250 Euro für Juniormitgliedschaften (bis 35 Jahre)
- 2500 Euro für Mitgliedschaften mittelständischer Unternehmen nach EU-Norm
- 5000 Euro für Mitgliedschaften großer Unternehmen

### Kontakt:

Freundes- und Förderkreis Deutsches Museum e.V. · Museumsinsel 1 · 80538 München

### Ihre Ansprechpartnerin:

Nicole Waldburger-Wickel

Tel. 089 / 28 74 84 21 • [info@ffk-deutsches-museum.de](mailto:info@ffk-deutsches-museum.de)

[www.ffk-deutsches-museum.de](http://www.ffk-deutsches-museum.de)

# Spannende Geschichte ganz nah



*Der Buchautor Paul Eschbach veranstaltet Führungen durch über 100 Jahre Luftfahrt- und Zeitgeschichte rund um den ältesten Flugplatz Bayerns.* Von Beatrix Dargel (Text und Bild)

Der Filmklassiker von 1965, *Die tollkühnen Männer mit ihren fliegenden Kisten*, hatte sie kurz aus der Vergessenheit zurückgeholt – Rieselfelder. Eine historische Kläranlagentechnik. Das Abwasser wurde einfach über eine große Fläche versprüht und sickerte dann, durch meterdicke Kies- und Sandschichten gereinigt, in Richtung Grundwasser. An der Oberfläche verbreiteten sich unappetitliche Gerüche, und für die Helden der Filmkomödie bot sich die Gelegenheit, dem Ballon-Schrotflintenduell eine besondere Note zu verpassen. Rieselfelder waren vor etwas mehr als hundert Jahren eine durchaus verbreitete Technologie, die Abwässer einer nicht an städtischer Kanalisation angeschlossenen Garnison zu klären.

Auch Schleißheim, der älteste bayerische Flugplatz, hatte seine Rieselfelder. Und genau vor so einer Anlage stehen wir gerade. Auf den ersten Blick schaut es nur nach ein paar vergessenen Rohren in einem kleinen Waldstück aus. Paul Eschbach, unser Führer bei der sonntäglichen Flugplatzwanderung, weist auf die Schicht zerkleinerten Tuffsteins

Wo sich früher Rieselfelder befanden, erstreckt sich heute ein Wäldchen. Nur die Rohrleitungen und die Rieselanlage verraten noch die damalige Verwendung. Auf dem großen Bild ist die ehemalige unterirdische Tankanlage auf dem Rollfeld zu sehen.

hin. Dieses feinporige Bodenmaterial, dem Filterinhalt einer Aquarienpumpe nicht unähnlich, diente damals der biologischen Reinigung der Abwässer. Die riesige, vierflügelige Rohrspinne wurde seinerzeit nur vom Wasserdruck angetrieben. Im März 1914 war die natürliche Kläranlage fertiggestellt. Sie erwies sich aber schon wenige Jahre später als zu klein für die schnell wachsende Flugplatzbesatzung und musste durch eine größere Anlage ersetzt werden.

## Kraftstoff aus dem Untergrund

Auch andere interessante Flugplatzdetails verstecken sich am Heideboden. Von der Bodentankanlage, einer technischen Innovation aus dem Anfang des vergangenen Jahrhunderts, sind nur noch Reste zu sehen. Damals entstanden immer größere Flugzeuge mit immer stärkeren Motoren. Das Heranschaffen des notwendigen Kraftstoffs in großen Fässern stellte die Tankmannschaft, vor allem bei schlechtem Wetter, vor ziemliche Herausforderungen. So entstand ein unterirdisches Rohrsystem, das später das



Tanklager mit den Betankungsanlagen an den Abstellplätzen der Flugzeuge verband. Mit der Flugplatzerweiterung in den dreißiger Jahren wurde die Betankungsanlage immer weiter perfektioniert. 1935 hatte sie bereits eine Kapazität von 500 000 Litern.

### Geschützte Schrecken

Paul Eschbach schildert zahlreiche Details in leuchtenden Farben. Kaum jemand kennt den Flugplatz so gut wie er. Seit vielen Jahren beschäftigt sich der Flugplatzexperte und Buchautor mit der Luftfahrt- und Regionalgeschichte dieses Platzes. Neben Artefakten, Bodenmerkmalen und tausend Anekdoten kommen auch Flora und Fauna nicht zu kurz. So ein großes geschütztes Freigelände ist natürlich auch Lebensraum von unzähligen Tier- und Pflanzenarten. Und so ist es fast schon nicht mehr verwunderlich, wenn unser Gespräch, das eben noch von Flugzeugen und Motoren handelte, sich plötzlich um die Lebensgewohnheiten von Wechselkröten oder blauflügeligen Ödlandschrecken dreht. Dabei handelt es sich übrigens um ein nur wenige Zentimeter großes, unscheinbares Insekt, welches mit ein wenig Glück auf den Magerrasenflächen des ehemaligen Flugplatzes beobachtet werden kann. ■■



Großes Bild oben: Die ehemaligen Absetzkammern der biologischen Kläranlage.

Kleines Bild unten: Abwasseranschluss an der alten Kläranlage.

Bild rechts im Kasten: Paul Eschbach mit einer Gruppe von Wanderern.



Wer sich für einen Mix aus Geschichte, Technik und Natur interessiert, ist bei den geführten Flugplatzwanderungen von Paul Eschbach genau richtig. Angst vor einem Sturz ins Rieselfeld muss keiner haben. Die Erinnerung an die tollkühnen Flugpioniere ist trotzdem ständig irgendwie mit dabei. Deren Urenkel schwingen sich derweil auf dem nahe gelegenen Sportflugplatz mit modernen Segelflugzeugen in die Luft.

Termine der nächsten geführten Wanderungen, 14 bis 16 Uhr:

So. 05. April	Wechselkröte am Flugplatz
So. 19. April	Nordrunde
So. 21. Juni	Garching Heide
So. 12. Juli	Natur und Flugplatz
Sa. 03. Oktober	Westrunde

Geeignet sind die Wanderungen für alle Neugierigen, auch Familien. Festes Schuhwerk wird empfohlen. Die Teilnahme ist kostenlos. [www.deltaimage.de](http://www.deltaimage.de)

# Hier spricht die Lok!

## Audioguide-Test im Verkehrszentrum

**K**ünftig kann man sich im Verkehrszentrum des Deutschen Museums per Audioguide durch Geschichte, Gegenwart und Zukunft der Mobilität leiten lassen. Im Moment läuft die Testphase: Besucher können sich die Geräte samt Kopfhörern kostenlos an der Kasse ausleihen. Die Hörstationen sind deutlich mit einem Kopfhörersymbol gekennzeichnet. Einfach die entsprechende Zahl eingeben, grüne Taste drücken und schon geht es los.

An insgesamt 68 Stationen kann man sich in den drei Hallen ganz allgemein über die Ausstellungsthemen informieren und ausgewählte Autos, Züge, Räder & Co. näher kennenlernen. »Mit dem Benz-Patentmotorwagen oder der Landwürden-Lokomotive haben wir auf der einen Seite die ganz besonderen Stücke mit Seltenheitswert ausgesucht«, sagt Bettina Gundler, die Leiterin des Verkehrszentrums, »und dazu mit der Münchner U-Bahn oder

Die Kopfhörersymbole auf der Tafel vor der Lok zeigen an: Über die »Landwürden« hört man Interessantes im Audioguide.



## Führungen für Mitglieder

### Als Mitglied des Deutschen Museums haben Sie viele Vorteile:

So können Sie zum Beispiel im Rahmen unserer Führungsreihe einmal im Monat einen exklusiven, nicht alltäglichen Blick auf unsere Ausstellungen werfen.

Die Führungen werden dienstags um 11 und 15 Uhr angeboten. Treffpunkt für die Führungen auf der Museumsinsel ist in der Eingangshalle des Deutschen Museums (Museumsinsel).

- |                  |   |
|------------------|---|
| <b>21. April</b> | <b>Edel und stark: Metalle, ihre Herstellung und Bearbeitung</b>      |
| <b>19. Mai</b>   | <b>Reise in die Tiefen des Universums: Die Astronomie-Ausstellung</b> |
| <b>16. Juni</b>  | <b>Aus dem Kopf in die Welt – Große Erfindungen</b>                   |

#### ■ Anmeldung Deutsches Museum München:

spätestens 14 Tage im Voraus unter Angabe der Mitgliedsnummer per E-Mail: [besucherservice@deutsches-museum.de](mailto:besucherservice@deutsches-museum.de) oder telefonisch: 089 2179-333 Mo - Fr von 9 - 15 Uhr

#### ■ Anmeldung Deutsches Museum Bonn:

spätestens 14 Tage im Voraus unter Angabe der Mitgliedsnummer per E-Mail: [info@deutsches-museum-bonn.de](mailto:info@deutsches-museum-bonn.de) oder telefonisch: 0228/302-256 Di - Fr von 14 - 17 Uhr

#### Unsere Führungen sind sehr beliebt.

Wir empfehlen Ihnen, sich möglichst frühzeitig anzumelden. Bitte beachten Sie auch die Anfangszeiten der Führungen in München. Bitte den Mitgliedsausweis mitbringen.

dem VW-Käfer-Taxi die Fahrzeuge, die beispielhaft für bestimmte Entwicklungen in der Verkehrsgeschichte stehen.«

Die einzelnen Beiträge haben jeweils eine Länge von etwa zwei Minuten. Zusätzlich gibt es 19 Vertiefungsebenen, die nach dem Abspielen der Texte angeboten werden: »Hier hört man zum Beispiel die aufregende Geschichte des Protos-Wettrennens oder die Story von der Entschädigungsklage des Arthur Junghans, der 1895 seinen Daimler Riemenwagen beschädigte, als er in ein Loch auf der Straße fuhr«, erläutert Bettina Gundler.

Für Kinder gibt es eine eigene Hörspur, die mit roten Kopfhörersymbolen gekennzeichnet ist: »Die Geschichten sind hier nur etwa eineinhalb Minuten lang, und die Autos, Loks, Lkw oder Fahrräder sprechen selbst«, so Gundler. Die Stationen für Erwachsene erkennt man an den schwarzen Kopfhörersymbolen neben dem jeweiligen Ausstellungsstück. »Einfach die darin abgebildete Zahl in den Guide eingeben, grüne Taste drücken und loshören!«

Zum Stichwort »Zahl« hat die Leiterin des Verkehrszentrums noch eine erfreuliche Meldung: »Wir hatten 2019 fast 137000 Besucher hier auf der Theresienhöhe – das ist ein neuer Rekord!« Damit das Haus weiterhin so attraktiv bleibt, arbeitet man stets daran, den Service zu verbessern.

Wer den neuen Audioguide ausprobieren möchte, kann sich das Gerät einfach an der Kasse des Verkehrszentrums ausleihen. Auf Wunsch gibt es Kopfhörer dazu. Während der Testphase bis Mitte April ist der neue Service kostenlos. Dafür wartet auf die Tester nach dem Rundgang bei Rückgabe der Geräte noch ein kurzer Fragebogen. Der soll helfen, den Audioguide optimal einzurichten, bevor er ab Sommer gegen eine kleine Gebühr ausgegeben wird.



Der geplante Bereich  
»Arbeit und Alltag«.

Marion Grether leitet seit  
März das Deutsche  
Museum in Nürnberg.

## In Nürnberg zu Hause

Im November 2019 hat das Deutsche Museum das Gebäude am Augustinerhof in Nürnberg bezogen. Geleitet wird das Haus von Marion Grether, die in Nürnberg keine Unbekannte ist, denn sie hatte bisher schon die Leitung des Nürnberger Museums für Kommunikation inne.

Die 46-jährige gebürtige Kielerin war seit 2013 Direktorin des Museums für Kommunikation in Nürnberg und davor zuständig für die Sonderausstellungen des Museums für Kommunikation in Berlin. Sie hat Kunstgeschichte studiert, freut sich jetzt aber sehr auf die technologische und wissenschaftliche Zukunft: »Im Deutschen Museum Nürnberg zu arbeiten, das sich mit der Zukunft unserer Gesellschaft auseinandersetzt und diese Zukunft auch mit den Besuchern diskutieren wird, ist ein Traum für mich. Ich bekomme jetzt die Gelegenheit dazu, bei der Entstehung eines neuen Museums dabei zu sein und den Start mitzusteuern.«

Bis zur Eröffnung des Museums wartet noch viel Arbeit auf Grether: Die Bauarbeiten sind zwar im Wesentlichen abgeschlossen, Mitte des Jahres beginnt der »raumbildende Innenausbau«. Ab September ziehen dann auch die Ausstellungsstücke in das neue Haus ein, große Exponate kommen schon früher. Besonders stolz ist Gundelwein auf ein richtig großes Stück, die tonnenschwere russische Raumkapsel »Foton«, die tatsächlich im Weltraum war und jetzt im Zukunftsmuseum an der Pegnitz ausgestellt wird.

Bevor sich die Nürnberger und Touristen das Museum von innen anschauen können, wird es allerdings noch ein Weilchen dauern. Ende 2020 ist Eröffnung geplant.

## DEUTSCHES MUSEUM BONN

### ■ Sonderausstellung

**bis 7. Juni**

»Gameskultur in Deutschland – Meilensteine«

Gast-Spiel aus dem Computerspielmuseum in Berlin

Die interaktive Wanderausstellung aus dem Computerspielmuseum zeigt Meilensteine aus nahezu vier Jahrzehnten und macht die Entwicklung der digitalen Spielkultur erlebbar.

### ■ Vorträge/Veranstaltungen

**18. April, 15.30 Uhr**

SternenHimmel Live

»Pauls portables Planetarium«, Familien-Ausgabe, der Eintritt ist frei

**28. und 29. Mai**

12. Bonner Wissenschaftsnacht und Wissenschaftszelt

Programm des Deutschen Museums Bonn im Wissenschaftszelt, der Eintritt ist frei

**6. bis 7. Juni**

Museumsmeilenfest 2020 – Familienprogramm im Deutschen Museum Bonn rund um die Ausstellung »Gameskultur in Deutschland – Meilensteine«, der Eintritt ist frei

**17. Juni, 19 Uhr**

SternenHimmel Live »Pauls portables Planetarium«, Familien-Ausgabe, der Eintritt ist frei!

**18. Juni, 14 Uhr**

Zertifikatsübergabe Laborführerschein ExperimentierKüche

### ■ Turnus-Führungen

**samstags, jeweils 15 Uhr, sonn- und feiertags, jeweils 12 Uhr und 15 Uhr:**

»Exponate à la carte«, ErlebnisFührung zu ausgewählten Exponaten der Dauerausstellung »Forschung und Technik in Deutschland nach 1945« und/oder zur aktuellen Sonderausstellung, Kosten: 3,- Euro pro Teilnehmer zzgl. Museumseintritt

**Exklusive kostenlose Führungen für Mitglieder des Deutschen Museums, jeweils 11 Uhr**

**21.04.** Fenster ins All – Kosmologie und Raumfahrt

**19.05.** ... und es bewegt sich doch! Technik der Verkehrsmittel

**16.06.** Forscherleben im Zenith: Nobelpreisträger bis 1945

### ■ Kinder- und Jugendprogramme

**samstags, jeweils um 14 Uhr, sonn- und feiertags, jeweils um 11 Uhr**

**bis einschließlich 01. 06.** Familienworkshop zur Ausstellung »Gameskultur in Deutschland – Meilensteine« »PixelSpaß – Die digitale Spielezeitreise für die ganze Familie« geeignet für Kinder ab 4 Jahren gemeinsam mit ihren begleitenden Erwachsenen; keine Anmeldung erforderlich und möglich, Kosten: 3,- Euro pro Teilnehmer zzgl. Museumseintritt

**dienstags und donnerstags in den NRW-Schulferien, jeweils von 14 bis 16 Uhr**

FerienÜberraschung: »Wir bauen eine Stadt«, (gültig für NRW-Oster- und Pfingstferien), offenes Angebot, Kosten: Museumseintritt

**sonn- und feiertags, jeweils von 13 bis 16 Uhr**

TüftelTag: Experimentieren, Knobeln und Entdecken für die ganze Familie, offenes Angebot, Kosten: Museumseintritt

**21.04., 19.05., 16.06. jeweils 14 Uhr**

Open Roberta Coding Hub: Coden, Basteln und Entdecken

geeignet für Kinder ab 8 Jahren, offenes Angebot, Kostenlos inkl. Museumseintritt



Als virtuelles Kücken, das regelmäßig gefüttert werden musste, faszinierte das »Tamagotchi« kleine und große Kinder in den 1990er Jahren. Erfunden wurde das Elektronikspielzeug in Japan.

### Die Geschichte der künstlichen Intelligenz

Das smarte Zuhause oder das autonom fahrende Auto wären ohne künstliche Intelligenz nicht denkbar. Anfangs ein wenig verständliches Randgebiet einiger Computerfreaks, hat sich »KI« mittlerweile in unser aller Leben eingemischt. Algorithmen erleichtern unser Leben, aber sie bedrohen es auch. Denn noch entziehen sich KI-Systeme weitgehend jeder demokratischen Kontrolle. Ein großes Problem dabei ist, dass nach wie vor noch nicht einmal an den Schulen ausreichend Kenntnisse über Geschichte, Entwicklung

und Probleme der KI gelehrt werden. Unter Laien herrscht weitgehend Unkenntnis über die Möglichkeiten, Chancen und Gefahren – ein Faktum, das Tür und Tor für Spekulationen, Verschwörungstheorien, aber auch Verharmlosung öffnet.

Im Forschungsinstitut des Deutschen Museums werden in den kommenden drei Jahren Wissenschaftler zur Geschichte der künstlichen Intelligenz forschen. Als Leserin und Leser von *Kultur & Technik* sind Sie von Anfang an mit dabei: Unsere Autorinnen und Autoren berichten über die Anfänge der KI-Forschung, über die Schwierigkeiten, Computern das Sprechen beizubringen, oder über erste KI-Erfolge wie den Schachroboter Deep Blue oder das Tamagotchi. Ein besonderes Highlight ist ein Interview mit Professor Wolfgang Bibel, einem der ersten Wissenschaftler, die sich mit dem Thema künstliche Intelligenz beschäftigt haben – und dafür anfangs von den Kollegen noch verspottet wurden. Freuen Sie sich auf ein spannendes Heft!

Mit freundlichen Grüßen  
Sabrina Landes

## Impressum

### Das Magazin aus dem Deutschen Museum

44. Jahrgang

**Herausgeber:** Deutsches Museum München  
Prof. Dr. Wolfgang M. Heckl  
Museumsinsel 1, 80538 München  
Postfach 80306 München  
Telefon (089) 21 79-1  
www.deutsches-museum.de

**Gesamtleitung:** Dr. Kathrin Mönch (Deutsches Museum),  
Dr. Stefan Bollmann (Verlag C.H.Beck, verantw.)

**Wissenschaftliche Beratung:** Dr. Konrad Schönleber

**Redaktionsleitung:** Sabrina Landes | publishNET, Hofer  
Straße 1, 81737 München, redaktion@publishnet.org; Grafik:  
Birgit Schwintek; Korrektorat: Andrea Bistrich

**Verlag:** Verlag C.H.Beck oHG, Wilhelmstraße 9, 80801 München;  
Postfach 400340, 80703 München, Telefon (089) 381 89-0,  
Telefax (089) 381 89-398, www.chbeck.de

**Redaktioneller Beirat:** Dr. Frank Dittmann (Kurator  
Energietechnik, Starkstromtechnik, Automation), Gerrit  
Faust (Leiter Presse- und Öffentlichkeitsarbeit), Melanie  
Jahreis, Dr. Kathrin Mönch (Verlagsleitung), Dr. Christian  
Sicka (Kurator Astronomie, Planetarium, Atomphysik, Zeit-  
messung), Prof. Dr. Elisabeth Vaupel (Forschungsinstitut)

**Herstellung:** Bettina Seng, Verlag C.H.Beck oHG

**Anzeigen:** Bertram Mehling (verantw.), Verlag C.H.Beck  
oHG, Anzeigenabteilung, Wilhelmstr. 9, 80801 München;  
Postfach 400340, 80703 München; Disposition, Herstellung,  
Anzeigen, technische Daten: Telefon (089) 381 89-604, Tele-  
fax (089) 381 89-589. Zurzeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 36.

**Repro:** Rehrbrand Medienservice GmbH, Hauptstraße 1,  
82008 Unterhaching

**Druck, Bindung und Versand:** Holzmann Druck GmbH &  
Co. KG, Gewerbestraße 2, 86825 Bad Wörishofen

**Bezugspreis 2020:** Jährlich 29,- Euro  
Einzelheft 8,90 Euro, jeweils zuzüglich Versandkosten

**Weitere Informationen:** Deutsches Museum, Mitglie-  
derservice, Museumsinsel 1, 80538 München, Telefon  
(089) 21 79-310, mitgliederinfo@deutsches-museum.de,  
www.deutsches-museum.de/mitgliederservice

**Für Mitglieder der Georg-Agricola-Gesellschaft** zur För-  
derung der Geschichte der Naturwissenschaften und der  
Technik e.V. ist der Preis für den Bezug der Zeitschrift im  
Mitgliedsbeitrag enthalten. Weitere Informationen: Georg-  
Agricola-Gesellschaft, Institut für Wissenschafts- und Tech-  
nikgeschichte, TU Bergakademie Freiberg, 09596 Freiberg,  
Telefon (03731) 39 34 06

**Bestellungen von Kultur & Technik** über jede Buchhand-  
lung und beim Verlag. Abbestellungen mindestens sechs  
Wochen vor Jahresende beim Verlag.

**Abo-Service:** Telefon (089) 381 89-679

\*\*\*\*\*

Die Zeitschrift erscheint vierteljährlich. Sie und alle in  
ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urhe-  
berrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der  
engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes bedarf der  
Zustimmung des Verlags. Der Verlag haftet nicht für un-  
verlangt eingesandte Beiträge und Bilddokumente. Die  
Redaktion behält sich vor, eingereichte Manuskripte zu  
prüfen und ggf. abzulehnen. Ein Recht auf Abdruck be-  
steht nicht. Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben  
nicht die Meinung der Redaktion wieder.  
ISSN 0344-5690



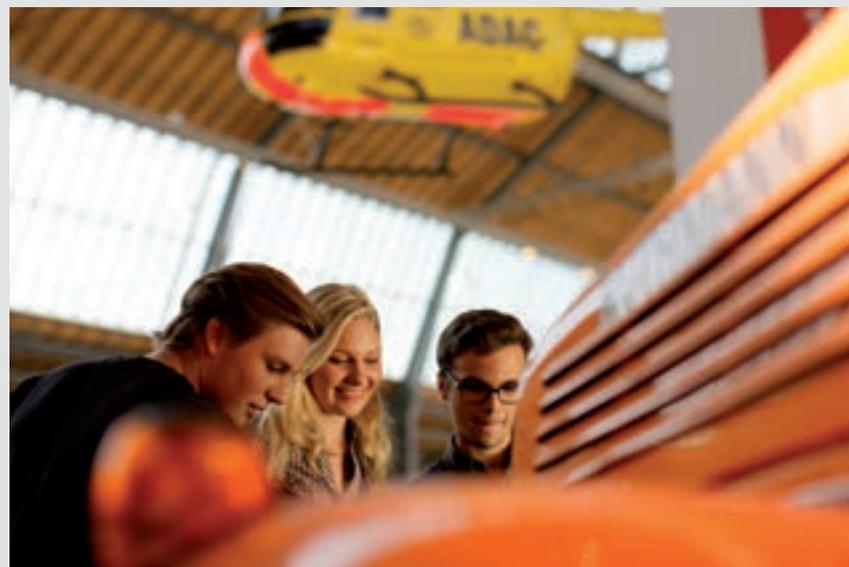
klimaneutral produziert  
www.chbeck.de/nachhaltig



# Werden Sie Mitglied!

Nutzen Sie die vielen Vorteile,  
die Ihnen eine Mitgliedschaft bietet.

Das Anmeldeformular sowie weitere Informationen erhalten Sie unter  
[www.deutsches-museum.de/information/mitglied-werden](http://www.deutsches-museum.de/information/mitglied-werden)  
oder bei Ihrer Mitgliederbetreuung: Tel. 089 / 2179-310



Deutsches Museum





Daguerreotype Lens with Construction Features of Susse Frères, c. 1839  
Schätzpreis: € 4.000 – 7.000



»Una«, Sinclair, London, mit Zubehör und Original-Koffer, um 1910  
Schätzpreis: € 1.100 – 1.300



Kalotypie von Henry Fox Talbot, Abbildung von Lackock Abbey, Wiltshire, um 1835  
Schätzpreis: € 2.200 – 4.000



»Tailboard« Stereo-Naßplatten-Kamera mit verschiebbarem Objektivbrett von George Hare, um 1864  
Schätzpreis: € 900 – 1.500



Camera No. 1, C.P. Stirn, Berlin, mit seltener Aufbewahrungsbox, um 1886  
Schätzpreis: € 500 – 800



»The Dart Marking Machine«, 1890  
Schätzpreis: € 5.000 – 7.000

154. Spezial-Auktion

## »Büro-Antik«

Die Tom-Russo-Sammlung – Teil II & weitere

155. Spezial-Auktion

## »Photographica & Film«

4. April 2020



Naßplatten-Schiebekasten-Kamera aus dem Besitz von Antoine-Julien Alizard (1827 – 1912)  
Schätzpreis: € 2.000 – 4.000



Schreibmaschine »Toshiba Modell 1400H«, 1954  
Schätzpreis: € 600 – 900

Naßplatten-Schiebekasten-Kamera mit Optik von Lerebours et Secretan, um 1855  
Schätzpreis: € 2.000 – 3.000



»Sholes & Glidden«, 1873  
Exzellenter Original-Zustand. Serien-Nr. A-901  
Schätzpreis: € 15.000 – 25.000



»Cash Typograph« Schreibmaschine, 1888  
Schätzpreis: € 15.000 – 25.000



»The Fitch Type Writer«, 1891  
Schätzpreis: € 10.000 – 15.000



»Edison Mimeograph Typewriter No. 1«, 1894  
Schätzpreis: € 5.000 – 8.000

...und vieles mehr!

Weitere Informationen unter [www.Breker.com](http://www.Breker.com) / [New Highlights](http://New Highlights) und [youtube.com/auctionteambreker](http://youtube.com/auctionteambreker)

Voll-illustrierter 2-sprachiger (deutsch/englisch) FARB-Katalog: € 28,- • Lieferung nur gegen Vorkasse (Scheck, Bar oder Kreditkarten mit Sicherheitsnummer „CVV“ und Verfalldatum: Mastercard / Visa / AmEx)

Einlieferungen jederzeit nach Vereinbarung!

# AUCTION TEAM BREKER

Die Spezialisten für »Technische Antiquitäten«

Postfach 50 11 19, 50971 Köln \* Tel.: +49-2236-38 43 40 \* Fax: +49-2236-38 43 430  
Otto-Hahn-Str. 10, 50997 Köln (Godorf) \* e-mail: [Auction@Breker.com](mailto:Auction@Breker.com) \* Geschäftszeiten: Di – Fr 9 – 17 Uhr

UNSERE INTERNATIONALEN REPRÄSENTANTEN

U.S.A.: Andrew Truman, Tel. (207) 485 8343 \* [AndrewAuctionTeamBreker@gmail.com](mailto:AndrewAuctionTeamBreker@gmail.com)

Australien & Neuseeland: P. Bardenheier, (NZ), Tel./Fax (+64) (0)9 817 72 68 \* [dbarden@orcon.net.nz](mailto:dbarden@orcon.net.nz)

Japan: Murakami Taizou, Tel./Fax (06) 68 45 86 28 \* [murakami@ops.dti.ne.jp](mailto:murakami@ops.dti.ne.jp) • China: Jiang Feng, Tel. 138 620 620 75 \* [jiangfengde@gmail.com](mailto:jiangfengde@gmail.com)

Hongkong, Taiwan, Singapur: Alex Shih-Chieh Lin, (HK), Tel. (+852) 94 90 41 13 \* [alexclin@gmail.com](mailto:alexclin@gmail.com)

England: Tel. (0)777 963 7317 \* [AuctionTeamBrekerUK@outlook.de](mailto:AuctionTeamBrekerUK@outlook.de) • Frankreich: Pierre J. Bickart, Tel. (01) 43 33 86 71 \* [AuctionTeamKoln@aol.com](mailto:AuctionTeamKoln@aol.com)

Russland: Maksim Suravegin, Tel. +7 903 558 02 50 \* [Maksim-ATB.ru@gmx.net](mailto:Maksim-ATB.ru@gmx.net)



Registrierkassette »National Modell 35«, um 1895  
Schätzpreis: € 2.000 – 3.500