



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

SPEKTRUM

Das Wissenschaftsmagazin der Universität Bayreuth ■ 13. Jahrgang ■ Ausgabe 2 ■ November 2017

THEMA

Nachhaltigkeit

UNIVERSITÄT & SCHULE

Die nachhaltige Universität

SEITEN 6-9

POLITIK & WIRTSCHAFT

Kooperationsökonomie

SEITEN 34-37

NEUE MATERIALIEN

Zukunftstechnologie Leichtbau

SEITEN 54-57

Liebe Leserinnen und Leser,



■ Prof. Dr. Stefan Leible, Präsident der Universität Bayreuth.

Der Begriff der „Nachhaltigkeit“ ist aus öffentlichen Debatten über zentrale Zukunftsthemen nicht mehr wegzudenken. So verschieden er auch interpretiert wird, im Kern geht es immer um die Frage: Wie sollen Entscheidungen, die das Leben nachfolgender Generationen erheblich beeinflussen, deren Interessen berücksichtigen und wahren? Universitäten und Forschungseinrichtungen sind gerade heute aufgefordert, mit eigenen Ideen und Konzepten an verantwortungsbewussten Lösungsvorschlägen mitzuwirken. Elfenbeintürme waren schon immer eine Ressourcenvergeudung, sie bieten gewiss keine Aussicht auf Nachhaltigkeit. Nur wenn die Wissenschaft sich verstärkt in Debatten über Zukunftsthemen einbringt und öffentlich sichtbar bleibt, wird sie den Wert ihrer rational begründeten Verfahren und Erkenntnisse gegenüber ideologisch motivierten Politikansätzen behaupten können.

Die Beiträge unserer neuen SPEKTRUM-Ausgabe geben Ihnen einen Eindruck davon, wie sich unsere Universität mit wirtschaftlichen, ökologischen, sozialen, politischen und technologischen Aspekten von Nachhaltigkeit auseinandersetzt. Sie lassen zugleich

erkennen, welche Potenziale für innovative Lösungen aus der Vernetzung und Zusammenarbeit der wissenschaftlichen Disziplinen auf unserem Campus hervorgehen.

Seit mehr als 40 Jahren prägt ein lebendiger, offener und undogmatischer Austausch das Universitätsleben in Bayreuth. Er ist die beste Voraussetzung für wissenschaftliche und praktische Impulse, die tatsächlich zum Erhalt der Lebensgrundlagen künftiger Generationen beitragen. Wir wollen insbesondere unsere Studierenden ermutigen, Nachhaltigkeit nicht als Inbegriff von Einschränkungen heutiger individueller Freiheit, sondern vielmehr als Chance zu begreifen, sich mit eigenen Ideen an der Gestaltung von Zukunft zu beteiligen. Diesen „Spirit of Sustainability“ zu wecken und zu fördern, sehen wir als wesentliche Aufgabe unserer Universität.

Viel Freude bei der Lektüre wünscht Ihnen

Ihr

Prof. Dr. Stefan Leible
Präsident der Universität Bayreuth

Weitere SPEKTRUM-Ausgaben

Auf der Homepage der Universität Bayreuth finden Sie unter anderem auch die vorigen SPEKTRUM-Ausgaben zu den folgenden Themen:

- 1/2017: Governance
- 2/2016: Molekulare Biowissenschaften
- 1/2016: Innovationen
- 2/2015: Digitalisierung
- 1/2015: Kulturbeggnungen und transkulturelle Prozesse
- 2/2014: Energie
- 1/2014: Recht und Moral
- 1/2013: Lebensmittel- und Gesundheitswissenschaften

• www.uni-bayreuth.de/de/universitaet/presse/spektrum

Es gibt wohl nur wenige Entscheidungen in der jüngeren Bayreuther Geschichte, die so nachhaltige Wirkung zeigen wie die Gründung der Universität. Seit über 40 Jahren wirken wir in die Stadt und in die Region hinein, sind Arbeitgeber, Wissensvermittler, Anziehungspunkt für Studierende und Forschende. Weit mehr als die Hälfte unserer Studierenden kommt nicht aus der Region, jeder Zehnte sogar aus dem Ausland. Internationale Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entscheiden sich für die Universität Bayreuth als Arbeitsumfeld und damit häufig auch für Oberfranken als Lebensmittelpunkt.

Unsere Third Mission verstehen wir daher als breit angelegten Austausch von Wissen zwischen der Universität und unserer Umgebung: Gesellschaft, Wirtschaft, Kultur und Politik. Nur in Kooperation und im Dialog mit externen Partnern, die wir als Impuls- und Ideengeber für die eigene Arbeit wahrnehmen, können exzellente Forschung und Lehre ihre Wirkung zum Wohle von Wirtschaft und Gemeinwesen entfalten. Innovationen voranzutreiben, muss das gemeinsame Ziel sein. Dafür wollen wir eine hochwertige Transferkultur entwickeln und sie als Teil der

global vernetzten Wissenschaften, in enger Verzahnung mit Lehre und Forschung, weiter ausbauen.

Unsere Stadtgespräche, die Kinderuni und das Schülerforschungszentrum sind gute Beispiele, wie wir im eigenen Umfeld einen lebendigen Dialog auch zum Thema Nachhaltigkeit anstoßen. Auf dem Campus gibt es Stromtankstellen für Elektroautos und Standplätze für Carsharing, weitere Initiativen werden folgen. Wir wollen ein Vorreiter der Nachhaltigkeit sein. Hierfür vernetzt sich die Universität Bayreuth mit Partnern in der Wirtschaft, der Stadt Bayreuth und der Region, mit anderen Hochschulen und Universitäten sowie mit verschiedenen Initiativen. Als Leserinnen und Leser dieser SPEKTRUM-Ausgabe sind Sie eingeladen, daran mitzuwirken!

Mit den besten Grüßen,

Ihr



Prof. Dr. Torsten Eymann
Vizepräsident der Universität Bayreuth
für den Bereich Informationstechnologie
und Entrepreneurship



■ Prof. Dr. Torsten Eymann
ist Inhaber des Lehrstuhls für
Wirtschaftsinformatik an der
Universität Bayreuth.

IMPRESSUM

SPEKTRUM-Magazin der Universität Bayreuth

Auflage:

1.500 Stück

Herausgeber:

Universität Bayreuth
Stabsabteilung Presse, Marketing
und Kommunikation (PMK)
95440 Bayreuth
Telefon (09 21) 55 - 53 56 / - 53 24
Telefax (09 21) 55 - 53 25
pressestelle@uni-bayreuth.de

Redaktionsleitung:

Christian Wißler (V.i.S.d.P.)

Druck:

bonitasprint gmbh, Würzburg

Satz und Layout:

GAUBE media agentur, Bayreuth
www.gaube-media.de

Bildquellen-Kennzeichnung:

sst: www.shutterstock.com
pxb: www.pixabay.com



■ Christian Wißler M.A.,
Fachwirt Public Relations (BAW),
Stabsabteilung PMK
der Universität Bayreuth,
Wissenschaftskommunikation.

Alle Beiträge sind bei Quellenangaben und Belegexemplaren frei zur Veröffentlichung.

■ Titelseite: Künstlerische Darstellung einer Brücke aus der Fotoserie „The night of modern bridge“ von Jiangxi Nanchang (sst).

■ Abb. links: Energie-Recycling auf dem Bayreuther Campus: Ein High-Performance-Cluster, der bei seiner Inbetriebnahme 2013 zu den 500 größten und leistungsstärksten Rechnern der Welt gehörte, produziert so viel Abwärme, dass dadurch der Wärmebedarf eines ganzen Forschungsgebäudes gedeckt wird (Fotos: Cluster: Raimund Matros / Gebäude NW III: Universität Bayreuth).

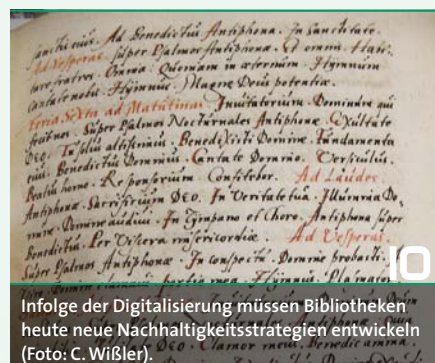
Nachhaltigkeit

Universität & Schule

- 6 Die nachhaltige Universität**
Plädoyer für einen interdisziplinären und ideologiefreien Diskurs
- 10 Gedächtnis der Forschung**
Bibliotheken und die nachhaltige Verfügbarkeit von Wissen

- 14 Wald mit Zukunft**
Biodiversität im Fokus von Schule und Wissenschaft
- 18 Für das Leben lernen?**
Auf dem Weg zur Nachhaltigkeit schulischer Bildung

- 2 Grußwort**
Prof. Dr. Stefan Leible
Präsident der Universität Bayreuth
- 3 Editorial**
Prof. Dr. Torsten Eymann,
Vizepräsident der Universität Bayreuth für den Bereich Informations-
technologie und Entrepreneurship
- 3 Impressum**
- 4 Inhaltsverzeichnis**



Politik & Wirtschaft

- 22 Nachhaltigkeit, politisch gedacht**
Zur Realisierung von Nachhaltigkeitszielen in der Demokratie
- 26 Politik gegen zukünftige Generationen?**
Gesetzgebung und Interessengruppen in marktwirtschaftlichen Demokratien

- 30 Nachhaltige Unternehmensfinanzierung im Mittelstand**
Optimierung der Kapitalstruktur und Management von Risiken



Ein wesentlicher Beitrag zur Energiewende: die flexible Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien (sst).



Nachhaltige Kunststoffe: ein Forschungsthema an der Universität Bayreuth (Foto: C. Wißler).

- 34 Kooperationsökonomie**
Die Zukunft nachhaltiger Wertschöpfung
- 38 Teilen als alternatives Wirtschaftsprinzip**
Eine Bestandsaufnahme der Sharing Economy



Die ökonomische Nachhaltigkeit von Unternehmen ist ein Grundstein auch für ökologische und soziale Fortschritte (sst).

Entwicklung & Ökologie

- 42 Nachhaltige Stadt- und Regionalentwicklung**
Vor der Herausforderung der „Großen Transformation“
- 46 Schatzinseln in Gefahr?**
Klimawandel und Naturschutz auf ozeanischen Inseln

Neue Materialien

- 50 Nachhaltige Kunststoffe**
Bioabbaubare und biobasierende Polymere als Materialien der Zukunft
- 54 Zukunftstechnologie Leichtbau**
Faserverstärkte Kunststoffe als Hoffnungsträger für Ökologie und Ökonomie

Energie

- 58 Nachhaltigkeit durch Flexibilität**
Die Vernetzung von Unternehmen mit dem Stromsystem
- 62 Energieunabhängig mit Photovoltaik**
Von zentralen Stromnetzen zur Selbstversorgung in Ghana und Kenia



In Kenia verfügen heute fast zwei Millionen Haushalte über eigene Photovoltaikanlagen (Foto: F. Boamah).

- 66 Verantwortung und Innovation**
Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung
- 71 Höchste Energiedichte in neuen Speichern**



■ Gilbert Fridgen
Florian Guggenmos
Britta Planer-Friedrich

Die nachhaltige Universität

Plädoyer für einen interdisziplinären und ideologiefreien Diskurs

■ Blick auf das Campusrondell der Universität
Bayreuth (Foto: Pressestelle Universität Bayreuth).

Nicht erst seit der letzten US-amerikanischen Präsidentschaftswahl scheint es in einzelnen Ländern wieder mehrheitsfähig zu sein, wissenschaftliche Erkenntnisse zum Klimawandel in Zweifel zu ziehen – und dies, obwohl ein nachhaltiger Umgang mit der Natur weit mehr Vorteile bringt als viele, die solche Zweifel in der Öffentlichkeit verbreiten, wahrhaben wollen.

Hochschulen tragen eine besondere Verantwortung dafür, das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung in der Gesellschaft zu verankern. Den modernen Begriff der nachhaltigen Entwicklung hat der Bericht „Our Common Future“ geprägt, den die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen unter dem Vorsitz der ehemaligen norwegischen Ministerpräsidentin Gro Harlem Brundtland im Jahr 1987 veröffentlichte. Darin heißt es: „Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen.“¹ Die Grundlage dafür ist in erster Linie der Schutz der globalen Umwelt durch einen schonenden Umgang mit natürlichen Ressourcen sowie durch ein Leben und Arbeiten mit und nicht gegen die Natur. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, muss nachhaltige Entwicklung neben der ökologischen Dimension allerdings auch aus sozialer, kultureller, ökonomischer und politischer Perspektive betrachtet werden. Sie darf sich nicht eindimensional auf den Bereich der Ökologie beschränken. Eine Fokussierung auf nur eine Dimension würde schnell dazu führen, dass das Thema Nachhaltigkeit in der Gesellschaft an Akzeptanz verliert: Bürger haben kein uneingeschränktes Verständnis für höhere Lebenshaltungskosten oder für die Nutzung von Steuergeldern für Technologien, die – tatsächlich oder nur vermeintlich – den eigenen Arbeitsplatz bedrohen.

Ebenso ist auch innerhalb jeder einzelnen Dimension eine ganzheitliche Betrachtung unverzichtbar. Auf den ersten Blick ist beispielsweise die Elektromobilität gegenüber konventionellen Verbrennungsmotoren nachhaltiger, da keine CO₂-Emissionen entstehen, die der Umwelt nachweislich schaden und den Klimawandel fördern. Im Sinne rationaler energiepolitischer Entscheidungen ist es jedoch elemen-

tar, das Gesamtbild zu betrachten. Dann nämlich rückt auch die Tatsache in den Blick, dass auch der Strom für die Elektromobilität erst erzeugt werden muss. Während der Anteil an erneuerbaren Energien im deutschen Strommix derzeit noch zu gering ist (Anteil 2016: 29 Prozent)², ist die durch den Leichtbau bedingte Energieintensität bei der Herstellung der Fahrzeuge relativ hoch. Deshalb sind selbst die neuesten E-Autos heute in Deutschland je nach Modell ähnlich klimaschädlich wie konventionelle Fahrzeuge oder sogar noch schädlicher. Erst mit dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien – die Bundesregierung plant einen Anteil von 45 Prozent bis 2025³ – haben E-Autos wirklich eine bessere CO₂-

Bilanz. Der Ruf nach flächendeckender Elektromobilität war demnach in den vergangenen Jahren verfrüht: Viel wichtiger wäre ein konzentrierter Plan für den gleichzeitigen Aufbau von erneuerbarer Energieerzeugung, einer

Ladeinfrastruktur und der Elektromobilität – unter gleichzeitiger Berücksichtigung des damit verbundenen Strukturwandels in der Automobilindustrie. Hier zeigt sich die besondere Aufgabe der Hochschulen, Probleme ideologiefrei aufzuarbeiten und gesellschaftliche Prozesse so differenziert zu be-

**„Es ist das Ziel einer nachhaltig
ausgerichteten Hochschule,
allen Studierenden die
Fähigkeit zu vermitteln, global,
weitsichtig und rational zu denken.“**

LITERATURTIPP

R. W. Kates, W. C. Clark et al.: Sustainability science, in: Science (2001), Vol. 292, Issue 5517, S. 641-642, DOI: 10.1126/science.1059386.

■ Abb. 1: Karikatur von Gerhard Mester zum Klimawandel (wikimedia commons / CC-BY-SA-4.0).



AUTOREN



■ Prof. Dr. Gilbert Fridgen ist Professor für Wirtschaftsinformatik und Nachhaltiges IT-Management an der Universität Bayreuth sowie stellvertretender wissenschaftlicher Leiter der Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT.



■ Florian Guggenmos M.Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Wirtschaftsinformatik und Nachhaltiges IT-Management an der Universität Bayreuth.



■ Prof. Dr. Britta Planer-Friedrich ist Professorin für Umweltgeochemie an der Universität Bayreuth und Programmverantwortliche für den internationalen Masterstudiengang Environmental Chemistry.

gleiten, dass einzelne Werte nicht verabsolutiert und nicht zum Ausgangspunkt eindimensionaler Handlungsempfehlungen gemacht werden. In offenen, rational geführten Debatten sollte deutlich werden, dass bei komplexen Entscheidungen in Wirtschaft, Gesellschaft und Politik unterschiedliche Werte und ethische Prinzipien relevant werden, die fallweise durchaus in einem Spannungsverhältnis zueinander stehen können.

Hochschulen als Multiplikatoren für Nachhaltigkeit

Hochschulen sind Vorreiter der Innovation und haben daher eine entsprechende gesellschaftliche Vorbildfunktion. Dies gilt auch beim Thema Nachhaltigkeit. Durch Forschung und Lehre werden zum einen zukünftige Multiplikatoren ausgebildet und zum anderen Wissen für eine nachhaltige Entwicklung geschaffen. Eine Hochschule sollte dabei ihren Forschungs- und Bildungsauftrag ohne Dogmen und ideologische Festlegungen erfüllen und gerade emotional geladene Themen rational betrachten. Aus diesen Gründen nehmen Hochschulen als zentrale Forschungs- und Bildungseinrichtungen eine entscheidende gesellschaftliche Rolle für eine nachhaltige Entwicklung ein. Neben Forschung und Lehre hat eine Hochschule jedoch noch eine dritte wichtige Aufgabe zu erfüllen. Diese *Third Mission* beschreibt die Vernetzung mit anderen Hochschulen, der Stadt und der Region sowie den Dialog mit Wirtschaft und Gesellschaft. Um ihrer Vorbildfunktion gerecht zu werden, sollte das an der Hochschule erlangte Wissen jedoch nicht nur in die Praxis transferiert werden, sondern auch in der Governance und der Infrastruktur der Hochschule selbst verankert sein.

Nachhaltigkeitsforschung ist für eine Hochschule eine Querschnittsaufgabe, bei der Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften sowie Angewandte Wissenschaften erst gemeinsam ihr volles Potenzial entfalten können. Im Jahr 2001 veröffentlichten weltweit führende Natur- und Sozialwissenschaftler und Politikanalysten einen wissenschaftlichen Artikel, in dem sie die zentralen Fragen einer nachhaltig ausgerichteten Forschung aufwerfen und damit die Nachhaltigkeitswissenschaft (*Sustainability Science*) als ein eigenes Feld der Forschung begründen.⁴ Erst durch die Zusammenführung der differenzierten Spezialisierungen bei der Analyse von Problemen kann lösungsorientierte Forschung zur Nachhaltigkeit realisiert werden. Um dieses übergeordnete Ziel zu erreichen, die Grenzen der eigenen Fachkompe-

tenz und Methodik zu erkennen und sich der Verknüpfungen zu anderen Fachgebieten⁵ bewusst zu werden, ist eine an Nachhaltigkeit orientierte akademische Haltung notwendig.

Im Bereich der **Lehre** hat sich zum Thema Nachhaltigkeit in den vergangenen Jahren vieles verändert. Der Einbezug der Nachhaltigkeitswissenschaft dient in erster Linie dazu, den Studierenden das notwendige Wissen über eine nachhaltige Gestaltung der Gesellschaft zu vermitteln und sie zu Multiplikatoren auszubilden. Aufgrund ihrer Ausbildung sollen sie auch andere Mitglieder der Gesellschaft zu rationalen Entscheidern machen und so die Gesellschaft als Ganzes weiter voranbringen. Um dies zu erreichen, ist es notwendig, das Lehrangebot entsprechend zu gestalten und stets den aktuellen Stand der Wissenschaft in die Lehre zu projizieren. Da sich das Thema Nachhaltigkeit jedoch nicht auf eine einzelne wissenschaftliche Disziplin oder Fachrichtung einschränken lässt, hat es keinen Sinn, eigenständige „Nachhaltigkeitswissenschaftler“ auszubilden. Vielmehr ist es das Ziel einer nachhaltig ausgerichteten Hochschule, allen Studierenden die Fähigkeit zu vermitteln, global, weitsichtig und rational zu denken. Sie will ihnen die nötigen Werkzeuge an die Hand geben, damit sie sich fächerübergreifend mit dem Thema Nachhaltigkeit und seinen gesellschaftlichen Implikationen auseinandersetzen. Auf diese Weise will eine nachhaltig ausgerichtete Hochschule die Studierenden in die Lage versetzen, Probleme im eigenen Lebens- und Berufsumfeld zu erkennen und innovative und kreative Lösungsansätze dafür zu entwickeln. Zudem sind die Hochschulen ange-



halten, Interdisziplinarität durch geeignete Maßnahmen zu fördern. So können sie über den allgemeinen Lehrplan die Vernetzung von Studierenden unterschiedlicher Fachrichtungen fördern; sie können aber auch fachfremde zusätzliche Ausbildungsangebote – zum Beispiel in Form von Qualifizierungszertifikaten im Bereich Nachhaltigkeit – einrichten und Anreize für die Teilnahme schaffen.

Im Bereich der **Third Mission** hat die gemeinsame Arbeit mit inner- und außeruniversitären Partnern sowie der Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis zum Ziel, einen lebendigen, regelmäßigen und intensiven Dialog zwischen der Hochschule und der Gesellschaft, der Wirtschaft und der Politik zu etablieren. Wichtig ist hierbei ein wechselseitiger Transfer von Ideen und Erkenntnissen, der Prozesse zur nachhaltigen Entwicklung bei allen Interessensgruppen voranbringt. Auch in diesem Zusammenhang gehört es zur Aufgabe von Hochschulen, auf der Basis von Fakten und wissenschaftlichen Prinzipien zur gesellschaftlichen Entscheidungsfindung beizutragen. Hierzu sind sie aufgefordert, sich mit Partnern in der Wirtschaft, den Kommunen, anderen Hochschulen und Universitäten sowie mit Initiativen zum Thema Nachhaltigkeit auszutauschen und Rationalität sowie faktenbasierte Entscheidungen in der Wirtschaft und der Politik zu fördern.

Dazu gehört ebenso, dass das Thema Nachhaltigkeit sowohl in der Hochschule selbst als auch in der Hochschulpolitik Beachtung findet. Im Juni 2017 hat die Bundesregierung den „Nationalen Aktionsplan zur Umsetzung des UNESCO-Weltaktionspro-

gramms Bildung für nachhaltige Entwicklung (2015-2019)“ verabschiedet⁶ und ist bestrebt, das Thema an verschiedenen Stellen im Bildungswesen zu platzieren. Da eine Hochschule ihrer Vorbildfunktion gegenüber anderen Institutionen nur dann gerecht werden kann, wenn sie auch ihre eigene Governance nachhaltigkeitsorientiert ausrichtet, müssen auch hauseigene Strukturen regelmäßig hinterfragt und verbessert werden. Der Nationale Aktionsplan sieht hierfür beispielsweise vor, Zielvereinbarungen der Universitäten um Nachhaltigkeitsziele zu erweitern sowie die Forschung und Lehre in den verschiedenen Disziplinen durch zusätzliche Professuren mit einem Fokus auf Nachhaltigkeit zu verstärken. Zudem soll auch die Infrastruktur auf dem Campus sinnvolle Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Entwicklung der Hochschule bieten, und es müssen klare Ziele und Kriterien in ihren Leitungs- und Verwaltungsstrukturen formuliert werden. Im Mittelpunkt der Entscheidungen sollten die Reduzierung des Verbrauchs endlicher Ressourcen, die Nutzung erneuerbarer Energiequellen sowie eine Vermeidung von betriebsbedingten umweltschädlichen Emissionen stehen. Wichtig ist, dass dabei die Freiheit der Forschung nicht eingeschränkt und wirtschaftliche Rahmenbedingungen beachtet werden.

Die nachhaltige Universität als Gemeinschaftsprojekt

Nachhaltigkeit ist ein Gemeinschaftsprojekt und muss auch innerhalb der Hochschule als solches gestaltet sein. Daher sollten alle Anspruchsgruppen an einer Hochschule in einen regelmäßigen Dialog über den Nachhaltigkeitsprozess treten und an dem gemeinsamen Prozess partizipieren können. Wichtig ist hierbei eine zentrale Anlaufstelle, die den Kontakt zu den Anspruchsgruppen aufbaut und die Vernetzung vorantreibt. An der Universität Bayreuth wurde eine solche Anlaufstelle mit der Institutionalisierung von „Green Campus“ geschaffen. Green Campus wurde 2016 von der Hochschulleitung ins Leben gerufen und hat die Aufgabe, alle Aktivitäten zum Thema Nachhaltigkeit an der Universität Bayreuth zu bündeln sowie neue Akteure bei der Umsetzung ihrer Ideen zu unterstützen. Das Team von Green Campus besteht aus mehreren studentischen Mitarbeitern, die durch zwei Nachhaltigkeitsbeauftragte auf Seiten der Wissenschaft unterstützt werden. Diese Vernetzung von engagierten Studierenden und Wissenschaftlern der Universität ist ein zentraler Aspekt und hat zum Ziel, die Universität Bayreuth in allen beschriebenen Bereichen weiter voran zu bringen.



■ Abb. 3: E-Tankstelle auf dem Campus der Universität Bayreuth (Foto: Christian Wißler).



■ Abb. 2 (Mitte): Fächerübergreifende Kontakte zwischen Studierenden und Wissenschaftlern auf dem Bayreuther Universitätscampus (Foto: Lili Nahapetian).

- 1 Der Bericht ist im originalen englischen Wortlaut unter www.un-documents.net/wced-ocf.htm veröffentlicht.
- 2 Vgl. dazu das Dossier „Erneuerbare Energien“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie: www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html.
- 3 Vgl. Anm. 2.
- 4 Siehe Literaturtipp.
- 5 Dazu beispielhaft auch der Beitrag zur Stromversorgung von Unternehmen in dieser Spektrum-Ausgabe, S. 58-61.
- 6 Vgl. www.bne-portal.de/de/bundesweit/nationaler-aktionsplan.



■ Ralf Brugbauer
Vera Butz

Gedächtnis der Forschung

Bibliotheken und die nachhaltige Verfügbarkeit von Wissen

■ Li.: Titelseite des „Breviarium novae ecclesiae collegiatae“ von 1536. Es ist das einzige vollständig erhaltene Brevier (Stundenbuch) aus der Frühzeit des Domstiftes der Doppelstadt Berlin-Cölln und daher von zentraler Bedeutung für die berlinisch-brandenburgische Kirchengeschichte. Als Erbe des Fürstentums Bayreuth brachte es Markgraf Christian (1581-1655) aus seiner märkischen Heimat mit nach Oberfranken. Das in der Universitätsbibliothek Bayreuth aufbewahrte Exemplar stammt aus der Bibliothek des Gymnasiums Christian-Ernestinum in Bayreuth. / Re.: Verarbeitung digitaler Informationen in einem Binärcode (sst / Fotomontage: Andreas Gaube).

Das umfassende Wissen der Menschheit zu bewahren und damit dessen Existenz und Verbreitung zu sichern, ist eine besondere Aufgabe der Bibliotheken: Oftmals als „Schatzkammern des Wissens“ bezeichnet, wurde ihnen schon in der Antike dafür die Verantwortung übertragen – eine Herausforderung, der sie sich auch heute zu stellen haben und deren Bedeutung in der digitalen Gesellschaft wächst, vielleicht mehr denn je. Der Begriff „Bibliothek“ stammt aus dem Altgriechischen und bedeutet wörtlich übersetzt „Buchbehältnis“ oder „Bücherkasten“. Heute geht es aber nicht mehr nur um die bloße Aufbewahrung von Medien. Angesichts immer kürzerer Halbwertszeiten von Informationen und auch mit Blick auf zahllose „Fake News“ müssen Bibliotheken die ihnen anvertrauten Informationsschätze für die Öffentlichkeit verfügbar machen und vor allem zuverlässig sowie andauernd bereitstellen. Dabei gab es niemals eine größere Vielfalt an Medien als heute. Sie alle bedürfen unterschiedlicher Nachhaltigkeitsstrategien. Bei einigen kann man sich auf jahrtausendelange Erfahrung berufen; andere – vor allem die sich ständig verändernden digitalen Dateiformate der letzten Jahrzehnte – stellen Bibliotheken vor bisher nicht gekannte technische und strukturelle Anforderungen. Daher entwickeln sie kontinuierlich neue Konzepte für die nachhaltige Aufbewahrung und Bereitstellung ihrer Wissensschätze, um ihrer gesellschaftlichen Aufgabe als Gedächtniseinrichtungen gerecht zu werden.

Herausforderungen im Papier

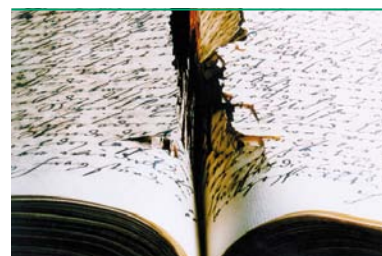
Die Aufbewahrung von Handschriften, Inkunabeln und alten Drucken zählt zu den genuinen Aufgaben von Bibliotheken. Hierbei können und müssen sie auf einen reichen Erfahrungsschatz sowie auf umfassende Fachkenntnisse zurückgreifen. Denn neben der unumkehrbaren ‚natürlichen Alterung‘ wird ihr Schriftgut von weiteren endogenen Faktoren bedroht: Eine der Gefahren ist der Tintenfraß. Freie Eisenionen in der seit Jahrhunderten verwendeten Eisengallustinte korrodieren mit der Zeit. Diese lassen das Papier im Bereich der Schriftzüge brüchig werden, so dass die Dokumente im Extremfall zerfallen. Ein prominentes Tintenfraß-Opfer sind die Notenhandschriften Johann Sebastian Bachs. Um diesen Prozess zu verlangsamen, wenden Bibliotheken ein an der Universitätsbibliothek Marburg entwickeltes chemisches Verfahren an.

Eine noch größere Herausforderung ist die ‚Chemie‘ der gedruckten Massenware neueren Datums: Auf-

grund des hohen Papierbedarfs ab Mitte des 19. Jahrhunderts wurden für die Buchproduktion neue industrielle Verfahren entwickelt. Durch diese ließ sich der stark nachgefragte Beschreibstoff effizienter herstellen, als es die Büttner bis dahin vermochten. So wurde der Papiermasse eine Mischung aus chemisch aufbereiteten Harzen und Kaliumaluminiumsulfat (Alaun) zugesetzt. Dies hatte den Vorteil, dass die Papiermühlen schneller und produktiver arbeiten konnten. Allerdings erhielt das Papier durch das Kaliumaluminiumsulfat einen niedrigen pH-Wert und wurde sauer. Es bildete sich unter anderem Schwefelsäure, die die Celluloseketten im Papier zerstört. Ein weiterer Faktor, der die Papierqualität verschlechterte, war die Verwendung von sogenanntem Holzschliff. 1844 löste er Pflanzenfasern als Grundstoff von Papier ab. Das über einen Schleifstein zerkleinerte Holz, in dem Harze und Lignin verblieben, ließ das Papier extrem kurzfasernig werden, was neben dem säurebedingten Zerfall eine starke Vergilbung begünstigte. Offensichtlich stand seinerzeit bei den allermeisten Papierprodukten, insbesondere bei Zeitungen, die Haltbarkeit nicht im Vordergrund.

Aus heutiger Sicht hat die damals günstigere Kosten-Nutzen-Bilanz einen hohen Preis. Es mussten verschiedene chemische Verfahren entwickelt werden, die das Papier neutralisieren und gleichzeitig eine alkalische Reserve in ihm aufbauen. Da große Mengen an Schriftgut so behandelt werden müssen, spricht man in Bibliotheks- und Archivreisen von ‚Massenentsäuerung‘. Dadurch wird der säurebedingte Zersetzungsprozess verlangsamt und nähert sich der natürlichen Alterung des Papiers an. Deren Fortschreiten wiederum ist ganz wesentlich von den Aufbewahrungsbedingungen abhängig. In der Bayreuther Universitätsbibliothek gibt es deshalb neben der frei zugänglichen Literatur in den Lesesälen ein Sondermagazin für etwa 30.000 sehr wertvolle Schriften, die bis ins 16. Jahrhundert zurückreichen. Hier wird versucht, in einem abgedunkelten und speziell gesicherten Raum für Bedingungen zu

„Bibliotheken sind Expertinnen in Nachhaltigkeit.“



■ Abb. 1: Buchseiten mit Papierzerfall durch Tintenfraß (Foto: Dr. Manfred Anders, Zentrum für Bucherhaltung GmbH, Leipzig / [wikimedia commons](#) / CC-BY-SA-3.0-migrated).

■ Abb. 2: Lesesaal der Universitätsbibliothek Bayreuth (Foto: Lili Nahapetian).



■ Abb. 3: Im Lesesaal der Universitätsbibliothek Bayreuth (Foto: Lili Nahapetian).



sorgen, unter denen zum Beispiel die einmaligen Bestände aus der Kanzleibibliothek der Bayreuther Markgrafen und anderen Bayreuther Institutionen für nachfolgende Generationen erhalten bleiben. Die dafür notwendige Technik, zu der unter anderem Klimatisierung und spezielle Gas-Löschanlagen zählen, muss regelmäßig gewartet und gegebenenfalls auf den neuesten Stand gebracht werden.

■ Abb. 4: Frühneuzeitliche Nachhaltigkeit: Beschriebenes Pergament wurde als Bucheinband wiederverwertet (Foto: Christian Wißler).



Altbestände online sicher bewahren

Zur nachhaltigen Überlieferung von Kulturgut trägt maßgeblich auch die Digitalisierung von Altbeständen bei. Diese mittlerweile zentrale Dienstleistung von Bibliotheken ermöglicht es, unikale Schriftstücke vor starker Beanspruchung, aber auch schädlichen Licht- und Klimaeinflüssen zu schützen. Gleichzeitig eröffnen sich Forschenden und Interessierten durch die Bereitstellung von Digitalisaten im Internet völlig neue Möglichkeiten, auf einzigartige Kulturzeugnisse wie alte Handschriften und seltene Drucke zuzugreifen. Der Interessenskonflikt zwischen Zugänglichkeit und Nachhaltigkeit lässt sich dadurch etwas abmildern.

Bibliotheken, Archive, Museen und andere Gedächtniseinrichtungen scannen oder fotografieren seit Jahren ihre Objekte. Anschließend müssen diese durch die Vergabe von Metadaten charakterisiert und einzelne Abschnitte, Abbildungen etc. mit Identifiern versehen werden, damit sie online recherchiert und gefunden werden können. Auch hier stellt sich die Frage nach der dauerhaften Verfügbarkeit dieser Daten. Die Universitätsbibliothek Bayreuth digitalisiert seit Anfang 2016 Teile ihres Altbestands. Entscheidende Kriterien bei der Entwicklung der Digitalisierungsstrategie waren die Langzeitarchivierung und -verfügbarkeit sowohl der digitalen Bilder (Primärdaten) als auch ihrer Metadaten. Hierfür nutzt die UB Bayreuth die Infrastruktur

des Bibliotheksverbundes Bayern, dem sie angehört. Über eine spezielle Exportschnittstelle werden die Bayreuther Scans mitsamt der dazugehörigen Daten zum Leibniz-Rechenzentrum in Garching bei München transferiert, wo sie auch kuratiert werden.

Online-Gedächtnis-Infrastrukturen für elektronische Medien

Noch ungewiss ist jedoch, was mit den digitalen ‚Beständen‘ von Verlagen passiert, sollten diese beispielsweise unvermittelt aufhören zu existieren oder ihre Server mitsamt den gespeicherten Publikationen durch eine Naturkatastrophe zerstört werden. Derzeit könnte man noch in vielen Fällen auf Printexemplare zurückgreifen, die in Bibliotheken verfügbar sind. Wenn aber – was immer häufiger der Fall ist – Veröffentlichungen nur digital erschienen sind, wären diese verloren, da Bibliotheken durch den Erwerb von Lizenzen oftmals nur die Zugriffsrechte verwalten, aber keine vollständige Datensicherung betreiben können. Um einem drohenden Informationsverlust zu begegnen, wird derzeit mit DFG-Unterstützung eine nationale Hosting-Strategie entwickelt.¹ Ziel ist es, einen ‚doppelten Boden‘ zu schaffen, der Inhalte dauerhaft absichert und über eine entsprechende Infrastruktur für die Wissenschaft in Deutschland verfügbar hält.

Auf internationaler Ebene gibt es bereits Strukturen zur nachhaltigen Sicherung digitaler Publikationen. Bereits 1998 initiierte die Universität Stanford das Projekt *LOCKSS* (*Lots of Copies Keep Stuff Safe*).² Digitale Objekte, vor allem Zeitschriften, aber auch Open Access-Publikationen, werden dezentral in mindestens sieben Kopien (= *lots of copies*) an mehreren Orten im weltweiten *LOCKSS*-Netzwerk gespeichert und dauerhaft vorgehalten (= *keep stuff safe*). Gegen einen jährlichen Mitgliedsbeitrag können Bibliotheken Teil dieser Online-Gedächtnis-Infrastruktur werden. Sie erhalten auf diese Weise auch nach der Kündigung eines Abonnements Zugriff auf diejenigen Ausgaben einer Online-Zeitschrift, für die sie beim Verlag bezahlt hatten.

Anders als beim *LOCKSS*-Netzwerk, auf dessen Inhalte Mitglieder jederzeit zugreifen können, verhält es sich bei der Initiative *Portico*, die 2002 von der US-amerikanischen Non-Profit-Organisation *ITHACA* ins Leben gerufen wurde und ein verteiltes Archivsystem geschaffen hat.³ Die hier archivierten Inhalte werden erst bei gravierenden Unterbrechungen in der Bereitstellung, also bei sogenannten Trigger

1 Es handelt sich um das DFG-Projekt „Nationales Hosting elektronischer Ressourcen (NatHosting)“, siehe: www.nathosting.de.

2 Für weitere Informationen siehe: www.lockss.org.

3 Vgl. www.portico.org.

4 So sind etwa die Artikel des „Nationales Hosting elektronischer Ressourcen (NatHosting)“, siehe: www.nathosting.de.
4 So sind etwa die Artikel des E-Journals *Graft: Organ and Cell Transplantation*, das von 2001 bis 2003 erschien, nur noch über *Portico* verfügbar. 2008 hatte der herausgebende Wissenschaftsverlag SAGE die Plattform der Zeitschrift dauerhaft abgeschaltet.

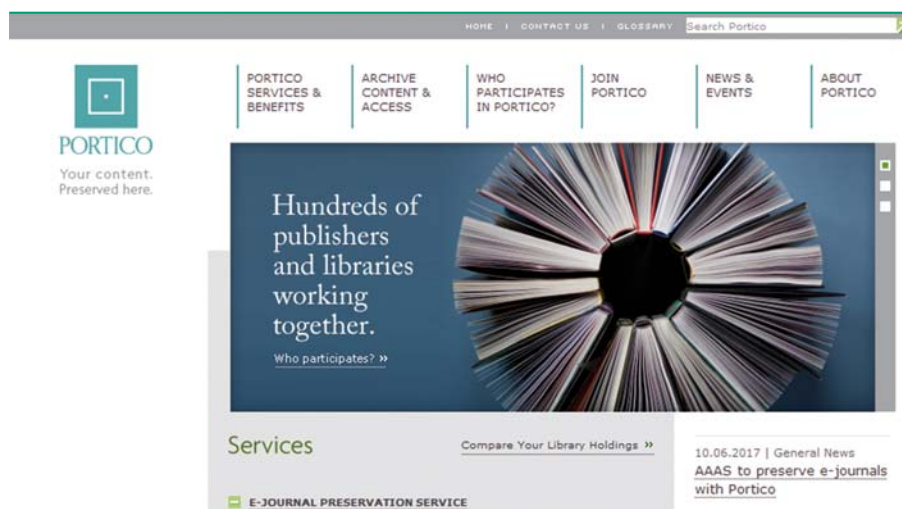
Events, für beteiligte Institutionen freigegeben.⁴ Gemäß seinem Motto „Your content. Preserved here.“ ist es das Ziel von *Portico*, digitale Inhalte sicher zu archivieren und für nachfolgende Wissenschaftsgenerationen zugänglich zu halten. Weltweit sind mehr als 1.000 Bibliotheken, so auch die Universitätsbibliothek Bayreuth, und etwa 520 Verlage Mitglied in dieser Initiative.

Grundsätzlich aber gilt: Überlegungen hinsichtlich einer nachhaltigen Strategie für die Langzeitverfügbarkeit elektronischer Medien sind aktuell von größter Relevanz, da viele damit zusammenhängende Fragen noch längst nicht in allen Details geklärt sind. Intensiv wird beispielsweise diskutiert, welche Speichermedien und welche Datenformate sich für die langfristige Archivierung eignen und mit welchen Methoden diese Speicherung genau erfolgen kann. Dabei kommen derzeit zwei Verfahren zum Einsatz:

- Bei der **Bit Stream Conservation** werden Datensätze ohne alle dynamischen Komponenten, wie beispielsweise Links oder externe Zeichensätze, archiviert. Dies stellt auch langfristig eine stabile Wiedergabe sicher.
- Bei der **Context Preservation** werden Datensätze zusammen mit ihren beschreibenden Metadaten in gemeinsamen virtuellen Containern abgelegt. Dabei sollen ihre wechselseitigen Bezüge erhalten bleiben.

Digitale Forschungsdaten und ihre zugehörigen elektronischen Publikationen werden oftmals in virtuellen Arbeitsumgebungen (*E-Research Infrastructures*) geteilt und kollaborativ bearbeitet. Hinzu kommt, dass immer mehr Dienstleistungen im Forschungsprozess als *Remote Services* angeboten oder virtualisiert werden. Infolgedessen sind bei Forschungsdaten und -ergebnissen häufig die Orte ihrer Entstehung, ihrer Bearbeitung und ihrer langfristigen Bereitstellung nicht identisch. Eine umfassende und nachhaltige Sicherung der Daten, auch mit Blick auf die Datenhoheit, wird dadurch zusätzlich erschwert.

Bei ihren Aktivitäten zum elektronischen Publizieren beachtet die Universitätsbibliothek Bayreuth diese Gegebenheiten sehr genau: Sowohl beim Repository für Hochschulschriften *EPub Bayreuth* wie auch bei der neuen Plattform *Open Journal Systems Bayreuth*, über die Universitätsangehörige eigene Zeitschriften herausgeben können, müssen komplexe Prozeduren zur nachhaltigen Datensicherung und -bereitstellung definiert und eingehalten werden.



■ Abb. 5: Ausschnitt aus der Homepage der digitalen Archivierungsinitiative Portico.

Schließlich stellen das Management und die langfristige Archivierung von Forschungsdatensätzen eine besondere Herausforderung dar. Auf dem Bayreuther Universitätscampus arbeiten die Hochschulleitung, Bibliothekare und IT-Experten gemeinsam an Strategien, die darauf abzielen, Forschungsdaten in lokalen und überregional verfügbaren Forschungsdatenrepositorien zu sichern.

Bibliotheken – Gedächtnis der Forschung

Ob es sich um neueste physikalische Messdaten in digitaler Form oder um eine wertvolle mittelalterliche Handschrift handelt: Für Bibliotheken steht bei all ihrem Handeln im Vordergrund, wie sie Informationen und Erkenntnisse für die Allgemeinheit dauerhaft bewahren und sowohl auffindbar als auch zugänglich halten können. Dafür entwickeln sie beständig neue Strategien. Sie sind Expertinnen in Nachhaltigkeit. So verzeichneten sie bereits Metadaten in ihren Katalogen, als es für dieses Konzept überhaupt noch keinen Begriff gab. In Zeiten der Massenproduktion von Daten ist es entscheidend, das Bewusstsein für den nachhaltigen Umgang mit ihnen bei allen am Forschungsprozess Beteiligten zu schaffen und zu fördern. Diese *Data Literacy*, die sowohl Primärdaten als auch Metadaten und Strukturdaten betrifft, vermitteln Bibliotheken häufig in Kooperation mit anderen beteiligten Institutionen, zum Beispiel mit IT-Abteilungen und Rechenzentren. Damit bewahren Bibliotheken nicht nur ihre angestammte Funktion als Buch- und Medienbehältnisse, sondern sind heute und in der Zukunft echte Gedächtniseinrichtungen für die Forschung.

AUTOREN



■ Dipl.-Biol. Ralf Brugbauer, Direktor der Universitätsbibliothek Bayreuth.



■ Vera Butz, Fachreferentin an der Universitätsbibliothek Bayreuth und Koordinatorin der 'Teaching Library'.

■ Franz X. Bogner
Jennifer Schneiderhan

Wald mit Zukunft

Biodiversität im Fokus von Schule und Wissenschaft

■ Blick auf den Rudolfstein, einen bewaldeten Berg im Fichtelgebirge. Das Bayerische Landesamt für Umwelt hat den Gipfel als Naturdenkmal und als wertvolles Geotop ausgewiesen (Luftaufnahme: Franz X. Bogner).

Biodiversität ist heute in aller Munde. Was heißt dies aber im Konkreten, vor allem bei der jungen Generation in den Schulen? Wie kann vor allem der „Wert“ von Biodiversität erfasst oder vermittelt werden? An der Universität Bayreuth ist hierfür ein neuartiges Lernprogramm entwickelt worden. Unter dem Motto „Wald mit Zukunft – Biodiversität schützen und nützen“ will es Schülerinnen und Schüler der 10. Jahrgangsstufe des Gymnasiums in die Lage versetzen, sich selbständig mit möglichen Naturschutz- und Nachhaltigkeitsstrategien auseinanderzusetzen. Konkrete Fragen zur Biodiversität werden dafür auf konkrete ausgewählte Beispiele „heruntergebrochen“. Das Programm beruht auf dem Konzept des forschenden Lernens, das den Lernprozess in ähnlicher Weise organisiert und strukturiert, wie es für universitäres Forschen charakteristisch ist. Kinder und Jugendliche arbeiten sich dabei eigenständig und kooperativ in neue, für sie unbekannte Phänomene ein – entsprechend den 5E, wie sie in der angelsächsischen Literatur zur Didaktik definiert werden: „Engage, Explore, Explain, Elaborate, Evaluate“.

Das gemeinsame Lernen an einer Folge von Lernstationen im Klassenraum ist die unterrichtliche Methode der Wahl, bei der sich junge Menschen intensiv mit dem Schutz und der nachhaltigen Nutzung des Ökosystems Wald befassen können. Bei diesem „Lernzirkel“ geht es um den Nutzen der Biodiversität für uns Menschen am Beispiel von Ökosystemdienstleistungen des Waldes, aber natürlich auch um die immer wiederkehrenden Fragen, was der Einzelne tagein tagaus zum Schutz der Wälder beitragen kann und könnte. Die verschiedenen Stationen werden von Kleingruppen, an denen jeweils drei bis vier Schülerinnen und Schüler teilnehmen, reihum eigenständig bearbeitet. Alle Stationen sind auf

forschend-entdeckendes Lernen angelegt und mit authentischem Unterrichtsmaterial ausgestattet. Die Jugendlichen haben dabei als „kleine“ Forscher hypothesengeleitet Aufgaben und Probleme zu lösen.

Die verborgene Vielfalt unter der Erde entdecken

Um in die Fußstapfen richtiger Forscher zu treten, üben sich die Schülerinnen und Schüler auch an naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen und -techniken. Mit dem Ziel, die Artenvielfalt als einen Aspekt der Biodiversität exemplarisch zu veranschaulichen, untersuchen sie verschiedene Bodenlebewesen unter dem Mikroskop. Diese werden mit Hilfe eines einfachen Bestimmungsschlüssels identifiziert. Dabei sind den Schülerforschern einige Bodentiere wie Spinnen oder Asseln bereits bekannt, andere Lebewesen wie Pseudoskorpione oder Schnurfüßer sind ihnen noch nicht vertraut. Wie viele Beine hat das Tier? Sind diese gegliedert? Es gilt durch genaue Betrachtung spezifische Merkmale der Tiere zu erkennen, um Schritt für Schritt den richtigen Weg im Bestimmungsschlüssel zu finden.

■ Abb. 1: Pseudoskorpion, durch ein Binokular betrachtet (Foto: Michael Münch / wikipedia.org / CC-by-sa 2.0/de).



■ Abb. 2: Der Schwarze Schnurfüßer (*Tachypodius niger*), eine europäische Art der Tausendfüßer, ist auch in Bayern heimisch (Foto: Stemonitis / wikimedia commons / CC-BY-2.5).



■ Abb. 3: Das Bayreuther Lernprogramm „Wald mit Zukunft“ folgt dem Konzept des „Forschenden Lernens“, das über das Erlernen vorgegebener Fakten hinausgeht und den Entdeckergeist in den Schülerinnen und Schülern wecken will (sst).

„Das Bayreuther Lernprogramm führt, indem es an den Citizen Science-Ansatz anknüpft, zu einer Win-win-Situation für die Wissenschaft und für die Schülerinnen und Schüler.“

LINKTIPP

Homepage des EU-Projekts
„Open Schools for Open Societies“:

www.openschools.eu

AUTOREN



■ Prof. Dr. Franz X. Bogner ist Inhaber des Lehrstuhls für Didaktik der Biologie an der Universität Bayreuth.



■ Jennifer Schneiderhan ist Doktorandin am Lehrstuhl für Didaktik der Biologie.

■ Abb. 4: Eingang zur Zoologischen Staatssammlung in München (Foto: Klaus & Michel Schömitzer / [wikimedia commons](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ZSM_Eingang.jpg) / CC-BY-SA-2.5).

■ Abb. 5: Forschungspartner der Bayreuther Didaktik der Biologie (Screenshot).

Citizen Science – Schüler als Hobbyforscher

Der Begriff *Citizen Science* (Bürgerwissenschaft) bezieht sich ganz allgemein auf den Ansatz, dass interessierte Amateure an wissenschaftlichen Forschungsprozessen teilnehmen – also beispielsweise Wasserproben sammeln, das Vorkommen von Feuersalamandern kartieren oder in den USA beim legendären *Christmas Watch* landesweite Vogelzählungen unterstützen.

Diesen Ansatz greift der Bayreuther Unterricht zum „Wald mit Zukunft“ auf, indem die Schülerinnen und Schüler mit Forschern der Zoologischen Staatssammlung in München zusammenarbeiten. Sie erhalten dadurch die einmalige Gelegenheit, aktiv an naturwissenschaftlicher Forschung teilzunehmen. Insbesondere werden sie an ein völlig neues Verfahren zur Bestimmung von Artenvielfalt herangeführt. Das DNA-Barcoding macht es möglich, Artenvielfalt mit molekularen Untersuchungen zu erfassen (Stichwort: Biodiversitäts-Monitoring). In-

nerhalb der Projekte „Barcoding Fauna Bavarica“ und „German Barcode of Life“ erstellt die Zoologische Staatssammlung unter dem Motto „Jede Art zählt“ eine Gesamtliste artspezifischer DNA-Sequenzen (DNA-Barcodes) – sozusagen eine Datenbank des Lebens. Ziel ist es, eine Datengrundlage für die Bestimmung aller in Bayern bzw. in Deutschland lebenden Tierarten zu schaffen. Darüber hinaus haben die Münchner Forscher, als weltweit zweitgrößter Probenlieferant innerhalb des internationalen Projekts „International Barcode of Life (iBOL)“, bisher 37.000 Arten „gebarcodet“, das heißt genetisch bestimmt. Im Rahmen des Bayreuther Lernprogramms sammeln die Schülerinnen und Schüler Waldbodenproben, die zur DNA-Barcode-Analyse an das Münchner Genlabor geschickt werden. Diese Auswertung führt mit großer Wahrscheinlichkeit zur Entdeckung neuer Arten von Bodenorganismen und erweitert somit die globale Artendatenbank.



staatl. naturwissenschaftliche sammlungen bayerns

DNA-Barcoding

an der Zoologischen Staatssammlung München

START PROJEKTE BARCODING NUTZEN ARTEN BAYERNFAUNA MEDIEN ÜBER UNS LINKS

JEDE ART ZÄHLT!

Langhornbiene (*Eucera* sp.)
Foto: Stefan Schmidt

Allgemeine Suche

UNTERMENÜ

- BAYERNFAUNA
- AMPHIBIEN
- BLATTWESPEN
- HEUSCHRECKEN
- LIBELLEN

BAYERNFAUNA

Ehrgeiziges Ziel des Projekts „Barcoding Fauna Bavarica“ (BFB) ist die vollständige genetische Erfassung der Bayerischen Tierwelt und deren Nutzbarmachung in einer genetischen Bibliothek des Lebens. Daraus entstehen nun nach und nach Checklisten, die wie hier im Falle der Schmetterlinge, alle bayrischen Arten einer Organismengruppe beinhalten:

Checkliste für Bayerns Schmetterlinge

März 2016: Die Zoologische Staatssammlung München präsentiert erstmals eine räumlich und zeitlich gegliederte sowie ausführlich kommentierte Checkliste der Schmetterlinge (Lepidoptera) des Freistaates Bayern. Die Liste ist auf taxonomisch neuestem Stand und umfasst alle bisher für Bayern bekannten Arten - insgesamt 3243! Rund 94% davon liegen bereits zusätzlich als genetischer Fingerabdruck vor. (Foto: Peter Lichtmannecker, MEG)



Der Vorteil für die Münchner Partner liegt darin, dass sie Bodenproben aus verschiedenen Ecken des Landes bekommen, während die Jugendlichen an vorderster Forschungsfront mitwirken können. Zwar könnten sie durch die Bestimmung von Waldbodenlebewesen auch selbst Artenvielfalt entdecken. Doch ist die Vielfalt an Arten zu groß, als dass sie im Unterricht die Übersicht behalten würden. Das Bayreuther Lernprogramm führt also, indem es an den *Citizen Science*-Ansatz anknüpft, zu einer Win-win-Situation für die Wissenschaft und für die Schülerinnen und Schüler.

Gerade die Zusammenarbeit von Schulen und Forschungseinrichtungen ist Bestandteil des EU-Projekts „Open Schools for Open Societies (OSOS)“, an dem der Bayreuther Lehrstuhl für Didaktik der Biologie seit 2017 beteiligt ist. Hier wird für das Gesamtprojekt nicht nur der didaktische Rahmen bearbeitet, sondern auch der empirische Evaluationsrahmen für alle ausgewählten „Best Practice“-Beispiele bei den Projektpartnern abgesteckt.

Biodiversität schützen *und* nützen

Schülerinnen und Schüler sollen aber nicht allein fachwissenschaftliches Wissen erlernen, sondern zugleich in einem engagierten Rollenspiel auf politische und gesellschaftliche Konflikte vorbereitet werden, welche die Gefährdung, die Nutzung und den Schutz des Waldes betreffen. Ein Zukunftsszenario verdeutlicht ihnen die Nachteile einer artenarmen Fichtenmonokultur im Klimawandel. Wie soll eine durch Trockenheit, Sturmwurf und Borkenkäferkalamität weitgehend zerstörte Monokultur aufgeforstet werden? In einer Diskussion über den

Nutzungskonflikt eines „Zukunftswaldes“ schlüpfen die Jugendlichen in die Rollen verschiedener Interessensgruppen und erarbeiten ein Konzept für eine nachhaltige Waldwirtschaft. Dabei sollen die zunächst widersprüchlich erscheinenden Ziele „Schützen“ und „Nützen“ in Einklang gebracht werden. Durch die Verbindung von Theorie und Praxis schafft das Lernprogramm „Wald mit Zukunft“ einen Zugang zum Thema Biodiversität und Nachhaltigkeit, der auf der Höhe der Zeit ist, und weckt das Interesse junger Menschen für den Erhalt der biologischen Vielfalt.

LITERATURTIPP

F. X. Bogner, V. Ulm: Forschendes Lernen. Die Universität Bayreuth – ein Innovationszentrum für das Bildungssystem, in: Spektrum 2016/1 der Universität Bayreuth, S. 14-17.

■ Abb. 6: Schülerin während einer Bestimmungsübung (Foto: Jennifer Schneiderhan).

■ Das Infoblatt zur Station 4 des Lernprogramms „Wald mit Zukunft“ beschreibt ein Zukunftsszenario.

Station 4: Zukunftswald



Wir schreiben das Jahr 2050 im bayerischen Zukunftshausen. Durch den Klimawandel sind die durchschnittlichen Temperaturen in Deutschland gestiegen. Die Sommermonate sind von anhaltender Trockenheit und Hitzewellen geprägt. In den milden Wintermonaten kommt es häufig zu extremen Stürmen und Starkregen. In dieser Zeit lebt der Förster Kevin Konventionell, der für den Zukunftshausener Stadtwald verantwortlich ist. Seit jeher betreibt er für die Stadt konventionelle Forstwirtschaft und baut Fichten in Monokultur an. Das Holz der schnellwachsenden Nadelbäume erbrachte stets guten Profit auf dem Holzmarkt. Auch Totholz entfernt Kevin Konventionell aus dem Wald, um es als Brennholz zu verkaufen. In den letzten Jahren hatte er jedoch wenig Glück mit seinen Fichten. Zunächst verlor er große Teile des Bestands durch einen Windsturm. Daraufhin wurden die übrigen Bäume von einer Borkenkäferplage heimgesucht. Seine Baumplantage ist heute weitgehend zerstört.

Der Leiter des Forstbetriebs Zukunftshausen hat eine Versammlung verschiedener Interessensgruppen einberufen, um über die Zukunft des Waldes zu entscheiden. Es diskutieren ein Mitarbeiter des NABU (Naturschutzbund Deutschland), der Vorsitzende des Heimatvereins Zukunftshausen sowie der Vorsitzende des Jagdvereins Zukunftshausen e.V. miteinander.

Ziel dieser Zusammenkunft ist es, ein **Konzept für einen zukunftsfähigen Wald**, den **Zukunftswald**, zu erarbeiten. Hierfür sollen zunächst die Fehler erörtert werden, die Kevin Konventionell begangen hat, um anschließend das Konzept zu entwickeln.

Nun dürft ihr diese Versammlung in einem Rollenspiel nachspielen! Bearbeitet hierfür die Arbeitsaufträge in eurem Arbeitsheft.



Luftaufnahme: Franz X. Bogner.

Für das Leben lernen?

Auf dem Weg
zur Nachhaltigkeit
schulischer Bildung



■ Auch Schulzeit ist Lebenszeit, Schule und Leben ergänzen einander. Wie sinnvoll also ist der vielzitierte lateinische Spruch, der noch heute auf manchen Schulportalen zu lesen ist? (sst)

Kleines Bild: Inschrift über dem Eingang des Hermann-Böse-Gymnasiums in Bremen, einer Europaschule und IB World School (Foto: wikimedia commons / Public domain).

In schulischen Abschlussreden heißt es oft: „Nicht für die Schule, sondern für das Leben lernen wir.“ Die ursprüngliche lateinische Version dieses Spruchs findet sich bei dem römischen Philosophen Seneca, aber sie lautet genau umgekehrt: „Nicht für das Leben, sondern für die Schule lernen wir“ (*Non vitae, sed scholae discimus*). Gleichwohl ist die Umkehrung Allgemeingut geworden – aber wie sinnvoll ist sie? Da hat man als Schüler 13 Jahre in der Regelschule verbracht, und nur für ein Leben danach? Und was, wenn Schule die hier unterstellte Nachhaltigkeit gar nicht leisten kann? Und weiter: Ist Schulzeit nicht auch Lebenszeit? Diesen Fragen sollen die folgenden Überlegungen kritisch nachgehen. Dabei wird, wenn von Schule die Rede ist, die Hochschule implizit mitgedacht. Denn wie Karl Jaspers 1961 schrieb: „Die Universität ist eine Schule, aber eine einzigartige Schule.“¹

Argumente für die Schule

In der Umkehrung des Seneca-Zitats kommt Schule irgendwie schlecht weg. Doch zu Recht? Genau gesehen, für einen Schulpädagogen nicht:

- Die allgemeine Verbreitung grundlegender Fähigkeiten wie Lesen, Schreiben und Rechnen ist ohne Schule nur schwer denkbar.
- Soziale Kompetenzen werden in der Schule zumindest angebahnt.
- Auch das Lernen selbst ist eine Fähigkeit, die wesentlich in der Schule vermittelt wird.
- Das im Gymnasium bis zum Abitur erworbene Wissen führt zur Allgemeinen Hochschulreife. Auch wenn dieser Wissenskanon nie operationalisiert wurde, so konnte doch die Universität mit dieser Unschärfe an Wissen, das die Studierenden mitbringen, zumindest bisher sehr gut leben.²
- Manch einer, der den Spruch „Nicht für die Schule ...“ zitiert, ist geneigt, „Schule“ mit „Noten“ gleichzusetzen. Doch mit der Notengebung kommt die Schule der ihr zugesprochenen Selektionsfunktion nach. Diese ist eine ihrer wichtigen Aufgaben. Wenn sie das Selektieren unterlässt, werden es andere tun.
- Die Abgrenzung „... sondern für das Leben“ unterstellt, dass Schule nicht auch Leben sei – welch ein Irrtum! Nicht umsonst sprechen wir heute vom Schulleben.

Lernen: Wie und was?

Angestoßen durch internationale Vergleichsstudien wie TIMSS und PISA, richtet sich das Interesse der Bildungsforschung hauptsächlich auf die Frage: „Wie geht das: richtig unterrichten?“ Dabei wurde immer wieder auf das Problem hingewiesen, dass die Lernenden zwar Wissen erwerben, aber sich schwer tun, es für die Lösung von Alltagsproblemen zu nutzen. Parallel zur Entwicklung neuer Lehr- und Lernformen wurden auch die Inhalte des Schulunterrichts neu justiert. Bildungsstandards und kompetenzorientiertes Unterrichten lösen heute altherwürdige Lehr- und Lernzielkataloge ab. Es geht kaum noch darum, was Schüler lernen sollen, sondern vielmehr darum, was sie tatsächlich können. „Outputorientierung“ statt „Inputorientierung“ wird so zur Richtschnur aller Bemühungen um ein effektives Schulsystem. Von dieser Entwicklung sind die Hochschulen nicht ausgenommen. „Employability“ ist auch hier ein Schlagwort.

Könnte doch die Schule auf das Leben vorbereiten! – so möchte man die bildungspolitischen Bemühungen der letzten Jahre zusammenfassen, die durchweg den Eindruck erzeugen, als ob Lernen das Leben selbst beträfe. Doch auf welches Leben soll Lernen vorbereiten? Sollen wir Kompetenzen sammeln wie Briefmarken, wie der Bildungsforscher Andreas Dörpinghaus süffisant bemerkt hat?³ In den Debatten der Bildungspolitik schwingt häufig die Annahme mit, man könne sich Transferwissen aneignen. Transferwissen lässt sich von Inhalts- und Zusammenhangswissen abgrenzen und meint die Fähigkeit, Gelerntes auf Neues zu übertragen. Allerdings wissen wir heute, dass Transferwissen nicht so leicht erlernbar ist. Und was genau hat man sich darunter *inhaltlich* vorzustellen? Darauf gibt es wenig Antworten. Seit der PISA-Diskussion im Jahr 2000 tritt die Frage nach den Inhalten des Lernens in den Hintergrund. Es soll *das Lernen* gelernt werden und nicht *etwas*, und das lebenslang.

Die Forderung, dass die Menschen sich in diesem Sinne als lebenslang Lernende verstehen sollen, ist noch in einer weiteren Hinsicht problematisch. Sie erweckt leicht den Eindruck, dass wir nie mit etwas fertig werden. Aber sollen wir uns tatsächlich von der Vorstellung treiben lassen, das Leben sei eine ständige Jagd nach der Kompensation von Defiziten, die nie ans Ziel kommt?

AUTOR



■ Prof. Dr. Ludwig Haag ist Inhaber des Lehrstuhls für Schulpädagogik an der Universität Bayreuth.



■ Abb. 1: Persönliche Betreuung, ein wichtiger Aspekt des Schullebens (sst).

**„Schule hat ihren eigenen Sinn,
und im Idealfall sollte vom Leben wieder eine Rückbesinnung zur Schule erfolgen.“**



■ Abb. 2: Lucius Annaeus Seneca. Eine römische Doppelherme aus der ersten Hälfte des 3. Jahrhunderts, die zur Antikensammlung Berlin gehört, zeigt ihn zusammen mit dem griechischen Philosophen Sokrates (Foto: Calidius / wikimedia commons / CC-BY-SA-3.0-migrated).

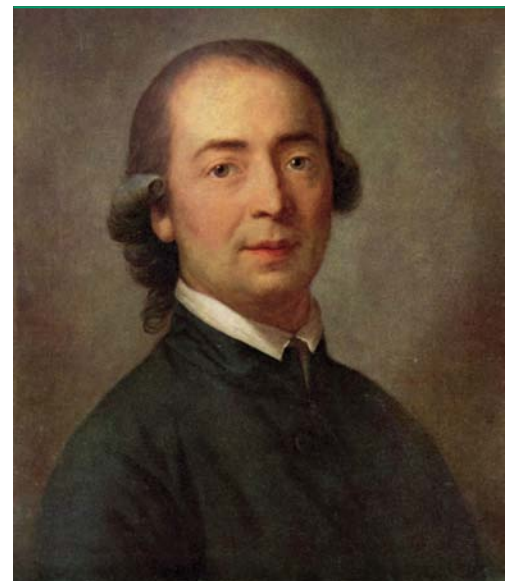
Seneca: Tugendhaftes Leben statt nutzloser Gelehrsamkeit

Der Brief 106 der *Epistulae morales ad Lucilium* handelt von der Körperlichkeit aller Güter. Ganz in der Tradition von Lukrez bejaht Seneca (4 v. Chr. - 65 n. Chr.) darin die Frage, ob ein Gut ein Körper sei (*bonum an corpus sit*).⁴ Zur Begründung holt er zunächst weit aus, um am Ende die Bedeutung der Frage zu relativieren und festzustellen: „Wir spielen mit Steinchen. An Unnötigem wird der Scharfsinn geübt. Dergleichen macht nicht tugendhaft, sondern gelehrt. (...) Wenig Wissenschaft braucht es zu tugendhafter Gesinnung. Wie in allem, so leiden wir auch in den Wissenschaften an Unmäßigkeit. Nicht für das Leben, sondern für die Schule lernen wir.“⁵

Halten wir fest: Seneca beschreibt die Schulsituation seiner Zeit, und zwar über alle Schulformen hinweg.⁶ Sowohl die Elementarschule als auch die Schule des Grammaticus, die die Jugendlichen bis etwa zum 15. Lebensjahr besuchten, waren nichts anderes als reine Dressuranstalten für Gedächtnisübung. Ähnlich verhielt es sich in der Rednerausbildung, die bis etwa zum 20. Lebensjahr dauerte. Hatte der Student die lange Reihe der vorbereitenden Übungen hinter sich, so wurden ihm vom Lehrer frei erfundene, unwahrscheinliche, eben lebens- und weltfremde Themen gestellt, die er in eine Rede gießen musste. Diese Themen sah man als nutzbringender, weil schwieriger an als solche des wirklichen Lebens. Lebensferne der Schule bedeutete damals, sich nach dem Vorbild der hellenistischen Bildung zu richten. Für Seneca als Stoiker kommt es jedoch allein auf die *vita* an, und das heißt: Der Sinn liegt im tugendhaften Leben. Genau dies aber werde in der Schule nicht gelehrt. Deshalb sei die Erziehung in der Schule kaum geeignet, junge Menschen auf das Leben vorzubereiten. Und so konstatiert er am Schluss seines Briefs: *Non vitae, sed scholae discimus*.

als Papagei gelernt.“ „Seine Gedanken kann mir der Lehrer nicht eingeben, eintrichtern; meine Gedanken kann, will und muss er durch Worte wecken; also dass sie meine, nicht seine Gedanken sind.“

- **Schule** ist die Basis für ein fundiertes Wissen: „Dem Wort Schule ist die Welt in allen Künsten und Wissenschaften viel schuldig; Übung unter einem guten Lehrer gibt ein sicheres Hand- und Augenmaß, eine vernünftige Tendenz, eine feste Regel.“ Schulmäßig lernen heißt für Herder: „fest, bestimmt, recht lernen“.
- **Leben** ist freilich mehr als der Besitz von Kenntnissen und kognitiven Fähigkeiten: „Endlich da das Leben nicht nur Kenntnisse und Gedanken, sondern auch Willen, Triebe, Taten braucht, und in diesen vor allem das Leben besteht, so wendet sich der Spruch ‚nicht der Schule, sondern dem Leben zu lernen‘ vorzüglich auf Bildung des Herzens und des Charakters.“



■ Abb. 3 (re.): Johann Gottfried Herder, porträtiert von Anton Graff (1736-1813). Ölgemälde aus dem Gleimhaus Halberstadt (Foto: wikimedia commons / CC-PD-Mark).

LITERATURTIPPS

L. Haag: *Non scholae, sed vitae discimus*. Warum nicht?: Et scholae et vitae discimus, in: H.-U. Grunder (Hg.): *Mythen – Irrtümer – Unwahrheiten. Essays über „das Valsche“ in der Pädagogik*. Bad Heilbrunn 2017.

A. Dörpinghaus: Abschied vom lebenslangen Lernen, in: *Forschung & Lehre* 2017, 8/17, S. 674-678.

Herder: Kenntnisse und Herzensbildung

Johann Gottfried Herder (1744-1803) hielt 1800 in seiner Funktion als ehemaliger Direktor des örtlichen Gymnasiums und als Vorsteher des Schulwesens in Weimar eine Schulrede mit dem Titel: *Vitae, non scholae discendum*.⁷ Aus dem Indikativ bei Seneca wird hier ein Appell an die Lernenden. Es gilt, für das Leben und nicht für die Schule zu lernen:⁸

- **Lernen** ist mehr, als sich fremde Worte einzuprägen: „... ohne Gedanken aber hat man sie nur

„Was heißt dem Leben lernen?“, fragt Herder und antwortet: „Offenbar was nützlich im Leben ist, was angewandt werden kann, wodurch wir besser leben lernen.“⁹ Die Abgrenzung „Non scholae ...“ ist bei ihm nicht abschätzig gemeint. Bildung hat sehr wohl auch kognitive Dimensionen, darüber hinaus aber steht die Herzens- und Charakterbildung im Zentrum.

Herbart: Muße, Tun und Leiden

In seinem 1806 veröffentlichten Werk „Allgemeine Pädagogik aus dem Zweck der Erziehung abgelei-

tet“¹⁰ hat Johann Friedrich Herbart (1776-1841) dem „Resultat des Unterrichts“ ein eigenes Kapitel gewidmet. Unter die Überschrift „Das Leben und die Schule“ setzt er hier gleich die Norm: *Non scholae, sed vitae discendum!* („Nicht für die Schule, sondern für das Leben muss man lernen!“). Herbart fährt fort: „Dieser weise Spruch würde etwas klärer sein, wenn man erst wüsste, was er *Schule*, und was er *Leben* nennt.“¹¹



Seine eigene Antwort lautet: „Schule heißt Muße; und die Muße ist das Gemeingut für Spekulation, Geschmack, und Religion.“¹² Das Leben hingegen bestimmt er als „die Hingebung des teilnehmenden Beobachters an den Wechsel des äußern Tun und Leiden“. Entscheidend ist dabei der „Übergang vom Tun und Leiden zur Muße, und wieder von der Muße zur Tat und zum Leiden.“ Dieser ständige Wechsel sei das „Atmen des menschlichen Geistes“, ein „Kennzeichen der Gesundheit“. Für Herbart gehören daher Schule und Leben zusammen – unter der Bedingung, dass Unterricht wahrhaft und vielseitig ist. In seiner 1818 erschienenen Abhandlung „Über das Verhältnis der Schule zum Leben“ schreibt er: „Also aus der Schule ins Leben, und wieder zurück aus dem Leben in die Schule; das wäre wohl der beste Gang, den jemand gehen könnte.“¹³

Schlussgedanken

Die negative Sichtweise, die in dem „Non scholae, sed vitae“ anklingt, hat die Schule, auch die Hoch-

schule nicht verdient – zumal Schule ein lebenswerter Ort ist, der in der Lage ist, Lernende lebenslang zu begleiten. Warum sagen wir nicht sinnvoller: „Für die Schule und für das Leben lernen wir“? Herbart sieht Schule und Leben mit Recht komplementär zueinander: Beide brauchen sich gegenseitig. Schule hat ihren eigenen Sinn, und im Idealfall sollte vom Leben wieder eine Rückbesinnung zur Schule erfolgen. Wäre das nicht eine moderne Auslegung lebenslangen und nachhaltigen Lernens?

Mancher Leser mag allerdings jetzt einwerfen, dass Schule in einem viel umfassenderen, in die Zukunft ausgreifenden Sinn auf Nachhaltigkeit ausgerichtet sein solle und auch gegenüber nachkommenden Generationen eine gesellschaftspolitische Verantwortung wahrnehmen müsse. Doch gerade der Schulpädagoge darf an dieser Stelle daran erinnern, dass die Fähigkeit der Schule, als gesellschaftliche Institution nachhaltig wirken zu können, gerne überschätzt wird. Vor allem zweierlei ist zu bedenken:

- Regelschule findet an 200 Tagen im Schuljahr statt, durchschnittlich rund fünf Zeitstunden pro Tag. Ungefähr genauso viel Zeit im Jahr verbringen nicht wenige Schüler heute mit der Nutzung von Online-Medien.¹⁴ Schulisches Lernen ist nur eine von vielen Aktivitäten, und der Weg vom Wissen zum kompetenten Handeln ist lang.
- In einer Demokratie sind Lehrpläne das Ergebnis eines Ringens der gesellschaftlichen Mächte. Vieles ist wünschenswert, nicht alles machbar. Zwar kann man für eine ganze Schülergeneration zentrale Themen in einem zeitgemäßen Bildungskanon festlegen. Der Bildungsforscher Wolfgang Klafki prägte dafür den Begriff der epochaltypischen Schlüsselprobleme.¹⁵ Doch auch dann bleibt der Weg weit ...

- 1 K. Jaspers: Einleitung. Das Bild der Universität, in: Die Idee der Universität. Für die gegenwärtige Situation entworfen von K. Jaspers und K. Rossmann. Berlin = Heidelberg 1961, S. 1.
- 2 J. Oelkers: Kanon und Wissen. Standards gymnasialer Bildung, in: Anregung (1999), 41, S. 250-261.
- 3 Vgl. Andreas Dörpinghaus (2017), siehe Literaturtipps.
- 4 L. A. Seneca: Epistulae morales. Bearb. von G. Krüger. Stuttgart 1963.
- 5 „Latrunculis ludimus. In supervacuis subtilitas teritur: non faciunt bonos ista sed doctos. (...) paucis [satis] est ad mentem bonam uti litteris, sed nos, ut cetera in supervacuum diffundimus, ita philosophiam ipsam. Quem admodum omnium rerum, sic litterarum quoque intemperantia laboramus: non vitae sed scholae discimus.“
- 6 H. I. Marrou: Geschichte der Erziehung im klassischen Altertum. München 1977.
- 7 Zitiert nach W. Flitner (Hg.): Die Erziehung. Pädagogen und Philosophen über die Erziehung und ihre Probleme. Bremen 1953, S. 223-232.
- 8 Die folgenden Zitate auf S. 223, 225, 228 und 231; mit heutiger Orthografie.
- 9 Ebd. S. 228.
- 10 J. F. Herbart: Allgemeine Pädagogik aus dem Zweck der Erziehung abgeleitet, in E. Blochmann, G. Geißler, H. Nohl, E. Weniger (Hg.): Kleine Pädagogische Texte, Bd. 25. Weinheim 1965.
- 11 Ebd. S. 109; zitiert mit heutiger Orthographie.
- 12 Dieses und die folgenden Zitate ebd., S. 113.
- 13 J. F. Herbart: Über das Verhältnis der Schule zum Leben, 1818, in: F. Bartholomäi (Hg.): Joh. Friedr. Herbart's Pädagogische Schriften. Langensalza 1906, S. 267-273 (7. Aufl.).
- 14 Medienpädagogischer Forschungsdienst Südwest (Hg.): JIM-Studie 2016. Jugend, Information, (Multi-)Media. Stuttgart 2016. Online: www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2016/JIM_Studie_2016.pdf.
- 15 W. Klafki: Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik. Weinheim/Basel 1991 (2., erweiterte Auflage).

■ Abb. 4 (oben): Johann Friedrich Herbart, Kupferstich von Konrad Geyer (1816-1893) aus: „Die großen Deutschen im Bilde“ von Michael Schönlitz (wikimedia commons / CC-PD-Mark).

■ Abb. 5 (re.): Online-Medien prägen das Freizeitverhalten vieler Jugendlicher. Der Einfluss der Schule auf Bildung und Erziehung sollte nicht überschätzt werden (sst).





■ Rudolf Schübler

Nachhaltigkeit, politisch gedacht

Zur Realisierung von Nachhaltigkeitszielen in der Demokratie

■ Am 22. April 2017, dem diesjährigen Earth Day, fand in vielen Metropolen ein March for Science statt: ein Beispiel für demokratisches Engagement zugunsten einer Nachhaltigkeitspolitik, die ihre Ziele nur dann erreicht, wenn sie sich nicht von wissenschaftlicher Rationalität verabschiedet. Hier die Veranstaltung in Melbourne (Foto: John Englart / wikimedia commons / CC-BY-SA-2.0).

Nachhaltigkeit wird im öffentlichen Verständnis oft mit Umweltschutz gleichgesetzt. Die wissenschaftliche Debatte um diesen Begriff offenbart dagegen eine weitaus größere Bandbreite von Interpretationen. Ausgangspunkt der Debatte ist der unter Leitung der norwegischen Ministerpräsidentin Gro Harlem Brundtland entstandene UN-Bericht „Our Common Future“ von 1987, der nachhaltige Entwicklung (*sustainable development*) wie folgt spezifiziert¹: „Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.“

Drei Säulen der Nachhaltigkeit: Konkurrenz und Kompromisse

Nachhaltigkeit vermittelt demnach zwischen den Bedürfnissen gegenwärtiger und zukünftiger Generationen. Die Erhaltung natürlicher Güter und der Schutz der natürlichen Umwelt, der den Klimaschutz einschließt, nehmen dabei eine zentrale Stellung ein. Die langfristige oder sogar irreversible Zerstörung von ökologischen Lebensgrundlagen dürfte zukünftige Generationen ziemlich wirkungsvoll daran hindern, ihre menschlichen Grundbedürfnisse zu erfüllen. Ökologische Versäumnisse lassen sich kaum wieder gut machen, wenn Schäden irreversibel geworden sind, oder wie im Fall der globalen Erwärmung nur über sehr lange Zeiträume wieder behoben werden können. Bei den anderen Säulen des Nachhaltigkeitsbegriffs fällt die Problematik der Irreversibilität weniger ins Gewicht. Meist werden (mindestens) zwei weitere Säulen angenommen: wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und soziale Gerechtigkeit.² Beide bilden Voraussetzungen für die angemessene Befriedigung von Grundbedürfnissen der Mehrzahl heute lebender Menschen, und es ist plausibel, auch zukünftigen Generationen ein hochrangiges Interesse an wirtschaftlicher Leistungskraft und sozialer Gerechtigkeit zuzuschreiben. Nachhaltigkeit erfordert mithin einen Balanceakt. Die Interessen gegenwärtiger und zukünftiger Generationen sind gleichermaßen zu wahren, indem für die drei Säulen der Nachhaltigkeit – Umwelt, Wirtschaft, Soziales – jetzt und auf Dauer angemessene Zielwerte eingehalten werden.

Wie die Praxis zeigt, ist diese Vorgabe nicht immer leicht zu erfüllen. Bei der deutschen Wende hin zu erneuerbaren Energieträgern (Energiewende) wird beispielsweise die Säule der sozialen Gerechtigkeit vernachlässigt. Ärmere Haushalte tragen, zumindest

beim gegenwärtigen Finanzierungsmodus, überproportional viel von den Kosten der Energiewende. Das lässt sich kaum mit Prinzipien der sozialen Gerechtigkeit vereinbaren.³ Es wäre jedoch verfehlt, hierin nur ein sehr spezielles Defizit eines bestimmten politischen Projekts zu sehen. Ausgangspunkt ist ein generelles Problem mit der Bepreisung von Umweltgütern wie sauberer Luft oder Klimaschutz. Preise für Umweltgüter wirken grundsätzlich regressiv, das heißt, sie belasten Geringverdiener proportional zum Einkommen mehr als Besserverdiener. Wird dieser Effekt nicht durch Sozialpolitiken ausgeglichen, sorgt er für eine soziale Schieflage der Umweltpolitik.

„Ohne eine langfristige Konstanz staatlicher Politiken, die bestenfalls Anpassungen, aber keine Totalrevision zulässt, kann Nachhaltigkeit nicht gelingen.“

Ob dies zu einem Verstoß gegen die Prinzipien der Nachhaltigkeit führt, lässt sich weniger leicht feststellen. Die Säulen der Nachhaltigkeit stehen, wie dargelegt, begrenzt in Konkurrenz zueinander, weshalb ein Kompromiss hinsichtlich der Erfüllung ökologischer, wirtschaftlicher und sozialer Ziele erforderlich wird. Welche Kompromisse angemessen oder auch nur erträglich sind, ist in einem Prozess der gesellschaftlichen Selbstverständigung und somit letztlich politisch zu entscheiden. Natürlich gibt es auch faule politische Kompromisse, aber die Meinungen, welche Kompromisse faul sind und welche nicht, gehen selbst unter vernünftigen Betrachtern oft weit auseinander. Entsprechend schwer fällt der Nachweis eines unzumutbaren Kompromisses zwischen Säulen der Nachhaltigkeit, besonders wenn der Kompromiss durch politische Eingriffe einigermaßen kurzfristig geändert werden könnte.

Politische Nachhaltigkeit und ihre Gefährdung

Damit kommen wir zur politischen Dimension von Nachhaltigkeit. Politische Entscheidungsprozesse werden in der Debatte um Nachhaltigkeit gemeinhin als abhängige Variable behandelt. Das heißt, sie sind so zu gestalten, dass die Zielwerte der Nachhaltigkeit buchstäblich im grünen Bereich bleiben.⁴ Die Annahme der Verfügbarkeit politischer Prozesse unterstellt ein „Wir“, das wie eine verantwortungsbewusste Einzelperson einen kohärenten Handlungs-

■ Abb. 1-3: Intakte Umwelt, soziale Gerechtigkeit und wirtschaftliche Leistungsfähigkeit bilden die drei Säulen der Nachhaltigkeit (Bild 1 und 3: sst, Bild 2: Sergey Kohl / Shutterstock.com).

plan fasst und umsetzt. Weil es sich in der Regel um sehr langfristige Ziele handelt, muss diese Person ihren Plan im Zeitverlauf konsistent weiterentwickeln und anpassen. Was Philosophen und Ökonomen intertemporale Rationalität nennen, gewinnt dadurch für die politische Realisation von Nachhaltigkeitsstrategien eine besondere Bedeutung. Intertemporal rational handeln Akteure, deren Pläne über eine relevante Zeitperiode hin in sich stimmig sind. Das heißt, geplante Abläufe greifen effizient ineinander und konterkarieren einander nicht wechselseitig. Idealerweise erreichen die Akteure über die Zeit optimal ihre Ziele. Das Gegenbild wäre ein ‚Schaukelmodell‘ der Planung: die Ziele einer Periode werden in der nächsten Periode kassiert und durch andere ersetzt, die in der darauffolgenden Periode wiederum aufgegeben werden – und so weiter.

Demokratische Gemeinwesen sind in besonderer Weise für die Gefahren von Schaukelpolitik anfällig. Wiederkehrende Wahlperioden ermöglichen es, gefasste Pläne und auf den Weg gebrachte Politiken zu revidieren. Dies ist wohlgerneht einer der Vorzüge von Demokratien, der es erlaubt, Fehler rückgängig zu machen. Nur so kann die Demokratie zu dem werden, als was sie Churchill schätzte: die schlechteste Staatsform, ausgenommen alle anderen – also das kleinste bekannte Übel unter allen Staatsformen. Die Tugend einer im politischen System verankerten Fehlerrevision zieht allerdings Gefahren für die politische Nachhaltigkeit nach sich. Der Begriff „Politische Nachhaltigkeit“ bezeichnet im folgenden die auf Dauer gestellte Realisation der drei Nachhaltigkeitsziele (wirtschaftliche Leistungsfähigkeit, soziale Gerechtigkeit und intakte Umwelt) durch politisches Handeln in einem politischen Handlungsverbund.⁵ Ohne politische Nachhaltigkeit kann es unter den gegenwärtigen Bedingungen des menschlichen Zusammenlebens keine Nachhaltigkeit geben, denn das kollektive Handeln von Menschen wird weitgehend von politischen Gemeinwesen bestimmt. Sofern es unabhängig von solchen Gemeinwesen erfolgt (in Unternehmen, Verbänden oder internationalen Vereinigungen), setzen politische Gemeinwesen zumindest den rechtlichen und normativen Rahmen kollektiven Handelns, beispielsweise durch nationales und internationales Recht oder zwischenstaatliche Diplomatie.

Es gibt eine reichhaltige politikwissenschaftliche Debatte darüber, in welchem Umfang selbständige Staaten in einer Epoche der Globalisierung noch die maßgeblichen Akteure sind, die unser kollektives Handeln hinsichtlich Wirtschafts-, Sozial- und Um-



weltpolitiken bestimmen.⁶ Nach Meinung einiger Beobachter verloren Einzelstaaten in den letzten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts diesbezüglich an Bedeutung. Seither scheinen sie jedoch wieder an Gewicht gewonnen zu haben. Ohne Trends beschwören zu wollen, lässt sich festhalten, dass die wichtigsten Elemente politischer Planung immer noch in der Verfügungsgewalt von Einzelstaaten liegen. Die drei Säulen der Nachhaltigkeit hängen damit für sich und in der globalen Summe wesentlich

AUTOR



■ Prof. Dr. Rudolf Schüßler ist Inhaber des Lehrstuhls Philosophie II an der Universität Bayreuth.

von Politiken ab, die Staaten jeweils für sich beschließen – und sei es durch Unterschrift unter internationale Verträge.

Politische Nachhaltigkeit: eine notwendige Dimension von Nachhaltigkeitspolitik

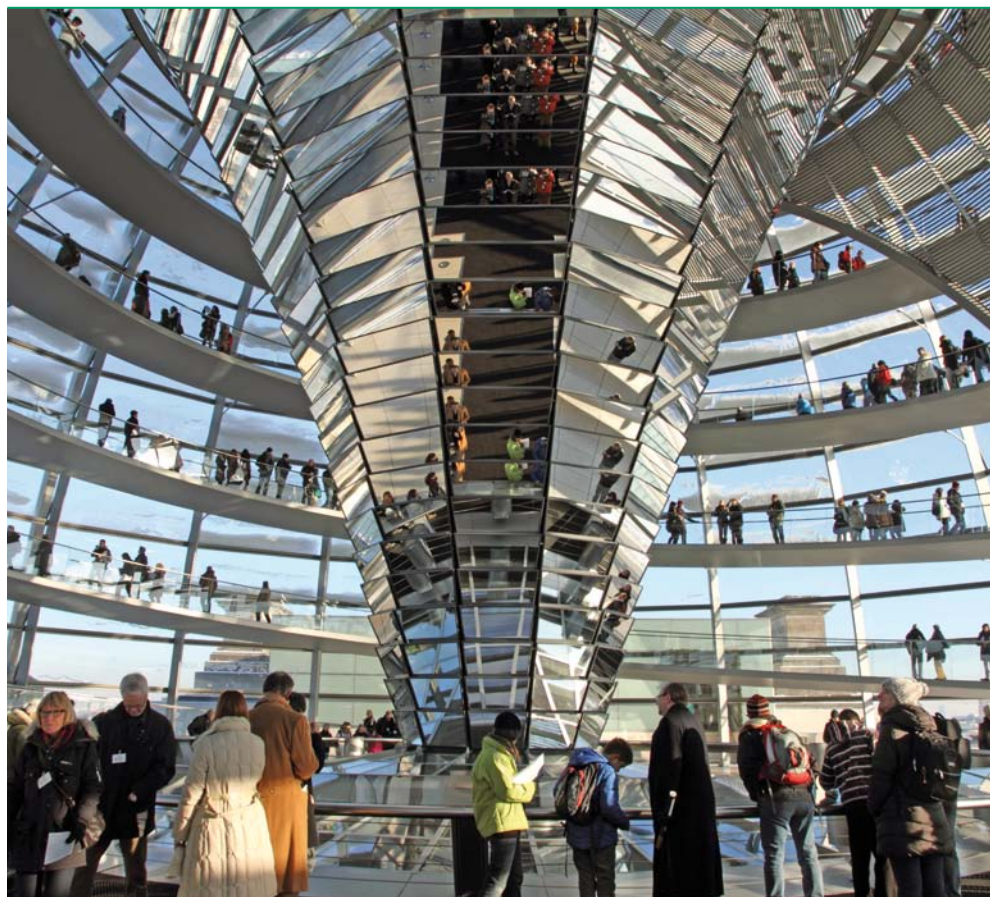
Über politische Nachhaltigkeit entscheiden folglich die politischen Abläufe in Staaten. Ohne eine langfristige Konstanz staatlicher Politiken, die bestenfalls Anpassungen, aber keine Totalrevision zulässt, kann Nachhaltigkeit aber nicht gelingen. Diese Einsicht sollte in weit größerem Umfang in den Nachhaltigkeitsdiskurs einfließen, als das gegenwärtig der Fall ist – beispielsweise indem Nachhaltigkeitsbilanzen durch ein politisches Element ergänzt werden. Das heißt, es sollte zu jedem Zeitpunkt sichtbar werden, inwieweit die Fortsetzung von Nachhaltigkeitspolitiken gefährdet erscheint. Ein entsprechender Indikator könnte anhand von Umfragen und Wahlergebnissen anzeigen, wie sehr die Stabilität von Nachhaltigkeitspolitiken gefährdet ist. Die Konjunkturen von Politikern oder Parteien, die sich zu Nachhaltigkeit bekennen, erlauben dabei eine Risikoabschätzung für politische Nachhaltigkeit. Am einfachsten erscheint das, wenn nur die ökologische Seite der Nachhaltigkeit betrachtet wird. Kompliziert wird es, wenn auch Bewegungen hin zu mehr Wirtschaftsleistung oder sozialer Gerechtigkeit als zielführend anerkannt werden. Selbst deutliche Verschiebungen in der Betonung einzelner Säulen der Nachhaltigkeit wären dann nicht ohne Weiteres als Abweichung vom Oberziel der Nachhaltigkeit anzusehen, und entsprechende politische Bestrebungen blieben mit einer Orientierung an Nachhaltigkeit vereinbar. Immerhin könnten jedoch Politiker und Parteien, die außerhalb der Bandbreite üblicher Kompromisse zwischen den Säulen der Nachhaltigkeit operieren, als Risikofaktoren identifiziert werden.

Das wird besonders dann wichtig, wenn politische Nachhaltigkeit nicht einfach als zu gewährleistende Voraussetzung von Nachhaltigkeitspolitik aufgefasst wird, sondern richtigerweise als Variable, die selbst von Nachhaltigkeitspolitiken beeinflusst wird. Indikatoren für politische Nachhaltigkeit könnten ein Bewusstsein dafür schärfen, wann Nachhaltigkeitspolitiken ihre eigene politische Dauerhaftigkeit gefährden. In diesem Zusammenhang ist der folgende Punkt hervorzuheben: Nachhaltigkeitspolitiken müssen für ihre eigene politische Stabilität – also politische Nachhaltigkeit – sorgen, sonst handelt es sich nicht um Nachhaltigkeitspolitiken. Schließlich kön-

nen Politiken Nachhaltigkeit nur erreichen, wenn sie langfristig implementiert bleiben. Gefährden sie dieses politische Ziel, geraten sie in einen begrifflichen Selbstwiderspruch. Sie drohen zunichte zu machen, was sie anstreben. Um das zu vermeiden, dürfen Nachhaltigkeitspolitiken ihre eigene langfristige Umsetzung nicht unwahrscheinlich erscheinen lassen.

Weshalb ist das hier und heute relevant? Die Wahl von Donald Trump in den USA und der Aufstieg von populistischen politischen Kräften weltweit gefährden bestehende Kompromisse in Sachen Nachhaltigkeit. Es wäre verfehlt, diesen Kompromissen einen maßgeblichen Einfluss auf das Erstarken des Populismus zuzuschreiben. Aber die darin enthaltene Warnung sollte vernommen werden. Nachhaltigkeitsdiskurse fordern eine rapide wachsende Bereitschaft zur Veränderung etablierter Lebensmodelle. Die wahrscheinlichen politischen Rückwirkungen der dafür notwendigen Schritte sollten nüchtern prognostiziert und diskutiert werden. Denn Nachhaltigkeitspolitik muss sich mit der eigenen Nachhaltigkeit beschäftigen, um Selbstwidersprüche zu vermeiden.

- 1 V. Hauff (Hg.): Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Greven 1987, S. 51. Im originalen englischen Wortlaut veröffentlicht unter www.un-documents.net/wced-ocf.htm.
- 2 K. Ott und R. Döring: Theorie und Praxis starker Nachhaltigkeit. Marburg 2004.
- 3 R. Schüller: Energiewende und Gerechtigkeit, in: J. Gundel und K. W. Lange (Hg.): Neuausrichtung der deutschen Energieversorgung. Tübingen 2015, S. 17–36.
- 4 Vgl. A. Glaser: Nachhaltige Entwicklung in der Demokratie. Tübingen 2006; F. Ekardt: Theorie der Nachhaltigkeit. Baden-Baden 2016, \$6.
- 5 Das entspricht allgemeinen Vorstellungen zur Umsetzung von Nachhaltigkeitspolitiken (vgl. die Website des Umweltbundesamtes), es gibt aber überraschender Weise keine geläufige konzise Definition von politischer Nachhaltigkeit.
- 6 Vgl. C. C. von Weizsäcker: Logik der Globalisierung. Göttingen 1999.



■ Abb. 4: Besucher in der Kuppel des Reichstagsgebäudes in Berlin, dem Sitz des Deutschen Bundestags. (Foto: Ana del Castillo / Shutterstock.com).



■ Martin Leschke

Politik gegen zukünftige Generationen?

Gesetzgebung und Interessengruppen in marktwirtschaftlichen Demokratien

■ Blick in den Plenarsaal des Europäischen Parlaments in Straßburg (Foto: Ikars / shutterstock.com).

Moderne Gesellschaften haben – auch wenn sie demokratisch verfasst sind – oftmals Probleme, die Regeln des Rechts so zu gestalten, dass der wichtige Grundsatz der Nachhaltigkeit erfüllt ist. Nachhaltige Gesetzgebung bedeutet, dass die Regeln nicht nur den unterschiedlichen Interessen der lebenden Generation dienen, sondern auch die Interessen zukünftiger Generationen berücksichtigen. Sie ist deshalb darauf angelegt, dass wichtige gesellschaftliche Bereiche wie etwa die Umwelt, soziale Netzwerke und öffentliche Finanzen langfristig stabil bleiben. Nachhaltige Gesetzgebung ist insofern eine Gesetzgebung, die generationengerecht ist.

In demokratischen Rechtsstaaten hat die Gesetzgebung die Funktion, willkürliche ein- und wechselseitige Ausbeutungen weitgehend zu verhindern. Auf diese Weise werden regelgesteuerte Gesellschaften – wie der US-amerikanische Gerechtigkeits-theoretiker John Rawls meinte – zu Systemen der Kooperation; sie dienen dem wechselseitigen Vorteil der heute und in Zukunft lebenden Individuen.¹ Doch viele marktwirtschaftliche Demokratien scheinen diesem Anspruch nicht gerecht zu werden. Die Staatsverschuldung ist in einigen Staaten kaum mehr tragbar, die „Schere zwischen Arm und Reich“ geht immer weiter auseinander, und die Umweltprobleme nehmen offenbar zu. Auffällige Verstöße gegen das Prinzip einer als Generationengerechtigkeit verstandenen Nachhaltigkeit werden mehr und mehr zur Regel. Wie aber kommt es zu diesen Fehlentwicklungen? Im folgenden sollen zwei Begründungen diskutiert werden: der aus der Marktwirtschaft resultierende Wachstumszwang und das Problem der Interessengruppen (*pressure groups*).

Wachstumszwang durch Wettbewerb

Fundamentalkritiker, darunter vor allem Postwachstumsökonom, fassen die Marktwirtschaft als einen Koordinationsmechanismus auf, der die negativen Eigenschaften des Menschen wie Gier und Nutzenmehrung auf Kosten anderer fördert. Den Grund sehen sie in einem durch den Wettbewerb ausgelösten Wachstumszwang.² Unter dem Druck des Wettbewerbs würden die Konsumenten stets nach Neuerungen verlangen, die eher Statussymbolcharakter haben als langfristig glücklich machen. Die Unternehmen, die ihrerseits unter Konkurrenz- und Verkaufsdruck stehen, „feuern“ dieses Streben an, indem sie neue Produkte und Verfahren auf den Markt bringen und entsprechende Kaufanreize schaffen; zugleich müssen sie um Kosteneinsparungen be-

müht sein. Der Wettbewerb wird zusätzlich durch das zinsbasierte Schuldgeldsystem „angeheizt“. Denn wenn Unternehmen ihre Investitionen durch Kredite vorfinanzieren, sind sie aufgrund des Kreditzinses zur produktiven Verwendung ihrer finanziellen Mittel gezwungen, und so entsteht ein weiterer Wachstumszwang.³ Das zinsbasierte Schuldgeldsystem benötigt Wachstum, um selbst überleben zu können.⁴

Was aber folgt, wenn ein solcher Koordinationsmechanismus auf die endlichen Ressourcen unserer Erde trifft? Die Antwort ist für die Kritiker eindeutig: Es muss zu einer Übernutzung der Ressourcen und zu „Externalitäten“ kommen.⁵ So werden in der Volkswirtschaftslehre soziale Folgekosten bezeichnet, die letztlich von der Allgemeinheit – einschließlich der nachfolgenden Generationen – getragen werden müssen. Aus Sicht der Postwachstumsökonom führt der wettbewerbs- und schuldgeldinduzierte Wachstumszwang letztlich zu dem Ergebnis, dass Konsum-, Gewinn- und Einkommensziele in vielen Bereichen Vorrang vor Nachhaltigkeitszielen haben.⁶ Produktions- und Konsumentscheidungen schädigen daher die Lebensbedingungen der Bevölkerung in dem jeweils betrachteten Land und in anderen Ländern. Häufig werden diese Folgekosten erst mit zeitlicher Verzögerung spürbar. Ein Beispiel für solche Prozesse der kollektiven Selbstschädigung sind die steigenden Emissionen von Treibhausgasen, deren klimatische Folgen sich in vollem Umfang erst in der Zukunft bemerkbar machen.

„Marktwirtschaft und Demokratie werden nur dann von den Bürgern langfristig gestützt, wenn wirksame Regeln das Gemeinwohl und vor allem auch das Wohl zukünftiger Generationen schützen.“

Aber ob global, national oder lokal: Es lassen sich in vielen gesellschaftlichen Bereichen Folgekosten ausfindig machen, die gegen den Nachhaltigkeitsgrundsatz verstoßen. Oft sind sie, wenn diesbezügliche Umfragen zutreffen, von der Bevölkerung mehrheitlich gar nicht gewollt. Die Schuldigen scheinen schnell ausgemacht: Kurzsichtig und ausschließlich gewinnorientiert agierende Unternehmen. Zahlreiche Ökonomen jedoch sehen die Schuld woanders: nämlich in Defiziten des Regelrahmens. Externalitätenprobleme lassen sich ihrer Auffassung nach stets auf Regulierungsdefizite – also institutionelle Fehlanreize – zurückführen.



■ Abb. 1: Das Transparenz-Register wurde 2011 aufgrund eines Abkommens zwischen EU-Parlament und EU-Kommission eingerichtet und verfolgt das Ziel, Informationen über die Vertreter von Interessengruppen bereitzustellen, die auf europäischer Ebene die Gesetzgebung beeinflussen könnten (Screenshot).

LITERATURTIPP

M. Leschke: Nachhaltigkeit und Institutionen – eine wirtschaftswissenschaftliche Sicht, in: W. Kahl (Hg.): Nachhaltigkeit durch Organisation und Verfahren. Tübingen 2016, S. 235-252.



■ Abb. 1: Der Einsatz gentechnisch veränderter Organismen (GMO), wie zum Beispiel von Mais, in der Landwirtschaft ist weltweit hochumstritten. International agierende Non-Profit-Organisationen wie Greenpeace einerseits und der International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA) andererseits, die auf diesbezügliche Gesetzgebungsprozesse Einfluss nehmen wollen, vertreten dabei gegensätzliche Positionen. Beide berufen sich auf Nachhaltigkeitsziele (sst).

Das sehen die fundamentalen Marktwirtschaftskritiker ähnlich, wenn auch deutlich radikaler. Sie plädieren daher für eine radikale Umsteuerung: weg von einem Recht, das freiheitliches marktwirtschaftliches Handeln ermöglicht, und hin zu einem Recht, das in viel stärkerem Maße staatliches Handeln vorsieht und dadurch in Einklang mit dem Prinzip der Nachhaltigkeit stehen soll.⁷ So werden insbesondere staatliche Eingriffe in die Geldwirtschaft und die Grundversorgung, wie etwa in den Bereichen Trinkwasser, Energie und Wohnraum, gefordert. Die meisten Ökonomen beurteilen diesen radikalen Lösungsansatz jedoch eher kritisch, und dies zu Recht: Denn planwirtschaftliche Elemente schwächen die Effizienz, schaffen Anreize zur Korruption und erhöhen die Gefahr der Verknappung. Letztlich wird eine stark interventionistische Wirtschaft nicht in Einklang mit dem Prinzip der Nachhaltigkeit stehen, sondern – im Gegenteil – zu einem Rückgang des Wohlstands und einer Zunahme der Externalitäten führen. Ein Staat, der es nicht schafft, einen vernünftigen Regelrahmen in Einklang mit dem Nachhaltigkeitsprinzip hervorzubringen, wird keinesfalls in der Lage sein, dieses Prinzip durchzusetzen, wenn er noch mehr Aufgaben an sich zieht. Die meisten Ökonomen plädieren daher für „sanftere“ Lösungen, wie sie unten im letzten Abschnitt präsentiert werden.

Das Problem der Interessengruppen in der Demokratie

Moderne demokratische Gesellschaften sind regel-
 gesteuert. Die Gesetzgebung ist eine ihrer tragenden
 Säulen. Die Frage ist daher: Wer nimmt in der Gesell-
 schaft maßgeblich Einfluss auf die Planung und Ge-
 staltung der Gesetze? Ohne Zweifel kommt organi-
 sierten Interessengruppen eine zentrale Bedeutung
 zu. Es handelt sich, nach ökonomischem Verständnis,
 um freiwillige Zusammenschlüsse von Individuen,
 die damit gemeinsame Zwecke erreichen wollen.
 Wenn es darum geht, Einfluss auf die Politik oder
 die Öffentlichkeit zu nehmen, ist das kollektive Han-
 deln mittels einer organisierten Gruppe in der Regel

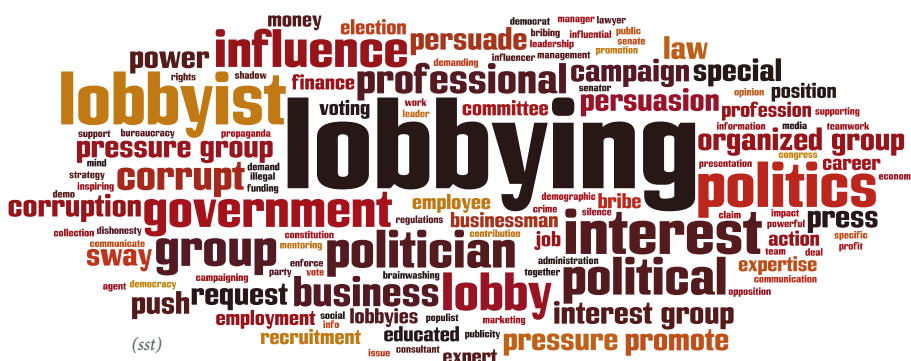
zielführender als das unorganisierte Handeln von Einzelnen.⁸ Ein Individuum wird sich aber nur dann einer Interessengruppe anschließen, wenn es sich einen Vorteil davon verspricht. Der Nutzen des kollektiv angestrebten Ziels – etwa eine begünstigende Regulierung, eine Subvention oder eine Steuererleichterung – muss die Kosten übersteigen.

Genau hier aber entsteht ein Dilemma: Das beste Nutzen-Kostenverhältnis ergibt sich nämlich für ein an der Kollektivleistung interessiertes Individuum genau dann, wenn andere Gruppenmitglieder die Kosten zur Erbringung der Leistung auf sich nehmen und es selbst die Trittbrettfahrerposition einnimmt. Wenn allerdings alle Individuen so denken und handeln, kommt die Interessengruppe erst gar nicht zustande. Es entsteht dann eine Situation der kollektiven Selbstschädigung.

Der Ökonom Mancur Olson hat in seiner „Logik des kollektiven Handelns“ drei Mechanismen präsentiert, die helfen, das Trittbrettfahrerproblem der Gruppen zu entschärfen und die Individuen zu kollektivem Handeln zu bewegen:⁹

- Spontane Sanktionen – oftmals handelt es sich um negative emotionale Reaktionen – sind ein einfaches Mittel, um Individuen zur aktiven Mitarbeit in Gruppen zu bewegen.
- Selektive Anreize, wie etwa positive emotionale Reaktionen oder auch materielle Vorteile, belohnen kooperatives Verhalten. Sie bieten jedem Gruppenmitglied einen Zusatznutzen, der den Nutzen des gemeinsam erreichten Ziels verstärkt.
- Das erfolgreiche Agieren der Gruppe kann auch durch einen Förderer sichergestellt werden, der das Gros der Kosten auf sich nimmt – und zwar auch dann, wenn andere Individuen die Trittbrettfahrerstrategie wählen.

Olsons These ist nun, dass diese Mechanismen tendenziell leichter und erfolgreicher in kleineren Gruppen angewendet werden können, die sich vorwiegend an konkreten Partialinteressen orientieren. Größere Gruppen, die Gemeinwohlziele verfolgen (*encompassing interests*), haben es hingegen schwerer, aktive Mitglieder zu akquirieren. Sie sind im politischen Prozess weniger sichtbar, agieren schwach und haben vergleichsweise geringe Chancen, die Gesetzgebung zu beeinflussen. Damit entsteht die begründete Gefahr, dass schlagkräftige egoistische Gruppen den Gesetzgebungsprozess so beeinflussen, dass Gemeinwohlinteressen und insbesondere die Interes-



sen zukünftiger Generationen systematisch verletzt werden. Vor dem Hintergrund dieser Logik dürften Verstöße gegen das Prinzip der Nachhaltigkeit nicht die Ausnahme, sondern eher die Regel sein.

Der Ökonom und Wirtschaftsnobelpreisträger Gary Becker schwächt das Ergebnis von Olson ein wenig ab.¹⁰ Er weist in seiner optimistischeren Theorie der Interessengruppen darauf hin, dass sich auch große Gruppen, die Gemeinwohlinteressen verfolgen, in der Presse und Öffentlichkeit Gehör verschaffen können. Zudem argumentiert er, dass die schlagkräftigen Gruppen, die sich auf Partialinteressen konzentrieren, im Wettbewerb stehen. Sie würden erkennen, dass ihre „Rent-Seeking-Aktivitäten“ – also das Verschaffen von Sondervorteilen ohne Rücksicht auf das Gemeinwohl – zu einer kollektiven Selbstschädigung führen und so die eigene Wettbewerbsposition schwächen können. Daher würden von diesen Gruppen immer wieder Vorschläge generiert, die darauf ausgerichtet sind, auch die Situation aller zu verbessern.

Auch wenn Beckers Argumente Raum für Optimismus lassen, widerlegen sie doch nicht die Möglichkeit, dass Gruppenegoismen die Gesetzgebung in Demokratien soweit zu ihren Gunsten beeinflussen, dass unerwünschte Verstöße gegen das Gemeinwohl und das Prinzip der Nachhaltigkeit die Folge sind. Umso mehr aber drängt sich die Frage auf, durch welche Maßnahmen sich diese Gefahr entschärfen lässt.

Was ist zu tun?

Kurzfristige Wirtschaftsinteressen oder andere Ansprüche dominieren oftmals die Politik und Gesetzgebung. Sofern Politiker jedoch erkennen, dass aus der Gemengelage „Wirtschafts- und Gruppenforderungen, Meinungswettbewerb, Wiederwahl“ unerwünschte und nicht-intendierte Folgewirkungen erwachsen, können sie Gegenmaßnahmen ergreifen. Sie können versuchen, eigene Entscheidungsspielräume durch institutionelle Bindungen so einzuengen, dass Verstöße gegen das Prinzip der Nachhaltigkeit unattraktiver und damit unwahrscheinlicher werden.

In Deutschland existieren bereits solche politischen Selbstbindungen. So ist die Verantwortung des Staates für zukünftige Generationen seit 1994 in Art. 20a GG verankert; bereits 1992, nach dem „Erdgipfel“ von Rio de Janeiro, hat die Bundesregierung den Wissenschaftlichen Beirat „Globale Umweltverände-

runge“ eingerichtet; auf Bundes- und Landesebene existieren diverse Gesetze zum Schutz der Umwelt und damit zukünftiger Generationen. Zudem setzen sich einige gut organisierte und mit wissenschaftlicher Expertise versehene NGOs für Umweltbelange tatkräftig ein. Zur weiteren institutionellen Flankierung könnte man den Nachhaltigkeitsgrundsatz *expressis verbis* in das Grundgesetz aufnehmen. Darüber hinaus scheint es vernünftig, die verstreuten Umweltvorschriften in einem Umweltgesetz zusammenzufassen. Dies würde es erleichtern, die Gesetzgebung in diesem Bereich nachzuvollziehen, Defizite zu erkennen und Verbesserungsvorschläge zu unterbreiten.

Doch auch mit diesen Maßnahmen ist der Schutz zukünftiger Generationen in Deutschland keineswegs gesichert. Viele Umweltprobleme, die zukünftige Generationen betreffen, sind globaler Natur. Auch wenn hier die Abkommen der Staaten letztlich für bindende Regeln sorgen müssen, sollte man überlegen, ob nicht neben dem Weltklimarat (IPCC) eine echte internationale Behörde, die für Nachhaltigkeit auf globaler Ebene eintritt, unter dem Dach der Vereinten Nationen geschaffen werden sollte. Sie könnte als treibende Kraft dienen, um über internationale Umweltprobleme und deren Folgen genauer aufzuklären und die Staatengemeinschaft zu wirksamen Abkommen zu drängen. Zudem müssen die Regeln zur Begrenzung der öffentlichen Verschuldung in der EU und in den Nationalstaaten wirksamer durchgesetzt werden. Erweiterte Klagerechte für einzelne Organe oder auch für die Bürger könnten hier hilfreich sein. Nicht zuletzt ist auch das immer wieder diskutierte Thema der sozialen Gerechtigkeit von zentraler Bedeutung für die nachhaltige Stabilität von Marktwirtschaft und Demokratie. Gerade auf diesem Gebiet ist aber eine Verankerung zielführender Regeln besonders schwierig. Daher ist hier erst einmal die Wissenschaft gefordert, nachvollziehbare Konzepte der Chancengerechtigkeit zu entwerfen und in die öffentliche Debatte einzuspeisen, damit der Begriff der Gerechtigkeit nicht beliebig für und gegen bestimmte Interessen eingesetzt und dadurch immer sinnfreier wird.

Bei allen Meinungsverschiedenheiten über geeignete institutionelle Arrangements sollte jedoch über einen Punkt Einigkeit zu erzielen sein: Marktwirtschaft und Demokratie werden nur dann von den Bürgern langfristig gestützt, wenn wirksame Regeln das Gemeinwohl und vor allem auch das Wohl zukünftiger Generationen schützen und damit der Nachhaltigkeit einen größeren Stellenwert als bisher einräumen.

AUTOR



■ Prof. Dr. Martin Leschke ist Inhaber des Lehrstuhls für Institutionenökonomik an der Universität Bayreuth.

- 1 J. Rawls: Eine Theorie der Gerechtigkeit. Frankfurt am Main, 1975, S. 32 und S. 149.
- 2 Vgl. beispielsweise N. Paech: Befreiung vom Überfluss. München 2012.
- 3 Vgl. G. Heinsohn, O. Steiger: Eigentumsökonomik. Marburg 2008 (2. Auflage).
- 4 H. C. Binswanger: Die Wachstums-spirale. Marburg 2009, insbes. S. 345.
- 5 Vgl. z.B. H. E. Daly, J. Farley: Ecological Economics. Washington, D.C. 2011 (2. Auflage) sowie D. Meadows, J. Randers, D. Meadows: Grenzen des Wachstums – Das 30-Jahre-Update. Signal zum Kurswechsel. Stuttgart 2006.
- 6 Vgl. zu dieser Problematik: M. Leschke (2016), s. Literaturtipp.
- 7 Siehe beispielhaft wiederum N. Paech, Anm. 2.
- 8 Vgl. M. Erlei, M. Leschke, D. Sauerland: Neue Institutionenökonomik. Stuttgart 2016 (3. Auflage), S. 361 ff.
- 9 Vgl. M. Olson: Die Logik des kollektiven Handelns: Kollektivgüter und die Theorie der Gruppen. Tübingen 2004 (5. Auflage).
- 10 Vgl. G. S. Becker: Interessengruppen und politisches Verhalten, in: ders. (Hg.): Familie, Gesellschaft und Politik. Tübingen 1996, S. 185-196; G. S. Becker: Politischer Wettbewerb zwischen Interessengruppen, in: ders. (Hg.): Familie, Gesellschaft und Politik. Tübingen 1996, S. 185-196; M. Erlei, M. Leschke, D. Sauerland, siehe Anm. 8, S. 368 ff.

■ Klaus Schäfer
Andreas Höfer
Julian Kettl

Nachhaltige Unternehmens- finanzierung im Mittelstand

Optimierung der
Kapitalstruktur und
Management von Risiken

■ Eine solide Ausstattung mit Eigenkapital ist eine Voraussetzung für den nachhaltigen wirtschaftlichen Erfolg von Unternehmen (sst).

Eine nachhaltige Entwicklung von Unternehmen im Sinne einer Corporate Social Responsibility zeichnet sich durch eine geschäftspolitische Versöhnung von sozialen, ökologischen und ökonomischen Zielen aus. Im Finanzsektor konzentriert sich die Frage der Nachhaltigkeit bislang insbesondere auf den Bereich der Geldanlage. Dies zeigen Begriffe wie „Nachhaltigkeitsrating“ und „Impact Investing“, die längst von Investoren in ihr Vokabular aufgenommen wurden. Selten wird dagegen die Sicht eines vor Finanzierungsentscheidungen stehenden Unternehmens angenommen. Dabei legt gerade die ökonomische Nachhaltigkeit von Unternehmen und insbesondere deren entsprechende finanzielle Ausstattung einen Grundstein für ökologische und soziale Fortschritte. Was charakterisiert aber nun die Finanzierung unternehmerischer Vorhaben als „nachhaltig“?

Nachhaltigkeit und Kapitalstruktur

Die Frage, ob ein mittelständisches Unternehmen finanziell und wirtschaftlich nachhaltig aufgestellt ist, kann zuallererst mit Blick auf die Kapitalstruktur beantwortet werden. Hierbei wird vor allem die Gestaltung des Finanzierungsmixes genauer betrachtet, der sich in der Regel nicht allein aus Eigen- und Fremdfinanzierung zusammensetzt. Unternehmerische Finanzierungsstrategien sind heute auch durch Finanzierungsformen geprägt, die gleichzeitig Elemente von Eigen- und Fremdkapitalformen aufweisen und als „mezzanine Finanzierung“ bezeichnet werden.

Die Nachhaltigkeit der Finanzierung sollte aber nicht allein aus der Perspektive des betreffenden Unternehmens bewertet werden. Ein mittelständisches Unternehmen ist in der Regel in eine Wertschöpfungs- und Lieferkette mit verschiedenen Stakeholdergruppen eingebettet. Deshalb bietet es sich an, in die Beurteilung auch eine kapitalstrukturorientierte Einordnung der an diesem Beziehungsgeflecht beteiligten Unternehmen einzubeziehen. So lassen sich Fragen der ökonomischen Nachhaltigkeit differenzierter beantworten. Damit rücken zugleich einige neuere Finanzierungsinstrumente in den Fokus, die dazu beitragen können, die Kredit- und Liquiditätsrisiken der in Wertschöpfungs- und Lieferprozessen verbundenen Unternehmen zu verringern.

Wann ist die Kapitalstruktur optimal?

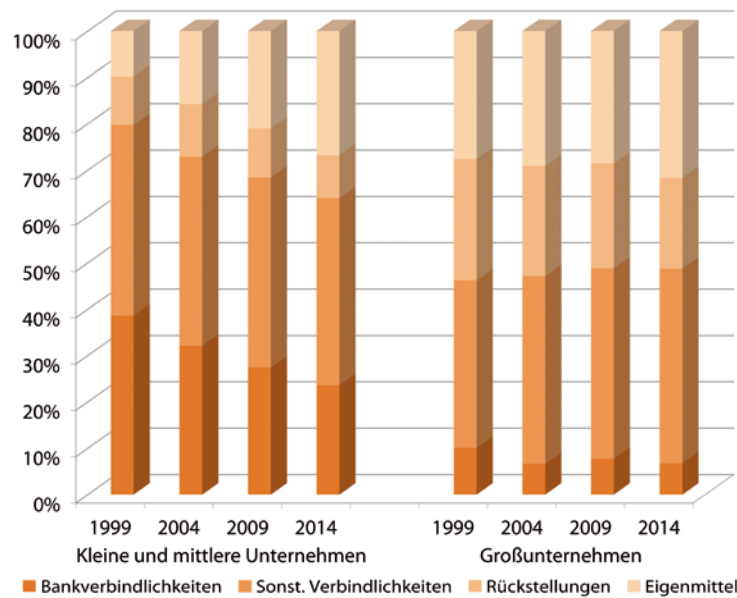
Die Finanzwirtschaftslehre beschäftigt sich bereits seit langem mit Theorien zur Ermittlung optimaler

Kapitalstrukturen in Unternehmen. Die Kapitalstruktur kann von der Geschäftsleitung eines Unternehmens grundsätzlich selbst gesteuert werden. Sie lässt sich daran ablesen, wie die Passivseite der Bilanz eines Unternehmens aufgebaut ist. Während man auf der Aktivseite der Bilanz erkennen kann, welcher Verwendung das dem Unternehmen zur Verfügung stehende Kapital zugeführt wurde, gibt die Passivseite an, woher dieses Kapital stammt. Die Bilanz liefert somit ein zeitpunktbezogenes Bild der finanziellen Situation eines Unternehmens. Um diese Situation unter dem Aspekt einer nachhaltigen Unternehmensfinanzierung einordnen zu können, werden bestimmte Kennzahlen betrachtet, wie zum Beispiel das Verhältnis von Fremd- zu Eigenkapital oder das Verhältnis von langfristigem Kapital zu Anlagevermögen. Erreichen die Kennzahlen bestimmte kritische Grenzen, kann dies ein Indiz für finanzielle Probleme sein. Somit dienen diese Kennzahlen als innerbetriebliche Kontrolle der finanzwirtschaftlichen Situation. Zugleich bieten sie potenziellen Kapitalgebern eine Hilfe, wenn sie eine Entscheidung über ein finanzielles Engagement an einem Unternehmen treffen.

Für Unternehmen ist es entscheidend, Kapitalbedarf und Finanzierung aufeinander abzustimmen. Die zur Verfügung stehenden Finanzierungsinstrumente können nach verschiedenen Kriterien gegliedert werden (Tab. 1), zunächst einmal hinsichtlich der Herkunft des Kapitals: Bei der *Außenfinanzierung* werden dem Unternehmen finanzielle Mittel von außen zugeführt, beispielsweise durch Kredite von Banken oder durch Beteiligungen von Gesellschaftern. Hingegen wird bei der *Innenfinanzierung* gebundenes Kapital in Liquidität umgewandelt. Die Unterscheidung zwischen *Eigenfinanzierung* und *Fremdfinanzierung* ergibt sich aus der Rechtsstellung der Kapitalgeber. Kredite stellen eine Form der Fremdfinanzierung dar, da dem Unternehmen Kapital von Gläubigern, also Fremdkapital zur Verfügung gestellt wird. Bei einer Beteiligungsfinanzierung hingegen wird dem Unternehmen Kapital von bisherigen oder neuen Miteigentümern zugeführt, es handelt sich also um Eigenfinanzierung.

		Kapitalherkunft	
		Außenfinanzierung	Innenfinanzierung
Rechtliche Stellung der Kapitalgeber	Eigenfinanzierung	Beteiligungsfinanzierung	Selbstfinanzierung
	Fremdfinanzierung	Kreditfinanzierung	Rückstellungsfinanzierung

■ Tab. 1: Matrix der Finanzierungsformen (Klaus Schäfer).



■ Abb. 2: Finanzierungsstruktur deutscher Unternehmen 1999-2014. Die Abbildung beruht auf einem Abgleich von Daten aus statistischen Sonderveröffentlichungen der Deutschen Bundesbank mit hochgerechneten Angaben aus Jahresabschlüssen deutscher Unternehmen (Grafik: Klaus Schäfer).

Bei der Suche nach der „optimalen“ Kapitalstruktur eines Unternehmens geht es insbesondere um die Frage, in welchem Verhältnis Eigenkapital und Fremdkapital zueinander stehen sollten, also welchen Verschuldungsgrad ein Unternehmen anstrebt. Es gibt verschiedene Einflussgrößen, die auf diese Entscheidung einwirken. In der traditionellen Finanzierungstheorie ging man lange davon aus, dass der Grad der Verschuldung den Unternehmenswert beeinflusst, weil die Kapitalgeber ihre Renditeforderungen dem gestiegenen Risiko anpassen. Franco Modigliani und Merton Miller haben jedoch 1958 modelltheoretisch gezeigt, dass die Kapitalstruktur eines Unternehmens auf einem friktionslosen Markt unbedeutend für den Wert dieses Unternehmens ist.¹ Ein solcher Markt ist unter anderem dadurch definiert, dass es keine Steuern, keine Informationskosten und keine Insolvenzkosten gibt und dass alle Marktteilnehmer freien Marktzutritt haben. Alle diese Merkmale eines vollkommenen Kapitalmarkts sind jedoch in der Realität so nicht anzutreffen. Dennoch prägen Modigliani und Miller die Diskussion zur optimalen Kapitalstruktur bis heute. Ihr Modell stellt die Ausgangsbasis dar, um die verschiedenen Friktionen der realen Finanzmärkte einzuordnen und um zu erklären, wie diese Friktionen die Unabhängigkeit der Kapitalstruktur auf den Unternehmenswert beeinflussen.

Verschiedene weitere Theorien enthalten Ansätze, eine optimale Kapitalstruktur für Unternehmen insbesondere unter Berücksichtigung von Steuereffekten, Insolvenzkosten und asymmetrischen Informationen zu bestimmen. Ein Beispiel ist die Hack-

ordnungstheorie (*Pecking Order Theory*) von Stewart Myers und Nicolas Majluf.² Sie postuliert, dass die Finanzierungskosten mit dem Grad der Informationsasymmetrien zwischen Kapitalgeber und Kapitalnehmer ansteigen. Demnach orientieren sich Unternehmen, wenn sie über die Herkunft des für ihre Finanzierung benötigten Kapitals entscheiden, an einer priorisierten Reihenfolge: Höchste Priorität hat die Innenfinanzierung; es folgen Fremdkapital und mezzanine Wertpapiere; neues externes Eigenkapital hat die geringste Priorität, weil es am teuersten ist.

Kapitalstruktur des deutschen Mittelstands

Die Bedeutung der Eigenkapitalausstattung für den deutschen Mittelstand ist vielfach untersucht worden. Es ist unstrittig, dass eine solide Ausstattung mit Eigenkapital eine Voraussetzung für den nachhaltigen wirtschaftlichen Erfolg von Unternehmen darstellt. Langfristig zur Verfügung stehendes und haftendes Kapital, also Eigenkapital, vergrößert ihren unternehmerischen Handlungsspielraum.

„Die Eigenmittelquote hat sich gerade bei den kleinen und mittleren Unternehmen in Deutschland positiv entwickelt.“

Das Bayreuther Mittelstandsinstitut BF/M wertet im Auftrag der Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (vbw) die auf Bayern bezogenen Daten aus, welche die Bankengruppe der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) in einer jährlich durchgeführten Unternehmensbefragung ermittelt, die seit 2001 das Finanzierungsverhalten deutscher Unternehmen untersucht. An den Daten lässt sich seit Jahren recht klar eine deutliche Steigerung der Eigenmittelquote im bayerischen Mittelstand ablesen. Diese geht mit einem verbesserten Kreditzugang und einem Anstieg in der unternehmensindividuellen Ratingnote einher. Generell haben sich im deutschen Mittelstand die Eigenkapitalquoten in den letzten Jahren deutlich und schrittweise erhöht. So geht aus einer weiteren Erhebung der KfW-Bankengruppe, dem Mittelstandspanel 2016 hervor, dass die Eigenkapitalquote deutscher Mittelständler ausgehend von 18,4 Prozent im Jahr 2002 um 11,3 Prozentpunkte auf 29,7 Prozent im Jahr 2015 gestiegen ist.³

LITERATURTIPP

B. Rudolph und K. Schäfer:
Unternehmensfinanzierung
und Kapitalmarkt. Tübingen
(2. Auflage, erscheint 2018).

- 1 F. Modigliani und M. H. Miller: The Cost of Capital, Corporation Finance, and the Theory of Investment, in: American Economic Review (1958), Vol. 48, S. 261-297.
- 2 S. M. Myers und N. S. Majluf: Corporate Financing and Investment Decisions when Firms have Information that Investors Do Not Have, in: Journal of Financial Economics (1984), Vol. 13, S. 187-221.
- 3 KfW Research: KfW-Mittelstandspanel 2016, Frankfurt am Main 2016.
- 4 Siehe dazu S. Wagner: Mit Reverse Factoring gezielt die Einkaufsfinanzierung optimieren, in: Finanzierung Leasing Factoring (2008), 55. Jg., S. 281-282.

Auch wenn man den längeren Zeitraum von 1999 bis 2014 betrachtet (Abb. 2), wird deutlich, dass sich die Eigenmittelquote gerade bei den kleinen und mittleren Unternehmen in Deutschland positiv entwickelt hat. Zwar weisen Unternehmen dieser Größenkategorie im Durchschnitt immer noch weniger Eigenkapital auf als Großunternehmen, doch ist der Abstand in den Eigenmittelquoten über die Jahre ganz erheblich gesunken. Zudem ist die Abhängigkeit von der Bankfinanzierung bei Unternehmen aller Größenklassen zurückgegangen.



Management von Risiken und Finanzinnovationen BayRisk

Finanzierungsentscheidungen sind nur dann nachhaltig, wenn sie systematisch und vorausschauend die vielfältigen unternehmerischen Risiken und Chancen sowie deren Einfluss auf die Unternehmensentwicklung im Blick haben. Gerade kleine und mittlere Unternehmen haben infolge ihrer geringeren Personalausstattung und ihrer Infrastruktur oft noch großen Nachholbedarf, wenn es um die Ausgestaltung ihres Risikomanagements geht. In einem vom Europäischen Sozialfonds und dem Freistaat Bayern geförderten Projekt der Virtuellen Hochschule Bayern arbeiten Forscher der Universitäten Bayreuth und Würzburg gemeinsam mit Unternehmen am Aufbau des Bayerischen Enterprise Risk Management-Netzwerks, kurz BayRisk. Das Projekt zielt darauf ab, dass Beschäftigte der beteiligten Unternehmen Kompetenzen im Bereich des Risikomanagements erlernen, erweitern und so den Erfolg „ihres“ Unternehmens nachhaltig sichern helfen.

Unternehmen, die in eine Wertschöpfungs- und Lieferkette eingebettet sind, können auch neuere Finanzierungsinstrumente nutzen, um ihre Kapitalstruktur zu verbessern und um Liquiditäts- und Kreditrisiken zu steuern. So bietet sich beispielsweise das Supply Chain Finance für Unternehmen an, die ihren Umsatz in der Regel vorfinanzieren und länger warten müssen, bis Rechnungen bezahlt werden. Ein innovatives Supply Chain Finance-Produkt ist das Reverse Factoring.⁴ Hierbei verkauft der Lieferant seine Forderungen an einen Intermediär, an das Factoring-Institut (auch Factor genannt). Der Factor zahlt, nachdem der Abnehmer die Güter erhalten hat, innerhalb kurzer Zeit den Rechnungsbetrag, um zum Beispiel Skonti zum Abzug zu bringen. Schließlich zahlt der Abnehmer zu einem vorher festgelegten Zeitpunkt den Rechnungsbetrag sowie die Kosten des Factoring an das Factoring-Institut. Bei dieser Form der Einkaufsfinanzierung ergeben sich auch in Hinblick auf die Kapitalstruktur und das Management von Risiken einige Vorteile. Der Lieferant profitiert von einem Liquiditätsvorteil und von einem Schutz vor Forderungsausfällen, der Abnehmer wiederum kann die Zahlungsziele von Verbindlichkeiten flexibler gestalten.

Fazit

Die Nachhaltigkeit der Finanzierung eines Unternehmens misst sich an der Kapitalstruktur und damit im Kern an der geeigneten Ausstattung mit Eigenkapital. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse über die optimale Kapitalstruktur werden insbesondere durch die hohe Praxisrelevanz der Pecking Order Theory ergänzt, wonach Unternehmen ihre Wahl der Kapitalherkunft an einer klaren priorisierten Reihenfolge ausrichten. Eine nachhaltige, den Fortbestand des Unternehmens effizient sichernde Finanzierung ist nur gegeben, wenn ein Risiko- und Chancenmanagement etabliert wird. Hiermit können gezielt Maßnahmen umgesetzt werden, die der Identifikation, Bewertung, Steuerung und Überwachung von Risiken dienen, den Finanzierungsmix erweitern und so die Weiterentwicklung des Unternehmens voranbringen.

Das Betriebswirtschaftliche Forschungszentrum für Fragen der mittelständischen Wirtschaft (BF/M) an der Universität Bayreuth, kurz: BF/M, ist ein gemeinnütziger Verein, der bereits 1979 gegründet wurde. Er hat es sich zum Ziel gesetzt, Wissenschaft und Wirtschaft miteinander zu verzahnen, indem betriebswirtschaftliche Forschungsergebnisse in Unternehmen transferiert werden und empirische Untersuchungen durchgeführt werden. Das Hauptaugenmerk liegt dabei ganz klar auf kleinen und mittleren Unternehmen (KMU).



AUTOREN



■ Prof. Dr. Klaus Schäfer ist Inhaber des Lehrstuhls für Finanzwirtschaft und Bankbetriebslehre der Universität Bayreuth und Vorstand am BF/M-Bayreuth.



■ Prof. Dr. Andreas Höfer ist Dozent für Bankenaufsicht, Betriebswirtschaftslehre und Bankmanagement an der Hochschule der Deutschen Bundesbank und ehemaliger wissenschaftlicher Institutsassistent am BF/M-Bayreuth.*



■ Julian Kettl M.A. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am BF/M-Bayreuth und am Lehrstuhl für Finanzwirtschaft und Bankbetriebslehre der Universität Bayreuth.

* Der Beitrag gibt die persönliche Meinung des Autors wieder und nicht notwendigerweise die der Deutschen Bundesbank.



POLITIK & WIRTSCHAFT

■ Alexander Brink

Kooperationsökonomie

Die Zukunft nachhaltiger Wertschöpfung

■ In der arbeitsteiligen Wettbewerbswirtschaft folgte ökonomische und soziale Wertschöpfung unterschiedlichen Logiken, in der Kooperationsökonomie ist diese idealtypische Trennung aufgehoben (sst).

Das antike Griechenland gilt als Wiege der europäischen Kultur. Es ist auch die Geburtsstätte einer Ökonomie, die die Kooperation ins Zentrum rückt. Aristoteles entwickelte eine Trias aus Ethik, Ökonomie und Politik, die beim individuellen Menschen ansetzt und zu einer ethisch begründeten Lebenspraxis als Bürger im Staat hinführt.¹ Ziel des Einzelnen ist die Ausprägung und Entwicklung seiner Tugendhaftigkeit (Ethik). Die innere Triebkraft (*entelechie*) motiviert ihn, sich gemäß seinen Möglichkeiten zu entfalten und sein Glück (*eudaimonia*) zu verwirklichen. Dies gelingt, indem Tugenden in der häuslichen Gemeinschaft sowie im Staat durch Interaktionen mit anderen eingeübt werden. Erst durch die Kraft zur individuellen Vervollkommenung des Bürgers entfalten Haushalt (Ökonomie) und Staat (Politik) ihre volle Wirkung. Persönlicher und gesellschaftlicher Nutzen sind in dieser Konzeption unauflöslich verknüpft, in der sich das Idealbild des griechischen Stadtstaats (*polis*) widerspiegelt.

Damit geht bei Aristoteles die Unterscheidung zwischen zwei Formen der Erwerbskunst einher.² Erfolgreiches Wirtschaften ist nicht per se schlecht; im Gegenteil, es gibt eine „naturgemäße“ Erwerbskunst, die sich insbesondere in der häuslichen Gemeinschaft bewährt. Aristoteles distanzierte sich jedoch von der „Chrematistik“, also der Kunst, möglichst viel Reichtum zu erlangen. Sie erschien ihm widernatürlich und ohne Tugenden. Eine Wertschöpfung, die im heutigen Sinne allein im Wertzuwachs der Organisation selbst gründet, hätte er abstrus gefunden.

Folgt man dieser Sichtweise, ist nachhaltige Wertschöpfung als Entwicklung und Entfaltung von ideellen Werten des Einzelnen und der Gemeinschaft zu verstehen. Zwei Jahrtausende später, in der Wettbewerbsökonomie des Industriezeitalters, hat sich hingegen ein ganz anderer Begriff der Wertschöpfung durchgesetzt. Er wurde maßgeblich durch den Klassiker *The Competitive Advantage* des US-amerikanischen Ökonomen Michael E. Porter geprägt.³ Hier tritt der Wettbewerb an die Stelle der Kooperation. Aber ist dies das „Ende der Geschichte“? Die folgenden Überlegungen wollen begründen, weshalb die aristotelische Sichtweise unter neuen Voraussetzungen und mit anderer Begrifflichkeit heute eine Renaissance erlebt.

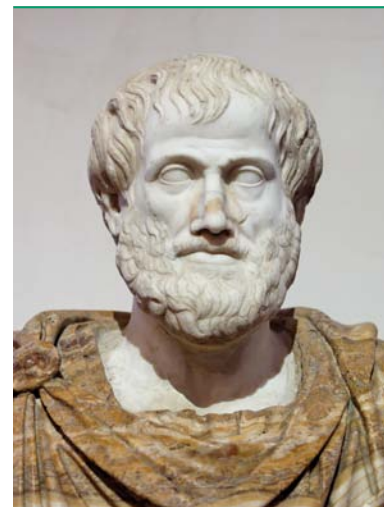
Von der Kooperationsökonomie zur Wettbewerbsökonomie ...

Gegenwärtig leben wir in einer Marktwirtschaft, die durch starke Wettbewerbsorientierung geprägt ist.

Hier setzt sich im freien Markt dasjenige Unternehmen durch, das langfristig die höheren Gewinne erwirtschaftet. In dieser Welt sind in den vergangenen rund 100 Jahren große Konzerne entstanden, die hochspezialisierte Fähigkeiten entwickelten. Diese Profit-Organisationen verfolgen in der Regel eine materielle Wertschöpfung. Während die ideelle Wertschöpfung durch Ausübung individueller Tugendhaftigkeit in der Antike noch im Zentrum stand, wird die materielle Wertschöpfung nun durch optimalen Ressourceneinsatz erreicht. In der Regel geht es darum, eine Residualgröße – wie zum Beispiel den Gewinn oder den Wert des Eigenkapitals – zu maximieren. Anreize dafür sind bereits in den Rechtsformen wie der GmbH oder der AG enthalten. Werden materielle Zielvorgaben nicht erreicht, verliert das Unternehmen seine Existenzberechtigung und verlässt den Markt. Zufriedene Kunden, motivierte Mitarbeiter und ein stabiles Umfeld fördern zwar die ökonomische Zielerreichung, sind aber ohne positive pekuniäre Effekte nicht weiter relevant.

Eine Gesellschaft, die eine Wettbewerbsökonomie mit funktionierenden Profit-Unternehmen unterstützt, braucht neben freien, innovativen und risikobereiten Unternehmen einen starken Staat, der Rahmenbedingungen setzt, und eine starke Zivilgesellschaft, die Bürgerrechte einfordert. Die Bundesrepublik Deutschland verfolgt seit dem Ende des Zweiten Weltkriegs eine besondere Form der Marktwirtschaft, die als Soziale Marktwirtschaft weltweit eine gewisse Vorbildrolle hat. Der Staat übernimmt bestimmte soziale Aufgaben, und es gibt starke Sozialpartnerschaften. Es bilden sich Non-Profit-Organisationen wie politische Organisationen, Verbände, Vereine oder Nichtregierungsorganisationen.

Während die Profit-Organisationen Formalziele anstreben, sind Non-Profit-Organisationen an der Realisierung von Sachzielen interessiert. „Diese Unterscheidung dringt tief in die Substanz und in das Selbstverständnis von Unternehmen, sie bestimmt förmlich deren Identität.“⁴ Pflegeeinrichtungen verfolgen das Sachziel ‚Qualität der Pflege‘, Kindergärten das Sachziel ‚Kindeswohl‘, Krankenhäuser das Sachziel ‚Wohl der Patienten‘. Die Sachzieldominanz kommt, analog zu den Profit-Unternehmen, auch in der Unternehmensform zum Ausdruck: Die anerkannte Gemeinnützigkeit, zum Beispiel einer gGmbH oder einer gAG, gründet darauf, dass der Unternehmenszweck in der sozialen Wertschöpfung liegt. Non-Profit-Unternehmen sind zum Teil sogar gesetzlich verpflichtet, sich allein am Sachziel zu orientieren – unabhängig von ökonomischen Einfluss-



■ Abb. 1: Büste des griechischen Philosophen Aristoteles (384 v. Chr. - 322 v. Chr.), römische Kopie nach einer Skulptur des Bildhauers Lysippos (Foto: wikimedia commons / public domain).

LITERATURTIPPS

A. Brink und P. Bungard: Vom Shareholder-Value zum Shared Value. Gedanken über die Neuorganisation unserer Wirtschaft, in: bdvd-aktuell (Bundesverband deutscher Volks- und Betriebswirte e.V.) (2013), 121, S. 12-14.

A. Langer und A. Brink: Wirtschafts- und Unternehmensethik in der Sozialwirtschaft: Soziale Organisationen zwischen Markt und Moral, in: A. Langer und K. Grunwald (Hg.): Handbuch der Sozialwirtschaft. Baden-Baden 2017 (im Erscheinen).

■ Abb. 2 und 3: ‚Kindeswohl‘ und ‚Qualität der Pflege‘ sind typische Sachziele von Sozialunternehmen (sst).



AUTOR



■ Alexander Brink ist Professor für Wirtschafts- und Unternehmensethik an der Universität Bayreuth und Wissenschaftlicher Direktor des Zentrums für Wirtschaftsethik in Berlin. Er ist Gründungspartner bei concern, einer Beratungsgesellschaft in Köln mit dem Schwerpunkt CR Management. Sie wurde 2010 als Spin-Off des „Philosophy & Economics“-Programms der Universität Bayreuth gegründet.

faktoren. Dafür erhalten sie im Gegenzug erhebliche Steuervergünstigungen. In Non-Profit-Organisationen ist bei den Beschäftigten eine intrinsische, wertgetriebene Motivation besonders ausgeprägt. Man spricht weniger von Kunden als vielmehr von Leistungsempfängern, also beispielsweise Bewohnern oder Patienten. Es gilt in der Regel ein Gewinnerwirtschaftungs- und Ausschüttungsverbot. Erträge dürfen in einem angemessenen Umfang in eine Rücklage eingebracht werden. Letztlich gibt es auch besondere Kennzahlen und Governance-Systeme in Sozialunternehmen.⁵

In einer Wettbewerbsökonomie werden Profit-Organisationen oft als die überlegenen Organisationsformen angesehen: Sie sind effizient und effektiv. Der Mensch gilt als Unternehmensressource, der Staat als Dienstleister, Rahmengeber oder Anspruchsgruppe. Non-Profit-Unternehmen übernehmen in dieser Sichtweise sozusagen den nichtmarktfähigen Rest der Wertschöpfung, der daher in der Regel über Leistungsentgelte (Staat) oder Spenden (Unternehmen und Zivilgesellschaft) finanziert wird.

... und zurück

Die Perfektionierung der beiden Organisationstypen führte im Laufe der Zeit zu zwei Fehlentwicklungen. Die erste betraf die *Non-Profit-Organisationen*. Die eindimensionale Fokussierung auf ihre Sachziele stärkte Finanzierungssysteme, in denen vor allem der Staat als externer Geldgeber auftrat und eine

finanzielle Förderung garantierte. Infolgedessen waren sich die Non-Profit-Organisationen immer weniger ihrer ökonomischen Eigeninteressen bewusst und sahen oft keine Notwendigkeit, ihnen zu folgen. Ein effektiver und effizienter Umgang mit den eigenen Ressourcen erschien weniger relevant. Diese Fehlentwicklung wurde in den vergangenen Jahren durch einige Gegenmaßnahmen korrigiert – man denke etwa an die Pflegeversicherung oder die Fallpauschalen in den Krankenhäusern. Die bewusste politische Umsteuerung stärkte nun die ökonomischen Kompetenzen und die wirtschaftliche Verantwortung der Non-Profit-Organisationen. Diese verstehen sich heute zunehmend als Sozialunternehmen. Sie erhöhen dadurch ihre Kooperationsbereitschaft und ihre Kooperationsfähigkeit mit Profit-Organisationen.

Die zweite Fehlentwicklung betraf die *Profit-Organisationen*. Die Liberalisierung der Märkte, die Governancemodelle und die unternehmerischen Anreiz- und Vergütungssysteme bewirkten, dass vielen Konzernen – weniger dem Mittelstand und den Familienunternehmen – das Bewusstsein für soziale Belange verloren ging. Auch dieser Trend wurde mittlerweile durch Gegenmaßnahmen korrigiert. Dabei rückte der Begriff der Corporate Responsibility zunehmend in das Bewusstsein von Unternehmensleitungen. Er bezeichnet das verantwortliche unternehmerische Handeln in den operativen und strategischen Kernprozessen des Unternehmens, das heißt in der gesamten Wertschöpfungskette.⁶ Dieses Handeln erstreckt sich auf betriebswirtschaftliche Kernprozesse wie Forschung und Entwicklung, Logistik, Marketing und Vertrieb, aber ebenso auf die verschiedenen Anspruchsgruppen des Unternehmens wie Mitarbeiter, Kunden, Lieferanten oder das lokale Umfeld. *Corporate Responsibility* (CR) wird ergänzt durch *Corporate Citizenship*, das freiwillige Engage-

„Eine wachsende Zahl von Profit-Organisationen macht sich heute CR-Konzepte zu eigen, so dass ihre Kooperationsfähigkeit mit Non-Profit-Organisationen steigt.“

ment von Unternehmen am Rand oder außerhalb unternehmerischer Kernprozesse. Hierzu zählen Spenden, Sponsoring und Freiwilligenprojekte, gelegentlich werden auch Stiftungen darunter subsumiert. Diese Stärkung des sozialen Bewusstseins in Profit-Organisationen wurde teilweise durch die Politik herbeigeführt (wie etwa durch die 2017 gesetzlich vorgeschriebene CSR-Berichtspflicht), teilweise aber auch durch die Zivilgesellschaft und NGOs.

Beide Tendenzen – die Ökonomisierung des Sozialen im Non-Profit-Sektor ebenso wie die Sozialisierung des Ökonomischen im Profit-Sektor – stärken die Kooperationsökonomie.⁷ Während ökonomische und soziale Wertschöpfung in der arbeitsteiligen Wettbewerbswirtschaft unterschiedlichen Logiken folgte, ist diese idealtypische Trennung in der Kooperationsökonomie aufgehoben.⁸ Eine wachsende Zahl von Profit-Organisationen macht sich heute CR-Konzepte zu eigen, so dass ihre Kooperationsbereitschaft und ihre Kooperationsfähigkeit mit Non-Profit-Organisationen steigt. Die Wertschöpfungskette von Porter wird damit zu einer Wertwirkungskette.

Nachhaltige Wertschöpfung durch Kooperation

Der Idealtypus eines Non-Profit-Unternehmens ist das Sozialunternehmen. Sozialunternehmen wollen zur Lösung eines gesellschaftlichen Problems beitragen und zugleich soziale oder ökologische Veränderungen bewirken. Dafür bieten sich auf den unterschiedlichsten Feldern Kooperationen mit gewerblichen Unternehmen an. Wenn es um die konkrete Ausgestaltung geht, lassen sich drei Stufen unterscheiden:

- Auf einer ersten Stufe vollzieht sich die Kooperation der beiden Partner im Rahmen ihrer traditionellen Wertschöpfung. Dienst-, Sach- oder Geldleistungen sind die „Währung“, etwa wenn ein Möbelunternehmen einem Sozialunternehmen neue Möbel verkauft (Sachleistung gegen Geldleistung). Der Nutzen der Kooperation liegt in der Regel im Tausch von Gütern oder Dienstleistungen und ist insofern komplementär.
- Auf einer zweiten Stufe der Kooperation agiert nur das Sozialunternehmen im Rahmen traditioneller Wertschöpfung, während der gewerbliche Partner diesen Rahmen verlässt. Typische Beispiele sind die bereits erwähnten *Corporate Citizenship*-Maßnahmen, mit denen sich gewerbliche Unternehmen für soziale, kulturelle oder ökologische Zwecke engagieren und das

Sozialunternehmen zum Beispiel mit Spenden oder als Sponsor unterstützen. Auch hier ist der Nutzen in der Regel komplementär: Das finanzielle und ideelle Engagement gewerblicher Unternehmen wird ‚belohnt‘ durch einen öffentlichen Reputationsgewinn und die Stärkung eigener Sozialkompetenz.

- Auf der dritten Stufe der Kooperation werden Wertschöpfungsprozesse nicht nur verstärkt, sondern auch verstetigt. Entscheidend ist dabei, dass wesentliche gesellschaftliche Anspruchsgruppen (*Stakeholder*) des gewerblichen Unternehmens an diesen Prozessen beteiligt sind – und zwar dadurch, dass sie als Folge der Kooperation mit dem Sozialunternehmen von dessen Leistungen profitieren. Damit erwachsen aus der Kooperation positive Auswirkungen auf die Gesellschaft, die ihrerseits auf das gewerbliche Unternehmen und das Sozialunternehmen zurückwirken. Der Nutzen ihrer Kooperation wird jetzt symmetrisch, weil sich beide Partner zum beiderseitigen Vorteil von wirkungsbezogenen Zielen leiten lassen. Die Wertschöpfung wird somit Teil einer nachhaltigen Wertwirkungskette.

Organisationen sind bestrebt, sich gemäß ihrer individuellen Kooperationsbereitschaft und -fähigkeit bestmöglich zu entfalten. Auf diese Weise erlebt die antike Idee der *entelechie* in der Kooperationsökonomie eine Renaissance.

Strukturmerkmale	Profit-Organisationen	Non-Profit-Organisationen
Hauptzweck	Formalziel	Sachziel
Motivation	Dominanz der extrinsischen Motivation	Dominanz der intrinsischen Motivation
Präferenzen	Konstant und egoistisch	Variabel und prosozial
Zielgruppe	Kunden	Mitglieder, Leistungsempfänger, Interessengemeinschaft
Entscheidungsgröße	Marktentwicklung, Kunden- und Konkurrenzverhalten	Mitgliederbeschlüsse, Bedürfnisse Dritter
Produzierte Güter	Private, marktfähige Individualgüter	Kollektiv- und Individualgüter, meritokratische Güter
Arbeitskräfte	Hauptamtlich angestellte Mitarbeiter	Haupt-/Ehrenamtliche, Zivildienstleistende, Honorarkräfte
Erfolgskontrolle	Gewinn, Return-On-Invest, Umsatz	Kaum Kennzahlen, Stakeholder Value, Outcome-Konzepte

■ Tab. 1: Strukturmerkmale von Profit- und Non-Profit-Unternehmen (A. Langer und A. Brink 2017, siehe Literaturtipps).

- 1 Aristoteles: Politik, 1252a1-1053a39.
- 2 Vgl. ebd., 1256a1-1257b40.
- 3 M. E. Porter: The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance. New York 1985.
- 4 A. Langer, A. Brink (2017), siehe Literaturtipp. Vgl. grundlegend: E. H. Schein: Organizational Culture and Leadership. A Dynamic View. San Francisco 1985; in Bezug auf diakonische Unternehmen: B. Hofmann: Diakonische Unternehmenskultur. Handbuch für Führungskräfte. Berlin 2010 (2. Auflage).
- 5 R. Bachert (Hg.): Corporate Governance in Nonprofit-Unternehmen. München 2006.
- 6 Vgl. Europäische Kommission: Eine neue EU-Strategie (2011-14) für die soziale Verantwortung der Unternehmen (CSR). Brüssel 2011.
- 7 Vgl. T. Beruchashvili: Partnerschaften zwischen Non-Profit Organisationen und Unternehmen. Die Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Non-Profit-Organisationen als Innovationsquelle. München 2014.
- 8 Vgl. Literaturtipps.



■ Ricarda B. Bouncken
Sven M. Laudien

Teilen als alternatives Wirtschaftsprinzip

Eine Bestandsaufnahme der Sharing Economy

■ Coworking-Spaces tragen heute ursächlich dazu bei, dass sich die Natur der Arbeit verändert (sst).

Unternehmen sehen sich heute einem Umfeld gegenüber, das insbesondere von einer immer schnelleren technologischen Entwicklung und einem veränderten Kundenverhalten gekennzeichnet ist. Sehr oft kommt es vor, dass Kunden ergänzende Serviceleistungen weitaus höher schätzen als originäre Produkteigenschaften. Ebenso zeigt sich, dass Kunden die Verfügbarkeit über ein Gut für deutlich wichtiger halten als den Besitz des Gutes. Zudem sind sie aufgrund eines schnellen und direkten Informationszugriffs immer besser über Produkt- und Serviceleistungen informiert und können die Grenzen des tatsächlich möglichen Leistungsspektrums von Unternehmen sehr gut abschätzen.

Im Zuge dieser Entwicklung aber wachsen die Anforderungen der Kunden, sie übersteigen das traditionelle Leistungsspektrum von Unternehmen oft bei weitem. Für die betreffenden Unternehmen entsteht daraus ein schwerwiegendes Problem, steht doch einer vorhandenen Kaufbereitschaft und neuen Absatzmöglichkeiten ein unzureichendes Leistungsangebot gegenüber, das sich in vielen Fällen durch den Einsatz vorhandener Ressourcen nicht unmittelbar verbessern lässt. Die Beschaffung der benötigten ergänzenden Ressourcen ist jedoch zeit- und kostenintensiv. Daher sehen sich Unternehmen gezwungen, nach neuen Wegen zu suchen, um dieser Herausforderung effektiv zu begegnen.

In diesem Kontext kommt dem Teilen von Ressourcen eine immer größere Bedeutung zu. Teilen hat sich in den letzten Jahren zu einem bedeutenden Wirtschaftsprinzip entwickelt.¹ Viele Unternehmen versuchen, sich einen Vorteil im Markt zu verschaffen, indem sie auf private Ressourcen ihrer Kunden zugreifen. Dabei bedienen sie sich zumeist einer digitalen Plattform² und verfolgen einen Wertschöpfungsansatz, der sie von traditionellen Unternehmen unterscheidet. Sie wirken als Mittler zwischen individuellem Wertangebot und individueller Wertnachfrage, doch ein unternehmensseitig generiertes Wertangebot gibt es – je nach Branche – nicht oder nur in sehr begrenztem Umfang. Klassisches Beispiel ist Airbnb, aktuell größter Anbieter von Übernachtungsmöglichkeiten weltweit. Das Angebot des Unternehmens ist nichts anderes als eine Akkumulation von privaten Angeboten. Airbnb selbst besitzt kein einziges Appartement, das zur Vermietung auf der eigenen Plattform steht. Trotzdem wird der Unternehmenswert auf rund 31 Milliarden Dollar geschätzt: ein Wert, der nicht durch eigene Assets begründet ist. Ähnliches gilt für das Unternehmen Uber, derzeit weltgrößter Anbieter von Taxidiensten.

Uber verfügt ebenfalls nicht über eigene Fahrzeuge, sondern vermittelt die entsprechende Leistung nur. Der geschätzte Unternehmenswert von rund 70 Milliarden Dollar ist somit ebenfalls nicht durch einen Gegenwert zu begründen.³

Wichtig ist zu verstehen, dass diese Unternehmen ihre jeweilige Branche durch die veränderte Form des Wertangebots wesentlich beeinflussen.⁴ Dies stellt traditionelle Unternehmen vor Probleme und zwingt sie zum Handeln. Es zeigt sich eine dramatische Veränderung: Ausgehend von einer sehr stark unternehmenszentrierten Wertschöpfung ist eine Verschiebung hin zu einer mehr kollektiven Wertgenerierung zu verzeichnen.⁵ Dieser Wandel ist bedeutsam, da er einen verbesserten Schutz der Umwelt sowie eine stärkere soziale Bindung innerhalb von Nutzergruppen⁶ nach sich zieht. Im Rahmen des Wandels hin zu nachhaltigen Ökonomien und Gesellschaften kommt der Sharing Economy somit eine Vorreiterrolle zu.

Doch was macht die Sharing Economy aus? Wirtschaftliches Handeln auf der Grundlage des Teilens galt lange als überholt, da es sich als problematisch darstellt. So ist zu bedenken, dass stets ein Partner gefunden werden muss, der das jeweilige Gut in dem gewünschten Umfang und der gewünschten Qualität anbietet oder nachfragt. Zudem ist es zwingend erforderlich, dass jederzeit aktuelle Informationen über die räumliche und zeitliche Verfügbarkeit der Güter bereitstehen. Dies wurde erst in jüngster Zeit dank einer verbesserten Informations- und Kommunikationstechnologie möglich. Heute werden der Sharing Economy vier Teilbereiche unterschiedlicher Bedeutung zugeordnet: Carsharing, Accommodation Sharing, Toolsharing und Worksharing.

Carsharing

Carsharing ist einer der ältesten und derzeit am stärksten professionalisierten Teilbereiche der Sharing Economy. Die Idee geht auf die späten 1960er Jahre zurück. In dieser Zeit begann man – vielfach im Rahmen alternativer Formen des Zusammenlebens – die Nutzung von PKW zu teilen. Meist wurde das Teilen sehr individuell organisiert: Der Schlüssel wurde zentral verwahrt; wenn er weg war, konnte man zuverlässig davon ausgehen, dass das Fahrzeug gerade belegt war. Der Nutzer zahlte nur die Verbrauchskosten, eine Gebühr für die Nutzung wurde nicht fällig. Das Teilen war auf eine kleine Gruppe von Individuen begrenzt. Eine erste Stufe der Pro-

AUTOREN



■ Prof. Dr. Ricarda B. Bouncken ist Inhaberin des Lehrstuhls für Strategisches Management und Organisation an der Universität Bayreuth.



■ Dr. Sven M. Laudien ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Strategisches Management und Organisation. Er hat zudem eine Gastprofessur an der Babes-Bolyai Universität in Cluj-Napoca/Rumänien inne.



■ Abb. 1: Studierende der Universität Bayreuth, die sich in der Initiative „Green Campus“ engagieren, setzen sich für das Projekt „Carsharing“ auf dem Bayreuther Campus ein. Carsharing-Autos des Vereins ökobil e.V. sind auf einem zentralen Uni-Parkplatz schnell verfügbar (Foto: Christian Wißler).

■ Abb. 2: Digitale Plattformen bieten aktuelle Informationen über die räumliche und zeitliche Verfügbarkeit von Gütern, wie hier von Wohnungen (sst).

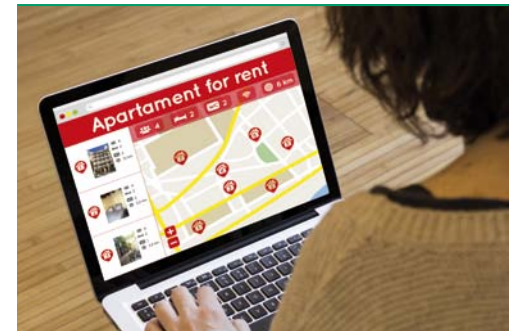
fessionalisierung erfolgte Anfang der 2000er Jahre durch lokale Unternehmen, die ein stationsbasiertes Carsharing anboten. Der Kunde holte das Fahrzeug von einem bestimmten Parkplatz ab und brachte es dorthin zurück. Der große Wandel begann Anfang der 2010er Jahre, als Mercedes-Benz (car2go) und BMW (DriveNow) das Teilen von Fahrzeugen als Geschäftsprinzip für sich entdeckten. Mit neuen Technologien, welche die Nutzung der Fahrzeuge flexibler machten, wurde innerhalb kürzester Zeit ein neues Mobilitätsangebot für den städtischen Raum geschaffen. Auch wenn das Angebot von den Kunden gut angenommen wird – aus finanzieller Sicht ist Carsharing aktuell für die großen Automobilkonzerne ein Nullsummenspiel. Im Vordergrund stehen der Nachhaltigkeitsgedanke und der damit verbundene Imagegewinn.

Ebenfalls zum Bereich des Carsharings ist das bereits erwähnte Unternehmen Uber zu rechnen. Hier ist das Carsharing mit einer Dienstleistung – der Beförderung durch einen Fahrer – verbunden. Ursprünglich war es das Unternehmensziel, den Kunden eine Art Mitfahrgelegenheit zu bieten. Doch heute ist dies nur noch selten der Fall, da die meisten von Uber vermittelten Anbieter von Fahrdienstleistungen professionell agieren und sich als Alternative zum Taxi verstehen.

Accommodation Sharing

Neben dem Carsharing hat sich das Teilen von Unterkünften (Accommodation Sharing) als weiterer zentraler Bereich der Sharing Economy herausgebildet. Es war zunächst als Übergangslösung für Zwischenver-

mietungen von Wohnraum gedacht, der beispielsweise im Urlaub oder den Semesterferien ungenutzt blieb. Doch hat sich Accommodation Sharing schnell als Alternative zum traditionellen Beherbergungswesen herausgebildet. Der kometenhafte Aufstieg von Airbnb ist ein Beispiel dafür. Begünstigt wurde diese Entwicklung durch steigende Hotelkosten, die in vielen Fällen der Knappheit von Hotelbetten in bestimmten Städten und zu bestimmten Zeiten geschuldet war. Ebenso erlaubt die Nutzung eines Airbnb-Appartements – ähnlich wie eine traditionelle Ferienwohnung – eine deutlich individuellere Urlaubsgestaltung. Gelegentlich, wenn etwa ein WG-Zimmer kurzfristig über Airbnb vermietet wird, ist auch ein Gemeinschaftserlebnis Teil der Airbnb-Erfahrung. Dennoch: Viele Airbnb-Apartments werden heute professionell geführt, der eigentliche Gedanke des Teilens ist längst in den Hintergrund getreten. Mittlerweile gibt es, zum Beispiel in Berlin oder New York, gesetzliche Beschränkungen, welche die Nutzung von Wohnungen im Rahmen von Airbnb einschränken oder gänzlich verbieten.



Toolsharing

Als weiterer Bereich ist das Toolsharing zu nennen. Unter diesem Teilbereich der Sharing Economy werden alle Aktivitäten zusammengefasst, bei denen es um die gemeinschaftliche Nutzung von Gerätschaften geht. Dies können zum Beispiel landwirtschaftliche Geräte, Gartengeräte, aber auch spezifische Produktionsanlagen sein. Das zentrale Argument für das Teilen sind hier die geringeren Kosten, was nachvollziehbar, jedoch aus wissenschaftlicher Sicht nur bedingt von Interesse ist.

Coworking

Eine vierte Säule der Sharing Economy ist das Coworking.⁷ Dieser Bereich ist wissenschaftlich von besonderem Interesse, da hier der Gedanke

LITERATURTIPPS

R. B. Bouncken und A. Reuschl: Coworking-spaces: how a phenomenon of the sharing economy builds a novel trend for the workplace and for entrepreneurship, in: Review of Managerial Science (2016), online first. DOI: 10.1007/s11846-016-0215-y.

K. Täuscher und S. M. Laudien: Understanding platform business models: A mixed methods study of marketplaces, in: European Management Journal (2017), online first. DOI: 10.1016/j.emj.2017.06.005.

A. Sundararajan: The sharing economy: The end of employment and the rise of crowd-based capitalism. Cambridge / MA 2016.

des Teilens seine volle Wirkung entfalten kann. Unabhängige, private Coworking-Spaces stellen sich als geteilte Büros dar, die oftmals um einen sozialen Raum (Café, Bar) ergänzt sind. Nutzer mieten sich tageweise einen Schreibtisch, so dass nie vorhersehbar ist, welches Wissen und welche Kompetenzen an einem bestimmten Tag verfügbar sind. Eine Zusammenarbeit zwischen den Nutzern ist gewünscht, sehr häufig wird sie durch das Management des Coworking-Spaces aktiv gefördert. So entsteht ein Inkubator, der die gemeinschaftliche Generierung neuer Ideen fördert oder zumindest fördern kann. Coworking-Spaces sind daher weit mehr als herkömmliche Gemeinschaftsbüros: Sie bieten nicht allein deutliche Kostenvorteile, sondern haben zugleich eine starke soziale Komponente. Coworking-Spaces wirken damit nicht zuletzt der sozialen Vereinsamung entgegen, über die zum Beispiel Freiberufler oft berichten.

Folglich sind Coworking-Spaces heute ursächlich an einer Veränderung der Natur der Arbeit beteiligt. Auch wenn sie einem starken Wandel unterworfen sind und private Coworking-Spaces zum Teil aufgrund von wirtschaftlicher Erfolglosigkeit den Markt schon wieder verlassen haben, so hat die Idee des Coworkings – im Sinne einer mehr oder minder zufälligen Kombination von Wissensressourcen – Eingang in Unternehmen gefunden. „Corporate Coworking“ lautet das Stichwort. Unternehmen wie PwC oder TenneT haben bereits interne oder teilgeöffnete Coworking-Spaces geschaffen, um neue Kombinationen des unternehmensseitig vorhandenen Wissens zu ermöglichen und dieses Wissen besser zu nutzen.

„Es zeigt sich, dass Kunden die Verfügbarkeit über ein Gut für deutlich wichtiger halten als den Besitz des Gutes.“

Ein zukunftsweisendes Forschungsfeld

Über das Teilen als Wirtschaftsprinzip gibt es bis heute vergleichsweise wenige wissenschaftliche Erkenntnisse.⁸ Bisherige Arbeiten beruhen zumeist auf Fallstudien oder bieten nur anekdotische Evidenz. Einige Studien versuchen, Motive und Beweggründe der involvierten Akteure zu erfassen und herauszuarbeiten,⁹ vielfach wird der Aspekt der Nachhaltigkeit betont.¹⁰ Es ist jedoch kaum etwas darüber bekannt, wie sich die Nutzung des Prinzips des Teilens auf das Wachstum und die Performance von Unternehmen auswirkt. Für erfolgreiche Unternehmen wie Airbnb oder Uber scheint klar, dass Teilen als Geschäftsprinzip funktioniert. Doch wie sieht es für die vielen kleinen Start-ups aus, die sich aktuell in diesem Bereich entwickeln? Wie sind Wertschöpfungsprozesse zu gestalten, damit das Prinzip des Teilens effektiv genutzt werden kann? Wie sind Patente zu gestalten, die auf gemeinschaftlicher Arbeit – beispielsweise in einem Coworking Space – beruhen? Und was sind die konkreten Vorteile, die sich aus dem Prinzip des Teilens auf Seiten der Unternehmen ergeben? Diese Fragen bedürfen einer grundlegenden Klärung, insbesondere auch auf der Basis empirischer Daten, und stehen im Fokus aktueller Forschungsarbeiten am Lehrstuhl für Strategisches Management und Organisation der Universität Bayreuth. Auch wenn Teilen ein altes Prinzip ist – bezogen auf seine wirtschaftliche Anwendung gibt es noch viel zu entdecken.

- 1 J. Hamari, M. Sjöklint, A. Ukkonen: The sharing economy: Why people participate in collaborative consumption, in: Journal of the Association for Information Science and Technology (2016), 67(9), S. 2047-2059. DOI: 10.1002/asi.23552.
- 2 T. Laamanen, J. Pfeffer, K. Rong, A. van de Ven: Business Models, Ecosystems, and Society in the Sharing Economy, in: Academy of Management Discoveries (2016), 2(2), S. 218–221. DOI: 10.5465/amd.2016.0037.
- 3 K. Täuscher, S. M. Laudien (2017), siehe Literaturtipps.
- 4 R. Botsman, R. Rogers: What's mine is yours: How collaborative consumption is changing the way we live. London 2011.
- 5 A. Sundararajan (2016), siehe Literaturtipps.
- 6 R. Belk: You are what you can access: Sharing and collaborative consumption online, in: Journal of Business Research (2014), 67(8), S. 1595–1600. DOI: 10.1016/j.jbusres.2013.10.001.
- 7 R. B. Bouncken und A. J. Reuschl (2016), siehe Literaturtipps.
- 8 B. Jiang, L. Tian: Collaborative Consumption: Strategic and Economic Implications of Product Sharing, in: Management Science (2016), Articles in Advance. DOI: 10.2139/ssrn.2561907.
- 9 M. Möhlmann: Collaborative consumption: determinants of satisfaction and the likelihood of using a sharing economy option again, in: Journal of Consumer Behaviour (2015), 14(3), S. 193–207. DOI: 10.1002/cb.1512.
- 10 D. Murillo, H. Buckland, E. Val: When the sharing economy becomes neoliberalism on steroids: Unravelling the controversies, in: Technological Forecasting and Social Change (2017), 125, S. 66–76. DOI: 10.1016/j.techfore.2017.05.024.



■ Abb. 3: An moderne Coworking-Spaces ist oftmals ein sozialer Raum angeschlossen (sst).

■ Manfred Miosga

Nachhaltige Stadt- und Regionalentwicklung

Vor der Herausforderung der „Großen Transformation“

■ Weltweit, auch in Deutschland, wachsen mit der Zahl der Pendler auch die Distanzen, die sie zurücklegen. Ökologische Effizienzgewinne – beispielsweise durch den Ausbau öffentlicher Verkehrsmittel in den Ballungszentren oder den Einsatz effizienterer Verbrennungsmotoren in PKWs – werden häufig überkompensiert. Hier ein Blick auf den Highway-Verkehr in Los Angeles (sst).

Der Begriff der Nachhaltigkeit ist seit einem Vierteljahrhundert in der Stadt- und Regionalentwicklung präsent. Im Jahr 1992 verabschiedete die UN-Konferenz über Umwelt und Entwicklung, der „Weltgipfel von Rio“, die auf eine globale nachhaltige Entwicklung ausgerichtete „Agenda 21“. Darin wird ausdrücklich festgestellt: „Da so viele der in der Agenda 21 angesprochenen Probleme und Lösungen ihre Wurzeln in Aktivitäten auf örtlicher Ebene haben, ist die Beteiligung und Mitwirkung der Kommunen ein entscheidender Faktor bei der Verwirklichung der Agendaziele. Kommunen errichten, verwalten und unterhalten die wirtschaftliche, soziale und ökologische Infrastruktur, überwachen den Planungsablauf, stellen die kommunale Umweltpolitik und kommunale Umweltvorschriften auf und wirken an der Umsetzung der nationalen und regionalen Umweltpolitik mit. Als Politik- und Verwaltungsebene, die den Bürgern am nächsten ist, spielen sie eine entscheidende Rolle dabei, die Öffentlichkeit aufzuklären und zu mobilisieren und im Hinblick auf die Förderung einer nachhaltigen Entwicklung auf ihre Anliegen einzugehen.“¹

Mitte der 1990er Jahre haben zahlreiche Städte und Gemeinden in Deutschland eine „Lokale Agenda 21“ erstellt, um in ihrem Zuständigkeitsbereich einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung zu leisten. Frei nach dem Motto: „Global denken und lokal handeln“. Gemeinsam mit zivilgesellschaftlichen Initiativen arbeiten sie an einer eigenen Nachhaltigkeitsstrategie. Seit fast zwei Jahrzehnten ist Nachhaltigkeit auch als gesetzlicher Auftrag im Planungsrecht fest verankert und zum integralen Bestandteil der Stadt- und Regionalentwicklung geworden.²

Dennoch muss man nach einem drei Jahrzehnte langen Nachhaltigkeitsdiskurs eine äußerst kritische Bilanz ziehen. Nicht nur im globalen Maßstab ist es bisher nicht gelungen, die Ressourcenextraktion, die Zerstörung von Ökosystemen oder das Artensterben zu bremsen, die Emissionen von Treibhausgasen zu senken und tiefgreifende soziale Unterschiede dauerhaft abzubauen. Auch in unseren Städten bleibt die soziale Polarisierung zwischen Arm und Reich ein virulentes Problem. Der Flächenverbrauch für die Expansion von Siedlungen sowie für den Bau von Verkehrsinfrastrukturen und Gewerbegebieten ist bisher kaum gebremst worden. In den ländlichen Räumen, deren Bevölkerung stagniert oder schrumpft, ist die Flächenversiegelung pro Kopf sogar am höchsten. Erfolge bei der energetischen Sanierung und Gebäudedämmung stehen stetig wachsende Wohnflächen je Einwohner entgegen

und wollen beheizt werden. Die Haushalte werden kleiner; Single-Wohnen und Zweitwohnungen immer beliebter. Trotz stagnierender Bevölkerung muss mehr gebaut werden, um den wachsenden Bedarf an Wohnraum zu stillen. Und wenn auch Erfolge bei der Umstellung der Stromerzeugung auf erneuerbare Energien zu verzeichnen sind, wächst doch der Strombedarf, weil immer mehr elektronische Geräte angeschafft werden. Die Digitalisierung wird diesen Trend noch beschleunigen. Die Bilanz fällt folglich sehr ernüchternd aus: Das Umweltbundesamt stellt fest, dass Deutschland seine selbstgesteckten Klimaziele deutlich verfehlen wird.³ Auch die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung weist bei vielen Indikatoren Defizite bei der Zielerreichung aus.⁴

Eine zu schwache Konzeption von Nachhaltigkeit

Was sind die Gründe dafür, dass die Umsetzung von Nachhaltigkeitszielen so deutlich hinter den Erfordernissen zurückbleibt? Weit verbreitet ist ein Verständnis von Nachhaltigkeit, das Ökologie, Ökonomie und Soziales in einem Drei-Säulen-Modell zusammenfasst. Vor allem Wirtschaftsverbände haben dieses Modell so interpretiert, dass ökonomische Wettbewerbsfähigkeit und Wirtschaftswachstum, ökologischer Ressourcenschutz sowie sozialer Ausgleich und soziale Teilhabe gleichrangig zu berücksichtigen seien. Jeder dieser Bereiche bilde eine eigenständige Säule der Nachhaltigkeit und stehe als solche harmonisch neben den anderen. Daher dürfe Nachhaltigkeit nicht als einseitig ökologisches Konzept verstanden werden. In dieser Sichtweise kann eine unbehelligte Fortsetzung des konventionellen wirtschaftlichen Wachstums Teil einer „Nachhaltigkeitsstrategie“ sein, wenn daneben auch soziale und ökologische Projekte realisiert werden.

■ Abb. 1: Weltweit werden Metropolen ausgebaut und greifen mit ihren Verflechtungen immer weiter ins Umland aus (sst).



AUTOR



■ Prof. Dr. Manfred Miosga ist Leiter der Abteilung für Stadt- und Regionalentwicklung der Universität Bayreuth.

Diese Interpretation des Drei-Säulen-Modells hat sich in der Stadt- und Regionalentwicklung vielfach durchgesetzt. Ökologische Belange wurden dadurch zwar unbestreitbar aufgewertet. Doch lesen sich manche Handlungskonzepte für die Kommunal- und Regionalpolitik als nebeneinander gestellte mehrspaltige Wunschzettel, die jede Akteursgruppe irgendwie zufrieden stellen sollen. Wechselseitige und oft widersprüchliche Wirkungen werden kaum berücksichtigt. So aber fehlt eine Orientierungsfunktion. Die Agenda 21 hat der Politik zwar klare Handlungsaufträge mitgegeben; deren ökologischer Dimension wird aber auch auf kommunaler Ebene kein Vorrang im Sinne einer *starken* Nachhaltigkeit eingeräumt. Der steigende Wettbewerb der Kommunen untereinander um Arbeitsplätze und Wirtschaftskraft und damit um Steuereinnahmen führt gerade umgekehrt dazu, dass wirtschaftliches Wachstum den Vorrang erhält.

mit steht eine grundlegende systemische Veränderung unseres Wirtschaftens und Konsumierens auf der Agenda. Ein gleichberechtigtes Nebeneinander von wirtschaftlichen Interessen, sozialen und ökologischen Belangen im Sinne eines „Weiter so wie bisher“ ist keine Option mehr.

Stadt- und Regionalentwicklung im Zeichen der „Großen Transformation“

Die „Große Transformation“ zur Nachhaltigkeit ist ein Mammutprogramm. Auch in den Städten und Regionen muss nach Alternativen gesucht werden, die zu einer raschen Reduktion der Treibhausgasemissionen und Ressourcenbedarfe führen. Technologische Innovationen sind dafür notwendig, werden aber allein nicht ausreichen. Änderungen des Konsum- und Mobilitätsverhaltens müssen hinzukommen, wie das Beispiel der Elektroautos zeigt. Nur wenn sie mit Ökostrom betrieben werden, sind sie klimaneutral; ihre Herstellung – insbesondere die der erforderlichen Batterien – verbraucht in hohem Maße fossile Energie und Ressourcen. Generell müssen Wege gefunden werden, wie mit einem deutlichen Weniger an materiellem Konsum Umweltbelastungen und Ressourcenverbräuche reduziert werden können und trotzdem eine hohe Lebensqualität aufrechterhalten werden kann. Dazu sind neue Ideen für die Herstellung und Nutzung von Produkten erforderlich, die auf Klimaneutralität, Umweltverträglichkeit, geschlossene Stoffkreisläufe, verkürzte Lieferketten, eine lange Nutzungsdauer sowie auf Reparaturfreundlichkeit setzen. Gemeinschaftliche Nutzungsformen und intelligentes Nutzungsverhalten können helfen, die benötigten Mengen an Rohstoffen und Gütern zu reduzieren. Dazu sind aber veränderte Kulturen im Umgang mit Gütern und Dienstleistungen erforderlich.

„Oft entstehen Innovationen mit transformativem Potenzial in Nischen – sei es in Hochschulen und Forschungseinrichtungen oder durch mutige Pioniere in der Zivilgesellschaft.“

Der Handlungsdruck für systemische Veränderungen steigt

Die spürbare Belastung der Ökosysteme erhöht jedoch auch für Städte und Regionen den Druck, das aktuelle Entwicklungsmodell grundlegend zu überdenken.⁵ Die zunehmende Klimakrise, die schwindende Integrität der Biosphäre und endliche Rohstoffe machen ein rasches Umsteuern zur Überlebensfrage. Wenn das im Pariser Abkommen vereinbarte Ziel eingehalten werden soll, die Erderwärmung möglichst nicht über 1,5 Grad ansteigen zu lassen, dürfen global nur noch 200 Gigatonnen CO₂ ausgestoßen werden (Stand 2016).⁶ Derzeit werden etwa 40 Gigatonnen jährlich emittiert. Soll sich die Erdatmosphäre höchstens um zwei Grad erwärmen, dürfen maximal noch 800 Gigatonnen ausgestoßen werden. Allerdings wächst dann das Risiko, dass die Folgen nicht beherrschbar bleiben und die Grundlagen unserer Zivilisation gefährdet werden. Daher müssen nun auf allen Ebenen alle Hebel in Bewegung gesetzt werden, damit die Veränderungen der Lebensgrundlagen durch die Erderwärmung auch in Zukunft noch kontrollierbar bleiben. Die wissenschaftlichen Beratergremien wie der WBGU oder der SRU fordern daher eine „Große Transformation“⁷. Da-



■ Abb. 2: Nicht zuletzt wachsende Mengen von Elektronikschrott (e-waste) machen ein Umdenken beim Ressourcenverbrauch und neue Recyclingverfahren erforderlich (sst).

Pioniere des Wandels vor Ort

Ein solcher Prozess zum Systemwechsel braucht Mut zum Experiment, einen Masterplan gibt es nicht. Oft



■ Abb. 3: Handel mit regional erzeugten Bio-Lebensmitteln (Foto: Peter Probst / shutterstock.com).



■ Abb. 4: Öffentliches Fahrradverleih-System, hier in Brüssel (Foto: pim pic / shutterstock.com).

entstehen Innovationen mit transformativem Potenzial in Nischen – sei es in Hochschulen und Forschungseinrichtungen oder durch mutige Pioniere in der Zivilgesellschaft. Wenn nicht hartnäckige Solarpioniere in den 1980er Jahren erste Solarpanels auf ihre Hausdächer geschraubt und in ihren Gemeinden auf die Einspeisung von Solarstrom in das Stromnetz gedrängt hätten, hätte es Anfang der 1990er Jahre nicht die einschlägigen Gesetzesänderungen gegeben. Ohne ihr beharrliches Plädoyer für eine nachhaltige Energieversorgung wäre das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und die garantierte Einspeisevergütung nicht denkbar gewesen, und ohne EEG gäbe es keine Energiewende. Das Beispiel zeigt: der Wandel ist möglich und beginnt in der Regel vor Ort. Ideen und Initiativen gibt es in vielen Bereichen:

- Die solidarische Landwirtschaft bringt Erzeuger und Konsumenten von Bio-Lebensmitteln in der Region zusammen, verkürzt Lieferketten und trägt zu veränderten Ernährungsgewohnheiten bei.
- Car-Sharing-Initiativen bieten die gemeinschaftliche Nutzung von Fahrzeugen an und erleichtern ein Leben ohne eigenes Auto oder zumindest mit weniger Autos im Haushalt. Flickwerkstätten für Fahrräder und Fahrradleihsysteme erleichtern die Mobilität in den Städten.
- Repair-Cafés motivieren zur Reparatur von Geräten, die sonst die Müllberge vergrößern würden. Tauschkreise fördern die Wieder- und Weiterverwendung von Altkleidern.
- Gemeinschaftliche Wohnprojekte bringen Generationen zusammen und nutzen Wohnraum effektiv.
- Bürgerenergiegenossenschaften produzieren regional saubere Energie, reduzieren Treibhausgas-Emissionen und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoff-Importen.



■ Abb. 5: Montage von Solarpanels auf Privatdächern (sst).

Mittlerweile gibt es zahlreiche solcher Initiativen, die neue Lebensweisen ausprobieren. Auch in der Wirtschaft gerät langsam etwas in Bewegung. Immer mehr Start-ups kommen mit neuen Ideen für ein nachhaltiges Leben auf den Markt.

Transformation als Lernfeld: das Forum1.5

Städte und Regionen können diese Entwicklungen befördern, indem sie eigene Handlungsspielräume nutzen und dabei möglicherweise neue Gestaltungsmöglichkeiten entdecken. Allerdings geschieht dies noch zu wenig. Sind sie noch zu sehr alten Denkschablonen verhaftet, mangelt es an Experimentiergeist, oder fehlt das Wissen um die Notwendigkeit einer raschen Transformation? Zweifellos sind neue Konzepte und gemeinschaftliche Anstrengungen von Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft erforderlich, um die Herausforderungen zu gestalten. Die konkrete Gestaltung der Transformation vor Ort ist vor allem ein Such- und Lernprozess. Genau hier liegt eine Zukunftschance für die Hochschulen. So hat die Abteilung für Stadt- und Regionalentwicklung der Universität Bayreuth mit dem Forum 1.5 eine Plattform für Initiativen geschaffen, die an dieser Transformation mitarbeiten wollen. Akteure aus Zivilgesellschaft, Wirtschaft und Kommunalpolitik diskutieren hier Strategien, wie in der Region alternative Praktiken entwickelt, erfolgreich gestaltet und verbreitert werden können. Die Wissenschaft identifiziert mögliche Blockaden und sorgt für einen aktuellen Forschungstransfer. Nach zwei Konferenzen sind sich alle Beteiligten einig, dass sie die bisherigen zahlreichen Impulse für mehr Nachhaltigkeit in Stadt und Region verstetigen wollen.

LINKTIPP

www.forum1punkt5.de



■ Abb. 6: Bürgerschaftliches Engagement in öffentlichen Repair-Cafés (Foto: Ilvy Njokiktjen / wikimedia commons / CC-BY-SA-3.0).

- 1 www.un.org/depts/german/conf/agenda21/agenda_21.pdf, hier Kap. 28.1.
- 2 So zum Beispiel im Raumordnungsgesetz des Bundes (§1 Abs. 2 ROG) oder im Baugesetzbuch (§1 Abs. 5 BauGB).
- 3 Siehe www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/klimabilanz-2016-verkehrskuehle-witterung-lassen.
- 4 Die Bundesregierung (Hg.): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Neuauflage 2016. Berlin 2017. Online: https://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiederhergestellt/2017-01-11-nachhaltigkeitsstrategie.pdf.
- 5 Die planetaren Belastungsgrenzen sind in einigen Bereichen bereits überschritten. Vgl. W. Steffen, K. Richardson et al.: Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, in: Science (2015), Vol. 347 Issue 6223, S. 736, DOI: 10.1126/science.1259855.
- 6 WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: Entwicklung und Gerechtigkeit durch Transformation: Die vier großen I. Sondergutachten. Ein Beitrag zur deutschen G20-Präsidentschaft 2017. Berlin 2016, S. 11.
- 7 WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. Berlin 2011; SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen: Umweltgutachten 2016: Impulse für eine integrative Umweltpolitik. Berlin 2016.

Schatzinseln in Gefahr?

Klimawandel und Naturschutz
auf ozeanischen Inseln



■ Blick auf die tiefzerfurchte grüne Nordküste von La Palma, die viele endemische Arten beheimatet (Foto: Severin Irl). Kleines Bild: Nahaufnahme der flammenartigen Blüten von *Lotus pyranthus*, einer extrem gefährdeten La Palma-endemischen Art, die nur noch an drei Stellen auf der gesamten Insel zu finden ist (Foto: Anke Jentsch).

Inseln üben auf Menschen eine besondere Anziehung aus. Fernab im Meer gelegen und oft nur unter Hemmnissen zu erreichen, rufen sie ein Bild der Abgeschiedenheit und der Entflechtung vom hektischen Leben auf den Kontinenten hervor. Das Meeresklima mit seiner salzhaltigen Luft und die vielfältigen Übergänge zwischen Land und Wasser, Küsten und Stränden werden als spezifische Qualitäten empfunden. All dies sind zugleich Faktoren, die im Verlauf der Evolution wesentlich zur Biodiversität von Inseln und zur Entstehung ihrer Ökosysteme beigetragen haben.

Will man sich aber ein charakteristisches Bild von Inseln vor Augen rufen, wird man sich ihrer Gegensätze bewusst. Über alle Breitengrade verteilt, sind ihre klimatischen Unterschiede enorm. Auch die Topographie der Inseln ist so vielfältig wie nur möglich und reicht von flachen Atollen, die kaum einen Meter über den Meeresspiegel hinausragen, bis hin zu Hochgebirgen. Hawaii ist sogar, vom Meeresboden aus gesehen, die größte Massenerhebung der Erde. Aufgrund ihrer Entstehungsgeschichte können Inseln eingeteilt werden in kontinentale und ozeanische Inseln. Die Zuordnung richtet sich danach, ob eine Insel als Teil der kontinentalen Kruste entstanden ist (zu welcher der Schelf gehört) oder sich auf der ozeanischen Kruste gebildet hat (und mithin vulkanischen Ursprungs ist). Beispiele für kontinentale Inseln sind Neuseeland, Bali, Sachalin, die Falkland-Inseln oder Sri Lanka. Ozeanische Inseln sind dagegen unter vielen anderen Hawaii, Galapagos, die Azoren, Kap Verde, Réunion, Island und die Kanarischen Inseln.

Inseln als Zentren der Evolution

Inseln sind besondere Hotspots der Biodiversität. Sie bedecken zwar nur drei Prozent der globalen Landfläche und sind – vor allem wenn es sich um ozeanische Inseln vulkanischen Ursprungs handelt – in der Regel relativ jung. Trotzdem beherbergen Inseln rund ein Viertel aller Arten, die gegenwärtig auf der Erde vorkommen. Der Grund für diese außergewöhnliche Rolle auf globaler Skala liegt nicht darin, dass einzelne Inseln eine ganz besonders hohe Artenvielfalt aufweisen, sondern in der Evolutionsgeschichte. Immer wieder ist es vorgekommen, dass Populationen einzelner kontinentaler Arten vom Festland abgeschnürt wurden und sich auf einer Meeresinsel in einer isolierten Lage wiederfanden. Diese über lange Zeiträume fortbestehende Isolation führte zur Bildung neuer Arten. Am Anfang steht

das abgeschnürte Vorkommen einer Art (Abb. 1), dann folgt die Herausbildung von Unterarten auf einzelnen Inseln (Abb. 2), schließlich werden durch die Evolution eigenständige Arten ausgebildet (Abb. 3), die nicht mehr mit anderen Arten gekreuzt werden können.

Besonders schutzwürdig: endemische Arten

Diese Entwicklungen machen jede Insel einzigartig, denn sie wird damit zur Heimat für Arten, die nirgendwo sonst auf der Erde vorkommen und daher als endemische Arten bezeichnet werden. Die Vielfalt ihrer Lebensformen und ihr überproportionaler Beitrag zur globalen Artenvielfalt begründen eine besondere Schutzwürdigkeit von inselendemischen Arten. Deren heutige Zahl ist nur noch ein Schatten der Vergangenheit: Die fehlende Anpassung an Fressfeinde und die spätere Besiedlung der Inseln durch den Menschen hat das Schicksal vieler Inselarten besiegelt.

Endemische Arten auf Inseln erfüllen oft eine wichtige Rolle für die Funktionsweise insularer Ökosysteme. Daher kann ihr Verlust die für Menschen äußerst wichtigen Ökosystemdienstleistungen stark beeinträchtigen, wie zum Beispiel Trinkwasserverfügbarkeit, Windschutz oder Erosionsschutz. Aus diesem Grund wurde auf vielen Inseln ein Netzwerk von Naturschutzgebieten eingerichtet, die sich oftmals durch ihren jeweiligen Schutzgebietsstatus unterscheiden. Zu diesen Gebieten zählen Nationalparks (Abb. 8), Biosphärenreservate und innerhalb der EU auch Landschaften, die dem „Natura 2000-Netzwerk“ angehören und als natürliche Schutzräume für wildlebende Pflanzen- und Tierarten ausgewiesen sind. Nicht selten unterscheiden sich die miteinander vernetzten Naturschutzgebiete auch hinsichtlich der Landnutzung – angefangen vom Fehlen jeder Nutzung durch den Menschen bis hin zur nachhaltigen Bewirtschaftung.

Naturschutzgebiete in Zeiten des Klimawandels

Aktuelle Studien zeigen, dass der vom Menschen gemachte Klimawandel sich auch auf Inseln auswirken und hier sowohl Temperaturen als auch Niederschlä-



■ Abb. 1: Die Population der Alpenkrähe (*Pyrrhocorax pyrrhocorax*) auf La Palma ist hier stark isoliert. Auf keiner anderen Kanaren-Insel kommt die Art vor (Foto: Carl Beierkuhnlein).

AUTOREN



■ Prof. Dr. Carl Beierkuhnlein ist Inhaber des Lehrstuhls für Biogeografie an der Universität Bayreuth. Der Lehrstuhl ist Mitglied im Bayreuther Zentrum für Ökologie und Umweltforschung (BayCEER), einem interdisziplinären Forschungszentrum der Universität Bayreuth.



■ Dr. Severin D. H. Irl ist Mitarbeiter des Lehrstuhls für Biogeografie. 2017 wurde er mit dem Eduard Strasburger-Preis der Deutschen Botanischen Gesellschaft ausgezeichnet.

■ Abb. 2: Die Männchen der Kanareneidechse, die mit einer eigenen Unterart auf La Palma vorkommt (*Gallotia galloti palmae*), weisen eine deutlich blaue Kehlfärbung auf (Foto: Carl Beierkuhnlein).



LITERATURTIPPS

S. D. H. Irl, A. Schweiger et al.: An island view of endemic rarity – environmental drivers and consequences for nature conservation, in: *Diversity and Distributions* (2017), 23(10), S. 1132–1142. DOI: 10.1111/ddi.12605.

S. D. H. Irl, D. E. V. Harter et al.: Climate vs. topography – Spatial patterns of plant species diversity and endemism on a high-elevation island, in: *Journal of Ecology* (2015), 103, S. 1621–1633. DOI:10.1111/1365-2745.12463.

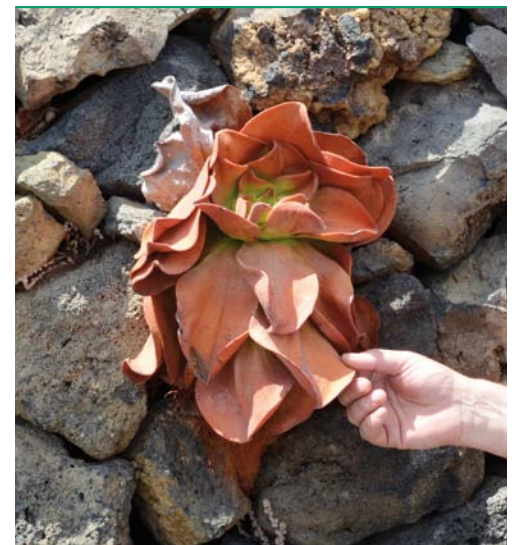
D. E. V. Harter, S. D. H. Irl et al.: Impacts of global climate change on the floras of oceanic islands – Projections, implications and current knowledge, in: *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* (2015), 17(2), S. 160–183.

C. Beierkuhnlein: Ökologie innovativ. Im Fokus: Lebensqualität und ökologische Dienstleistungen in Schutzgebieten Europas, in: *Spektrum* 2016/1 der Universität Bayreuth, S. 66–69.

„Endemische Arten auf Inseln erfüllen oft eine wichtige Rolle für die Funktionsweise insularer Ökosysteme.“

ge verändern wird. Schon heute gibt es Anzeichen dafür, dass Arten – insbesondere die endemischen Arten – auf diese Veränderungen reagieren, indem sie ihrerseits die eigenen Verbreitungsgebiete verlagern. Sie folgen den für sie bestmöglichen Klimabedingungen. Bisherige Forschungsergebnisse deuten auf zwei Tendenzen hin: Wenn sich die Temperaturen dauerhaft ändern, wandern Arten eher in höher gelegene Regionen; wenn sich die Niederschläge dauerhaft ändern, bewegen sie sich in Richtung der für sie besten Feuchtigkeitsbedingungen. Beide Tendenzen werden im Zuge des Klimawandels voraussichtlich zu einer komplexen Verschiebung der insularen Verbreitungsgebiete aller Arten führen.

Aktuelle Forschungsarbeiten auf der Kanareninsel La Palma zeigen, welche Gefahren drohen, wenn endemische Arten in die Höhe wandern. Diejenigen endemischen Arten, die schon jetzt nur in den höchsten Lagen der Insel vorkommen, erhalten Konkurrenz; vor allem sie sind vom Aussterben bedroht. Hinzu kommt, dass in den Tieflagen neue Klimabedingungen entstehen, die es an den Küsten zuvor noch nie gegeben hat. Falls sich infolgedessen die hier heimischen Arten in höhere Regionen zurückziehen, könnte ein sogenanntes „Tieflagenvakuum“ entstehen. Es sind dann keine Arten mehr vorhanden, welche die an den Küsten entstandene Klimanische ausfüllen könnten – mit dramatischen Aus-



■ Abb. 3: Dasselbe Exemplar von *Aeonium nobile*, einer inselendemischen Dickblattgewächs-Art von La Palma, im Jahr 2011 und im Trockenjahr 2012, jeweils Ende März (Fotos: Anke Jentsch).



■ Abb. 4: Der Lorbeerwald, der die steilen Hänge im Norden und Osten von La Palma beherrscht, repräsentiert ein fossiles Ökosystem aus der Zeit des Tertiär (Foto: Carl Beierkuhnlein).

Die Kanareninsel La Palma beherbergt eine Reihe sehr unterschiedlicher Ökosysteme. Deren besondere Funktionsweisen hängen entscheidend von endemischen Arten ab, die sich auf der Insel herausgebildet haben. Schutzgebiete stellen diese Arten unter staatlichen Schutz. Charakteristische Ökosysteme der Insel sind der immerfeuchte Lorbeerwald (Abb. 4), das extrem trockene Buschwerk mit dem kaktusartigen Endemiten *Euphorbia canariensis* (Abb. 5) und der Offenwald mit dem kanarentypischen Drachenbaum (*Dracaena draco*) (Abb. 6). Eine weitere Besonderheit ist der feuerangepasste Kanarenkieferwald mit der endemischen *Pinus canariensis*. Die Kanarenkiefer hat die erstaunliche Fähigkeit, nach einem Waldbrand Nadeln aus allen oberirdischen Organen sprießen lassen zu können. Die alpine Zone von La Palma, in der starke Winde auftreten und mit Schnee und Eis zu rechnen ist, wird dominiert von insel-endemischen Sträuchern (Abb. 7).



■ Abb. 5: Die kaktusartige *Euphorbia canariensis*, auch Kanaren-Wolfsmilch genannt, in einer extrem trockenen Küstenregion auf La Palma (Foto: Philipp Gnyoke).

■ Abb. 6: Eine der bekanntesten Pflanzenarten der Kanaren, der Drachenbaum (*Dracaena draco*), bei Las Tricias (Foto: Carl Beierkuhnlein).

■ Abb. 7: Im Gipfelbereich des Roque de los Muchachos in mehr als 2.400 m Höhe sind Eis und Schnee im Winter keine seltene Erscheinung (Foto: Ángel Palomares Martínez).

wirkungen auf die Funktionsweise von Ökosystemen und deren Dienstleistungen, die für den Menschen unentbehrlich sind.

Die Kanarischen Inseln werden gemeinhin als „Inseln des ewigen Frühlings“ angesehen. Doch sie sind – wie auch andere Inseln mit ähnlichen Klima-

verhältnissen – bereits heute nicht vor extremen Dürreereignissen gefeit, die den endemischen Arten stark zusetzen und zu intensiven Waldbränden führen können. Auch die Wahrscheinlichkeit von extremen Niederschlagsereignissen steigt. Damit aber steht das klassische Konzept von Naturschutzgebieten vor einem grundsätzlichen Problem. Naturschutzgebiete sind statische Gebilde, die in den meisten Fällen nicht darauf ausgelegt sind, dass sie veränderten Verbreitungsgebieten ihrer zu schützenden Arten angepasst werden können. Folglich ist es notwendig, mit Blick auf den sich abzeichnenden Klimawandel bestehende Naturschutzkonzepte zu überdenken und so zu überarbeiten, dass sie der Dynamik einer sich verändernden Welt gerecht werden. Dies gilt besonders für Inseln und ihre endemischen Arten. Deren Verbreitungsgebiete sind vergleichsweise klein, ihre genetische Variabilität ist gering. So haben es diese Arten besonders schwer, sich an veränderte Klima- und Umweltbedingungen anzupassen, zumal diese Veränderungen ihrerseits einen Wandel der Landnutzung und eine wachsende Konkurrenz durch gebietsfremde Arten nach sich ziehen. Sie sind daher einem erhöhten Aussterberisiko ausgesetzt.



LINKTIPP

Im EU-Projekt ECOPOTENTIAL werden Zustand und Entwicklung von Schutzgebieten mit Hilfe der Fernerkundung genau beobachtet und analysiert. An diesem Vorhaben arbeiten 47 europäische Partnerinstitutionen zusammen. Die Universität Bayreuth ist Mit-Koordinator des Projekts.

www.ecopotential-project.eu

■ Abb. 8: Nur wenige Pfade führen durch den Nationalpark Caldera de Taburiente auf La Palma. Weite Bereiche sind aufgrund ihrer Steilheit und des losen vulkanischen Gesteins für Menschen nicht erreichbar (Foto: Carl Beierkuhnlein).

NEUE MATERIALIEN

■ Seema Agarwal
Andreas Greiner

Nachhaltige Kunststoffe

Bioabbaubare und
biobasierende Polymere
als Materialien der Zukunft

■ In einem Labor der Bayreuther Polymerforschung: Die Bayreuther Chemiestudentin Lisa Schönfelder an einem 30 Liter-Reaktor für die Synthese von Monomeren zu Polymeren (Foto: Christian Wißler).



Textilien, Schuhe oder Verpackungen aus kompostierbaren Kunststoffen oder Gebrauchsgegenstände aus Kunststoffen, die durch die Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe entstehen, sind keine Utopie mehr. Solche Kunststoffe werden in der Fachwelt als bioabbaubare Polymere bzw. als biobasierende Polymere bezeichnet. Sie bieten vielfältige Möglichkeiten zum nachhaltigen Einsatz und zur Schonung unserer natürlichen Ressourcen. Auf den ersten Blick scheint ihre Verwendung mehr als sinnvoll und dringend geboten, um auch zukünftigen Generationen ein gutes Leben zu ermöglichen. Aber sind nachhaltige Polymere eine echte Alternative zu den nicht bioabbaubaren Polymeren auf Erdölbasis, von denen jährlich weltweit mehr als 300 Millionen Tonnen verbraucht werden, so dass die Umwelt immer stärker belastet wird? Darauf gibt es keine einfache Antwort. Noch viel weniger ist klar, ob sich nachhaltige Kunststoffe unter den gegebenen technischen, ökonomischen und wirtschaftspolitischen Rahmenbedingungen überhaupt durchsetzen können.

Eine nähere Beschäftigung mit diesen Fragen eröffnet wissenschaftlich hochinteressante Aspekte für die Makromolekulare Chemie, bei der die Universität Bayreuth international eine Spitzenstellung einnimmt. Darüber hinaus berührt die Thematik der nachhaltigen Kunststoffe auch viele andere Forschungsgebiete – sei es im Bereich der Werkstoff- und Ingenieurwissenschaften, der Biologie, Biotechnologie, Medizin, Pharmazie und Agrarwissenschaft bis hin zur Lebensmittelchemie und den Umweltwissenschaften. So bildet sich nahezu von selbst ein neues interdisziplinäres Umfeld.

Neben der Interdisziplinarität liegt der besondere Reiz der bioabbaubaren und biobasierenden Polymere darin, dass sie einerseits höchste wissenschaftliche Ansprüche in einem international sehr kompetitiven Umfeld stellen, andererseits aber auch vielfältige Anknüpfungspunkte für die Interessen von Nicht-Experten bieten. Dadurch ist immer für lebhaft Debatten auf allen Ebenen gesorgt. Der folgende Beitrag soll einen Eindruck von diesem Kontext vermitteln. Unberücksichtigt bleiben dabei die in lebenden Organismen produzierten Biopolymere, die von bioabbaubaren und biobasierenden Polymeren klar zu unterscheiden sind. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, gibt es für sie nur eingeschränkte technische Einsatzmöglichkeiten in der Industrie, weil eine konstante natürliche Verfügbarkeit sowie eine gleichbleibende Qualität und Modifizierbarkeit nicht immer gewährleistet sind.

Bioabbaubare Kunststoffe

Die meisten Polymere – wie beispielsweise Polyethylen, Polypropylen, Polystyrol, Polyester, Polyamide und Polyurethane – besitzen in natürlichen Medien eine relativ hohe chemische Stabilität. Sie werden heute in großen Mengen, bis hin zu mehreren tausend Tonnen jährlich, produziert und auch verwendet. Je nachdem, wie die künftigen Umweltbedingungen aussehen, kann man davon ausgehen, dass viele Kunststoffgegenstände auch nach hundert oder tausenden von Jahren noch als solche erkennbar sind und damit womöglich zum Thema zukünftiger archäologischer Forschung werden. Zugabenermaßen ist dies aus heutiger Sicht keine sehr beruhigende Vorstellung. Allerdings ist eine solche Entwicklung nicht zwangsläufig, wenn man die richtige Müllverwertung und das Recycling von technisch eingesetzten Kunststoffen ernst nimmt. Hierzu muss jeder Einzelne seinen persönlichen Beitrag leisten.



Anders ist die Situation bei bioabbaubaren Polymeren, die schon bald nach ihrem Gebrauch relativ leicht abbaubar sind. Von besonderem Interesse sind sie immer dann, wenn es nicht notwendig oder sogar unerwünscht ist, dass die verwendeten Kunststoffe über lange Zeiträume hinweg stabil bleiben. Solche Anwendungen sind unter anderem in der Medizin und der Pharmazie häufig anzutreffen. Prominente Beispiele sind Kapseln für die kontrollierte Freisetzung von Medikamenten, Träger für den Aufbau von neuem Zellgewebe in der regenerativen Medizin, Materialien für das Einbringen von Genen in das

■ Abb. 1: Mulchfolie aus Polyaktid (PLA) fördert den Anbau von Kulturpflanzen (Foto: F. Kesselring, FKUR Willich / wikimedia commons / CC-BY-SA-3.0-DE).

■ Abb. 2: Pheromon-Dispenser zur Schädlingsbekämpfung (sst).



Erbgut von Zellen, chirurgische Nahtmaterialien, aber auch Klebstoffe, Platten und Schrauben für Implantate. In der Landwirtschaft wiederum können bioabbaubare Polymere als Mulchfolien auf Feldern dienen und so die Wachstumsbedingungen der Pflanzen verbessern; oder sie können im Wein- und Obstbau als Pheromon-Dispenser die Schädlingsbekämpfung unterstützen. Auch als Verpackungsmaterialien für Folien, Becher, Flaschen und Tüten oder in Hygieneprodukten werden bioabbaubare Polymere gern verwendet. Generell sind sie immer dann sinnvoll,

- wenn erst durch ihren Abbau ein bestimmter gewünschter Effekt, wie etwa die Freisetzung von Medikamenten, erzielt wird oder
- wenn sie nach ihrem Gebrauch möglichst weitgehend in Monomere zerfallen oder zu nützlicher Biomasse werden sollen.

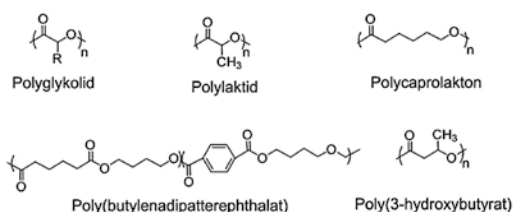
Bei all diesen reizvollen Aspekten sind jedoch auch die Kosten zu berücksichtigen, die mit dem Einsatz bioabbaubarer Polymere verbunden sind. So kann etwa das Einsammeln und Verwerten von Kunststoffresten oder auch die Beseitigung potenziell schädlicher Abbauprodukte einen nicht unerheblichen Aufwand erfordern. In dieser Hinsicht müssen sich bioabbaubare Polymere dem Wettbewerb mit herkömmlichen biostabilen Polymeren stellen. Bislang geht diese Konkurrenz oft zu Gunsten der „klassischen“ Kunststoffe aus.

„Das Potenzial der bioabbaubaren Polymere ist bislang bei weitem nicht ausgenutzt.“

Unter dem Bioabbau von Polymeren versteht man deren Verdauung durch Bakterien, Pilze, Algen und andere Mikroorganismen. Dabei bewirkt der Einfluss von Enzymen und der Hydrolyse, dass Brücken innerhalb von Makromolekülketten brechen und die Makromoleküle schließlich zu kleinen Molekülen, wie etwa Kohlendioxid und Wasser, abgebaut werden. Der einsetzende Bioabbau ist in vielen Fällen schon optisch gut erkennbar, wobei der eindeutige Nachweis und die Quantifizierung des Abbaus aufwendige analytische Methoden erfordern. Für die praktische Anwendung ist es wichtig, dass der Bioabbau der Polymere kontrolliert erfolgt. Es muss sichergestellt sein, dass die Dauer ihrer Nutzung und ihres Abbaus vorhersagbar ist und keine toxischen oder anderweitig schädlichen Abbauprodukte entstehen. Idealerweise können die Abbauprodukte wieder einem Nutzungszweck zugeführt werden, so dass ein geschlossener Stoffkreislauf, zum Beispiel mit Hilfe der Photosynthese, entsteht.

Typische bioabbaubare Polymere enthalten hydrolysierbare chemische Gruppen, wie etwa Ester, Carbonate und Urethane. Besonders häufig werden aliphatische Polyester eingesetzt (Abb. 3). Deren Bioabbaubarkeit lässt sich sehr weitgehend kontrollieren. Dies geschieht insbesondere dadurch, dass ihre chemische Struktur und infolgedessen auch ihr Kristallisationsgrad und ihre Affinität zu Wasser (Hydrophilie) gesteuert werden. Dabei bewirkt ein hoher Kristallisationsgrad meistens einen langsameren Bioabbau, während eine erhöhte Hydrophilie zu einem schnelleren Bioabbau führen kann. Wichtige Eigenschaften, wie etwa die thermomechanische Stabilität, können durch Einbau aromatischer Gruppen maßgeschneidert werden. Um Materialeigenschaften gezielt zu variieren, kann auch die Vielfalt der Bakterienwelt genutzt werden, die bei entsprechendem Nährstoffangebot die gewünschten Polymere im Verdauungsprozess erzeugen.

Das Potenzial der bioabbaubaren Polymere ist bislang bei weitem nicht ausgenutzt. Allerdings lassen sich mit ihnen allein nicht sämtliche Probleme lösen, die durch die zunehmende Belastung der Umwelt mit Plastikmüll – insbesondere auch mit winzigen Plastik-Partikeln (Mikroplastik) – ausgelöst werden. Gerade zu dieser Thematik sind weitere intensive Forschungsanstrengungen notwendig, um die Nutzbarkeit von bioabbaubaren Polymeren mit neuen Ideen



■ Abb. 3: Beispiele für technisch wichtige bioabbaubare Polyester.

AUTOREN



■ Prof. Dr. Andreas Greiner ist Inhaber des Lehrstuhls für Makromolekulare Chemie II an der Universität Bayreuth.



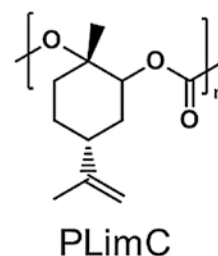
■ Prof. Dr. Seema Agarwal ist Professorin für Makromolekulare Chemie an der Universität Bayreuth.

voranzubringen. Die Makromolekulare Chemie an der Universität Bayreuth steuert hierfür wesentliche Forschungsbeiträge bei.¹ Sie wird ihre Anstrengungen künftig noch verstärken, um die internationalen wissenschaftlichen Arbeiten auf diesem wichtigen Gebiet auch in Zukunft mit vorantreiben zu können.

Biobasierende Kunststoffe

Die Grundbausteine biobasierender Polymere sind Monomere, die aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden. Dabei ist aber unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit zu bedenken, ob diese Rohstoffe infolge der rasant wachsenden Weltbevölkerung nicht auch dringend für die Nahrungsmittelproduktion benötigt werden. Dies gilt beispielsweise für die Zuckermoleküle, die einen großen Anteil an der Herstellung des bereits erwähnten bioabbaubaren Polyaktid (PLA) haben. Daher werden biobasierende Polymere idealerweise ausgehend von solchen nachwachsenden Rohstoffen hergestellt, die primär nicht lebensmittelrelevant sind. Einige dieser Rohstoffe lassen sich aus unbrauchbaren Abfällen der Lebensmittelproduktion in großen Mengen und bei kontrollierbarer Qualität gewinnen. Andere nachwachsende Rohstoffe ohne Lebensmittelrelevanz sind Zellulose, Lignin und Pflanzenöle. Sie bieten vielfältige spannende Anwendungsmöglichkeiten, sind jedoch aufgrund ihrer beschränkten kunststofftechnischen Verarbeitbarkeit oder Modifizierbarkeit nur begrenzt praktisch einsetzbar.

Eine bislang wenig erforschte Stoffklasse stellen Terpene dar, die sich als Rohstoffe für die Herstellung biobasierender Polymere eignen. Es sind heute mehr als 8.000 natürliche Terpene bekannt, einige davon sind in sehr großen Mengen bioverfügbar. Ein hervorragendes Beispiel für einen auf Terpen basierenden Kunststoff, der sehr erfolgreich von der Makromolekularen Chemie an der Universität Bayreuth erforscht wird, ist das sogenannte Polylimonen-carbonat (PLimC).² PLimC ist ein Polycarbonat, das aus einem biobasierenden Terpen – dem Limonen (sprich: Limonén mit langem e) – hergestellt wird. Das Limonen kann seinerseits aus den Schalen vieler Zitrusfrüchte gewonnen werden, die bekanntlich als Abfallstoff in der Lebensmittelproduktion in großen Mengen anfallen. Durch eine einfache chemische Umwandlung (Epoxidierung) entsteht aus Limonen ein Monomer, das in Verbindung mit dem Treibhausgas CO₂ zu PLimC polymerisiert werden kann. PLimC zeichnet sich dadurch aus, dass es im Gegensatz zu vielen anderen biobasierenden Polymeren eine tech-



nisch sehr attraktive Kombination von Eigenschaften besitzt. Es ist biostabil, schmelzbar, löslich, chemisch vernetzbar und bildet hochtransparente, relativ kratzfeste Filme aus. Die Anwendungsmöglichkeiten dieses Polycarbonats sind bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Sie eröffnen spannende Perspektiven für neue, umweltfreundliche und nutzbringende Materialien, die an der Universität Bayreuth in den kommenden Jahren weiter intensiv erforscht werden.

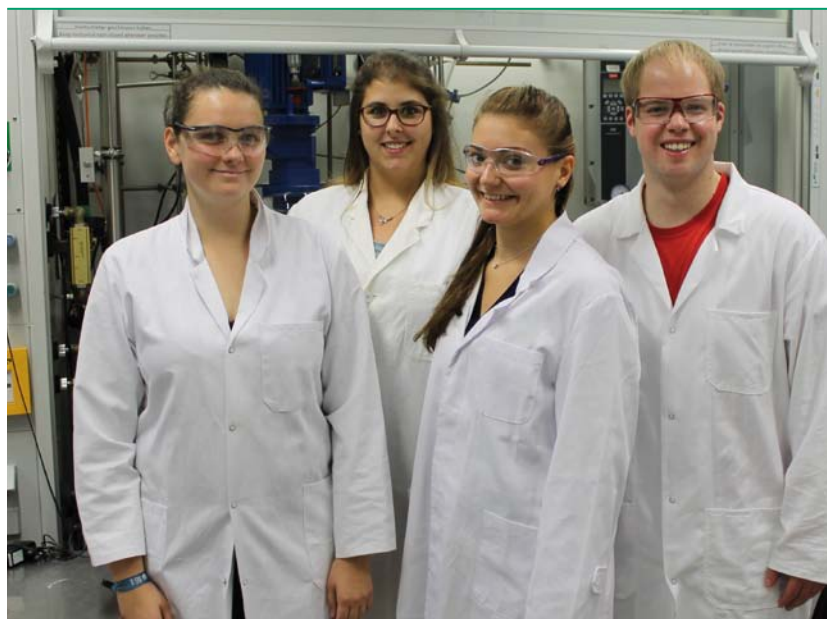
Fazit

Aufgrund der bisher erzielten Forschungsergebnisse ist klar: Nachhaltige Polymere, die ihrerseits aus bioabbaubaren und biobasierenden Polymeren bestehen, bieten vollkommen neue Lösungsansätze für nachhaltige Materialien. Ihre Notwendigkeit ist heute unbestritten, während die wissenschaftlichen Diskussionen über ihren Nutzwert, ihre Machbarkeit und ihren Preis sicherlich noch weitergeführt werden. Eine schöpferische Abschaffung klassischer Polymere – im besten Sinne von Joseph Schumpeters Konzept der „schöpferischen Zerstörung“ – ist in den nächsten Jahren nicht zu erwarten. Trotzdem werden nachhaltige Polymere, so oder so, ihren Platz im Portfolio industrieller Werkstoffe erreichen, weil das ökologische Bewusstsein von Unternehmen und Konsumenten immer stärkere Bedeutung gewinnt.

■ Abb. 4: Aus Limonen, das in Orangenschalen enthalten ist, und dem Treibhausgas CO₂ wird der „grüne Alleskönner“ PLimC (Fotos: sst).

- 1 Vgl. A. R. Bagheri, C. Laforisch, A. Greiner, S. Agarwal: Fate of So-Called Biodegradable Polymers in Seawater and Freshwater, in: Global Challenges (2017), Vol. 1, Issue 4. DOI: 10.1002/gch2.201700048.
- 2 O. Hauenstein, S. Agarwal, A. Greiner: Bio-based polycarbonates as synthetic toolbox, in: Nature Communications (2016), DOI: 10.1038/ncomms11862. Siehe auch die Pressemitteilung der Universität Bayreuth: <https://idw-online.de/de/news654446>.

■ Abb. 5: Ein studentisches Forschungsteam am Lehrstuhl Makromolekulare Chemie II der Universität Bayreuth hat sich auf nachhaltige Kunststoffe spezialisiert: Janina Bailer B.Sc., Lisa-Cathrin Leitner, Lisa Schönfelder, Simon Neumann M.Sc. (v.l.n.r., Foto: Christian Wjßler).





■ Volker Altstädt

Zukunftstechnologie Leichtbau

Faserverstärkte Kunststoffe als Hoffnungsträger für Ökologie und Ökonomie

■ Die Bayreuther Prepreg-Forschungsanlage macht es möglich, neue funktionalisierte faserverstärkte Kunststoffe herzustellen, die anschließend unter Kurz- und Langzeitbelastung in verschiedensten Hinsichten getestet werden. Dazu zählen thermoanalytische, rheologische und mechanische Parameter wie Glasübergangstemperatur, Viskosität oder Medienbeständigkeit. Auf dem Bild prüfen Christin Pawelski-Höll M.Sc. und Christian Bauer, Mitarbeiter des Lehrstuhls Polymere Werkstoffe, vor Beginn der Prepreg-Produktion das Auftragswerk. (Foto: Christian Wißler).

Der grundlegende Ansatz für den Leichtbau ist einfach: Weniger Gewicht von Fahrzeugen aller Art – von Flugzeugen und Raumfähren, Automobilen, Booten oder Schiffen – bedeutet weniger Treibstoffverbrauch und somit auch geringere Schadstoff-Emissionen. Eine solche Gewichtsreduktion kann durch den Einsatz von faserverstärkten Kunststoffen erreicht werden, die etwa 70 Prozent leichter als Stahl und immer noch 30 Prozent leichter als Aluminium sind. Faserverbundwerkstoffe müssen jedoch heute strengeren technischen und umweltrelevanten Anforderungen genügen als noch vor einigen Jahren. Der dadurch erzeugte zusätzliche Innovationsschub war und ist sowohl in ökologischer als auch in ökonomischer Hinsicht nötig: Nur so lassen sich international vereinbarte Klimaziele erreichen, und nur so können Unternehmen im internationalen Wettbewerb auch in Zukunft bestehen.

Das Anwendungsspektrum für faserverstärkte Kunststoffe hat sich in den letzten Jahren rasch vergrößert (Abb. 1). Es reicht vom Flugzeugbau, in dem diese Materialien bereits serienmäßig verwendet werden, bis zur Automobilindustrie. Aufgrund ihrer hervorragenden mechanischen Eigenschaften – zum Beispiel einer hohen Belastbarkeit bei geringer Dichte – haben sie das Potenzial, sich zum Standardmaterial für den Straßenverkehr zu entwickeln.

Verstärkende Fasern im Kunststoffgerüst

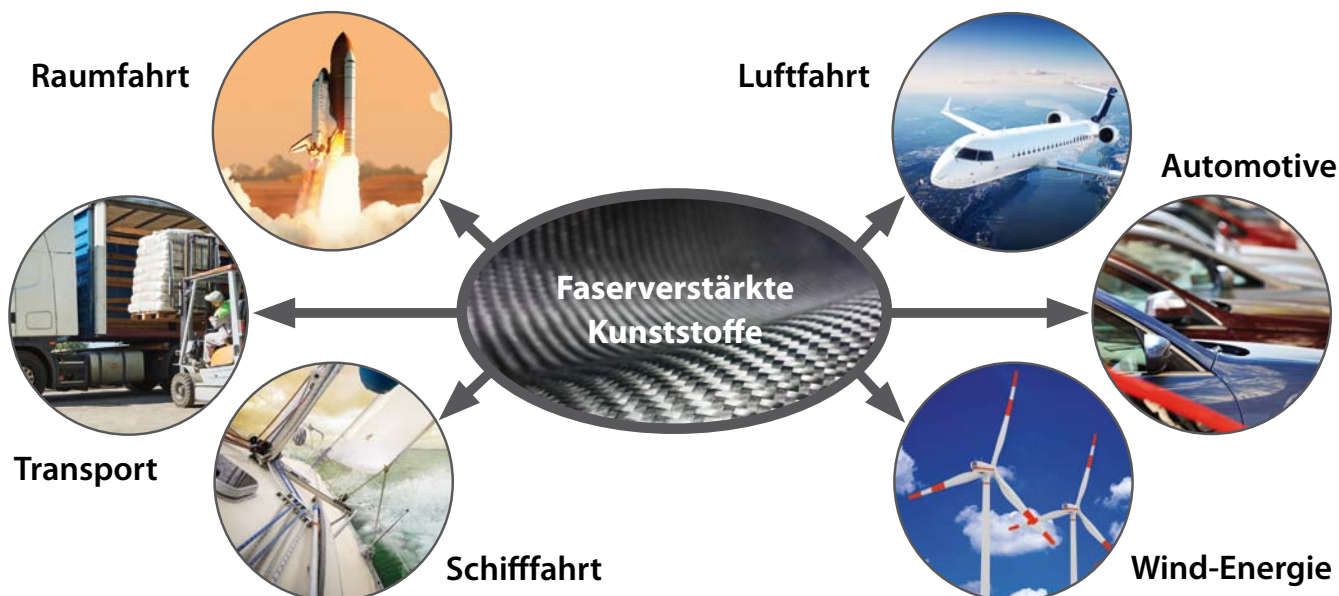
Faserverstärkte Kunststoffe sind immer nach dem gleichen Grundprinzip aufgebaut: In eine Matrix,

die aus einem duroplastischen Polymerharz besteht, sind verstärkende Fasern eingelassen. In der Regel handelt es sich um Glas- oder Kohlenstofffasern, auch Carbonfasern genannt. Bei der Herstellung der faserverstärkten Kunststoffe kommt eine spezielle Maschinenteknik zum Einsatz: Die Fasern werden in flüssiges Polymerharz getränkt, anschließend werden sie gehärtet. Aus den so entstandenen Werkstoffen können nun Faserverbundbauteile mit geringem Aufwand und kostengünstig für den Endanwender hergestellt werden.

„Auf Gebieten der High-Tech-Elektronik können neue Anwendungsfelder erschlossen werden, die den Anforderungen an Miniaturisierung, Langlebigkeit und umweltfreundliche Recyclefähigkeit gerecht werden.“

In einem Bauteil aus faserverstärktem Kunststoff hat die Matrix die Aufgabe, die Stabilität der Bauteilstruktur zu erhalten und die Fasern vor Umwelteinflüssen zu schützen. Den Fasern kommt die lasttragende Funktion zu. Carbonfasern sind derzeit zwar teurer als Glasfasern, sind diesen aber hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften deutlich überlegen. Zwischen 2010 und 2015 ist daher der Markt an carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) weltweit bereits um 80 Prozent auf rund 90.000 Tonnen pro Jahr gewachsen. Erwartet wird ein Wachstum auf jährlich 175.000 Tonnen bis 2021. Etwa 45 Prozent der CFK werden mit Hilfe von Prepregs gefertigt. Prepregs (**pre-impregnated fibers**) sind mit Polymerharz

■ Abb. 1: Faserverstärkte Kunststoffe bewirken heute in zentralen Technologiefeldern eine Verringerung von Schadstoff-Emissionen (Fotos: sst).



■ Abb. 2: Nachdem die Fasern mit Polymerharz imprägniert sind, werden die Prepregs gekühlt und aufgerollt (Foto: Christian Wißler).



zen vorimprägnierte, nicht vollständig ausgehärtete Faserverbund-Halbzeuge. Sie haben in der Regel das Aussehen von flachen bahnenförmigen Schichten, die ähnlich wie Tapeten oder Stoffe auf Rollen gewickelt werden können. Indem mehrere Lagen dieser Prepregs übereinander gestapelt werden, kann das gewünschte Bauteil unter erhöhter Temperatur fertiggestellt werden.

Entwicklung neuer Prepreg-Materialien

Der Lehrstuhl für Polymere Werkstoffe an der Universität Bayreuth kann als einzige universitäre Forschungseinrichtung in Deutschland auf eine Prepreganlage im Forschungsmaßstab zurückgreifen (Abb. 2-4). Diese ist speziell für die Entwicklung neuer Polymerharze ausgelegt, die im Prepreg-Verfahren eingesetzt werden. Die Bayreuther Anlage ist so leistungsstark, dass Prepreg-Bahnen mit einer Breite von 30 Zentimetern und einer Streckengeschwindigkeit von bis zu 10 Metern pro Minute hergestellt werden können. Damit lassen sich industrielle Herstellungsprozesse hier im Forschungsmaßstab abbilden. So ist es möglich, Prepregs in der für die Luftfahrt benötigten, außerordentlich hohen Qualität mit sehr geringen Mengen an Harz herzustellen. Dies ist eine wichtige Voraussetzung, um die Materialien und ihre Eigenschaften im Labormaßstab zu untersuchen und gezielt zu optimieren.

Eine Besonderheit der Anlage stellt das innovative und äußerst flexible Auftragswerk dar. Hiermit können Polymerharze innerhalb einer großen Viskositätsbreite, die von dünnflüssigen bis hin zu zähen honigartigen Substanzen reicht, verarbeitet werden. In den meisten Fällen werden Epoxidharze für die Matrix faserverstärkter Kunststoffe verwendet. Sie weisen nach der Aushärtung hohe mechanische Kennwerte auf, bieten meistens eine gute Wärmeformbeständigkeit und sind stabil gegen Witterungseinflüsse oder aggressive Flüssigkeiten wie Motoröl oder Säuren. Die Verarbeitung von Epoxidharzen ist aber nicht immer unproblematisch. Denn sobald die Härtingsreaktion startet, steht für die Verarbeitung nur ein begrenztes Zeitfenster (die sogenannte Topfzeit) zur Verfügung. Zudem sind Epoxidharze aufgrund ihrer hohen Vernetzungsdichte von Natur aus eher spröde und daher vergleichsweise brüchig, was die Anwendungsbreite beschränken könnte. Doch mit neuen Verfahren auf dem Gebiet der multifunktionellen Prepregs gelingt es heute, diese Nachteile mit neuen Harzsystemen zu überwinden.

Multifunktionelle Prepregs

In der Industrie wächst heute weltweit die Nachfrage nach faserverstärkten Kunststoffen, die hochgradig funktionalisiert und für spezielle Anwendungen maßgeschneidert sind. Der Lehrstuhl für Polymere

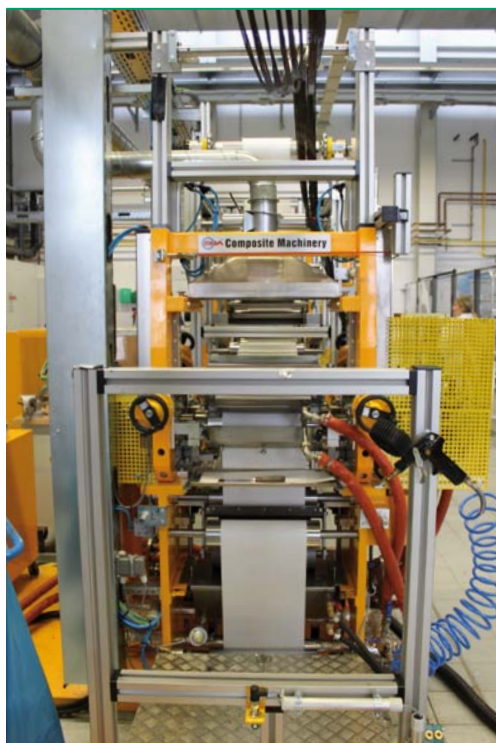
LINKTIPPS

Polymer Engineering
an der Universität Bayreuth:
www.polymer-engineering.de

Polymer- und Kolloidforschung
an der Universität Bayreuth:
www.polymers.uni-bayreuth.de

■ Abb. 3: Die Zugpartie der Prepreg-Anlage bestimmt den Produktionsprozess (Foto: Christian Wißler).





Werkstoffe erforscht und entwickelt daher bereits seit vielen Jahren innovative Harzsysteme für die Luft- und Raumfahrt, die Automobil- und die Elektronik-Industrie – sei es innerhalb von öffentlich geförderten Projekten oder durch direkte Kooperationen mit Unternehmen. Die Anforderungen an die Materialien betreffen dabei insbesondere die Zähmodifikation, den Flammenschutz sowie die elektrische oder thermische Leitfähigkeit der Bauteile.

Bei der Zähmodifikation geht es darum, die von Natur aus vorliegende Sprödigkeit und daraus resultierende Brüchigkeit von Epoxidharzen und anderen Polymerharzen zu verringern. Dies geschieht insbesondere mit Zusatzstoffen (Additiven), die diesen Kunststoffen beigemischt werden. So ist es in Bayreuth beispielsweise gelungen, für den Flugzeugbau Epoxidharze zu produzieren, die sich durch eine hohe Bruchzähigkeit auszeichnen.

Auch im Bereich des Flammschutzes steigen die Anforderungen. Neue oder verschärfte gesetzliche Bestimmungen müssen erfüllt werden. Viele der gegenwärtig angewendeten Flammenschutzmittel erweisen sich jedoch als zunehmend problematisch: Sie müssen in hohen Konzentrationen zugegeben werden, um eine effektive Wirkung zu erzielen, und sind deshalb toxikologisch bedenklich. Aktuelle Forschungsansätze befassen sich daher mit organophosphorhaltigen Flammenschutzmitteln, die addi-

tiv dem Harz zugegeben werden oder intrinsisch im Harz enthalten sind. Eine weitere Möglichkeit, toxische Wirkungen zu vermeiden, besteht darin, thermoplastische Zähmodifizierer durch phosphorhaltige Komponenten so zu optimieren, dass sie flammgeschützt sind. In diesem Fall wird die Harzmatrix durch ein einziges Additiv gleich in doppelter Hinsicht verbessert: Flammenschutz und hohe Bruchzähigkeit werden kombiniert.

Die thermische oder elektrische Leitfähigkeit eines Materials – oder auch eine Kombination aus beiden Eigenschaften – kann durch Metall- und Keramikpartikel, aber auch durch organisches Material wie Graphit in verschiedensten Größen und Partikelgeometrien optimal eingestellt werden. Prepregs, die aufgrund solcher Füllstoffe sowohl thermisch leitfähig als auch flammgeschützt sind, eignen sich hervorragend für Entwicklung neuartiger Leiterplatten. So können auf Gebieten der High-Tech-Elektronik neue Anwendungsfelder erschlossen werden, die den Anforderungen an Miniaturisierung, Langlebigkeit und umweltfreundliche Recyclefähigkeit gerecht werden. Sie können darüber hinaus einen wichtigen technologischen Beitrag zur Elektromobilität leisten.

Multifunktionale Prepregs erweisen sich damit als Werkstoffe mit einem äußerst vielversprechenden Anwendungspotenzial. Sie sind ein hervorragendes Beispiel für neue Materialien, die einem Verständnis von Nachhaltigkeit entsprechen, das technologische, ökonomische und ökologische Aspekte integriert. Mit ihrer langjährigen Expertise und einer exzellenten Laborausstattung wird die Universität Bayreuth auch in Zukunft neue Impulse für die Erforschung, Entwicklung und Optimierung dieser Werkstoffe setzen können.



AUTOR

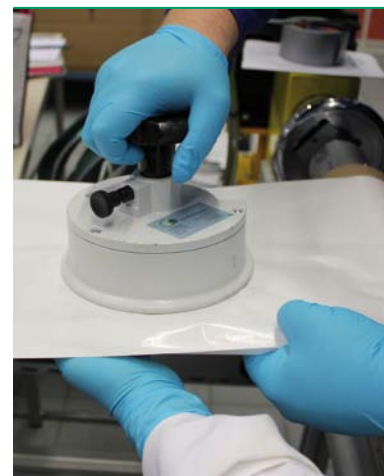


■ Prof. Dr.-Ing. Volker Altstadt ist Inhaber des Lehrstuhls für Polymere Werkstoffe an der Universität Bayreuth.

■ Abb. 4: Das Auftragswerk der Prepreg-Anlage: Harz wird als ein sehr dünner Film auf das Trägerpapier aufgetragen (Foto: Christian Wißler).

■ Abb. 5 (unten li.): Qualitätsüberprüfung eines Prepregs: Damit es die erforderliche Qualität hat, muss das Polymerharz die hier verwendeten Glasfasern gleichmäßig und blasenfrei umschließen (Foto: Christian Wißler).

■ Abb. 6 (unten re.): Qualitätssicherung: Das Flächengewicht des Prepregs wird unter Verwendung eines Kreis-Ausschneiders bestimmt. So kann der Harz- und Fasergehalt präzise ermittelt werden (Foto: Christian Wißler).





ENERGIE

■ Gilbert Fridgen
Eva-Maria Ländner
Michael Schöpf

Nachhaltigkeit durch Flexibilität

Die Vernetzung
von Unternehmen
mit dem Stromsystem

■ *Blick durch einen Hochspannungsmasten (sst).*

Im Zuge der Energiewende soll in Deutschland bis 2050 ein Anteil von 80 Prozent der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien stammen. Zukünftig soll der größte Teil des Stroms durch Windkraft und Photovoltaik gewonnen werden. Wieviel Strom dann im Tagesverlauf in das Stromnetz eingespeist wird, hängt allerdings stark von wenig kontrollierbaren Wettereinflüssen ab. Dies führt zu einer hohen Volatilität des Stromangebots, wobei die Schwankungen sich nicht in allen Fällen genau vorhersagen lassen.

Die zentrale Herausforderung der Energiewende

Für die Stabilität des Stromnetzes ist es entscheidend, dass die Einspeisung von Strom seitens der Stromnetzbetreiber und die Entnahme seitens der Verbraucher zu jedem Zeitpunkt ausgeglichen sind. Daher ist die mit der Energiewende steigende Volatilität eine nicht zu unterschätzende Herausforderung. Zukünftig muss ein Portfolio aus mehreren Technologien dafür sorgen, dass die Stromversorgung in Deutschland auch in Zeiten von zu wenig oder zu

SynErgie – ein Forschungsbeitrag zur Energiewende

Das Forschungsprojekt SynErgie ist eines von bundesweit vier Großprojekten, die das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen seiner Initiative „Kopernikus-Projekte für die Energiewende“ fördert. Der Name steht für „Synchronisiertes Energiemanagement für die Ausrichtung energieadaptiver Prozesse“. Die Rechts- und Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät der Universität Bayreuth ist an dem Vorhaben maßgeblich beteiligt: Unter der Leitung von Prof. Dr. Gilbert Fridgen und Prof. Dr. Knut Werner Lange arbeiten Wirtschaftsinformatiker und Rechtswissenschaftler hier fächerübergreifend zusammen.

viel Wind und Sonne stabil bleibt. Als Optionen stehen dabei Speichertechnologien, ein überregionaler Netzausbau, der Bau neuer flexibler Kraftwerke und auch „Demand Response“ zur Verfügung. Hierbei handelt es sich um eine kurzzeitige Anpassung der Stromnachfrage an das Stromangebot. Konkret bedeutet dies: Strom wird dem Netz vor allem dann entnommen, wenn er im Überfluss vorhanden ist; hingegen sinkt der Verbrauch, wenn wenig Wind- oder Photovoltaik-Strom im Netz vorhanden ist.

„Die Vision ist, eine vom Windrad bis zur Produktionsmaschine durchgängig integrierte und automatisierbare Steuerung zur Nutzung von Demand Response zu schaffen.“

Demand Response als Ausgleichsoption

Demand Response ist vor allem für kurze Zeiträume (wenige Minuten bis wenige Stunden) eine relativ kostengünstige Möglichkeit, um für Stabilität im Stromnetz zu sorgen. Öffentlich sichtbar wurde diese Option bislang vor allem in Privathaushalten, wo es im Bereich des *Smart Home* bereits verschiedene Anwendungen gibt. Ein prominentes Beispiel ist die planmäßige Umstellung des Betriebs von Haushaltsgeräten auf Tages- oder Nachtzeiten, in denen große Strommengen verfügbar sind. Allerdings bieten derartige Maßnahmen nur ein geringes Potenzial für Demand Response. Denn Geräte im Haushaltsbereich sind vergleichsweise energieeffizient, und die Bereitschaft der Menschen, ihren gewohnten und von der Nutzung dieser Geräte stark beeinflussten Tagesablauf zu ändern, ist aktuell nicht sehr ausgeprägt. Der Beitrag von Haushaltsgeräten zur Netzstabilität erweist sich somit kurz- und mittelfristig als unerheblich.

Die energieintensive Industrie als Schlüssel

Ein deutlich höheres Potenzial für Demand Response bietet in Deutschland der Industriesektor mit knapp 44 Prozent Anteil am nationalen Stromverbrauch. Ein Beispiel sind Kühlhäuser: Die darin gelagerten Güter können – ähnlich wie im Kühlschrank zuhause – Temperaturschwankungen innerhalb einer gewissen Bandbreite ohne Qualitätsverlust standhalten. Mit einer intelligenten Steuerung der Kühlaggregate ließe sich diese Bandbreite nutzen, um den Stromverbrauch den Bedürfnissen des Stromnetzes für einige Stunden anzupassen. In diesem Fall wären Einsparungen bei den Stromkosten im zweistelligen Prozentbereich möglich. Gleichwohl wird dieses Potenzial von der Industrie bislang nur in geringem Umfang genutzt.

Damit die Stabilität des Stromnetzes auch im künftigen Stromsystem erhalten bleibt, ist es jedoch unabdingbar, dass Industriebetriebe ihre Stromnachfrage



■ Abb. 1: Gefrorene Lebensmittel in einem Kühlhaus (sst).

AUTOREN



■ Prof. Dr. Gilbert Fridgen ist Professor für Wirtschaftsinformatik und Nachhaltiges IT-Management an der Universität Bayreuth sowie stellvertretender wissenschaftlicher Leiter der Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT.



■ Dipl.-Jur. Eva-Maria Ländner ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Bürgerliches Recht, deutsches und europäisches Handels- und Wirtschaftsrecht (Prof. Dr. Knut Werner Lange) an der Universität Bayreuth.



■ Michael Schöpf M.Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Wirtschaftsinformatik und Nachhaltiges IT-Management an der Universität Bayreuth.

flexibilisieren. Genau dies ist der Ansatzpunkt für Forschungsarbeiten im Rahmen des Forschungsprojekts SynErgie: Es wird untersucht, welche Potenziale in Unternehmen energieintensiver Branchen schon vorhanden sind oder neu erschlossen werden können. Darüber hinaus geht es um die Frage, welche Anreize geschaffen und welche Hindernisse beseitigt werden sollten, damit Unternehmen diese Potenziale nutzen.

Ein interdisziplinärer Forschungsansatz

Demand Response ist aber ein Drahtseilakt. Einerseits müssen Unternehmen, wenn sie die eigene Stromnachfrage flexibel gestalten wollen, in ihre zunehmend komplexen Produktionssysteme und Wertschöpfungsnetze eingreifen. Andererseits sollen die Produktionsbedingungen in Deutschland – und damit Wertschöpfung, Wettbewerbsfähigkeit und Arbeitsplätze – nicht zu stark durch die Energiewende eingeschränkt werden. Die Frage nach einer optimalen Nutzung von Demand Response ist daher keineswegs nur technischer Art. Technische Lösungen müssen sich auch wirtschaftlich lohnen und rechtlich möglich sein, sonst werden sie am Markt scheitern. Es bedarf daher einer interdisziplinären Zusammenarbeit von Wirtschaftsinformatikern und Rechtswissenschaftlern, wie sie an der Universität Bayreuth im Forschungsprojekt SynErgie beispielhaft realisiert wird.

Erträge durch erhöhte Nachfrageflexibilität

Wenn Unternehmen ihren Stromverbrauch durch Demand Response flexibel gestalten, entstehen Opportunitätskosten (zum Beispiel eine raschere Abnutzung von Maschinen) und Transaktionskosten (wie etwa bei kurzfristigen Änderungen von Fertigungsaufträgen). Was also können, was sollten sie tun, damit sich Demand Response dennoch für sie lohnt? Derzeit haben Unternehmen zwei Optionen, um mittels Demand Response Erträge zu erzielen:¹

- Im Bereich des Stromhandels können sie Preisschwankungen ausnutzen, etwa wenn sich der Strom an der Strombörse infolge eines erhöhten Angebots verbilligt.
- Aufgrund von Systemdienstleistungen können Unternehmen direkt vom Netzbetreiber für die kurzfristigen Änderungen des Stromverbrauchs vergütet werden. Dabei muss das Unternehmen aber vorab garantieren, dass diese Änderungen auch möglich sind.



Im SynErgie-Projekt wird untersucht, wie sich die Nutzung von Demand Response am Strommarkt über beide Wege verbessern lässt und welche weiteren gewinnbringenden Optionen in Betracht kommen. Dazu zählen insbesondere feiner differenzierte Strommarktprodukte und neue Geschäftsmodelle in der Energiewirtschaft und bei energieintensiven Unternehmen.

Vernetzung von industrieller Produktion und Strommärkten

Neue Ansätze mit dem Ziel, die Transaktionskosten für Demand Response zu senken, bilden einen weiteren Forschungsschwerpunkt. Derzeit wird Demand Response von Unternehmen häufig noch durch manuelle Anlagenabschaltung genutzt. Im Beispielfall des Kühlhauses – und nicht nur hier – sollte jedoch idealerweise von einer intelligenten Steuerung entschieden werden, wann Demand Response genutzt wird. In Zusammenarbeit des Synergie-Projekts mit der ebenfalls in Bayreuth ansässigen Fraunhofer Projektgruppe Wirtschaftsinformatik und mit weiteren Partnern wird daher eine Online-Plattform entwickelt, die unterschiedliche Dienstleistungen zusammenführt. Sie erlaubt eine intelligente Steuerung von Produktionsmaschinen und eine aufwandsarme Anbindung von Unternehmen an die Strommärkte.² Dabei müssen technologisch weit auseinanderliegende Welten miteinander verbunden werden: die Unternehmen einerseits und Strommärkte sowie Stromanbieter andererseits.

Die Vision ist, eine vom Windrad bis zur Produktionsmaschine durchgängig integrierte und automatisierbare Steuerung zur Nutzung von Demand Response zu schaffen. So können manuelle Eingriffe vermieden und die dadurch bedingten Transaktionskosten gesenkt werden. Damit aber die Teilnahme an der neuen Plattform möglichst vielen Unternehmen offensteht, müssen Zugangshemmnisse für die Nutzung von Demand Response abgebaut werden.



Hindernisse auf dem Weg zur flexiblen Stromnachfrage

Die Forschungsstelle für deutsches und europäisches Energierecht an der Universität Bayreuth hat die rechtlichen Rahmenbedingungen für eine Teilnahme am Strommarkt analysiert und festgestellt, dass die Marktzugangsvoraussetzungen hoch sind. Bevor Industrieunternehmen Demand Response gewinnbringend nutzen können, müssen sie einige technische Voraussetzungen erfüllen, die ihnen gesetzlich vorgegeben sind. Insbesondere die zu erbringenden Systemdienstleistungen müssen – durchaus zu Recht – hohen Standards entsprechen. Denn wenn ein Industrieunternehmen mit einem Stromnetzbetreiber vereinbart hat, dass es seinen Stromverbrauch kontinuierlich den Netzschwankungen anpassen wird, dann muss es im Interesse der Netzstabilität dazu auch tatsächlich in der Lage sein. Das hierfür erforderliche Fachpersonal und die technischen Voraussetzungen sind allerdings mit hohen Kosten und einem erheblichen Organisationsaufwand verbunden. Folglich sinkt die wirtschaftliche Attraktivität einer flexiblen Gestaltung der Stromnachfrage. Zugleich ist jedoch absehbar, dass die Potenziale der Nachfrageflexibilität mit dem Voranschreiten der Energiewende stetig wachsen. Daraus ergibt sich ein weiteres Arbeitsgebiet für die interdisziplinäre Forschung: Es ist zu analysieren, ob und inwieweit die technisch zu erfüllenden gesetzlichen Vorgaben erleichtert werden können, ohne die Versorgungssicherheit zu beeinträchtigen.³

Eine benachbarte Problematik ist die Gewährung individueller Netzentgelte. Grundsätzlich hat jeder Nutzer des Stromnetzes ein Entgelt für die Netznutzung zu entrichten. Dieses Netzentgelt ist als Teil des Strompreises zu bezahlen. Industrieunternehmen haben eine Sonderstellung. Sie erhalten unter bestimmten Voraussetzungen die Möglichkeit, mit dem örtlichen Stromnetzbetreiber ein individuelles Netzentgelt zu vereinbaren, wodurch sie einige

Millionen Euro im Jahr einsparen können. Für diese Gewährung individueller Netzentgelte gibt es gesetzliche Voraussetzungen. Diese waren ursprünglich darauf ausgerichtet, dass Industrieunternehmen den Stromverbrauch möglichst glätten – sei es durch eine konstant hohe Stromabnahme, sei es durch ein ‚antizyklisches‘ Verhalten, indem sie das Stromnetz vor allem dann nutzen, wenn die übrigen Netznutzer nur wenig Strom benötigen. Industrieunternehmen, die ihre Nachfrage flexibel gestalten, können die gesetzlichen Vorgaben individueller Netzentgelte aber oftmals nicht erfüllen. Sie können deren wirtschaftliche Vorteile nicht nutzen und sind daher wirtschaftlich deutlich schlechter gestellt als ohne die Erbringung von Nachfrageflexibilität. Denn die Gewinne, die sie aufgrund von Systemdienstleistungen durch Demand Response erzielen, sind viel geringer als die Beträge, die sie durch die Gewährung individueller Netzentgelte einsparen.⁴ Daher gilt es zu analysieren, ob und inwieweit die Systematik der Netzentgelte geändert werden sollte.

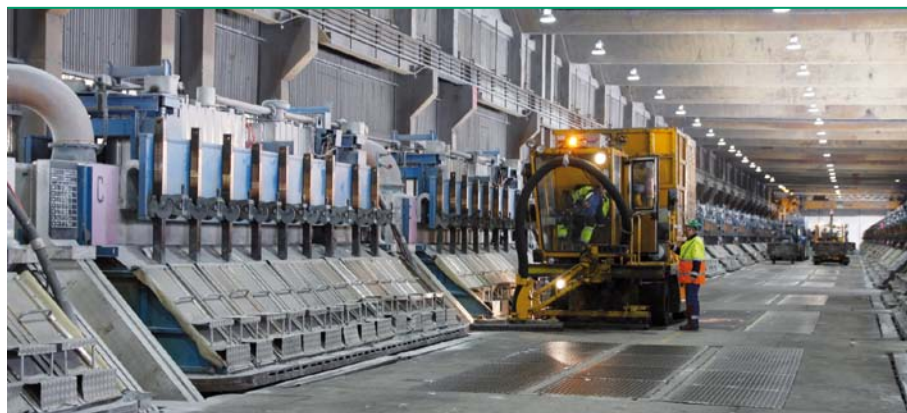
Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Wandel des Energiesystems einige zentrale Probleme mit sich bringt, die sich nur interdisziplinär lösen lassen. Die analysierten Potenziale von Demand Response werden von Industrieunternehmen nur dann genutzt, wenn sich der wirtschaftliche Aufwand amortisiert. Gleichzeitig sind aktuelle gesetzliche Vorgaben und Entwicklungen zu beachten. Um langfristige Lösungen für die daraus resultierenden Herausforderungen zu erarbeiten, bringt die Universität Bayreuth mit ihrer Verknüpfung von Wirtschaftsinformatik und Rechtswissenschaften unter dem Dach einer gemeinsamen Fakultät beste Voraussetzungen mit. Sie kann somit einen gewichtigen Beitrag zur Gestaltung der Energiewende leisten.

■ Abb. 2: Der Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland stellt das Stromnetz vor wachsende Herausforderungen (pxb).

- 1 J. Bertsch, G. Fridgen et al.: Ausgangsbedingungen für die Vermarktung von Nachfrageflexibilität: Status-Quo-Analyse und Meta-studie. Bayreuth 2017 (Bayreuther Arbeitspapiere zur Wirtschaftsinformatik; 62).
- 2 D. Bauer, E. Abele et al.: Flexible IT-plattform to Synchronize Energy Demands with Volatile Markets, in: *Procedia CIRP* (2017), 63, S. 318-323.
- 3 E.-M. Ländler: Regulatorische Rahmenbedingungen als Hemmnisse für die Nutzung von „Demand Response“, in: *N&R* 2017, S. 138-142; vgl. auch K. W. Lange: Der Strommarkt 2.0 als Herausforderung für das Kartellrecht, in: *Wirtschaft und Wettbewerb* (2017), 09, S. 434-440.
- 4 BMWi: Ein Strommarkt für die Energiewende. Ergebnispapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (Weißbuch). Berlin 2015, S. 70 ff.

■ Abb. 3: Industrieprozesse wie beispielsweise die Aluminiumelektrolyse bieten ein hohes Potenzial für Demand Response (Foto: Jarle Vines / wikipedia commons / CC-BY-3.0).





■ Festus Boamah

Energieunabhängig mit Photovoltaik

Von zentralen Stromnetzen zur Selbstversorgung in Ghana und Kenia

■ Photovoltaik-Anlagen werden in trockenen Regionen Kenias auch eingesetzt, um Grundwasser aus dem Erdboden zu pumpen und in Speicher für die Trinkwasserversorgung zu leiten (Foto: Festus Boamah).

Auf dem afrikanischen Kontinent sind Ghana und Kenia bedeutende „Hotspots“ der Elektrifizierung durch Photovoltaik-Anlagen. Die Umstände, die die Menschen zur Übernahme dieser nachhaltigen Energietechnologien veranlassen, sind in beiden Ländern ähnlich. Dennoch führen sie, wie im folgenden gezeigt werden soll, zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen.

Herausforderungen für die Stromversorgung in Ghana

Seit Ende der 1980er Jahre gelang es dank einer ehrgeizigen, von privaten Investoren unterstützten Elektrifizierungsstrategie, das Stromnetz auf viele – auch ländliche – Regionen des Landes auszuweiten. Heute sind rund 80 Prozent der Bevölkerung an das Stromnetz angeschlossen, und die Vision, allen Bürgern bis zum Jahr 2020 einen Zugang zum Stromnetz zu ermöglichen, erscheint durchaus realistisch. Allerdings ist die Stromversorgung immer noch instabil. Ende 2015 hatten die Stromkraftwerke des Landes eine effektive Kapazität von 2.756 Megawatt,¹ doch eine überhöhte oder zu geringe Nachfrage bewirkt immer wieder Stromabschaltungen.



Zudem verteuerte sich der Strom in den letzten zehn Jahren erheblich. Um den wachsenden Energiebedarf zu decken, wurde der Anteil ölbetriebener Wärmekraftwerke an der nationalen Stromversorgung von 2006 bis 2016 von 33,3 auf 49,1 Prozent gesteigert. Dieser Strom war fünf- bis siebenmal teurer als der von Wasserkraftwerken produzierte Strom, dessen Anteil im gleichen Zeitraum von 66,6 auf annähernd 51 Prozent sank.² Die zunehmende Wasserknappheit in den Staudämmen hatte diesen Rückgang erzwungen.

Betreiber des Stromnetzes ist ein staatlich kontrolliertes Unternehmen, die Electricity Company of Ghana (ECG). Um dem weit verbreiteten Energie Diebstahl entgegenzuwirken und überdies zu gewährleisten, dass die Kunden für den von ihnen verbrauchten Strom zahlen, führte die ECG eine Stromversorgung nach Vorkasse ein. Sie stellte Stromzähler (*pre-paid meters*) bereit, die mit einem Guthaben für eine vorab festgelegte Strommenge aufgeladen werden konnten. Allerdings waren diese Zähler oft mit technischen Fehlern behaftet oder vorsätzlich falsch eingestellt. Dadurch entstand in der Bevölkerung der Eindruck, die Guthaben würden – wie eine verbreitete Redensart lautete – „mit Usain-Bolt-Geschwindigkeit“ aufgebraucht. Von der ECG wurden alle diese Vorwürfe nachdrücklich bestritten. Gleichwohl gab es Korruptionsskandale im Ghanaischen Energiesektor und Missmanagement in den für die Energieversorgung zuständigen staatlichen Behörden.

Größere Autonomie durch Solarstrom

Häufige Stromausfälle, hohe Strompreise sowie tatsächlich oder vermeintlich manipulierte Zähler stärkten in der Bevölkerung das Interesse an Geräten, die im Alltag dabei helfen, sich zumindest teilweise vom landesweiten Stromnetz unabhängig zu machen. Hierzu zählen beispielsweise mit Solarstrom betriebene Laternen, Notstrom-LEDs, Leistungselektronik, wiederaufladbare Batterien oder Dieselmotoren mit Generatoren.

In städtischen Haushalten förderte die „Aufrüstung“ mit privaten Zusatzgeräten das Interesse an Photovoltaik-Anlagen in Wohnanlagen – bis hin zu Solar Home Systems (SHS), die auf eine komplette Versorgung mit Solarstrom abzielen. Nicht allein die Verfügbarkeit dieser Anlagen zu erschwinglichen Preisen, sondern vor allem der Wunsch nach einer selbstorganisierten, weitgehend autonomen Energieversorgung trieb ihre Verbreitung voran. In den Metropolen wie der Hauptstadt Accra ist der Strombedarf besonders hoch. Um hier Radio- und Fernsehgeräte, Laptops, iPads, Decoder, Mobiltelefone und auch Wasserpumpen unabhängig vom landesweiten Stromnetz nutzen zu können und keine überhöhten Gebühren zahlen zu müssen, sind Photovoltaik-Anlagen das Mittel der Wahl. Infolgedessen ist die hohe Elektrifizierung mit Solarstrom in Ghana heute vor allem ein städtisches Phänomen.

AUTOR



■ Dr. Festus Boamah ist Postdoc und Habilitand am Lehrstuhl für Bevölkerungs- und Sozialgeographie der Universität Bayreuth.

LITERATURTIPP

F. Boamah und E. Rothfuß: The transition to decentralised Solar PV electrification in Africa: from technical innovations towards adaptability to social practices and socio-technical systems?, in: *Energy Research and Social Science* (forthcoming).

■ Abb. 1 (li.): Poster der Energy Commission Ghana, die 2016 ankündigte, 200.000 Solar-Panels für Hausdächer bereitzustellen (Bild: Energy Commission of Ghana).



■ Abb. 2: Stromzähler eines privaten Haushalts in Ghana (Foto: Festus Boamah).

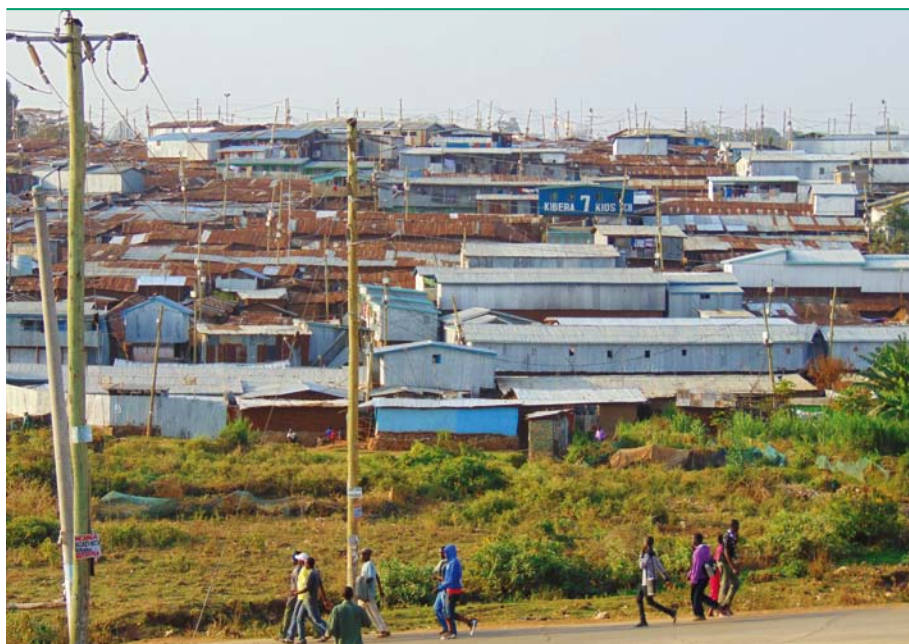
Probleme der Stromversorgung in ländlichen Regionen Kenias

In Kenia sind heute rund 70 Prozent der Bevölkerung an das Stromnetz angeschlossen. Die maximal mögliche Gesamtleistung aller Stromkraftwerke lag nach Angaben der Kenya Power and Lighting Company (KPLC) im August 2017 bei 2.335,5 Megawatt. Die KPLC ist das größte Stromversorgungsunternehmen des Landes, sie gehört zu 51 Prozent dem Staat und zu 49 Prozent privaten Anteilseignern.³

„Das Streben vieler Privathaushalte nach größerer Energieautonomie hat die Nutzung von Solarstrom erheblich vorangetrieben.“

■ Abb. 3: Mit dem Ziel, den Zugang zum Stromnetz in Regionen mit einem geringen Elektrifizierungsgrad zu erleichtern, startete die kenianische Regierung 2015/2016 das „Last Mile Connectivity Project“. Haushalte in einer Entfernung von bis zu 600 Metern mussten für den Anschluss nur noch 15.000 KES statt wie zuvor 35.000 KES zahlen und erhielten, falls nötig, die Möglichkeit der Ratenzahlung. Wider Erwarten wurde dieses Angebot nicht so sehr auf dem Land, als vielmehr von der ärmeren Bevölkerung in dicht besiedelten städtischen Bezirken wie zum Beispiel in Kibera genutzt – auch deshalb, weil das von der Regierung gleichzeitig geförderte Vorkasse-System für den hier verbreiteten Energiediebstahl verringern half.

Eine Reihe von Gründen hat dazu geführt, dass sich die Zugänge zum Stromnetz heute auf die dichter besiedelten und vergleichsweise wohlhabenden Regionen in Zentralkenia sowie im Süden und Westen des Landes konzentrieren: Die KPLC arbeitet stark profitorientiert, und private Anteilseigner investieren in den Ausbau des Stromnetzes nur dort, wo es sich lohnt – und dies ist vor allem dort der Fall, wo viele Menschen mit höheren Einkommen leben. In diesen Regionen ist auch die Nachfrage am größten. Hingegen ist die Ausweitung des Stromnetzes auf dünner besiedelte, ländliche und randständige Gebiete im Norden, Nordwesten und Osten sowie an der Küste für die Stromerzeuger weniger rentabel.



Die regional ungleichgewichtige Elektrifizierung hängt auch mit den Kosten für die Verbraucher zusammen. Für jedes Wohnhaus, das bis zu 600 Meter von der nächsten Hochspannungsleitung entfernt ist, wurde bis 2015 eine einmalige Anschlussgebühr von 35.000 Kenyan Shilling (KES) erhoben (rund 289 Euro⁴); weiter entfernte Häuser waren vom Stromnetz ausgeschlossen. Obwohl die Gebühr danach auf 15.000 KES gesenkt wurde, kann der Zugang zum Stromnetz teuer sein – insbesondere dann, wenn noch kein Transformator vorhanden ist, der die Hochspannung des Stromnetzes in Niederspannung umwandelt. Die Kosten für ein solches Gerät und seine Installation belaufen sich auf etwa 600.000 bis 800.000 KES. Weitere Kosten verursachen die Niederspannungsmasten, über die der Strom zum Haus übertragen wird. Sie dürfen nicht weiter als 50 Meter voneinander entfernt sein. Ein einzelner Mast aus Holz kostet 10.000 KES, aus Beton 18.000 KES. Infolgedessen kommt es nicht selten vor, dass ein Privathaushalt in einer ländlichen Gegend allein für einen Stromanschluss annähernd eine Million KES aufbringen muss – oder sogar noch mehr, wenn die Entfernung zum Transformator groß ist und Betonmasten benötigt werden. Damit aber ist der Stromanschluss für ärmere und abgelegene Haushalte oft unerschwinglich. Auch die Stromkosten sind für die Menschen auf dem Land hoch. In der Regel benötigen sie Strom nur für Beleuchtung, Mobiltelefone, Radio- und Fernsehgeräte (für maximal drei bis vier Stunden täglich). Daher lohnt es sich für sie kaum, die hohen monatlichen Tarife zu bezahlen, die eine Pflichtgebühr von 150 KES einschließen.

Eine für die Elektrifizierung ländlicher Regionen zuständige Behörde, die Rural Electrification Authority (REA), die vor zehn Jahren gegründet wurde, führte zu keinen nachhaltigen Verbesserungen. Mehr noch, die von ihr bereitgestellten Transformatoren sind von geringer technischer Qualität und versagen oft. Nicht selten dauert es mehrere Wochen, bis sie ersetzt werden. Häufig kommt es vor, dass Transformatoren Materialdieben zum Opfer fallen. Denn Kupferspulen und Isolieröl sind wertvolle Materialien, die sich überall im Land gut verkaufen lassen.

Dezentrale Photovoltaik-Anlagen

Eine vergleichsweise geringe Elektrifizierung, hohe Gebühren für den Anschluss an das instabile Stromnetz und hohe Verbrauchskosten haben vor allem in ländlichen Regionen Kenias den Wunsch verstärkt, sich von der Stromversorgung durch die KPLC zu-

mindest teilweise unabhängig zu machen. Auch im Westen des Landes ist dieses Bestreben verbreitet, obwohl der Elektrifizierungsgrad hier relativ hoch ist. Die wenigen vorhandenen Elektrizitätswerke, die für die Region annähernd 216 Megawatt erzeugen, können der Nachfrage zu Spitzenzeiten nicht gerecht werden. Deshalb wird zusätzlich geothermisch erzeugter Strom aus Naivasha, einer mehrere hundert Kilometer entfernten Stadt in Zentralkenia, in das Stromnetz eingespeist. Dadurch aber ist das Netz häufig überlastet, was die Stabilität der Stromversorgung im Westen Kenias spürbar beeinträchtigt.

Das Streben vieler Privathaushalte nach größerer Energieautonomie hat die Nutzung von Solarstrom erheblich vorangetrieben. Das 2011 in Kenia gegründete Unternehmen M-kopa Solar hat sich darauf spezialisiert, Privathaushalten bedienungsfreundliche Photovoltaik-Anlagen zur Verfügung zu stellen, mit denen der tägliche Strombedarf für Wohnbeleuchtung, Mobiltelefone und Rundfunkgeräte gedeckt werden kann. Die anfallenden Gebühren richten sich dabei nach der Dauer und Intensität der Nutzung. „Plug and Play“-Systeme gewährleisten, dass die Geräte sofort funktionsfähig sind, wenn sie an die Anlage angeschlossen werden. Die Attraktivität solcher niedrigschwelligen Angebote hat dazu geführt, dass M-kopa sich in Kenia, Uganda und Tansania zu einem führenden Unternehmen auf diesem Gebiet entwickelt hat. Es hat bisher rund 500.000 Photovoltaik-Anlagen in ländlichen Regionen Ostafrikas installiert.

Die Erfahrung, dass kleine Photovoltaik-Anlagen für tägliche Grundbedürfnisse bequem genutzt werden können, war für viele Haushalte in Kenia ein Anreiz, ihre Energieunabhängigkeit mittels Solarstrom auszuweiten und in umfassendere Anlagen zu investieren. Das Konzept der „Solar Home Systems (SHS)“ fand immer weitere Verbreitung. Vor allem für die Bevölkerung in den ländlichen Gebieten und im Umfeld der Städte ist die Photovoltaik eine willkommene Technologie, um die als unzuverlässig und schwierig wahrgenommene Stromversorgung durch die KPLC zu umgehen. Auch in Kisumu, Kakamega und anderen städtisch geprägten Gebieten im Westen, wo das Stromnetz aus den genannten Gründen oft instabil ist, wächst die Zahl der Photovoltaik-Anlagen. Und selbst in der Hauptstadt Nairobi und anderen Städten mit hohem Elektrifizierungsgrad und einer relativ stabilen Stromversorgung werden Photovoltaik-Anlagen allmählich beliebter. Viele Mieter städtischer Appartements sehen ihre Wohnungen allerdings nur als vorübergehende, beruflich bedingte „Lebensstationen“ an, die keine aufwendigen

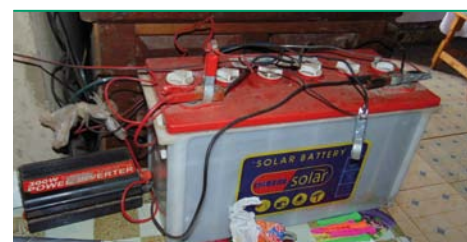
Investitionen lohnen. In diesem Fall sind sie aber umso mehr daran interessiert, ihr Wohneigentum auf dem Land oder in ihren Geburtsorten mit Photovoltaik-Anlagen auszustatten. Daher ist die Nutzung von Solarstrom in Kenia, anders als in Ghana, hauptsächlich in ländlich geprägten Gebieten verbreitet. In den Großstädten selbst finden sich Photovoltaik-Anlagen vor allem in Einkaufshallen, Hotels, Krankenhäusern und Wohnkomplexen.

Insgesamt gibt es in Kenia heute fast zwei Millionen Haushalte, die über Photovoltaik-Anlagen für eine dezentrale Selbstversorgung mit Strom verfügen. In keinem anderen Staat der Welt ist die Anzahl solcher Anlagen pro Einwohner so hoch.

Stromnetz-Zugänge nach Vorkasse

In den letzten Jahren unternahm die KPLC ihrerseits Anstrengungen, um die Nutzung ihres Stromnetzes attraktiver zu machen. Die wachsende Unzufriedenheit mit hohen Kosten, unzureichendem Service und häufigen Stromausfällen, aber auch mit betrügerischen Verhaltensweisen mancher KPLC-Vertreter hatte zahlreiche Kunden auf dem Land dazu veranlasst, die Zahlung fälliger Strom- und Anschlussgebühren hinauszuzögern oder zu verweigern. Daher richtete die KPLC ihren Kunden die Möglichkeit ein, Strom gegen Vorkasse zu beziehen. Weil die Zähler – anders als in Ghana – vergleichsweise zuverlässig arbeiten, haben die Kunden so die Möglichkeit, Höhe und Kosten des eigenen Verbrauchs jederzeit zu kontrollieren und die Nutzung des vorab bezahlten Stroms zu planen. Dieses System kommt dem verbreiteten Wunsch nach größerer Unabhängigkeit entgegen und wird daher von vielen Kunden genutzt.

Insgesamt ist in der kenianischen Bevölkerung ein starkes Interesse zu beobachten, zwischen verschiedenen Formen der Stromversorgung wählen und diese je nach individuellen Bedürfnissen kombinieren zu können. Solarstrom spielt in diesem „Energemix“ eine wichtige Rolle – sei es, dass er als Alternative zum Stromnetz aufgefasst wird; sei es, dass er als zusätzliche Energiequelle die technischen Möglichkeiten von Privathaushalten erweitert. Es sind in Kenia wie in Ghana sehr unterschiedliche Faktoren, die den Trend zu einer größeren Energieautonomie fördern: die staatliche Energiepolitik, Geschäftsmodelle von Energieunternehmen, die sozialen und ökonomischen Lebensverhältnisse unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen und ebenso die geographischen Gegebenheiten in den jeweiligen Regionen.



■ Abb. 4: Batterie zur Speicherung von Solarstrom in einem kenianischen Haushalt (Foto: Festus Boamah).



■ Abb. 5: Teil einer von M-kopa Solar bereitgestellten kleinen Photovoltaik-Anlage (Foto: Festus Boamah).



■ Abb. 6: Solar Home Systems (SHS) werden in Kenia immer beliebter (Foto: Festus Boamah).

- 1 Siehe dazu den von der Energy Commission Ghana herausgegebenen Bericht „Energy Outlook for Ghana 2016“: www.energycom.gov.gh/data-center/energy-outlook-for-ghana. Zusätzlich zu der für Dezember 2015 errechneten Kapazität von 2.756 Megawatt erzeugt die Volta River Authority (VRA), der staatliche Energieproduzent in Ghana, rund 2,5 Megawatt Solarstrom und speist sie in das zentrale Stromnetz ein. Das chinesische Energieunternehmen Beijing Xiaocheng Company (BXC) baut derzeit eine Kapazität von 20 Megawatt auf.
- 2 Vgl. Anm. 1. Der Anteil der Solarenergie war auch 2016 noch so gering, dass er bei diesen prozentualen Berechnungen nicht ins Gewicht fiel.
- 3 Weitere Informationen: www.kplc.co.ke.
- 4 Wechselkurs lt. www.wechselkurse-euro.de, 19. November 2017.



ENERGIE

■ Dieter Brüggemann
Andreas Jess

Verantwortung und Innovation

Auf dem Weg
zu einer nachhaltigen
Energieversorgung

■ Geothermie-Kraftwerk bei Wairakei in der Region Taupo,
Neuseeland (Foto: Peter Titmuss / Shutterstock.com).

Als im 18. Jahrhundert in der Forstwirtschaft der Begriff der „Nachhaltigkeit“ geprägt wurde, hing dies auch mit der Energieversorgung zusammen: Wälder wurden abgeholzt, um neben Baumaterial vor allem Brennholz zu gewinnen. Eine vorausschauende Bewirtschaftung der Wälder sollte sicherstellen, dass die Ressource Holz durch eine hinreichende Zahl nachwachsender Bäume verfügbar bleibt. Im Laufe der Zeit erkannte man aber, dass ein nachhaltiges Wirtschaften mit Energie weit darüber hinausgeht.

Aspekte der Nachhaltigkeit bei der Energie

Lange Zeit wurde die Sorge zunächst weniger von ethischen Überlegungen angetrieben – etwa ob der Mensch die Natur nutzt oder ausbeutet und wie sehr er sie dabei dauerhaft verändern darf. Vielmehr stellte man sich vor allem die profane Frage: Wie lange können die Vorräte der Natur den steigenden Energiebedarf einer wachsenden Menschheit decken? Man sorgte sich auch, dass mit allmählich knapper werdenden Ressourcen deren Preise drastisch steigen, wodurch Unruhen und Kriege ausgelöst werden können. Bis heute werden daher Reichweiten-Prognosen erstellt, welche die in der Erde vorhandenen Mengen an fossilen Energieträgern wie Erdöl, Erdgas oder Kohle in ein Verhältnis zum globalen Verbrauch setzen. Beide Werte, die technisch und wirtschaftlich erschließbaren Ressourcen wie auch die Entwicklung des Verbrauchs, unterliegen allerdings ungewissen Annahmen. Dies führt dazu, dass die vorhergesagten Reichweiten erheblich voneinander abweichen.

Heute jedoch wird das Ziel einer nachhaltigen Energieversorgung erheblich weiter gefasst. Schon seit einigen Jahren werden die meisten Diskussionen und Aktivitäten nicht durch die Befürchtung einer bevorstehenden Verknappung der Ressourcen, sondern durch eine andere Sorge ausgelöst. Sie betrifft die Verbrennung fossiler Energieträger, sei es in Heizanlagen zur Warmwassergewinnung, in Kraftwerken zur Stromerzeugung oder in Motoren zur Fortbewegung. Dabei werden nicht nur wertvolle Ressourcen unwiderruflich vernichtet, sondern die entstehenden Abgase können die Umwelt wesentlich beeinträchtigen. Inzwischen ist es mit technischen Mitteln gelungen, bekannte Schadstoffe wie Stickoxide, Kohlenmonoxid, Schwefelverbindungen, Kleinstpartikel soweit zu verringern, dass frühere Probleme mit Smog und saurem Regen zumindest in Deutsch-

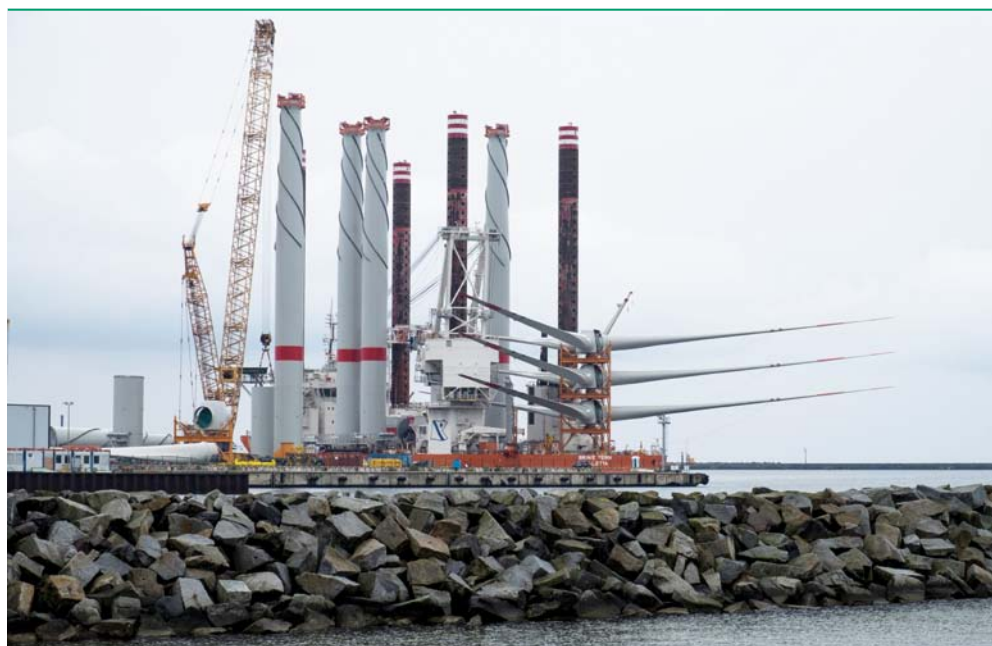
land kaum noch bedeutsam sind. Trotz der aktuellen Debatte um den Dieselmotor stehen im Mittelpunkt der größten Sorge heute nicht die emittierten Schadstoffe, sondern das ebenfalls ausgestoßene Kohlendioxid (CO_2). Das Problem: Bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen ist es aus energetischer Sicht gerade das Ziel, den Brennstoff vollständig in die Produkte CO_2 und Wasser umzuwandeln. Auch ist CO_2 kein giftiger Schadstoff, sondern ein Gas, welches indirekt und langfristig durch den Treibhauseffekt das globale Klima verändern kann. Es ist nicht einfach, das Ausmaß der durchschnittlichen Temperaturerhöhung zuverlässig vorherzusagen; noch schwieriger ist es aber, die Auswirkungen eines Klimawandels auch in gesellschaftlicher Hinsicht einzuschätzen. Manche Regionen der Welt werden klimatische „Gewinner“ sein, doch wie verhalten sich die „Verlierer“? Wird es klimabedingte Völkerwanderungen und Kriege geben? Allein schon diese Ungewissheit legt es nahe, anthropogene, das heißt von Menschen bewirkte Klimaveränderungen soweit wie noch möglich zu vermeiden.

Mit diesen Überlegungen zur Nachhaltigkeit sind auch Forderungen nach einer gerechten Verteilung von Ressourcen und anderen Gütern verknüpft. Dabei geht es nicht allein darum, der gesamten Bevölkerung eines Industrielandes wirtschaftlichen Wohlstand zu garantieren. Auch Entwicklungsländer sollen faire Entwicklungsmöglichkeiten erhalten. Hierfür ist allerdings eine ausreichende Energieversorgung unabdingbar, denn diese korreliert eindeutig mit dem heutigen wirtschaftlichen Wohlstand.

LITERATURTIPP

Wie stark Energieversorgung und Wohlstand zusammenhängen, zeigt der Beitrag von D. Brügge-mann und A. Jess: Energieversorgung im 21. Jahrhundert. Technische, soziale und ökonomische Aspekte, in: Spektrum 2014/2 der Universität Bayreuth, S. 5-8.

■ Abb. 1: Transportschiff für Offshore-Windenergieanlagen im Hafen von Sassnitz/Rügen (Foto: Andreas Obermeier).

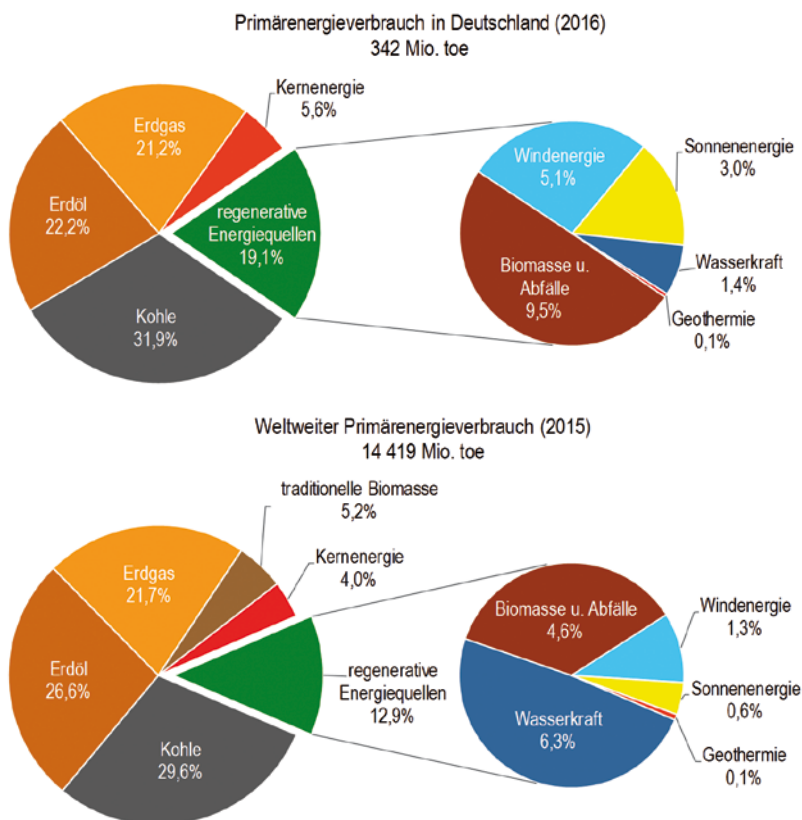




■ Abb. 2: Das Gezeitenkraftwerk Rance bei Saint-Malo in der Bretagne ist mit einer elektrischen Leistung von 240 Megawatt das weltweit zweitgrößte Kraftwerk dieser Art (sst).

Unsere Mitverantwortung für die Welt

Sowohl die begrenzten Ressourcen als auch die Folgen für die Umwelt und das Klima drängen uns, die Verbrennung fossiler Energieträger zurückzufahren und durch die Nutzung erneuerbarer Energien so weit wie möglich zu ersetzen. Ein Vorteil ist dabei, dass nicht die Energie an sich vom Verbraucher begehrt wird, sondern nur deren Nutzen. Auch zeigt sich bei nüchterner Analyse: Mit technischen Maßnahmen für eine effizientere Nutzung lässt sich mehr erreichen als mit dem Appell oder dem Zwang zu Sparsamkeit und Verzicht.



■ Abb. 3: Anteile einzelner Energieträger am Primärenergieverbrauch (PEV) in Deutschland 2016 und weltweit 2015. Bei der hier verwendeten Substitutionsmethode wird angenommen, dass der Strom aus den Energieträgern, denen kein Heizwert beigemessen werden kann (Kernkraft, Wasserkraft, Wind und Photovoltaik) die entsprechende Stromerzeugung in konventionellen Kraftwerken mit einem Wirkungsgrad von rund 40 Prozent substituiert, d.h. 1 kWh Strom = 2,5 kWh PE. Berechnungen auf der Basis der Angaben von BP (Statistical Review of World Energy) und der International Energy Agency (IEA) (Grafiken: Andreas Obermeier).

- Regenerative Energien spielen in Deutschland bereits heute mit einem Anteil von 19 Prozent eine im Vergleich zum weltweiten Mittel (13 Prozent) größere Rolle. Allerdings dominieren auch bei uns die fossilen Energieträger Erdöl, Erdgas und Kohle (D: 75 Prozent, Welt: 78 Prozent). Der Rest (D: 6 Prozent, Welt: 9 Prozent) wird gedeckt durch Kernenergie und – vor allem in Entwicklungsländern – noch durch traditionelle Biomasse, die zumeist mit der Abholzung von Wäldern verbunden ist und daher weder nachhaltig noch klimaneutral ist.
- Deutschland trägt zum weltweiten Verbrauch an Primärenergie und zur CO₂-Emission mit jeweils 2,4 Prozent absolut gesehen nicht sonderlich viel bei. Vergleicht man dies etwa mit den beiden größten Emittenten der Welt, den USA und China, die zusammen bereits für 43 Prozent des globalen CO₂-Ausstoßes verantwortlich sind, wird deutlich: Die Bedeutung einer deutschen „Energiewende“ besteht nicht in der reduzierten Menge selbst, sondern vor allem darin, dass wir als Vorreiter innovative technische Lösungen entwickeln, sie wirtschaftlich darstellen und ihnen weltweit zu gesellschaftlicher Akzeptanz verhelfen.
- Auch Schwellenländer wollen sich unserem wirtschaftlichen Standard annähern. Ein ausreichender Wohlstand geht jedoch mit einem jährlichen Pro-Kopf-Verbrauch von Energie einher, wie sie (für alle Energiearten umgerechnet) in etwa 2 Tonnen Erdöl steckt. Zum Vergleich: Ein Inder oder Äthiopier verbraucht heute im Durchschnitt nur 0,5 Tonnen, ein Europäer hin-

gegen 3 bis 4, ein US-Amerikaner sogar 7 Tonnen. Ein dementsprechendes Ungleichgewicht findet man auch bei den CO₂-Emissionen: Zum Beispiel emittiert das viel bevölkerungsreichere Indien heute im Vergleich zu Deutschland nur das 2,7-fache an CO₂. Bei einem gleichen Pro-Kopf-Wert wie bei uns würde die Freisetzung etwa auf das 16-fache steigen. Aus den gängigen Klimamodellen wird jedoch deutlich, dass wir weltweit keinesfalls eine Erhöhung der CO₂-Emissionen hinnehmen dürfen. Vielmehr brauchen wir eine drastische Senkung, um den zu erwartenden Temperaturanstieg der globalen Mitteltemperatur gegenüber dem Beginn der industriellen Revolution auf zwei Grad Celsius zu begrenzen und die befürchteten weltweiten Folgen zumindest zu mildern.

Schon diese wenigen Beispiele verdeutlichen, dass wir aus ethischen Gründen, aber auch aus unserem unmittelbaren eigenen Interesse heraus anderen Ländern helfen müssen, einen Weg zu wirtschaftlichem Wohlstand in der Weise zu finden, dass sie zukunftsweisende Energiekonzepte möglichst zügig einführen und nicht etwa ebenfalls eine auf dem Verbrauch fossiler Energien basierende Wirtschaft aufbauen.

Herausforderungen einer nachhaltigen Energieversorgung

Die Herausforderungen bei der Umstellung der Energieversorgung von fossil und nuklear auf regenerativ sind sehr vielfältig. Im Rahmen dieses Beitrags soll dies nur an einem Beispiel angerissen werden.

„Mit technischen Maßnahmen für eine effizientere Nutzung lässt sich mehr erreichen als mit dem Appell oder dem Zwang zu Sparsamkeit und Verzicht.“

In Zukunft soll die wind- und solargestützte Stromerzeugung nicht nur in Deutschland einen deutlich größeren Beitrag für eine nachhaltige Energieversorgung leisten. Für den angestrebten Ausbau ist jedoch eine effizientere Nutzung zeitlich fluktuierender Stromproduktion aus Sonne und Wind essentiell. Dies erfordert zunächst einmal zusätzliche Kapazitäten für die Stromproduktion sowie Stromnetze mit ausreichender Kapazität, darüber hinaus aber auch innovative Lösungen bei der Speicherung und dem Transport von Energie. Dabei sind regional- und geopolitische Alternativen zu entscheiden: Wollen wir Windenergie offshore erzeugen und Strom unter- oder oberirdisch durch unser Land leiten? Wollen wir Solarenergie in sonnenverwöhnten Regionen wie Südeuropa und Nordafrika ‚ernten‘ und dann als Strom oder als chemisch umgewandelten Energieträger zu uns transportieren? Oder trauen wir uns zu, unsere Energieversorgung nach und nach dezentral durch kleinere Anlagen in der Nähe der jeweiligen Verbraucher sicherzustellen?

Ähnliche Überlegungen lassen sich zu den meisten anderen Lösungsansätzen anstellen – etwa zur Nutzung von Biogas und Biomasse (insbesondere von biogenen Reststoffen und Abfällen), zur Abwärmeeinnutzung (zum Beispiel durch Verstromung) oder zur chemischen Herstellung synthetisierter Kraftstoffe. Die Reihe der noch ungelösten Herausforderungen ließe sich beliebig fortsetzen.

AUTOREN



■ Prof. Dr.-Ing. Dieter Brüggemann ist Inhaber des Lehrstuhls für Technische Thermodynamik und Transportprozesse (LTTT) und Direktor des Zentrums für Energietechnik (ZET) der Universität Bayreuth.



■ Prof. Dr.-Ing. Andreas Jess ist Inhaber des Lehrstuhls für Chemische Verfahrenstechnik (CVT) und stellvertretender Direktor des Zentrums für Energietechnik (ZET) der Universität Bayreuth.



■ Abb. 4: Für Temperaturen bis 600 Grad Celsius einsetzbarer thermischer Speicher mit Sand als Speichermaterial. Der Speicher ist eingebunden in ein Forschungskraftwerk auf dem Campus der Universität Bayreuth (Foto: Andreas Obermeier).



■ Abb. 5: Im Forschungskraftwerk des Zentrums für Energietechnik (ZET) der Universität Bayreuth wird eine kleine Turbine für die Stromerzeugung aus industrieller Abwärme installiert. Mit einem neuartigen Arbeitsfluid konnte ein Spitzenwirkungsgrad von nahezu 75 Prozent erzielt werden (Foto: Christian Wißler).

LINKTIPPS

Zentrum für Energietechnik (ZET):
www.zet.uni-bayreuth.de

Graduiertenkolleg
 Energieautarke Gebäude:
www.tao-oberfranken.de/forschung

Master-Studiengang Energietechnik:
www.ing.uni-bayreuth.de/de/studierende/master/Energietechnik

Der Beitrag der Universität Bayreuth

Universitäten sind besonders prädestiniert, die auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung zu lösenden Probleme anzugehen. Sie können ihre Kompetenz auf allen hierfür relevanten Gebieten bündeln, sie sind regional verankert und weltweit vernetzt, sie erforschen, entwickeln und erproben innovative Ansätze, und sie bilden akademisches Fachpersonal aus.

Wie die Universität Bayreuth ihre Möglichkeiten nutzt, zeigen folgende Beispiele:

- In der Fakultät für Ingenieurwissenschaften haben sich neun Lehrstühle im **Zentrum für Energietechnik (ZET)** vernetzt. Sie bündeln dort ihre Expertise und ihr Engagement, um energietechnische Forschung und Entwicklung zu betreiben. Sie decken dabei das breite Spektrum der thermischen, elektrischen, chemischen und biologischen Aspekte der Erzeugung, Übertragung, Speicherung und Nutzung von Energie ab.
- Das ZET ist Kern des **Graduiertenkollegs Energieautarke Gebäude**, zu dem im Rahmen der **TechnologieAllianzOberfranken (TAO)** auch die Universität Bamberg und die Hochschulen für angewandte Wissenschaften Coburg und Hof beitragen. Etwa 20 Doktorandinnen und Doktoranden der vier TAO-Partner arbeiten mittlerweile gemeinsam an diesem Thema. Die Forschungsarbeiten betreffen die Bereitstellung und Speicherung von Energie für Gebäude, die Gestaltung von Gebäuden, aber auch das in die Planungen einzubeziehende Nutzerverhalten.
- Die Ergebnisse der Forschung werden frühzeitig auch in der Lehre verankert. Studierende können sich in Bayreuth für den ingenieurwissenschaftlichen **Master-Studiengang Energietechnik** einschreiben. Wer neben der Energie auch andere Ressourcen in den Blick nehmen will und sich stärker für ökologische und globale Zusammenhänge interessiert, kann dies in einem neuen und ausgeprägt interdisziplinären **Bachelor-Studiengang Umwelt- und Ressourcentechnologie** tun, der im Herbst 2018 beginnen soll.

Immer wieder zeigt sich, dass der Weg zur nachhaltigen Energieversorgung naturwissenschaftliche Erkenntnisse und deren technische Umsetzungen benötigt, jedoch weit darüber hinaus geht. Ein weiterer Schritt sind wirtschaftliche Betrachtungen, sie genügen aber ebenfalls noch nicht. Ob sich am Ende ein Lösungsansatz wirklich durchsetzt oder nicht, hängt vielmehr entscheidend von seiner Akzeptanz durch die Nutzer ab. Deshalb sind deren Sichtweisen, Interessen und Gewohnheiten frühzeitig in die Entwicklung einzubeziehen. Auch hier beschreitet die Universität Bayreuth einen besonderen Weg. Sie hat das **Profelfeld Energieforschung und Energietechnologie** ausgeflaggt, in dem Natur-, Ingenieur-, Wirtschafts-, Rechts-, Gesellschafts- und Geisteswissenschaften auf dem Campus zusammenarbeiten.



■ Abb. 6: Mitglieder und Koordinatoren des Graduiertenkollegs Energieautarke Gebäude (2016) (Foto: ZET).

■ Andreas Jess

Höchste Energiedichte in neuen Speichern

Eine langfristig weitgehend CO₂-freie Energieversorgung erfordert den verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien (Wind- und Solarenergie, Biomasse). Dies erfordert Energiespeicher, die das Ungleichgewicht zwischen Energienachfrage und -angebot ausgleichen. Für die Dekarbonisierung des Verkehrssektors sind vor allem flüssige synthetische Kohlenwasserstoffe (SynKWS) geeignet. Sie können darüber hinaus aber auch als eine Option für die langfristige Speicherung von erneuerbarem Strom angesehen werden, denn ihre Speicherdichte ist von allen derzeitigen Möglichkeiten am höchsten. So benötigt zum Beispiel eine Lithium-Ionenbatterie ein Volumen von 30 Litern, um die Energie von nur einem Liter Benzin oder Dieselöl zu speichern.

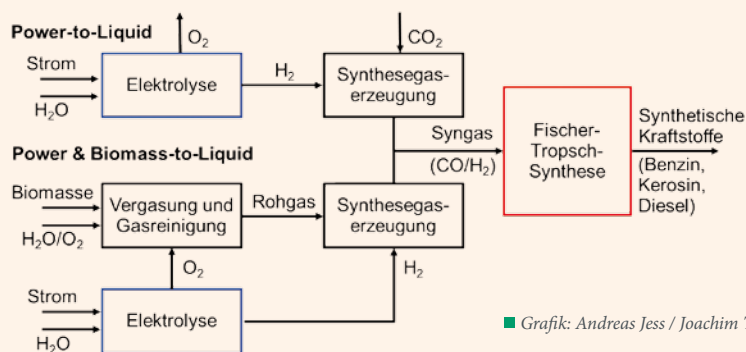
Im Rahmen der Helmholtz-Energie-Allianz „SynKWS“ wurde in einem dreijährigen interdisziplinären Forschungsprojekt die Erzeugung und Nutzung flüssiger synthetischer Kraftstoffe aus erneuerbaren Energien untersucht. Projektpartner waren das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt, die Universität Stuttgart und die Universität Bayreuth mit ihrem Lehrstuhl für Chemische Verfahrenstechnik. Im Mittelpunkt standen zwei Pfade der Kraftstofferzeugung aus erneuerbaren Energien:

- **Power-to-Liquid (PtL):** Aus Wasser und Strom wird durch Elektrolyse regenerativer Wasserstoff (H₂) gewonnen. Aus H₂ und dem Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂), das Prozessgasen der chemischen Industrie und Abgasen fossil befeuerter Kraftwerke entnommen werden kann, wird Synthesegas erzeugt.
- **Power & Biomass-to-Liquid (PBtL):** Hierbei wird Synthesegas aus Rohgas, das bei der Vergasung von Biomasse entsteht, sowie aus regenerativem Wasserstoff gewonnen.

Das Synthesegas ist in beiden Fällen ein Gemisch aus Kohlenmonoxid (CO) und H₂. Daraus werden durch die Fischer-Tropsch-Synthese (FTS) flüssige Kraftstoffe hergestellt.

Die Forschungspartner der Energie-Allianz haben die Kernkomponenten der beiden Pfade – die Elektrolyse von Wasser, die Vergasung von Biomasse, die Erzeugung von Synthesegas sowie die Fischer-Tropsch-Synthese – bewertet und daraufhin analysiert, wie sie

in einen Gesamtprozess integriert werden können. Zugleich untersuchten sie die Verbrennungseigenschaften der am Ende erzeugten synthetischen Kraftstoffe. Dabei zeigte sich, dass diese hinsichtlich der Rußemissionen schadstoffärmer sind.



■ Grafik: Andreas Jess / Joachim Thiessen.

Die Produktionskosten werden insbesondere beim PtL-Prozess wesentlich von den Stromkosten beeinflusst. Sie liegen derzeit noch pro Liter Kraftstoff zwischen ein Euro (kostenloser Überschussstrom) und etwa fünf Euro (0,15 Euro je kWh Strompreis). Es konnten aber eine Reihe vielversprechender Optionen identifiziert werden, die es erlauben, den Prozess der Kraftstofferzeugung zu optimieren und die Produktionskosten zu verringern:

- Der bei der Wasser-Elektrolyse erzeugte Sauerstoff (O₂) lässt sich weiter nutzen, beispielsweise – bei einer Kombination von PtL und PBtL – für die Biomasse-Vergasung.
- Der bei der Fischer-Tropsch-Synthese produzierte Dampf kann ebenfalls weiter genutzt werden, zum Beispiel durch die Umwandlung in elektrische Energie.
- Eine Hochtemperatur-Elektrolyse (Solid Oxide Electrolyser Cell, SOEC), bei der nicht nur flüssiges, sondern auch gasförmiges Wasser in H₂ und O₂ zerlegt wird, erhöht den Wirkungsgrad der Elektrolyse.
- Die SOEC erlaubt neben der Elektrolyse von Wasser grundsätzlich auch die Co-Elektrolyse von CO₂, bei der Kohlenmonoxid (CO) entsteht. Dieses Verfahren steht derzeit noch in der Entwicklung. Wenn es realisiert wird, könnte das Produktgas der Elektrolyse (H₂ und CO) direkt durch FTS in hochwertige Kraftstoffe umgesetzt werden.

LITERATURTIPP

Weitere Informationen zum Projekt und den Ergebnissen: M. Moser et al.: Synthetische flüssige Kohlenwasserstoffe aus erneuerbaren Energien – Ergebnisse der Helmholtz Energieallianz“, in: Chemie Ingenieur Technik (2017), Heft 3, S. 274-288. DOI: 10.1002/cite.201500154.

Farblgende zur Weltkugel:

	Innertropen		Mediterrangebiete
	Rand- und Subtropen		Temperate Region
	Warme Wüstengebiete		Boreale Region
			Arktische Region



Eine Reise um die Welt

Zu einer botanischen Reise um die Welt lädt der Ökologisch-Botanische Garten (ÖBG) der Universität Bayreuth seine Gäste und Besucher ein: Rund 12.000 Pflanzenarten aus allen Kontinenten gedeihen hier in naturnahen Lebensräumen im Freien und in naturnah gestalteten Gewächshäusern. Vor dem Eingang zu den Gewächshäusern des ÖBG zeigt eine Weltkugel in verschiedenen Farben die Klimazonen der Erde. Sie ist aus Edelstahl gefertigt und um ihre 2,5 Meter lange Achse drehbar.

Der ÖBG dient der natur-, umwelt- und geowissenschaftlichen Forschung und Lehre an der Universität Bayreuth und trägt darüber hinaus zum Erhalt bedrohter Pflanzen- und Tierarten bei. Das ganze Jahr über bietet er für die Öffentlichkeit ein ebenso lehrreiches wie unterhaltsames Veranstaltungsprogramm.

www.obg.uni-bayreuth.de

