

Umbrüche

Auslöser für Evolution
und Fortschritt

Herausgegeben von

Thomas Kaufmann, Joachim Reitner,
Kurt Schönhammer, Gerhard Wörner



Akademie der Wissenschaften zu Göttingen

Thomas Kaufmann, Joachim Reitner, Kurt Schönhammer,
Gerhard Wörner (Hg.)

Umbrüche

Dieses Werk ist lizenziert unter einer

[Creative Commons](#)

[Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen](#)

[4.0 International Lizenz.](#)

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0](#)

[International License.](#)



erschienen im Universitätsverlag Göttingen 2017

Thomas Kaufmann,
Joachim Reitner,
Kurt Schönhammer,
Gerhard Wörner (Hg.)

Umbrüche

Auslöser für Evolution
und Fortschritt

Ausgewählte Beiträge der
Öffentlichen Ringvorlesung der
Akademie der Wissenschaften zu
Göttingen und der Universität Göttingen,
Wintersemester 2014/2015



Universitätsverlag Göttingen
2017

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Anschrift der Herausgeber

Akademie der Wissenschaften zu Göttingen
Theaterstraße 7
37073 Göttingen
Tel.: +49 (0)551 39-5362
Fax.: +49 (0)551 39-5365
E-Mail: adw@gwdg.de
www.adw-goe.de

Dieses Buch ist auch als freie Onlineversion über die Homepage des Verlags, über den Dokumentenserver der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen [res doctae \(https://rep.adw-goe.de/\)](https://rep.adw-goe.de/) sowie über den Göttinger Universitätskatalog (GUK) bei der Niedersächsischen Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen (<https://www.sub.uni-goettingen.de>) erreichbar. Es gelten die Lizenzbestimmungen der Onlineversion.

Satz und Layout: Jutta Pabst
Umschlaggestaltung: Jutta Pabst
Titelabbildung: Hurricane Isabel; NASA public domain
https://www.nasa.gov/mission_pages/station/main/iss007e14883_feature.html

© 2017 Universitätsverlag Göttingen
<https://univerlag.uni-goettingen.de>
ISBN: 978-3-86395-322-5
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2017-1054>

Umbrüche – Auslöser für Evolution und Fortschritt.....	3
<i>T. Kaufmann, J. Reitner, K. Schönhammer, G. Wörner</i>	
<i>Akademie der Wissenschaften zu Göttingen</i>	
Vulkanausbrüche, Erdbeben, Klimawandel: Wie innere Kräfte der Erde den Lauf der Evolution und unsere Geschichte prägen.....	7
<i>Gerhard Wörner</i>	
<i>Geowissenschaftliches Zentrum, Georg-August-Universität Göttingen</i>	
Umbrüche im 15. und 16. Jahrhundert: Buchdruck und Reformation	25
<i>Thomas Kaufmann</i>	
<i>Theologische Fakultät , Georg-August-Universität Göttingen</i>	
Die Schrift, der Druck und das Netz: von Technik zu Kultur?	41
<i>Rainer G. Ulbrich</i>	
<i>Fakultät für Physik , Georg-August-Universität Göttingen</i>	
Der Globale Wandel und die Zukunft der Klimapolitik	59
<i>Mojib Latif</i>	
<i>GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel und Universität Kiel</i>	
Energiewende – Motivation, Chancen und Risiken.....	65
<i>Eberhard Umbach</i>	
<i>Universität Würzburg</i>	
Umbrüche in der Medizin: Wie sollen wir in Zukunft richtig mit unserem Lebensende umgehen?.....	95
<i>Bettina Schöne-Seifert</i>	
<i>Institut für Ethik, Geschichte und Theorie der Medizin, Universität Münster</i>	

Umbrüche – Auslöser für Evolution und Fortschritt

Editorial

*T. Kaufmann, J. Reitner, K. Schönhammer, G. Wörner
Akademie der Wissenschaften zu Göttingen*

Diese Sammlung von Arbeiten sind Kurzfassungen ausgewählter Beiträge der Vorlesungsreihe „Umbrüche - Auslöser für Evolution und Fortschritt“, die im Wintersemester 2014/2015 von der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen und der Universität Göttingen als thematische Ringvorlesung angeboten wurde. Die Vorlesungen fanden unter den Zuhörern großen Anklang, was sich an den hohen Teilnehmerzahlen und den regen anschließenden Diskussionen niederschlug. Die Aula der Universität, die den ansprechenden Rahmen gab, war praktisch bei jedem der 13 Termine voll besetzt.

Die Beiträge wurden teilweise aktualisiert, um den Stand der Dinge zum Zeitpunkt der Publikation (Ende 2017) zu berücksichtigen.

Umbrüche markieren Stufen in der biologischen Evolution auf unserem Planeten, sie sind Triebfeder und Ausgangspunkt grundlegender geschichtlicher, wissenschaftlicher, technologischer und gesellschaftlicher Entwicklungen und Prozesse. Ebenso wie geologische Umwälzungen neue evolutionäre Stufen ermöglichen, können geschichtliche, soziologische und technologische Umbrüche auch Innovationen und fundamentale gesellschaftliche Entwicklungen einleiten.

Die Staaten und Gesellschaften der Welt stehen vor großen Herausforderungen und Umbrüchen, die die Zukunft der Menschen und die unseres Planeten erheblich verändern werden. Diese Einsicht erzeugt nicht selten Ängste und Wi-

derstände. Der Blick aus der Vergangenheit und das Lernen aus früheren geologischen, wissenschaftlichen, technischen, historischen und gesellschaftlichen Umbrüchen der Erd- und Menschheitsgeschichte wird daher notwendig sein, um die kommenden Umbrüche zu meistern und mit Zuversicht, aber auch politischer Kraft anzugehen. Es gibt viele Beispiele für diese grundlegenden, oft positiv wirkenden Umbrüche in der Erd- und Menschheitsgeschichte und neue Herausforderungen sind absehbar.

Die Zusammenfassungen ausgewählter Beiträge dieser Vorlesungsserie zeigen an einzelnen Beispielen solche Umbrüche auf und erläutern deren langfristige Konsequenzen.

Das Themenspektrum beginnt mit dem Beitrag „*Vulkanausbrüche, Erdbeben, Klimawandel: Wie innere Kräfte der Erde den Lauf der Evolution und unsere Geschichte prägen*“, in dem die Ursachen und Auswirkungen geologischer Ereignisse für die biologische Evolution, aber auch auf die Entwicklung unserer Gesellschaft aufgezeigt werden. Zum Beispiel erhöhte sich vor 2,4 Milliarden Jahren „plötzlich“ die Sauerstoffkonzentration in der Erdatmosphäre und in der Folge dieser fundamentalen Änderung traten erste globale Vereisungen auf. Der Einfluss geologischer Ereignisse reicht dann über die großen biologischen Krisen, etwa an der Wende Perm-Trias vor 250 Millionen Jahren, die durch katastrophale Flutbasaltlava-Ausbrüche ausgelöst wurden, bis zum historischen Erdbeben vom 1. November 1755 in Lissabon, das nicht nur die Erde erschütterte. Es zerstörte ein religiöses und politisches Weltbild, und in der Folge verlor die katholische Kirche die Vorherrschaft über die Deutung der Welt, und die Aufklärung wurde endgültig als neues Paradigma gesichert.

Im Beitrag von Thomas Kaufmann wird die besondere Rolle der Entwicklung des Buchdrucks durch Johannes Gutenberg um das Jahr 1450 hervorgehoben, wodurch Wissen und Information für alle und sehr schnell verfügbar wurde. In wenigen Jahren nach der Einführung und Verbreitung des Buchdrucks wurden wohl mehr Bücher gedruckt als in den vorangegangenen 1000 Jahren durch Handschriften erreicht wurden. Die Folgewirkungen reichen von der Verbreitung religiöser und reformatorischer Texte der vielfach gedruckten Flugschriften, die letztlich, so nach dem Urteil Luthers selbst, die Reformation beflügelte, über die humanistischen Bewegungen bis zu den bildungs- und kulturgeschichtlichen Fernwirkungen einer aufgeklärten Bildung einer aufgeklärten Bürgerschaft führten. Schließlich hebt der Beitrag „*Umbrüche im 15. und 16. Jahrhundert: Buchdruck und Reformation*“ von Thomas Kaufmann auf die besondere kulturbewahrende Kraft der Verbreitung und dauerhaften Verankerung kultureller Traditionen und zivilisatorischer Entwicklungen.

Eine neue „Revolution“ deutet sich in der Art der Verbreitung und des „Konsums“ von Information und von Information in allen ihren brauchbaren und

unbrauchbaren Formen an, die mit einem Umbruch in der Bedeutung und der Natur der (zwischen-) menschlichen Kommunikation einherzugehen scheint. In „*Die Schrift, der Druck, und das Netz: von Technik zu Kultur?*“ zeichnet der Physiker Rainer Ulbrich ein durchaus kritisches Bild der möglichen Folgen dieser rasanten Veränderungen. Dadurch werden die Aspekte von einem zunächst rein technologischen Umbruch auch mit einem aktuellen Bezug beleuchtet. Die digitale Revolution im weltweiten Netz steht durchaus in einem Kontext mit der Revolution des Buchdrucks. Ulbrich zeichnet den langen Weg aus dem Mittelalter über die erste drahtgebundene elektromagnetische Übertragung von Information über 1200 Meter, die Gauss und Weber in Göttingen erstmals realisierten, bis zur Inbetriebnahme des ersten Universitäts-Informationsnetzwerks in den USA. Die schiere Geschwindigkeit und die Allgegenwärtigkeit des Zugangs zu Information und der Kommunikation identifiziert Ulbrich als einen wunden Punkt, der in Verbindung mit dem starken kommerziellen Antrieb hinter diesen neuen Entwicklungen letztlich die menschliche Neugier und das Wesen persönlicher Beziehungen korrumpiert.

Klimawandel und Energiewende sind zwei große Themen, denen sich die Beiträge von Mojib Latif in „*Der Globale Wandel und die Zukunft der Klimapolitik*“ und in „*Energiewende - Chancen und Risiken*“ von Eberhard Umbach aus ganz unterschiedlichen Blickwinkeln annähern. Der Klimaforscher Latif sammelt zunächst die Befunde, die eindeutig belegen, dass die Aktivitäten der Menschen auf diesem Planeten für den Klimawandel verantwortlich sind, und vor allem seit Beginn der Industrialisierung durch den zunehmenden Ausstoß von Treibhausgasen die Temperaturen in unserer Atmosphäre kontinuierlich ansteigen. Er präsentiert Klimamodelle, die bis in das Jahr 2100 reichen. Verschiedene Szenarien, entweder unveränderter Anstieg oder variable Reduzierung des Anstiegs, oder gar Reduzierung der zukünftigen Emission von Treibhausgasen, werden dargestellt. Einem „Climate Engineering“ erteilt der Autor eine klare Absage, zu ungewiss sind die Mechanismen und unvorhersehbar die Folgen im komplexen Klimageschehen, wenn wir glauben, mit technischen Mitteln an der globalen Klimaentwicklung herumexperimentieren zu sollen. Einzig eine langfristig Kohlenstoff (d.h. CO₂) - freie Energieproduktion kann die Lösung sein und dies erfordert einen fundamentalen Umbruch in unserer Weltwirtschaft.

Genau hier setzt auch der Beitrag von Eberhard Umbach an. Seinen Beitrag „*Energiewende - Motivation, Chancen und Risiken*“ beginnt Eberhard Umbach mit einem Blick auf die Vielfalt der globalen Herausforderungen, die vor uns liegen. Energieeinsparung und der Ausbau der erneuerbaren Energien sollen die wichtigen Ziele Klimaschutz und Ressourcenschonung möglichst schnell erreichbar machen, ohne die Versorgungssicherheit deutlich zu verschlechtern. Die Probleme bei der praktischen Durchsetzung der Ziele werden detailliert geschildert. Durch Wind und Photovoltaik ist der größte Optimismus im Stromsektor erlaubt, der aber nur 20 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs ausmacht. Die größeren Mobi-

litäts- und Wärmesektoren sind noch zu wenig im Zentrum der Aktivitäten. Die zeitlich stark schwankenden Beiträge von Wind und Photovoltaik, das Fehlen ausreichenden Stromtrassen, sowie der geringe technische Fortschritt bei Speichertechniken, stellen selbst für den Stromsektor große Probleme dar. Konventionelle Regelkraftwerke, die natürlich CO₂ Emissionen zur Folge haben, müssten weiter vorgehalten werden.

Mit einer Vielzahl von Daten beleuchtet Eberhard Umbach kritisch die Chancen, dass die deutsche Energiewende gelingen und Nachahmer finden wird.

In „*Umbrüche in der Medizin*“ greift Bettina Schöne-Seifert ein ethisch und juristisch sensibles und kontrovers diskutiertes Thema auf und stellt die Frage: „*Wie sollen wir in Zukunft richtig mit unserem Lebensende umgehen?*“. Sie analysiert aus medizinethischer Sicht die Konsequenzen einer „Hochleistungsmedizin“ und argumentiert, dass aus den Innovationen der Medizintechnik neue ethische Bewertungen für ein selbstbestimmtes Lebensende und Varianten der aktiven und passiven Sterbehilfe folgen. In diesem Beitrag werden die Formen der Sterbehilfe differenziert, deren juristische Beurteilung und die Positionen der Ärzte und der Bevölkerung dargestellt und ethisch bewertet. Juristische und ethische Fragen des ärztlichen „Tuns und Unterlassens“, i.e. aktive vs. passive bzw. indirekte Sterbehilfe, sowie die Rolle der Selbstbestimmung und möglicher Missbrauchsgefahren nehmen eine zentrale Rolle in dieser Betrachtung ein. In einer abschließenden Stellungnahme argumentiert Schöne-Seifert: „*Je mehr es gelingt, Menschen dank medizinischer und anderer Verbesserungen ein sehr langes und in vielen Fällen beschwerdefreies Leben zu ermöglichen und je mehr sie die Gestaltung ihres Lebens als persönliche Aufgabe und Herausforderung ansehen, desto näher wird es vielen liegen, sich (und anderen) die Krankheitslasten der letzten Lebensphase zu ersparen. Ein bereits eingetretenes Siechtum abzukürzen oder dem Fortschreiten einer unheilbaren Erkrankung – wie etwa der bisher nicht behandelbaren alterskorrelierten Demenzerkrankung – durch selbstbestimmtes Sterben vorzubeugen, könnte zur Normalität werden.*“

Diese repräsentativen Beiträge aus der Ringvorlesung „Umbrüche“ schlagen so den großen Bogen von der Erdgeschichte über die gesamte Menschheitsgeschichte bis zu den heute anstehenden globalen ökonomischen, technologischen, gesellschaftlichen und kulturellen Umbrüchen.

Die Vorträge der hier zusammengestellten Kurzfassungen sowie die weiteren Vorlesungen dieser Reihe können als Videobeiträge angeschaut werden unter

<http://www.uni-goettingen.de/de/509590.html>

Die Vorlesungsreihe wurde organisiert von der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen, für das Programm verantwortlich: Prof. Dr. Thomas Kaufmann, Prof. Dr. Joachim Reitner, Prof. Dr. Kurt Schönhammer, Prof. Dr. Gerhard Wörner.

Vulkanausbrüche, Erdbeben, Klimawandel: Wie innere Kräfte der Erde den Lauf der Evolution und unsere Geschichte prägen

*Gerhard Wörner
Geowissenschaftliches Zentrum
Georg-August-Universität Göttingen*

Kurzfassung

4,5 Milliarden Jahre – das ist die Spanne der Erdzeitgeschichte. Immer wieder hat es seit der Entstehung unseres Planeten gewaltige Umbrüche gegeben. Dieser Beitrag befasst sich mit der Frage wie die inneren Kräfte der Erde den Kreislauf der Gesteine, die biologische Evolution und sogar unsere eigene Menschheitsgeschichte prägen.

Ein fundamentaler Umbruch ist zum Beispiel die Veränderung der Zusammensetzung unserer Atmosphäre von einem hohen Gehalt an Methan und Kohlendioxid hin zu einer Lufthülle mit Sauerstoff. Dies geschah etwa vor 2,4 Milliarden Jahren und lässt sich in den Gesteinen dieser Zeit ablesen. Dieser Bruch in der Erdgeschichte ist als das „Große Oxidations-Ereignis“ bekannt. Erste Cyanobakterien produzierten seit etwa 3,8 Milliarden Jahren vermehrt Sauerstoff, der zunächst fast vollständig in den Meeren als Eisenoxid gebunden wurde. Aus dieser Zeit stammen die größten marinen Eisenvorkommen auf der Erde. Später aber gelangte der Sauerstoff verstärkt frei in die Atmosphäre. Möglich war

das aber nur, weil die inneren Kräfte der Erde dazu geführt hatten, dass die Kontinente schnell immer größer wurden - und damit viel Flachwasser an den Küsten neue Lebensräume für die Sauerstoff-produzierenden Organismen schufen. Gleichzeitig entwickelte sich auf der Erde ein Puzzle von Platten, deren Bewegungen wir als Plattentektonik heute noch beobachten.

Etwa vor etwa 540 Millionen Jahren folgte dann die sogenannte Kambrische Explosion, die Entwicklung einer enormen Artenvielfalt. Eine globale Vereisung ist diesem Umbruch vorangegangen und dieser Kaltklimateinbruch wurde vermutlich durch plattentektonische Vorgänge und Prozesse der Kontinentalverschiebung ausgelöst.

Basaltfluten aus dem Innern der Erde ergossen sich in Sibirien vor 250 Millionen Jahren auf ein riesiges Gebiet. Feinste Schwefelsäure-Partikel hatten schwerwiegende Auswirkungen auf die Atmosphäre und die Lebensbedingungen, die Folge war das größte Artensterben der Erdgeschichte.

Ein Erdbeben, das die Welt in besonderer Weise bewegt hat, ist das von Lissabon 1755 an Allerheiligen, dessen Auswirkungen noch in Hamburg zu spüren waren. Es löste einen gewaltigen Tsunami und fürchterliche Zerstörung in einer der Hochburgen des Katholizismus aus. Bilder von der Zerstörung der Stadt gingen um die Welt, damals gab es die ersten Zeitungen. Dieses Ereignis verhalf der Aufklärung und der naturwissenschaftlichen Betrachtung unserer Welt zum Durchbruch.

Einleitung

Unsere Erde ist ein Planet, der durch seine inneren Kräfte seit 4,5 Milliarden Jahren stetigen und grundlegenden Änderungen unterworfen ist. Dass unsere Erde heute noch durch seine innere Dynamik geprägt wird, sehen wir am deutlichsten an den Erdbeben und den Vulkanausbrüchen.

Als Geowissenschaftler haben wir gelernt, diese Dynamik und den sich daraus ergebenden Wandel der Lebensbedingungen aus dem Archiv der Gesteine der geologischen Vergangenheit zu rekonstruieren. Das gibt uns ein tieferes Verständnis für den Wandel von Lebensräumen und zukünftige Umbrüche, die die Erde und damit unsere Zivilisation erleben wird.

Der Veränderung irdischer Lebensräume manifestiert sich einerseits in sehr langsamen geologischen Prozessen, zum Beispiel der Öffnung und Schließung von ganzen Ozeanen oder der Hebung und Abtragung von Gebirgen. Diese Änderungen laufen in Zeiträumen von hunderten von Millionen Jahren kontinuierlich ab. Über geologische Zeit und Raum haben diese Prozesse nur sehr langfristig Auswirkungen auf die Entwicklung von Lebensräumen. Allerdings werden diese Prozesse auch immer von mehr oder weniger kurzzeitigen Ereignissen begleitet, wie zum Beispiel Erdbeben, Vulkanausbrüchen, großen (submarinen) Bergstürzen und Mega-Tsunamis, die lokal erhebliche Effekte haben. Alle diese Ereignisse, die

also einige Millionen von Jahren oder nur Tage und Stunden dauern, können erhebliche Störungen und Umbrüche auf der Erdoberfläche zur Folge haben und ihr Effekt auf die Evolution und die geologische Geschichte unseres Planeten lassen sich aus den Gesteinen rekonstruieren. Hierzu gehören die großen Flutbasalt-Ereignisse, die Ausbrüche der sogenannten „Supervulkanen“ und grundlegende Veränderungen der Erdatmosphäre.

Wandel in der Entwicklung und Geschichte der Menschheit laufen in kürzeren Zeiträumen ab. Dennoch wurde auch die menschliche Zivilisation durch geologische Ereignisse grundlegend beeinflusst, die durch die inneren Kräfte der Erde ausgelöst wurde. Geschichtliche Umbrüche als Folge geologischer Ereignisse sind vermutlich viel häufiger als dies bislang vermutet wurde. Diese Umbrüche sind dabei oft - neben dem kurzzeitigen und lokalen Schaden - ein Auslöser für neue (geschichtliche) Entwicklungen.

Inwieweit geologische Ereignisse wie Vulkanausbrüche und Erdbeben auch in der Zukunft der Menschen zu fundamentalen Umbrüchen führen wird, ist nur eine Frage der statistischen Wahrscheinlichkeit. In ihrer Arbeit „Extreme natural hazards: population growth, globalization and environmental change“ haben führende Wissenschaftler der Vulkanforschung in dem höchst angesehenen Wissenschaftsjournal der Royal Society of London folgendes geschrieben: „It is likely that in the future, we will experience several disasters per year that kill more than 10000 people. A calamity with a million casualties is just a matter of time.“ Gründe für diese Situation sind die erheblich gestiegene Verletzlichkeit unserer hoch entwickelten Gesellschaft und die stark angewachsene Weltbevölkerung. Und weiter: „The hazards of supervolcanic eruptions and asteroid impacts could cause global disaster with threats to civilization and deaths of billions of people“ (Huppert und Sparks, 2006). Diese kühle wissenschaftliche Analyse sollte uns nun nicht paralysieren und fatalistisch werden lassen. Der Zusammenhang zwischen der Größe eines Ereignisses, zum Beispiel gemessen an der Freisetzung seismischer Energie bei einem Erdbeben oder dem Volumen an eruptiertem Magma, steht exponentiell zur Wahrscheinlichkeit, dass ein solches Ereignis eintritt. Das heißt, diese extremen Ereignisse extrem unwahrscheinlich und damit auch extrem selten sind. Grundsätzlich und in geologischen Zeiten ist es tatsächlich nur eine Frage der Zeit, dass große Umbrüche in der Erdgeschichte auch in der Zukunft eintreten werden.

Vor dem Hintergrund von langfristigen Wandel einerseits und kurzzeitigen „Events“ andererseits werden wir beispielhaft einige wenige geologische Ereignisse betrachten, die in der Vergangenheit zu einem grundsätzlichen „Umbruch“ der Lebensbedingungen und auch unserer eigenen Geschichte geführt haben. Dabei werden wir - auch als Bogen über alle weiteren Beiträge dieser Serie aus der Vorlesungsreihe „Umbrüche“ - den langen Weg aus dem Archaikum (4,0 bis 2,5 Milliarden Jahre vor heute bis zur Eruption des Eyafjalla in Island im Jahr 2010 beschreiten. Wir beginnen diesen Weg mit der Frage:

Was sind die Ursachen für die inneren Kräfte der Erde und was bewirken sie? Kontinente bewegen sich, wenn auch langsam, sie kollidieren und in der Folge heben sich Gebirge. Woher kommen die antreibenden Kräfte und was ist die Ursache der Kräfte, die bei Erdbeben und Vulkanausbrüchen freigesetzt werden? Die schlichte Antwort ist „Wärme“.

Das Innere unseres Planeten ist heiß, ca. 5000 °C im Kern (zwischen 2900 und 6370 km) und hat in nur 100 km Tiefe in der Regel schon weit über 1000 °C erreicht. Der größte Teil dieser Wärme in der Erde wird heute durch den natürlichen radioaktiven Zerfall von Uran, Thorium und Kalium erzeugt. Wärmekonvektion bedingt, dass kalte, alte Erdplatten nach unten sinken während an anderer Stelle heißes Material aus dem Erdmantel aufsteigt. Voraussetzung dafür ist, dass die Gesteine des Erdmantels langsam plastisch fließfähig sind (wie wir das bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen auch von Gletschern kennen). Diese Wärmeausgleichsbewegungen laufen mit einer Geschwindigkeit von wenigen cm/Jahr ab. Krustengesteine in den Ozeanbecken entstehen durch Prozesse der teilweisen Aufschmelzung des festen Erdmantels wenn dieser durch die Konvektionsbewegungen aus der Tiefe aufsteigt und dabei unter anhaltend hohen Temperaturen der Druck nachlässt. Aus den Magmen bildet sich dann basaltische Kruste. Allerdings beobachten wir heute, dass alte, erkaltete ozeanische Platten aufgrund ihrer relativ hohen Dichte, die durch die Zusammensetzung bedingt ist, in den Erdmantel zurücksinken. Als Folge dieses Absinkens der Erdplatten am Rande der Ozeanbecken an den sogenannten Subduktionszonen werden durch die konvergierenden Bewegungen der Erdplatten zum Teil heftige Erdbeben ausgelöst, wie wir das an allen Plattengrenzen unserer Erde beobachten können.

Unsere Erde ist allerdings der einzige Planet in unserem Sonnensystem, der diese Plattenbewegungen erkennen lässt. Auch Kontinente und Ozeane sind einmalig in unserem Sonnensystem und vermutlich weit darüber hinaus. Wasser spielt nicht nur für die Entstehung des Lebens eine wichtige Rolle, sondern auch für die geologischen Prozesse. Die typischen Gesteine der Kontinente haben eine ganz andere Zusammensetzung als die Gesteine der Ozeankruste am Boden der Meere. Viele geologische Befunde belegen, dass die Erde schon sehr früh, vermutlich innerhalb von wenigen zehn Millionen von Jahren nach ihrer Entstehung von einem Wasserozean über einer basaltischen Kruste bedeckt war. Immer dann, wenn Konvektionsbewegungen im Innern der Erde zur Aufstapelung der frühen basaltischen Kruste führte, entstanden durch die Aufschmelzung des Basalts im Beisein von Wasser Silizium-reiche Schmelzen mit einer spezifischen Spurenelementsignatur die zu Graniten erstarrten. Deren Dichte ist zu gering als dass diese Gesteine nach dem Erkalten in den Erdmantel wieder absinken konnten. Das sind die Kerne unserer Kontinente und darum sind die ältesten Gesteine der Kontinente auch viel älter (bis 3,8 Milliarden Jahre) als die der Ozeankruste die heute nicht älter als 200 Millionen Jahre ist, weil sie immer wieder in den Erdmantel

zurück sinkt und an anderer Stelle der Erde auch heute noch immer wieder neu entsteht.

Der geologische Umbruch an der Wende Archaikum - Proterozoikum: der erste Sauerstoff in der Atmosphäre vor 2,5 Milliarden Jahren

Noch wird unter Geochemikern und Geodynamikern diskutiert, wann die plattentektonischen Prozesse der Öffnung und Schließung von Ozeanbecken, Subduktion und Kontinentalverschiebung, durch die unserer Planet heute geprägt, eingesetzt haben. Eine plausible Idee ist, dass in der heißen Frühphase der Erde die Ozeankruste nur aufgestapelt wurde (s.o.) und die Ozeanplatten erst mit zunehmender Abkühlung begannen in den Erdmantel abzusinken.

Es gibt eine Reihe von Beobachtungen, die nahe legen, dass unsere Erde vor ca. 2,5 Milliarden Jahren einen fundamentalen Umbruch erlebt hat. Dieser Umbruch vereint zum ersten Mal erkennbar die Wirkung der inneren Kräfte der Erde mit der Entwicklung des Lebens. Die Gesteine der kontinentalen Erdkruste, die vor und nach dieser Grenze zwischen Archaikum und Proterozoikum neu gebildet wurden, unterscheiden sich grundsätzlich. Dieser Unterschied liegt in der Spurenelementsignatur der Krustengesteine verborgen, die nur die Geochemiker durch aufwendige Analysen erkennen und interpretieren können. Diese Details kann ich hier nicht erläutern, aber uns besagen die Beobachtungen, dass in der Zeit vor 2,5 Milliarden Jahren der oben beschriebene Prozess der Stapelung und Aufschmelzung ozeanischer Kruste unter Mitwirkung von Wasser bei der Bildung der Kontinente ausschlaggebend war. Als Folge des langsamen Rückgangs der Konzentration der radioaktiven Elemente und der daraus resultierenden geringeren Wärme-Produktion und stärkeren Abkühlung des Erdkörpers kam es zwischen 2,8 und 2,5 Milliarden Jahren vermutlich zu einem Wechsel in der Art und dem Muster der Konvektion des Erdmantels. In der Folge wurde die ozeanische Kruste bei der Subduktion und dem Zurücksinken in den Erdmantel nicht mehr aufgeschmolzen, dafür war sie nicht mehr warm genug. Allerdings wurde die basaltische Kruste, die ja unter Ozeanbedeckung entstanden und abgekühlt war, entwässert. Das Wasser reduziert den Schmelzpunkt des über der absinkenden Platte liegenden heißen Erdmantels, sodass dieser aufschmelzen konnte. Im Archaikum schmolz die basaltische Kruste also in den Stapelungszonen auf, nach 2,8 Milliarden Jahren schmolz dort nun der Erdmantel auf. Also Folge davon haben die seit dem gebildeten Magmen eine grundsätzlich andere Zusammensetzung. Damit aus den seit dem Proterozoikum an Subduktionszonen gebildet Magmen aber zu kontinentalen Gesteinen „reifen“ konnten, mussten die Magmen bei der Abkühlung und ihrer späteren Entwicklung noch weiter „differenzieren“, wobei sie die Mg- und Fe-reichen Minerale verlieren und reicher an Silizium werden. Der Silizium-Reichtum ist typisch für die Gesteine der kontinentalen Kruste. Dies haben die Kontinentalgesteine des Archaikums und der jüngeren Erdgeschichte (< 2,5 Milliarden Jahre) gemeinsam. Kontinente können sich in jedem Fall aber nur dann

bilden, wenn flüssiges Wasser die basaltische Ozeankruste bedeckt. Ohne Wasser kein Granit, ohne Ozeane keine Kontinente (Cambell & Taylor, 1983).

Die geringere Dichte bedingt, dass Kontinente nicht in den Mantel zurück sinken können, in der Regel über dem Meeresspiegel liegen und nur am Rand von einem flachen Schelfmeer überflutet werden. Trockenes Land umgeben von flachen, warmen, licht-durchfluteten Schelfmeeren sind daher ein Geschenk der Ozeane und der Plattentektonik, die mit Hilfe des Wassers die Kontinente hat wachsen lassen. Was hat das Wachstum der Kontinente und die Entwicklung der Erdatmosphäre und deren Sauerstoffgehalt miteinander zu tun? Die irdische Uratmosphäre war reich an CO_2 und Methan, freien Sauerstoff gab es nur als Spurengas. Beide Gase haben einen starken Treibhauseffekt, der die zunächst sehr viel schwächere (-30%) Sonneneinstrahlung in den ersten 2 Milliarden Jahren der Erdgeschichte kompensieren konnte: Weniger Sonneneinstrahlung + mehr Treibhausgase = moderate Temperaturen und Ozeane. In den Ozeanen bildeten sich ab ca. 3,8 Milliarden Jahren die ersten Cyanobakterien, die Photosynthese betrieben haben und somit das CO_2 in Sauerstoff umwandeln konnten. Zunächst aber verband sich dieser Sauerstoff im Meer mit dem in reduzierter Form (Fe^{2+}) gelöstem Eisen, das zuvor durch heiße Wässer aus den Gesteinen der Ozeankruste und durch Verwitterung der Gesteine der frühen noch unbelebten Kontinente herausgelöst worden war.

In Beisein von freiem Sauerstoff, also in oxidierter Form, ist Eisen jedoch im Meerwasser unlöslich und in der Folge bildeten sich riesige Eisen-Oxid-reiche Sedimente, die noch heute als Eisenerz abgebaut werden. In den Gesteinen, die an der Wende Archaikum/Proterozoikum im Meer gebildet wurden, gibt es geochemische Anzeichen, dass nun erstmals Sauerstoff in so großer Menge produziert wurde, dass Sauerstoff aus dem Meer in die Atmosphäre aufsteigen konnte. Dieser Umbruch wird in den Geowissenschaften als der „Great Oxidation Event“ (GEO) bezeichnet. Der nun freigesetzte Sauerstoff oxidiert das Methan der Uratmosphäre zu CO_2 und Wasser, und der Treibhaus - Effekt wurde reduziert, weil CO_2 einen viel geringeren Effekt hat als Methan. In der Folge sanken die Temperaturen auf der Erdoberfläche dramatisch und die Gesteine auf den frühen Kontinenten dieser Zeit verzeichnen erste, vermutlich globale Vereisungen. Mit der plötzlichen Freisetzung erheblicher Mengen an photosynthetisch gebildetem Sauerstoff vor ca. 2,4 Milliarden Jahren geht also ein fundamentaler Umbruch in der Zusammensetzung der Erdatmosphäre und der Bedingungen auf der Erdoberfläche einher. Die Frage ist, warum so plötzlich und warum vor 2,5 Milliarden Jahren? Abb. 1 zeigt u.a. die oben beschriebenen Veränderungen der Erdatmosphäre im Verlauf der Erdgeschichte. Zusätzlich gezeigt ist die Häufigkeitsverteilung der neu gebildeten Kontinentalgesteine, die auf die Häufigkeit des gut datierbaren Minerals Zirkon zurück geht, welches in der Regel nur in Siliziumreichen Gesteinen der Kontinentalkruste gebildet wird. Dieser starke Zuwachs an Kontinentalgesteinen in der Zeit von ca. 3,0 bis 2,5 Milliarden Jahren ist nicht

unumstritten, dennoch deutet vieles darauf hin, dass in dieser Zeit durch die langsam zurückgehenden Temperaturen im Erdinneren die globalen Umwälzprozesse im tiefen Erdmantel und die Plattenbewegungen an einer kritischen Temperaturschwelle einem erheblichen Wandel unterlagen. Dadurch konnten die Aufschmelz- und Differentiationsprozesse zur Bildung von Kontinentalgesteinen (s.o.) besonders effektiv werden und daher sind in der Zeit zwischen 3,0 und 2,5 Milliarden Jahren unsere Kontinente vermutlich sehr rasch gewachsen.

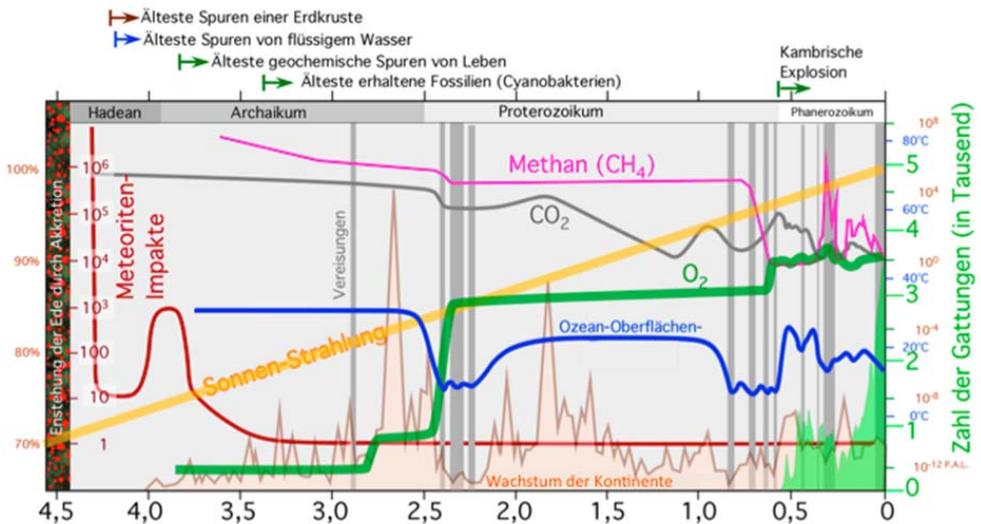


Abb. 1: Die Entwicklung der Erdatmosphäre in geologischer Zeit. Gas-Konzentrationen (Methan, CO_2) sind logarithmisch aufgetragen relativ zum „Present Atmospheric Level“ (P.A.L.). Die Intensität der Sonneneinstrahlung ist schematisch gezeigt und steigt von 70% am Anfang der Erdgeschichte auf den heutigen Wert von 100% (gelbe Linie). Die Zahl der Meteoritenimpakte nimmt mit dem Auslaufen der Wachstumsphase unseres Planeten dramatisch ab und erreicht um 3,9 Mrd. Jahren noch einmal ein Maximum, bedingt durch die Reorganisation der Umlaufbahnen der Planeten. Die blaue Linie zeigt die aus den Gesteinen rekonstruierte mittlere Temperatur der Ozeanoberfläche. Erkennbar ist die geringe Variation zwischen 10°C und 25°C , mit stärkeren Änderungen in globalen Eiszeiten („Snowball Earth“, graue Balken). Der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre steigt ab 2,5 Milliarden Jahren sehr schnell an (grüne Linie) und wird gefolgt von einer Serie von globalen Vereisungsphasen. Beides folgt auf einen starken Zuwachs der Kontinente vor 2,8 bis 2,5 Mrd. Jahren (hellbraune Kurve). Ab 0,5 Milliarden Jahren (mit der „Kambrischen Explosion“, s. Beitrag Reitner) schreitet die Evolution und die Produktion von Biomasse rasch voran (grüne Linie).

Durch plattentektonische Prozesse und ihre Wechselwirkung mit der biologischen Evolution verläuft die Entwicklung der Erdatmosphäre seit 500 Millionen Jahren deutlich variabler und Eiszeitphasen nehmen deutlich zu. Zusammengestellt aus verschiedenen Quellen.

Der starke Anstieg des Sauerstoffgehaltes vor 2,5 Milliarden Jahren folgte direkt diesem Zuwachs an Kontinenten und ist vermutlich dadurch bedingt, dass die Sauerstoff-bildenden Kolonien der Cyanobakterien „schlagartig“ (in der Geologensprache: „innerhalb weniger hundert Millionen Jahre) viel größere Siedlungsräume an den nun neu entstandenen flachen Schelfmeeren und deren Küsten gefunden haben. Innere Kräfte der Erde sind also der Auslöser für evolutionäre Prozesse mit grundlegenden Konsequenzen für die Entwicklung und Zusammensetzung der irdischen Atmosphäre.

Ob und inwieweit eine sauerstoffhaltige Atmosphäre, biologische gebildete Kalksteine, in oxidierender Atmosphäre verwitterte Kontinentalgesteine und letztlich die Subduktion (s.o.) von oxidierten Gesteinen zurück in den Erdmantel ihrerseits wieder Einfluss auf die Eigenschaften und Konvektion der Gesteine im Erdmantel haben könnte, wird derzeit intensiv in der Geochemie und Geophysik diskutiert.

Auch die weitere Entwicklung und die Temperatur der irdischen Atmosphäre wird grundlegend durch das Wechselspiel von Ozeanen, Kontinenten und den Lebewesen bestimmt. Mit weiterer Zunahme der Sonneneinstrahlung wäre es auf unserer Erde bald viel zu warm geworden, unsere Ozeane wären bald vollständig verdunstet. Wie kommt es, dass dies nicht eingetreten ist? Dieser Frage wenden wir uns in dem folgenden kleinen Exkurs zu.

Die Klimasteuerung durch Prozesse der Plattentektonik

Immer wenn Kontinente durch die Kräfte der Plattenverschiebung kollidieren haben sich Gebirge aufgetürmt, wie wir dies heute noch in den Alpen und dem Himalaya erleben. Ohne Kontinent-Kollisionen gäbe es keine Gebirge, in denen Gesteine verwittern und abgetragen werden und ohne Kontinente gäbe es auch keine Flachmeere, in denen sich in der Erdgeschichte große Mengen an marinen Karbonatgesteinen gebildet haben. Diese Karbonate entstehen zwar im Meer, sind aber eine Folge der Verwitterung der Kontinentalgesteine durch Kohlensäure (CO_2 der Atmosphäre + Regen). Die gelösten Stoffe (u.a. Ca-Hydrogenkarbonat) aus der Gesteinsverwitterung gelangen ins Meer, wo sich Calciumkarbonat ausscheidet, in dem erhebliche Mengen des atmosphärischen CO_2 gebunden werden (Abb. 2). Ohne diese CO_2 -Fixierung wäre die steigende Wärme-Einstrahlung der Sonne nicht kompensiert worden und unsere Erde wäre in einem Treibhaus wie auf der Venus geendet. Doch ohne die Kollision der Kontinente und die Rückführung eines Teils des CO_2 über den Vulkanismus in die Atmosphäre, wäre auch

schnell alles CO_2 als Karbonat fixiert und die fehlende Treibhauswirkung des CO_2 hätte die Erde schon früh in ihrer Geschichte in ein Kühlhaus (s. Mars) mit dauernder Vereisung geführt.



Abb. 2: Der CO_2 -Kreislauf (Fotos Wörner, Korallenfoto: J. Reitner)

Die Bindung von CO_2 als Karbonatgestein ($5,1 \cdot 10^{21}$ mol CO_2 , Lunine, 1999) reduziert also das Treibhausgas und die Kollision der Platten führt zur teilweisen Rückführung von CO_2 und stärkt den Treibhaus-Effekt. Der Netto-Effekt ist eine Klimabalance, die ohne Vulkanismus, Plattenkollision und unsere Ozeane nicht möglich wäre. Mit der „Erfindung“ der Photosynthese und der in der jüngeren Erdgeschichte stark anwachsenden „Bioproduktion“ wurde die biologische Karbonatproduktion erheblich verstärkt und zudem weiteres CO_2 der Atmosphäre in Form organischer Substanz (Kohle, organik-reiche Schwarzschiefer) in den Gesteinen gebunden. Das Ergebnis ist eine Atmosphäre, in der heute freier Sauerstoff und eine Ozonschicht existieren, und in der eine gleichbleibende Temperatur herrscht. Die Lebensbedingungen auf der Erde werden also gesteuert durch die Wechselwirkung zwischen ihren inneren Kräften sowie den biologischen und chemischen Prozessen in den Ozeanen an der Erdoberfläche.

Umbrüche und Ausschläge in diesem delikaten System der Klimasteuerung sind unvermeidlich und haben als globale Klimaänderungen auf Zeitskalen von Millionen bis tausenden von Jahren immer wieder zu Konsequenzen und evolutionären Umwälzungen und Anpassungen geführt. Die Veränderung, die wir durch die Verbrennung fossiler, biologisch gebildeter Kohlenwasserstoffe auf unsere

Erdatmosphäre heute bewirken, laufen in Zeitskalen von wenigen Jahrzehnten ab. Evolutionäre Anpassung kann es in diesen Zeiträumen nicht geben und die Konsequenzen einer kurzzeitigen Erderwärmung für unsere Zivilisation sind nicht absehbar. Aus geologischer Sicht wissen wir, dass sich das Temperatursystem der Atmosphäre in Zeiträumen von vielen hunderttausenden von Jahren langsam wieder einregeln und dann wieder von den natürlichen Faktoren bestimmt werden wird. Die nächste Eiszeit kommt bestimmt, wenn auch nur mit geringer Verspätung!

Vulkane und biologische Evolution

Die eben beschriebenen Prozesse der Klimasteuerung der Erdatmosphäre sind anfällig gegen Störungen, die aber in der Erdgeschichte offenbar immer wieder ausgeglichen werden konnten. So wurden die globalen Vereisungsperioden („Snowball Earth“), in denen vermutlich die gesamte Erdoberfläche über viele Millionen von Jahren von Eis bedeckt war, relativ schnell (einige hunderttausend Jahre) dadurch beendet, dass die Karbonatproduktion in den Meeren zum Erliegen kam, weil Verwitterung und Karbonatbildung unter Eisbedeckung nicht möglich ist. Andererseits ging die Aktivität von Vulkanen weltweit weiter. Diese haben schließlich so viel CO_2 in die Atmosphäre abgegeben (ohne dass dies als Karbonat gebunden werden konnte), dass der erhöhte Treibhauseffekt in kurzer Zeit die Temperaturen wieder hat steigen lassen. Diese dramatischen Ereignisse sind in den zu dieser Zeit abgelagerten Gesteinen wie in einem Archiv niedergelegt, das von den Geologen ausgewertet werden kann.

Große Vulkaneruptionen können ungeheure Mengen an CO_2 und Schwefelgas (SO_2) in die Atmosphäre abgeben und damit die Atmosphäre erheblich beeinflussen. Hierbei sind zwei Arten und Wirkungen von Vulkanen zu unterscheiden. Die sogenannten „Supervulkane“ - der Yellowstone-Vulkan wird in diesem Zusammenhang oft genannt - können in wenigen Tagen und Wochen das gesamte Klimasystem der Erde durcheinander bringen. Die Explosionen können Asche und Gase (neben Wasser und CO_2 auch SO_2 und Halogene) weit in die obere Atmosphäre verfrachten. Die Asche wird allerdings innerhalb weniger Jahren aus der Atmosphäre ausregnen. Jedoch beschreiben sogenannte „Volcanic Winter Szenarios“ die Belastung der Atmosphäre mit H_2SO_4 -Aerosolen, die in der Tat das gesamte globale Klimasystem beeinflussen können, wie dies möglicherweise nach der Eruption des Toba-Vulkans in Indonesien vor ca. 74.000 Jahren der Fall war. Die Dauer und das Ausmaß der Effekte solcher großer explosiver Eruptionen sind aber zeitlich auf wenige Dekaden beschränkt und ihr globaler Einfluss auf die Evolution ist umstritten (siehe Sammelband Petraglia et al., 2012).

Flutbasalt-Eruptionen, die große Teile von Kontinenten und auch den Ozeanboden großflächig mit Basaltlava überdecken können, sind eine ganz andere Geschichte. Solche Ereignisse dauern hunderte von tausend Jahren und sind aus

verschiedenen Zeiten der Erdgeschichte bekannt. Die wohl größten und stärksten Basalt-Fluten ergossen sich vor ca. 251 Millionen Jahren im heutigen Zentralsibirien (Abb. 3). Sie haben zu dem größten Massensterben in der gesamten Erdgeschichte geführt (Black et al., 2012; Sobolev et al., 2012; Saunders & Reichow, 2009). Die Eruptionen dauerten etwa 600.000 Jahre an und in dieser Zeit wurden 3 Millionen Kubikkilometer Lava basaltischer Zusammensetzung an die Oberfläche gefördert. Dieses Volumen würde ausreichen, um die Fläche der Bundesrepublik Deutschlands mit einer Basaltschicht von 8,4 km Dicke zu bedecken. Aus den entgasten Gesteinen und aus Einschlüssen von Schmelze in den Mineralen konnte man die Menge der freigesetzten Gase an CO_2 , Schwefeldioxid und Halogenen (Cl, F) abschätzen. Die 66 Milliarden Tonnen CO_2 , die zusammen mit den anderen Gasen (Abb. 3) in die Atmosphäre abgegeben wurden, erscheinen eine unvorstellbar große Menge zu sein. Allerdings liegt die durch die menschliche Zivilisation freigesetzte Menge an CO_2 bei heutiger „Leistung“ von 36 Milliarden Tonnen/Jahr (IPCC Report 2013). Damit setzt der Mensch im Jahr heute etwa halb so viel CO_2 in die Atmosphäre frei wie die größte Vulkanprovinz der Erdgeschichte.

Die Ursache der Flutbasalt-Eruptionen sind sogenannte Mantel-Plumes. Das sind heiße, aus großer Tiefe (> 600 km) aufsteigende Gesteinsströme im Erdmantel, die sich bei ihrer Ankunft an der Basis der starren Erdplatten über hunderte von Kilometern ausbreiten und unter Druckentlastung partiell aufschmelzen. Das Magma trennt sich von dem Gestein, steigt zur Erdoberfläche und die Folge sind



Abb. 3: Rekonstruktion der Verteilung der Kontinentalplatten an der Wende Perm/Trias vor 250 Millionen von Jahren. Zu dieser Zeit war die größte Flutbasalt-Provinz der Erdgeschichte im heutigen Sibirien aktiv und hat die Atmosphäre pro Jahr mit ungeheuren Mengen an vulkanischen Gasen belastet.

andauernde Basalteruptionen, die weit über das hinaus gehen, was wir heute von Hawaii oder dem Ätna kennen. Die über lange Zeit freigesetzten Gase führen zu globalen Veränderungen des Klimas und der Lebensbedingungen und zum Zu-

sammenbruch ganzer Ökosysteme an Land und im Meer. Über 50% der Arten sind damals als Folge der Basaltfluten vor 251 Millionen Jahren ausgestorben. Die Atmosphäre heizte sich durch den extremen Treibhauseffekt in kürzester Zeit sehr stark auf, in den Meeren herrschte weltweit Sauerstoffarmut, wie an den Schichten aus dieser Zeit, die reich an organischen Bestandteilen sind, zu erkennen ist. Pilzsporen, die in den Sedimenten überliefert sind plötzlich besonders häufig. Aus diesen und vielen anderen Beobachtungen können wir ein Szenario ableiten, in dem Pflanzen und Tiere auf dem Land und in den Meeren durch extreme Lebensbedingungen massenweise ausgestorben sind. Der Impact eines Asteroiden an der Wende Kreide/Tertiär, durch den die Saurier ausgestorben sind, hatte dagegen einen deutlich geringeren Effekt.

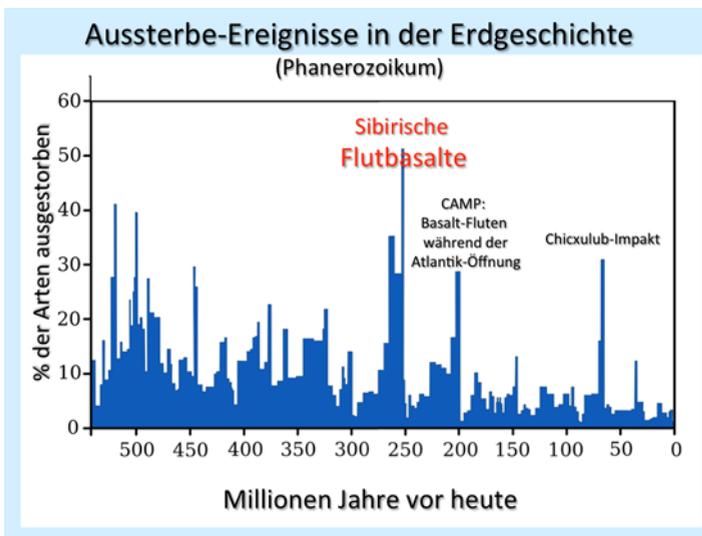


Abb. 4: Das Aussterben von Arten in der Erdgeschichte zeigt starke Variationen. Die größten Aussterbe-Ereignisse sind die Folge von Flutbasalt-Eruptionen und Asteroiden-Einschlägen (modified from Wikimedia Commons).

Immer wieder wurde die Evolution durch Flutbasalt-Ereignisse unterbrochen, zum Beispiel erneut vor 200 Millionen Jahren, und immer wurden unterschiedliche evolutionäre Prozesse unterbrochen und dadurch aber auch neue Entwicklungslinien ermöglicht. Das massenhafte Aussterben von Arten, ausgelöst durch Vulkaneruptionen aber auch andere Ereignisse (Asteroideneinschläge) und geologische Umbrüche (abrupte Klimaänderungen), hat es in der Erdgeschichte mit großer Regelmäßigkeit und in Abständen von vielen Millionen von Jahren immer wieder gegeben. Dies wird auch in der geologischen Zukunft nicht anders sein. Auch die Evolution wird weitergehen, solange durch die plattentektonischen Kräfte die Lebensräume auf der Erde gesichert sind.

Ein Erdbeben verändert die Geschichte

Am 1. 11. 1755, dem Feiertag der Allerheiligen, morgens um 9:50 erschütterte während der Messe ein schweres Erdbeben die Stadt Lissabon. Die einstürzenden Kirchen und Häuser, der folgende Tsunami und die rasenden Feuer zerstörten eine der reichsten Städte Europas dieser Zeit. Man schätzt, dass über 100.000 Menschen bei diesem Beben starben.

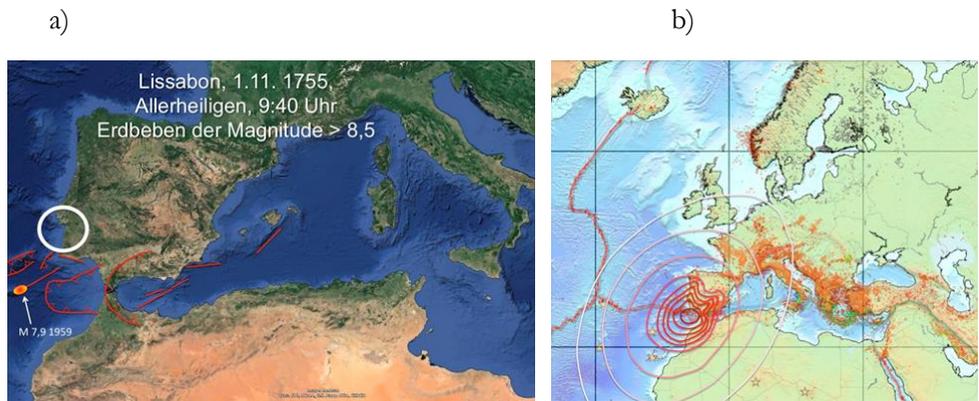


Abb. 5: Das große Erdbeben von Lissabon. (a) Die wichtigsten Verwerfungslinien der Erdplatten südlich der iberischen Halbinsel (Auswahl). Die Lage des Epizentrums eines der jüngsten Erdbeben in der Region hatte eine Magnitude M 7,9. (b) Die Rekonstruktion der Ausbreitung der Erdbebenwellen über Südwest-Europa. Die zahlreichen roten Punkte repräsentieren die Herde von Erdbeben entlang der Platten-Kollisionszone zwischen Afrika und Eurasien. Erdbeben in Norwegen stehen im Zusammenhang mit der Hebung der Erdkruste als Langzeitfolge des Abschmelzens der Eispanzer nach der letzten Eiszeit.

Der zentrale Mittelmeerraum ist von West nach Ost durch eine Vielzahl von relativ kleinen Erdplatten gegliedert, die im Verlauf der letzten 90 Millionen Jahren und im Zusammenhang mit der Alpenauffaltung wie eine Reihe von Scharnieren die europäische und die afrikanische Platte beweglich verbinden. In der Folge kommt es zu Subduktion von Platten (zum Beispiel unter Italien und die Ägäis) und den typischen Vulkanen und Vulkaninseln, von denen viele aktiv und sehr explosiv sein können (zum Beispiel die Insel Santorini). An anderer Stelle schieben sich die Platten aneinander vorbei. Immer ist dies auch mit Erdbeben verbunden. Starke Erdbeben und die daraus resultierenden Verwüstungen vor allem im östlichen Mittelmeer können viel besser mit diesen Erdbeben in Verbindung gebracht werden als mit kriegerischen Auseinandersetzungen, wie früher von Historikern vermutet (Nur, 2008). Auch die „Sieben Plagen“ des Alten Testaments gehen vermutlich auf geologische Ereignisse, wie Erdbeben und die Eruption von Vul-

kanen zurück. Der Untergang der minoischen Kultur wurde wohl nicht durch die Eruption des Thera-Vulkans 1627-1600 v. Chr. (Friedrich et al., 2006) auf Santorini ausgelöst, möglicherweise hat aber die Eruption und der Tsunami die Kultur zumindest erheblich geschwächt (Minoura et al., 2000; McCoy & Heiken, 2000).

Das Erdbeben von Lissabon traf eine Hochburg des Katholizismus zu einer Zeit, als die Aufklärung in Europa begonnen hatte Fuß zu fassen. Dazu kam, dass zu dieser Zeit Informationen erstmals in kurzer Zeit und über den ganzen Kontinent in Journalen verbreitet werden konnten, dadurch wurde diese Katastrophe zu einem ersten, alle Gesellschaftsschichten erfassenden großen Medienereignis. Zahlreiche Stiche zeigen das Ausmaß der Verwüstungen, oft in Reproduktionen von früheren Stichen „abgekupfert“. Auffallend ist auch, dass sich schriftliche Darstellungen im Rest von Europa an genau diesen Bildern zu orientieren scheinen (z.B. Goethe, 1811, *Aus meinem Leben. Dichtung und Wahrheit*, Erster Teil, Erstes Buch)

Die weite Verbreitung der Bilder und die ausführliche Berichterstattung löste eine erste große, Europa-weite Hilfskampagne aus. Die ordnende Hand des Marques de Bompal (1699-1782) organisierte den Wiederaufbau, wobei ihm sein aufgeklärter Absolutismus zu Gute kam, in dem er nicht an eine Strafe Gottes glaubte, die einfach hinzunehmen sei. Die beginnende Aufklärung hatte ausgehend von Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) und Alexander Pope (1688-1744) „die beste aller möglichen Welten“ postuliert. Für Voltaire (1694-1778) war diese vollständige Zerstörung Lissabons mit diesem Optimismus nicht in Einklang zu bringen, was in seiner „Candide“ und seinem Streit mit Jean-Jaques Rousseau (1712-1778) sehr deutlich zum Ausdruck kommt.

Die Frage, ob das Erdbeben und seine Folgen eine Strafe Gottes oder ein folgenschweres Naturereignis gewesen sei, beantwortete Immanuel Kant (1724-1804) schon ein Jahr später im Sinne einer sorgfältigen Beschreibung der Beobachtungen und der Suche nach einer natürlichen Erklärung. Dennoch blieb diese Auseinandersetzung prägend für viele Philosophen und Wissenschaftler des 18. Jahrhunderts. Das Erdbeben von Lissabon hat also nicht nur die Erde erschüttert, sondern es zerstörte ein Weltbild und die Vorstellung, dass Katastrophen als eine Strafe Gottes anzusehen sind. In der Folge verlor die katholische Kirche die Vorherrschaft über die Deutung der Welt.

1783 bis 1789 : Eine Vulkaneruption und die Französische Revolution

Am 8. Juni 1783 begann im Süden Islands eine Vulkaneruption, die bis zum den Februar 1784 dauerte und als der größte Lava-Erguss der Geschichte gilt. Aus der 27 km langen „Laki“-Spalte drangen in acht Monaten 14 km³ Basaltmagma an die Erdoberfläche. Die freigesetzte Gasmenge betrug 120 Millionen Tonnen SO₂, die

5000-fache Menge der anthropogenen „Jahresproduktion“, dazu weitere ungeheure Mengen an Chlor und Fluor. Wasserdampf und CO₂ wurden zwar ebenfalls in großen Volumen freigesetzt, aber für die Folgen dieser Eruption hatten diese Gase keine Bedeutung. Die Menschen Europas litten vor allem an der andauernden Belastung der Atmosphäre mit Schwefelgasen. Zudem waren die Wintertemperaturen 1783/1784 und 1784/1785 gegenüber dem langfristigen Mittelwert um 3 Grad erheblich erniedrigt (Schmidt et al., 2012). Statistische Auswertungen aus Sterbebüchern in England zeigen an, dass die Sterblichkeitsrate bis zum Sommer 1784 erheblich angestiegen war, ein Effekt, der auch in ganz Europa zu verzeichnen war (Witham und Oppenheimer, 2005).

In diesem Zusammenhang denken wir natürlich an die Eruption des Eyafjalla auf Island im Frühjahr 2010, und fragt man sich natürlich, ob eine derartige Beeinflussung der Atmosphäre und deren Folgen für die Menschen in Europa durch einen Vulkanausbruch in Island auch heute möglich wäre ?

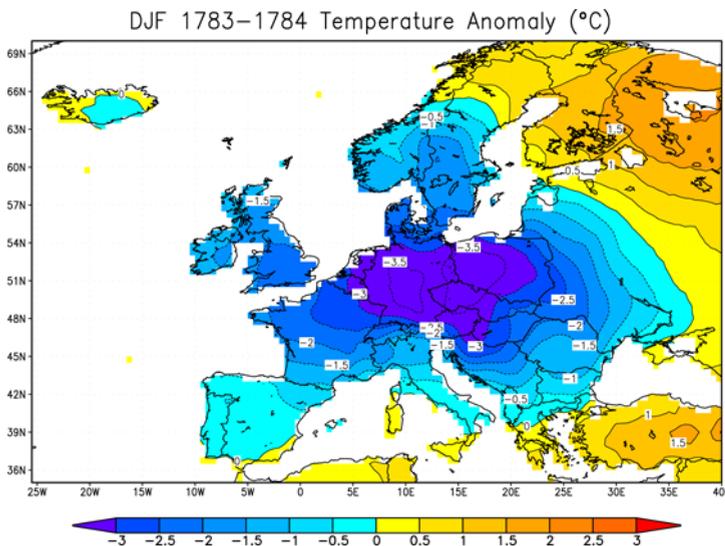


Abb. 6: Anomale Abkühlung um bis zu 3,5 °C wurden als Folge der Laki-Eruption für die Monate Dezember 1783 bis Februar 1784 rekonstruiert. Dargestellt sind die Anomalien der Oberflächentemperatur im Januar 1784 (°C) relativ zum Mittelwert für die Zeit von 1770-1800. Gezeichnet von Luke Oman basierend auf Daten aus Luterbacher et al. (2004), abgedruckt mit persönlicher Erlaubnis L. Oman.

Diese Eruption zwischen dem 20 März und dem 9. Juli dauerte nur 3 ½ Monate und es wurde nur ca. 0,16 km³ an Lava gefördert, also nur wenig mehr als 1 % der Fördermenge der Laki-Eruption vor 227 Jahren. Der damalige Bundesverkehrsminister hat angesichts der extremen Störungen im Flugverkehr über Europa und

der damit einhergehenden wesentlichen wirtschaftlichen Schäden als Folge der Eruption des Eyafjalla verlautet, dass ein solches Ereignis „völlig unvorhersehbar und historisch einzigartig“ sei. Im Hinblick auf die Dauer einer Legislaturperiode und in Bezug auf die Wirkungen auf unsere „hoch“-entwickelte Zivilisation und Wirtschaftsverflechtungen mag das wohl stimmen. Dass es aber auf Island in den letzten Jahrtausenden andauernd große Vulkaneruptionen gegeben hat und dass diese mit der Einführung des intensiven Flugverkehrs von Touristen, Managern, notwendiger Ersatzteile aus Fernost für den Fahrzeugbau, sowie für Rosen und Kaviarlieferungen nicht plötzlich aufhören, das ist schon den Studierenden der Geowissenschaften bei uns im ersten Semester sehr wohl bekannt.

Im Sommer und Winter 1784 wurden in Mitteleuropa die seit dem Magdalenen-Hochwasser (1342) schlimmsten Überschwemmungen registriert. Die Folge waren erhebliche Ernteeinbußen und stark erhöhte Preise für Grundnahrungsmittel in den Folgejahren. Wohl nicht ganz ohne Grund kann daher angenommen werden, dass die verschlechterte Versorgungslage der Bevölkerung in Frankreich einer der Auslöser der französischen Revolution gewesen sein könnte.

Und heute??

Die hier beschriebenen Ereignisse und Szenarien werfen natürlich die Frage auf „Was wäre wenn...?“ Wir wissen, dass auf unserer Erde auch in der Zukunft starke Erdbeben, Tsunamis und große Vulkanausbrüche passieren werden, denn das ist der ganz normale Gang der Dinge auf unserem Planeten.

Würde sich eine Laki-Eruption heute wiederholen, was nicht besonders unwahrscheinlich wäre, so würde die statistische Sterblichkeit in West-Europa signifikant ansteigen und ca. 142.000 zusätzliche Todesfälle verursachen (Schmidt et al., 2011). Das wäre ein gravierendes Ereignis, muss aber vor dem Hintergrund der zahlreichen menschen-gemachten Kriege und der durch die Globalisierung verursachten Armut und Sterblichkeit in den unterentwickelten Ländern der Welt gesehen werden. Der direkte und indirekte wirtschaftliche Schaden einer solchen Eruption in Island oder vergleichbarer Vulkanereignisse, Tsunamis und Erdbeben im Mittelmeer-Raum würde vor allem uns in den wirtschaftlich weit entwickelten Ländern empfindlich treffen und sicher auch fundamentale wirtschaftliche, politische und letztlich auch geschichtliche Folgen haben, aber es wäre nicht das Ende unserer Zivilisation.

Was wäre aber, wenn in der weiteren Geschichte der Menschheit einer der sogenannten „Super“-vulkane ausbrechen würde, was ja ebenfalls keineswegs ausgeschlossen ist. Dies hätte nach Huppert & Sparks (2006) völlig unabsehbare globale Konsequenzen für die Menschheit. Die Wahrscheinlichkeit aber, dass eine solche Eruption innerhalb der nächsten 460 bis 7200 Jahren eintritt, ist 1% (Mason et al., 2004). Das ist eine Abschätzung, die allerdings von großer statistischer Unsicherheit begleitet ist. Will man diese Wahrscheinlichkeit anders ausdrücken, so liegen

unsere „Chancen“, eine Super-Eruption innerhalb der nächsten 50 Jahre zu erleben, bei ungefähr 1 zu 1000. Das ist immer noch sehr unwahrscheinlich. Dagegen liegen jedoch die Chancen den Jackpot im Lotto zu gewinnen (50 Jahre lang jede Woche) nur bei 1 zu 55.000!! Also denken Sie daran, wenn Sie das nächste Mal Lotto spielen...

Abschätzungen der Wahrscheinlichkeit extrem seltener Ereignisse sind mit großen Fehlern und Unsicherheiten behaftet. Die geologische Geschichte, die Evolution und auch unsere eigene Menschheitsgeschichte zeigen uns aber, dass wir auf einem aktiven Planeten leben, der in einem komplexen Zusammenspiel zwischen den inneren geologischen Kräften und der Evolution unseren planetaren Lebensraum prägt und sichert. Dieselben inneren Kräfte können aber auch jederzeit unsere Lebensgrundlage beeinträchtigen. Sie können sogar den Lauf der Evolution verändern und Lebensräume zerstören. Daher gehört es zu den Herausforderungen einer hoch-entwickelten Gesellschaft, sich der Risiken natürlicher, geologischer Ereignisse bewusst zu werden und besonnen darauf zu reagieren.

Literatur

- Black BA, Elkins-Tanton LT, Rowe MC, Uskats-Peate I Magnitude and consequences of volatile release from the Siberian Traps. *Earth Planet Sci Lett* 317/318: 363-373
- Cambell CH, Taylor SR (1983) No water, no granites, no oceans, no continents. *Geophysical Research Letters* 10: 1061-1064
- Friedrich WL, Kromer B, Friedrich M, Heinemeier J, Pfeiffer T, Talamo S (2006) *Science* 312: 548.
- Huppert E, Sparks RSJ (2006) Extreme natural hazards: population growth, globalization and environmental change. *Phil Trans Royal Soc A* 363: 1875-1888; DOI 10.1098/rsta.2006.1803
- ICCP Report (2013) Climate Change Technical Summary by Stocker et al. In : *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press.
- Kant M I (1756) Geschichte und Naturbeschreibung der merkwürdigen Vorfälle des Erdbebens, welches an dem Ende des 1755ten Jahres einen großen Theil der Erde erschüttert hat. In: *Gesammelte Schriften. Akademie-Ausgabe. Abt.1. Bd.1.* Berlin 1910 S. 434 ff.
- Lunine J (2013) *Earth: Evolution of a Habitable World.* Cambridge University Press, 2. Auflage, 327 Seiten.
- Luterbacher J, Dietrich D, Xoplaki E, Grosjean M, and Wanner H (2004) European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science* 303: 1499-1503.
- Mason BG, Pyle DM, Oppenheimer C (2004) The size and frequency of the largest explosive eruptions on Earth. *Bull Volcanol* 66: 735-748.

- McCoy FW, Heiken G (2000) Tsunami generated by the Late Bronze Age eruption of Thera (Santorini), Greece. *Pure and Applied Physics* 157: 1227-1256.
- Minchnowicz S (2011) The Laki Fissure Eruption and UK Mortality Crisis of 1783-1784. PhD Thesis, Institute of Geography and Earth Sciences, Aberystwith University. P. 1-133.
- Minoura K, Inamura F, Kuran U, Nakamura T, Papadopoulos GA, Takahashi T, Yalciner AC (2000) Discovery of Minoan tsunami deposits. *Geology* 28: 59-62
- Nur A (2008) *Apocalypse, Earthquakes, Archeology, and the Wrath of God*. Princeton University Press (Princeton and Oxford): 1-209.
- Petraglia MD, Korisettar R, Pal JN (2012) The Toba volcanic super-eruption of 74,000 years ago: Climate change, environments, and evolving humans. *Quaternary International* 258:1-4.
- Saunders A, Reichow M (2009) The Siberian Traps and the End-Permian mass extinction: a critical review. *Chinese Science Bulletin* 54: 20-37
- Schmidt A, Thordarson T, Oman LD, Robock A (2012) Climatic impact of the long-lasting 1783 Laki eruption: Inapplicability of mass-independent sulfur isotopic composition measurements. *J Geophys Res* 117: D23116, doi:10.1029/2012JD018414.
- Schmidt A, Ostro B, Carslaw KS, Wilson M, Thordarson T, Mann GW, Simmons AJ (2011) Excess mortality in Europe following a future Laki-style Icelandic eruption. *PNAS* vol 108, no 38: 5710-15715.
- Sobolev SV, Sobolev AV, Kuzmin DV, Krivolutskaya NA, Petrunin AG, Arndt NT, Radko VA, Vasiliev YR (2012) Linking mantle plumes, large igneous provinces and environmental catastrophes.
- Witham CS, Oppenheimer C (2005) Mortality in England during the 1783-4 Laki Craters eruption. *Bull Volcanol* m67:15-26.

Umbrüche im 15. und 16. Jahrhundert: Buchdruck und Reformation

Thomas Kaufmann
Theologische Fakultät
Georg-August-Universität Göttingen

Als amerikanische Journalisten im Jahre 1999 meinten, den wichtigsten Mann des zweiten Jahrtausends wählen zu sollen, entschieden sie sich für Johannes Gutenberg. Sie beantworteten also eine schwachsinnige Frage mit einer klugen Entscheidung. Die geniale Erfindung des Mainzer Tüftlers hat kulturelle, gesellschaftliche, soziale und politische Wirkungen hervorgebracht, wie keine andere Erfindung vor oder nach ihr. Im Folgenden möchte ich diese Erfindung, den Buchdruck mit metallischen Einzeltypen, als einen grundstürzenden Umbruch würdigen. Die Reformation verdankt sich dieser Erfindung; Luther wäre ohne Gutenberg, die Reformation ohne den Buchdruck, unmöglich gewesen. Insofern ist die Reformation ein früher und besonders dramatischer, doch keineswegs der letzte Reflex des mit der Erfindung des Buchdrucks verbundenen Umbruchs; seine langfristigen Folgen zeigten sich erst allmählich; sie gehen bis heute fort.

Gutenberg war es in langwierigen, finanziell belastenden Probeläufen gelungen, ein Verfahren zu entwickeln, das bekannte technische Praktiken kombinierte: den Hochdruck mit Stempeln, den man vom Bedrucken von Tuchen oder Bucheinbänden kannte; die aus dem Glockenbau vertraute Gusstechnik; das im Goldschmiedehandwerk übliche Gravurverfahren; die Pressen, die man aus dem Weinbau und den erst unlängst, seit dem späten 14. Jahrhundert, in Deutschland auf-

kommenden Papiermühlen kannte; sie sicherten eine gleichmäßige Kraftübertragung. Immer wieder betonen Wissenschaftshistoriker, dass Gutenbergs eigene Leistung im Kern ebenso einfach, wie genial war: Sie bestand in der Idee, Texte in ihre kleinsten Bestandteile, nämlich die 26 Buchstaben des lateinischen Alphabets, zu zerlegen und mittels beliebiger Kombinationen immer neue Wörter und Texte aus einem weiterverwendbaren Typensatz aus einzelnen Buchstaben zu erzeugen. Weil die Typen aus einem beständigen Material, vornehmlich Blei, hergestellt wurden, wäre ihre lange Lebenszeit garantiert.

„Im Mittelpunkt der Gutenbergschen Entdeckungen“, so ist formuliert worden, „steht die Entwicklung eines Gießinstruments, das es ermöglicht, die Gussform genau zu justieren und jeder Type eine exakt gleiche Form zu geben.“⁴¹ Nachdem es Gutenberg gelungen war, die Breite der Einzeltypen so zu normieren, war ein vollkommener Blocksatz möglich. Sein eigentliches Ziel, die perfekte Nachahmung prächtiger Handschriften, konnte nun verwirklicht werden.

Wie bei wohl allen großen Erfindungen zeigten sich auch im Falle des Buchdrucks mit beweglichen Lettern die weit über das ursprüngliche Ziel hinausgehenden Folgewirkungen erst nach und nach. In Bezug auf Gutenbergs Erfindung ist allerdings evident, dass sie mit großer Geschwindigkeit aufgegriffen und weiterentwickelt wurde. Fünf Jahrzehnte nach den in die frühen 1450er Jahren fallenden Anfängen arbeiteten in über 150 Städten ganz Europas mehr als 1000 Druckereien, die bis zum Jahre 1500 etwa 30.000 Titel in ca. 9 Millionen Einzeldrucken produzierten – mutmaßlich mehr Bücher, als in den eifrigen Skriptorien eines 1000jährigen ‚Mittelalters‘ erzeugt worden waren. Diese Verbreitungsdynamik dürfte die aller vorangehenden technischen Entwicklungen überflügelt haben; die Beschleunigung wurde ein Charakteristikum der heraufziehenden ‚neuen Zeit‘.

Mit der offenkundigen Erfolgsgeschichte des Buchdrucks ging ihre hymnische Verehrung durch jene Menschen einher, deren existentieller Mittelpunkt das Buch war. Allen voran waren es die Humanisten, die seit dem 15. Jahrhundert das intellektuelle Klima weiter europäischer Landschaften zu prägen begannen und eine Orientierung des kulturellen Lebens an der Antike propagierten. Einige der vielen Voten der Humanisten zum Buchdruck möchte ich zitieren.

Bereits 1471, drei Jahre nach Gutenbergs Tod, war er als Erfinder des Buchdrucks weithin bekannt. Der Pariser Professor Guillaume Fichet stellte in einem gedruckten Brief an seinen humanistischen Freund Robert Gaguin fest: „Man sagt, daß nicht fern von der Stadt Mainz ein gewisser Johannes mit dem Beinamen Gutenberg gewesen sei, der zu allererst die Druckkunst ausgedacht habe, durch die nicht mit dem Schreibrohr (wie die Alten es machen) oder mit der Schreibfeder (wie wir es machen), sondern mit ehernen Lettern Bücher hergestellt werden, und zwar schnell, sauber und schön.“⁴² Dieses Lob weist eine gewisse Nähe zu einem selbstbewussten Textpassus auf, mit dem Gutenberg im Jahre 1460 einen Druck des Catholicon des Dominikaners Johannes Balbus de Janua, eine Art Lexikon für Geistliche zum Verstehen der Bibel, beendet hatte. Ich zitiere diesen

Text etwas ausführlicher: „Unter dem Schutz des Höchsten, auf dessen Wink die Zungen der Unmündigen beredt werden und der oft den Kleinen enthüllt, was er den Weisen verbirgt, wurde dieses hervorragende Buch, das Catholicon, in der erhabenen Stadt Mainz, die der berühmten deutschen Nation zugehört, und die Gottes Güte mit so hoher Klarheit des Geistes und durch solches Gnadengeschenk vor allen anderen Nationen der Erde in ganz besonderer Weise auszuzeichnen gewürdigt hat, im Jahre 1460 der Menschwerdung des Herrn gedruckt und fertiggestellt – ohne Hilfe eines Schreibrohrs, eines Griffels oder einer Feder, vielmehr dank einem wunderbaren Zusammenspiel, Verhältnis und Ebenmaß von Druckstempeln und Typen. Preis und Ehre sei dargebracht dir, hochheiliger Vater, samt dem Sohn und dem heiligen Geist in dreifaltiger Einheit. Künde das Lob der Kirche, Catholicon, durch dein Erscheinen. Höre nicht auf zu preisen allezeit die fromme Maria. Gott sei Dank gesagt.“ⁱⁱⁱⁱ

Ich habe dieses fromme Selbstlob Gutenbergs auch deshalb ausführlich zitiert, weil es auf einige für unser Thema zentrale Sachverhalte und mentale Dispositionen verweist. Gutenberg selbst, der, wie kein zweiter, wusste, wieviel an Kraft und Geduld er in seine Erfindung hatte investieren müssen, stellte die Druckerpresse als ein Gnadengeschenk Gottes dar; der Buchdruck war für ihn – ähnlich wie später für Luther – ein Teil der Heilsgeschichte. Gutenberg sah in dieser Gnade eine Aufwertung der deutschen Nation – eine Vorstellung, die später auch bei verschiedenen Humanisten begegnet. „’O Deutschland, du Erfinder einer Kunst, der gegenüber das Altertum nichts Nützlicheres hervorgebracht hat, da du lehrst, durch Drucken Bücher zu kopieren“^{iv} hieß es bei dem Elsässer Jakob Wimpfeling. Ein solches Lob Deutschlands, etwas hervorgebracht zu haben, demgegenüber selbst die Antike nichts Nützlicheres vorzuweisen habe, ein solches Lob, nun gar aus dem Munde eines Italieners, das war in der Tat ein Lob über das hinaus ein Höheres nicht gedacht werden konnte. Durch die Buchdruckkunst hatten die cisalpinen Barbaren den Anschluss an die Hochkultur der Zeit und einen Zugang zu den antiken Quellen wahrer Bildung gefunden. Auch in dieser Hinsicht, durch den Anschluss der Deutschen an die kulturellen Leistungen der anderen Nationen, markiert Gutenbergs Werk eine Zäsur.

Für den Mainzer Erfinder und seine Zeitgenossen, besonders die Humanisten, war der Buchdruck eine Gottesgabe, die einem der ‚Kleinen und Unmündigen‘, einem Laien also, zuteil geworden war. Dass man eine besondere Erleuchtung gerade von Nichtklerikern erwartete, war eine Vorstellung, die in den mystischen, aber auch in einigen scholastischen Traditionen verbreitet war; auch darin war Gutenberg also ein Kind seiner Zeit. Er stellte sein Werk ganz in den Dienst Gottes und der sie repräsentierenden Kirche. Dass seine Erfindung einmal dazu dienen konnte, die Autorität der Kirche infrage zu stellen, war außerhalb dessen, was sich Gutenberg vorstellen konnte. Nicht auszudenken, was aus der abendländischen Zivilisation geworden wäre, wenn seine erste Geschäftsidee, ein Wallfahrts-

spiegel, mit dem man die Segensaura von Reliquien einfangen und nach Hause tragen sollte, Erfolg gehabt hätte.

Der Vater des Buchdrucks war als frommes Glied seiner Kirche; er starb als Genosse einer Bruderschaft und wurde in der Franziskanerkirche seiner Heimatstadt Mainz beigesetzt. Gutenberg repräsentierte eine Frömmigkeit, die Luther und seine zelotischen Kumpanen dann mittels der von ihm erfundenen Technik bekämpfen sollten. Ein undialektisches, auf einlinige Säkularisierung programmiertes Modernisierungsmodell muss an Gutenberg scheitern.

In einer Eloge auf die Buchdruckkunst, die sie der Wiener Humanist und spätere St. Galler Reformator Joachim Vadian einem Druck von 1511 vorangestellt hat, wurde Gutenbergs Erfindung in einen universalhistorischen Horizont gerückt. Vadian zählt die entscheidenden Erfindungen der Menschheit auf: in Ägypten seien durch Hermes und den Gott Toth die Schriftzeichen geschaffen worden; Agenor, der Stammvater der Phönizier, habe das griechische Alphabet erfunden; das lateinische Alphabet stamme von der Quellnymphe Carmentis; doch dem Deutschen Gutenberg eine all dies überbietende Leistung gelungen: „Der Deutsche jedoch, der Buchstaben aus Metall goß und den Beweis antrat, daß durch einen einzigen Druckvorgang in der Presse [...] die Tageshöchstleistung flinker Schreiberhände wettgemacht wird, überstrahlt sämtliche Erfindungen der Alten; gepriesen und unendlich glücklich sei er.“^v

Beinahe Gleichlautendes kann man denn auch bei dem von Thomas Mann aus seinem amerikanischen Exil als „stiernackigen Gottesbarbaren“ bezeichneten Augustinermönch Luther lesen: „Die Druckkunst ist ein wahrhaft großes und göttliches Geschenk: keine Kunst ist größer, würdiger, nützlicher, löblicher, göttlicher und heiliger als die Druckkunst. Man kann es daher überhaupt nicht in Worte fassen, was die Wissenschaft den Deutschen verdankt, die die Druckkunst erfanden.“^{vi}

Neben diesem mit seinen humanistischen Zeitgenossen übereinstimmenden Urteil findet sich bei Luther auch ein theologisch spezifischeres, für sein Verständnis der Reformation gleichwohl sehr charakteristisches Wort: „Die Druckerey ist das höchste und äußerste Gnadengeschenk, durch welches Gott die Sache des Evangelii fortreibt: es ist die letzte Flamme vor dem Erlöschen der Welt.“^{vii} Im und durch den Buchdruck ermögliche Gott jetzt, am Ende der Zeiten, eine letztmalige Ausbreitung des Evangeliums, des Heilswortes Gottes, die alle bisherigen Bemühungen überbiete. Für den Wittenberger läuft Gutenbergs Erfindung, die der Kirche und ihrem heiligsten Buch, der lateinischen Bibel, Vulgata genannt, dienen sollte, auf sein eigenes prophetisches Wirken am Ende der Zeit, zu.

In der Retrospektive wird man sich schwerlich dem Urteil entziehen können, dass die Reformation zu den nicht beabsichtigten Wirkungen Gutenbergs gehörte. Was der Mainzer Meister wirklich anstrebte, wird an nichts so deutlich wie an seinem Meisterwerk, der unvergleichlich schönen 42 zeiligen lateinischen Bibel, B

42 genannt, einem Werk, das er kurz vor seinem Abschluss aus den Händen geben musste. Sein Compagnion Johann Fust haderte nämlich mit ihm, weil Gutenberg, offenbar entgegen ihrer Vereinbarung, außer in dieses „Werk der Bücher“ noch in parallele Druckunternehmungen investiert hatte. Gutenberg musste daraufhin Schulden in Höhe von über 2000 Gulden – dem Wert von vier Häusern – zurückzahlen, und, da er dieses Geld nicht hatte, seine Werkzeuge und den gesamten Lagerbestand der bereits gedruckten B 42 an Fust aushändigen.

Gutenberg hatte sich für seinen Druck der Vulgata streng an handschriftliche Vorlagen gehalten; der Buchästhetik und den Nutzungsgewohnheiten der Zeit entsprechend waren Illuminatoren und Rubrikatoren, also Handwerker, die farbigen Bildschmuck und rote Überschriften, Initialen oder Gliederungszeichen setzten, an der Produktion des Gesamtwerkes beteiligt. Der Buchdruck im Sinne seines Erfinders zielte also primär darauf ab, die langwierige und entsprechend teure Arbeit der Schreiber zu ersetzen; die anderen an der Buchproduktion beteiligten Tätigkeiten wurden zunächst weitergepflegt; erst im Laufe der kommenden Generation wurde es immer üblicher, den Buchschmuck in Gestalt von Holzschnitten in den Produktionsablauf des Druckens zu integrieren und damit nach und nach eine erhebliche Beschleunigung der Herstellung und eine Verbilligung der Buchpreise zu erzielen.

Noch einige Hinweise zum Aufwand des Projektes, dem „Werk der Bücher“: An der Herstellung der 42-zeiligen „Gutenberg-Bibel“, von der insgesamt 180 Exemplare produziert wurden, 40 auf dem edleren und teureren Pergament, 140 auf Papier, waren zunächst vier, später sechs Setzer beteiligt. Für das erforderliche Typenmaterial waren 100.000 Typen zu gießen, was etwa ein halbes Jahr gedauert haben wird; die eigentlichen Satz- und Druckarbeiten werden von der einschlägigen Forschung^{viii} auf eine Dauer von zwei Jahren geschätzt. Erst wurde auf vier, dann auf sechs Pressen gedruckt, wofür 12 Drucker benötigt wurden. Für das aus Italien importierte Papier mussten 600, für das die Häute von 3200 Tiere verarbeitende Pergament 400 Gulden vorgestreckt werden - dies entsprach mehr als dem Zehnfachen des Jahresgehältes eines gut besoldeten Professors in einer der höheren Fakultäten. Mit der Herstellung der B 42 dürften ca. 20 Personen etwa drei Jahre lang beschäftigt gewesen sein; das entsprach dem Zeitraum, den ein Schreiber üblicherweise benötigte, um eine Vulgata vollständig abzuschreiben. Die Zeit, die für die Reproduktion einer lateinischen Vollbibel benötigt wurde, hatte sich damit auf etwa ein Neuntel, also im Durchschnitt vier Monate Arbeitszeit einer Person, reduziert. In Bezug auf die B 42, die dann von Fust und Gutenbergs ehemaligem Gesellen Peter Schöffer in Mainz fertiggestellt wurde, kann man voraussetzen, dass sie schließlich auch ein wirtschaftlicher Erfolg wurde. Gutenberg haben am Ende wohl nur wenige Monate gefehlt, bis er seine Schulden hätte begleichen können. Der Absatz der ersten Exemplare, die im Herbst 1454 fertiggestellt waren, scheint bereits am Rande eines Frankfurter Reichstages eingesetzt zu haben; der damalige Sekretär des habsburgischen Kaiser Friedrichs III. Enea Sil-

vio Piccolomini, der spätere Papst Pius II., berichtete in einem Brief von einem „bewundernswerten Mann“, der Lagen einer lateinischen Bibel angeboten habe, die in „höchst sauberer und korrekter Schrift ausgeführt seien“^{ix}; man könne sie mühelos und ohne Brille lesen. Bereits vor Abschluss des Druckes waren 158 der 180 Exemplare verkauft. Beinahe wäre Gutenberg auch in wirtschaftlicher Hinsicht ein Erfolg beschieden gewesen.

Parallel zu B 42 produzierte Gutenberg – wohl zum Ärger Fusts - eine Reihe kleinerer Druckwerke, in denen sich die vielfältigen Möglichkeiten der neuen Technik unübersehbar abzuzeichnen begannen. Kalender, auch für die rechte Zeit des Aderlassens, lateinische Grammatiken, Einblattdrucke, eine erste Flugschrift gegen die bedrohlichen Türken, die soeben erst, 1453, Konstantinopel erobert hatten und für die Christenheit nun auch in Europa, ihrer letzten Heimat – wie Pius II. formulierte - immer bedrohlicher wurden. Die wichtigsten Kleindrucke aber waren Ablassbriefe. Alle die genannten Kleinschriften bezogen sich auf aktuelle Ereignisse; sie waren ungleich einfacher und in größeren Mengen herzustellen, außerdem ließen sich weitaus schnellere Gewinne mit ihnen erzielen als mit einem Riesenprojekt wie der 1282 bedruckte Seiten umfassenden 42 zeiligen Vulgata.

An den im Auftrag der Kirche produzierten Ablassbriefen dürfte das Druckgewerbe besonders gut verdient haben. Vielfach wurden die ersten Ablassbriefe auf Pergament gedruckt; was lag näher, als eine so heilige Sache, wie es die vollständige Befreiung von der im Fegefeuer abzubüßenden Sündenstrafe eben war, auf einem ehrwürdigen und überaus beständigen Druckmaterial zu verewigen!? Im Fall eines Ablassbriefes aus dem Kontext der Werbung für den Türkenkreuzzug wird in der Forschung von einer Auflagenhöhe von 190.000 Exemplaren ausgegangen; es ist evident, dass man mit Druckaufträgen dieser Art Geld verdienen konnte. Es war also vor allem der Ablass, der die Nützlichkeit des entstehenden Druckgewerbe erwies und ihm Auftrieb verschaffte und also jene typographische Infrastruktur entstehen ließ, derer sich der mit diesem Medium aufgewachsene Luther ein halbes Jahrhundert später bedienen sollte, um dem Ablasse den Kampf anzusagen. Insofern gehört der Ablass, insbesondere die großen Kampagnen zu seiner Propagierung, die in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts zu den maßgeblichen Dynamisierungs-, ja Modernisierungsfaktoren des Zeitalters. Ohne die türkische Bedrohung wäre gewiss weniger schnell und weniger viel gedruckt worden; insofern gehören auch die Türken hinein in die medien- und kommunikationsgeschichtliche Revolution, die sich seit den 1450er Jahren nach und nach über Europa auszubreiten begann und die zu den wichtigsten Faktoren bei der Entstehung des lateineuropäischen Zivilisationstypus, den wir gemeinhin Moderne nennen, gehörte.

Um ihrer bildungs- und kulturgeschichtlichen Fernwirkungen willen noch einige knappe Bemerkungen zu Schulbüchern: Von der für den Lateinunterricht üblicherweise verwendeten Grammatik des spätrömischen Grammatikers Aelius Donatus sind im Laufe des 15. Jahrhunderts mindestens 350 verschiedene Druckauflagen in ganz Europa nachgewiesen worden. Einige davon waren bereits als sogenannte Blockbücher hergestellt worden, bei denen der vollständige Text in Holz geschnitten und abgezogen worden war. Diese Technik geriet wegen der aufwendigen und nur für einen einzigen Zweck nutzbaren Druckplatte gegenüber dem Druck mit beweglichen Metalltypen rasch ins Hintertreffen. Dass es für den schulischen Unterricht und die Lehrerfolge von erheblicher, ja grundlegender Bedeutung war, dass die Lernenden nun eigene Bücher besaßen, mit denen sie arbeiten konnten, ist evident. Die immense Zunahme der Lese- und Schreibfähigkeit, der explosionsartige Ausbau des städtischen Bildungswesens, die stetig wachsende Produktion von immer mehr Büchern für immer mehr Menschen und unterschiedliche Zwecke, die wir während des späteren 15. Jahrhunderts beobachten können, hing entscheidend mit der zügigen Ausbreitung des Druckwesens und des stetigen Rückgangs der Buchpreise zusammen. Die Entstehung einer stadtbürgerlichen Bildungsschicht neben und bald auch in Konkurrenz zum Klerus gehört zu den sozial- und kulturgeschichtlichen Folgewirkungen des Buchdrucks, deren Bedeutung auch für die Reformation kaum zu überschätzen ist.

Durch den Buchdruck wurde es erheblich mühsamer, Wissensbestände zu kontrollieren. Er barg ein Bedrohungspotential auch für die klerikalen Gralshüter der höheren Bildung; sie nötigten zu neuen Techniken der Repression. Die Geschichte der abendländischen Zivilisation hat immer wieder erlebt, wie der Buchdruck bestehende Ordnungen erschütterte. In der Reformation ist dies erstmals mit sozialen und kulturellen Wirkungen geschehen, die unerhört waren und das bestehende Kirchen- und Gesellschaftssystem tiefgreifend veränderten.

Doch ehe wir uns nun dem historischen Umbruch der Reformation und ihres Zusammenhangs mit dem Buchdruck zuwenden, sind noch einige knappe Bemerkungen zur humanistischen Buchproduktion anzuschließen; sie haben als unverzichtbare Voraussetzung der Reformation zu gelten. Viele Humanisten waren seit dem 14. Jahrhundert durch Bibliotheken aller Art, besonders natürlich klösterliche, gereist, um interessante Texte vor allem der Antike aufzuspüren. Fremde geistige Welten wie die bisweilen als atheistisch beargwöhnten atomistischen Lehren in Lukrez' *De rerum natura* oder bisher unbekannte historische Quellen wie des Tacitus' *Germania*, die jeweils nur in einer einzigen Handschrift überliefert waren, hatten die gelehrten humanistischen ‚Trüffelschweine‘ ans Licht gezogen, durch die semiindustriell arbeitende Florentiner Handschriftenproduktion verbreitet und für die weitere Überlieferung gesichert. Nun, nach Gutenbergs Erfindung, die noch in den 1460er Jahren in Bamberg, Straßburg, Köln, in Subiaco westlich von Rom und in Venedig zur Gründung von Druckwerkstätten geführt hatte, veränderten sich die Möglichkeiten der Verbreitung der verehrten antiken Texte in

unvergleichlicher Weise. Cicero, der stilistisch bewundertste lateinische Autor, wurde am Häufigsten gedruckt; auch der Komödiendichter Terenz, die Poeten Horaz und Vergil wurden in großen Mengen bald europaweit verbreitet. Die Naturgeschichte des Plinius Secundus, die Institutionen Justinians als wichtigste Quelle des antiken römischen Rechts, das in zweihundert Drucken bis 1500 verbreitete Corpus Iuris Civilis und mancher andere Text der verehrten Alten kam durch den Buchdruck zu neuer Geltung. Auch für die Philosophie galt dies; Platon und Aristoteles wurden in lateinischen Übersetzungen, bald sogar durch die unvergleichlich schönen Ausgaben des venezianischen Druckers Aldus Manucius, liebevoll Aldinen genannt, auch mit griechischen Typen in der Originalsprache verbreitet. Selbst hebräische Drucke traten nun auf; die humanistische Neugier auf die alten Sprachen zeitigte unabsehbare bildungsgeschichtliche Folgen; waren die ersten Humanisten noch vielfach Autodidakten des Griechischen oder des Hebräischen bzw. auf die Sprachvermittlung durch griechische Exulanten oder Juden angewiesen gewesen, so richtete man nun an verschiedenen Universitäten Griechisch- und Hebräischprofessuren ein; in Deutschland geschah dies fürs Griechische zuerst in Leipzig, für das Hebräische in Wittenberg.

Die neuen Textwelten, die durch den Buchdruck auf die abendländische Kultur einzuwirken begannen, waren vielfältig, disparat, eigenwillig und mit dem christlichen Glauben keineswegs ohne weiteres zu vereinbaren. Sie brachten eine Pluralisierung der Wissenskulturen mit sich; vieles dessen, was in anderen Zeiten und unter spezifischen Bedingungen gedacht und geschrieben worden war, wurde nun publik, stand irgendwie im Raum, regte das Denken und Empfinden zunächst der Gelehrten, doch bald auch der volkssprachlichen Leser an. Erstmals in seiner Geschichte machte Europa die massive Erfahrung einer Gleichzeitigkeit des Ungleichzeitigen, der weithin ungezähmten Kopräsenz geistiger Welten, die Jahrhunderte auseinanderlagen und aus den verschiedensten Weltengegenden stammten. Auch manche Texte, die erst einige Jahrhunderte oder Jahrzehnte alt waren, kamen nun an die Öffentlichkeit und begannen zu wirken. Diese Erfahrung sollte die europäische Geschichte fortan begleiten; die für ‚Talibane‘ aller Art unerträgliche Erfahrung von Differenz, die ‚Gleichzeitigkeit des Ungleichzeitigen‘, ist eine Art intellektueller ‚Unruhe‘ im kulturellen Getriebe der westlichen Welt geworden und geblieben. Ohne Buchdruck keine Moderne im klassischen Sinn!

Mit den humanistischen Texteditionen ging auch eine philologische Sensibilisierung für die Qualität der Ausgaben einher. Da Fehler nun nicht mehr nur einfach, sondern im Druck massenhaft verbreitet wurden, intensivierten sich die Bemühungen um eine Vermeidung von Fehlern, indem man unterschiedliche handschriftliche Versionen verglich und durch umfassende Korrekturprozesse ins Werk setzte. Die Setzer und Korrektoren altsprachlicher Druckereien waren nicht selten hervorragende Latinisten und Gräzisten.

Über der Betonung der antiquitas und der Bedeutung der drei alten Sprachen sollte man freilich die Wirkung des Humanismus auch auf die volkssprachliche

Textproduktion nicht unterschätzen. Der Buchdruck ermöglichte eine nie dagewesene Verbreitung volkssprachlicher Literatur, ja erwies sich als maßgeblicher Antriebsmotor für deren Entstehung. Mit alledem wurde das geistige Leben in einer so bisher unbekanntem Weise von ökonomischen Aspekten mitbestimmt; Drucker mussten rechnen lernen; der Geschmack des Publikums konnte bei der Kalkulation eines publizistischen Produktes nicht außen vor bleiben. Der Markt und seine Mechanismen von Angebot und Nachfrage erwiesen sich nun, im Zeitalter des Frühkapitalismus, als entscheidende Faktoren des Erfolgs oder Misserfolgs eines geistigen Erzeugnisses. In den nach und nach entwickelten Strategien, das äußere Erscheinungsbild des Buches durch Titelblätter und Bildschmuck attraktiver zu gestalten, auch durch nun aufkommende Werbemittel unterschiedlicher Art, platzierten die Drucker ihre Bücher auf den entstehenden Märkten und Messen.

Ein weiterer Aspekt der weltgeschichtlichen Folgen des Buchdrucks, den man vor dem Hintergrund der Epoche des Mittelalters nicht hoch genug bewerten kann, besteht in seiner kulturbewahrenden Kraft. Seit es den Buchdruck in unserem Sinne gibt, sind die kulturellen Traditionen, die man in eine gedruckte Form überführt hat, in einer Dichte und einer Menge bewahrt worden, wie dies für keine Epoche je gegolten hat. Von dem, was aus der Antike an Textüberlieferungen auf uns gekommen ist, ist seither, dank des Buchdrucks, nichts verloren gegangen. Und im Gegenzug kann man konstatieren: Gefährdet waren und sind die textlichen Überlieferungen überall dort und immer dann, wo nicht gedruckt werden kann oder darf. Auch für die Feinde geistiger Freiheit, für die Zensoren und Inquisitoren, war mit der Erfindung des Buchdrucks eine schmerzliche neue Zeit angebrochen. War die Bücherverbrennung während des Mittelalters eine ausgesprochen effiziente Form der Vernichtung unliebsamer Gedankenguts gewesen, da eben nur eine sehr begrenzte Anzahl entsprechender Handschriften existierte und deren Vernichtung den verhassten Gedanken tötete, so sank dieses Instrument infolge des Buchdrucks zu einem symbolischen Akt herab. Denn auch wenn man textgewordene Gedanken durch Bücherverbrennungen in einem bestimmten geographischen Raum auslöschen und ihre Verfasser als Ketzer verbrennen konnte, so musste mit dem Buchdruck doch die expurgatorische Hoffnung schwinden, dass man das, was man loswerden wollte, auch tatsächlich loswurde. Viel mehr – freilich auch nicht weniger – als Inszenierungen von Machtansprüchen waren auch die Scheiterhaufen nicht, die seit dem Herbst 1520 landauf, landab Schriften des Reformators Martin Luther und seiner Genossen in Brand setzten. Und Luthers eigene Brandstiftung, als er am 10. Dezember 1520 mit dem kanonischen Recht, einigen scholastischen Werken und der ihn inkriminierenden Bannandrohungsbulle die Grundlagen der römischen Kirche verurteilte und symbolisch vernichtete, war schwerlich von der Vorstellung begleitet, durch diesen Akt die Papstkirche tatsächlich aus der Welt schaffen zu können. Infolge des Buchdrucks musste der lateineuropäische Kontinent über kurz oder lang lernen, mit Differen-

zen zu leben, Widersprüche zu akzeptieren und Deviantes, das nicht zu bezwingen war, anzuerkennen. In der durch staatliche Rechtssetzung verbürgten neuzeitlichen Toleranz ist a la longue auch eine Frucht der Druckerpresse zu sehen.

Doch nun zur Reformation und ihrem Verhältnis zum Buch. Eines ist klar: Die im 15. Jahrhundert entstehende Buchkultur bildet eine entscheidende Voraussetzung der Reformation. Ohne den Hunger nach dem gedruckten, auch dem göttlichen Wort der Bibel in Laienkreisen, ohne die Zunahme der Lesefähigkeit in den stadtbürgerlichen Milieus des 15. Jahrhunderts, ohne den Humanismus, ohne Erasmus und seine gegenüber der Vulgata traditionskritische Ausgabe des griechischen Neuen Testaments von 1516, ohne die weithin etablierte typographische Infrastruktur, die innerhalb kürzester Zeit reformatorische Texte im deutschen oder internationalen lateinischen Sprachraum bekannt machte und durch ihre Verbreitung im Druck eine Marginalisierung oder definitive Unterdrückung verhinderte, ohne die Buchdrucker und Buchdistributoren, die in erstaunlicher Geschwindigkeit und mit bemerkenswerter Einseitigkeit zugunsten Luthers und der Seinen agierten, wäre die Reformation undenkbar gewesen.

Die Bedeutung des Buchdrucks für die Reformation möchte ich in einer Reihe von nur sieben, nicht 95 Thesen rekapitulieren:

1.) Unter den 40 von der Papstkirche inkriminierten Sätzen Luthers, die in der Bannandrohungsbulle *Exsurge Domine* zitiert wurden, findet sich auch die Aussage, dass Ketzer zu verbrennen gegen den Heiligen Geist sei. Auch wenn Luther nicht als Advokat einer neuzeitlichen Toleranz in Anspruch genommen werden kann, so verbindet sich mit der Reformation doch eine – wie mir scheint – die humanistische Traditionen fortführende Haltung im Umgang mit gegnerischen oder gar feindlichen Texten und Traditionen. Luther ließ Texte seiner römischen Gegner in der Regel nicht verbrennen, sondern z.T. nachdrucken; er forderte seinen theologischen Erzrivalen Karlstadt dazu auf, gegen ihn publizistisch hervorzutreten; er setzte sich für ein ‚Aufeinanderplatzen‘ von seinem und Thomas Müntzers Geist ein; er förderte den Druck einer lateinischen Koranübersetzung, um die s. E. evidente Abgründigkeit dieses gotteslästerlichen Dokuments bekannt zu machen; es widerlege sich selbst; dadurch, dass man es lesen könne, werde es zu einem Gegenstand kritischer Auseinandersetzung. In dieser Hinsicht hat die Reformation die durch den Buchdruck geschaffenen kulturellen Realitäten weitaus selbstverständlicher bejaht, als dies in der römischen Kirche der Fall war.

2.) Aufgrund der fortgeschrittenen bibliographischen Erschließungen des „Gesamtkatalogs der Wiegendrucke“ (GW) und des „Verzeichnisses der im deutschen Sprachgebiet erschienenen Drucke des 16. Jahrhunderts“ (VD 16), zwei großen bibliographischen Projekten zum 15. und 16. Jahrhundert, kann nicht mehr ernsthaft bezweifelt werden, dass die Druckproduktion in den Jahrzehnten vor der Reformation deutlich angestiegen war. Für einen Druckort wie Augsburg lässt sich

zwischen den 1480er Jahren und dem Jahrhundertende ein erstes Konjunkturohoch^x nachweisen. Dabei fällt auf, dass der Anstieg der volkssprachlichen Drucke überproportional hoch war; in den Jahrzehnten vor der Reformation wurden kaum weniger deutsche als lateinische Drucke produziert; hinsichtlich der Umfänge, also den bedruckten Bogen, handelt es sich um vergleichbare Quantitäten.^{xi} Andererseits zeigt sich in den ersten beiden Jahrzehnten des 16. Jahrhunderts eine deutliche Stagnation, vielleicht gar Regression der Buchproduktion; eindeutig ist jedenfalls, dass die Erfolgsgeschichte des Buchgewerbes im Vergleich zu den Tagen Gutenbergs um 1500 deutlich gebremst war. Vielleicht kann man davon ausgehen, dass um 1500 eine gewisse Sättigung des Marktes eingetreten war, insbesondere was die großen und teuren Bücher angeht. Die Reformation hat dem Buchgewerbe eine neue Aufgabe eröffnet und eine ökonomische Sternstunde beschert, auch und vor allem, weil nun kurze und aktuelle Texte, sogenannte Flugschriften, das publizistische Feld zu beherrschen begannen. Dies erklärt auch, warum die überwiegende Mehrheit der Drucker auf den reformatorischen Zug aufsprang, als er einmal zu fahren begonnen hatte.

3.) Die Reformation brachte eine Veränderung der Buchproduktion mit sich, und zwar in quantitativer, in qualitativer und in technisch – logistischer Hinsicht. Zu dem zuletzt genannten Punkt zuerst: Erdmann Weyrauch hat die von Bernd Moeller formulierte These „Ohne Buchdruck keine Reformation“ dahingehend weiterentwickelt und umgekehrt, dass er formulierte: „Ohne Reformation kein (Massen-) Buchdruck“^{xii}. Diese These besitzt insbesondere hinsichtlich der Produktionsgeschwindigkeit der Wittenberger Pressen eine große Plausibilität: Die Neuheit der Themen, der Drang nach Aktualität, die Möglichkeiten hoher Erträge, die sich überschlagenden Ereignisse und ihre kontroverse Deutung führten in der Frühzeit der Reformation offenbar dazu, dass man schneller druckte als je zuvor. Von Johannes Luther untersuchte Techniken der Beschleunigung des Druckprozesses – Zwitterdrucke, Paralleldrucke, Ergänzungsdrucke - ^{xiii}, die darauf abzielten, in kurzer Zeit hohe Auflagen zu erzielen und damit die Marktanteile an der Nachdrucke zu begrenzen, stellten neuartige Entwicklungen dar, die von der Brisanz der Inhalte reformatorischen Schrifttums nicht ablösbar sind. Die Geschwindigkeit der Druckproduktion und -verbreitung gehört zu den erstaunlichsten Umständen der reformatorischen Epoche der Buchgeschichte. Sie ist nicht einfach nur das Ergebnis des marktökonomischen Mechanismus von Angebot und Nachfrage, sondern verdankt sich dem Zusammenspiel bestimmter Buchakture - der Autoren, Drucker und Buchführer.

4.) Der quantitative Aspekt der reformatorischen Buchproduktion gilt in der Regel als das signifikanteste Moment der Veränderung. Alle einschlägigen Arbeiten zum frühreformatorischen Buchdruck, die mit statistischem Material operieren, stimmen darin überein, dass seit 1517/8 ein gewaltiger Anstieg der Zahl der Drucke

im Reich zu verzeichnen ist, der 1523/4 seinen Höhepunkt erreichte, aber im Bauernkriegsjahr 1525 massiv einbrach. Ab 1519/20 dominierten volkssprachliche Drucke; Luther hatte den mit weitem Abstand größten Anteil daran. In einer Stadt wie Augsburg hat sich die Produktion von Einzeldrucken zwischen den Werten vor der Reformation, als sie bei ca. 50 Drucken pro Jahr lag, und dem Höhepunkt in den Jahren 1523/4, als sie auf über 300 Drucke pro Jahr stieg, versechsfacht. Aufgrund von Schätzungen kann man davon ausgehen, dass in den intensivsten Jahren des reformatorischen Buchdrucks, also 1523/4, ca. 2000 Einzeldrucke im deutschen Sprachgebiet erschienen sind, etwa ein Fünftel des gesamten Druckvolumen bis 1530.^{xiv} Hinsichtlich der quantitativen Verteilung der relativ knappen, in Quart gedruckten und aktuellen Publikationen, den sogenannten Flugschriften, steht fest, dass Augsburg der wichtigste Druckort im Reich war; hier wurde etwa ein Viertel aller Flugschriften, hergestellt; danach folgten in der Reihe ihrer Produktionsquantitäten: Wittenberg, Nürnberg, Straßburg, Leipzig, Erfurt, Basel und Zürich.^{xv} Korreliert man allerdings die Zahl der Drucke mit der Menge der bedruckten Bogen, also der typographischen Gesamtproduktion, ergibt sich, dass das Volumen des frühreformatorischen Booms keineswegs über, sondern deutlich unter den intensivsten Produktionsjahren der Inkunabelzeit lag; im Jahr 1475 sind in Augsburg doppelt so viele Foliobögen bedruckt worden wie auf dem Höhepunkt der reformatorischen Druckproduktion.^{xvi} Der gewaltige Anstieg der Einzeltitel, die Beschleunigung ihrer Herstellung, der massive Rückgang bei der Herstellung umfangreicher gelehrter Werke, die analogelose Vermehrung der literarischen Akteure und die Verlagerung auf die Produktion gegenwartsbezogener, tendenziöser und agitatorischer Literatur in der Frühzeit der Reformation sind die signifikantesten Merkmale der reformatorischen Veränderungen des Buchmarktes gewesen. Agitation und Propaganda, aktuelle Themen, das, was hier und heute interessiert, die ‚neue Zeitung‘ also, wie ein beliebter Titel lautet, dominierte die Druckproduktion – ein neuartiger Sachverhalt, der die aktualistische, gegenwartsbezogene europäische Neuzeit präludierte.

5.) Im Zusammenhang quantitativer Analysen der frühreformatorischen Flugschriftenproduktion^{xvii} ist die publizistische Bedeutung der einzelnen Autoren statistisch ermittelt worden. Dabei zeigte sich das dramatische Missverhältnis zwischen den altgläubigen Kontroverstheologen und den reformatorischen Flugschriftenpublizisten. Die Menge der Ausgaben, die die Kontroverstheologen Eck, Emser, Alvelde, Murner, Cochläus, Dietenberger und Schatzgeyer gemeinsam erreichten – 234 an der Zahl –, entsprach etwa einem Achtel der Druckausgaben der Schriften Luthers, die bis 1525 in 1787 Drucken verbreitet wurden. Gerade im Lichte des Autorenvergleichs zeigt sich die schlechterdings herausragende publizistische Rolle Martin Luthers. Der Rückgang der Gesamtproduktion reformatorischer Flugschriften nach dem Bauernkriegsjahr 1525 ist zu einem nicht unwesentlichen Teil auch darauf zurückzuführen sein, dass Luther selbst nun weniger ein-

zelne kurze Schriften veröffentlichte und seltener außerhalb Wittenbergs nachgedruckt wurde. Gerade im Spiegel der druckgeschichtlich-quantitativen Befunde zeigt sich, dass Luther die frühreformatorische Publizistik dominierte.

6.) Die Frage der qualitativen Veränderung des Buchdrucks durch die Reformation ist bereits angeklungen und hängt mit der herausragenden Bedeutung der Flugschriften und der Volkssprache zusammen. Denn die Vermehrung der Zahl der Drucke ging damit einher, dass diese vor allem in den frühen 1520er Jahren im Durchschnitt kürzer wurden, vornehmlich auf Deutsch erschienen, auf die virulenten theologischen und religiösen Zeitalterfragen bezogen waren und weniger bewährtes Traditions- als aktuelles Orientierungswissen boten. Dem ‚Priestertum aller Gläubigen‘, das Luther in der Schrift An den christlichen Adel erstmals umfassend propagiert hatte, korrespondierte auch in der Wahrnehmung der Zeitgenossen ein dramatischer Wechsel der Leitmedien. Dieser Wechsel aber wurde durch die prominente Rolle der volkssprachlichen Laienbildung vor der Reformation vorbereitet und ermöglicht.

7.) Eine der umstrittensten Fragen im Zusammenhang mit der reformatorischen Publizistik bzw. in Bezug auf das Verhältnis von Buchdruck und Reformation bezieht sich darauf, wie das Verhältnis von Ausgabenzahl bzw. Druckquantität und Nachfrage zu bestimmen ist. Gibt die Zahl der Nachdrucke einer Schrift Aufschluss über das Interesse an ihr und ggf. gar eine etwaige ‚massenmobilisierende‘ Funktion? Oder kann man auch damit rechnen, dass nur in kleineren Mengen produzierte Texte größere Wirkungen zeitigten – zumal wenn man in Rechnung stellt, dass es zeitgenössischen Lesegewohnheiten entsprach, laut und in Gesellschaft zu lesen und zahlreiche Flugschriften durch Hinweise wie „Wer dies liest oder hört lesen“ auch nicht – lesekundige Adressaten explizit ansprachen?^{xviii} Dass die Druckquantitäten einen gewissen Aufschluss darüber geben, welchen Texte und Themen ein besonderes Interesse zugeschrieben wurde, scheint mir evident. Die zweistelligen Ausgabenzahlen, die etwa die frühen Schriften Luthers, Argula von Grumbachs, der ersten Frau unter den Publizisten der Reformation, die der Karsthans, der erste Bauerndialoge der Reformation, oder die 12 Artikel gemeiner Bauernschaft erreichten, betrafen Sachverhalte, die von den Druckern, Buchführern oder Herausgebern als bahnbrechend, aufsehenerregend und sicher auch lukrativ angesehen wurden. Auch wenn die Drucke als solche einen Rückschluss auf das Rezeptionsverhalten ihrer Leser oder Hörer nicht zulassen – einen Einblick darin, was die Zeitgenossen nach der Überzeugung der Buchakteure besonders bewegte, geben die Quantitäten doch. Durch die Menge der frühreformatorischen Druckproduktion wurde das Augenmerk vornehmlich auf die Rolle des Buches im Kontext der Durchsetzung der Reformation gelenkt. Dabei ist aber aus den Augen geraten, dass im Zuge und infolge der Reformation volkssprachliche Bücher eine dauerhaft neue, verändernde Rolle spielten. Und hier ist es gut,

den Blick von den Flugschriften ab- und anderen, weniger aktualitätsbezogenen Druckerzeugnissen wie Katechismen, Gesangbüchern, Predigtsammlungen, also Postillen, den gedruckten volkssprachlichen Bibeln etc. zuzuwenden. Statistisch lässt sich belegen, dass die Druckproduktion infolge der Reformation dauerhaft angestiegen ist. Eine der nachhaltigen Wirkungen der Reformation bestand also darin, dass insbesondere das volkssprachliche Buch eine Funktion erhielt bzw. ein Bedarf entstand, der zwar kulturelle Praktiken des späten Mittelalters aufnahm und voraussetzte, aber doch ein neues Niveau erlangte. Denn so sehr das religiöse Buch schon um 1500 zu einer Art individuellem ‚Heilmittel‘ avanciert war – zu einem Instrument der ‚volkspädagogischen‘ Unterweisung und der allgemeinen religiösen Orientierung wurde es erst nach und infolge der Reformation. Insofern verband sich die Reformation auf Dauer mit dem Buch. Zu einer dauerhaften Vermittlung und kulturellen Implementierung ihrer religiösen Haltungen, Werte und Sinnhorizonte bedurfte die Reformation des Buches. Der Katholizismus hat nach und nach auch in dieser Hinsicht von der Reformation gelernt. Die Alphabetisierung des europäischen Kontinents schritt nicht erst in der Aufklärung, sondern bereits im konfessionellen Zeitalter unaufhaltsam voran.

Ich komme zum Schluss: Die mit dem Buchdruck eröffnete Medienrevolution hat im Zuge der Reformation eine erste dramatische Anwendung erfahren. Weitere sollten folgen. Die Kultur des gedruckten Buches hat die okzidentale Zivilisation tiefgreifend und nachhaltig geprägt. Unsere politischen Gemeinwesen, unsere Vorstellungen von Meinungs- und Wissenschaftsfreiheit, Menschenrechten und Menschenwürde, von Toleranz, Bildungsrechten und Gleichberechtigung, der westliche way of life im Umgang mit Pluralität und Differenz – all dies wäre wohl so nicht entstanden, hätte Gutenberg mit seinem Wallfahrtsspiegel, der den Segensschein von Reliquien bannen sollte, Erfolg gehabt. Ob der Computer einen ähnlichen Umbruch auslösen wird, wie die Erfindung Gutenbergs, bleibt abzuwarten. Bücher des 15. und 16. Jahrhunderts können wir heute noch mühelos lesen, Floppy-Disks der 1980er, auch CD-ROMs der 1990er leider nicht mehr.

Wenn man schon eine so schwachsinnige Frage wie die zulassen will, wer denn jener ‚Mann des zweiten Jahrtausends‘ gewesen sei, der die tiefgreifendsten Umbrüche bewirkt habe, fällt auch mir niemand ein, den ich Johannes Gutenberg vorziehen würde.

-
- ⁱ Stephan Füssel, *Gutenberg und seine Wirkung*, hg. von Elmar Mittler, Göttingen 2000, S. 10.
- ⁱⁱ Zit. nach Otto Clemen, *Geschichte der Buchdruckerkunst von ihren Anfängen bis zur Gegenwart*, Leipzig 1940, S. 57.
- ⁱⁱⁱ Zit. nach Füssel, wie Anm. 1, S. 31.
- ^{iv} Jakob Wimpfeling, *Epitome Germanorum*, Opera, Basel 1532; cap. 65; zit. nach der Übersetzung von Winfried Trillitzsch, *Der deutsche Renaissancehumanismus*, Frankfurt/M. 1981, S. 409.
- ^v Zit. nach Füssel, wie Anm. 1, S. 71.
- ^{vi} Zit. nach Clemen, wie Anm. 2, S. 51.
- ^{vii} Zit. nach Clemen, ebd.
- ^{viii} Für die hier verwendeten Zahlen vgl. Füssel, wie Anm. 1, S. 15.
- ^{ix} Füssel, a.a.O., S. 16.
- ^x Vgl. a.a.O., S. 295 Graphik 1 und 2.
- ^{xi} A.a.O., 298f Graphik 6 – 10.
- ^{xii} Erdmann Weyrauch, *Reformation durch Bücher: Druckstadt Wittenberg*, in: *Gutenberg: 550 Jahre in Europa*, S. 53-64, hier: 53.
- ^{xiii} Johannes Luther, *Die Schnellarbeit der Wittenberger Buchdruckerpressen in der Reformationszeit*. (Aus der Druckerpraxis der Reformationszeit II.), in: *Zentralblatt für Bibliothekswesen* 31, 1914, 244 – 264; ders., *Aus der Druckerpraxis der Reformationszeit*, in: *Zentralblatt für Bibliothekswesen* 27, 1910, 237ff. . .
- ^{xiv} Vgl. hierzu noch immer: Hans – Joachim Köhler, *Erste Schritte zu einem Meinungsprofil der frühen Reformationszeit*, in: Volker Press – Dieter Stievermann (Hg.), *Martin Luther Probleme seiner Zeit [Spätmittelalter und Frühe Neuzeit 16]*, Stuttgart 1986, S. 244 – 281; ders., *Die Flugschriften der frühen Neuzeit. Ein Überblick*, in: A. Werner – W. Dittrich (Hg.), *Die Erforschung der Buch- und Bibliotheksgeschichte in Deutschland*, Wiesbaden 1987, S. 307 – 345; ders., *Einführung*, in: *Bibliographie der Flugschriften*.
- ^{xv} Vgl. das Diagramm bei Köhler, *Erste Schritte*, wie vorige Anm., S. 271.
- ^{xvi} Hans-Jörg Künast, *„Getruckt zu Augspurg“*, Tübingen 1997, S. 295.
- ^{xvii} Alejandro Zorzin, *Karlstadt als Flugschriftenautor [Göttinger Theologische Arbeiten 48]*, Göttingen 1990, bes. S. 24; davon abhängig: Mark Edwards, *Printing, Propaganda and Martin Luther*, Berkeley 1994, S. 26.
- ^{xviii} Vgl. dazu Monika Rössing-Hager, *Wie stark findet der nicht-lesekundige Rezipient Berücksichtigung in den Flugschriften?* In: Hans-Joachim Köhler (Hg.), *Flugschriften als Massenmedium der Reformationszeit [Spätmittelalter und Frühe Neuzeit 13]*, Stuttgart 1981, S. 77 – 137.

Die Schrift, der Druck und das Netz: von Technik zu Kultur?

Rainer G. Ulbrich
Fakultät für Physik
Georg-August-Universität Göttingen

Die Frage „Von Technik zu Kultur?“ zielt in erster Linie auf den Umbruch, der seit nunmehr einer Generation *alle* Bereiche unseres Lebens, *ausnahmslos, global* und *unumkehrbar* verändert: die sogenannte *digitale Revolution* im weltweit gespannten Netz. Der umfassende Zugang zu jedweder Information, und vor allem ihre augenblickliche Verfügbarkeit, sind mittlerweile verbunden mit fast allem, was wir tun und mit dem, was uns angetan wird. Jedem wird zunehmend bewusst, wie stark wir mit Konsequenzen dieses wahrlich epochalen Umbruchs konfrontiert sind. Wir stecken in einem tiefgehenden Kulturwandel.

Das Internet entstand in sehr kurzer Zeit durch die Verknüpfung ganz verschiedener Techniken aus der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Auf diesem Boden wurde das erste offene und weltweite Informationsnetz „web 1.0“ kurz vor der Jahrhundertwende kultiviert. Die Ideen der zivilen Gründer dieses Netzes waren getragen vom Ideal aufgeklärter Freiheit. Es erstaunt daher nicht, dass die kurze Zeit später vollzogene Wende zum Kommerz mittels bezahlter Werbung („paid persuasion“) recht heftige Kontroversen der Medienkritik ausgelöst hat. Stellt das sogenannte „web 2.0“, in seiner heutigen Ausgestaltung euphemistisch als „social net“ bezeichnet, bereits eine neue Kultur dar? Kultur gegründet auf Technik? Das ist eine spannende Frage. Klar ist jedenfalls, dass die digitale Revolution schon jetzt äußerst weitreichende gesellschaftliche Folgen zeitigt.

Viele tun sich schwer mit dem Umbruch. Zum einen nutzen die meisten, mehr oder weniger gekonnt und dankbar, die Neuerungen und Segnungen des Mediums, die uns mittels Schirm oder Tablett verabreicht werden. Zum anderen beobachten wir verstört, dass die Wertigkeit des Gebotenen bis zur Unkenntlichkeit verdünnt wird. Mit dem Überangebot von Information geht ihr Werteverfall einher: wenn wir der schleichenden Vereinnahmung durch eine gnadenlos profitorientierte Netzumgebung, dominiert von ganz wenigen Monopolen, ausgesetzt sind; wenn am Ende viel zu wenig Freiraum für Nachdenken und Zuendedenken, für Kontemplation und Kreativität freibleibt.

Sollte also das Netz wie eine neuzeitliche Kolonialmacht zu sehen sein, und das Individuum als „neuer Wilder“, dem Konsumkultur eingehämmert wird? Mit dem grandiosen Versprechen der unbegrenzten Verfügbarkeit von Information, mittels derer hinterrücks über uns verfügt wird? Das hat Medienkritiker auf den Plan gerufen, nicht erst seit jetzt. Meinte Adornos Kritik der Kulturindustrie nur das Fernsehen, fiel seine heutige Einschätzung des „web 2.0“ kaum milder aus:

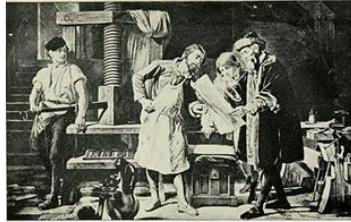
„Die Phrase von der Erfüllung von Märchenphantasien durch die moderne Technik hört erst auf, eine zu sein, wenn man ihr die Märchenweisheit hinzufügt, daß die Erfüllung der Wünsche selten den Wünschenden zum Guten anschlägt.“ [1]

Es ist jedoch zu erkennen und zu würdigen, dass mit dem Netz völlig neue Geschäftsmodelle geschaffen wurden, ohne deren täglich-milliardenfache Wertschöpfung diese Welt sehr viel ärmer wäre, nicht nur im materiellen Sinne. Und dass es Nischen im Netz gibt, die der anfangs geträumten Utopie einer offenen mündigen und aufgeklärten Netzkultur sehr nahe kommen. Die anfangs gestellte Frage „Von Technik zu Kultur?“ hat offenbar nicht nur eine, sondern viele Antworten. Träume und Phantasien haben technische Entwicklungen schon immer beflügelt, und jeder Fortschritt ließ das Mögliche im Realen erkennen.

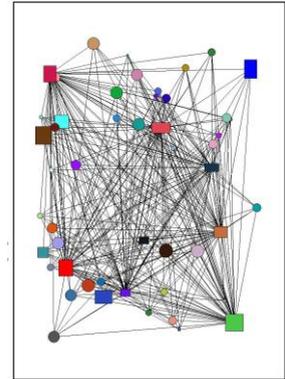
Nicht anders als bei zwei vorangegangenen Errungenschaften der Menschheitsgeschichte, der Erfindung der Schrift und der Technik des Buchdrucks. Sie waren die Meilensteine auf dem Weg zum Netz (Abb. 1). Beide stehen für kulturelle Leistungen, die wir heute als selbstverständlich gegeben ansehen, mit denen wir souverän umgehen und die wir getrost als Kulturtechniken, oder schlicht als „Kultur“, einstufen.



2500 v. Chr.
Keilschrift



1450
Buchdruck



2015
Netz

Abb. 1: Epochale Umbrüche in der Geschichte: Die Schrift, der Druck und das Netz.

Kultur rührt her vom lateinischen „colere“, umgraben, kultivieren – also von Ackerbau und Viehzucht. Sie beginnt mit der neolithischen Revolution vor rund 10.000 Jahren, als im Laufe von Jahrtausenden in mindestens drei Regionen der Welt – in China, im vorderen Orient und in Mittelamerika – produzierende *Wirtschaftssysteme* mit Landwirtschaft und Vorratshaltung entstanden. Doch schon lange vor dieser Epoche, vor mindestens 40.000 Jahren, waren in Spanien frühe Menschen am Werk, die eindrucksvolle Kunst geschaffen haben – noch ohne Schrift, ohne Symbole, nur Darstellungen imaginierter Jagd. Der später zugewanderte, robustere Cro-Magnon-Typ verfeinerte auf seinem Weg in die Moderne die Maltechniken. Er schuf die zeitlos schönen Höhlenbilder von Lascaux (Abb. 2).

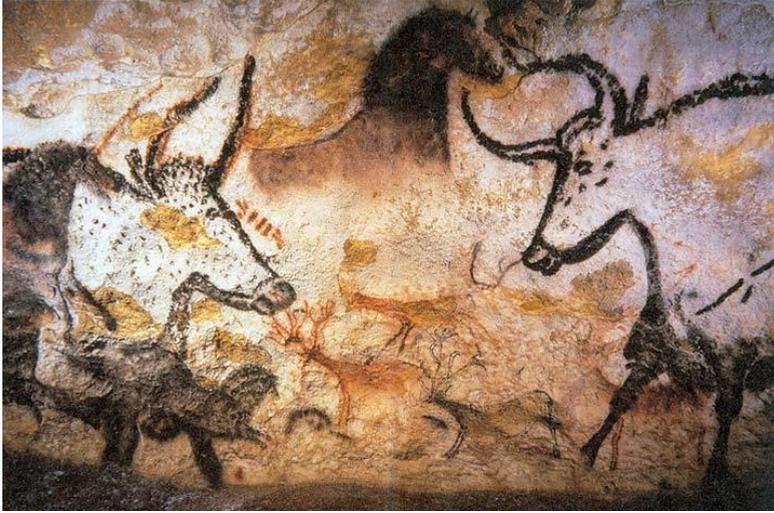


Abb. 2: Neolithische Kultur. Höhlenmalerei von Lascaux, ca. 17.000 v. Chr.

Die Erfindung von Schrift, und hier sind die Zeichensysteme zur Festlegung, Verbreitung und Bewahrung kodierter Information gemeint, ist viel jünger. Entstanden aus Notwendigkeit in Warenhandel und Buchführung, begründete sie dauerhaft „festgeschriebene“ Wahrheiten. Ihre Ausprägungen sind vielfältig und reichen von Jahrtausende alten Anfängen in China und Südeuropa über die sumerische Keilschrift bis hin zu den Rollen aus Qumran (Abb. 3).



Abb. 3: Schriftrolle von Qumran, 1QpHab, zweite Hälfte des ersten Jh. v. Chr.

Über viele Jahrhunderte folgten dann serielle Abschriften von Thora, Bibel und Koran auf Pergament und Papier. Ihre kanonisierten Inhalte, bemerkenswert stabil und mit nur ganz wenigen „updates“, stellen die Richtschnüre der drei großen Schriftreligionen dar. Die *Lesbarkeit* unserer Welt begann in der Antike mit handgeschriebenen Büchern. Bis ins Mittelalter prägten sie die Wirklichkeitserfahrung – zumindest der Eliten.

Vor fünfhundert Jahren brachte Gutenbergs Technik des Buchdrucks den radikalen, nahezu instantanen Umbruch: die massenhafte Vervielfältigung, zunächst nur textlicher, später auch bildlicher Inhalte (Abb. 4). Seither wurden geschätzte 180 Millionen Bücher verlegt und jährlich kommen neue hinzu. Kaum zu fassen ist, dass der gesamte Buchbestand der Welt mittlerweile schon zu etwa einem Drittel von Google digitalisiert worden ist.



Abb. 4: Gutenbergs Werkstatt um 1450 mit der ersten gedruckten Bibel



Das Tradieren von Geschichte war bis Gutenberg mündlicher Überlieferung vorbehalten. Denn Lesen und Schreiben traten im hohen und ausgehenden Mittelalter nur wenige. Diese Fähigkeit war nach der Blüte Roms erst einmal verlorengegangen. Stattdessen wurden Texte auswendig gelernt und ein Leben lang im Kopf behalten. Nach Gutenberg bekamen Lesen und Schreiben können innerhalb dreier Generationen, seit Anfang des 16. Jahrhunderts, höchsten Stellenwert. Es war ein rasch ablaufender Kulturwandel, der die allgemeine Schulpflicht für Kinder fast aller sozialen Schichten nach sich zog, alle mit gedruckten Schulbüchern im Ranzen. Das Auswendiglernen kam außer Mode. Der mönchische Beruf des Abschreibers, und die Tätigkeit des Vorlesers „Schulte“ auf dem Marktplatz waren ab dann nicht mehr gefragt. Die Auflagenstärke gedruckter Zeitungen erreichte binnen Kurzem Abertausende, die Gräflich-Waldeckische Schulordnung von 1704 ordnete wöchentliches Zeitungslernen an.

Die Technik des Buchdrucks mit beweglichen Lettern aus Blei hatte unwiderruflich eine neue Kultur hervorgebracht, deren epochaler Auftakt die prachtvolle Bibelausgabe der lateinisch geschriebenen Vulgata von 1455 gewesen war. Aus den anfangs 290 Schriftzeichen, die Gutenberg aus gängigen Schreibschriften entlehnt hatte, erwuchs nur wenig später die Kunst der Typographie (Abb. 5), bis heute angeführt von den zeitlos schön geschnittenen Serifen des Charles Garamond in Paris (Abb. 6). Dies alles ist wohl zweifelsfrei als Kulturgut anzusehen, und eigentlich nicht mit Zweifeln und Ängsten der eingangs beschriebenen Art belegt. Oder doch?



Abb. 5: Schriftmusterblatt der Schriftgießerei von William Caslon, 1728 oder früher



Abb. 6: Claude Garamonds Serifen

Es war nicht die Druckpresse an sich, die zu Renaissance und Aufklärung führte. Wichtig waren *Autoren und Inhalte*. Luthers tausendfach in Umlauf gebrachte Thesen, die Schriften Voltaires im Vorfeld der französischen Revolution, der kritische Journalismus waren und sind alles andere als ansehnliche, wohlgefällige Lektüre. Von Anfang an gab es Zensur, die Unterdrückung der Schriften Andersdenkender. Heute nehmen wir entsetzt wahr, welch mörderischen Hass sie auf den Geist gedruckter Satire aus Paris entfachen konnte. [2]

„Was auch immer die Welt heute ist – Gutenbergs Erfindung hat sie zu dem gemacht, mit all ihren positiven und negativen Seiten. Aus dieser Quelle ist alles entstanden.“ [3]

Sogar der Schreibrift, eigenhändig verfasst und zu Papier gebracht, droht gegenwärtig Umbruch. In Schweizer Grundschulen soll das Lehren der „Schnürli-schrift“ eingestellt werden, und in Finnland wird sogar erwogen, ABC-Schützen anstelle der Handschrift zuallererst den Umgang mit einer Tastatur, oder noch zeitgemäßer, die Wischbewegung am elektronischen Tablett erlernen zu lassen. Drucken ohne Schreiben zu können? Abschaffung von Handschrift? Dem Entsetzen über „digitale Moderne“ folgt Nachdenken. Was genau ist eigentlich Schreiben? Ist es Vorform von Denken, ist es gleichbedeutend mit, oder Abschluss von Denken? Oder nur eingefrorene Sprache? Jedenfalls kann Feinmotorik à la Sütterlin nicht wirklich Mittelpunkt der Diskussion sein. Ebenso wenig der ernstgemeinte Vorschlag, in der Oberschule statt Latein die Programmierhochsprache „C++“ zu lernen. [4] Sind Latein und Griechisch dagegen konkurrenzlos? Soviel zu Schrift und Druck.

Wir springen in die Mitte des neunzehnten Jahrhunderts und finden ausgerechnet die beiden Göttinger Naturwissenschaftler Carl Friedrich Gauss und Wilhelm Weber als die *Pioniere des ersten weltweiten Netzes*. Denn sie legen die technischen Grundlagen für zunächst drahtgebundene, aber schon den Globus umspannende Telegraphie, das „Fernschreiben“. Sie erfinden eine neue Technik, ein neues Alphabet, aber eigentlich sehr viel mehr: zum ersten Mal in der Geschichte wird Information „instantan“ über große Distanzen vermittelt (Abb. 7). Als erstes werden 1858 aktuelle *Börsenkurse* um den halben Globus versendet. Wenig verwunderlich, denn jedes neue Medium stellt damals wie heute neue *Geschäftsmodelle* bereit. Zeitgleich schreibt Marx „Das Kapital“.

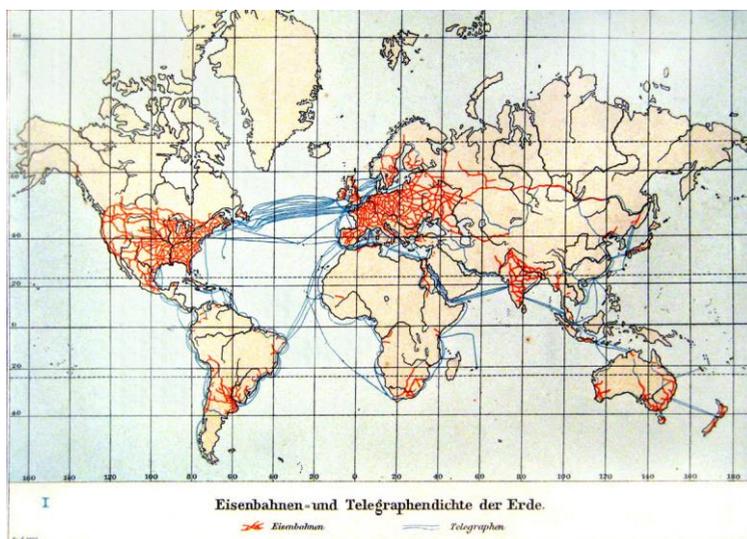


Abb. 7: Der Stand des ersten „weltweiten“ Netzes aus Telegraphendrähten (blau) und Eisenbahnschienen (rot), um 1900.

Gleichsam im technologischen Dreisprung erfolgen die Übergänge von Marconis drahtloser Kommunikation zu Radio und schließlich Fernsehen. Sie unterbreiten die Massenkultur des Zwanzigsten Jahrhunderts. Und mehr oder weniger unmerklich, werden in dessen letztem Drittel, von 1965 bis 1990, die technischen Fundamente des Internets gelegt. Mit vorhandener Telefontechnik wird um 1965 eine neue Idee allmählich in die Tat umgesetzt: das paketweise Verschicken von Information über dezentrale Kommunikationsnetze endlicher Bandbreite. Dies ist nach wie vor der maschinelle Kern des „digitalen Umbruchs“: die *Verselbständigung von Information in Form von Paketen*, die wiederum zunächst per Draht, ab 1990 durch optische Fasern, auf die globale Reise geschickt werden. Sie umrunden innerhalb eines Augenblicks, genau genommen in 0,2 Sekunden, die Erde. Der Umbruch lässt sich exakt datieren, auf das Jahr 1969 der Inbetriebnahme des ersten Arpa-Netzes, bestehend aus vier Telefon-Standleitungen. Vier Universitäten an der Westküste der USA sind nun miteinander „vernetzt“ (Abb. 8).

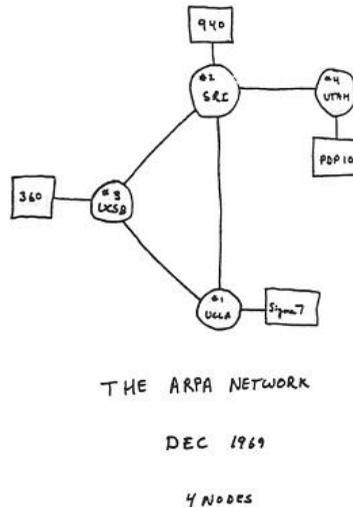


FIGURE 6.2 Drawing of 4 Node Network
(Courtesy of Alex McKenzie)

Abb. 8: Das Konzept des ersten dezentralen Kommunikationsnetzes „ARPA“. Hier wird Information päckchenartig digital kodiert, auf Anfrage vom Server in Umlauf gebracht, und von Empfängern – je nach deren Bedarf – abgerufen. Auf diesem Prinzip beruht bis heute das Internet.

Die beiden folgenden Jahrzehnte bringen enorme technologische Fortschritte auf drei ganz verschiedenen Feldern. Die Mikro- und später Nanotechnologie des Halbleiters Silizium meistert das Verknüpfen und Speichern von Information in immer kleiner werdenden Bauelementen. Sie beflügelt die rasant verlaufende Evo-

lution des PC, des „personal computer“. Seine massenhafte Verbreitung mit erschwinglicher Software stellt – zunächst latent – das Potenzial für den kommenden Umbruch dar. Schließlich gelingt als letztes die Herstellung von Lichtleitfasern aus Glas, mit deren Hilfe die Datenpakete Abertausende von Kilometern Distanz mit Lichtgeschwindigkeit zurücklegen können. Die gläsernen Datenbahnen sind bis 1990 weltumspannend und, dank rigorosen Wettbewerbs zwischen den national aufgestellten Telefongesellschaften, mit mehr als enormer Kapazität angelegt. [5] Telefonanschlüsse in Haushalten mit PCs gibt es massenhaft. Was aber sollte im Fasernetz transportiert werden? Nur ein paar Telefongespräche über den Atlantik und vielleicht der eine oder andere Fernsehkanal?

Ein Physiker aus England, Tim Berners-Lee, notiert 1991 im europäischen Zentrum für Kernforschung in Genf seine folgenreiche Idee: textbasierte Information könne über das Internet mittels „Hypertext“ transportiert werden, einem „Point-and-Click-System“ zur Navigation durch den globalen Informationsraum. Er erfindet mit großer Umsicht das Konzept des *Dialoges* im Internet. Es ist die moderne Version des Marktplatzes, der griechischen *Agora*. Das formale Gerüst seiner Idee – Adressen, Stile und Formate – hat sich bis heute erhalten. Er gilt als Erfinder des Internet und wird 2004 dafür in England geadelt.

Dann setzt der Umbruch ein. Marc Andreessen gründet 1995 sein Software-Haus und entwickelt einen „net browser“ namens Netscape. Die Wertschöpfung des Unternehmens basiert auf einem neuen Geschäftsmodell: der geschickten Platzierung von bezahlter Werbung auf der vom Nutzer angewählten Internet-Seite, dem *Prinzip des „click and pay“*. Jahre später bringt er Netscape an die Börse und wird Multimillionär.

Im selben Jahr beginnen Larry Page und Sergey Brin ihr Forschungsprojekt über die Korrelation von Verweisen („links“) im Internet nebst ihrer Darstellung als mathematische Graphenstruktur. Ihre Arbeit führt sie auf die Erfindung eines effizienten Such-Algorithmus, der den Kern ihrer später gegründeten Firma Google (von Googol, der Zahl 1 gefolgt von 100 Nullen) ausmacht. Das Ergebnis ihrer Forschung ist eine rekursive Formel, die den „page rank“, das ist der Bekanntheitsgrad einer Web-Seite, ermittelt (Abb. 9). Die so geartete Suchmaschine, verbunden mit dem nun gängigen Geschäftsmodell des „click and pay“ für Werbung, verhilft der Firma rasch zu ihrer derzeit dominierenden Stellung. Das Oxford English Dictionary notiert „google“ seit 2006 als Verb.

„Suchmaschinen sollen, und das ist erklärtes Ziel, dem größten Teil der Menschen mit der größtmöglichen Wahrscheinlichkeit das zeigen, was sie höchstwahrscheinlich gesucht haben.“ [6]

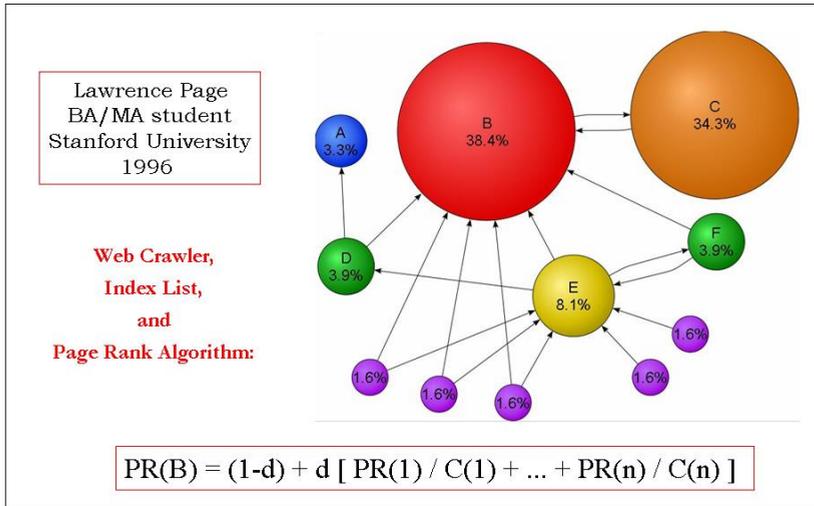


Abb. 9: Der Beginn der Unternehmung „Google“ von Sergey Brin und Larry Page: Web-Crawler, Index-Liste und Page-Rank-Algorithmus (um 1996).

Weitere Ideen zur Nutzung des Netzes folgen. Sie basieren auf relationalen Datenbanken mit starren, den Nutzern vorgeschriebenen Ausdrucksformen. Die „Formate“ von Facebook, Twitter und Co. bürgern sich erstaunlich rasch ein. Ihre Verbreitung wird von den begeisterten Anhängern euphemistisch als „soziales Netz“ bezeichnet – der Begriff des „web 2.0“ wird geprägt. Es findet in kurzer Zeit die Konzentration auf ganz wenige Unternehmen mit dem Hang zu zielstrebigem Hegemonie im Netz statt. Ihre Präsenz ist weltweit unübersehbar, aufdringlich, und profan. Ist so etwas von vornherein überhaupt sozial? Taugt es, um überhaupt irgendeine Kultur hervorzubringen?

Jedenfalls steht in naher Zukunft noch das „internet of things“ bevor, bei dem alle Dinge des täglichen Lebens als unerschöpfliche Datenquelle fungieren werden. Es ist absehbar, dass geschickte Algorithmen dann erstaunliche, heute noch utopisch anmutende Ergebnisse zeitigen werden. Eine Überfischung der „brave new world 2.0“ ist nicht zu befürchten.

Von Technik zu Kultur?

Das Jahr der Planung des Arpa-Netzes, 1965, fiel zeitlich mit dem Beginn meines Studiums zusammen. Gemerkt habe ich den folgenschweren Umbruch allerdings erst ein Vierteljahrhundert später, zu Beginn der neunziger Jahre, als ich zum E-Mail-Sender und -Empfänger mutierte. So kann ich aus eigener Erinnerung berichten, war als Nutzer des neuen Mediums bei Fortschritt und Evolution irgendwie dabei, und habe im Sinne ordentlich gelernter naturwissenschaftlicher

Praxis auch empirische Beobachtungen an mir selbst, an meinen Mitmenschen, und als Lehrender an Studenten anstellen können. Zwar nicht statistisch fundiert, aber immerhin selbst durchlebt. Dies soll den letzten Teils dieses Aufsatzes ausmachen. Es soll nun um subjektive Kritik im Sinne der Technik-zu-Kultur-Frage gehen.

Beim Nachdenken über den Umbruch in Finnland und das Ende der Schweizer Schnürlischrift wird klar, wie stark wir alle, ohne Ausnahme, durch unsere *individuell häusliche* und später *allgemein schulische* Prägung – ob nun Sütterlin oder Tastendruck – in der Perzeption und Beschreibung dieser Welt festgelegt sind. Soziale Interaktion, Denkmuster, und Anlagen zur Kreativität werden für jeden von uns in früher Kindheit angelegt und bleiben im Großen und Ganzen ein Leben lang stabil. „Updates“ in rascher Folge hat die Natur für die „Hardware“ unseres neuronalen Betriebssystems definitiv nicht vorgesehen, spätestens seit Lascaux hat keine erkennbare genetische Änderung desselben mehr stattgefunden.

Hier liegt der erste wunde Punkt des Umbruchs in den Zeiten des medialen Internets: es ist die schiere Geschwindigkeit, mit der Änderungen an den zentralen technischen Vorgaben -- den *Formaten* -- durchgepeitscht wurden und werden, ohne Rücksicht auf elementare Interessen der Nutzer, offenbar nur der Profitmaximierung und den Monopolinteressen der großen Unternehmen geschuldet. Gegen Verbesserungen technischer Innovationen – Dampfmaschinen, Autos, Flugzeugen – ist nichts einzuwenden. Deren Bedienbarkeit wurde organisch über recht lange, Generationen umfassende Zeiträume optimiert. Das derzeit nicht enden wollende Stakkato von „Updates“ bei allen mit dem neuen Medium verknüpften Aktionsformen schlägt ins Gegenteil um: allenthalben Durcheinander, Ratlosigkeit und Zeitverschwendung. Im gleichen Atemzug sei jedoch ein Zitat erwähnt, das dem Unternehmer Bill Gates zugeschrieben wird (Abb. 10):

„Never before in history has innovation offered promise of so much to so many in so short a time.“

Hier hatte er unumstößlich Recht. Unrecht bekam er allerdings im historisch bedeutsamen Kartellverfahren gegen das Monopol seiner Firma, von Mario Monti in Europa um 2003 vorangebracht. Bei der Zeugenvernehmung tauchte in Gates Begriffswelt das Wort „Djihad“ auf, eines gnadenlosen Krieges gegen die einschlägige Konkurrenz. Derselbe Unternehmer wurde später Philanthrop und großzügiger Mäzen. Seine Leistung als Pionier der „kleinen“, erschwinglichen Betriebssysteme mit weltweit funktionsfähigen Programmen auf PCs wird zweifellos historischen Bestand haben.



Abb. 10: Steven P. Jobs und William H. Gates III. Zwei bedeutende Pioniere und herausragende Geschäftsleute im Zeitalter des Digitalen

In einer Art von Parallelwelt hat ein zweiter Visionär, Steve Jobs, sich um Technikkultur verdient gemacht (Abb. 10). Ästhetik und Bedienbarkeit der von ihm zwar nicht erfundenen, dafür aber beharrlich und kreativ verbesserten Geräte – von der Maus über die graphisch interaktive Oberfläche bis hin zum aktuellen „Alleskönner Tablett“ – werden hohen Ansprüchen gerecht. Er taufte Garamonds Serifenschrift kurzerhand in „Myriad“ um und setzte sie als Standard auf Apple-Geräten ein. Deren Anblick wird von mir nach wie vor als zeitlos schön empfunden. Im Gegensatz dazu sind viele der heute wie Unkraut wuchernden typographischen Entgleisungen im Netz so abstoßend, dass eine Diskussion nicht lohnt.

Bis ins hohe Mittelalter bestand Gebildetsein darin, große Mengen von Information auswendig zu lernen – mangels alternativer Quellen. Auswendig aufsagen zu können wurde geübt. Nach Johannes Gutenberg waren Leser rasch daran gewöhnt, sich auf den Inhalt gedruckter Seiten zu verlassen. Das Auswendiglernen verlor an Bedeutung. Wird in naher Zukunft dasjenige, was wir heute in Myriaden digital verfasster Ordner speichern und als „...irgendwann später abrufbar...“ beiseitelegen, folgerichtig an die sprichwörtliche Datenwolke, die „cloud“ vermag? Wieso müsste dann die kommende Generation etwas im Kopf behalten, wenn sie es in Sekunden im Netz wird aufsuchen können? Sie wird vermutlich dabei untergehen, aus der Flut vorhandener Daten das Wesentliche herauszufin-

den. Denn die schiere Menge des Gebotenen führt zu einer Verdünnung, bei der die Destillation auf das geistige Konzentrat ans Unmögliche grenzt. [7]

Völlig abwegig scheint mir, wie der Zeitgeist nicht wahrnimmt, dass *kanonisierte Inhalte* – hier zuvorderst die „Wahrheiten“ der Naturwissenschaften – in hervorragenden Büchern existieren. Dass die bloße Auflistung weniger Monographien ausreichte, um Lernenden die ernsthafte Beschäftigung mit jedem beliebigen Teilgebiet zu ermöglichen. Und sogar ein Leben lang von dieser stabilen Auswahl begleitet zu werden: es ginge um nicht mehr als ein Regal voll Bücher. Der Zeitgeist verweist stattdessen auf Wikipedia, das gutgemeinte Unterfangen, alles Wissen dieser Welt jedem direkt zugänglich zu machen. [8]

Zum Verständnis eines Begriffs gibt es meist mehr als einen Standpunkt, jedoch nur *einen* Wikipedia-Artikel. Und dieser leistet das Angestrebte bisher meistens nicht. Zur Überforderung und Selbstüberschätzung seiner Autoren gesellen sich inkonsistente Notationen, blanke Aufzählungen von Schlagworten, selbstreferenzierende Passagen, ermüdende Wiederholungen und chronische Lückenhaftigkeit, nicht nur in seinen naturwissenschaftlichen Bereichen. Wikis konditionieren Lernende auf das sprichwörtlich „dünne Brett“. Als Einwand gegen Wiki-Kritik wird vorgebracht, man möge doch selber bessere Wiki-Fragmente ins Netz setzen. Dies verwechselt Ursache und Wirkung: Lehren und Lernen sind hoch individuelle Prozesse, die eben *nicht netzfähig* sind. Sie sind vielmehr nur in Kleingruppen und mit echter Interaktion – „Auge in Auge“ -- zu bewerkstelligen. Ich halte wenig von der grandiosen Idee einer „Schwarmintelligenz“. [9] Solange vom Lernenden keine echten Problemstellungen angegangen werden und individuelle Entscheidungen zu treffen sind, geht kein Lernen vonstatten. Der „Klick“ ins Netz bringt wenig – er kann nur Datenträger öffnen. Einher geht der schleichende Verlust von Neugier und Staunen.

Das Erfassen komplexer Sachverhalte bedarf langwährender, konzentrierter Beschäftigung. Denn qualitativ neue visuelle Eindrücke werden nur mit recht geringer Geschwindigkeit aufgenommen, um dann lebenslang in den maximal 80 Milliarden Neuronen eines menschlichen Gehirns gespeichert zu werden. Die „Schreibgeschwindigkeit“ in unserer CPU ist im Mittel denkbar klein, im Bereich von allerhöchstens 80 Bit pro Sekunde, sofern wir 50 Jahre lang unserem Gehirn ununterbrochen neue Bits hinzufügen. Sprichwörtlich gilt „Lernen ist langsam, hält aber umso länger“.

Die eklatante Reduzierung der Aufmerksamkeitsspannen von jungen Menschen ist wohl eines der zentralen Probleme, die durch die mediale Schwemme in die Gesellschaft getragen worden sind. Geduld zu haben fällt zunehmend schwerer, weil die Interaktion im Netz uns anders konditioniert. Begleitend wächst die Mentalität „*Ich muss nichts mehr wissen, ich muss nur wissen wo es steht*“. Gespeichert werden nur mehr Listen von „Links“, nicht deren sinnvolle Verknüpfung. Zudem ist die sogenannte ikonische Wende („*iconic turn*“), gemeint ist die Wende vom Wort zum Bild, vom Diskurs zum Video, im Netz vollständig vollzogen worden

[10]. Obwohl auf Sprache und Text basierende Information abstrakter ist und gedanklich viel tiefer reicht als Bebildertes, hat die visuelle Kommunikation im Netz überhandgenommen. Auch die zunehmend visuelle Konditionierung der Naturwissenschaften folgt dem Zeitgeist. Dies ist verstörend. Die schiere Menge des zu schnell und visuell Gebotenen droht ein Verweilen, die Reflexion und Kontemplation, schon im Keim zu ersticken. Beim sogenannten „Surfen“ im Internet erliegen wir offenbar den elementaren Instinkten des Jagens und Sammelns, die genetisch in jedem von uns stecken. Mit dieser Einsicht wird die Struktur des im Netz Gebotenen mittlerweile sehr gezielt gestaltet. Als Rezipienten sind wir nur Objekte der von wenigen Großen geplanten Ökonomie des Internets. [11]

Die mittlere Lebensdauer einer Webseite beträgt gegenwärtig etwa 100 Tage. Die ätherische Flüchtigkeit des Mediums wird daher recht treffend mit der Metapher „Wolke“ umschrieben (Abb. 11). Die großen Bücher lebten länger, 2.000 Jahre und mehr. Gibt es schon Sorge um Entsorgungsdeponien für abgelaufene Webseiten, die Antiquariate von morgen?



Abb. 11: Big Data in the cloud

Ernster zu nehmen ist die Beobachtung, dass unsere Wahrnehmung der Realität im Netz eingeschränkt wird. Hinter der Verlockung durch geschickt verdeckte Werbung steckt letztlich Manipulation. [12] Der schwerstwiegende Punkt ist wohl die zunehmende Entfremdung von objektivem Sein und subjektiver Befindlichkeit. Also die Fähigkeit, zwischen Fakt und Meinung sauber zu unterscheiden. Sie wird bei vielen offenbar geringer.

Unstrittig ist, dass die massenhaft flutenden Informationskanäle bisher nicht zu einer objektiven Verbesserung gesellschaftlicher Verhältnisse führten. Sie dien-

ten eher ihrer Verfestigung. [13] Die hier gestreuten Bedenken sind nicht neu. Es gibt sie seit der Kritik Adornos, später Marcuses und anderer an der Kulturindustrie, aus einer Zeit lange vor dem Netz, aber schon eingedenk der Wirkung des Fernsehens [14], [15], [16]: „Die Qualität oder der Wahrheitsgehalt der Inhalte sind nicht wichtig, solange sie ihren Zweck erfüllen.“ [17]

Was aber ist zu tun? Der gegenwärtige „Ist-Zustand“ wird sorgfältig zu analysieren sein. Das wirkliche Problem liegt ja nicht in den technischen Aspekten des Umbruchs. Vielmehr geht es um unsere Wechselwirkung mit dem Netz. Unser Verhalten und somit die anfangs propagierte *Utopie eines Netzes* – frei zugänglich für alle, gefüllt mit sinngebenden Inhalten, als offenes Forum für Diskurse – sind beide problematisch geworden. Es geht darum, aus der riesigen Fülle der heute gebotenen Optionen die geeignete Wahl treffen. Im Sinne der Aufklärung zu kritischer Vernunft zu erziehen, die Bildung autonomer, selbständiger, bewusst urteilender und sich entscheidender Individuen mit zu tragen.

Doch wer weiß schon, ob solche „Aufklärung 2.0“ bei der nächsten Generation Anklang findet?

Literatur und Referenzen

1. Theodor W. Adorno, in: „Eingriffe“, S. 80, Suhrkamp, 1963.
2. Attentat auf die Redaktion des „Charlie Hebdo“ in Paris am 7.1.2015.
3. Mark Twain, Briefwechsel, 1890.
4. Wer die seit rund 30 Jahren anhaltende Diskussion um rund 90 objektorientierte Hochsprachen einigermaßen kennt, wird sich kopfschüttelnd abwenden und vom befremdlichen Klang- und Schriftbild der Sprache C++ abraten.
5. Die Faserverbindung TAT-14 durch den Nordatlantik ist 15.000 km lang und hat eine jetzt fast ausgeschöpfte Übertragungsrate von ca. 1 Tbit/s. Alcatel-Lucent Submarine Networks ist mit weltweit rund 600.000 Kilometern verlegter optischer Seekabel und Schaltsystemen der Marktführer.
6. Jaron Lanier, Wem gehört die Zukunft?: „Du bist nicht der Kunde der Internetkonzerne. Du bist ihr Produkt.“ 2014.
7. In seiner 1944 veröffentlichten Erzählung „Die Bibliothek von Babel“ spekuliert Jorge Luis Borges über eine Welt, die er als eine *Bibliothek aller möglichen Bücher* darstellt. Für die Bewohner sind aber die meisten Texte unverständlich. Es gilt als großes Glück, auf ein Buch auch mit nur einem einzigen verständlichen Satz zu stoßen. In seiner Parabel über die Welt finden die Bewohner keine Antworten auf ihre Fragen.
8. Die 35-bändige *Enzyklopädie* der Jahre 1751-1780 von Denis Diderot und Jean le Rond d’Alembert wurde zum Synonym für das, was uns heute als das Jahrhundert der Aufklärung gilt. Sie ist eines der Hauptwerke dieser Zeit, und sie war ein glänzendes Geschäft.
9. Intellektuelle Fortschritte in den Wissenschaften wurden bisher in der Regel von Einzelnen vollbracht. Die Beiträge sogenannter künstlicher Intelligenz waren z. B. in der Reinen Mathematik bisher auf Überprüfen von Beweisführungen beschränkt (Fermats Vermutung, Keplers Vermutung, Vier-Farben-Theorem).
10. Hubert Burda/Christa Maar (Hg.), „Iconic Turn. Die neue Macht der Bilder“, 2004.
11. Jaron Lanier, Wem gehört die Zukunft?: „Du bist nicht der Kunde der Internetkonzerne. Du bist ihr Produkt.“ 2014.
12. Facebooks jüngste Studie zur Beeinflussbarkeit von Verhaltensmustern durch Informationen aus den sozialen Netzen.
13. Evgeny Morozov, „The Net Delusion: How Not to Liberate The World“, Penguin, 2012.
14. Neil Postman, „Wir amüsieren uns zu Tode“, Fischer, 1985.

15. Mario Vargas Llosa, „Alles Boulevard“, Suhrkamp, 2012.
16. Herbert Marcuse, „One-dimensional man“, Beacon Press, 1964.
17. Theodor W. Adorno, in: „Dialektik der Aufklärung“, Fischer, 1969.

Abbildungen

Abb. 1: Cuneiform: By Matt Neale from UK [CC BY 2.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>)], via Wikimedia Commons

Abb. 1: Printing and writing materials - their evolution (1904)
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3APrinting_and_writing_materials_-_their_evolution_\(1904\)_\(14777458662\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3APrinting_and_writing_materials_-_their_evolution_(1904)_(14777458662).jpg)
By Internet Archive Book Images [No restrictions], via Wikimedia Commons No known copyright restrictions

Abb. 1: Das Netz. © Rainer G. Ulbrich 2017

Abb. 2: Lascaux painting. By Prof saxx (Own work) [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>), CC-BY-SA-3.0 or Public domain], via Wikimedia Commons

Abb. 3: Peshier Habakkuk Scroll
https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3APeshier_Habakkuk_Scroll.JPG
See page for author [Public domain], via Wikimedia Commons

Abb. 4: Gutenberg develops printing
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AGutenberg_develops_printing_\(1600\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AGutenberg_develops_printing_(1600).jpg)
By Sebastian Münster (1488-1552) [Public domain], via Wikimedia Commons

Abb. 4: Gutenberg bible Old Testament Epistle of St Jerome
The beginning of the Gutenberg Bible, volume 1, Old Testament, Epistle of St. Jerome. (Page 001 recto)
https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AGutenberg_bible_Old_Testament_Epistle_of_St_Jerome.jpg
[Public domain], via Wikimedia Commons

Abb. 5: Caslon-Schriftmusterblatt
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ACaslon-schriftmusterblatt_\(cleaned\).jpeg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ACaslon-schriftmusterblatt_(cleaned).jpeg)
By William Caslon [Public domain], via Wikimedia Commons

Abb. 6: EB Garamond.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AEB_Garamond.png

By Blythwood (Own work) [CC BY-SA 4.0] via Wikimedia Commons

Abb. 7: Karte von der Eisenbahnen- und Telegrafendichte der Erde um das Jahr 1900

Quelle: Kopie aus Andrees Handatlas von 1901, S. 17 Kolonial- und Weltverkehrskarte; gemeinfrei

<http://www.bayern-online.com/v2261/artikel.cfm/203/Karte-Telegrafendichte-um-1900.html>

Abb. 8: The first 4 nodes of the internet [diagram view]. Sue Thomas, [CC BY-NC-SA 2.0]

https://www.flickr.com/photos/sue_thomas/3329658248

Abb. 9: PageRanks-Example.

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3APageRanks-Example.svg>

By en:User:345Kai, User:Stannered [Public domain], via Wikimedia Commons

Abb. 10: Steve Jobs and Bill Gates, By Joi Ito Flickr.com

<https://www.flickr.com/photos/joi/522695099/> [CC-BY 2.0]

Abb. 11: Big Data in the cloud. © Rainer G. Ulbrich 2017

Der Globale Wandel und die Zukunft der Klimapolitik

Mojib Latif

*GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
und Universität Kiel*

Das Klimaproblem steht seit vielen Jahren im Blickpunkt des öffentlichen Interesses. Der Geochemiker Roger Revelle hatte bereits vor über einem halben Jahrhundert die ungeheure Dimension der menschlichen Klimabeeinflussung beschrieben, in dem er von einem „gigantischen Experiment“ sprach, das die Menschen anstellten¹. Der Chemie-Nobelpreisträger Paul Crutzen hat inzwischen den Begriff Anthropozän eingeführt, um den Beginn eines neuen Erdzeitalters zu kennzeichnen, in dem der Mensch einen ähnlich großen Einfluss auf die Umwelt ausübt wie die natürlichen Faktoren. Das Klimaproblem ist hauptsächlich ein Energieproblem und hängt eng mit der Verfeuerung der fossilen Brennstoffe - Kohle, Erdöl und Erdgas - zur Energiegewinnung zusammen. Dabei entstehen große Mengen des Gases Kohlendioxid (CO₂). Es reichert sich wegen seiner langen Verweildauer von ca. 100 Jahren allmählich in der Luft an, weswegen sich die Erde erwärmt. Die Lösung des Klimaproblems erfordert den Umbau der weltweiten Energiesysteme. Und das ist es, was die Sache so schwierig macht. Fast alle Bereiche unseres Lebens wären davon direkt oder indirekt betroffen. Die Eliten aus Wirtschaft und Politik scheuen sich davor, den notwendigen Umbau zielstre-

¹ New York Times, 1957

big voranzubringen. Und das ist fatal. Denn das Klima ist träge. Wir spüren das volle Ausmaß der vom Menschen verursachten und bereits realisierten Klimaänderung noch nicht. Es dauert Jahrzehnte bis sich der Ausstoß von Treibhausgasen in Form eines Temperaturanstiegs an der Erdoberfläche äußert. Vorausschauendes Handeln über Jahrzehnte ist deswegen geboten. Wenn wir heute Maßnahmen zum Klimaschutz ergreifen, dann wirken diese erst sehr viel später. Die Politik steht dem Klimaproblem hilflos gegenüber. Einen wirksamen internationalen Klimaschutz gibt es derzeit nicht. Die Zeit läuft uns davon. Noch ist es aber vermutlich nicht zu spät, um einen „gefährlichen“² Klimawandel zu vermeiden.

Für alle, die noch zweifeln: „Der menschliche Einfluss auf das Klima ist klar“. So lautet der wohl wichtigste Satz aus dem letzten (fünften) Synthesebericht des so genannten Weltklimarats, dem IPCC³ (Intergovernmental Panel on Climate Change), vom Oktober 2014. So neu ist diese Erkenntnis nicht, die Hunderte von Wissenschaftlern aus den verschiedensten Ländern zu Papier gebracht haben. In allen bisherigen Berichten des IPCC - der erste erschien 1990 - findet man ähnliche Passagen. Die Belege für die anthropogene, also die durch den Menschen verursachte, Klimaänderung sind in der Tat überwältigend. Die Erde hat sich seit Beginn der Industrialisierung um knapp ein Grad Celsius erwärmt (Abb. 1). Das klingt nach wenig, ja geradezu nach lächerlich wenig. Wenn man aber bedenkt, dass der globale Temperaturanstieg von einer Eiszeit zu einer Warmzeit ca. 5°C beträgt, erscheint das eine Grad Erderwärmung schon in einem ganz anderen Licht.

Das Eis der Erde hat während der letzten Jahrzehnte zu schmelzen begonnen, mit einer ungeahnten Geschwindigkeit. In der Arktis zieht sich das Meereis mit einer Geschwindigkeit zurück, die selbst die Wissenschaftler überrascht. Zudem zeigt der Eispanser Grönlands inzwischen erschreckende Massenverluste so wie auch das Eis der Westantarktis.

Die Meeresspiegel steigen infolge dessen, aber auch wegen der Erwärmung der Ozeane selbst, durch die sich das Meerwasser ausdehnt. Außerdem: ca. ein Viertel des durch die Menschen in die Luft geblasenen CO₂ wird sofort von den Ozeanen aufgenommen. Deswegen droht die Versauerung der Weltmeere. Schaffen wir es nicht, den weltweiten CO₂-Ausstoß in den kommenden Jahrzehnten deutlich zu verringern, könnte eine ökologische Katastrophe drohen mit unabsehbaren Folgen für die Meeresökosysteme.

Im Jahr 1992 fand der Erdgipfel der Vereinten Nationen in Rio de Janeiro statt. Er sollte der Aufbruch in eine nachhaltige Entwicklung sein. Die Kehrtwende in eine Zukunft ohne Raubbau an der Natur. Gewissermaßen eine Antwort auf die „Grenzen des Wachstums“ des Club of Rome aus dem Jahr 1972. In der Klimarahmenkonvention von Rio hat sich die Weltgemeinschaft darauf geeinigt: „...die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf

² https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch1s1-2-2.html

³ www.ipcc.ch

einem Niveau zu erreichen, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird“. Zwanzig Jahre später, als man sich 2012 auf der Nachfolgekonzferenz Rio+20 wiedertraf, war die Ernüchterung groß. So sind seit Beginn der 1990er Jahre die weltweiten Emissionen von Treibhausgasen förmlich explodiert. Das gilt insbesondere für den CO₂-Ausstoß, der um ca. 60 Prozent gestiegen ist (Abb. 2).

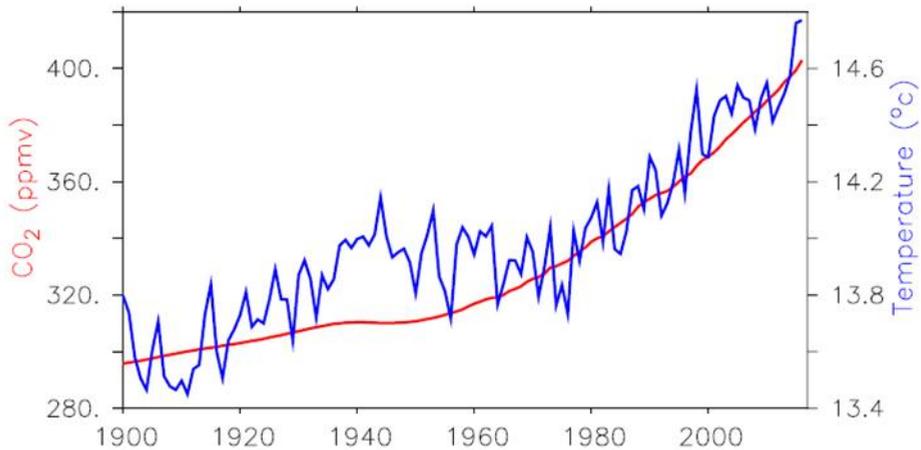


Abb. 1: Die atmosphärische CO₂-Konzentration (ppmv, rote Kurve) und die global gemittelte oberflächennahe Temperatur (°C, blaue Kurve) im Zeitraum 1900-2016. Wonsun Park, GEOMAR.

Klar ist aber auch, dass es durchaus noch möglich zu sein scheint, die Erderwärmung auf unter 2°C zu begrenzen. Auf dieses „2°C-Limit“ hat sich die Weltpolitik verständigt. Man hofft, dass sich bei einer Erderwärmung unterhalb von 2°C Instabilitäten vermeiden lassen, so wie das unwiderrufliche Abschmelzen des grönländischen Eisschildes mit einem globalen Meeresspiegelanstieg von 7 Meter. Oder drastische Änderungen in den atmosphärischen und ozeanischen Zirkulationssystemen wie auch das Kippen von Ökosystemen verhindern lassen.

Es gibt allerdings bezogen auf die Lage der Schwellwerte eine große Unsicherheit in der Forschung. Aus diesem Grund ist immer die geringste noch mögliche Erwärmung anzustreben.

Einen Mangel an Wissen über die Ursachen des Klimawandels und seine möglichen Folgen gibt es in keiner Weise. Dazu hat insbesondere auch der Weltklimarat IPCC beigetragen. Und trotzdem passiert genau das Gegenteil von dem, was eigentlich passieren müsste. Der weltweite Ausstoß von Treibhausgasen steigt. Man eilt von Weltklimakonferenz zu Weltklimakonferenz. Jedes Jahr findet eine statt. In Paris, auf der 21. Weltklimakonferenz, hat man Ende 2015 einen neuen

Klimavertrag unterzeichnet. Das Ergebnis ist, wie schon in den Jahren zuvor (siehe Abb. 2), bescheiden ausgefallen. Natürlich sprach man von einem Durchbruch. Wie so oft schon. Sogar von einem Durchbruch „historischen“ Ausmaßes. Delegierte haben sich am Ende der Konferenz in den Armen gelegen.

Die Zahlen sprechen eine andere Sprache. Internationaler Klimaschutz findet nicht statt und wird wohl auch nach Paris nicht stattfinden. Die größten Verursacher von Treibhausgasen China und die USA haben bereits ihre mageren Ziele bekannt gegeben. Und auch die EU wird hinter ihren ursprünglichen Zielen zurückbleiben. Es gibt bestenfalls so etwas wie einen „gefühlten“ Klimaschutz. Die Eliten versagen, und das auf allen Ebenen: Die Politik, die Wirtschaft, aber auch die Gewerkschaften. Allen ist nur eines gemein, nämlich die kurzfristige Sicht auf die Dinge. Dass diese Handlungsstarre ein Irrweg ist, wollen die Verantwortlichen nicht zur Kenntnis nehmen. Die nächsten Wahlen, Shareholder Value oder das Festhalten an althergebrachter Technologie wiegen schwerer.

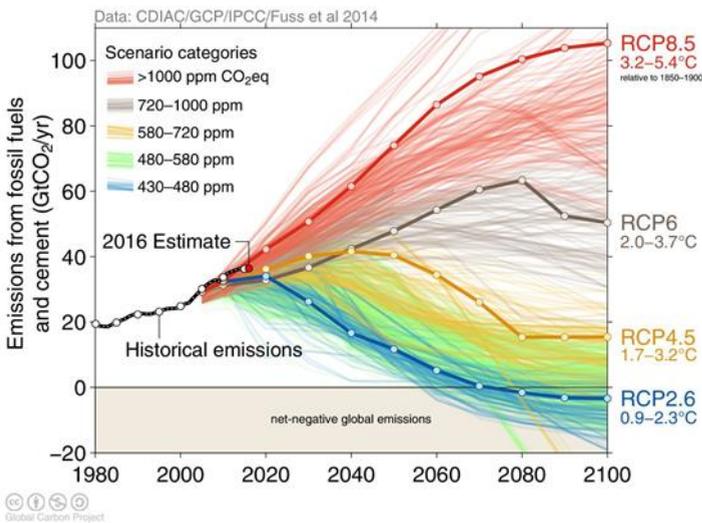


Abb. 2: Historische CO₂-Emissionen seit 1980 (schwarze Linie) und Emissionsszenarien bis 2100. Die Zahlen rechts geben die zu erwartenden Änderungen der globalen oberflächennahen Durchschnittstemperatur an. Die Farben geben die zu erwartenden atmosphärischen CO₂-Konzentrationen an. Negative Emissionen bedeuten, dass man mehr CO₂ aus der Atmosphäre entfernt als man emittiert. Quelle: Global Carbon Project. Fuss et al 2014; CDIAC; ILASA AR5 Scenario Database; Global Carbon Budget 2016

Wir stehen heute vor ganz neuen Herausforderungen. Beim Klimawandel handelt es sich um ein so genanntes systemisches Risiko. Wir leben in einer Zeit beschleunigter technologischer und gesellschaftlicher Entwicklung sowie einer zunehmenden globalen Vernetzung in Wirtschaft, Kommunikation, Politik und Kultur. Einfache Ursache-Wirkung Prinzipien gelten nicht mehr. Ein als harmlos eingeschätztes Ereignis kann selbst über große Entfernungen oder nach einer langen Zeit ungeahnte Schäden entfalten, die die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems gefährden. Erinnern wir uns an das Ozonloch über dem Südpol, das man Anfang der 1980iger Jahre entdeckte. Kein Wissenschaftler hatte es vorhergesagt, obwohl die ozonzerstörende Wirkung der FCKWs⁴ schon lange bekannt gewesen war. Ein Beispiel aus der jüngeren Vergangenheit ist die letzte große Finanzkrise, die, ausgelöst durch die Immobilienblase in den USA, zu einer weltweiten Rezession geführt hat. Vorherzusehen war das nicht ohne weiteres. Genauso wenig, wie die Wissenschaft die Folgen eines ungebremsten Klimawandels genau genug berechnen kann. Denn systemische Risiken sind durch ein hohes Maß an Komplexität, Ungewissheit und Ambiguität gekennzeichnet. Im Umgang mit systemischen Risiken kommt dem Vorsorgeprinzip eine große Bedeutung zu. Und es gilt dieses in praktische Maßnahmen umzusetzen. Das zu leisten wäre Aufgabe der Politik.

Die beste Strategie zur Lösung des Klimaproblems besteht darin, das Übel an der Wurzel zu packen: Wenn wir ein Problem mit dem CO₂ haben, und darüber besteht überhaupt kein Zweifel mehr, sollten wir es gar nicht erst nicht entstehen lassen. Wir sollten uns nicht auf unsichere Pfade begeben. Technische Lösungen zur Bewältigung des Klimaproblems beispielsweise sind keine Option. Derartige „Climate Engineering“-Methoden⁵ scheinen vordergründig attraktiv zu sein, würden sie doch ein „weiter so wie bisher“ erlauben. Wir könnten auch weiterhin die fossilen Brennstoffe zur Energiegewinnung verfeuern. Die vorgeschlagenen Techniken bergen jedoch enorme ökologische Risiken und erfordern darüber hinaus einen gewaltigen finanziellen Aufwand. Derartige Maßnahmen müssten u. U. über Jahrhunderte, vielleicht sogar Jahrtausende, fortgesetzt werden, um eine spontane Wiedererwärmung der Erde zu verhindern. Ein Beispiel in diesem Zusammenhang wäre das Einbringen von Schwefelsubstanzen in die Atmosphäre zur Kühlung des Planeten. Mit dem Stopp der Maßnahme würde die Erde beginnen sich erneut zu erwärmen, weil die Wirkung der Treibhausgase immer noch vorhanden wäre. Die mit dem Begriff CCS („Carbon Capture and Storage“) belegte Abscheidung und Speicherung von CO₂ ist ebenfalls kaum erforscht, und auch dieser Vorschlag birgt enorme ökologische Risiken. Außerdem würde der Wirkungsgrad der Kraftwerke wegen des hohen zusätzlichen Energiebedarfs deutlich sinken. Und schließlich, wir verstehen die komplexen Vorgänge im Klimasystem nicht gut genug, um unausgegorenen Vorschlägen zu folgen und mit der Erde herum zu experimentieren.

⁴ FCKW: Fluorchlorkohlenwasserstoffe

⁵ Siehe <http://www.spp-climate-engineering.de/>

Sinnvolle Alternativen dazu existieren. Wir müssen die weltweiten Energiesysteme weitgehend kohlenstofffrei bekommen. Die Weltwirtschaft umbauen in die Richtung der erneuerbaren Energien. Sonnen- und Windenergie stehen uns praktisch unbegrenzt zur Verfügung. Die Techniken zu deren Nutzung existieren und können systematisch weiter entwickelt werden. Der Umbau der Weltwirtschaft kann allmählich über Jahrzehnte erfolgen. Die volkswirtschaftlichen Kosten wären in so einem Szenario nicht relevant. Im Gegenteil, auf lange Sicht würde ein Land wie Deutschland davon profitieren.

Energiewende – Motivation, Chancen und Risiken

Eberhard Umbach
Universität Würzburg

Die großen globalen Herausforderungen

Die deutsche Energiewende hat Vieles mit dem Apolloprojekt der US-Amerikaner in den 1960er Jahren gemeinsam. Sie ist ein äußerst ehrgeiziges und teures Projekt, langfristig angelegt und mit ungewissem Ausgang, aber im Erfolgsfall wegweisend und gesellschaftsverändernd. Im Gegensatz zum Apolloprojekt wird die Energiewende jedoch mehrere Jahrzehnte benötigen, viel größere Kraftanstrengungen von allen Bürgern, von Wirtschaft und Politik verlangen und international sehr viel größere Auswirkungen haben; sie ist vor allem weniger ein außenpolitisch und wissenschaftlich motiviertes Prestigeobjekt als vielmehr ein von hohem Verantwortungsbewusstsein getragenes Unternehmen, das einen großen Einfluss auf die zukünftige Entwicklung unseres Planeten haben wird, im Erfolgsfall genauso wie im Falle eines Misserfolgs. Um die Dimension der Herausforderung abschätzen zu können, sollte man vielleicht zuerst einen Blick auf den größeren Kontext, die Vielfalt der globalen Herausforderungen, werfen.

Langfristig dürfte das **exponentielle Wachstum** der Weltbevölkerung die vermutlich größte Herausforderung darstellen. Die derzeit gut 7 Milliarden Menschen nehmen jährlich um weitere ca. 80 Millionen zu, so dass wir 2050 bereits 11 Milliarden Menschen mit **Nahrungsmitteln**, **sauberm Wasser** und **Energie** versorgen und uns um ihre **Gesundheit** einschließlich der Mangelkrankungen, Epidemien und Volkskrankheiten kümmern müssen. Die genannten Herausforde-

rungen sind natürlich miteinander gekoppelt, und ihre Bewältigung hängt entscheidend von der regionalen und globalen **politischen Stabilität** sowie von ideologischen, kulturellen und religiösen Entwicklungen ab. Die letztgenannte Problematik schien uns bis vor kurzem eher theoretischer Natur zu sein bzw. wegen der großen Distanzen zu den Problemzonen wenig zu tangieren. In den letzten Jahren wurden wir aber aufgrund der wachsenden Häufigkeit und Virulenz regionaler Konflikte und in den letzten Jahren infolge der zunehmenden Flüchtlingsmigrationen zunehmend involviert. Wenn man die Berichte und Diskussionen in den Medien derzeit verfolgt, erscheint gerade die Flüchtlingsproblematik als schwer lösbare Herausforderung, dabei werden die auslösenden Probleme in den verschiedenen Regionen der Erde eher stark zu- als abnehmen, so dass die derzeitigen Entwicklungen nur einen kleinen Vorgeschmack auf die Herausforderungen der Zukunft erlauben.

Der gesamte Druck auf unsere globale Gesellschaft wird einem allerdings erst dann klar, wenn man auch die anderen Herausforderungen einbezieht: den rapiden Verbrauch von (leicht) zugänglichen **natürlichen Ressourcen**, den **Schutz unserer Umwelt** und die Beschränkung der anthropogenen **Klimaveränderungen**. In Anbetracht der zuerst genannten Herausforderungen mögen diese Aspekte manchem als Luxusprobleme erscheinen, aber hier gilt wegen der langen Zeitskalen und der Unumkehrbarkeit mancher Entwicklungen die gleiche Prioritätensetzung. Wenn wir bei Klima, Umwelt und Ressourcen nicht rechtzeitig, im Klartext: jetzt, reagieren, dann werden Chancen vermutlich irreparabel und unwiederbringlich vertan.

Eine Gewichtung der Herausforderungen verbietet sich, zumal diese miteinander korreliert sind. Es lässt sich aber unschwer ableiten, dass die sichere und kostengünstige Versorgung mit umwelt- und klimafreundlicher Energie ein - vielleicht sogar das - Schlüsselement bei der Bewältigung der genannten globalen Herausforderungen ist. Wenn es uns nicht gelingt, unsere gesamte Energieversorgung, d.h. die globale Energieversorgung für alle Menschen, zu sichern und zu erschwinglichen Preisen verfügbar zu machen, werden die angeschnittenen gesellschaftlichen Probleme einschließlich der Wasser-, Nahrungsmittel- und Gesundheitsversorgung eskalieren. Und wenn es uns nicht gelingt, dabei den Ressourcenverbrauch und den Ausstoß von klimaschädlichen Gasen drastisch zu beschränken und dabei umweltverträglich zu bleiben, werden wir unseren Nachkommen eine Welt mit vielleicht kaum noch lösbaren Problemen vererben.

Motivation für die deutsche Energiewende

Als verantwortungsbewusster und zukunftsorientierter Bürger muss man in Anbetracht der Größe der Herausforderungen eigentlich zum Schluss kommen, dass wir die Probleme mit aller Kraft anpacken müssen, vor allem diejenigen Probleme, bei denen wir unmittelbar etwas tun können oder sogar direkt betroffen sind.

Dazu gehören eine verantwortungsbewusste Außen- und Sicherheitspolitik, die Entwicklung und Bereitstellung von Gesundheits-fördernden Maßnahmen und Mitteln besonders für die armen Regionen, die Förderung einer flächendeckenden Versorgung mit Nahrungsmitteln und sauberem Wasser, die Reduktion unseres Ressourcenverbrauchs durch Einsparung oder Substitution, usw., um nur ein paar Punkte zu nennen. Dazu gehört auch der Umbau unseres Energiesystems, weg von der klima- und umweltschädlichen und ressourcenverbrauchenden Verbrennung fossiler Brennstoffe hin zu alternativen Energiequellen und weg vom hohen pro Kopf Energieverbrauch zu moderateren und international vergleichbaren Verbrauchszahlen durch Einsparung und Effizienzsteigerung.

Deutschland hat die diesbezüglichen Signale in der Tat relativ frühzeitig wahr- und ernstgenommen. Die Warnungen des Club of Rome vor den „Grenzen des Wachstums“ im Jahr 1972 wurden zum Beispiel hierzulande eingehend diskutiert und in der Folgezeit sukzessive bei politischen Überlegungen und Maßnahmen berücksichtigt. Auch die bereits in den 70er Jahren aufkommende Diskussion einer Bedrohung durch den anthropogenen Klimawandel, vor dem beispielsweise die Deutsche Physikalische Gesellschaft bereits 1987 gewarnt [1] und den sie 1995 wissenschaftlich analysiert hatte [2], hat sich in Deutschland erstaunlich schnell in politischen Maßnahmen niedergeschlagen. Bereits 1995 gab es dazu einen Kabinettsbeschluss mit sehr ehrgeizigen CO₂ Reduktionszielen für 2005 (-25% im Vergleich zu 1990), die allerdings grandios verfehlt wurden. Die im nächsten Kapitel zu diskutierenden Ziele und Maßnahmen der Bundesregierung und die diesbezüglichen Beschlüsse und Verordnungen von Bundestag, Landtagen, Bundes- und Landesregierungen haben dann seit 2010 eine Energiewende eingeleitet, die international in ihrer Radikalität und Konsequenz einmalig ist.

Vor dem Hintergrund der anderen großen Herausforderungen und im Vergleich zur Bedeutung des deutschen Wirtschafts- und Energiesystems im internationalen Kontext stellen sich einem allerdings sofort drei grundsätzliche Fragen.

Zum ersten ist es nicht von vornherein klar, ob die derzeitige Prioritätensetzung der Zahl und dem Gewicht der großen globalen Herausforderungen gerecht wird. In anderen Worten: man muss die Frage stellen, ob die sehr große politische und gesellschaftliche Aufmerksamkeit und der enorme Mitteleinsatz, die wir derzeit der Energiewende widmen, in Anbetracht der anderen Herausforderungen angemessen ist oder ob die Effizienz bei der Lösung der globalen Probleme nicht durch eine gewisse Gewichtsverlagerung gesteigert werden könnte. Plakativ gesprochen würde das bedeuten, dass man beispielsweise einen Teil der Milliarden, die wir als Gesellschaft in den Ausbau bzw. die Subventionierung Erneuerbarer Energien stecken, zum Beispiel zur Unterstützung regionaler Projekte in Problemzonen verwendet, um auf diese Weise den Menschen dort zu helfen und den Migrationsdruck zu verringern. Abgesehen davon, dass ein solcher Schwenk eine eingehende und langwierige gesellschaftliche Diskussion voraussetzt und durch die vorhandenen Randbedingungen vermutlich stark eingeschränkt wäre, ist auch

nicht klar, ob er die gewünschte Effizienzsteigerung bewirken würde. Die Frage sollte aber bei künftigen so weitreichenden Beschlüssen wie den Maßnahmen zur Erreichung der Energiewende (z.B. das Erneuerbare Energien Gesetz, kurz EEG) gestellt werden.

Zum zweiten müssen wir uns die Frage gefallen lassen, ob unsere Energiewende auf der globalen Skala überhaupt eine Rolle spielt, da wir in Deutschland nur etwa 2,5 % des Weltenergiebedarfs verantworten und nur für etwa 2,5 % der CO₂ Emissionen zuständig sind. Dabei ist unser Anteil tendenziell deutlich fallend, nicht etwa weil wir so sparsam mit der Energie umgehen oder die Erneuerbaren Energien so stark ausbauen, sondern vor allem weil in anderen Regionen der Erde Energiebedarf und damit CO₂ Ausstoß aufgrund der Entwicklung von Bevölkerung und Wirtschaft drastisch zunehmen. Lohnt es sich also überhaupt, dass wir in Deutschland so viel Mühe und Geld investieren, um eine rasche Energiewende herbeizuführen?

Die Antwort auf diese Frage ist ein eingeschränktes „Ja“. Ja, es ist für uns von großem Vorteil, wenn wir unser Energiesystem nachhaltiger gestalten und uns unabhängiger von Öl-, Gas- und Kohleimporten machen. Ja, es ist auch für uns von Vorteil, wenn wir umweltfreundliche Technologien zur Energieversorgung und Mobilität einsetzen und wenn wir signifikant Energie einsparen. Ja, wir können auch einen sehr großen Beitrag zum Klimaschutz liefern, allerdings nicht durch eine Reduktion unserer eigenen CO₂ Emissionen um 80%, wie es bis 2050 geplant ist, sondern nur dadurch, dass unsere Energiewende auf ganzer Linie erfolgreich und damit beispielgebend ist. Nur wenn wir unsere sehr ehrgeizigen Ziele einigermaßen erreichen und dabei unsere Versorgungssicherheit nicht aufs Spiel setzen und nur wenn wir das Ganze zu moderaten und wettbewerbsfähigen Energiepreisen schaffen, werden uns andere Länder folgen. Nur dann wird der globale Verbrauch fossiler Rohstoffe signifikant sinken, nur dann werden die globalen CO₂ Emissionen begrenzt. Und nur dann haben wir mit unserem technischen und gesellschaftlichen Know-how zur Bewältigung von Energiewenden einen Exportartikel, der unserer Wirtschaft hilft und uns als Pioniere mit Stolz erfüllen kann. Dazu muss allerdings die Energiewende wirklich funktionieren und müssen die Kosten für das ganze Energiesystem (nicht nur für einzelne Komponenten) in vernünftigem Rahmen bleiben. Und die Wende muss von Wirtschaft und Zivilgesellschaft nicht nur mitgetragen, sondern aktiv mitgestaltet und unterstützt werden. Davon sind wir jedoch noch weit entfernt.

Zum dritten wird immer wieder in Frage gestellt, ob es überhaupt einen anthropogenen, also von uns Menschen verursachten Klimawandel gibt. Bisweilen wird sogar bezweifelt, dass überhaupt ein Klimawandel stattfindet. Da dieses Thema als Motivation für die Energiewende und in der diesbezüglichen Diskussion eine zentrale Rolle spielt, sollen im Folgenden einige wichtige Argumente zusammengefasst werden.

CO₂ Emissionen

Es ist unbestritten und durch ausreichend Messwerte eindeutig belegt, dass der Anstieg der globalen CO₂ Emissionen in die Atmosphäre seit etwa 70 Jahren jedes Jahr drastisch zunimmt (siehe Abb.1). Die Emissionen belaufen sich derzeit auf über 40 Gigatonnen CO₂ pro Jahr, wodurch sich der Mittelwert des CO₂ Gehalts in der Atmosphäre in den letzten 100 Jahren in etwa verdoppelt hat und heute deutlich höher liegt als in den letzten 500.000 Jahren (z.B. aus der Zusammensetzung von Bohrkernen kann man ungefähr 500.000 Jahre „zurückblicken“).

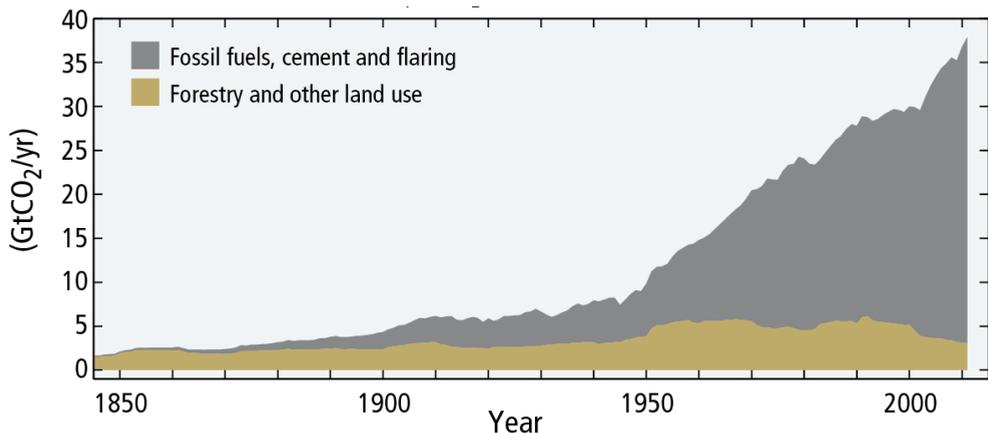


Abb.1: Globale CO₂ Emissionen in Gigatonnen pro Jahr (aus IPCC 4th Assessment Report 2007, Working Group 1)

Dabei machen die Emissionen aus Verbrennung zur Erzeugung von Nutzenergie, aus der Zementherstellung und aus der Öl- und Gasförderung mehr als 90 % aus (grau hinterlegte Kurve), während die anderen CO₂ Emissionen, z.B. aus der Landnutzung, seit 100 Jahren etwa gleich geblieben sind bzw. in den letzten Jahren sogar abgenommen haben [3].

Klimawandel

Nicht ganz so eindeutig, aber immer noch mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit belegt, ist die Feststellung eines fortschreitenden Klimawandels, also eines Anstiegs der bodennahen Luft- und der oberflächennahen Wassertemperatur mit allen daraus erwachsenden Folgen [4]. Solche Folgen sind beispielsweise das Abschmelzen der Gletscher und der polaren Eiskappen, der u.a. damit verknüpfte Anstieg des Meeresspiegels, die Zunahme von Extremwetterlagen in manchen Erdregionen, Veränderungen von Wind- und Meeresströmungen sowie sehr signifikante regionale Klimaänderungen bis hin zum drastischen Rückgang der Niederschläge in manchen Regionen oder zum drastischen Anstieg von Niederschlägen in anderen. Solange sich solche Änderungen in Grenzen halten, kann man sich

durch Anpassung darauf einstellen. Jedoch besteht nach allen, dem Autor bekannten Klimamodellen die große Gefahr, dass sich der derzeitige globale Temperaturanstieg fortsetzt und bis zum Jahr 2100 Werte zwischen 2° und 7° C im Vergleich zum Beginn des letzten Jahrhunderts annimmt. Während 2° von den meisten Fachleuten als gerade noch erträglicher Anstieg angesehen wird, ist man sich weitgehend darüber einig, dass höhere Temperaturanstiege für Fauna und Flora katastrophale Folgen haben würde und zum Artensterben, zu Hungersnot, Wassermangel und damit zur Unbewohnbarkeit großer Regionen der Erde führen würde. Die Folgen beispielsweise bezüglich politischer Stabilität und Migrationsbewegungen sind kaum abzusehen [3,4].

Der Klimawandel und vor allem die Vorhersage seiner künftigen Entwicklung werden jedoch von Klima(wandel)skeptikern stark in Zweifel gezogen bzw. verneint. Wichtige Argumente sind dabei a) die bisherige, relative geringe Temperaturerhöhung von ca. 0,6° - 0,7° C in den letzten 100 Jahren (je nach Bezugsdatum), b) eine unzureichende Messsituation (z.B. eine ungleiche Verteilung der Temperatur-Messpunkte auf der Erde oder die Nichtverfügbarkeit von repräsentativen Messungen der Wassertemperatur in mehr als 30 Jahre zurückliegenden Zeiten), c) die Stagnation des (globalen) Temperaturanstiegs in der letzten Dekade (im Gegensatz zum stetig steigenden CO₂ Gehalt), und d) die generelle Unzuverlässigkeit von Klimamodellen, die sehr komplexe, teilweise nicht gut verstandene Zusammenhänge zu modellieren versuchen, um daraus eine Entwicklung weit in die Zukunft hinein zu prognostizieren.

Ad a) und b) Obwohl man die beiden ersten Punkte als Kritik anerkennen muss (sie lassen sich nur sukzessive verbessern), sind sie jedoch in ihrer Aussage bereits heute sehr signifikant [4]. Ein Temperaturanstieg von 0,6° C in 100 Jahren ist viel, auch im Kontext der Temperaturveränderungen, mit denen unser Planet in den vergangenen 600.000 Jahren fertig werden musste. Beeindruckend ist dabei vor allem der Energieeintrag in die Ozeane (siehe Abb.2), den wir zwar erst seit ca. 30 Jahren hinreichend gut erfassen können, der aber aufgrund seiner enormen Kapazität als Wärmespeicher weitreichende und vor allem langfristige Folgen haben sollte und entscheidend zur Trägheit des Klimasystems beiträgt.

Ad c) Die Stagnation des Temperaturanstiegs in der letzten Dekade ist dagegen kein überzeugendes Argument, denn der Temperaturanstieg hat im Verlauf der Jahrtausende immer Oszillationen gezeigt. Das Klima ist eben eine sehr komplexe Angelegenheit, bei der viele Effekte auf unterschiedlichen Zeitskalen zusammenwirken und größere Schwankungen der messbaren Parameter auf der Zeitskala von mehreren Jahren bewirken können. Entscheidend ist also nicht der Mittelwert eines Jahres sondern der Trend über viele Jahre hinweg. Diesen sieht man besser, wenn man jeweils Mittelwerte über mehrere Jahre bildet und diese als Funktion der Zeit betrachtet. Dies ist in Abb.3 gezeigt, die sowohl den Mittelwert jeweils eines Jahres als auch den über jeweils 10 Jahre als Zeitreihe darstellt und den kontinuierlichen Anstieg der letzten 3-4 Jahrzehnte verdeutlicht.

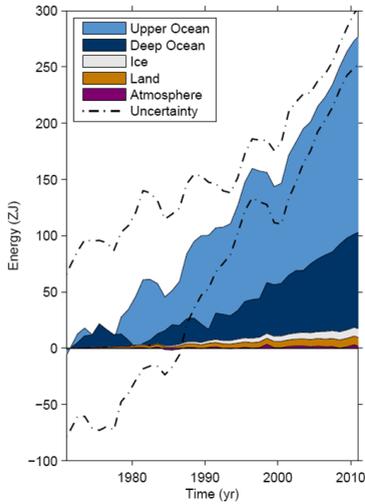


Abb. 2: Energieeintrag in erdoberflächennahen Schichten (aus IPCC 5th Assessment Report 2013, Working Group 1, Fig. 3.1-1)

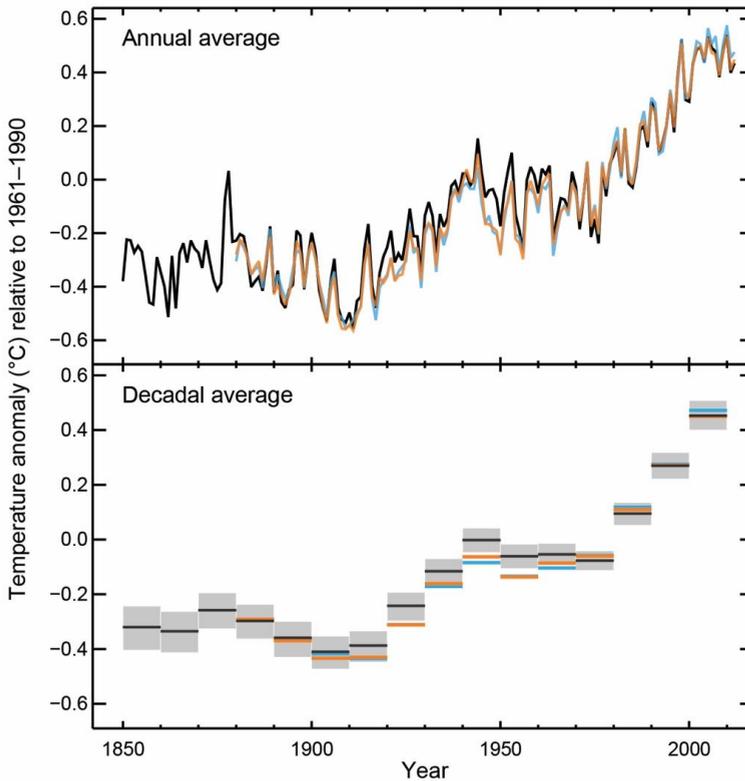


Abb. 3: Globaler Temperaturanstieg der letzten 150 Jahre im Jahres- und im 10-Jahresmittel (aus IPCC 5th Assessment Report 2013, Working Group 1, Fig. SPM-01)

Ad d) Schließlich die Klimamodellrechnungen: Natürlich sind solche Modellrechnungen problematisch, weil sie ein sehr komplexes, nur teilweise verstandenes, nicht deterministisches System quantitativ abzubilden versuchen und dabei weit in die Zukunft blicken wollen. Aber leider haben wir im Moment nichts Besseres. Zwei Argumente erhöhen die Glaubwürdigkeit, auch wenn wir uns letztendlich die Beschränktheit der Aussagen von Modellrechnungen eingestehen und mit den Resultaten entsprechend vorsichtig umgehen müssen. Argument 1: Obwohl es eine Vielzahl von verschiedenen Modellrechnungen mit unterschiedlichen Ansätzen, Gewichtungen und Zusammenhängen gibt, so stimmen sie doch in ihren qualitativen Aussagen inzwischen ziemlich gut überein, und die Übereinstimmung hat mit der Weiterentwicklung der Modelle stark zugenommen. Argument 2: Die Modellrechnungen versuchen zuallererst immer, die bereits bekannte und durch Messdaten belegte Entwicklung in der Vergangenheit zu beschreiben. Das gelingt mit der Weiterentwicklung der Modelle immer besser, auch wenn man wohl mit einer gewissen Bandbreite von Abweichungen auch in Zukunft rechnen muss.

Treibhauseffekt

Bei diesem Thema, also vor allem bei der Frage, inwiefern die erhöhten CO₂ Emissionen zur globalen Erwärmung beitragen, gehen die Meinungen am weitesten auseinander. Letztlich ist diese Frage aber entscheidend dafür, ob der Klimawandel von uns Menschen zu verantworten ist, also anthropogen ist, oder eher nicht. Und in der Folge hängt natürlich auch die Entscheidung für eine Energiewende mit Schwerpunkt „Dekarbonisierung“ entscheidend davon ab. Die weit überwiegende Zahl der Fachleute geht aber mittlerweile davon aus, dass der Treibhauseffekt entscheidend zur globalen Temperaturerhöhung und damit zum Klimawandel beiträgt. Das wird inzwischen durch eine große Anzahl von Publikationen gestützt, so dass die zusammenfassenden Aussagen des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2014 von einer hohen Wahrscheinlichkeit für die Richtigkeit dieser Aussage ausgehen.

Aus der Zahl der kritischen Argumente sollen nur zwei exemplarisch herausgegriffen werden. Zum einen wird argumentiert, dass die Atmosphäre im Gegensatz zum echten Treibhaus ein offenes System darstellt, dessen Strahlungs- und Konvektionsbilanz deshalb sehr viel komplexer zu behandeln ist und das weder einer hinreichenden theoretischen Beschreibung noch einem direkten Experiment zugänglich ist. Auch wenn diese Argumentation nicht ganz von der Hand zu weisen ist, mehren sich doch im Laufe der Zeit die Indizien und indirekten Beweise, dass ein direkter Zusammenhang zwischen der Konzentration der Treibhausgase (neben CO₂ auch Methan, Distickstoffoxid, Schwefel und Wasserdampf) und dem globalen Temperaturanstieg besteht, dass also ein Treibhauseffekt auch in der (offenen) Atmosphäre, wenn auch in abgewandelter Form existiert.

Zum anderen argumentieren Skeptiker des Treibhauseffekts gerne mit dem Befund, dass die Korrelation zwischen dem Anstieg oder der Abnahme der globalen mittleren Temperatur und der entsprechenden CO₂ Konzentration ziemlich

schwach ausgeprägt ist bzw. nicht den (einfachen) Erwartungen entspricht. Das gilt für die langfristigen Veränderungen in den zurückliegenden 600.000 Jahren ebenso wie für die gegenwärtige Situation, bei der eine glatte, monoton und nahezu exponentiell ansteigende Konzentration aller Klimagase mit einem sehr stark schwankenden, bei weitem nicht so eindeutigen und monotonen Temperaturanstieg (vgl. Abb.3) verglichen werden muss. Die Ursachen für die Abweichungen sind vielfältig und bei weitem nicht alle verstanden. Sie hängen vor allem mit der Komplexität des Klimasystems und seinen sehr langen Reaktionszeiten zusammen, werden aber von den Modellrechnungen teilweise gut beschrieben.

Was ist das Fazit aus diesen bewusst kritisch angelegten Überlegungen?

Erstes Fazit ist, dass wir mit allen uns zu Gebote stehenden Mitteln das Klima weiter erforschen müssen und die Ergebnisse – wie in der Wissenschaft üblich – im internationalen Wettbewerb und in vielfältigen Kooperationen weiterentwickeln und kritisch diskutieren müssen. Eine (weitergehende) Einbeziehung der Öffentlichkeit in Informationen und in Diskussionen ist nicht nur gewünscht, sondern bei einem Thema dieser gesellschaftlichen Relevanz unerlässlich. Jedoch sollten Wissenschaftler sich hüten, Wahrscheinlichkeiten als Wahrheiten zu verkaufen, Horrorszenarien zu verbreiten und diskutabile Erkenntnisse ex cathedra als Gewissheiten zu verkünden. Die Glaubwürdigkeit der Wissenschaft könnte vor allem mittelfristig sehr darunter leiden, was insbesondere dann, wenn wir einen langen Atem brauchen, zu kritischen (Gegen)Reaktionen der Öffentlichkeit führen kann.

Zweites Fazit ist: Zwar wissen wir Vieles rund um das Thema Klima und Klimawandel noch nicht oder noch nicht ausreichend genau und können bei weitem noch nicht alle Kritikpunkte mit voller Überzeugungskraft ausräumen, aber wir sehen uns mit ständig zunehmender Wahrscheinlichkeit in den klimarelevanten Folgerungen und Befürchtungen bestätigt. Das zeigen unter anderem die unzähligen Publikationen in den Fachjournalen, die in den alle ca. fünf Jahre veröffentlichten Analysen und Berichten des IPCC zusammengefasst werden. Es ist natürlich kein Beweis aber ein ganz starkes Indiz für die Richtigkeit der Klimawandelhypothese, dass die weit überwiegende Mehrheit der Klimafachleute heute in den Kernaussagen weitgehend übereinstimmt.

Drittes und wichtigstes Fazit: Selbst wenn der letzte Beweis für den anthropogenen Klimawandel noch aussteht und noch längst nicht alle Fragen mit Sicherheit beantwortet werden können, dürfen wir nicht abwarten, sondern müssen schnell und nachhaltig handeln, also die Energiewende mit aller Kraft fortsetzen und bestmöglich zum Erfolg führen. Denn das Klimasystem reagiert extrem träge, so dass Änderungen, die wir heute hervorrufen, erst in mehr als 50 Jahren ihre

volle Auswirkung entwickeln. Das bedeutet, dass der heutige Anstieg der Treibhausgase erst dann seine volle Wirkung entfaltet, wenn es zu spät ist, mit normalen Maßnahmen (z.B. Reduktion der Treibhausgase) gegenzusteuern. Unsere Verantwortung für künftige Generationen gebietet es uns deshalb, als Vorsichtsmaßnahme alles aus heutiger Sicht Notwendige zu tun, um beispielsweise den CO₂ Anstieg zu stoppen. Das gilt selbst dann, wenn wir vom Treibhauseffekt nicht überzeugt sein sollten.

Die Frage ist also nicht mehr, ob wir die Energiewende durchziehen sondern wie wir das tun. Und auch da gehen Ziele, Konzepte und Meinungen weit auseinander.

Die deutsche Energiewende

Entwicklung

Wenn man Bürger befragt, welche Ziele die deutsche Energiewende hat, fallen ihnen meist zuerst der Ausstieg aus der Kernenergie und sodann der Ausbau der Erneuerbaren Energien und vielleicht noch der Klimaschutz ein. Weniger häufig werden die künftige Versorgungssicherheit und die Schonung der natürlichen Ressourcen genannt. Durch Gesetze eindeutig definierte Ziele sind jedoch nur die beiden Erstgenannten, wobei der Ausbau der Erneuerbaren Energien per se eigentlich kein Ziel sondern eine Maßnahme darstellt, die es erlauben soll, die Ziele Klimaschutz und Ressourcenschonung möglichst schnell zu erreichen. Der Beginn der Energiewende wird von den meisten Bürgern mit dem Erdbeben und Tsunami im März 2011 in Japan und der daraus resultierenden Nuklearkatastrophe in Fukushima assoziiert, obwohl Energiewenden in Deutschland schon viele Jahre vorher Konjunktur hatten und der Hauptteil des aktuellen Energiekonzepts der Bundesregierung schon seit September 2010 in Kraft ist.

In der Tat hatte bereits 1995 die damalige schwarz-gelbe Bundesregierung sehr ambitionierte Klimaziele proklamiert (25% weniger CO₂ Emissionen bis 2005 bezogen auf 1990; siehe oben), die im Koalitionsvertrag der rot-grünen Koalition von 1998 und im nationalen Klimaschutzprogramm von 2000 bestätigt, aber schließlich weit verfehlt wurden. Im selben Zeitraum wurde das Stromeinspeisungsgesetz von 1990 durch das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) ersetzt, und die Regierung einigte sich mit den Betreibern der Kernkraftwerke, diese sukzessive bis spätestens 2024 nach Produktion vorgegebener Reststrommengen abzuschalten.

Die ambitionierteste und in weiten Teilen immer noch gültige Energiewende wurde jedoch erst im September 2010 von der Bundesregierung eingeleitet. Sie sieht eine lange Liste von genau festgelegten Einzelzielen (gut 30) vor, die im Zeitraum bis 2050 Schritt für Schritt erreicht werden sollen. Dieses extrem ehrgeizige und ungewohnt detaillierte Energiekonzept beschreibt den deutschen Weg in das

regenerative Zeitalter und beruht auf zwei Säulen, der Energieeinsparung (z.B. Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 50 % und des Stromverbrauchs um 25 % bis 2050) und dem Ausbau der Erneuerbaren Energien (60 % Anteil am Bruttoendenergieverbrauch und 80-95 % Anteil am Bruttostromverbrauch bis 2050), alle Entwicklungen bezogen auf 2010. Damit soll u.a. eine Reduktion der CO₂ Emissionen um 80 % bis 2050 (nur hier bezogen auf 1990) erreicht werden. Nach diesem Konzept sollte noch im September 2010 der Kernenergie die Rolle einer Brückentechnologie zufallen, um Spielraum bei der Transformation des Energiesystems zu gewinnen und die Strompreise niedrig zu halten. Deshalb wurden auch die Laufzeiten der Kernkraftwerke (KKW) zunächst verlängert. Bekanntlich kam es aber anders, denn nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima im März 2011 musste die Laufzeitverlängerung der KKW aufgrund des öffentlichen Drucks zurückgenommen werden. Die Hälfte der deutschen KKW ging nach Fukushima gar nicht mehr ans Netz, die andere Hälfte wird nach Produktion ihrer jeweiligen Reststrommengen bis 2022 abgeschaltet. Alle anderen Einzelziele der Energiewende von 2010 sollen jedoch ohne Brückentechnologie immer noch erreicht werden.

Ziele, Maßnahmen und Zielkonflikte

Warum machen wir diese großen Anstrengungen eigentlich, was sind die übergeordneten Ziele? Denn die genannten Einzelziele sind nur Meilensteine und Eckpunkte eines Energiekonzepts, das eine bestimmte Vision verfolgt. Diese Vision speist sich im Wesentlichen aus zwei übergeordneten Zielen, dem Ausstieg aus der Kernenergie und dem Klimaschutz, die von zwei weiteren, als notwendige Voraussetzung angesehenen Zielen, der Versorgungssicherheit und der Wirtschaftlichkeit flankiert werden.

Wenn man den Ausstieg aus der Kernenergie als gesetzt und damit als harte Randbedingung ansieht, bleiben als sogenanntes Zieldreieck die Ziele Klimaschutz, Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit. Der Ausstieg aus der Kernenergie sollte möglichst nicht mehr in Zweifel gezogen werden, da die Ablehnung der Kernenergie und die Angst vor nuklearen Problemen in Deutschland so groß ist wie nirgendwo und weil man den mittlerweile großen gesellschaftlichen Konsens nicht mehr durch erneute ideologisch Debatten stören sollte.

Unsere Energiewende wird also vor allem durch das Ziel motiviert, die Emission von Klimagasen drastisch zu reduzieren, wobei die beiden anderen Ziele des Zieldreiecks, die kurz- und langfristige Versorgungssicherheit und die Wirtschaftlichkeit bzw. die Bezahlbarkeit eine ebenso große Rolle spielen. Das Zieldreieck ist allerdings unscharf definiert. Es taucht weder in den Gesetzen oder Verordnungen auf, sondern wird meist nur in den politischen Begründungen oder in den Präambeln der Gesetze mehr oder weniger konkret erwähnt. Noch schwerer wiegt, dass die drei Ziele nicht priorisiert sind, dass also die Rangfolge ihrer Wichtigkeit nicht festgelegt ist. Demzufolge sind auch die Maßnahmen nur ungefähr mit den Zielen in Einklang, es treten zunehmend Zielkonflikte auf und Einzelziele werden nicht

erreicht. Da außerdem bei der Kommunikation über den Fortgang der Energiewende alle Einzel- und Hauptziele gleichrangig behandelt werden und über eine Priorisierung sowie über die temporäre Verfehlung von Zielen oder das Auftreten von Zielkonflikten keine Diskussion stattfindet, entsteht zwangsläufig der (falsche) Eindruck, dass die Energiewende schlecht läuft und dass ein Masterplan benötigt wird.

Drei Beispiele sollen erläutern, was unter Zielpriorisierung zu verstehen ist.

Beispiel 1: Gesetzt den Fall, dass wir den Klimaschutz, also die Reduktion des CO₂ Ausstoßes an erste Stelle setzen möchten, dann müssten wir uns primär überlegen, wie wir die fossile Verbrennung diesbezüglich optimieren, z.B. durch sehr viel stärkere Einsparungen, durch den Umstieg auf Gasturbinen (die dann viel stärker gefördert werden müssten), durch Verteuerung der Kohleverbrennung, durch die (teure) Einführung von Speichern, mehr Import in Zeiten erhöhten Bedarfs und geringer Produktion aus erneuerbaren Energiequellen (EE), usw. Wenn wir die Versorgungssicherheit nicht deutlich verschlechtern wollen, würden solche Maßnahmen einen Preisanstieg der Energiekosten zur Folge haben, der den bereits vorhandenen deutlich überträfe. Das wäre sicher schwer vermittelbar, könnte aber bei erhöhter Virulenz der Klimafrage und bei geeigneter Kommunikation die richtige Wahl sein.

Beispiel 2: Versorgungssicherheit hat höchste Priorität, gefolgt von Bezahlbarkeit, während der Klimaschutz (temporär) als drittrangig angesehen wird. Eine solche Priorisierung kann angebracht sein, um die Akzeptanz der Energiewende aufrecht zu erhalten und vor allem um andere Nationen dazu zu animieren, unserem Beispiel zu folgen. Das bedeutet im Gegensatz zum ersten Beispiel, dass man billige und zuverlässige Kohlekraftwerke extensiv weiternutzt, und dafür einen temporär höheren CO₂ Ausstoß in Kauf nimmt. Auch in diesem Fall müsste eine entsprechende Kommunikation die Priorisierung und die darauf ausgerichteten Maßnahmen und Ergebnisse offensiv begleiten.

Gegenwärtig stellt man allerdings fest, dass keine Priorisierung und keine entsprechende Kommunikation stattfinden, so dass die Verfehlung einiger, als gleichrangig wahrgenommener Einzelziele und das Auftreten von Zielkonflikten zunehmend als Defizit der Energiewende und als Versagen ihrer Protagonisten bezeichnet werden. Das liegt natürlich auch daran, dass manche Ziele unrealistisch sind oder bisher nicht mit dem nötigen Nachdruck verfolgt wurden. Hinzu kommt, dass sich das Energiesystem als äußerst komplex und manchmal unzureichend vorhersagbar erwiesen hat. Das führt neben den Zielkonflikten zu weiteren Problemen in der Entwicklung der Energiewende, die man eigentlich durch ein dynamisches Nachsteuern beheben müsste. Ein weiteres, in diesem Fall sehr relevantes reales Beispiel der Gegenwart soll diesen Themenkomplex erläutern.

Beispiel 3: Verständlicherweise ist insbesondere an Werktagen der Strombedarf zur Tageszeit am höchsten. In der Vergangenheit war deshalb auch der

Strompreis am Spotmarkt in dieser Zeit am höchsten und somit liefern zur Tagesmitte bevorzugt die sehr flexiblen, aber im Betrieb teuren Gasturbinen-Kraftwerke und verdienen wegen der hohen Preise genügend Geld. Seitdem wir in Deutschland durch den enormen Ausbau der Photovoltaik vor allem im Sommer zur Tageszeit ein hohes Angebot an Strom haben, ist der Strompreis in dieser Zeit in den Keller gerutscht. Man kann dies als Erfolg der Photovoltaik ansehen, aber es hat die negativen Folgen, dass Gasturbinen unrentabel geworden sind und zunehmend stillgelegt (und ins Ausland verkauft) werden. Da aber tagsüber erhöhter Strombedarf vorhanden ist, muss die Stromproduktion der Gasturbinen durch billigere Kohlekraftwerke ersetzt werden. Damit kann zwar der Strompreis gehalten und die Versorgungssicherheit gewährleistet werden, aber die CO₂ Emissionen haben (unter anderem deshalb) in den letzten vier Jahren signifikant zu- statt abgenommen (siehe Abb.4).

Ein aus dem niedrigen Strommarktpreis zur Tageszeit resultierender „Neben“-Effekt ist, dass wir als Verbraucher nun mehr zahlen müssen, denn infolge der fixen Einspeisevergütung nach dem EEG ist der Preis, den die Produzenten von Wind- und Solarstrom bekommen, konstant, während dieser Strom nur geringe Erlöse auf dem Markt erzielt. Die Differenz trägt bekanntlich der Verbraucher, dessen Subventionierung der Erneuerbaren Energien, auch aufgrund des Erfolgs der Photovoltaik, derzeit mit insgesamt ca. 25 Milliarden € zu Buche schlägt. Ein weiterer Nebeneffekt des niedrigen Strommarktpreises zur Tageszeit ist, dass sich auch der Betrieb der Pumpspeicher-Kraftwerke nicht mehr wirklich lohnt, denn auch diese haben zu Zeiten hohen Bedarfs, also tagsüber, bisher ihr Geld verdient und leiden unter den niedrigen Marktpreisen. Deshalb rentieren sich Investitionen in neue Speicher derzeit nicht, nicht einmal in Versuchsanlagen, und werden demzufolge unterlassen.

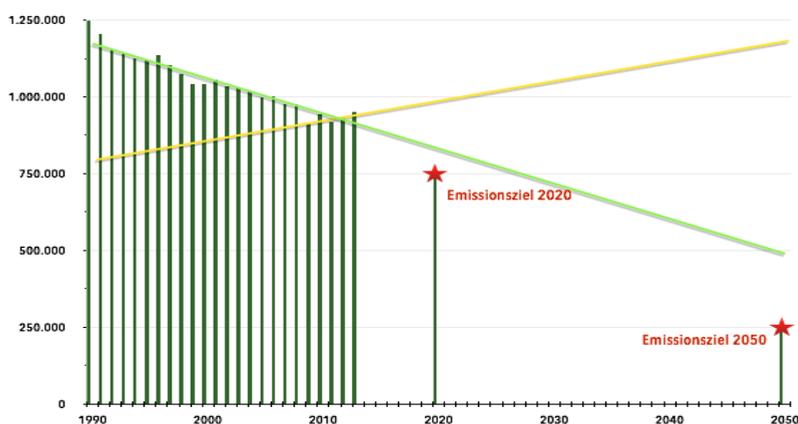


Abb. 4: CO₂ Emissionen Deutschlands in Tonnen pro Jahr für die Jahre seit 1990 sowie aktuelle Emissionsreduktionsziele aus dem Konzept der Bundesregierung (aus Ref. [6])

Als Fazit kann man überspitzt formulieren, dass das EEG als Maßnahme zwar höchst erfolgreich die Einführung der Photovoltaik gefördert, aber ungewollt leider auch zur Vernachlässigung der Ziele Klimaschutz und Wirtschaftlichkeit geführt hat. Ein dynamisches Nachsteuern oder - besser – der Ersatz des EEG durch ein modifiziertes European Trading System (ETS; Handel mit CO₂ Zertifikaten) wäre sehr wünschenswert [5].

Die Herausforderungen

Um sich die Dimension der noch bevorstehenden Herausforderungen zu vergegenwärtigen, sind noch ein paar Fakten und Vorausüberlegungen zu diskutieren. Von den zahlreichen Einzelzielen stellen vermutlich folgende drei die größten Herausforderungen dar:

- a) Reduktion der Treibhausgase um 80 % bis 2050 bezogen auf 1990;
- b) Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 50 % bis 2050 bezogen auf 2010;
- c) Anteil der Erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch von 60 % bis 2050.

Das Ausmaß dieser Herausforderungen wird einem erst klar, wenn man folgende zwei Faktenlagen einbezieht:

Zum einen muss die Verteilung des gesamten Primärenergieverbrauchs auf die einzelnen Energiesektoren betrachtet werden. Demzufolge fallen auf den Stromsektor 20 – 21 %, auf den Mobilitätssektor 30 % und auf den Wärmesektor 49 - 50 %. Es fällt auf, dass der Stromsektor, über den wir am meisten reden, wenn wir die Energiewende im Auge haben, lediglich gut 20 % ausmacht. Das ist im Übrigen auch der Sektor, auf den sich die meisten Maßnahmen (z.B. das EEG) vor allem beziehen. Die drei oben herausgestellten Herausforderungen beziehen sich aber natürlich auf das gesamte Energiesystem, also auf alle Sektoren. Das bedeutet unter anderem, dass wir den beiden anderen Sektoren Wärme und Mobilität künftig sehr viel mehr Aufmerksamkeit widmen müssen.

Zum anderen sollten wir uns den derzeitigen Energiemix des Primärenergieverbrauchs vergegenwärtigen, der in Abb. 5 dargestellt ist. Man erkennt, dass der Anteil der Erneuerbaren Energien im Jahr 2011 lediglich knapp 12 % betragen hat⁶ und dass nach wie vor die fossilen Brennstoffe stark dominieren. Das liegt natürlich daran, dass für die Wärmeengewinnung und Mobilität wie bisher überwie-

⁶ 14,6 %, Stand 2015, siehe:

http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcod=e=t2020_31&plugin=1

gend fossile Brennstoffe - Öl, Gas, Kohle, zusammen fast 80 % - verwendet werden. Die Größe der Herausforderung, nämlich vor allem die Reduktion der fossilen Verbrennung und damit die Reduktion der CO₂ Emissionen um 80 %, wird einem dabei sofort klar.

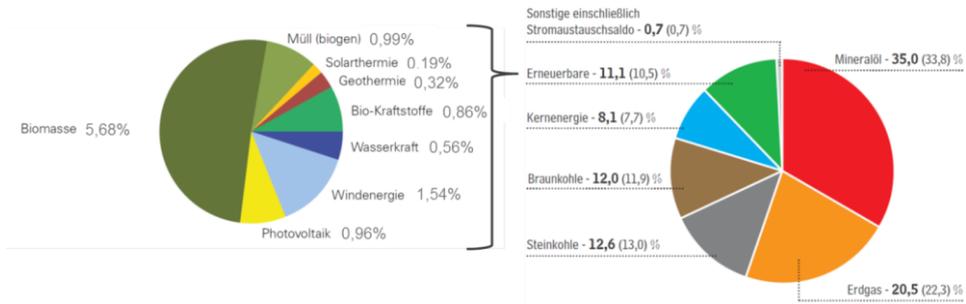


Abb. 5: Der deutsche Energiemix 2014: Primärenergieverbrauch gegliedert nach Primärenergieträgern (Anteile vom Vorjahr in Klammern) sowie die Unterteilung der Erneuerbaren Energien in verschiedene Quellen (aus Jahresbericht 2014 der AG Energiebilanzen e.V.).

Bei der Betrachtung der Erneuerbaren Energien stutzt man zuerst bei dem kleinen Anteil von 11,1 %⁷ am Primärenergieverbrauch, weil man durch die öffentliche Diskussion, die sich vor allem am Anteil der Erneuerbaren Energien im Stromsektor orientiert (derzeit 27 %, Tendenz steigend), an größere Zahlen gewöhnt ist. Da der Stromsektor aber nur ca. 20 % ausmacht, werden die tatsächlichen Relationen verständlich. Dadurch wird auch verständlich, dass die Anteile von Wind und Photovoltaik (PV) jeweils nur etwa 1,5 bzw. 1 % betragen. In Anbetracht der Diskussionen und des Aufwands bezüglich dieser Erneuerbaren Energien sowie in Anbetracht des obigen Einzelziels c) erscheinen diese Zahlen bisher noch sehr klein. Vor allem erstaunt, dass fast drei Viertel des Anteils der Erneuerbaren (Primär)Energien durch Biomasse und Abfall beigesteuert werden, was natürlich auf deren Anteil bei der Wärmeerzeugung und Mobilität zurückzuführen ist.

Wenn man die oben aufgeführten, höchst ambitionierten Einzelziele a) – c) im Kontext dieser Informationen noch einmal Revue passieren lässt, erkennt man, was wir bei unserer Energiewende noch zu leisten haben. Die Reduktion der CO₂ Emissionen auf 80 % (Einzelziel a) kann beispielsweise nur gelingen, wenn wir uns mit voller Kraft der Energieeinsparung widmen und wenn wir uns der CO₂ Reduktion in den beiden, bisher wenig diskutierten Sektoren Wärmeerzeugung

⁷ Stand vor 2014, heute 14,6%, siehe:

http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcod=e=2020_31&plugin=1

und Mobilität verstärkt widmen. Die Abb.4 lässt erahnen, wie schwer das werden wird, vor allem wenn nach der Abschaltung der Kernkraftwerke konventionelle fossile Kraftwerke einspringen müssen, die Wirtschaft (hoffentlich) auf vollen Touren läuft und die fluktuierenden Erneuerbaren Stromquellen während ihrer Ausfallzeiten (sog. „Dunkelflauten“) durch fossile Kraftwerke kompensiert werden müssen. Da der Anteil von Wind und PV bis 2050 Jahr für Jahr weiter stark zunehmen muss (siehe unten), um die Ziele – vor allem das Einzelziel c) - zu erreichen, wird das Problem der Dunkelflauten und ihrer Kompensation die CO₂ Bilanz nachhaltig verderben, wenn wir keine vernünftigen (wirtschaftlichen) Lösungen finden (siehe Kap.7).

Was vom Energieeinsparziel (Einzelziel b) zu halten ist, kann jeder Verbraucher am eigenen Leib spüren. Zwar werden die Elektro-, Heiz- oder Kühlgeräte oder die Informationstechnologie immer besser und energiesparender, aber dafür gibt es immer mehr neue Geräte, die man auch gerne hätte. Autos werden immer energiesparender (und damit emissionsärmer), dafür nimmt die Zahl der Fahrzeuge insgesamt zu und diese werden tendenziell immer größer und stärker. Und auch die Wirtschaft möchte im Idealfall expandieren und neue Märkte erschließen und hat das einfache Energieeinsparpotenzial aus verständlichen Gründen bereits in der Vergangenheit weitgehend ausgeschöpft. Die Einsparzahlen sind deshalb bisher nahe null und keineswegs ermutigend.

Die dritte der genannten Herausforderungen (c) ist möglicherweise die größte, denn sie bedeutet, dass die Erneuerbaren Energien in Zukunft verstärkt in den Sektoren Wärme und Mobilität zum Einsatz kommen müssen, so dass sie 2050 in diesen Sektoren etwa die Hälfte des Primärenergiebedarfs decken. Wenn man berücksichtigt, dass Wasserkraft und Abfallverwertung kaum ausbaubar sind, dass Geothermie aus Akzeptanzgründen und Solarthermie aus Kosten- und Effizienzgründen keine großen Steigerungsraten erwarten lassen und dass die Biomasse aufgrund des begrenzten Wachstums und der begrenzten Anbauflächen sowie aufgrund der Konkurrenz zur Nahrungsmittelversorgung lediglich eine Steigerung um maximal einen Faktor zwei verträgt, dann bleibt die Hauptlast der Versorgung durch Erneuerbare Energien dem Ausbau von Wind und Photovoltaik überlassen. Man kann leicht abschätzen, dass ein Anteil der Erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch von 60 % bedeutet, dass Wind und PV von derzeit ca. 2,5 % Anteil am Primärenergieverbrauch bis 2050 auf etwa 40 – 50 % steigen müssen. Das bedeutet, dass wir etwa 15 – 20 mal so viele Windräder und Solarpanels wie heute brauchen werden, bei verbesserter Effizienz und durch Einspareffekte vielleicht nur 10 mal so viele. Wenn man heute durch die Landschaft fährt und die vielen Windräder und Solarpanels sieht und wenn man die politischen und gesellschaftlichen Diskussionen verfolgt und die zunehmende Akzeptanzproblematik erkennt, ahnt man, was diese Herausforderung bedeutet.

Eine große Herausforderung – die fluktuierenden Stromquellen

Im vorigen Kapitel haben wir gesehen, dass der Anteil der fluktuierenden Stromquellen Wind und PV am gesamten Primärenergiemix zwar erst 2,5 % beträgt, der Anteil am Strommix jedoch schon bedeutend größer ist (ca. 27 %). Demzufolge sind die Herausforderungen, die mit intermittierenden Quellen einhergehen, bereits gut erkennbar und benötigen in manchen Regionen Deutschlands bereits jetzt technisch, ökonomisch und gesellschaftlich akzeptable Lösungen. Die Herausforderung wird im Folgenden zuerst analysiert und dann mit Lösungsansätzen diskutiert.

Abb. 6 zeigt den realen Stromverbrauch (obere Kurve) und die tatsächliche Strom einspeisung aus Wind (untere gelbe Kurve) und Photovoltaik (untere blaue Kurve) über knapp zwei Wochen in einer Region in Deutschland im Mai 2010. Das war eine typische Situation, mit der Stromversorger und Netzbetreiber vor 5 Jahren fertig werden mussten. Seither verschieben sich die unteren Kurven durch den Ausbau der Erneuerbaren Energien beständig nach oben. Typisch für die Verbrauchskurve (Lastkurve) ist die regelmäßige und gut vorhersagbare Struktur, aus der man den Tagesverlauf ablesen kann: die Wochentage 9. – 13. Mai, der Feiertag 12. Mai, Samstag 14. und Sonntag 15. Mai, jeweils mit einer kleinen Delle um die Mittagszeit. Solche Lastverläufe, obwohl stark schwankend, sind gut bekannt, so dass sich die Stromversorger in der Vergangenheit mit ihrer Versorgung gut darauf einstellen konnten: die Stromregelung war vor allem verbrauchsbestimmt.

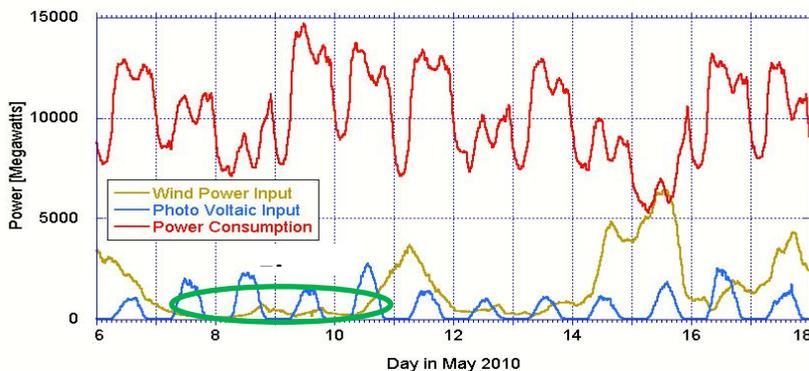


Abb. 6: Zeitliche Variation (Fluktuation) des Energieverbrauchs (rote Kurve) und der Einspeisung von Windkraftwerken (gelbe Kurve) und Photovoltaikanlagen (blaue Kurve) während 11 Tagen im Mai 2010 in einer typischen Region in Deutschland.

Die Situation verändert sich derzeit grundlegend. Infolge des stark fluktuierenden und sehr viel schlechter vorhersagbaren Stromangebots von Wind und Sonne und aufgrund des Vorrangs der Einspeisung von Strom aus Erneuerbaren Quellen nach dem EEG muss sich die Regelung nun vor allem nach dem Angebot richten: die Stromregelung wird Angebots-bestimmt. Das ist nicht immer einfach, denn die Sonne kann aufgrund der Wetterlage und Wolkenbildung sehr unterschiedlich viel Strom liefern. Wesentlich problematischer und noch viel schwerer vorhersagbar ist der Stromeintrag aus Windkraft. Starkwindphasen wechseln mit Flaute, können Wochen oder nur Stunden andauern und haben zum Teil sehr steile Flanken, so dass eine schnelle Regelung innerhalb von wenigen Minuten erforderlich ist. Das trägt nicht gerade zur Netzstabilität bei, ist aber derzeit noch gut im Griff. Wie sich das entwickelt, wenn der Anteil an Wind- und Sonnenstrom weiter stark ansteigt (auf ca. 80 % im Stromsektor und auf ca. 50 % bei der Gesamtenergieversorgung) wird sich erst noch weisen. Es ist für Versorger und Netzbetreiber jedenfalls eine Herausforderung, wenn man die bisherige Netzstabilität, die bisher in Deutschland sehr hoch war, nicht aufs Spiel setzen möchte.

Wenn man sich den Strombedarf etwas genauer anschaut, muss man zwischen der benötigten Gesamtstrommenge bzw. Gesamtstromenergie (ausgedrückt in Mega-, Giga- oder Terawatt Stunden; MWh, GWh, TWh) und der zu bestimmten Zeitpunkten benötigten Stromleistung (ausgedrückt in Mega- oder Gigawatt; MW, GW) unterscheiden. Erstere wird in der Regel über größere Zeiträume (z.B. ein Jahr) aufsummiert, zeigt unseren gesamten Strombedarf und bestimmt unsere Stromrechnung. Letztere ist vor allem ein Problem für Stromversorger und Netzbetreiber, weil diese dafür verantwortlich sind, dass wir zu jedem Zeitpunkt genügend Strom (Leistung) haben und dass Spannung und Netzfrequenz konstant bleiben. Es ist klar, dass stark schwankende Quellen aus Wind und Sonne durch das Zu- oder Abschalten von konventionellen thermischen Kraftwerken und/oder durch Import aus Nachbarländern und/oder durch Einspeisung aus Stromspeichern kompensiert werden müssen, um das Netz stabil zu halten. Das heißt konkret, dass zu jedem Zeitpunkt die benötigte Stromleistung (Last) durch eine entsprechende Kraftwerksleistung (plus eine etwa 5 prozentige Sicherheitsleistung) zur Verfügung gestellt werden muss. Fallen Wind und Sonne aus müssen also andere Quellen aktiviert werden. Da die Importe beschränkt sind und unser diesbezüglicher Bedarf bereits jetzt bisweilen Probleme für unsere Nachbarn verursacht und da Speicher nur in sehr begrenztem Umfang zur Verfügung stehen, muss der größte Teil der sog. Regelleistung, also der Leistung aus zugeschalteten Quellen, aus konventionellen thermischen Kraftwerken kommen.

Was bedeuten diese Aussagen quantitativ? Unser jährlicher Stromverbrauch liegt im Schnitt bei etwa 600 TWh. Er schwankt in den letzten 10 Jahren etwa zwischen 580 und 615 TWh; der gewünschte Abwärtstrend lässt sich noch nicht aus den Daten ablesen. Die benötigte Stromleistung (also die Stromenergie pro Zeit) hängt natürlich von vielen Faktoren ab und kann Werte zwischen 35 und 85

GW (inkl. Reserve) annehmen. Sie verändert sich im Laufe des Tages manchmal um den Faktor 2 und hängt natürlich stark von der Jahreszeit und vom Wochentag ab. Da Wind- und Sonnenstrom Schwankungen unterworfen sind, die sogar dazu führen können, dass zu bestimmten Zeitpunkten in ganz Deutschland nahezu kein Strom durch Wind und Sonne erzeugt wird (Dunkelflaute), muss eine Regelleistung aus konventionellen Kraftwerken in Höhe von etwa 75 GW vorgehalten werden. Das wird auch gelten, wenn wir nach 2050 eine nominell 100 %ige Stromversorgung mit Erneuerbaren Energien haben sollten. Lediglich eine signifikante Erhöhung der Stromspeicher und eine sehr viel weiter als heute gehende europäische Verbundlösung könnten hier Abhilfe schaffen und zu einer deutlichen Verringerung der zur Verfügung zu haltenden Regelleistung führen.

Die starken Schwankungen der Erneuerbaren Energien Windkraft und Photovoltaik führen auch dazu, dass die installierte (theoretische) Leistung und die tatsächlich eingespeiste mittlere Leistung weit auseinander liegen. Denn obwohl der beispiellose Ausbau von Windkraft und Photovoltaik mit einer derzeitigen Zuwachsrate von jeweils 3 GW pro Jahr zu einer installierten Leistung von etwa 40 GW (Wind) und 41 GW (PV) geführt haben, sind die Erträge, also die gelieferten Strommengen, vergleichsweise deutlich niedriger: 56 TWh (Wind) und 35 TWh (PV) in 2014. Das entspricht einer Ausbeute von 18 % (Wind) bzw. 11 % (PV). Die in den „Jubelmeldungen“ veröffentlichten Zahlen der installierten Leistung müssen also entsprechend relativiert werden. Nichtsdestoweniger ist der Ausbau dieser Erneuerbaren Energien eine deutsche Erfolgsgeschichte.

Die angeschnittenen Probleme der Stromversorgung mit Wind und Sonne lassen sich in einem Schaubild quantitativ darstellen (Abb. 7). Aufgetragen ist hier zum einen die Lastkurve (in MW; gepunktet) gegen die Zeit eines Jahres, wobei die Monate (tatsächlich die Viertelstunden) in der Reihenfolge des abnehmenden Lastbedarfs (und nicht in der kalendarischen Reihenfolge) angegeben sind. Dem gegenüber gestellt sind fünf Einspeisekurven mit unterschiedlichen EE Anteilen, ebenfalls sortiert nach der eingespeisten Leistung. Diese Kurven wurden aus der tatsächlichen Einspeisung im Jahr 2012 mit viertelstündlicher Auflösung abgeleitet und auf die angegebenen EE Anteile hochgerechnet. Die unterste hellblaue Kurve entspricht in etwa der heutigen Situation. 100 % EE Anteil bedeutet, dass die gesamte jährliche Strommenge aus EE genau der gesamten verbrauchten Strommenge (Last) entspricht, oder mathematisch betrachtet: das Integral über die Einspeisekurve (= Fläche unter der Einspeisekurve) entspricht genau dem Integral über die Lastkurve. Der Flächenanteil der 100 % Einspeisekurve (dunkelblau) oberhalb der Lastkurve ist also genau so groß derjenige darunter.

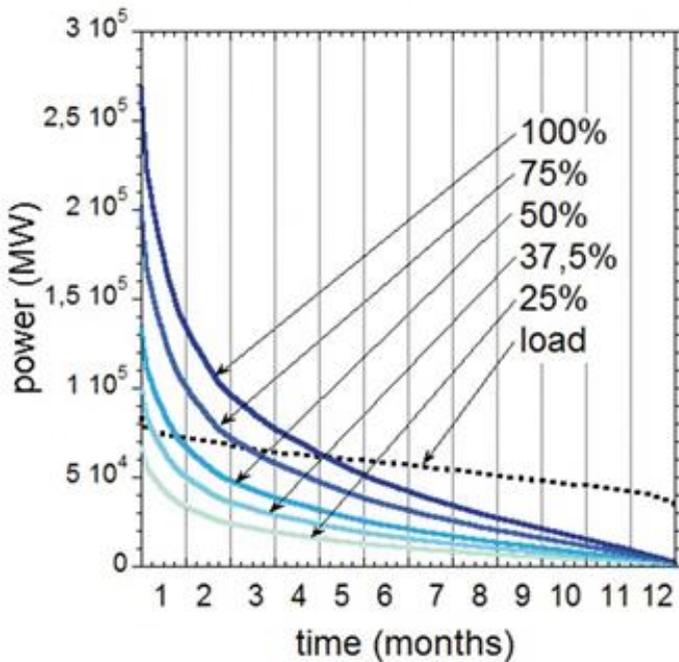


Abb. 7: Verbrauchte Leistung (gepunktete Kurve) und aus Windkraft und Photovoltaik eingespeiste Leistung (blaue Kurven) für verschiedene Anteile von Erneuerbaren Energien aufgetragen gegen die Zeit geordnet nach absteigenden Mengen (nicht kalendarisch) (aus [7]).

Was kann man aus diesen Kurven lernen? Zum einen erkennt man sofort, dass die Lastkurve relativ glatt ist und vom maximalen Wert 85 GW, der nur zu sehr wenigen Zeiten (nur 1 Datenpunkt!) benötigt wird, auf den minimalen Wert 35 GW abnimmt. Man erkennt auch, dass die Einspeisekurven sehr viel steiler verlaufen und von sehr hohen Werten (270 GW für kurze Zeiten beim 100 % Fall) auf nahezu Null abnehmen. Es gibt also Zeiten, bei denen eine enorme Überschussmenge an Strom erzeugt wird, und Zeiten, an denen nahezu der gesamte Strom durch Regelkraftwerke oder andere Quellen zur Verfügung gestellt werden muss. Selbst heute wird die Problematik der fluktuierenden Quellen bereits ersichtlich, da wir zu manchen Zeiten nahezu den gesamten Strom aus Wind- und Solarenergie beziehen könnten, während zu anderen Zeiten eine ausschließlich konventionelle Versorgung benötigt wird. Das Wort „könnten“ weist dabei auf eine bereits vorhandene und immer gravierender werdende Problematik hin, nämlich das Fehlen von ausreichenden Stromtrassen, die den Windstrom aus Norddeutschland zu den vielen, insbesondere großen industriellen Verbrauchern in Süddeutschland

transportieren. Die vorhandenen Leitungen sind bereits jetzt an manchen windreichen Tagen mit ihrer Kapazität am Ende, so dass Windstrom „abgeregelt“, also abgeschaltet werden muss.

Eine weitere Information aus Abb.7 ergibt sich, wenn man die Flächen zwischen Last- und Einspeisekurven ausrechnet. Wenn die Lastkurve über der Einspeisekurve liegt, kann man aus der Fläche zwischen den Kurven die benötigte Jahres-Regelenergie berechnen. Im umgekehrten Fall, also auf der linken Seite der Abbildung für EE-Anteile jenseits der 35 %, ergibt sich aus der Differenzfläche die Überschussenergie, die prinzipiell zur Verfügung stehen würde, könnte man sie denn nutzen. Das ist derzeit noch nicht der Fall (und auch noch nicht wirklich nötig), wird uns aber in Zukunft und im nächsten Kapitel beschäftigen. Um einen Eindruck von der Dimension dieser Regel- bzw. Überschussenergie zu bekommen, kann man sich diese für den 100 % Fall ausrechnen. Unter der Voraussetzung, dass sich bis zum 100 % Anteil ab 2050 keine Änderungen im Stromverbrauch ergeben, würden Regelenergie und Überschussenergie jeweils 130 TWh betragen, was einem Anteil von etwa einem Viertel an der Gesamtstromenergie oder dem Verbrauch eines mittelgroßen europäischen Landes entspricht.

Es ist klar, dass die genannte Regelenergie weder durch Speicher noch durch Stromimporte noch durch Verstromung von Biomasse oder andere EE aufgebracht werden kann, so dass man auf thermische, d.h. fossile Kraftwerke zurückgreifen muss, die weiterhin eine beträchtliche Menge an CO₂ ausstoßen werden. Es ist weiterhin klar, dass man mit einer Überschussstrommenge von 130 TWh irgendetwas Sinnvolles anfangen muss, denn der Exportmarkt ist bereits jetzt gesättigt und ein einfaches „Abregeln“ würde nicht nur eine inakzeptable Verschwendung darstellen, sondern das ganze Konzept der Energiewende in Frage stellen.

Die Dimension dieser Herausforderung wird aber erst dann ganz klar, wenn man die im Kap. 5 diskutierte Herausforderung c) einbezieht, bzw. wenn man die Ziele für das gesamte Energiesystem einschließlich der Sektoren Wärme und Mobilität betrachtet. Dann ergibt sich für 2050 – wie oben skizziert – eine Strommenge aus Wind und PV, die etwa 10-15mal so groß wie die heutige ist, also etwa 900-1300 TWh (der untere Wert entspricht drastischen Einsparungen und Effizienzgewinnen). Damit steigt auch der Überschussstrom auf etwa 200-260 TWh, was den Anreiz zur Speicherung oder Umwandlung (siehe nächstes Kapitel) noch einmal deutlich erhöht. Auf jeden Fall wird es extrem wichtig sein, das Energiesystem tatsächlich als System zu begreifen und als Gesamtsystem zu optimieren. Das heißt aber auch, dass wir die Vernetzung zwischen den derzeit ziemlich isoliert behandelten Sektoren Strom, Wärme, Mobilität vielleicht mit ganz neuen Ansätzen drastisch erhöhen müssen.

Lösungsansätze – Speicher und Netze

Die Palette der möglichen zukünftigen Maßnahmen, um den Herausforderungen der Energiewende zu begegnen, ist groß. Sie hängt von vielen Einflussgrößen auf technischer, wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und politischer Ebene ab. Sicher ist nur, dass es immer einen Energiemix geben wird und dass die Ausgestaltung dieses Energiemix vom politischen Willen, von den technischen Realitäten (und Weiterentwicklungen), ökonomischen Gesichtspunkten und gesellschaftlicher Akzeptanz abhängen wird. Die Gestaltung unserer Energiezukunft müssen wir jedoch sehr aktiv in die Hand nehmen, ein Weiter-so wäre verhängnisvoll und würde mit großer Wahrscheinlichkeit zu einem Misserfolg führen. Keinesfalls sollten wir dabei die Forschung und die Entwicklung neuer Konzepte vernachlässigen. Im Gegenteil sollten wir auch gegenüber „verrückten“ Ideen offen sein und diese ausprobieren, bis wir uns bezüglich der technischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Machbarkeit und Sinnhaftigkeit im Klaren sind. Dabei sollten sich Energie-Forschung und -Entwicklung stark am tatsächlichen Einsatz bzw. der Anwendung orientieren. Dennoch muss immer Raum für echte Grundlagen- und Erkenntnis-orientierte Forschung (ohne direkte Anwendung) bleiben.

Im vorigen Kapitel wurde u.a. dargelegt, dass die für die Stromversorgung als Reserve bereit zu haltende Regelleistung durch fossile Kraftwerke nahezu derjenigen entspricht, die wir aus Erneuerbaren Energien gerade aufbauen. Wir werden also künftig im Gegensatz zur Situation der Vergangenheit zwei Stromversorgungssysteme parallel aufbauen und betreiben, das der Erneuerbaren Quellen, das vor allem aus Windkraftwerken und Solarpanels bestehen und wann immer möglich Strom produzieren wird, und ein Versorgungssystem, das konventionelle thermische Kraftwerke umfasst, die aber nur noch als Regelkraftwerke zu einem Bruchteil der Zeit betrieben werden, nämlich dann, wenn Wind und Sonne unzureichende Strommengen liefern. Der Aufbau bzw. die Erneuerung der Regelkraftwerke ist natürlich teuer, auch wenn die Brennstoffkosten im Gegensatz zur Vergangenheit stark reduziert sind, weil Investitionen, Wartung und Stand-by Betriebskosten anfallen. Der Betrieb der Regelkraftwerke wird natürlich CO₂ Emissionen zur Folge haben, so dass auch im Fall 100 % EE in der Stromversorgung der CO₂ Ausstoß nur auf 25 % der bisherigen Werte für die Stromversorgung vermindert werden kann, es sei denn wir können dieses Problem durch Speicher lösen.

Speicher

Im Moment erscheinen Speicher nicht als geeignete Alternative, weil sie entweder nicht signifikant erweiterbar sind (z.B. Pumpspeicher) oder zu teuer (z.B. Druckluftspeicher) oder zu wenig weit entwickelt (Batteriespeicher) oder zu ineffizient (Wasserstoffelektrolyse und Rückverwandlung), oder alles zusammen. Dennoch sollten wir uns forciert Gedanken über Speicherung machen, denn wir benötigen sie nicht nur zur Verbesserung der CO₂ Emissionsbilanz [8]. Wir brauchen sie vor

allem, um a) die Last- und EE-Produktionsspitzen zu glätten, b) mit dem Überschussstrom etwas Vernünftiges anzufangen (statt „Entsorgung“) und c) mithilfe der Energieumwandlung von EE-Strom in Treibstoffe für Mobilität oder Wärme die Vernetzung der Sektoren zu forcieren. Nur so lässt sich das höchst ehrgeizige Ziel der Versorgung des Gesamtenergiesystems zu 60 % aus EE erreichen.

Wieviel Speicherkapazität würden wir denn benötigen? Wenn wir nur den Stromsektor betrachten, bräuchten wir etwa 30 TWh Speicherkapazität [7], um die gesamte Regelmenge von 130 TWh abzudecken, dann würden wir keine fossilen Kraftwerke mehr für die Stromversorgung benötigen. Der Unterschied der beiden Zahlen rührt natürlich daher, dass sich die Regelmengen über das Jahr verteilen und die Speicher entsprechend mehrmals be- und entladen werden. 30 TWh Speicherkapazität sind utopisch viel und unbezahlbar, deshalb würde man sich sicher mit einer kleineren Kapazität zufrieden geben müssen. Eine Kapazität von 5 TWh ist deutlich geringer (und kostengünstiger), würde aber ausreichen, um die fossil erzeugte Regelstrommenge von 130 auf etwa 40 TWh zu reduzieren [7]. Leider würde dann aber die erforderliche Regelstromleistung nahezu die gleiche bleiben, weil diese für die teilweise langen und für die Versorgung kritischen Dunkelflauten benötigt werden.

Welche Speichermöglichkeiten für Strom gibt es gegenwärtig? Bei dieser Frage denkt man zuerst an Batterien bzw. Akkumulatoren, muss dann aber eingestehen, dass deren Gesamtkapazität bisher äußerst beschränkt und ein nennenswerter Ausbau außer für Spezialanwendungen viel zu teuer ist. Selbst wenn es uns gelänge, das Ziel eines rapiden Ausbaus der Elektromobilität zu erreichen – obwohl wir derzeit davon weit entfernt sind – und die Eigentümer ihre Fahrzeuge anteilig zur Stromspeicherung zur Verfügung stellen würden – was in letzter Zeit manchmal als Speicherlösung vorgeschlagen wird –, könnten die Batteriespeicher der Elektrofahrzeuge keinen nennenswerten Beitrag zur Stromspeicherung liefern. 2,5 Millionen Elektrofahrzeuge würden jährlich nämlich nur etwa 40 GWh Speicherkapazität bereitstellen, also weniger als 1 % der benötigten Kapazität.

Eine reale und in der Praxis relativ kostengünstige Speichermöglichkeit sind bisher nur Pumpspeicherkraftwerke, zum Beispiel Stauseen mit Turbinen, die in beide Richtungen laufen können, so dass sie entweder Strom erzeugen oder das Wasser mittels Strom zur Speicherung wieder in den (möglichst hoch liegenden) Stausee pumpen. Die Kapazität aller Pumpspeicher in Deutschland beträgt aber zurzeit nur 50 GWh, also nur 1 % der benötigten Menge. An einen Ausbau der Pumpspeicher, so wünschenswert dieser aus energetischen Gründen erscheint (die Zykluseffizienz kann bis zu 80 % betragen), ist aber derzeit nicht zu denken, weil die Interessen der Bürger und der Landschaftsschutz dem entgegenstehen.

Außer den bereits vorhandenen Pumpspeichern gibt es derzeit also keine Speichermöglichkeiten mit nennenswerten Kapazitäten. Wegen des für die Energiewende so wichtigen Speicherthemas wird aber in den letzten Jahren sehr intensiv über neue Konzepte nachgedacht und an Lösungen geforscht und entwickelt.

Zum Beispiel könnten adiabatische Druckluftspeicher einen Beitrag leisten, wobei die mit Überschussstrom komprimierte Luft in unterirdischen Kavernen gespeichert werden könnte und bei Bedarf durch Expansion stromerzeugende Turbinen antreiben würde. Die bei der Kompression entstehende Wärme würde ebenfalls gespeichert und bei der Expansion wieder verwendet, so dass ansehnliche Wirkungsgrade für den ganzen Zyklus von etwa 60 % erzielt werden könnten. Allerdings zeigen genaue Studien, dass solche Konzepte derzeit weit von der Wirtschaftlichkeit entfernt sind und deshalb nicht in die Praxis umgesetzt werden können. Neben diesem bereits relativ konkreten Ansatz gibt es eine Vielzahl von neuen Ideen, mit mechanischen Systemen Strom zu speichern, jedoch ist bei bisher keinem der Nachweis der Wirtschaftlichkeit erbracht.

Auch der bisher vielversprechendste Weg der Verwendung von Überschussstrom zur Speicherung oder zur Umwandlung in andere Energieträger, im Fachjargon Power-to-X genannt, ist bisher weit von jeder Wirtschaftlichkeit entfernt. Dennoch lohnt sich ein Blick auf diese Richtung, weil sie nicht nur die Speicherproblematik flächendeckend lösen könnte, sondern auch weil sie die Vernetzung der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität auf eine ganz neue Basis stellen könnte. Unter Power-to-X versteht man zum Beispiel die Umwandlung von Strom in Wärme oder in Wasserstoff, der dann weiter zu Gasen wie Methan oder Flüssigkeiten wie Alkoholen oder Treibstoffen synthetisiert werden kann. X steht also für eine ganze Palette von Substanzen, die man gut oder sehr gut speichern und rückverstromen oder in anderen Anwendungsbereichen verwenden kann. Wenn man den Strom beispielsweise in Wasserstoff umwandelt (Energieeffizienz etwa 70-80 %), was heute bereits großtechnisch problemlos möglich ist, könnte man diesen in großen Tanks speichern und entweder durch Verbrennung in Turbinen oder durch Einsatz von Brennstoffzellen wieder zur Stromerzeugung verwenden (Zykluseffizienz 40-50 %). Letzteres kann in kleinen dezentralen Einheiten beim Verbraucher oder auch in Fahrzeugen geschehen und damit zur Elektromobilität beitragen.

Sogar die Speicherung von sehr großen Wasserstoffmengen ist möglich, wenn man einen Großteil des Wasserstoffs zu Methan weiterverarbeitet und dieses ins Erdgasnetz einspeichert. Das Erdgasnetz hat in Deutschland eine hervorragende Ausbreitung und hätte – nach einer gewissen Nachrüstung – ein Speichervermögen von theoretisch 110 TWh, was offensichtlich völlig ausreichend wäre, um sämtliche Speicherprobleme zu lösen. Das Hauptproblem ist derzeit vor allem, dass der gesamte Kreislauf, also Elektrolyse, Synthese und Rückverstromung zu ineffizient (30 % Wirkungsgrad) und deshalb viel zu teuer ist.

Eine weitere Möglichkeit, Überschussstrom nutzbringend einzusetzen, ist die weitergehende Synthese von Treibstoffen für die Mobilität oder von Basischemikalien für die chemische Industrie, die man bisher am effizientesten und kostengünstigsten aus Erdöl gewinnt. Solange Strom aus erneuerbaren Quellen so teuer wie bisher bleibt und Erdöl so günstig und scheinbar im Überfluss zu haben ist, ist

der skizzierte Weg natürlich keine Alternative. Aber die Versorgungslage wird nicht immer so bleiben und vor allem wird man sich überlegen müssen, was man mit dem bald in zunehmendem Maße anfallenden Überschussstrom anfängt. Bevor dieser „abgeregelt“ wird, erscheint eine sehr kostengünstige Abgabe an Elektrolyseure zur Herstellung von Wasserstoff und zu dessen Weiterverarbeitung sinnvoll. Dann wird man aber die gesetzlichen Rahmenbedingungen und die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen überdenken müssen, so dass die beschriebenen, derzeit utopisch anmutenden Alternativen ggf. in ganz anderem Licht zu betrachten sind.

Schließlich erscheint auch die Alternative, Wärme aus Überschussstrom zu erzeugen, durchaus realistisch. Das Hauptproblem für viele Anwendungen ist dabei die Überbrückung des Abstands vom Zeitpunkt der kostengünstigen Verfügbarkeit von Überschussstrom bis zum Zeitpunkt des Wärmebedarfs, also wiederum ein Speicherproblem, allerdings dieses Mal von Wärme. Es gibt eine ganze Reihe von Wärmespeichern mit verschiedenen Materialien, physikalisch-chemischen Prozessen und demzufolge Vor- und Nachteilen. Sie sind deshalb für unterschiedliche Einsatzbereiche geeignet. Man unterscheidet sensible Speicher (Wasser, Beton, Flüssigmetalle), Latenzspeicher, die Wärme vor allem in einem Phasentübergang speichern, und thermochemische Speicher. Allen gemeinsam ist, dass Strom nahezu verlustfrei in Wärme umgewandelt werden kann, dass also nur die Speicherverluste, die Kapazität und die Speichertemperatur über die Anwendungsbeispiele und Wirtschaftlichkeit entscheiden.

Fazit: Speicher sind für die Energiewende ein ganz wichtiges Thema, aber derzeit auch nicht ansatzweise im erforderlichen Umfang verfügbar. Weil außerdem Stromspeicherung zurzeit nicht wirtschaftlich ist, wird in diesem Bereich nicht investiert. Was wir brauchen, sind also neue Konzepte, Kostenreduktionen und neue (gesetzliche) Rahmenbedingungen, um dem Speicherthema zum Durchbruch zu verhelfen.

Netze

Das zweite Thema, das derzeit mit Recht stark in der öffentlichen Diskussion ist, ist das Thema Netze. Hier geht es im Wesentlichen um drei Hauptaspekte. Zum einen ist es für das Gelingen der Energiewende unumgänglich, dass zusätzliche Stromtrassen vor allem den Windstrom von Nord- nach Süddeutschland transportieren. Ob dies mit oberirdischen Hochspannungs-Wechselstrom- oder Hochspannungs-Gleichstrom-Leitungen oder mit unterirdischen Hochspannungskabeln bewerkstelligt wird, ist prinzipiell egal, wenn es nur möglichst bald geschieht. Die verschiedenen Leitungsarten unterscheiden sich natürlich bezüglich des technischen Aufwands, der Stromverluste und der Betriebssicherheit, vor allem aber sind die Kosten sowie die Akzeptanz der betroffenen Bevölkerung und der zeitliche Aufwand bis zur Fertigstellung der Trassen von großer Bedeutung. Die derzeit diskutierte Alternative von unterirdischen Hochspannungsleitungen scheint zunächst die Akzeptanz zu erhöhen, zumindest solange, bis die Bevölkerung

merkt, dass die unterirdischen Stromtrassen ebenfalls ca. 20-30 m breite Schneisen benötigen, die keine forstwirtschaftliche Nutzung oder Bebauung zulassen. Problematisch sind allerdings die sehr viel höheren Baukosten (Faktor 3 – 5), die sehr viel längeren Zeiten bis zur Fertigstellung und der höhere Wartungsaufwand.

Der zweite Hauptaspekt ist ein neuartiges europäisches Verbundnetz. Damit ist nicht gemeint, dass wir mehr Hochspannungsleitungen zu unseren Nachbarn verlegen, um den Import und Export von Strom zu steigern. Das ist zwar notwendig, aber bei weitem nicht hinreichend. Gemeint ist vielmehr ein neuartiges, möglichst gesamteuropäisches Energie- oder zumindest Stromversorgungskonzept. Warum wollen wir tausende von Windrädern im Schwarzwald errichten, wenn doch an den europäischen Küsten fünf- bis zehnmals so viel Wind weht? Warum lassen wir nicht die Mittelmeerländer Geld mit Photovoltaikstrom verdienen, denn das wäre insgesamt um einen Faktor zwei effizienter? Vor allem aber würden die Fluktuationen von Wind und Sonne besser ausgeglichen, denn ganz selten ist in ganz Europa Flaute oder Starkwind, und die Sonne wandert von Ost nach West, so dass am früher am Morgen Strom aus Osteuropa und später am Abend Strom aus Westeuropa kommen könnte. Dass solche Ausgleichseffekte einen echten Gewinn für die gesamteuropäische Stromversorgung bringen würden, kann man anhand von vorhandenen Zahlen belegen [9]. Der Mittelungsgewinn, also die Reduktion der erforderlichen Regelenergie und die Reduktion des Überschussstroms, könnte nach ersten Abschätzungen für jedes Land, das sich dem 100 % EE Ziel verschrieben hat, bis zu 30 % betragen [9]. Dazu wären aber nicht nur neue Leitungen sondern vor allem ein europäisches Gesamtkonzept mit einem entsprechenden Vertragswerk erforderlich. Bekanntlich stellt dies eine nicht zu vernachlässigende Herausforderung dar, zumal sich die Ausgangssituationen und die Bereitschaft für eine Energiewende in den einzelnen europäischen Staaten völlig unterschiedlich darstellen.

Der dritte Hauptaspekt ist die Einführung dezentraler, quasiautonomer regionaler Netze, die momentan von einigen Leuten gefordert werden. Wenn dies flächendeckend erfolgen sollte, wäre es ein völliger Paradigmenwechsel mit weitreichenden Konsequenzen. Solche regionalen Netze wären auf der einen Seite der sich entwickelnden Versorgungsstruktur mit vielen dezentralen und relativ kleinen Wind-, PV- und Biomasseanlagen eher angemessen. Dadurch könnten auch die Bürger sehr viel besser beteiligt werden, z.B. als Klein-Produzenten, als Anteilseigner von Wind- oder Solarparks und als Akteure beim Demand-Side Management. Somit könnte die Akzeptanz der Energiewende mit vielen ihrer Folgen steigen. Auf der anderen Seite stehen aber die Fragen der Gesamteffizienz (generell gilt, dass kleine Einheiten meist deutlich ineffizienter und teurer sind als große zentrale Einheiten) und der Versorgungssicherheit. Letztere erfordert zumindest nach der derzeitigen rechtlichen Lage zentrale Versorgungsstrukturen, auf die eine Regulierungsbehörde – in Deutschland die Bundesnetzagentur – Zugriff hat, so dass Versorgungsgpässe per behördlicher verordneter Maßnahmen verhindert

werden können. Sollen solche regionalen Netze künftig vollständig in die Autonomie entlassen werden, also ganz allein und zu allen Zeiten für die Stromversorgung in ihrer Region verantwortlich sein? Oder ist eher an eine Quasiautonomie gedacht, bei der ein regionales Netz weitgehend autonom agiert und nur im Notfall auf eine übergeordnete zentrale Versorgungsstruktur zurückgreift. Beide Lösungen haben einen weitreichenden Umbau der technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Strukturen zur Voraussetzung, die gut überlegt sein wollen, weil sie zwei wertvolle Güter, die Versorgungssicherheit und die Wirtschaftlichkeit, stark tangieren.

Da (quasi)autonome regionale Netze starke Veränderungen verlangen würden, ist vorerst noch ein großer Forschungs- und Entwicklungsbedarf zu befriedigen. Dieser reicht von dezentralen Speichern und/oder kleinen bis mittelgroßen fossilen Generatoren (denn ein Netz braucht auch bei Dunkelflauten Stromquellen) und elektrischen Komponenten zur Stabilisierung von Frequenz und Spannung, über eine intelligente Netzsteuerung mit Demand-Side Management bis hin zu neuen Geschäftsmodellen und neuen rechtlichen Rahmenbedingungen. Dazu wird man sich im Vorhinein überlegen müssen, ob die Bürger solche Netze, die Umstellung und evtl. höhere Kosten akzeptieren werden und aktiv mitgestalten wollen. Und man wird wahrscheinlich ein neues sicheres Datenübertragungs- und Datenverarbeitungssystem mit neuen Steuerungsalgorithmen benötigen, um der enormen Datenflut und dem drastisch erhöhten Regelbedarf gerecht zu werden. Trotz einiger regionaler Feldexperimente und theoretischer Erkenntnisse ist der derzeitige Wissensstand auf diesem Sektor noch rudimentär und für weitreichende Entscheidungen unzureichend. Hier ist großer Forschungsbedarf zu erkennen.

Fazit – Sind wir auf dem richtigen Weg?

Anthropogener Klimawandel: Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Klimawandel stattfindet und dass viele Indizien darauf hindeuten, dass er wesentlich von uns Menschen durch die sehr stark angewachsenen Emissionen von Klimagasen, vor allem CO₂, ausgelöst wird. Selbst wenn der Grad der Wahrscheinlichkeit zur Debatte steht und manche Zweifel an der Aussagekraft der bisher vorgebrachten Argumente bestehen mögen, gebietet uns unsere Verantwortung für künftige Generationen, jetzt sofort auf die Bremse zu treten, denn Klimaveränderungen haben lange Zeitskalen oder – bildlich gesprochen – lange Bremswege. Da die Energieversorgung zu etwa 80 % an den CO₂ Emissionen beteiligt ist, ist hier der wichtigste Hebel zu finden: die Energiewende. Energiewende: Die deutsche Energiewende legt ein enormes Tempo vor, das international seinesgleichen sucht. Damit die Energiewende ihren Hauptzweck Klimaschutz erfüllt, muss sie allerdings beispielgebend sein, sonst wird sie international nicht kopiert und ihre Wirkung verpufft, denn der deutsche Anteil an den globalen CO₂ Emissionen ist vernachlässigbar klein. Der Verlauf unserer Ener-

giewende ist allerdings in Wirtschaft und Gesellschaft und vor allem unter Fachleuten nicht unumstritten. Es herrscht beträchtliche Skepsis, ob der derzeitige Weg ohne gravierende Veränderungen erfolgreich zum Ziel führt. Kritikpunkte sind unter anderem hohe Kosten, reduzierte Versorgungssicherheit, Verfehlung der Einzelziele, Zielkonflikte und mangelnde Akzeptanz bei essentiellen Aspekten. Eine Verbesserung könnte darin bestehen, die Hauptziele klar zu priorisieren und die Maßnahmen auf die vorgenommene Priorisierung gezielt auszurichten. Der Fortgang der Energiewende sollte mit einer weiterentwickelten Informationsstrategie und Diskussionskultur flankiert werden.

Vernetzung der Energiesektoren: Die derzeitige Situation ist davon geprägt, dass die drei Energiesektoren Strom, Wärme und Mobilität in der Regel überwiegend getrennt betrachtet und weiterentwickelt werden, wobei die größte Aufmerksamkeit dem Stromsektor gilt, obwohl dieser nur mit gut 20 % am gesamten Primärenergiebedarf beteiligt ist und damit entsprechend wenig zu den CO₂ Emissionen beiträgt. Man wird deshalb in Zukunft viel mehr zu einer ganzheitlichen, systemischen Behandlung des Energiesystems kommen müssen, vor allem wenn man das höchst ehrgeizige Ziel erreichen möchte, den Anteil der Erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch von gut 10 % (Stand 2014) auf 60 % bis 2050 zu steigern. Da dieser Ausbau voraussichtlich vor allem mit Windkraft und Photovoltaik bewältigt werden muss, ist eine sehr viel stärkere Vernetzung der Sektoren geradezu zwingend.

Fluktuierende Stromquellen: Die Herausforderung, mit wenig berechenbaren fluktuierenden Stromquellen umzugehen, steigt stark mit deren Anteil am Gesamtenergiemix. Bereits jetzt ist abzusehen, dass mit derzeitiger Technologie und unter den derzeitigen Rahmenbedingungen auch bei einem 100 prozentigen EE-Anteil große Strommengen durch fossile Regelkraftwerke bereitgestellt werden müssen und dass große Mengen Überschussstrom anfallen. Dieser wird mangels Speicherung zum großen Teil verloren gehen, wenn nicht rechtzeitig Alternativen entwickelt und etabliert werden. Solche Alternativen können neuartige Netzstrukturen und neuartige Speichermethoden sein, wobei die Möglichkeiten, Strom in Gase, Flüssigkeiten oder Wärme umzuwandeln, sowohl wissenschaftlich und technisch als auch wirtschaftlich und rechtlich entwickelt werden müssen.

Aus dem Gewicht und der Vielfalt der Herausforderungen kann man eigentlich nur den Schluss ziehen, dass eine gemeinsame große Kraftanstrengung und kontinuierliche Kommunikation von Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft erforderlich ist, um den Erfolg der Energiewende sicherzustellen und dass ein wichtiger Schlüssel zum Erfolg in der interdisziplinären und interinstitutionellen Zusammenarbeit liegt. Letzteres gilt insbesondere auch für die Wissenschaft, die diesbezüglich noch ein erhebliches Entwicklungspotenzial besitzt, das vielleicht auch mithilfe der Akademien gehoben werden kann.

Danksagung

Der Autor dankt Frau Dr. Katharina Schätzler für die kritische Durchsicht des Manuskripts und Herrn Dr. Udo Erdmann für die Erstellung einiger Abbildungen.

Literatur

- [1] Warnung vor weltweiten drohenden Klimaänderungen durch den Menschen, gemeinsamer Aufruf der DPG und der DMG, Physikalische Blätter 43 (1987) 347.
- [2] Memorandum 1995: Zukünftige klimaverträgliche Energienutzung und politischer Handlungsbedarf zur Markteinführung neuer emissionsmindernder Techniken, Stellungnahme der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, März 1995.
- [3] IPCC, Fourth Assessment Report, Working Group 1, Climate Change 2007: The Physical Science Basis.
- [4] IPCC, Fifth Assessment Report, Working Group 1, Climate Change 2013: The Physical Science Basis.
- [5] acatech/Leopoldina/Akademienunion (Hrsg.): Die Energiewende europäisch integrieren. Neue Gestaltungsmöglichkeiten für die gemeinsame Energie- und Klimapolitik (Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung), Halle (Saale) 2015. 52 Seiten, ISBN: 978-3-8047-3429-6
- [6] Eberhard Umbach (Hrsg.): Priorisierung der Ziele. Zur Lösung des Konflikts zwischen Zielen und Maßnahmen der Energiewende (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft), München 2015. 52 Seiten, ISBN: 978-3-9817048-3-9
- [7] F. Wagner, Eur. Phys. J. Plus **129** (2014) 20.
- [8] Florian Ausfelder et al., Energiespeicher als Element einer sicheren Energieversorgung, Chem. Ing. Tech. **87** (2015) 1-73.
- [9] F. Wagner, Considerations for an EU-wide use of renewable energies for electricity generation, Eur. Phys. J. Plus **129** (2014) 219.

Umbrüche in der Medizin: Wie sollen wir in Zukunft richtig mit unserem Lebensende umgehen?*

Bettina Schöne-Seifert

Institut für Ethik, Geschichte und Theorie der Medizin

Universität Münster

Wir werden immer älter; die Lebenserwartung bei Geburt in Deutschland hat sich in den letzten 30 Jahren um 6 Jahre bei Männern (auf 77,7 Jahre) und um knapp 5 Jahre bei Frauen (auf 82,8) erhöht.⁸ Und der Trend wird wohl ähnlich weitergehen. Damit richten sich die Sorgen von zunehmend mehr Menschen nicht mehr nur auf das Verhindern vorzeitigen Sterbens, sondern auch darauf, wie sie am Ende eines hoffentlich langen und einigermaßen gesunden Lebens mit Siechtum oder auch Lebensmüdigkeit einerseits und den „Segnungen“ einer *High-tech*-Medizin andererseits umgehen sollen.

*Abgesehen von den beiden ersten Absätzen des Vorspanns sowie einer rechtspolitischen Aktualisierung von Abschnitt 4 ist dieser Text ein Nachabdruck des Aufsatzes: „Moderne Medizinethik. Problemfeld: Sterbehilfe“ im *Handbuch Philosophie und Ethik Bd. 2 (Disziplinen und Themen)*, hrsg. Von Julian Nida-Rümelin, Irina Spiegel und Markus Tiedemann, Ferdinand Schöningh Verlag 2015: S.265 – 272.

⁸ Vgl. Statistisches Bundesamt,
https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2015/04/PD15_143_12621.html (letzter Zugang Jan. 2016)

In diesem Text (und dem an ihn angelehnten Vortrag) geht (und ging) es aus Sicht der philosophischen Ethik um Sterbehilfen, insbesondere um die aktuelle Debatte um Suizidhilfe. Nicht berührt werden andere medizinethische Fragen, wie sie ebenfalls im Zusammenhang mit dem demographischen Wandel stehen: nämlich: die erwartbaren oder erhofften medizinisch-therapeutische Umbrüche in der Altersmedizin zumal in ihren Anti-Aging-Varianten; die sozialen und politischen Probleme des demographischen Alterns. Auch um Ratgeber für ein gelingendes Leben jenseits der 70, 80 oder 90 kann es mir im Folgenden nicht gehen.

Darf man Schwerstkranken zu einem vorzeitigen Tod verhelfen, wenn sie dies dezidiert und selbstbestimmt wünschen? Diese Frage gehört zu den klassischen und kontrovers beantworteten Fragen der Medizinethik. Von der Antike bis in die 1960er Jahre ging es dabei um die Varianten der Tötung auf Verlangen oder der (unterstützten) Selbsttötung, wie sie etwa von den Hippokratischen Ärzten in ihrem „Eid“ apodiktisch abgelehnt wurden. Erst in Zeiten der Hochleistungsmedizin mit ihrem Arsenal an lebenserhaltenden Maßnahmen – von der Blutwäsche bis zur künstlichen Ernährung – geht es auch um Sterbehilfe durch absichtlich unterlassene medizinische Lebenserhaltung. Ebenfalls erst durch die Entwicklung moderner Medikamente und das Verständnis ihrer Wirkungsweisen stellt sich außerdem die Frage, ob eine Beschleunigung des Todes in Kauf genommen werden darf, wenn sie absehbar als mögliche Nebenwirkung einer Symptomlinderung am Lebensende eintritt. Dieses Bündel an Fragen führt in komplexe und anhaltend kontroverse Debatten, die in der gesamten westlichen Welt geführt werden.

Hintergrundüberlegungen

Moderner Kontext der Sterbehilfe-Debatten

Der rasante medizinische Fortschritt des vergangenen halben Jahrhunderts hat nicht nur die Varianten möglicher Sterbehilfe vermehrt, sondern auch dazu beigetragen, dass Patienten sich häufiger als früher einen vorzeitigen Tod wünschen. So überleben viele Menschen in einem körperlich und geistig reduzierten Zustand Unfälle und Erkrankungen, an denen sie in früheren Zeiten gestorben wären. Dauerhaft bettlägerige Patienten etwa müssen nicht mehr an Infektionen sterben und Patienten nach Schlaganfällen können heute durch Intensivmaßnahmen erfolgreich am Leben erhalten werden – oft allerdings, ohne dass sich an ihrem eingeschränkten Grundzustand etwas ändert. Kurz: zahlreiche Patienten erleben am Ende ihres Lebens Phasen des Leidens, des Siechtums, der krankheitsbedingten Eingeschränktheit und Pflegebedürftigkeit, wie sie unseren Urgroßeltern weitgehend fremd waren. Außerdem wissen viele Kranke dank der heutzutage möglichen medizinischen Diagnostik und Prognostik, dass sie an einer unheilbaren

Krankheit leiden und welche Entwicklungen diese Erkrankung im besten wie im schlechtesten Falle nehmen kann.

Das eigene Sterben unter solche Umständen mitbestimmen, erbitten oder in die eigene Hand nehmen zu wollen, wird zudem durch die zunehmende Säkularisierung der Gesellschaft befördert – zum Teil gegen die dezidierten Voten der katholischen Amtskirche und vieler protestantischer Theologen. Und schließlich führen auch Veränderungen relevanter sozialer Strukturen dazu, dass sich immer mehr Menschen privat und öffentlich mit der ‚Gestaltung‘ ihres Lebensendes auseinander setzen: Die fortschreitende Auflösung enger familiärer Lebensformen und die berufliche Situation der Nachwuchsgeneration zwingt viele Menschen dazu, ihr Lebensende in Pflegeheimen zuzubringen, in denen sie lieber nicht wohnten oder lägen. Und schließlich wird im Arzt-Patienten-Verhältnis heutiger Prägung über das Sterben wohl noch immer allzu oft geschwiegen. Vor diesem Hintergrund ist Selbstbestimmung in Fragen des eigenen Sterbens zu einem bedeutsamen Thema geworden.

Begriffliche Unterscheidungen

Man unterscheidet im Umgang mit Todkranken und Sterbenden zwischen *Sterbebegleitung* und *Sterbehilfe*. Allerdings wird diese Unterscheidung fach- wie alltags-sprachlich nicht ganz einheitlich getätigt. Ebenso naheliegend wie üblich ist jedenfalls, unter Sterbebegleitung alles (fürsorgliche) Handeln am Sterbebett zusammenzufassen, das den Zeitpunkt des Todesintritts unbeeinflusst lässt. Hierzu gehören also große Bereiche der symptomlindernden Palliativmedizin, menschliche Zuwendung, Pflege oder spirituelle Begleitung. Als Sterbehilfe, um die es im Folgenden der Sache nach geht, werden hingegen wohlwollend motivierte Handlungen zusammengefasst, mit denen der Todeszeitpunkt – gezielt oder in Kauf nehmend, sicher oder möglicherweise – vorverlegt wird. Für manche Kritiker der einen oder anderen solchen Handlungsweise hat der Oberbegriff Sterbehilfe einen unangemessen positiven Unterton, weswegen sie ihn ganz ablehnen.

Im anglo-amerikanischen Sprachgebrauch wird statt von Sterbehilfe (*assistance in dying*) häufig allgemein von *euthanasia* gesprochen. Speziell in den Niederlanden wiederum verwendet man den Begriff *euthanasia* einzig für die Form von Sterbehilfe, die *aktiv* (siehe unten) und auf Verlangen des Patienten erfolgt. Demgegenüber ist in Deutschland der aus der Antike stammende Begriff Euthanasie (ursprünglich: sanftes Sterben, guter Tod) nachhaltig dadurch diskreditiert, dass die Nationalsozialisten ihre hunderttausendfachen Morde an behinderten und kranken Menschen verbrecherisch-verlogen mit diesem ursprünglich positiven Etikett bemäntelten. Überhaupt werfen jene Gräueltaten in Deutschland bis heute dunkle Schatten auf Begriffe wie auf Inhalte der Sterbehilfedebatten.

Nach einem sehr üblichen Sprachgebrauch bezeichnet *passive Sterbehilfe* rein beschreibend jeden Behandlungsverzicht, mit dem der Tod des Patienten absichtlich

herbeigeführt oder in Kauf genommen wird. Passive Sterbehilfe kann entweder durch unterlassendes Handeln verwirklicht werden (beispielhaft: Verzicht auf Wiederbelebungsversuche nach einem Herzstillstand) oder durch tätiges Handeln (beispielhaft: Abstellen eines Beatmungsgeräts). Der Verzicht auf eine weitere Erhaltung des Lebens kann zudem von vornherein oder nach anfänglichen Behandlungsversuchen erfolgen, wenn diese nicht zu dem ursprünglich erhofften Erfolg geführt haben. Die Kausalkonstellation, die alle diese Varianten vereint, besteht darin, dass hier der betroffene Patient an den Folgen seiner Krankheit stirbt – eines ‚natürlichen Todes‘, wie es oft heißt. Um diesen Kausalaspekt unmissverständlich zum Ausdruck zu bringen, bevorzugen viele Autoren eine Alternativ-Terminologie und sprechen vom *Sterbenlassen*.

Als *indirekte Sterbehilfe* bezeichnet man traditionell eine symptomlindernde Behandlung bei tödlich Kranken, die in Art und Dosierung medizinisch angezeigt ist, zugleich aber als mögliche Nebenwirkung den Eintritt des Todes beschleunigen könnte. Beispielhaft ist hier die Behandlung anderenfalls unstillbarer Schmerzen mit der Nebenwirkung einer todesbeschleunigenden Beeinträchtigung des Atemzentrums. Während solche ‚zweischneidigen‘ Therapien in den zurückliegenden Jahrzehnten häufig die einzigen Optionen waren, um einem leidenden Patienten symptomatisch zu helfen, hat der medizinische Fortschritt sie zunehmend vermeidbar gemacht. In der Systematik der normativen Beurteilung von Sterbehilfen behält die indirekte Variante gleichwohl einen wichtigen Platz.

Aktive Sterbehilfe ist der traditionelle Begriff für das direkte Töten eines Patienten. Der Tod tritt hier weder infolge einer Krankheit noch als Nebeneffekt einer Symptomlinderung ein, sondern – gewissermaßen krankheits- und therapieunabhängig – gezielt durch die Hand eines anderen, etwa durch eine tödliche Überdosis an Medikamenten. Die Alternativ-Terminologie spricht hier von *Töten* – wobei es in den Debatten praktisch ausnahmslos um Töten auf Verlangen des Patienten geht.

Suizidhilfe schließlich besteht in der Unterstützung (in diesem Kontext: eines leidenden Patienten) bei der Planung oder Durchführung seiner Selbsttötung. Im Zentrum medizinethischer Auseinandersetzungen steht die Frage nach der Zulässigkeit *ärztlicher* Suizidhilfe, wie sie in einigen Ländern gebilligt und legal praktiziert wird. Konkret geht es hier darum, ob Ärzte ihren Patienten unter bestimmten Umständen ein tödliches Medikament verschreiben und sie auf Wunsch bei ihrer Selbsttötung begleiten dürfen.

Rechtliche und gesellschaftliche Rahmenbedingungen

Ein wichtiger Ausgangsbefund für die nachfolgenden Überlegungen ist die Tatsache, dass passive Sterbehilfe (Sterbenlassen) einerseits und Suizid- oder aktive

Sterbehilfe (Töten) andererseits in der Alltagsmoral wie im Recht zumeist grundsätzlich unterschiedlich bewertet werden. Das gilt auch dann, wenn die konkreten Umstände (unheilbares Leiden und selbstbestimmter Wunsch zu sterben) völlig vergleichbar sind. So gilt nicht nur für Deutschland, sondern wohl für alle westlichen Länder oder Gesellschaften und über diese hinaus, dass ein Abwehrrecht gegenüber lebenserhaltenden Behandlungen als Extremfall des uneingeschränkt anerkannten Vetorechts mündiger Patienten gegenüber den Behandlungsempfehlungen ihrer Ärzten gesehen wird. Suizid- und aktive Sterbehilfe hingegen werden in der Regel als verbotswürdige Tötungshandlungen bewertet, die allenfalls als zulässige Ausnahmen gerechtfertigt werden können.

In Deutschland hat die Rechtsprechung 2010 eindeutig geklärt, dass entscheidungsfähige Patienten alle lebenserhaltenden medizinischen Behandlungen ablehnen dürfen – einschließlich künstlicher Beatmung und der Zufuhr von Nahrung und Flüssigkeit als Infusionen oder über Sonden.⁹ Entsprechendes gilt grundsätzlich auch für Patientenverfügungen, in denen Patienten für Zeiten eingeschränkter oder verllorener Entscheidungsfähigkeit vorsorgliche Anweisungen treffen.¹⁰

Allgemein akzeptiert ist zudem, dass auch bei nicht mehr entscheidungsfähigen Patienten Maßnahmen zur Verlängerung des Lebens abgebrochen werden dürfen, wenn diese lediglich eine Verzögerung des Todeseintritts bewirken würden.¹¹

Unstrittig und rechtssicher ist überdies das Praktizieren indirekter Sterbehilfe, die als Gebot humaner Medizin gilt – auch wenn sie aufgrund der verbesserten Palliativmedizin faktisch offenbar immer seltener vorkommt.

Töten auf Verlangen ist in Deutschland strafrechtlich ausnahmslos verboten, ohne dass hier ein Unterschied zwischen Todkranken (aktive Sterbehilfe) und anderen Todeswilligen gemacht wird. Repräsentative Meinungsumfragen zeigen demgegenüber seit vielen Jahren, dass über 70% der Bevölkerung eine Legalisierung aktiver Sterbehilfe begrüßen würden. Unter deutschen Ärzten gilt dies hingegen nur für 17%, wie eine gleichfalls repräsentative Befragung von 2009 zeigte.¹²

Ein Suizid(versuch) schließlich ist in Deutschland seit 1751 nicht strafbar und damit ist auch die Suizidhilfe nicht rechtswidrig. Auch ohne Vorliegen einer expliziten gesetzlichen Regelung oder eines höchstrichterlichen Urteils schließt dies nach mehrheitlichem Juristen-Urteil die Suizidhilfe durch Ärzte grundsätzlich ein.

⁹ BGH, Urteil vom 25.06.2010 – 2StR 454/09 – BGHSt 55, 191-206= NJW 2010, 2963.

¹⁰ Drittes Gesetz zur Änderung des Betreuungsrechts vom 29.07.2009, Bundesgesetzblatt 2009 I Nr. 48, S. 2286-2287. Jetzt §§ 1901a ff. BGB.

¹¹ Bundesärztekammer (2011): Grundsätze zur ärztlichen Sterbebegleitung. Deutsches Ärzteblatt 108 (7), A346-A34.

¹² Institut für Demoskopie Allensbach (2010) Ärztlich begleiteter Suizid und aktive Sterbehilfe aus Sicht der deutschen Ärzteschaft.

ULR= <http://www.bundesaeztekammer.de/aerzte/medizin-ethik/sterbebegleitung> Letzter Zugriff: Jan. 2016.

In früheren Jahren war deren Rechtskonformität mit Hinweis auf eine ärztliche Garantenpflicht zur Lebensrettung bezweifelt worden.¹³

Um einer Suizidhilfe durch Sterbehilfevereine und einer wiederholten Suizidhilfe, wie sie etwa der Berliner Arzt Uwe Arnold praktiziert¹⁴, das Handwerk zu legen, führte der Deutsche Bundestag Ende 2015 einen neuen Straftatbestand der "geschäftsmäßigen Suizidförderung" ein (§217 StGB).¹⁵ Viele Liberale sehen in dieser Gesetzgebung eine für die Bekämpfung von Suizidhilfe-Missbrauch gänzlich unnötige, im Strafrecht zudem falsch platzierte, dafür aber die faktische Zugänglichkeit zur Hilfe bei freiverantwortlicher Suizidhilfe maßgeblich erschwerende Maßnahme, deren Befürwortung Ignoranz oder revisionistischen Moralvorstellungen entspringe.¹⁶

Andererseits wird (jede) ärztliche Suizidhilfe gegenwärtig von einer Mehrheit der Landesärztekammern gegenwärtig standesrechtlich abgelehnt¹⁷ und widerspricht nach Auffassung der Bundesärztekammer dem ärztlichen Ethos und somit der offiziellen Standesethik („Die Mitwirkung des Arztes bei der Selbsttötung ist keine ärztliche Aufgabe“¹⁸). Unter Ärzten hingegen liegt die Zustimmungsrate zu einer ausdrücklichen Legalisierung ärztlicher Suizidhilfe bei 30%, in der Bevölkerung bei fast 80%. Wie man von einzelnen ‚Bekennern‘ weiß, gibt es in Deutschland eine weitgehend verdeckte Praxis ärztlicher Suizidhilfe¹⁹; ihr Umfang ist nicht bekannt.

Demgegenüber haben derzeit die Schweiz, Holland, Belgien und die US-Staaten Oregon, Vermont, Washington DC und Montana eine Legalisierung der ärztlichen Suizidhilfe (Holland/ Belgien: auch aktive Sterbehilfe) vorgenommen.

Sterbehilfe-Varianten im ethischen Disput

Die Standardbedingungen, unter denen Sterbehilfe zumeist diskutiert wird, sind (i) ein selbstbestimmter – oder juristisch: freiverantwortlicher – Wunsch zu sterben; (ii) eine unheilbare Erkrankung und (iii) bestehendes oder antizipiertes Leiden an subjektiv unerträglichen Beschwerden. Auch jenseits dieser Standardbedingungen stellen sich zahlreiche schwierige Fragen – etwa nach der Zulässigkeit von Sterbehilfe bei kleineren Kindern und anderen noch nicht oder nicht mehr entscheidungsfähigen Patienten; nach möglichen Grenzen von Sterbehilfe durch eine Pati-

¹³ Vgl. Borasio GD, Jox RJ, Taupitz J, Wiesung U (2014): *Selbstbestimmung im Sterben – Fürsorge zum Leben*, Stuttgart: S. 27ff.

¹⁴ Arnold UC (2014): Letzte Hilfe. Ein Plädoyer für das selbstbestimmte Sterben, Reinbek.

¹⁵ Vgl. Duttge (2016).

¹⁶ Vgl. etwa Stellungnahmen von Hilgendorf, Merkel und Schöne-Seifert

<http://www.bundestag.de/bundestag/ausschuesse18/a06/anhoeerungen/stellungnahmen/384664>. Letzter Zugriff: Jan. 2016.

¹⁷ Vgl. Borasio et al. (2014) FN 5: S. 33ff.

¹⁸ Bundesärztekammer (2011) siehe FN 3: S. 346.

¹⁹ Vgl. Fußnote 7.

entenverfügung – etwa bei Demenzpatienten im Spätstadium; oder nach Sterbehilfe für Hochbetagte, die lebensmüde sind, ohne an einer unerträglichen Krankheit zu leiden. Diese und andere Sonderprobleme können hier aus Platzgründen kaum behandelt werden.

Absichtliches Sterbenlassen

Seitdem die moderne Medizin es ermöglicht, Schwerstkranke mithilfe von unterschiedlichsten Medikamenten und Funktionsüberbrückungen am Leben zu halten, auch wenn dies nicht mehr ihrem Willen entspricht oder ihrem Wohlergehen dient, gehören Entscheidungen zum Verzicht auf solche Behandlungen (passive Sterbehilfe) zum alltäglichen Umgang mit Schwerstkranken. Für mehrere europäische Länder wurde erhoben, dass die Mehrheit aller nicht plötzlichen Todesfälle im Kontext solcher Verzichtentscheidungen erfolgt.²⁰ Wo dabei über den Willen gemutmaßt oder von Dritten über das Wohlergehen geurteilt werden muss, kann es zu schwierigen und strittigen Einschätzungen kommen. Aber wenn entscheidungsfähige Patienten eine lebenserhaltende Behandlung informiert, wohlüberlegt und freiwillig – also selbstbestimmt – ablehnen, gilt ihr Sterbenlassen einhellig als Paradigma zulässiger Sterbehilfe. Die betroffenen Patienten können für ihre Entscheidung zwei deutlich unterschiedliche Motivationen haben: Entweder erachten sie die konkrete Behandlung wegen ihres Aufwands, ihrer Nebenwirkungen oder auch ihrer Kosten als zu belastend. Oder sie ziehen den Tod dem Weiterleben als solchem vor, weil dieses mit Kontroll- oder Partizipationsverlusten, Schmerzen, Funktionseinschränkungen oder auch Zumutungen für Dritte einhergeht (oder einherzugehen droht), die sie nicht erleben möchten.

Beide Motivationen, die spezifisch therapiebezogene wie die allgemein lebensqualitätsbezogene, gelten gemeinhin als legitim. Allerdings gilt dies nur für die direkt selbstbezüglichen Gründe und deutlich weniger für das Kosten- und das Zumutungsargument. Doch auch wenn die Finanzierung von Behandlungskosten in Deutschland wie in vielen anderen Ländern als solidarische Aufgabe angesehen wird, ist die Sorge um unverhältnismäßige Belastungen Dritter – Kosten für die Solidargemeinschaft oder ein Sich-Aufopfern der Angehörigen – ja eigentlich ein durchaus nobles Anliegen. Seine Abwehr lässt sich nur als Ausdruck der Angst davor verstehen, dass besagte Dritte die geforderte Selbstbestimmtheit des Sterbewunsches auf subtile Weise unterlaufen könnten.

Die *spezifische* Rechtfertigung passiver Sterbehilfe interpretiert diese (i) als letzte Konsequenz des generellen medizinischen Abwehrrechts von Patienten (keine Therapie ohne informierte Zustimmung), verweist (ii) darauf, dass die Kranken hier an den Folgen ihrer Krankheit und somit eines „natürlichen Todes“ stürben

²⁰ Van der Heide A, Deliens L, Faisst K, Nilstun T, Norup M, Paci E, van der Wal G, van der Maas PJ (2003): “End-of-Life Decision-Making in Six European Countries: Descriptive Study”, *The Lancet* 362 (9381): 345–350.

und betont (iii), dass Ärzte diesen Tod nur zuließen, nicht aber „aktiv“ verursachen. Ob diese Merkmale plausible normative Differenzen markieren, wird im Folgenden noch zu erörtern sein.

Indirekte Sterbehilfe

Palliativtherapie mit in Kauf genommener Lebensverkürzung um Stunden oder Tage ist die zweite einhellig akzeptierte Sterbehilfe-Variante. Auch wenn sie faktisch offenbar an Bedeutung verliert, weil die entsprechenden Behandlungsmaßnahmen zunehmend weniger mit dem Risiko der Todesbeschleunigung behaftet sind, bleibt die normative Argumentation zugunsten der indirekten Sterbehilfe von systematischer Bedeutung.

So verweist die einschlägige Rechtsprechung auf die Zulässigkeit der dahinter stehenden Güterabwägung: Schmerzfreiheit dürfe höher veranschlagt werden als eine terminale Lebensverlängerung. Bei der *spezifisch* ethischen Rechtfertigung von indirekter Sterbehilfe wird im Allgemeinen betont, der Patiententod werde hierbei – anders als bei aktiver Tötung – nicht direkt beabsichtigt, sondern lediglich als Nebenwirkung in Kauf genommen. Ob diese Differenz in der Absichtsstruktur einen ethisch bedeutsamen Unterschied markiert, wie es die moraltheologischen Lehre vom Doppelleffekt postuliert, ist ebenfalls eine der Kontroversen, die im Folgenden noch aufgegriffen wird.

Aktive Sterbehilfe

Sterbehilfe im Modus des absichtlichen Tötens ist die am wenigsten konsensfähige Variante. Das gilt auch dann, wenn sie, wie etwa in den Niederlanden unter den oben genannten Standardbedingungen stattfindet (freiverantwortliches Verlangen, unheilbare Erkrankung und subjektive Unerträglichkeit). Kritiker führen vor allem die intrinsische Unzulässigkeit von Tötungshandlungen, die Gefahr von Missbrauch und Dambrüchen sowie das vermeintlich entgegen stehende ärztliche Ethos an. Befürworter sind der Auffassung, diese Argumente seien entweder unplausibel oder gleichermaßen auf die anderen Formen der Sterbehilfe anwendbar – auch dazu unten mehr.

Die praktische Bedeutung dieser Debatten betrifft grundsätzlich diejenigen sterbewilligen Patienten, deren Tod nicht durch passive Sterbehilfe herbeigeführt werden könnte, weil ihr Leben (noch) nicht "an Schläuchen" hängt: Patienten ohne lebensbedrohliche Symptome, die gleichwohl ihr Leben aufgrund schwerster motorischer, neurologischer oder sensorischer Beeinträchtigungen nicht mehr erträglich finden, oder Patienten, denen das Endstadium einer nicht mehr behandelbaren Krebserkrankung bevorsteht. Für manche von ihnen galt bisher zudem, dass sie sich aufgrund ihrer Beeinträchtigung, auch bei entsprechender Hilfe, nicht mehr selbst das Leben hätten nehmen können. Das allerdings hat sich durch die moderne, über Augenbewegungen zu steuernde Computertechnologie geändert.

Suizidhilfe

Damit wird Sterbehilfe im Modus der (ärztlichen) Suizidhilfe eine prinzipielle Alternative für Schwerstkranke, die ihr Leben nicht mehr ertragen wollen, aber nicht durch den Verzicht auf lebenserhaltende Maßnahmen sterben können. In der ethischen Debatte um Suizidhilfe bei schwerstkranken Patienten deckt sich ein großer Teil der Pro- und Contra-Argumente mit denjenigen, die zur aktiven Sterbehilfe vorgebracht werden. Aber nicht wenige beurteilen aktive Sterbehilfe und ärztliche Suizidhilfe ethisch unterschiedlich. Zugunsten einer solchen Differenz wird zum einen mit der angeblich unterschiedlichen moralischen Dignität von *Fremd-* und *Selbsttötungen* argumentiert; zum anderen gilt Suizidhilfe im Vergleich zu aktiver Sterbehilfe als weniger missbräuchlich und besorgniserregend, weil sie ein deutlicheres Signal der Selbstverantwortung setze.

Systematisierungsversuche und Kohärenzargumente

Tun und Unterlassen

Wer das Sterbenlassen eines Schwerstkranken für ethisch zulässig, dessen Tötung oder Selbsttötung unter sonst identischen Randbedingungen hingegen für verwerflich hält, argumentiert oft mit der angeblich grundsätzlichen ethischen Differenz zwischen Tun und Unterlassen.²¹ Die Position, bestimmte Handlungen seien *als solche*, also gänzlich unabhängig von ihren direkten oder indirekten Folgen, unzulässig, ist jedoch sehr umstritten. Der hier relevante Disput verweist auf einen grundlegenden Dissens zwischen ethischen Konsequentialisten und Anti-Konsequentialisten. Auch Erstgenannte, die alle ethischen Normen letztlich auf die relevanten Folgen von Handlungen oder Regelungen zurückführen, können zugestehen, dass aktive Tötungshandlungen, anders als zum Tode führende Unterlassungen, oft oder zumeist ethisch inakzeptabel sind – vielleicht gerade innerhalb der Medizin. Doch unter den oben klar definierten Randbedingungen, unter denen betroffene Patienten ihren Tod ausdrücklich als das kleinere Übel bewerten, kann ein prinzipieller normativer Unterschied zwischen einem Akt vorsätzlichen Sterbenlassens und einer Tötungshandlung ihnen nicht einleuchten. Zu klären bliebe dann immer noch, ob eine regelrechte Praxis der aktiven Sterbehilfe das Risiko von Missbrauch oder Fehlentwicklungen trüge und daher mit Blick auf diese indirekten Folgen verboten werden müsste (siehe Abschnitt 3.4.).

Manche Autoren verweisen in diesem Zusammenhang im Übrigen darauf, dass die Koppelung zwischen Töten und ethischer Inakzeptabilität sowie zwischen Sterbenlassen und ethischer Akzeptabilität in der Medizin traditionell bereits begrifflich fest so etabliert sei, dass es beim Auseinanderfallen der beiden Merkmale

²¹ Vgl. Birnbacher D: (1995): *Tun und Unterlassen*, Stuttgart.

zu Uneindeutigkeiten und begrifflichen Verwirrungen kommen könne. Aus diesem Grunde haben die renommierten Bioethiker Tom Beauchamp und James Childress inzwischen vorgeschlagen, (auch) die terminologische Unterscheidung zwischen Töten und Sterbenlassen (siehe oben Abschnitt 1.2.) möglichst aufzugeben und unter dem Oberbegriff *intentionally arranged deaths* zwischen ethisch akzeptablen und inakzeptablen Konstellationen oder Fällen von Sterbehilfe zu differenzieren.²²

Die Rechtfertigung von (passiver) Sterbehilfe durch Verweis auf einen ‚natürlichen‘ Tod appelliert an etwa dieselbe Intuition wie das Argument vom zulässigen ‚Geschehenlassen‘: Beides scheint nahezuiegen, dass hier die Natur oder ein hinter ihr stehender Gott gewissermaßen die Verantwortung für den Eintritt des Todes übernehme, während beim aktiven (Selbst-)Töten der Patient, der Arzt oder ein Dritter sich dies unzulässig anmaße. Dagegen lässt sich anführen, dass das Sterben unter heutigen Umständen fast immer verhindert, verzögert und insofern manipuliert wird. Vor allem aber, so die Kritiker, würden sich Vorstellungen von der ‚weisen‘ Natur oder einem (nur) das Sterbenlassen erlaubenden Gott in einer auf Weltanschauungs- und Religionsfreiheit verpflichteten Gesellschaft nicht zur Grundlage einer allgemein verbindlichen Ethik machen lassen.

Der intendierte Tod als Skandal?

Eine andere Argumentationslinie skandalisiert aktive Sterbe- und Suizidhilfe deswegen, weil hier der Tod, anders als bei der indirekten Sterbehilfe, direkt beabsichtigt werde. Die zugrunde liegende ethische Differenzierung zwischen einem unzulässigen beabsichtigten Tod und dessen zulässiger Inkaufnahme als negativer Nebeneffekt folgt der moraltheologischen Lehre vom Doppeleffekt, die sich jedenfalls in diesem konkreten Anwendungsfall alltagsmoralisch fest etabliert zu haben scheint: Ein im Gefolge therapeutisch dosierter schmerzstillender Behandlungen eintretender Tod sei ein Übel, dürfe aber in Abwägung gegen die sonst zu befürchtenden Qualen des Patienten und mangels direkter Beabsichtigung (als Mittel oder Ziel) herbeigeführt werden.

Unabhängig davon, dass zeitgenössische Philosophen die Doppeleffektlehre wohl mehrheitlich *generell* in Frage stellen, leuchtet bei ihrer Anwendung auf Sterbehilfe-Bewertungen schon die Prämisse vom Tod als Übel nicht ein. Unbestritten gilt diese Bewertung für alle Zusammenhänge, in denen derjenige, um dessen Tod es geht, am Leben bleiben möchte oder seinen Tod aus zweifelhaften oder abwendbaren Gründen wünscht. Die Standard-Konstellation diskutierter Sterbehilfe lässt sich so aber gerade nicht beschreiben. Vielmehr geht es *immer* darum, den Tod des Patienten eintreten zu lassen, weil dieser selbst das Sterben unter den bestehenden Umständen nachvollziehbar als das kleinere Übel beurteilt. Damit, so die Verfechter der Gleichwertigkeit von indirekter und aktiver Sterbehilfe, werde

²² Beauchamp/Childress (2013): *Principles of Biomedical Ethics*, S. 175ff.

auch die Differenzierung zwischen Inkaufnahme und Beabsichtigung des (erwünschten) Todes von vorherein ethisch irrelevant.²³

Hier allerdings schließt sich eine andere Überlegung an: Was bei der indirekten Sterbehilfe in der Waagschale der Güterabwägung liegt, sind im engeren Sinne medizinische Schäden – etwa Schmerzen, Atemnot oder Erregungszustände, deren Behandlung Vorrang vor dem reinen Lebenserhalt erhält. Bei der aktiven, aber auch der passiven Sterbehilfe hingegen können aus Patientensicht etliche weitere Aspekte der subjektiven Lebensqualität in die Waagschale ihrer Güterabwägung fallen – etwa krankheitsbedingter Autonomieverlust, Kontrollverlust oder Verlust des persönlichen Lebenssinns. Manche Patienten sehen darin *subjektiv* eine eklatante Verletzung ihrer eigenen Würde im Leben und Sterben. Demgegenüber behaupten Teile der organisierten Palliativmedizin und der Ärzteschaft, moderne Schmerzmedizin, umfassende Pflege und liebevolle Zuwendung erlaubten für jeden Patienten ein schmerzloses Sterben in Würde, notfalls durch Sterben in Schlafnarkose. So erübrige sich die Forderung nach aktiver Sterbehilfe, wenn nur endlich mit dem überfälligen Ausbau der Palliativmedizin Ernst gemacht werde. Diese Position nötigt in den Augen ihrer Kritiker Patienten ein fragwürdiges *objektives* Würdeverständnis auf – nach dem Motto: Schmerzfreiheit ja, dann aber Durchhalten bis zum naturgewollten Ende.

Probleme mit der Selbstbestimmung zum Tode?

Bei der Befürwortung von Suizid- und aktiver Sterbehilfe spielt das Selbstbestimmungsrecht eine zentrale Rolle. Eine politische und ethische Kultur, die allen urteils- und entscheidungsfähigen Menschen ein Recht auf die Gestaltung ihres eigenen Lebens einräume, müsse dies auch auf Fragen des eigenen Sterbens und Leidens ausdehnen, argumentieren insbesondere Vertreter liberaler Denktraditionen.

Gegen dieses liberale Plädoyer wird von manchen – kantianisch – eingewandt, Selbstbestimmung dürfe niemals die Bedingungen ihrer eigenen Möglichkeit abschaffen; Selbstbestimmung zum Tode sei daher als (performativer) Selbstwiderspruch anzusehen und abzulehnen. Die Gegenseite führt ins Feld, die Annahme, Selbstbestimmung habe einen Eigenwert unabhängig von den Interessen ihres ‚Trägers‘ sei absurd, stehe nicht im Einklang mit dem sonst üblichen Verständnis von Selbstbestimmung und sei daher nicht konsensfähig. Zudem müsste der vermeintliche Selbstwiderspruch aus Gründen der Konsequenz auch dort geltend gemacht werden, wo Patienten selbstbestimmt auf lebenserhaltende Therapie verzichten wollen.²⁴

²³ So auch Sumner LW (2011): *Assisted Death. A Study in Ethics and Law*, Oxford: Kap. 3.

²⁴ Vgl. Schöne-Seifert B (2006): „Selbstbestimmte Lebensbeendigung als Selbstwiderspruch? Prüfung eines (Kantianischen) Arguments gegen aktive Sterbehilfe und Suizid“, In: Kaminsky C, Hallich O (Hrsg.): *Verantwortung für die Zukunft*, Münster, S. 163-174.

Konsequenz im Respekt für Selbstbestimmung dient aber auch Kritikern von Suizidhilfe (und aktiver Sterbehilfe) als Argument: Wenn man diesen Respekt fordere, so behaupten sie, lasse er sich nicht auf Todeswünsche im Zusammenhang von Leid und Unheilbarkeit begrenzen, sondern müsse alle autonomen Todeswünsche gleichermaßen ernst nehmen – etwa auch solche aus Lebensüberdruß, überbordendem Selbstgestaltungswillen, Einsamkeit oder Lebensattheit von Hochbetagten. Dagegen führen Befürworter an, die Bindung der Hilfe zum Sterben an die Bedingungen von Leid und Unheilbarkeit setze für eine soziale Praxis, um die es hier gehe, die richtigen Signale. Geholfen werden dürfe dann aus Fürsorge *und* Respekt vor der Selbstbestimmung, was Missbrauchsgefahren einenge und bei potentiellen Sterbehelfern allgemein wünschenswerte Grundeinstellungen zum Lebensschutz wahren und befestigen könne.

Dammbrüche?

Missbrauchsgefahren einer legalisierten ärztlichen Suizidhilfe (oder aktiven Sterbehilfe) werden gleichwohl von vielen Seiten beschworen. Beides könne den allgemeinen Respekt vor dem Lebensschutz aufweichen, einen gesellschaftlichen Erwartungsdruck zugunsten von Sterbehilfe bei Alten und Schwachen schüren oder unaufhaltsamen und problematischen Ausweitungen den Weg ebnen. Wehret den Anfängen, heißt es dann. Diese Dammbruch- und Fehlentwicklungsbefürchtungen werden von der anderen Seite in Abrede gestellt, insbesondere mit Verweis auf empirische Daten aus Ländern, in denen Tötung auf Verlangen oder ärztliche Suizidhilfe gesetzlich zugelassen und geregelt sind. Bereits die Interpretation solcher Daten ist allerdings kontrovers. Sieht man etwa auf den Anteil, den freiwilliges und legales Sterben Schwerstkranker in Oregon, der Schweiz oder Holland an der Gesamtzahl der jährlichen Todesfälle hat, zeigen sich gleichbleibende oder leicht ansteigende Raten.²⁵ Letzteres mag auf eine Zunahme leidvoller Sterbeumstände oder auf weiter wachsende Zustimmung zur Sterbehilfepraxis zurückzuführen sein. Für einen Dammbruch spricht es doch wohl nicht, zumal die Zulässigkeitskriterien in Holland unverändert geblieben sind, während sich gerade die Melderaten deutlich gebessert und die Zahl unzulässiger Fälle massiv verringert haben. Dass dort, wie anderswo auch, Debatten für und wider die Erweiterung von Zulässigkeitsgrenzen geführt werden, signalisiert zunächst nichts anderes als den Stellenwert des Themas. Der dürfte bei uns vergleichbar, nur tabuisierter sein. Überdies gäbe es mit Dokumentations- und Begleitforschungsaufgaben und mit einer Gesetzesregelung auf Zeit rechtstechnische Möglichkeiten, einer ungewollten Ausweitung wirksam zu begegnen.

²⁵ Vgl. etwa Onwuteaka-Philipsen BD, Brinkman-Stoppelenburg A, Penning C, de Jong-Krul GJF, van Delden JJM, van der Heide A (2012): "Trends in end-of-life practices before and after the enactment of the euthanasia law in the Netherlands from 1990 to 2010: a repeated cross-sectional survey", *The Lancet* 380: 908–15.

Zudem gilt: sozialem Druck auf Entscheidungen am Lebensende muss durch entsprechende gesellschaftliche und ärztliche Wachsamkeit vorgebeugt werden. Das gilt schon heute mit Blick auf Entscheidungen zur Begrenzung lebenserhaltender Behandlungen (passive Sterbehilfe). Wenn wir aber, zum Glück, bei diesen tagtäglich anstehenden Entscheidungen bisher keinen Anlass zur Sorge sehen, warum dann bei den absehbar viel selteneren Fällen erbetener Suizidhilfe?

Das ärztliche Ethos

Viele Ärztesfunktionäre und mit ihnen zahlreiche Politiker behaupten apodiktisch, Suizidhilfe und aktive Sterbehilfe unterminierten die moralische Integrität des Ärztestandes, zerstörten die Vertrauensbasis im Arzt-Patienten-Verhältnis und verstießen gegen das Suizidhilfe verbietende ärztliche Ethos. Aber diese Behauptungen sind spekulativ oder unplausibel. Das ärztliche Ethos, sagen andere, müsse im Dienste berechtigter Patientenbedürfnisse stehen. Dazu bräuchten Bürger ihre Ärzte, dazu ließen sie sie ausbilden und bezahlten sie. Und daher hätten sie ein indirektes Mitspracherecht bei der Formulierung dessen, was ärztlich erlaubt, geboten oder verboten sein soll. Patientenbedürfnisse richten sich fast immer auf das Heilen oder Verhindern von Krankheiten, das Lindern von Beschwerden, das Verhindern vorzeitigen Sterbens. Dem sollen Ärzte entsprechen: mit Fachkompetenz, Zugewandtheit und Integrität sowie einer Verpflichtung zu Fürsorge und Respekt vor der Patientenautonomie. Wo nun die moderne Medizin als Schattenseite ihres segensreichen Könnens auch Siechtum, chronisches Leiden und zuverlässige Unheilbarkeitsprognosen produziert, sollten Ärzte in der Mitverantwortung bleiben dürfen.

Ausblicke

Blickt man auf die letzten 50 Jahre zurück, so zeigt sich für ganz Europa und nicht zuletzt auch für Deutschland ein Zunehmen liberaler Positionen in den Debatten um Sterbehilfe, welches den veränderten Sterbeumständen, der wachsenden 'Würdemündigkeit' von Bürgern und Patienten sowie der Säkularisierung dieser und anderer gesellschaftlicher Wertedebatten geschuldet ist. Je mehr es gelingt, Menschen dank medizinischer und anderer Verbesserungen ein sehr langes und in vielen Fällen beschwerdefreies Leben zu ermöglichen und je mehr sie die Gestaltung ihres Lebens als persönliche Aufgabe und Herausforderung ansehen, desto näher wird es vielen liegen, sich (und anderen) die Krankheitslasten der letzten Lebensphase zu ersparen. Ein bereits eingetretenes Siechtum abzukürzen oder dem Fortschreiten einer unheilbaren Erkrankung – wie etwa der bisher nicht behandelbaren alterskorrelierten Demenzerkrankung – durch selbstbestimmtes Sterben vorzubeugen, könnte zur Normalität werden. Eines Tages mag hierfür auch Lebenssattheit ein akzeptiertes Motiv sein – doch bis dahin müsste die Ge-

sellschaft noch deutlich und zuverlässig humaner werden, um zu gewährleisten, dass solche tödlichen Entscheidungen tatsächlich in maximaler Selbstbestimmtheit erfolgen.

Literatur

- Arnold UC (2014): *Letzte Hilfe. Ein Plädoyer für das selbstbestimmte Sterben*, Reinbek.
- Beauchamp TL, Childress JF (2013): *Principles of Biomedical Ethics*, Oxford: S. 174 – 186.
- Birnbacher D, Dahl E (2008): *Giving Death a Helping Hand. Physician-Assisted Suicide and Public Policy. An International Perspective*, Heidelberg.
- Borasio GD, Jox RJ, Taupitz J, Wiesung U (2014): *Selbstbestimmung im Sterben – Fürsorge zum Leben*, Stuttgart.
- DeRidder M (2010): *Wie wollen wir sterben? Ein ärztliches Plädoyer für eine neue Sterbekultur in Zeiten der Hochleistungsmedizin*, München.
- Duttge G (2016): „Der neue Straftatbestand einer geschäftsmäßigen Förderung der Selbsttötung.“ *Neue Juristische Wochenschrift* Heft 3, S. 120 – 125.
- Dworkin, R (1993): *Life's Dominion: An Argument about Abortion, Euthanasia, and Individual Freedom*. New York (dt. 1994).
- Frewer A, Eickhoff C (Hrsg.) (2000): *«Euthanasie» und die aktuelle Sterbehilfe-Debatte. Die historischen Hintergründe medizinischer Ethik*, Frankfurt am Main.
- Holderegger A (Hrsg.) (1999) *Das medizinisch assistierte Sterben. Zur Sterbehilfe aus medizinischer, ethischer, juristischer u. theologischer Sicht*, Freiburg.
- Jox RJ (2013): *Sterbenlassen. Über Entscheidungen am Lebensende*, Hamburg.
- Keown J (2002): *Euthanasia, Ethics and Public Policy. An Argument Against Legislation*, Cambridge.
- Nationaler Ethikrat (2006): *Selbstbestimmung und Fürsorge am Lebensende*, Berlin.
- Schöne-Seifert B (2007): *Grundlagen der Medizinethik*, Stuttgart, Kapitel 5. Sumner LW (2011): *Assisted Death. A Study in Ethics and Law*, Oxford.

Umbrüche markieren Stufen in der biologischen Evolution auf unserem Planeten, und sie sind Triebfeder und Ausgangspunkt grundlegender geschichtlicher, wissenschaftlicher, technologischer und gesellschaftlicher Entwicklungen und Prozesse. Ebenso wie geologische Umwälzungen neue evolutionäre Stufen ermöglichen, können geschichtliche, soziologische und technologische Umbrüche auch Innovationen und fundamentale gesellschaftliche Entwicklungen einleiten.

Die Staaten und Gesellschaften der Welt stehen vor großen Herausforderungen und Umbrüchen, die die Zukunft der Menschen und die unseres Planeten erheblich verändern werden. Diese Einsicht erzeugt nicht selten Ängste und Widerstände. Der Blick aus der Vergangenheit und das Lernen aus früheren geologischen, wissenschaftlichen, technischen, historischen und gesellschaftlichen Umbrüchen der Erd- und Menschheitsgeschichte wird daher notwendig sein, um die kommenden Umbrüche zu meistern und mit Zuversicht, aber auch politischer Kraft anzugehen.

Die Zusammenfassungen ausgewählter Beiträge einer Vorlesungsserie der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen und der Universität Göttingen zeigen an einzelnen Beispielen solche Umbrüche auf und erläutern deren langfristige Konsequenzen.

Göttingen
Campus



ISBN 978-3-86395-322-5

Universitätsverlag Göttingen