

LEIBNIZ-SOZIETÄT: SITZUNGSBERICHTE



SITZUNGSBERICHTE  
BAND 165      JAHRGANG 2024

---



---

LEIBNIZ-SOZietät DER WISSENSCHAFTEN ZU BERLIN

Diese Publikation erfolgte mit freundlicher Unterstützung des Senats von Berlin.

## **Impressum**

Herausgeberin: Gerda Haßler, Präsidentin der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.

Briefanschrift: Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.

Langenbeck-Virchow-Haus, Luisenstr. 58/59, 10117 Berlin

Homepage <http://www.leibnizsozietat.de>

Briefanschrift der Redaktion:

Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V., Redaktionskollegium,

Langenbeck-Virchow-Haus, Luisenstr. 58/59, 10117 Berlin

Im Auftrag der Leibniz-Sozietät e.V. erschienen im trafo Wissenschaftsverlag

Dr. Wolfgang Weist, Finkenstr. 8, 12621 Berlin

Telefon: 030/ 612 99 418

e-mail: [info@trafoberlin.de](mailto:info@trafoberlin.de)

Druck: Ortmaier Druck, Frontenhausen

Bezugsbedingungen: Die Reihe „Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät“ erscheint in unregelmäßigen Abständen etwa viermal jährlich.

Bestellungen sowie fortlaufender Bezug bitte über Ihre Buchhandlung oder direkt beim trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist.

Redaktionelle Durchsicht dieses Bandes: Redaktionskollegium der Leibniz-Sozietät

Redaktionsschluss: 5.11.2024

DOI: 10.53201/SITZUNGSBERICHTE165

ISSN 0947-5850      ISBN 978-3-86464-271-5

## **Inhalt**

|  |     |
|--|-----|
| Ernst-Peter Jeremias, Norbert Mertzsch, Gerhard Pfaff<br><b>Vorwort</b>  | 7   |
| Gerhard Pfaff<br><b>Eröffnung des Kolloquiums der Leibniz-Sozietät der<br/>Wissenschaften zu Berlin e.V. „Die Energiewende 2.0:<br/>Review des Transformationsprozesses des Energiesystems<br/>in Deutschland“</b>   | 17  |
| Ernst-Peter Jeremias, Norbert Mertzsch, Gerhard Pfaff<br><b>Einführung: Review des Transformationsprozesses des<br/>Energiesystems in Deutschland</b>  | 21  |
| Björn Egbert, Caroline Marina Kohl<br><b>Notwendigkeiten in Bildung und Curriculum zur<br/>Implementierung der Bildung für Nachhaltige Entwicklung<br/>unter den Aspekten <i>Energie</i> und <i>Energiewende</i></b> | 53  |
| Uwe Witt<br><b>Deutschland bis 2045 klimaneutral?</b>  | 81  |
| Michael Thomas<br><b>Transformation und Energiewende – eine ambivalente<br/>Beziehung. Anmerkungen aus soziologischer Sicht</b>  | 103 |
| Gerhard Banse<br><b>Die Behandlung der Energiewende in der Leibniz-Sozietät<br/>und im LIFIS – ein Überblick</b>   | 129 |
| Philipp Godron<br><b>Stromwende – Stand und weitere Herausforderungen</b>  | 149 |
| Kerstin Becker, Ernst-Peter Jeremias, Christian Reymann<br><b>Wärmewende – Stand und weitere Herausforderungen</b>   | 159 |

|   |     |
|---|-----|
| Weert Canzler   | 179 |
| <b>Mobilitätswende – Stand und weitere Herausforderungen</b>  |     |
| Norbert Mertzsch  | 201 |
| <b>Anmerkungen zur Energiewende aus Sicht der Allgemeinen Technologie</b>   |     |
| Norbert Mertzsch, Ernst-Peter Jeremias, Gerhard Pfaff,<br>Gerhard Banse   | 235 |
| <b>Betrachtungen zur Energieversorgungssicherheit</b>   |     |
| Gerhard Banse   | 265 |
| <b>Aktivitäten der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin (LS) und des Leibniz-Instituts für interdisziplinäre Studien (LIFIS) im/zum Bereich „Energie – Mensch – Zukunft“</b> |     |
| <b>Verzeichnis der Autorinnen und Autoren</b>   | 293 |

## **Vorwort**

***Ernst-Peter Jeremias, Norbert Mertzsch, Gerhard Pfaff***  
*(alle MLS)*

Ausgehend von der 5. Jahrestagung der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V. im Jahre 2012 zum Thema „Energiewende – Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag“, der bereits mehrere Veranstaltungen und Diskussionen vorausgingen, wurden in den letzten Jahren verschiedene Aspekte der Energiewende systematisch betrachtet. Dafür stehen u. a.:

- Kolloquium zu Aspekten der Energiewende in Deutschland: Erneuerbare Energieträger – Eigenschaftsprofile, Probleme und realistische Perspektiven ihrer Nutzung unter den Bedingungen Deutschlands am 11. Oktober 2012
- Kolloquium zum Thema „Energiespeichertechnologien: Notwendigkeiten, Problemspektren, wissenschaftlich-technische Entwicklungen und Perspektiven“ am 13. Dezember 2013
- Kolloquium zum Thema „Energiewende 2.0 – Die ambivalente ‚Wärme‘ im Fokus der Wissenschaft und Wirtschaft, der Technik und Technologie“ am 19. Mai 2017
- Öffentliche Disputation zum Thema „Die Energiewende 2.0: Essentielle wissenschaftlich-technische, soziale und politische Herausforderungen“ am 12. April 2018
- Öffentliche Disputation zum Thema „Die Energiewende 2.0 – *Im Fokus: Die kardinale Effektivität und Effizienz*“ am 06. Dezember 2018
- Kolloquium und Disputation zum Thema „Die Energiewende 2.0 – Im Fokus: Die Mobilität“ am 07. Mai 2021

- Kolloquium zum Thema „Die Energiewende 2.0 – Im Fokus: Die Infrastruktur“ am 13. Mai 2022
- Kolloquium zum Thema „Die Energiewende 2.0: Im Fokus die Stoffwirtschaft“ am 09. Juni 2023.

Am 21 Juni 2024 führte die Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin nun in Zusammenarbeit mit der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam, und dem Leibniz-Institut für interdisziplinäre Studien e.V. das Kolloquium „Die Energiewende 2.0: Review zum Transformationsprozess des Energiesystems in Deutschland“ durch. Das Kolloquium setzte damit die Vortragsreihe zu energiebezogenen Themen fort.

Der Sekretar der Klasse *für Naturwissenschaften und Technikwissenschaften der Leibniz-Sozietät Gerhard Pfaff* begrüßte die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Kolloquiums. Diese nahmen sowohl in Präsenz als auch per Zoom am Kolloquium teil. In seinen Ausführungen wies *Gerhard Pfaff* auf die lange Tradition der wissenschaftlichen Behandlung des Themas „Energiewende“ in der Leibniz-Sozietät hin und hob die große Bedeutung der Energie-Problematik im Zusammenhang mit den klimapolitischen Veränderungen in Deutschland und in der Welt hervor.

Den wissenschaftlichen Einführungsvortrag von *Ernst-Peter Jeremias, Norbert Mertzsch* und *Gerhard Pfaff* (alle MLS) hielt *Ernst-Peter Jeremias*. Der Vortrag ging u. a. darauf ein, dass in der Energiewirtschaft bereits deutliche Emissionsreduktionen erreicht wurden, insbesondere durch den Rückgang der Kohleverstromung. Der Anteil der Einkommensenergien am Strommix überschritt 2023 erstmals die 50%-Marke, was die Fortschritte in Richtung einer nachhaltigen Energieversorgung unterstreicht.

Im Industriesektor führten Produktionsrückgänge 2023 in energieintensiven Branchen zu einer 12-prozentigen Emissionsreduktion gegenüber dem Vorjahr. Die großen Aufgaben der Transformation in der Stoffwirtschaft stehen aber erst noch bevor.

Im Gebäudesektor wurden die gesetzlichen Klimaziele für 2023 erneut verfehlt. Die Quote der energetischen Sanierungen ist im Sinken begriffen, obwohl die Baubranche nicht ausgelastet ist. Der hohe Anteil fossiler Heizsysteme bleibt weiter ein kritischer Punkt.

Auch der Verkehrssektor hat 2023 seine Klimaziele nicht erreicht, mit einem stagnierenden Anteil von Elektroautos, der weit unter dem Niveau liegt, um die Ziele für 2030 zu erreichen. Der öffentliche Nahverkehr hat

trotz der Einführung des Deutschlandtickets keine signifikante Emissionsreduktion erreicht.

Die Verfügbarkeit kritischer Rohstoffe für die Energiewende bleibt entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung der Transformationsprozesse, insbesondere im Hinblick auf die Elektromobilität und die Digitalisierung. Zu deren Sicherung setzt sich Deutschland aktiv für die Einhaltung strenger Umwelt- und Menschenrechtsstandards in den Lieferketten dieser Rohstoffe ein.

Die soziale und politische Dimension der Energiewende ist durch eine breite Palette von Reaktionen in der Bevölkerung gekennzeichnet, von Unterstützung bis zu Widerstand, was die Notwendigkeit einer besseren und transparenteren Kommunikation und die Förderung sozialer Gerechtigkeit unterstreicht. Die Kostenverteilung der Energiewende, insbesondere die Auswirkung auf einkommensschwache Haushalte, erfordert sorgfältige Überlegungen und Maßnahmen zur Sicherung der sozialen Akzeptanz.

Der Vortrag stellte die aktuellen Entwicklungen und Herausforderungen bei der Energiewende dar und zeigte die Komplexität bei der Erreichung der angestrebten Klimaziele auf. Trotz einiger beachtlicher Erfolge sind weiterhin erhebliche Anstrengungen erforderlich, um eine nachhaltige und umfassende Energiewende in Deutschland zu realisieren und diese dauerhaft zu stabilisieren. In seinen Schlussbemerkungen wies *Ernst-Peter Jeremias* nochmals auf folgende Sachverhalte hin:

- Visionen sind weiterzuentwickeln und vor allem in der Gesellschaft verständlich zu kommunizieren.
- Es besteht die Dringlichkeit einer sektorenübergreifenden Zusammenarbeit im Sinne eines ganzheitlichen Prozesses,
- Herausforderungen annehmen und Fortschritte organisieren,
- Wiedererlangung von Technologieführerschaften,
- Integration technischer, wirtschaftlicher und sozialer Strategien,
- Verzug beim Ausbau der erneuerbaren Energien und Stromnetze,
- Es bleiben gravierende Risiken für das Erreichen der energiepolitischen Ziele!
- Heute bestehende Defizite kann man aber nicht nur der aktuellen Regierung anlasten.

*Björn Egbert* und *Caroline Marina Kohl* (Humanwissenschaftliche Fakultät der Universität Potsdam) gingen in ihrem Vortrag zum Thema „Bildungsbedarfe zur Nachhaltigen Entwicklung unter den Zielkategorien Energie und Energiewende“, der von *Caroline Marina Kohl* gehalten wurde, auf die Herausforderungen der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) an allgemeinbildenden Schulen unter einem naturwissenschaftlichen und technischen Schwerpunkt und mit Blick auf die Aspekte Energie und Energiewende ein. Der Fokus lag dabei auf der Rolle des unscharfen Leitkonzepts BNE, der curricularen Verankerung der fachwissenschaftlichen Grundlagen der Aspekte Energie und Energiewende, der aktuellen Forschungsstände sowie auf konzeptionellen Überlegungen zur systematischen Auseinandersetzung mit eben diesen existenziellen Unterrichtsgegenständen.

„Deutschland bis 2045 klimaneutral?“ lautete der Titel des Vortrags von *Uwe Witt* (Rosa-Luxemburg-Stiftung). Der Referent verwies darauf, dass von der Europäischen Union und der Bundesregierung in den letzten Jahren Weichen gestellt wurden, um die Dekarbonisierung von Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr und Gebäuden zu beschleunigen. In einigen Bereichen zeigen sich Erfolge (etwa Ökostromausbau, Kohleausstieg), in anderen drohen dramatische Zielverfehlungen. Ursachen für letztere sind falsche oder fehlenden Instrumentierungen sowie das riskante Setzen auf ungeeignete technologische Lösungen. Dies gilt insbesondere für den Verkehrs- und den Gebäudesektor, wo beispielsweise „grüne Gase“ von Lobbygruppen und relevanten Teilen der Politik konzeptionell als Joker dafür genutzt werden, effizientere und preiswertere Transformationsprozesse zu verzögern, um fossile Geschäftsmodelle länger im Markt zu halten. Problematisch im Mobilitätsbereich sind aber auch jene Konzepte, die suggerieren, Elektromobilität könne den heutigen Pkw-Bestand eins zu eins ersetzen, anstatt eine echte Verkehrswende voranzutreiben. Über allem schweben neue Ressourcenkonflikte, da Kreislaufwirtschaft und Suffizienz eine zu geringe Rolle spielen. Hinzu kommen bislang ungelöste und neu entstehende Verteilungskonflikte, die nicht nur den ökologischen Umbau bedrohen, sondern auch die Demokratie. Im Vortrag wurden die skizzierten Erfolge bzw. Defizite und deren Ursachen benannt sowie Lösungswege aufgezeigt.

Zum Thema „Transformation und Energiewende – eine ambivalente Beziehung“ machte *Michael Thomas* (MLS) Anmerkungen aus soziologischer Sicht. Er zeigte, dass soziologische Forschung wichtige Beiträge zu

den (sozialen) Voraussetzungen und (sozialen) Folgen der Energiewende erbringen kann. Und sie tut das. Dennoch wäre allein eine solche Beziehung möglicherweise deterministisch bzw. einseitig. Ausgehend von der soziologischen Frage nach gesellschaftlicher Transformation ist eine solche Ergänzung bzw. Parallelisierung der Perspektiven nicht ausreichend. Vielmehr lässt sich ein Bedingungsverhältnis ausmachen, zeigen sich Durchdringung bzw. Abhängigkeit – eine hochgradig ambivalente Symbiose. Zugespitzt gilt: Keine Transformation ohne Energiewende, keine Energiewende ohne Transformation. Insofern schloss der Beitrag entsprechend der Ausrichtung auf „Review“ zunächst an das in der Tagung 2012 entwickelte Grundverständnis und diesbezüglich formulierte Fazit an: „Es gibt gute Gründe, die angeführten Leitbegriffe und Leitkonzepte nicht zu verabschieden.“ Der Forschungs- und Diskussionsstand (auch aus der Leibniz-Sozietät) liefert zudem vielfältige Belege.

Nach einer knappen Begriffsbestimmung (Transformation, Energiewende 2.0) wurde das ambivalente Bedingungsverhältnis als Fazit fehlgeschlagener Transformation in Ostdeutschland nachgezeichnet bzw. an markante Aspekte erinnert. Soziologisch lässt sich von einer tragischen „Verlaufskurve“ sprechen, statt Erneuerung gibt es Stagnation. Anschließend wurde die gleichfalls ambivalente aktuelle Konstellation von Transformation und Energiewende umrissen. Die Energiewende oder Große Transformation – trotz zum Teil guter Zahlen – eher als „Versprechungsmaschine“?

An Beispielen wurden schließlich Ansätze transformativer Wissenschaft und Gestaltung aufgegriffen und an dem ambivalenten Beziehungsgefüge demonstriert. Unter Verwendung der Metapher „schwache Hoffnung“ (Jens Beckert) ließen sich offene Anschlussstellen markieren.

In seinem Vortrag „Die Behandlung der Energiewende in der Leibniz-Sozietät und im LIFIS – Ein Überblick“ gab *Gerhard Banse* (MLS) auf der Grundlage einer umfangreichen Zusammenstellung ein Überblick über Aktivitäten sowohl der Leibniz-Sozietät (LS) als auch des Leibniz-Instituts für Interdisziplinäre Studien (LIFIS) im Bereich „Energie“. Unter „Aktivitäten“ wurden sowohl wissenschaftliche Veranstaltungen (Einzelvorträge und Tagungen) als auch Publikationen und Projekte subsumiert. Es wurde *erstens* gezeigt, dass in der LS und im LIFIS relevante Probleme thematisch und methodisch seit ihrer jeweiligen Gründung (1993 bzw. 2002) vielfältig behandelt wurden. Dabei bzw. dafür spielte das Wirken mehrerer Arbeitskreise der LS eine gewichtige Rolle. *Zweitens*

wurde gezeigt, dass sich im Laufe der Jahre das thematische Spektrum von grundsätzlicheren Themen („Kernenergie versus Solarzeitalter!“) zu differenzierenden Ansätzen („kritische Rohstoffe“, „Energiewende“) sowie die genutzten „Formate“ (vom Einzelvortrag hin zu Tagungen) verschoben haben. Dazu wurden *drittens* drei „Etappen“ bzw. „Phasen“ hinsichtlich der behandelten Themen und der genutzten methodischen Formen unterschieden: 1. Zeitraum von der Gründung der LS bis etwa 2001/2002; 2. Zeitraum von etwa 2001/2002 bis etwa 2014/2015; 3. Zeitraum von etwa 2014/2015 bis zur Gegenwart. *Viertens* zeigt die Bestandsaufnahme, dass technikbezogene Darstellungen generell überwiegen. Ökonomische, ökologische, soziale, kulturelle, anthropologisch-humane und ethische Aspekte wurden weniger systematisch betrachtet (Abnahme in der genannten Reihenfolge!). In diesem Zusammenhang wurde *fünftens* kurz auf Technikfolgenabschätzung und Lebenszyklusanalysen auch als für die „Energiewende“ sinnvoll anwendbare Mittel eingegangen. Als Fazit der Bestandsaufnahme wurde im Vortrag konstatiert: Insbesondere mit den Publikationen liegt ein wissenschaftlicher Fundus vor, der aber weder in der LS und im LIFIS noch – und vor allem – „extern“ ausreichend genutzt wird.

*Philipp* Godron (Agora Energiewende) wies in seinem Vortrag „Stromwende – Stand und weitere Herausforderungen“ darauf hin, dass ein Stromsystem auf der Basis von 100 % erneuerbaren Energien die Voraussetzung für eine klimaneutrale Energieversorgung ist. In einer klimaneutralen Volkswirtschaft steht Strom aus Windkraft und Solarenergie am Anfang beinahe jeder Energieversorgungskette, sei es um Haushalte und Industrie mit fossilfreier, strombasierter Wärme zu versorgen, Elektroautos zu laden oder grünen Wasserstoff für die Industrie und Kraftwerke herzustellen.

Obwohl der Gesamtenergiebedarf perspektivisch sinkt, wird der Strombedarf durch die zunehmende Elektrifizierung etwa von Verkehr, Wärmebereitstellung für Haushalte und Industrieprozesse steigen. Auch dieser zusätzliche Strombedarf muss klimaneutral erzeugt werden. Der massive Ausbau von Windkraft- und Photovoltaikanlagen und der damit verbundene Ausbau der Stromnetze sind daher zentrale Bestandteile einer gelingenden Energiewende.

Die Ampel-Koalition hat sich zum Ziel gesetzt, den Anteil der erneuerbaren Energien bis 2030 auf 80 % an einem auf 750 Terawattstunden

gestiegenen Stromverbrauch in Deutschland zu erhöhen. Hierfür wurden umfangreiche Maßnahmen zum Erhöhen der Ausbauzahlen von Wind an Land und auf See sowie Photovoltaik in die Wege geleitet. Wind- und Solarkraftwerke können konventionelle, regelbare Kraftwerke allerdings nicht eins zu eins ersetzen. Es gilt daher das System an die Erzeugereigenschaften von erneuerbaren Energien anzupassen. Flexibilität wird zum Paradigma: Die Infrastruktur trägt zum geographischen und zeitlichen Ausgleich von Angebot und Nachfrage bei, Verbraucher wie Wärmepumpen, Autobatterien oder Elektrolyseure passen ihren Energiebezug an die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien an, Batteriespeicher und Wasserstoffkraftwerke gleichen kurzfristige und saisonale Schwankungen aus und sichern die Versorgung ab.

2023 betrug der Anteil der Erneuerbaren am Stromverbrauch erstmals über 50 %, die Kohleverstromung fiel mit 132 TWh ebenso wie die Emissionen auf einen historischen Tiefstand. Mit einem Zubau von 14,4 GW übertraf die Photovoltaik den bisherigen Rekord aus 2012 um 6,2 GW. Zugleich bleiben wesentliche Herausforderungen ungelöst: Der Ausbau der Windkraft hinkt den Zielmarken des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes deutlich hinterher, die Kraftwerkstrategie der Bundesregierung ist bislang erst in Ansätzen entwickelt. Sorge bereiten zudem den Bundeshaushalt betreffende Herausforderungen in Folge des Bundesverfassungsgerichtsurteils zum Klima- und Transformationsfonds (KTF) sowie der Ausblick auf die Strompreisentwicklung – trotz deutlicher Erholung nach der fossilen Preiskrise in Folge des russischen Angriffskriegs auf die Ukraine.

Der Vortrag bot eine Bestandsaufnahme des Stromsektors im Jahr 2024 und der Herausforderungen für die kommenden Jahre sowie einen Ausblick auf einen Transformationspfad hin zu einem Stromsystem im Jahr 2035, das ohne fossile Energieträger auskommt.

Den Vortrag „Wärmewende – Stand und weitere Herausforderungen“ von *Kerstin Becker* (Ingenieurbüro Deine Fernwärme), *Ernst-Peter Jeremias* (MLS) und *Christian Reymann* (tetra ingenieure GmbH) hielt *Christian Reymann*. Er zeigte, dass das Ziel der Bundesregierung, bis 2045 in Deutschland eine klimaneutrale Wärmewirtschaft zu erreichen umfassende Anstrengungen in allen Bereichen des Wärmesektors, von der klimaneutralen Wärmebereitstellung über die Reduzierung des Wärmeverbrauchs bis hin zur Senkung des Temperaturniveaus bei der Produktion

und beim Verbrauch erfordert. Denn etwa 57 % des Endenergieverbrauchs in Deutschland im Jahr 2021 entfielen auf den Wärmesektor, der hauptsächlich in die Raumwärme, Prozesswärme und Warmwasser unterteilt wird. Die Optimierung des Wärmesektors ist somit zentral für die CO<sub>2</sub>-Reduktion und Energieverbrauchssenkung.

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen sehen vor, den Anteil erneuerbarer Energien im Wärme- und Kältesektor von derzeit (2023) 18,8 % bis 2030 auf 27 % zu steigern. Fernwärme, die besonders in urbanen Gebieten eine wichtige Rolle spielt, soll vorrangig aus erneuerbaren Quellen stammen.

Zur Dekarbonisierung der Fernwärme wird die Nutzung von Abwärme, Umweltwärme und nachhaltiger Biomasse vorgeschlagen. Fernwärmenetze sollen für eine effiziente Wärmebereitstellung verdichtet und ausgebaut werden. Die Energieeffizienz in Wohn- und Industriebereichen, die zusammen etwa 85 % des Wärmeverbrauchs ausmachen, muss durch Sanierung und moderne Haustechnik verbessert werden.

Es besteht eine klare Notwendigkeit, den Wärmesektor stärker in den Fokus der Energiewende zu rücken, um die ambitionierten Klimaziele der Bundesregierung zu erreichen. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit aller beteiligten Akteure sowie eine verstärkte Forschung und Förderung effizienter Technologien.

Der Vortrag konzentrierte sich auf die Bedeutung der Fernwärmeversorgung und die Herausforderungen in diesem Bereich.

*Weert Canzler* (Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH) zeigte in seinem Vortrag „Mobilitätswende – Stand und weitere Herausforderungen“, dass bei der Mobilitätswende vielfach nur das Auto gesehen wird. Der fossil betriebene Straßenverkehr hat sich zum Problemkind des Klimaschutzes entwickelt. Elektrische Antriebe auf Grundlage erneuerbarer Energie sind die naheliegende Antwort. Die Antriebswende hat begonnen, auch wenn sie derzeit stockt.

Es geht bei der Mobilitätswende aber um mehr. Es geht auch um die Überlastung der Straßen und des sonstigen öffentlichen Raumes durch den „ruhenden Verkehr“. Die Konkurrenz um den knappen städtischen Raum hat sich in den letzten Jahren zum einen deshalb verschärft, weil urbane Aufenthaltsqualität wichtiger geworden ist. Einen Schub gab es insbesondere während der Corona-Pandemie, in der der Nahraum von vielen Bürgerinnen und Bürgern neu entdeckt worden ist. Mittlerweile ist

eine hohe urbane Aufenthaltsqualität zum Standortfaktor im Wettbewerb um Firmen und Fachkräfte geworden. Zugleich ist die Konkurrenz um den öffentlichen Raum auch zwischen den verschiedenen Verkehrsträgern schärfer geworden. Mehr und größere Autos benötigen viel Platz, gleichzeitig erheben die alternativen Verkehrsträger Ansprüche auf eigene – geschützte und damit exklusive – Wege. Mehr Busspuren und protected bike lanes gibt es in der Regel nur dann, wenn Autospuren oder Parkplätze am Straßenrand umgewidmet werden.

Der Druck nimmt im Übrigen weiter zu: Bundesweit sind mittlerweile 49 Millionen Autos zugelassen, die im Schnitt auch ständig noch größer und schwerer werden. Gleichzeitig sinkt die Zahl der durchschnittlich gefahrenen Kilometer pro Fahrzeug und Jahr. Waren es 2015 noch über 14.000 Kilometer, sind es 2022 fast 2.000 Kilometer weniger. Je mehr Fahrzeuge, desto mehr werden sie zu Stehzeugen. Die Zulassungszahlen des Kraftfahrt-Bundesamts sind Durchschnittszahlen für die ganze Bundesrepublik. In den Stadtstaaten liegen die durchschnittlichen Fahrleistungen noch einmal deutlich niedriger – in Berlin waren es zuletzt nicht einmal 9.500 Kilometer. In vielen Innenstadtquartieren ist für viele das Auto nur noch eine Art Mobilitätsreserve. Die meisten Wege werden längst zu Fuß, mit dem Rad oder mit Bussen und Bahnen zurückgelegt. Damit verliert auch der Straßenbau seine Argumente.

Im Schlusswort dankte *Gerhard Pfaff* allen Vortragenden und Teilnehmern der Diskussion für ihre Beiträge. Es ist vorgesehen die Vorträge in einem Band der „Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften“ zu publizieren. Die Weiterführung der Reihe der Kolloquien zum Thema „Energiewende“ ist vorgesehen.

Zusätzlich zu den Beiträgen des Kolloquiums „Die Energiewende 2.0: Review zum Transformationsprozess des Energiesystems in Deutschland“ wurde in den vorliegenden Band ein Beitrag zum Thema „Anmerkungen zur Energiewende aus Sicht der Allgemeinen Technologie“ von *Norbert Mertzsch* aufgenommen. In diesem Beitrag werden aus der Perspektive der allgemeinen Technologie einzelne Aspekte der Veränderungen in den Produktions-, Transport- und Speicherprozessen von Energieträgern und Energie sowie der dafür notwendigen Infrastruktur beschrieben.

Weiterhin wurde der verschriftliche Vortrag „Betrachtungen zur Energieversorgungssicherheit“ von *Norbert Mertzsch, Ernst-Peter Jeremias,*

*Gerhard Pfaff* und *Gerhard Banse* (alle MLS) aufgenommen, der in der öffentlichen Sitzung der Klasse für Naturwissenschaften und Technikwissenschaften der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin am 12. September 2024 in einer Videokonferenz vorgetragen wurde.

In diesem wurde ausgeführt, dass die Energieversorgungssicherheit früher vorwiegend auf den Import von Energierohstoffen in Form von Vermögensenergieträgern (fossile Energieträger wie Kohle, Erdöl, Erdgas) bezogen wurde. Inzwischen zeigen Anschläge auf Strommasten und Auswirkungen von Unwettern, dass das Thema wesentlich umfassender zu betrachten ist. So sollen im Beitrag neben historischen Betrachtungen zur Energieversorgungssicherheit der Menschheit sowohl die politischen und ökonomischen Dimensionen als auch die technischen und organisatorischen Aspekte der aktuellen und zukünftigen Energieversorgungssicherheit aufgezeigt werden.

In den Ausführungen wird auf relevante Sicherheitsaspekte beim Import von Vermögensenergieträgern ebenso eingegangen wie auf die sichere Bereitstellung von Einkommensenergien (erneuerbare Energien wie Windenergie, Solarenergie) im Inland. Einen wesentlichen Platz in den Betrachtungen nimmt die Energieinfrastruktur als Teil der kritischen Infrastruktur ein. Angesprochen wird auch die Problematik der Datensicherheit, die im Rahmen der Energiewende zunehmende Bedeutung erhält.

Die Herausgeber gehen davon aus, dass der hier vorliegende Band der Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin mit den darin enthaltenen Vorträgen des Kolloquiums „Die Energiewende 2.0: Review zum Transformationsprozess des Energiesystems in Deutschland“ und den weiteren Beiträgen in der aktuellen Diskussion zu energiewissenschaftlichen und energiepolitischen Themen einen wertvollen Beitrag leisten kann. Es ist daher das Anliegen, die Inhalte der Vorträge mit diesem Band einem breiteren Kreis an Interessenten zugänglich zu machen. Für Anregungen, Hinweise und Kommentare zu den Ausführungen stehen die Herausgeber, aber auch die Autoren der Einzelbeiträge gern zur Verfügung.

**Eröffnung des Kolloquiums der Leibniz-Sozietät der  
Wissenschaften zu Berlin e.V. „Die Energiewende 2.0:  
Review des Transformationsprozesses des Energiesystems  
in Deutschland“**

***Gerhard Pfaff***

*(Berlin, MLS)*

Sehr geehrte Damen und Herren, liebe Kolleginnen und Kollegen,

ich freue mich sehr, Sie im Namen des Präsidiums der Leibniz-Sozietät zum heutigen Kolloquium begrüßen zu können. Das Kolloquium gehört zu einer Reihe von Veranstaltungen zum Thema „Energiewende 2.0“, die bereits 2012 mit der 5. Jahrestagung der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V. mit dem Thema „Energiewende – Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag“ ihren Anfang nahm. Bereits davor gab es einige Veranstaltungen und Diskussionen zur Energiewende in unserer Gelehrtenegesellschaft. In den letzten 12 Jahren wurden verschiedene Aspekte der Energiewende in Kolloquien und Disputationen systematisch behandelt.

In den zurückliegenden Jahrtausenden musste der Mensch bis etwa zur Mitte des 18. Jahrhunderts bei seinen Aktivitäten im Wesentlichen erneuerbare Energiequellen (Einkommensenergien) nutzen. Dabei spielte der nachwachsende Rohstoff Holz neben der Wasserkraft und der Windkraft die dominierende Rolle. Erst im Rahmen der Industrialisierung setzte sich die Verwendung von fossilen Energiequellen (Vermögensenergien) wie Kohle, Erdgas und Erdöl mehr und mehr durch. Der daraus folgende signifikante Anstieg der Konzentration von Kohlendioxid und anderen sogenannten Treibhausgasen in der Erdatmosphäre und deren gravierender Einfluss auf das Klimasystem der

Erde wurde lange Zeit überhaupt nicht wahrgenommen. Zum einen war die Menge an erzeugten Treibhausgasen und deren Bedeutung für einen Temperaturanstieg auf der Erde anfangs noch vergleichsweise gering, zum anderen gab es keine ausreichenden Messmöglichkeiten und schließlich verstand man die Wirkung derartiger Gase überhaupt noch nicht. Wissenschaftliche Untersuchungen der letzten Jahrzehnte belegen, dass Treibhausgase neben anderen Faktoren einen enormen Einfluss auf das Erdklima haben. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit der Abkehr von den Vermögensenergien und die vorrangige Nutzung von solarer Energie und Windenergie. Der damit verbundene Prozess wird in Deutschland mit dem Begriff Energiewende umschrieben. Diese Maßnahmen haben auch umfangreiche Auswirkungen auf die Stoffwirtschaft, bei denen die Vermögensenergieträger Kohle, Erdgas und Erdöl nicht nur energetisch genutzt werden, sondern auch stofflich als Reaktionspartner beteiligt sind.

Im Rahmen des Kolloquiums „Die Energiewende 2.0: Review des Transformationsprozesses des Energiesystems in Deutschland“ wird eine Analyse zum aktuellen Stand der Energiewende versucht. Es gilt, die aktuelle Situation einzuschätzen, um Schlussfolgerungen zu dem abzuleiten, was unbedingt getan werden muss, um die klimapolitischen Ziele zu erreichen. Dabei wird aber nicht nur auf die technischen Probleme eingegangen, es sollen auch wichtige Fragen, die das gesellschaftliche Leben betreffen, behandelt werden.

Dazu sind nach einem Einführungsvortrag mit dem Titel „Review des Transformationsprozesses des Energiesystems in Deutschland“ Vorträge zu den Themen

- Bildungsbedarfe zur Nachhaltigen Entwicklung unter den Aspekten Energie und Energiewende,
- Deutschland bis 2045 klimaneutral?
- Transformation und Energiewende – eine ambivalente Beziehung. Anmerkungen aus soziologischer Sicht,
- Die Behandlung der Energiewende in der Leibniz-Sozietät und im LIFIS – Ein Überblick,
- Stromwende – Stand und weitere Herausforderungen,
- Wärmewende – Stand und weitere Herausforderungen,
- Mobilitätswende – Stand und weitere Herausforderungen

vorgesehen. Diese und weitere damit im Zusammenhang stehende Themen können und sollen dann in der sich anschließenden Diskussion weiter vertieft werden.

Die Vorträge und die Diskussionen werden sicher zeigen, dass es in den nächsten Jahren noch erheblich größerer Anstrengungen bedarf, die Energie- und die Stoffwirtschaft so umzubauen, dass sie den Anforderungen, die sich aus der Energiewende ergeben, gerecht werden. Weitere Sektoren, die eine enorme Bedeutung für den Transformationsprozess haben, die aber heute nicht mehr mit in das Vortragsprogramm aufgenommen werden konnten, sind die Landwirtschaft, die Forstwirtschaft sowie die Wasser- und Abfallwirtschaft.

Viele Dinge sind derzeit in der Transformation und müssen in den nächsten Jahren weiter vertiefend betrachtet werden. Allein die Umstellung auf Wasserstoff, auf der viele Hoffnungen ruhen, bringt eine Vielzahl von Problemen mit sich, die zu lösen sind. Fragen wie die, ob wir Wasserstoff in Deutschland in den benötigten Mengen wirtschaftlich produzieren können, wie zu importierender Wasserstoff zu uns kommt, welche Auswirkungen mit der Nutzung auf die verschiedenen Industrien zukommen (Energie, Chemie, Metallurgie, Glas- und Keramik, usw.) oder wie Wasserstoff gefahrlos eingesetzt werden kann, sind zu klären

Entscheidend für die Lösung der anstehenden Probleme wird sein, wie die Energiewirtschaft und die Stoffwirtschaft mit den neuen Herausforderungen zurechtkommen. Wichtig dabei ist, dass sparsam mit der bereitgestellten Energie umgegangen wird. Der Verbrauch an zu produzierenden Stoffen muss deutlich gesenkt werden. Dazu ist eine funktionierende Wirtschaft des Recyclings zu etablieren, bei der die Produkte in einem Kreislauf länger genutzt werden und Rohstoffe aus Abfällen wiedergewonnen werden können. Stoff- und Energieeinsatz ließen sich so signifikant reduzieren. Ein bedingungsloses, zukünftiges wirtschaftliches Wachstum auf der Erde ist in Frage zu stellen. Das setzt ein deutliches Umdenken bei den Verbrauchern und den Herstellern voraus. Es liegt auf der Hand, dass es bei der Energiewende nicht nur um naturwissenschaftliche und technische Probleme geht. Meinungen von Wirtschaftswissenschaftlern, Soziologen und Politikwissenschaftlern sind in gleicher Weise einzubeziehen. Das Thema „Transformationsprozess des Energiesystems in Deutschland“ beinhaltet also gleichzeitig auch das interdisziplinäre Zusammenwirken verschiedener Fachrichtungen. So ist es auch Anliegen der heutigen Veranstaltung,

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unterschiedlicher Disziplinen zusammenzuführen. Mögen daraus Kontakte entstehen, die für den anstehenden weiteren Transformationsprozess förderlich sind.

Es ist wie in den Vorjahren geplant, die Vorträge in einem Band der „Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften“ oder in „Leibniz Online“ zu publizieren.

Ich bedanke mich bei allen Vortragenden des Kolloquiums für die vorbereiteten Beiträge, bei Frau Caroline Marina Kohl von der Universität Potsdam für die technischen Unterstützung und bei unserem Kollegen Björn Egbert, ebenfalls Universität Potsdam, für die Unterstützung bei der Vorbereitung der heutigen Veranstaltung. Ich wünsche unserem Kolloquium einen interessanten und für alle gewinnbringenden Verlauf.

## **Review des Transformationsprozesses des Energiesystems in Deutschland<sup>1</sup>**

*Ernst-Peter Jeremias, Gerhard Pfaff, Norbert Mertzsch  
(alle MLS)*

### **Abstract**

The transformation process of the energy system in Germany aims to reduce greenhouse gas emissions and switch the energy supply to renewable energies. Sector coupling plays a central role here in order to utilise synergies between the energy sector, industry, buildings and transport. The energy industry is making progress, particularly in the expansion of wind and solar energy, but there are challenges in terms of grid stability and the introduction of smart grids. The industrial sector needs to reduce its emissions through technological innovation, while the building sector requires comprehensive energy efficiency measures. The transport sector has had initial success with the increase in electric vehicles, but needs further support. The hydrogen economy is being promoted by the Hydrogen Acceleration Act in order to ensure a sustainable energy supply. Overall, Germany is on the right track, but further efforts are needed to achieve the ambitious climate targets and successfully implement the energy transition. Broad social support and international cooperation are crucial to the success of this transformation process.

### **Zusammenfassung**

Der Transformationsprozess des Energiesystems in Deutschland zielt darauf ab, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren und die Energie-

---

<sup>1</sup> Diese Textfassung wurde mit Unterstützung von ChatGPT 4.0 erstellt.

versorgung auf Einkommensenergien (erneuerbare Energien) umzustellen. Dabei spielt die Sektorenkopplung eine zentrale Rolle, um Synergien zwischen Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr zu nutzen. Die Energiewirtschaft verzeichnet Fortschritte, insbesondere beim Ausbau von Wind- und Solarenergie, jedoch gibt es Herausforderungen in der Netzstabilität und der Einführung intelligenter Stromnetze. Der Industriesektor muss durch technologische Innovationen seine Emissionen senken, während der Gebäudesektor umfassende Maßnahmen zur Energieeffizienz erfordert. Der Verkehrssektor hat mit der Zunahme von Elektrofahrzeugen erste Erfolge, benötigt jedoch weitere Unterstützung. Die Wasserstoffwirtschaft wird durch das Wasserstoffbeschleunigungsgesetz gefördert, um eine nachhaltige Energieversorgung sicherzustellen. Insgesamt ist Deutschland auf einem guten Weg, jedoch sind weitere Anstrengungen notwendig, um die ehrgeizigen Klimaziele zu erreichen und die Energiewende erfolgreich umzusetzen. Die breite gesellschaftliche Unterstützung und internationale Kooperationen sind entscheidend für den Erfolg dieses Transformationsprozesses.

### **Keywords/Schlüsselwörter**

transformation process of the energy system, renewable energies, sector coupling, industry, buildings and transport, social support and international cooperation

Transformationsprozess des Energiesystems, Einkommensenergien (erneuerbare Energien), Sektorenkopplung, Industrie, Gebäude und Verkehr, gesellschaftliche Unterstützung und internationale Kooperationen

## **1 Transformationsprozess des Energiesystems in Deutschland**

Der Transformationsprozess des Energiesystems in Deutschland hat in den letzten Jahren erheblich an Dynamik gewonnen und steht im Mittelpunkt der nationalen Klimapolitik. Ziel ist es die Treibhausgasemissionen drastisch zu reduzieren und auf erneuerbare Energien umzustellen. Die Sektorenkopplung spielt dabei eine entscheidende Rolle, um die Energiewende in Deutschland erfolgreich umzusetzen. Bei der Sektorenkopplung werden verschiedene Bereiche wie Energie, Verkehr und Industrie miteinander vernetzt, um Synergien zu nutzen und die Gesamt-

effizienz des Energiesystems zu steigern. Diese sektorübergreifende Herangehensweise zielt darauf ab, eine nachhaltige und resiliente Energieversorgung zu gewährleisten und gleichzeitig die ehrgeizigen Klimaziele zu erreichen.

## **2 Anlass des Kolloquiums**

Das Kolloquium würdigt die Aktivitäten der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V. und hat das Ziel, die Fortschritte und Herausforderungen der Energiewende zu diskutieren. Der Arbeitskreis „Energie – Mensch – Zukunft“ trägt dazu bei, innovative Lösungen und Ansätze zu entwickeln. Damit steht der Arbeitskreis in der Tradition vielfältiger Initiativen und Aktivitäten der Leibniz-Sozietät seit vielen Jahren, denen ein spezieller Vortrag von Gerhard Banse gewidmet ist.

Die Würdigung der Aktivitäten der Leibniz-Sozietät unterstreicht die Bedeutung wissenschaftlicher Forschung und Expertise in der Gestaltung der Energiewende. Das Kolloquium soll auch dazu beitragen, die Öffentlichkeit über die Fortschritte und Herausforderungen zu informieren und einen breiten gesellschaftlichen Diskurs anzuregen. Durch die Einbindung verschiedener Akteure und Perspektiven können innovative Lösungsansätze entwickelt werden, die sowohl technologisch als auch sozial nachhaltig sind. Die gesellschaftliche Debatte hat sich insbesondere nach den Europa- und Kommunalwahlen 2024 unter dem Motto „Quo vadis Deutschland?“ verschärft. Es bleibt aber festzustellen: Extremwetterlagen haben in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Beispiele dafür sind:

August 2021: Aartal: 135 Tote, 30 Milliarden € Schaden;

Mai 2024: Hochwasser Saarland und Rheinland-Pfalz: 0 Tote, hohe Sachschäden;

Juni 2024: Süd-Westdeutschland: mindestens 6 Tote; 2 Milliarden € Sachschäden.

Das Klima richtet sich also nicht nach politischen Auffassungen und Wahlergebnissen.

### **3 Das Klimaschutzgesetz 2024**

Das Klimaschutzgesetz 2024 stellt einen zentralen Bestandteil der deutschen Klimapolitik dar und bringt wesentliche Änderungen mit sich. Es zielt darauf ab, Deutschland bis 2045 treibhausgasneutral zu machen. Zu den bedeutenden Neuerungen gehören:

1. Fokus auf Gesamtemissionen: Anstelle von spezifischen Zielen für einzelne Sektoren liegt der Schwerpunkt nun auf der Gesamtreduktion der Treibhausgasemissionen. Diese ganzheitliche Herangehensweise ermöglicht eine flexible und wirtschaftlich effiziente Emissionsminderung. Der neue Ansatz erlaubt es, Emissionen dort zu reduzieren, wo dies am kostengünstigsten und effektivsten ist. Diese Flexibilität soll dazu beitragen, die Klimaziele effizienter zu erreichen und wirtschaftliche Belastungen zu minimieren. Die Konzentration auf Gesamtemissionen ermöglicht es, technologische Innovationen und marktorientierte Lösungen besser zu integrieren.
2. Stärkung der Expertenräte: Unabhängige Expertenräte sollen regelmäßig den Fortschritt überwachen und berichten, um die Politik bei Bedarf zur Nachsteuerung anzuregen. Diese Expertenräte sind mit wissenschaftlichen und technischen Fachleuten besetzt, die eine objektive Bewertung der Fortschritte und Herausforderungen liefern können. Ihre Berichte sollen sicherstellen, dass die Klimapolitik kontinuierlich verbessert und angepasst wird. Die regelmäßige Überprüfung durch unabhängige Experten stärkt die Transparenz und Glaubwürdigkeit der Klimaschutzmaßnahmen und ermöglicht eine evidenzbasierte Politikgestaltung. Auch die Beiträge dieses Kolloquiums im Juni 2024 sollten den Expertenräten zur Verfügung gestellt werden.
3. Entfall von Sektorzielen: Die vorherigen strikten Emissionsziele für einzelne Sektoren entfallen. Dies wird kontrovers diskutiert, da Kritiker eine Schwächung des zielgerichteten Klimaschutzes befürchten. Befürworter argumentieren jedoch, dass eine flexible Gesamtbetrachtung effizienter und anpassungsfähiger ist. Es bleibt abzuwarten, wie diese Änderung in der Praxis umgesetzt wird und welche Auswirkungen sie auf die einzelnen Sektoren hat. Der Entfall der Sektoren-Ziele ermöglicht es, Maßnahmen dort zu ergreifen, wo sie am wirksamsten sind, und flexibel auf technologische und

wirtschaftliche Entwicklungen zu reagieren. Ob das ein Fortschritt ist, bezweifeln die Autoren jedoch, weil die Transparenz eher verringert wird, wo die einzelnen Sektoren stehen und welcher konkrete Handlungsbedarf abzuleiten ist.

4. Solarpaket I: Maßnahmen zur Förderung von Photovoltaikanlagen sollen den Ausbau erneuerbarer Energien beschleunigen. Weniger bürokratische Hürden und finanzielle Anreize sollen die Installation von Solaranlagen erleichtern. Dieses Paket umfasst auch Förderungen für Balkonsolaranlagen und größere Photovoltaikprojekte auf Freiflächen und Dächern. Ziel ist es, den Anteil der Solarenergie an der Stromerzeugung deutlich zu erhöhen und so einen wichtigen Beitrag zur Energiewende zu leisten. Das Solarpaket soll auch die dezentrale Energieerzeugung fördern und die Bürgerbeteiligung am Ausbau erneuerbarer Energien stärken.

Diese Änderungen zielen darauf ab, die deutsche Klimapolitik flexibler und anpassungsfähiger zu gestalten, um die ehrgeizigen Klimaziele zu erreichen und gleichzeitig wirtschaftliche Effizienz zu gewährleisten. Durch die stärkere Einbindung von Expertenwissen und die Förderung technologischer Innovationen soll die Umsetzung der Klimaziele beschleunigt werden.

## 4 Die Sektoren

Der Transformationsprozess in Deutschland umfasst mehrere Schlüssel-sektoren, die alle wesentlich zur Erreichung der Klimaziele und zur Umstellung auf eine nachhaltigere Wirtschaft beitragen. Hier sind die zentralen Sektoren, die im Rahmen der Energiewende und Klimatransformation betrachtet werden:

5. *Energiewirtschaft*: Dieser Sektor spielt eine zentrale Rolle, da er die Umstellung von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energiequellen wie Wind, Sonne, Biomasse und Wasserkraft umfasst. Dabei kommt der Bereitstellung von Elektroenergie entscheidende Bedeutung zu. Die Energiewirtschaft umfasst auch den Ausbau der Infrastruktur für die Energieerzeugung und -verteilung, einschließlich Stromnetze und Speichertechnologien.
6. *Industrie*: Die Industrie ist sowohl ein großer Energieverbraucher als auch ein bedeutender Emittent von Treibhausgasen. Die

Transformation in diesem Sektor beinhaltet die Implementierung von energieeffizienteren Prozessen, die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch technologische Innovationen und den zunehmenden Einsatz von recycelten Materialien sowie die Elektrifizierung von industriellen Prozessen.

7. *Gebäude*: Der Gebäudesektor umfasst sowohl Wohn- als auch Geschäftsgebäude. Hier geht es vor allem um Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, wie die Verbesserung der Gebäudeisolierung, die Installation von energieeffizienten Heizungs- und Kühlsystemen und die Integration von erneuerbaren Energien zur Wärmeerzeugung.
8. *Verkehr*: Dieser Sektor ist ebenfalls ein bedeutender Energieverbraucher und Produzent von Treibhausgasen. Die Transformation umfasst die Förderung und den Ausbau der Elektromobilität, die Verbesserung des öffentlichen Verkehrs, die Förderung alternativer Mobilitätsformen wie Radfahren und zu Fuß gehen sowie die Entwicklung und Einführung von nachhaltigen Kraftstoffen für Bereiche, die sich nicht elektrifizieren lassen.
9. *Landwirtschaft*: Die Landwirtschaft trägt durch Methan- und Lachgasemissionen sowie durch den Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden zur Umweltbelastung bei. Die Transformation in diesem Sektor erfordert Praktiken, die die Bodengesundheit fördern, den Einsatz von Chemikalien reduzieren und die Emissionen von Treibhausgasen minimieren.
10. *Forstwirtschaft und Landnutzung*: Dieser Bereich umfasst die nachhaltige Bewirtschaftung von Wäldern und anderen landwirtschaftlichen Flächen. Maßnahmen zur Aufforstung und Wiederaufforstung sowie zur Reduktion der Entwaldung sind wesentlich, um die Kohlenstoffbindung zu erhöhen und den Verlust der Biodiversität zu bekämpfen.
11. *Wasser- und Abfallwirtschaft*: Die Optimierung der Wasser- und Abfallwirtschaft spielt eine wichtige Rolle bei der Ressourceneffizienz und der Minimierung von Umweltauswirkungen. Dies schließt die Reduzierung von Wasserverschwendung, das Recycling von Abfallstoffen und die Produktion von Energie aus Abfallprodukten ein.

Jeder dieser Sektoren erfordert spezifische Strategien und Technologien, um die Ziele der Klimaneutralität zu erreichen und den Übergang zu

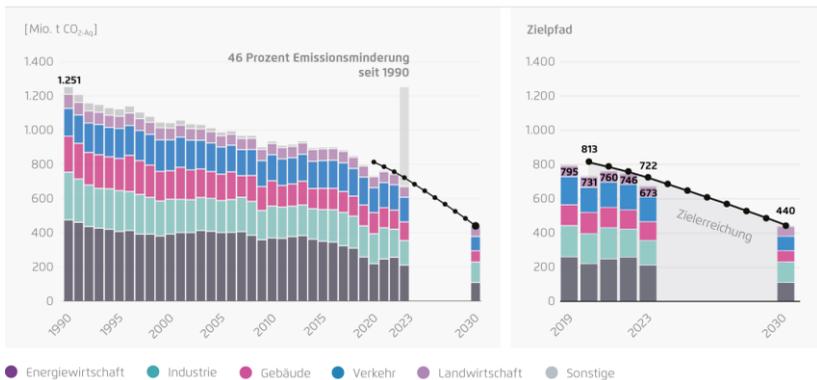
einer nachhaltigeren Wirtschaft und Gesellschaft in Deutschland erfolgreich zu gestalten. Im Weiteren werden hier nur die Sektoren 1 bis 4 behandelt.

## 5 Treibhausgasemissionen nach Sektoren

Die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) sanken 2023 nach Angaben von Agora auf 673 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente und damit auf den niedrigsten Stand seit 70 Jahren. Gegenüber 1990 bedeutet dies eine Minderung von 46 Prozent (Abbildung 1). Damit lagen die Emissionen unter dem vom Klimaschutzgesetz für 2023 abgeleiteten Ziel. In den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie sanken die Emissionen deutlich. Bei Verkehr und Gebäude stagnieren sie auf hohem Niveau, dort wurden die Sektorenziele verfehlt.

Treibhausgasemissionen nach Sektoren seit 1990

→ Abb. 1\_2



UBA (2023a) • 2023: Prognose von Agora Energiewende basierend auf AGE B (2023a/c), Destatis (2023a/b), DWD (2023), BNetzA (2023a). Zielfad abgeleitet aus Klimaschutzgesetz

Abb. 1: Treibhausgasemissionen nach Sektoren (Agora Energiewende<sup>2</sup>).

Die Energiewirtschaft ist der zentrale Sektor für die Umsetzung der Energiewende. Bis 2023 sanken die Emissionen auf 205 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung überschritt die 50 %-Marke, während die Stromerzeugung aus Kohle stark reduziert wurde.

<sup>2</sup><https://www.agora-energiewende.de/publikationen/die-energiewende-in-deutschland-stand-der-dinge-2023#charts>; abgerufen am 03.09.2024

Während die installierte Leistung der Kraftwerke auf Basis von Vermögensenergien vom Referenzzeitraum 2020/2021 bis 2045 von jetzt 83,1 GW auf 1,0 zurückgehen soll, wird die installierte Leistung zur Erzeugung auf Basis von Einkommensenergien von 138,7 GW auf max. 703,3 GW erhöht (NEP 2023). Das bedeutet, dass die seit dem Stromeinspeisungsgesetz von 1991 bzw. dem ersten Erneuerbare-Energien-Gesetz 2000 über einen Zeitraum von 33 bzw. 24 Jahren installierte Leistung nun innerhalb von 21 Jahren verfünffacht werden muss (Tabelle 1). Dabei ist allerdings zu beachten, dass ältere Windkraftanlagen bereits ersetzt werden müssen. Da die neuen Anlagen aber wesentlich leistungsfähiger sind als frühere (mittlere Nennleistung 1990 – 164 kW, 2000 – 1 MW, 2023 – 4,788 MW, Wikipedia 2024), erscheint dieses Ziel erreichbar.

| Installierte Leistung                       |    |           |            |
|---|----|-----------|------------|
|   |    | 2020/2021 | 2045       |
| Vermögensenergien<br>(Kohle, Erdöl, Erdgas) | GW | 83,1      | 1,0        |
| Einkommensenergien<br>(Sonne, Wind, Wasser) | GW | 138,7     | 703,3      |
| Speicherkapazität                           | GW | 12,8      | max. > 227 |

Tab. 1: Prognosedaten für den Sektor Energiewirtschaft (eigene Auswertung unter Nutzung von NEP 2033).

Beim Nettostromverbrauch wird mit einer Erhöhung von 478 TWh (2020/2021) auf 1.222 TWh (2045) gerechnet. Der Bruttostromverbrauch soll im gleichen Zeitraum von 533 TWh auf 1.303 TWh steigen. Treiber für den deutlichen Anstieg des Verbrauchs an Elektroenergie ist die Sektorkopplung. Hier werden als stark zunehmende Verbraucher Wärmepumpen, Elektromobilität, Power-to-Heat-Fernwärme und Elektrolyse ausgewiesen. Dabei ist zu beachten, dass nur ein Teil der Elektrolysekapazitäten der Sektorkopplung zuzurechnen ist, da Elektrolysekapazitäten auch zur Erzeugung von Wasserstoff für die Speicherung und spätere Rückverstromung, benötigt werden, sollten Wasserstofftechnologien erfolgreich im großen Maßstab einsetzbar sein.

Im bisherigen System der Elektroenergieversorgung hatten Speicher keine große Bedeutung. Die Strombereitstellung erfolgte über Grundlast-, Mittellast- und Spitzenlastkraftwerke. Dabei waren nur die Pumpspeicherkraftwerke, die als Spitzenlastkraftwerke dienten, als Energiespeicher anzusehen. Da die Kraftwerke, die die bisherigen Aufgaben übernahmen, zunehmend abgeschaltet werden, ist die ständige bedarfsgerechte Versorgung mit Elektroenergie durch volatile Windkraftwerke und Photovoltaik in Zukunft nicht mehr gesichert. Dazu sind in Übertragungs- und Verteilnetze für die Elektroenergie Speicher zu integrieren.

Die notwendigen Mengen an Elektroenergie können mechanisch, elektrochemisch oder chemisch gespeichert werden (Mertzsch 2014, Fleischer/Mertzsch 2014, Mertzsch 2022a). Während auf der Verteilnetzebene vor allem elektrochemische Speicher (derzeit Lithiumionen-Akkumulatoren) eine Rolle spielen dürften (auch in Verbindung mit der Elektromobilität, z. B. beim bidirektionalen Laden), werden auf der Übertragungsnetzebene diese Aufgabe neben Pumpspeicherkraftwerke als große mechanische Speicher vor allem Gaskraftwerke in Verbindung mit Wasserstoffspeichern und Elektrolyseuren übernehmen müssen. Hier besteht eine enge Verknüpfung zwischen Stromtransport, Speicherung und Gaserzeugung, ggf. Transport, Speicherung und Rückverstromung. Auf diese soll im Nachfolgenden etwas näher eingegangen werden.

Für die stoffliche Langzeitspeicherung besteht die Option, Wasserstoff aus Elektroenergie mittels Elektrolyse zu gewinnen. Bei Bedarf ist dieser dann wieder zu verstromen. Gemäß vorgestelltem Netzentwicklungsplan wird der Komplex Elektrolyse/Wasserstoffspeicherung/Rückverstromung nicht als Speichereinheit gesehen. Das hat die Konsequenz, dass zwar die Anordnung der Elektrolyseure netzdienlich erfolgen soll, aber die Themen Wasserstoffspeicherung, Wasserstofftransport zur Rückverstromung und die Rückverstromung nicht im Komplex betrachtet werden.

Zusätzlich zur chemischen Speicherung von Elektroenergie für die Rückverstromung wäre Wasserstoff über Elektrolyseure noch für die Sektorkopplung und die stoffliche Nutzung bereitzustellen und zu speichern, da technologische Anlagen in der Stoffwirtschaft möglichst kontinuierlich gefahren werden sollen um effizient zu sein und eine möglichst lange Lebensdauer zu erreichen.

An dieser Stelle ist auch die Problematik anzusprechen was Speicher abdecken sollen. Üblicherweise wird bisher mit Dunkelflauten im Winter von bis zu zwei Wochen gerechnet, die über Speicher abzudecken sind. Das gilt dann natürlich auch für die Bedarfe im Rahmen der Sektorkopplung und die stoffliche Nutzung.

Nicht diskutiert werden bisher längerfristige Probleme bei der Versorgung mit Einkommensenergie z. B. durch größere Vulkanausbrüche (Stichwort Jahr ohne Sommer).

Überkapazitäten an installierter Leistung sind für die Sicherung der nutzergerechten Gebrauchsennergien (insbesondere elektrischer Strom) zu installieren. Auf Grund tageszeitlicher, saisonaler und wetterbedingter Schwankungen im Dargebot der Einkommensenergien stehen diese nicht ständig zur Verfügung, weshalb große Speicherkapazitäten nötig sind. Die Speicherkapazitäten und nachfrageseitigen Flexibilitäten sollen sich gemäß zitiertem Papier von 3 GW auf max. 179,9 GW erhöhen. Wenn die oft fälschlich als konventionelle Erzeuger dargestellten Pumpspeicherkraftwerke, die tatsächlich Speicher sind, und die Gaskraftwerke auf Wasserstoffbasis, die auch als Speicherkraftwerke zu betrachten sind, hinzugezählt werden, erhöht sich die Speicherkapazität von 12,8 GW im Referenzzeitraum 2020/2021 auf max. >226,7 GW im Jahr 2045.

Im *Industriesektor* sanken die Emissionen von 284 (1990) auf 155 (2023) Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Die energieintensiven Branchen verzeichneten in letzter Zeit Produktionsrückgänge, und die Energieintensität wurde reduziert. Technologische Innovationen und die Umstellung auf energieeffizientere Prozesse tragen zu diesen Fortschritten bei. Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz, die Elektrifizierung industrieller Prozesse und der Einsatz von recycelten Materialien sind wesentliche Schritte zur Reduktion der Emissionen in diesem Sektor. Der Anteil von prozessbedingten und energiebedingten Emissionen ist in Abbildung 2 dargestellt.

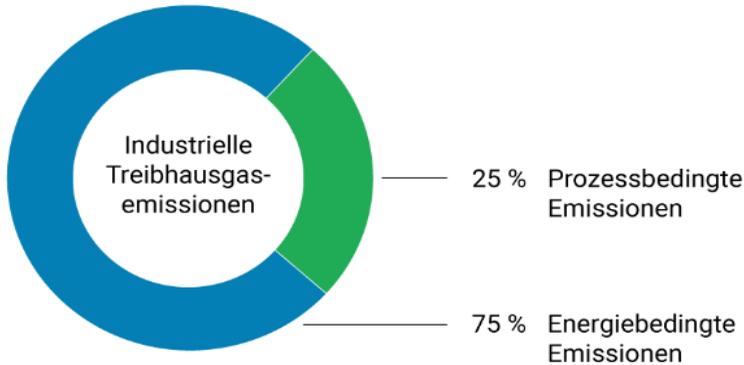


Abb. 2: Anteil der prozess- und der energiebedingten Treibhausgasemissionen in der Industrie 2023 (KEI 2024 nach UBA 2024).

Der Industriesektor umfasst eine Vielzahl von Branchen, die alle ihre spezifischen Herausforderungen und Möglichkeiten zur Emissionsreduktion haben (Tabelle 2).

| Industrielle Treibhausgasemissionen 2021 |      |
|--|------|
| Eisen und Stahl                          | 47 % |
| Zement und Kalk                          | 25 % |
| Chemie                                   | 15 % |
| Glas, Ziegel, Keramik                    | 5 %  |
| Papier und Zellstoff                     | 5 %  |
| Nichteisenmetalle (incl. Aluminium)      | 3 %  |

Tab. 2: Industrielle Treibhausgasemissionen 2021 (eIDAS 2024).

Die Einführung energieeffizienter Technologien und Prozesse kann die Energiekosten senken und gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie steigern. Darüber hinaus bietet die Elektrifizierung industrieller Prozesse und der Einsatz erneuerbarer Energien Potenzial für signifikante Emissionsreduktionen.

Die chemische Industrie, die Stahlproduktion und die Zementherstellung gehören zu den energieintensivsten Sektoren und stellen besondere

Herausforderungen dar. Hinzu kommt, dass in diesen Bereichen Emissionen von Kohlenstoffdioxid auch durch als Reaktionspartner dienende Einsatzstoffe, wie Kalkstein, Koks, Erdöl, Erdgas, erfolgen. In diesen Bereichen sind technologische Durchbrüche, wie die Nutzung von grünem Wasserstoff und die Einführung von CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung (CCS), entscheidend für die Reduktion der Emissionen

Der *Gebäudesektor* verfehlte erneut seine Klimaziele (Abbildung 3). Trotz eines Rekordabsatzes von Wärmepumpen bleibt der Anteil fossiler Heizsysteme hoch. Die Wärmeversorgung macht 56% des gesamten Endenergieverbrauchs aus, wobei Raumwärme und Warmwasser die größten Anteile haben. Um die Klimaziele zu erreichen, sind umfassende Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz in Gebäuden erforderlich, einschließlich besserer Isolierung, moderner Heiz- und Kühlsysteme und der Integration erneuerbarer Energien.

Der Gebäudesektor verfehlte das Treibhausgasemissionsziel um 8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq

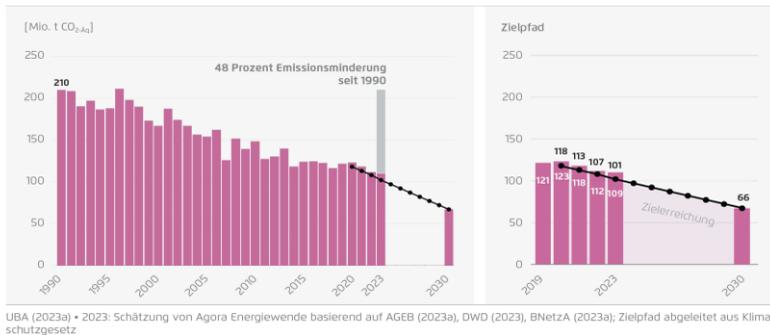


Abb. 3: Treibhausgasemissionen im Sektor Gebäude (Hinweis: Detaillierte Zielvorgaben sind nach dem KSG 2024 nicht mehr relevant!) (Agora Energiewende 2024).

Im Gebäudesektor konnte die Emissionen von 210 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (1990) auf rund 109 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente (2023) gesenkt werden. Die Klimaziele wurden verfehlt (Ziel 101 Mio. Tonnen).

Die Energieeffizienz der Gebäude soll vorrangig durch Wärmedämmmaßnahmen verbessert werden. Es gibt heute die Möglichkeit jedes Haus zumindest in die Nähe des Passivhausstandards zu bringen. Die Frage ist hier, ob sich die Mieter dann noch die resultierende Miete leis-

ten können. Entscheidend ist, dass in eine energetische Gebäudesanierung immer die zukünftigen Mieter einbezogen werden, damit diese dann die Veränderungen, die auch in ihrem Verhalten, z. B. bei der Lüftung, notwendig sind, akzeptieren. Es wäre z. B. unsinnig, Fenster und Türen einer Wohnung bei der Sanierung soweit abzudichten, dass der Mieter kaum eine Chance hat nur durch Lüften die Luftfeuchte, die alleine durch seine Anwesenheit entsteht, ausreichend abzuführen. Dafür müssten dann technische Einrichtungen zur Be- und Entlüftung mit vorgesehen werden. Die Frage ist, ob sich das alles wirtschaftlich darstellen lässt und ob der Mieter so leben will.

Problematisch ist, dass die Quote der energetischen Sanierungen im Sinken begriffen ist, obwohl die Baubranche keine Auslastung aufweist (Herrmann 2024). Beim aktuellen Sanierungstempo brauchte Deutschland noch etwa 100 Jahre, um den gesamten Bestand von 21 Millionen Gebäuden zu sanieren. Als große Herausforderung gelten dabei die 15 bis 16 Millionen Ein- und Zweifamilienhäuser. Um dort effizient weiterzukommen hat Agora Energiewende ein „Sanierungssprint“ genanntes Sanierungskonzept entwickelt, das durch eine Neuorganisation der Prozesse und Rollen auf der Sanierungsbaustelle die Bauzeit und damit auch die Kosten deutlich senkt (Agora 2024b).

Moderne Heiztechnologien wie Wärmepumpen und solarthermische Anlagen spielen bei der Wärmeversorgung der sanierten Gebäude eine wichtige Rolle. Die Nutzung von Fernwärme und die Integration von Smart-Home-Technologien können den Energieverbrauch weiter optimieren. Die Entwicklung des Energieträgermixes ist in Abbildung 4 dargestellt.

## Energieträger-Mix der Wärmenetze 1990 bis 2022

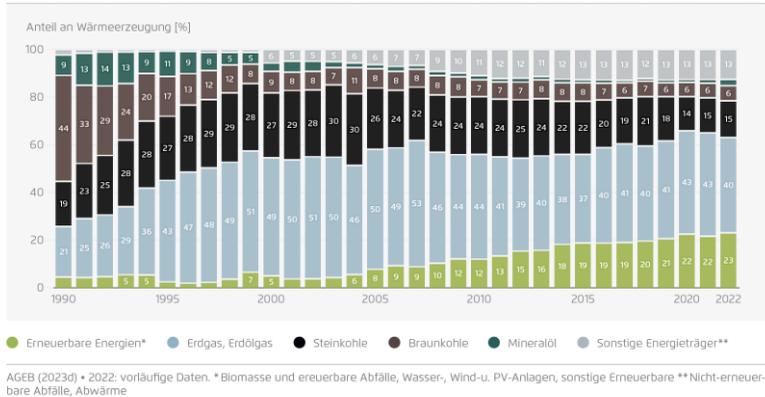


Abb. 4: Entwicklung des Energieträgermix in der deutschen Fernwärmeversorgung.<sup>3</sup>

„Aktuell werden rund 15 Prozent der Wohnungen in Deutschland mit Fernwärme versorgt, wobei der Anteil in Mehrfamilienhäusern höher ist als in Ein- und Zweifamilienhäusern. Insgesamt entfallen rund 50 Prozent der Fernwärmeabnahme auf private Haushalte einschließlich Wohnungsgesellschaften, weitere 40 Prozent auf die Industrie. Energieszenarien gehen davon aus, dass der Anteil der über Wärmenetze versorgten Gebäude in Zukunft deutlich zunehmen wird. Dies wurde auch beim ersten Fernwärmegipfel des BMWK im Juni 2023 bestätigt. Hier wurde das Ziel genannt, mittelfristig bis 2045 jährlich mindestens 100.000 Gebäude neu an Wärmenetze anzuschließen. Mit der steigenden Bedeutung von Wärmenetzen rückt auch deren Wärmeerzeugung zunehmend in den Fokus.“<sup>4</sup>

Von 1990 bis 2022 wurde ein Anteil von 23 % an Einkommensenergien in der deutschen Fernwärme erreicht.<sup>5</sup> Für eine deutliche Substitution der 64 % fossilen Brennstoffanteils verbleiben nur noch 21 Jahre!

<sup>3</sup><https://www.agora-energiewende.de/publikationen/die-energiewende-in-deutschland-stand-der-dinge-2023#charts>; abgerufen am 15.08.2024; Link zur Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>; Zitat: Agora Energiewende (2024): Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2023. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2024.

<sup>4</sup> Agora Energiewende 2024a: 77.

<sup>5</sup> Agora Energiewende 2024a: 78.

Zu beachten ist, dass in der deutschen Fernwärmeversorgung über Jahrzehnte die Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplung favorisiert wurde, in sogenannten Blockheizkraftwerken. Mit Erdgas als bevorzugter Energieträger.

Das Fernwärme ein Erfolgsmodell sein kann, beweist Dänemark. Dort kam der Wendepunkt 1973, im Jahr der großen Ölkrise. 1979 beschloss Dänemark das Wärmeversorgungsgesetz, wodurch eine kommunale Wärmeplanung für alle Kommunen verpflichtend wurde. Danach müssen die Kommunen dafür sorgen, dass die Projekte mit dem höchsten sozioökonomischen Nutzen umgesetzt werden. Die Wärmeversorgung musste, insofern das möglich war, durch Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt werden. Das wurde auch in Deutschland als Leitstrategie übernommen. Der Wärmepreis für die Verbraucher\*innen darf in Dänemark für die Fernwärme nicht höher oder niedriger als der allgemein anlegbare Wärmepreis sein. Seit 2013 sind Öl- und Gasheizungen im Neubau verboten. Seit 2016 gilt ein Verbot des Austauschs alter fossiler Heizkessel gegen neue fossile Heizungen. Darüber hinaus werden fossile Energieträger deutlich höher besteuert als in Deutschland. Aktuell werden dadurch 63 Prozent der dänischen Haushalte mit Fernwärme versorgt, in Kopenhagen sogar bis zum 98 Prozent.<sup>6</sup>

Wie man also sehr gut erkennen kann, ist der Substitutionsprozess in der dänischen Fernwärme und im Gebäudesektor überhaupt zielgerichtet, längerfristig, aber kontinuierlich und damit erfolgreich umgesetzt worden. In Deutschland sind die kurzen Fristen und die unzureichende Kommunikation die aktuellen Umsetzungsprobleme aus Sicht der Autoren.

Für die Transformation im Gebäudesektor, auch in der Fernwärme, werden zukünftig Wärmepumpen ein zentrales, technisches Element sein und bleiben.

Im *Verkehrssektor* wurden die Klimaziele ebenfalls nicht erreicht (Abbildung 5). In diesem Sektor wurden die Emissionen von 164 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (1990) auf rund 145 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente (2023) gesenkt. Die Klimaziele wurden klar verfehlt (Ziel 133 Mio. Tonnen).

---

<sup>6</sup> <https://www.waermewende.de/daenischewaermewende/>; abgerufen am 18.06.2024

Zwar stieg der Anteil von Elektroautos bei Neuzulassungen auf 18 %, und das Deutschlandticket wurde eingeführt. Die Förderung der Elektromobilität, die Verbesserung des öffentlichen Verkehrs und die Entwicklung nachhaltiger Kraftstoffe wie Wasserstoff sind zentrale Elemente der Transformation des Verkehrssektors. Zudem müssen alternative Mobilitätsformen wie Radfahren und zu Fuß gehen stärker gefördert werden, um die Emissionen weiter zu reduzieren. Der Modalsplit sollte sich jedoch vom eigenen Personenkraftwagen hin zu anderen Verkehrsmitteln und Verkehrsträgern entwickeln.

**Der Verkehrssektor verfehlte das Emissionsziel zum dritten Jahr in Folge, da die Treibhausgasemissionen seit 2020 auf gleichbleibendem Niveau stagnieren**

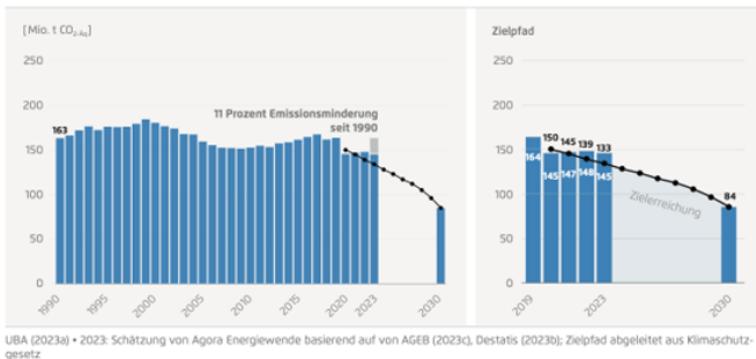


Abb. 5: Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor<sup>7</sup>

Der Verkehrssektor ist einer der größten Verursacher von Treibhausgasemissionen und steht daher im Mittelpunkt der Klimaschutzmaßnahmen. Die Umstellung auf Elektromobilität und die Förderung des öffentlichen Verkehrs sind entscheidende Schritte, um die Emissionen im Verkehrssektor zu reduzieren. Gleichzeitig ist es wichtig, die Infrastruktur für Elektromobilität auszubauen, einschließlich Ladeinfrastruktur. Öffentliche Verkehrsmittel sind umfassender und attraktiver anzubieten.

<sup>7</sup><https://www.agora-energiewende.de/publikationen/die-energiewende-in-deutschland-stand-der-dinge-2023#charts>; abgerufen am 15.08.2024; Link zur Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>; Zitat: Agora Energiewende (2024): Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2023. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2024.

Die Entwicklung und Einführung nachhaltiger Kraftstoffe wie Wasserstoff kann ebenfalls dazu beitragen, die Emissionen im Verkehrssektor zu senken. Sie werden aber nicht die Lösung des Problems darstellen.

Die Elektromobilität stellt eine Schlüsseltechnologie für die Dekarbonisierung des Verkehrs dar. Neben dem Ausbau der Ladeinfrastruktur sind auch Förderprogramme für den Kauf von Elektrofahrzeugen und die Entwicklung leistungsfähigerer Batterietechnologien entscheidend. Wasserstoffbetriebene Brennstoffzellenfahrzeuge bieten ebenfalls Potenzial, insbesondere im Schwerlastverkehr und im öffentlichen Nahverkehr. Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs und des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) tragen zur Reduktion des motorisierten Individualverkehrs bei.

Unter Bezugnahme auf eine frühere Publikation<sup>8</sup> ist jedoch einzuschätzen, dass auch in diesem Sektor die erforderliche Entwicklung inkonsequent und zu langsam verläuft. Die Einführung der Elektromobilität stagniert insbesondere durch eine indifferente Haltung der Regierung zur konsequenten Elektrifizierung des individuellen Personen- und des Güterverkehrs, insbesondere durch das „Offenhalten“ verschiedener Technologien („Technologieoffenheit“). International gilt aber der Trend zur direkten Elektromobilität im Verkehr als entschieden. Weiterhin ist der Ausbau der öffentlichen Verkehrsmittel und anderer geeigneter Mobilitätskonzepte, insbesondere auch im ländlichen Raum zur Bewältigung der „ersten und letzten Meile“, zu langsam und inkonsequent. Deshalb ist leider zu erwarten, dass sich die Emissionssituation im Sektor Verkehr auch zukünftig nicht verbessern wird.

Langfristig wird sich das batterieelektrische Kraftfahrzeug, sowohl im Individualverkehr als auch im Güterkraftverkehr, sowohl international als auch in Deutschland durchsetzen. Diese Entwicklung ist getrieben von regulatorischen Vorgaben, technologischen Fortschritten und einem steigenden Bewusstsein für Klimaschutz. Während einige Länder, insbesondere in Europa und Asien, eine führende Rolle einnehmen, wird die Geschwindigkeit der Einführung von Elektroautos in verschiedenen Regionen von den jeweiligen politischen, wirtschaftlichen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen abhängen. In Deutschland fehlt diesbezüglich eine klare politische Orientierung der Regierung, so dass Mitte 2024 eine große Verunsicherung der Marktteilnehmer festzustellen ist.

---

<sup>8</sup> Wo stehen wir aktuell bei der Transformation im Sektor Verkehr? – Eine kritische Auseinandersetzung mit dem Stand 2023; Ernst-Peter Jeremias (Flecken Zechlin, MLS)

## 6 Rolle der Infrastruktur

Wichtige nationale Grundlagen für die Energieinfrastruktur sind die Netzentwicklungspläne für Strom<sup>9</sup> und für Gas bzw. Wasserstoff.<sup>10</sup>

Zur Energieinfrastruktur gehören auch die Speicher für Energie bzw. Energieträger. Dazu wurde bereits einiges unter Punkt 5 ausgeführt.

Um die zunehmend in der Fläche erzeugte Elektroenergie zu den Verbrauchern zu bringen, muss das Stromnetz einer deutlichen Wandlung unterzogen werden. Bis vor wenigen Jahren speisten die Energieerzeuger (Großkraftwerke) im Wesentlichen in das Drehstrom-Hochspannungs-Übertragungsnetz der Übertragungsnetzbetreiber. Die Spannung in diesem Netz liegt bei 380 bzw. 220 kV. Über dieses Netz wird die Elektroenergie zu den Verbrauchsschwerpunkten transportiert. In Umspannwerken erfolgt dann die Transformation auf die in den Verteilnetzen übliche Spannung. Über diese wird die Elektroenergie über die Stufe der Niederspannungsnetze den Verbrauchern zugeführt.

Im Rahmen der Energiewende ergibt sich nun eine drastische Aufgabenveränderung innerhalb des Stromnetzes. Das Übertragungsnetz wird langfristig vorrangig für den Transport von Elektroenergie der großen Windparks im Norden Deutschlands zu den Verbraucherzentren im Süden genutzt (NEP 2023). Ergänzt wird dieses Netz durch zukünftig auch noch aufzubauende Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen. Diese werden durch Übertragungsleitungen aus dem Ausland, z. B. Norwegen, ergänzt.

Die Verteilnetze müssen auf ihre neue Aufgabe als Sammel- und Verteilnetze für Einkommensenergien umgerüstet werden. Durch die vielen kleineren Windparks in der Fläche und die Solaranlagen, auch im privaten Bereich, besteht die Notwendigkeit die dort erzeugte Elektroenergie über die Ebenen Niederspannung, Mittelspannung und Hochspannung bis zum Übertragungsnetz abzuleiten.

Zusätzlich entstehen im Rahmen der Sektorkopplung zur Absicherung der Mobilität und der Wärmeversorgung neue Bedarfe an Elektroenergie, die über das Stromnetz abgedeckt werden müssen. Dass das nicht immer reibungslos abläuft, zeigt das Beispiel Oranienburg wo aktuell zeitweise keine zusätzlichen Verbraucher angeschlossen werden können (Göldner 2024).

---

<sup>9</sup>[https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/2024-07/Szenariorahmenentwurf\\_NEP2037\\_2025.pdf](https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/2024-07/Szenariorahmenentwurf_NEP2037_2025.pdf); abgerufen am 21.08.2024

<sup>10</sup><https://fnb-gas.de/wasserstoffnetz-wasserstoff-kernnetz/>; abgerufen am 21.08.2024

Um allen Aufgaben gerecht werden zu können, ist das Stromnetz zunehmend zu digitalisieren, unter Beachtung aller sich daraus ergebender Probleme hinsichtlich der Datensicherheit.

Ein weiteres wichtiges Problem ist die Sicherheit des Stromnetzes. Das diese nicht einfach zu gewährleisten ist, zeigte sich im Anschlag auf die Stromversorgung des Tesla-Werkes bei Grünheide im März 2024 (Wangemann et al. 2024). Weitere Beispiele für Probleme mit der Sicherheit des Stromnetzes sind bei Mertzsch aufgelistet (Mertzsch 2022b).

Die Wasserstoffwirtschaft bietet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten und kann zur Sektorkopplung beitragen, indem sie erneuerbaren Strom zur Herstellung von grünem Wasserstoff nutzt. Dieser Wasserstoff kann in der Industrie, im Verkehr und zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Der Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur, einschließlich Pipelines, Tankstellen und Speicherkapazitäten, ist entscheidend, um die breite Nutzung von Wasserstoff zu ermöglichen.

Für den beschleunigten Aufbau dieser Wasserstoff-Infrastruktur hat die Bundesregierung den Entwurf eines Wasserstoffbeschleunigungsgesetzes vorgelegt. Das Gesetz wurde als Teil der nationalen Wasserstoffstrategie entwickelt, die im Juni 2020 von der Bundesregierung verabschiedet wurde. In diesem Vorhaben wird Wasserstoffleitungen und Elektrolyseure ein „überragendes öffentliches Interesse“ zugesprochen, da diese der öffentlichen Sicherheit dienen. Das Wasserstoffbeschleunigungsgesetz (WBeschG) wurde im Mai 2024 vom deutschen Bundeskabinett beschlossen und befindet sich nun in der Phase der Umsetzung.<sup>11</sup> Es soll nicht nur für neue Infrastruktur, sondern auch für herkömmliche Gasleitungen und –speicher gelten, die umgerüstet werden müssen. Ziele des Gesetzes sind:

1. Förderung der Produktion von „grünem“ Wasserstoff, insbesondere für die Industrie und spezielle Anwendungen in der Mobilität.
2. Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur mit den Schwerpunkten Transport, Speicherung und Nutzung von Wasserstoff
3. Entbürokratisierung und Beschleunigung von Genehmigungsverfahren. Dies umfasst auch die Beschleunigung von Planungs- und Bauprozessen.

---

<sup>11</sup>[https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/W/wasserstoffbeschleunigungsgesetz.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/W/wasserstoffbeschleunigungsgesetz.pdf?__blob=publicationFile&v=2); abgerufen am 21.08.2024

4. Markthochlauf von Wasserstofftechnologien. Das Gesetz unterstützt Maßnahmen, die dazu beitragen, den Markthochlauf von Wasserstofftechnologien zu fördern, damit diese schneller wirtschaftlich wettbewerbsfähig werden.
5. Internationale Zusammenarbeit: Die Förderung internationaler Partnerschaften zur Wasserstoffproduktion und -nutzung ist ein weiteres Ziel, um den globalen Markthochlauf zu unterstützen und Deutschland als Exporteur von Wasserstofftechnologie zu etablieren.

Insgesamt wird das Wasserstoffbeschleunigungsgesetz als ein wichtiger Schritt angesehen, um den Markthochlauf von Wasserstoff in Deutschland bis 2030 zu ermöglichen und die Dekarbonisierung der Industrie und anderer Sektoren zu fördern.

Wärmenetze ermöglichen die effiziente Nutzung von erneuerbaren Energiequellen wie Biomasse, Solarthermie, Geothermie und industrielle Abwärme. Sie bieten eine Plattform, um verschiedene Einkommensenergien zu kombinieren und optimal zu nutzen. Wärmenetze sind eine Schlüsseltechnologie für die Energiewende in Deutschland, insbesondere in dicht besiedelten Gebieten. Sie ermöglichen eine effiziente, flexible und nachhaltige Wärmeversorgung und sind ein wichtiger Baustein für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung. Insgesamt zeigt sich, dass der Ausbau der Fernwärmeversorgung in Deutschland voranschreitet, jedoch noch erhebliche Anstrengungen und Investitionen erforderlich sind, um die Klimaziele zu erreichen und die Fernwärme vollständig zu dekarbonisieren. Die Kombination aus Modernisierung, technologischen Innovationen und der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien bildet den Kern der zukünftigen Strategie. Das Wärmeplanungsgesetz<sup>12</sup> ist gemeinsam mit der Novelle des Gebäudeenergiegesetzes am 1. Januar 2024 in Kraft getreten. Beide Gesetze tragen dazu bei, die Klimaziele im Jahr 2045 zu erreichen. Die prinzipielle Einbindung von Einkommensenergien in Wärmenetze ist in Abbildung 6 dargestellt.

---

<sup>12</sup><https://www.bmwsb.bund.de/Webs/BMWSB/DE/themen/stadt-wohnen/WPG/WPG-node.html;jsessionid=E3AACA2B7178CC167A8287B9FE6E5468.live872;> abgerufen am 21.08.2024

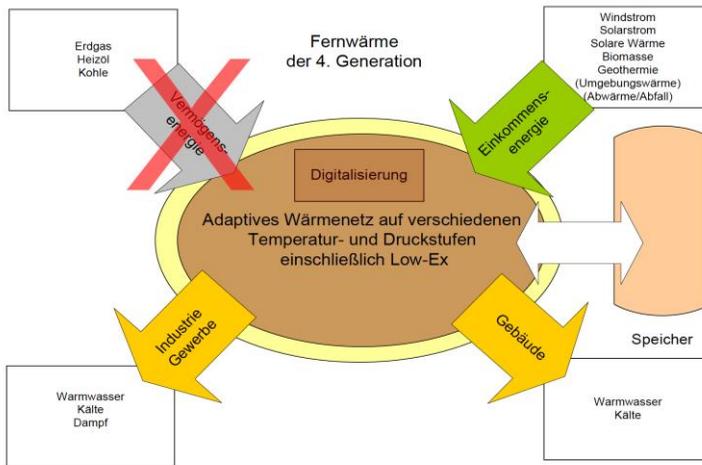


Abb. 6: Prinzipielle Einbindung von Einkommensenergien in Wärmenetze (eigene Darstellung).

## 7 Beurteilung der Energiewende

Der Bundesrechnungshof bewertet den Stand der Energiewende kritisch (Scheller 2024). Die Versorgungssicherheit sei gefährdet, die Strompreise seien hoch, und es fehle an einer umfassenden Umweltbewertung. Diese Herausforderungen müssen adressiert werden, um die Akzeptanz der Energiewende in der Bevölkerung zu erhalten und die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands zu sichern. Ein besonderes Augenmerk muss auf die Diversifizierung der Energiequellen und die Reduktion der Abhängigkeit von importiertem fossilem Brennstoff gelegt werden. Energiespeichertechnologien und die Modernisierung des Stromnetzes sind ebenfalls von entscheidender Bedeutung, um die Netzstabilität zu gewährleisten und den steigenden Anteil erneuerbarer Energien zu integrieren.

Die Versorgungssicherheit ist ein zentrales Anliegen, da eine stabile und zuverlässige Energieversorgung für die wirtschaftliche Entwicklung und das Wohlbefinden der Bevölkerung unerlässlich ist. Die Energiewende stellt neue Herausforderungen an die Netzstabilität, insbesondere

durch die Schwankungen in der Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen. Die Entwicklung und Implementierung moderner Energiespeichertechnologien können dazu beitragen, diese Schwankungen auszugleichen und eine kontinuierliche Energieversorgung zu gewährleisten. Darüber hinaus kann die Diversifizierung der Energiequellen die Abhängigkeit von importierten fossilen Brennstoffen verringern und die Resilienz des Energiesystems stärken.

Die Netzstabilität ist entscheidend für die Integration hoher Anteile erneuerbarer Energien. Hier spielen Technologien wie Batteriespeicher, Pumpspeicherkraftwerke und die Nutzung von Power-to-X-Anwendungen eine wichtige Rolle. Durch die Umwandlung von überschüssigem Strom in Wasserstoff oder andere speicherbare Energieträger können temporäre Überschüsse effizient genutzt werden. Der Ausbau intelligenter Stromnetze (Smart Grids) ermöglicht eine bessere Steuerung und Optimierung des Energieflusses und trägt zur Stabilität des Gesamtsystems bei.

„In dem am 7. März 2024 veröffentlichten Bericht schreiben die Rechnungsprüfer, dass die Energiewende mit ihren ambitionierten Zielen ‚nicht auf Kurs‘ sei. Die Bundesregierung müsse umgehend reagieren, ‚um eine sichere, bezahlbare und umweltverträgliche Stromversorgung zu gewährleisten‘. Unter anderem fordert der Hof, private Investitionen ‚in erneuerbare Energien, Kraftwerksleistung zu deren Absicherung sowie die Stromnetze‘ sicherzustellen. Außerdem müssten die Kosten der Energiewende klar benannt werden. ‚Zudem muss die Bundesregierung endlich ein Ziel- und Monitoringsystem einführen, um die Umweltwirkungen der Energiewende systematisch zu bewerten‘, heißt es weiter.“<sup>13</sup>

Mitte 2024 bewertet die Bundesnetzagentur den Transformationsprozess in Deutschland mit einem gemischten Ausblick, der sowohl Fortschritte als auch Herausforderungen aufzeigt.

- *Positive Entwicklungen:* Die Bundesnetzagentur hat eine deutliche Beschleunigung im Stromnetzausbau festgestellt. Im ersten Halbjahr 2024 wurden umfangreiche Genehmigungen für neue Stromleitun-

---

<sup>13</sup><https://www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-994590#:~:text=In%20dem%20am%207.,und%20umweltverträgliche%20Stromversorgung%20zu%20gewährleisten“; abgerufen am 21.08.2024>

gen erteilt, was als wesentlicher Schritt zur Bewältigung der Energiewende angesehen wird. Insgesamt wurden rund 1.000 Kilometer neuer Stromleitungen zur Umsetzung freigegeben. Diese Maßnahmen sind entscheidend, um den steigenden Bedarf an erneuerbarer Energie von den Erzeugungsstätten im Norden zu den Verbrauchszentren im Süden zu transportieren. Darüber hinaus zeigt die Entwicklung der erneuerbaren Energien positive Tendenzen: Im ersten Halbjahr 2024 wurde ein signifikanter Zubau von 9,3 GW an erneuerbarer Kapazität erreicht, was eine Zunahme der gesamten Kapazität um 5,3 % gegenüber dem Vorjahr bedeutet.

- *Herausforderungen:* Trotz dieser Fortschritte weist die Bundesnetzagentur auf erhebliche Herausforderungen hin. Der Bedarf an neuen Stromleitungen bleibt hoch, insbesondere um die Klimaneutralitätsziele bis 2045 zu erreichen. Es wird noch mehr Infrastruktur benötigt, um den vollständig klimaneutralen Strommix zu integrieren, was in der Zukunft zu einer weiteren Verdichtung des Übertragungsnetzes führen könnte. Zudem sind die exakten Routen vieler neuer Leitungen noch nicht festgelegt, was zu Verzögerungen führen könnte.

Insgesamt signalisiert die Bundesnetzagentur, dass der Transformationsprozess zwar in die richtige Richtung geht, aber weiterhin entschlossen und zielgerichtet vorangetrieben werden muss, um die gesetzten Klimaziele zu erreichen.<sup>14</sup>

## 8 Verfügbarkeit kritischer Rohstoffe

Während für die Energiebereitstellung und -nutzung in früheren Jahrzehnten weitgehend Massenwerkstoffe genutzt wurden, werden zur effektiven Nutzung der Einkommensenergien zunehmend Hochleistungswerkstoffe eingesetzt. Das betrifft z. B. Verbundwerkstoffe für Windkraftanlagen, Werkstoffe wie Seltene Erden u. a. für Generatoren und

---

<sup>14</sup>[https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/EN/2024/20240719\\_EEZubauHJ1.html](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/EN/2024/20240719_EEZubauHJ1.html); abgerufen am 21.08.2024; [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2024/20240301\\_NEP.html](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2024/20240301_NEP.html); abgerufen am 21.08.2024; [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2023/20231227\\_Netzausbau.html](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2023/20231227_Netzausbau.html); abgerufen am 21.08.2024; <https://www.netzentwicklungsplan.de/archiv/netzentwicklungsplaene-2024>; abgerufen am 21.08.2024.

Elektromotore, Solarzellen Brennstoffzellen, Elektrolysezellen und Batterien.

Da die Verfügbarkeit dieser Rohstoffe eine bedeutende Herausforderung darstellt, wurden sie als kritische Rohstoffe eingestuft. Die Preisvolatilität und die geopolitischen Risiken können die Kosten und die Versorgungssicherheit bei diesen Rohstoffen beeinflussen. Das kann die Kosten für erneuerbare Energietechnologien beeinflussen und somit die Wirtschaftlichkeit der Energiewende gefährden. Daher ist es wichtig, Recyclingtechnologien zu entwickeln und die Diversifizierung der Bezugsquellen voranzutreiben. Eine nachhaltige Beschaffung und der effiziente Einsatz von Ressourcen sind unerlässlich, um die Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen zu verringern.

Kritische Rohstoffe sind besonders relevant für die Wirtschaftszweige, die Zukunftstechnologien wie Elektromobilität oder Dekarbonisierung bedienen und deren Versorgungssicherheit als kritisch einzuschätzen ist. Es handelt sich um 34 Materialien:

- Metalle wie Kobalt, Lithium, Magnesium, Titan, Wolfram,
- Seltenerdmetalle (Nd, Pr, Tb, Dy, Gd, Ce),
- Halbmetalle wie Silicium und Germanium,
- Erze wie Flussspat und Phosphorit.

Sie haben teilweise auch strategischen Charakter.

Die Sicherstellung der Verfügbarkeit kritischer Rohstoffe erfordert internationale Kooperationen und Handelsabkommen. Strategische Partnerschaften mit Ländern, die über reichhaltige Vorkommen verfügen, können helfen, die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Darüber hinaus ist die Förderung der Kreislaufwirtschaft entscheidend, um die Abhängigkeit von Primärrohstoffen zu reduzieren und die Ressourceneffizienz zu erhöhen.

## **9 Kommunikative, soziale und politische Wirkungen**

Die Energiewende hat weitreichende soziale und politische Auswirkungen. Informationsvermittlung und Medienberichterstattung sind zentral, um die Akzeptanz in der Bevölkerung zu fördern. Transparente Kommunikation über die Fortschritte und Herausforderungen der Energiewende ist wichtig, um das Vertrauen der Bürger zu gewinnen und deren Unterstützung zu sichern. Politische Debatten und Bürgerbeteiligung

spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. Es ist entscheidend, dass die Energiewende sozial gerecht gestaltet wird, um die Unterstützung aller gesellschaftlichen Gruppen zu gewährleisten. Maßnahmen zur sozialen Gerechtigkeit und die Einbeziehung lokaler Gemeinschaften sind notwendig, um soziale Spannungen zu vermeiden und eine breite Akzeptanz zu erreichen.

Bildungsprogramme und Informationskampagnen können dazu beitragen, das Verständnis und die Akzeptanz der Energiewende in der Bevölkerung zu erhöhen. Schulen, Universitäten und Erwachsenenbildungseinrichtungen sollten vermehrt Themen rund um erneuerbare Energien, Energieeffizienz und Klimaschutz in ihren Lehrplänen verankern. Zudem sollten Kommunen und lokale Initiativen verstärkt in den Transformationsprozess eingebunden werden, um die Bevölkerung vor Ort zu erreichen und aktiv an der Energiewende zu beteiligen.

Die Energiewende in Deutschland ist als „ein tiefgreifender, gesamtgesellschaftlich zu gestaltender und nur so zu bewältigender, weil für alle Bürger und Bereiche der Gesellschaft einschneidender, hochkomplexer Transformationsprozess“ zu betrachten (Fleischer 2021:20).

## **10 Gefahr des Scheiterns der Transformation?**

Es bestehen Risiken für das Scheitern der Transformation, wie politische Diskontinuität, wirtschaftliche Barrieren, technologische Herausforderungen und soziale Akzeptanzprobleme. Internationale Abhängigkeiten können ebenfalls hinderlich sein. Um diese Risiken zu minimieren, ist eine langfristige und stabile Klimapolitik erforderlich. Wirtschaftliche Anreize und Förderprogramme können helfen, Investitionen in neue Technologien und nachhaltige Lösungen zu fördern. Zudem müssen Forschung und Entwicklung intensiviert werden, um technologische Innovationen voranzutreiben. Eine breite gesellschaftliche Unterstützung ist entscheidend, um die Transformation erfolgreich umzusetzen. Daher müssen die Bürger frühzeitig in den Transformationsprozess einbezogen und deren Bedenken ernst genommen werden.

Die deutschen Parteien verfolgen in ihren Europawahlprogrammen 2024 unterschiedliche Ansätze in der Klimapolitik, die die künftige Ausrichtung der EU stark beeinflussen könnten:

- CDU/CSU: Die Union unterstützt grundsätzlich die Klimaneutralität der EU bis 2050 und den Green Deal, betont

jedoch, dass der Klimaschutz marktwirtschaftlich gestaltet werden muss. Sie lehnt eine frühere Abschaltung des Verbrennungsmotors als 2035 ab und setzt sich für eine ausgewogene Kombination aus Klimaschutz und wirtschaftlicher Stabilität ein.

- SPD: Die SPD bekennt sich zur Klimaneutralität bis 2045 in Deutschland und unterstützt eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der EU um 90 % bis 2040. Sie betont die Notwendigkeit, den Klimaschutz sozial gerecht zu gestalten, indem sie Fördermittel und sozialen Ausgleich betont, anstatt strikte Ausstiegstermine für fossile Energieträger festzulegen.
- Bündnis 90/Die Grünen: Die Grünen fordern eine rasche und strenge Umsetzung der Klimaziele. Sie setzen sich für einen verbindlichen Kohleausstieg bis 2030 und eine vollständige Umstellung auf erneuerbare Energien bis 2035 ein. Zudem wollen sie die EU bis 2040 klimaneutral machen und haben ambitionierte Pläne zur Förderung der Biodiversität und zur Renaturierung von Ökosystemen.
- FDP: Die FDP ist skeptisch gegenüber strikten Klimavorgaben und befürwortet einen marktwirtschaftlichen Ansatz, bei dem der Emissionshandel eine zentrale Rolle spielt. Sie lehnt verbindliche Ausstiegstermine für fossile Energien ab und fordert eine „Regulierungspause“ für den Green Deal, um wirtschaftlichen Wettbewerb und Innovationen zu fördern.
- Die Linke: Die Linke plädiert für eine drastische Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen und eine vollständige Umstellung auf erneuerbare Energien bis 2035. Sie fordert zudem, dass die Klimaneutralität bis 2040 in EU-Recht verankert wird. Die Partei setzt sich für weitreichende soziale Reformen ein, um die Belastungen des Klimaschutzes gerecht zu verteilen.
- AfD: Die AfD lehnt den Klimaschutz weitgehend ab und sieht Maßnahmen zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes als unnötig an. Sie möchte den Green Deal zurücknehmen und setzt stattdessen auf eine nationale Wirtschafts- und Energiepolitik ohne verbindliche Klimaziele.
- Die neue politische Partei Bündnis Sahra Wagenknecht (BSW) hat in Bezug auf Klimapolitik eine deutlich andere Position als viele etablierte Parteien in Deutschland. Im Kontext der Europawahl 2024 steht die BSW für eine skeptische Haltung gegenüber den aktuellen

### Klimaschutzmaßnahmen und dem Green Deal der EU.

Insgesamt zeigen die Programme eine breite Spannweite von ambitionierten Klimaschutzplänen bis hin zu klarer Ablehnung, was die zukünftige Ausrichtung der EU-Klimapolitik erheblich beeinflussen könnte. Die Positionen der Parteien reflektieren unterschiedliche Prioritäten in Bezug auf Umweltschutz, soziale Gerechtigkeit und wirtschaftliche Interessen.

Die politische Kontinuität ist ein wichtiger Faktor für den Erfolg der Energiewende. Politische Veränderungen und Unsicherheiten können die Umsetzung langfristiger Klimaschutzmaßnahmen behindern. Eine stabile und verlässliche Klimapolitik, die von einem breiten politischen Konsens getragen wird, ist daher unerlässlich. Wirtschaftliche Barrieren, wie hohe Kosten für neue Technologien und mangelnde Finanzierungsmöglichkeiten, können ebenfalls den Fortschritt der Energiewende hemmen. Wirtschaftliche Anreize und Förderprogramme, die Investitionen in erneuerbare Energien und Energieeffizienzmaßnahmen unterstützen, sind daher von großer Bedeutung.

Technologische Herausforderungen, wie die Entwicklung und Implementierung neuer Technologien, können ebenfalls Hindernisse darstellen. Forschung und Entwicklung müssen intensiviert werden, um technologische Innovationen voranzutreiben und deren Marktverfügbarkeit zu beschleunigen. Soziale Akzeptanzprobleme können durch transparente Kommunikation und Bürgerbeteiligung überwunden werden. Die frühzeitige Einbeziehung der Bürger in den Transformationsprozess und die Berücksichtigung ihrer Anliegen und Bedenken sind entscheidend, um eine breite Unterstützung für die Energiewende zu gewinnen.

Ein weiteres Risiko besteht in der internationalen Abhängigkeit von technologischen und materiellen Ressourcen. Die globale Lieferkette muss stabil und nachhaltig gestaltet werden, um Engpässe und geopolitische Risiken zu minimieren. Internationale Kooperationen und Handelsabkommen können dazu beitragen, die Versorgungssicherheit zu erhöhen und die Abhängigkeit von einzelnen Ländern zu reduzieren.

Letztlich werden souveräne Wähler bei den anstehenden Landtagswahlen in Deutschland und zur Bundestagswahl 2025 entscheiden, welche zukünftige Richtung in der Ausgestaltung des Klimaschutzes in Deutschland einschlagen und wie sich das auch auf die internationalen Prozesse auswirken wird.

Es besteht die Gefahr, dass der in Deutschland eingeleitete Transformationsprozess wieder verlangsamt oder sogar abgebrochen wird, wenn folgende Bedingungen eintreten:

- Ungenügendes systemisches Herangehen und politische Diskontinuität,
- Nichtbewältigung der bestehenden wirtschaftlichen Barrieren,
- Scheitern bei der Lösung der technologischen Herausforderungen,
- Fehlende oder ungenügende soziale und gesellschaftliche Akzeptanz und
- Kontraproduktive internationale Abhängigkeiten und politische Entwicklungen.

## **11 Auswirkungen auf internationale Prozesse**

Deutschland kann durch die Energiewende eine Vorbildfunktion übernehmen und technologische Impulse setzen. Die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende in Deutschland kann internationale Prozesse beeinflussen und andere Länder dazu ermutigen, ähnliche Maßnahmen zu ergreifen. Politische Impulse und die Entwicklung neuer Märkte können ebenfalls von Bedeutung sein. Deutschland kann eine führende Rolle in der internationalen Zusammenarbeit und im Setzen von Standards spielen, um die globale Energiewende voranzutreiben. Die internationale Zusammenarbeit ist entscheidend, um gemeinsame Herausforderungen zu bewältigen und globale Klimaziele zu erreichen.

Die deutsche Energiewende kann als Modell für andere Länder dienen und dazu beitragen, globale Klimaschutzmaßnahmen zu stärken. Durch den Austausch von Erfahrungen und Best Practices kann Deutschland andere Länder bei der Entwicklung und Implementierung ihrer eigenen Energiewendestrategien unterstützen. Die Technologieführerschaft Deutschlands im Bereich erneuerbarer Energien und Energieeffizienz kann auch neue Marktchancen eröffnen und die internationale Wettbewerbsfähigkeit stärken. Internationale Zusammenarbeit und Entwicklung globaler Standards sind Voraussetzungen, um die Akzeptanz, die Umsetzung und die Wirksamkeit und globaler Klimaschutzmaßnahmen zu erhöhen.

Internationale Klimainitiativen und Organisationen, wie das Pariser Abkommen und die Internationale Energieagentur (IEA), spielen eine

entscheidende Rolle bei der Förderung globaler Klimaschutzmaßnahmen. Deutschland kann durch aktive Teilnahme und Führungsrollen in diesen Organisationen zur Stärkung der internationalen Klimapolitik beitragen. Die Entwicklung von Technologien und Innovationen in Deutschland kann auch Exportchancen schaffen und zur Schaffung von Arbeitsplätzen im Bereich der erneuerbaren Energien beitragen.

## **12 Schlussbemerkungen**

Der Transformationsprozess des Energiesystems in Deutschland ist ein zentraler Bestandteil der nationalen Klimapolitik und zielt darauf ab, die Treibhausgasemissionen drastisch zu reduzieren und die Energieversorgung auf erneuerbare Energien umzustellen. Dieser Prozess ist äußerst komplex und wirkt in den verschiedenen Sektoren Energie, Verkehr, Industrie und Gebäude, die durch eine Sektorenkopplung miteinander vernetzt werden müssen. Diese Vernetzung ermöglicht es, Synergien zu nutzen und die Gesamteffizienz des Energiesystems zu steigern.

Die Energiewirtschaft spielt eine zentrale Rolle in diesem Transformationsprozess. Der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung hat in den letzten Jahren stetig zugenommen, wobei Wind- und Solarenergie eine besonders wichtige Rolle spielen. Parallel dazu erfolgt der Ausbau von Energiespeichern und Smart Grids, um die Integration erneuerbarer Energien zu unterstützen und die Netzstabilität zu gewährleisten. Dennoch gibt es weiterhin Herausforderungen, insbesondere in Bezug auf die Netzstabilität und die zu langsame Einführung intelligenter Netztechnologien.

Auch die Industrie und der Gebäudesektor sind zentrale Akteure in diesem Transformationsprozess. Die Industrie muss ihre Emissionen durch technologische Innovationen und die Umstellung auf energieeffiziente Prozesse reduzieren. Der Gebäudesektor erfordert umfassende Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, einschließlich der Modernisierung von Heizsystemen und der Integration erneuerbarer Energien.

Im Verkehrssektor sind die Fortschritte langsamer, trotz des steigenden Anteils von Elektrofahrzeugen. Es bedarf weiterer Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität und des öffentlichen Verkehrs, um die Klimaziele zu erreichen.

Zusammengefasst ist der Transformationsprozess des Energiesystems in Deutschland auf einem guten Weg, steht jedoch weiterhin vor erheblichen Herausforderungen. Um die ehrgeizigen Klimaziele zu erreichen, sind kontinuierliche Anstrengungen, technologische Innovationen und eine breite gesellschaftliche Unterstützung erforderlich. Die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende kann Deutschland eine Vorbildfunktion auf internationaler Ebene verleihen und den globalen Klimaschutz vorantreiben.

Insgesamt zeigt der Transformationsprozess des Energiesystems in Deutschland, dass eine nachhaltige und klimafreundliche Zukunft möglich ist. Durch eine Kombination aus technischer Innovation, wirtschaftlichen Anreizen und sozialer Gerechtigkeit kann die Energiewende erfolgreich umgesetzt werden. Es erfordert jedoch kontinuierliche Anstrengungen und eine langfristige Perspektive, um die ehrgeizigen Ziele zu erreichen und eine nachhaltige Energieversorgung für zukünftige Generationen zu sichern.

## Bibliographie

- Agora (2024a): *Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2023. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2024.* [https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-35\\_DE\\_JAW23/A-EW\\_317\\_JAW23\\_WEB.pdf](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-35_DE_JAW23/A-EW_317_JAW23_WEB.pdf).
- Agora (2024b): *Sanierungssprint für Ein- und Zweifamilienhäuser senkt Emissionen und Kosten zugleich.* [https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-12\\_DE\\_Sanierungssprint/2024-05-16\\_PM\\_Sanierungssprint\\_AEW.pdf](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-12_DE_Sanierungssprint/2024-05-16_PM_Sanierungssprint_AEW.pdf).
- eIDAS (2024): <https://eid.ec.europa.eu/efda/home>; abgerufen am 15.08.2024
- Fleischer, Lutz-Günther (2021): „Die Energiewende 2.0 und einige rezente Implikationen. Erweiterte Fassung der Eröffnung“. *Die Energiewende 2.0. Im Fokus: Die Mobilität.* (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 147), hrsg. von Jeremias, Ernst-Peter und Norbert Mertzsch. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist, 17-37.
- Fleischer, Lutz-Günther/Mertzsch, Norbert (2014): „Herausforderungen größer als erwartet. Die wissenschaftlich-technische Komplexität der effektiven Speicherung großer Energiemengen stellt ein

- praktisches und theoretisches Kernproblem der Energiewende dar“.  
*ReSource: Abfall – Rohstoff – Energie, Fachzeitschrift für nachhaltiges Wirtschaften* 27, III. Quartal, 37-45.
- Göldner, Igor (2024): *Strom-Engpässe in Oranienburg: Droht anderen Kommunen das auch?* <https://epaper.maz-online.de/epaper/ruppiner-tageblatt-2024-04-17-epa-90967/?page=p791761&searchword=Strom-Engp%C3%A4sse+in+Oranienburg+Droht+anderen+Kommunen+das+auch%3F&interactivelayer=3917367>.
- Herrmann, Christian (2024): *Baubranche hat nichts zu tun. Warum in Deutschland nicht mehr saniert wird.* <https://www.n-tv.de/wirtschaft/Warum-in-Deutschland-nicht-mehr-saniert-wird-article24903254.html>.
- KEI (2024): *Klimaneutrale Energie. Kompetenzzentrum Klimaschutz in energieintensiven Industrien (KEI).* <https://www.klimaschutz-industrie.de/themen/klimaschutz-in-der-industrie/>; Grafik; abgerufen am 15.08.2024.
- Mertzsch, Norbert (2014): „Speicherung Erneuerbarer Energien – Versuch eines Überblicks“. *Leibniz Online* 16. – URL: <http://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2014/01/mertzsch.pdf>.
- Mertzsch, Norbert (2022a): „Speicher in die Energieinfrastruktur“. *Die Energiewende 2.0 Im Fokus: Die Infrastruktur* (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 155), hrsg. Mertzsch, Norbert / Jeremias, Ernst-Peter. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist, 83-96. <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/02/SB155.pdf>.
- Mertzsch, Norbert (2022b): „Aspekte der Energieversorgungssicherheit“. *Die Energiewende 2.0 Im Fokus: Die Infrastruktur* (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 155), hrsg. Mertzsch, Norbert / Jeremias, Ernst-Peter. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist, 83-96. <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/02/SB155.pdf>.
- NEP (2023): *Netzentwicklungsplan Strom 2037 / 2045, Version 2023*, 2. Entwurf. [https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/2023-12/NEP%20kompakt\\_2037\\_2045\\_V2023\\_2E.pdf](https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/2023-12/NEP%20kompakt_2037_2045_V2023_2E.pdf).
- Scheller, Kay (2024): *Bericht nach § 99 BHO zur Umsetzung der Energiewende im Hinblick auf die Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit und Umweltverträglichkeit der Stromversorgung.* Bonn. [https://www.bundesrechnungshof.de/SharedDocs/Downloads/DE/Berichte/2024/energiewende-volltext.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bundesrechnungshof.de/SharedDocs/Downloads/DE/Berichte/2024/energiewende-volltext.pdf?__blob=publicationFile&v=5).
- Statista (2024): *Treibhausgasemissionen in Deutschland nach Sektoren des Klimaschutzgesetzes in den Jahren 1990 bis 2023 und Prognose für 2030.*

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1241046/umfrage/treibhausgasemissionen-in-deutschland-nach-sektor/>; abgerufen am 11.06.2024.

UBA (2024): *Daten der Treibhausgasemissionen des Jahres 2023 nach KSG*. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen>.

Wangemann, Ulrich/von Cölln, Hajo/Müller, Andrea (2024): „Anschlag auf Tesla: Generalbundesanwalt zieht Ermittlungen an sich“. *Märkische Allgemeine Zeitung* 08.03.2024. <https://www.maz-online.de/brandenburg/nach-anschlag-auf-tesla-generalbundesanwalt-uebernimmt-ermittlungen-NN5USEFKLRDT7IORNZ43K3-VUGY.html>.

Wikipedia (2024): *Windkraftanlage*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Windkraftanlage>.

## **Notwendigkeiten in Bildung und Curriculum zur Implementierung der Bildung für Nachhaltige Entwicklung unter den Aspekten Energie und Energiewende**

***Caroline Marina Kohl und Björn Egbert***

*(Universität Potsdam)*

### **Abstract**

This article is intended to provide an insight into the challenges of education for sustainable development (ESD) in general schools with a scientific and technical focus with a view to the aspects of energy and energy transition. The focus is on the role of the vague guiding concept of ESD, the curricular anchoring of the scientific fundamentals of the aspects of energy and energy transition, current research status and conceptual considerations for the systematic examination of these existential teaching subjects.

### **Zusammenfassung**

Der vorliegende Beitrag soll einen Einblick in die Herausforderungen der Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) an allgemeinbildenden Schulen unter einem naturwissenschaftlichen und technischen Schwerpunkt mit Blick auf die Aspekte *Energie* und *Energiewende* geben. Der Fokus liegt dabei auf der Rolle des unscharfen Leitkonzepts der BNE, der curricularen Verankerung der fachwissenschaftlichen Grundlagen der Aspekte Energie und Energiewende, aktuellen Forschungsständen sowie konzeptionellen Überlegungen zur systematischen Auseinandersetzung mit eben diesen existenziellen Unterrichtsgegenständen.

**Keywords / Schlüsselwörter**

education for sustainable development, energy and energy transition; technical education

Bildung für nachhaltige Entwicklung, Energie und Energiewende; Technikbildung

**1 Einleitung**

Die Veränderungen unserer natürlichen Umwelt sind als schwerwiegend einzustufen und die sichtbaren Ausmaße übersteigen längst regionale und nationale Schauplätze. Die Tatsache, dass aktuelle Klimaprozesse nicht mehr gestoppt und „verschiedene planetarische Grenzen“ (Appelt/Siege 2016: 21) längst überschritten sind, fordern dazu auf, Anpassungsstrategien zu entwickeln, um es der gegenwärtigen und den zukünftigen Generationen zu ermöglichen, auf dem Planeten Erde zu (über-)leben. Fragen von sicherer und bezahlbarer Energieversorgung und zugleich einer zeitnahen Transformation der Energieversorgungssysteme werden entsprechend seit mehreren Jahren mehr oder weniger stark diskutiert. Eine nachhaltige Entwicklung, auch mit Blick auf die Energieversorgung zu initiieren, ist daher unabdingbar, um zukünftigen Generationen ein ökologisch, ökonomisch und sozial lebenswertes Leben zu ermöglichen (Grundmann 2017: 20f.; Kyburz-Grabler et al. 2010: 11). In diesem Zusammenhang besteht das Ziel im Sinne der nachhaltigen Entwicklung in einer „aktiven Gestaltung einer ökologisch verträglichen, wirtschaftlich leistungsfähigen und sozial gerechten Umwelt unter Berücksichtigung globaler Aspekte, demokratischer Grundprinzipien und kultureller Vielfalt“ (Grundmann 2017: 28). Dies setzt menschliche Initiative voraus, die, etwas salopp ausgedrückt, nicht von selbst kommt, sondern im Rahmen von Bildungsprozessen erworben werden muss. Diese Bildung oder, modern ausgedrückt, Kompetenzentwicklung beabsichtigt, Schülerinnen und Schüler dazu zu befähigen, sich ihre Umwelt wirksam zu erschließen und diese aktiv mitgestalten zu können. Dabei umfasst der Begriff der Umwelt mit Blick auf die Aspekte der *Energie* und *Energiewende* insbesondere die naturwissenschaftliche und technische Dimension sowie, längst überfällig, auch Fragen der nachhaltigen Entwicklung. Demgegenüber ist seit Jahren bzw. Jahrzehnten festzustellen, dass der technischen Bildung als Bestandteil der allgemeinen Schulbildung in

Deutschland eine unzureichende Stellung beigemessen wird, sie gilt vielmehr als „ungeliebtes Kind der schulischen Bildung“ (Buhr 2008: 57). Ferner erfährt die Bildung für Nachhaltige Entwicklung (kurz BNE) seit einigen Jahren Eingang in die Lehrpläne, wird jedoch typischerweise als übergreifendes Leitkonzept betrachtet und ist in der Regel entsprechend abstrakt formuliert. Wenngleich die BNE als großen Schwerpunkt die Transformation des umweltschädlichen Energiesektors unter Nutzung von neuen Technologien als (über-)lebensnotwendig beschreibt, so orientiert sich ihr Leitcharakter mehr am humanistischen Bildungsideal und zielt nicht auf die praktisch orientierte Bewältigung der gegebenen, bedrohlichen Lebenssituationen mittels vorhandener, technikdidaktischer Konzepte.

Der Mensch lebt jedoch in einer vollständig von Technik durchdrungenen Umwelt. Vor dem Hintergrund der Energiewende und den Erfordernissen, die im Zusammenhang mit nachhaltiger Entwicklung stehen, müssen technische Sachsysteme weiterentwickelt und an diese Erfordernisse angepasst werden. Demzufolge – so könnte angenommen werden – müsste es von zentraler Bedeutung sein, dass Schülerinnen und Schüler über ein umfassendes und reflektiertes naturwissenschaftliches und technisches Verständnis verfügen, um ihre technisierte Umwelt grundlegend zu verstehen, um diese mitzugestalten oder zumindest reflektierte Entscheidungen treffen zu können. Dieser Idee folgend lässt sich gewissermaßen ein allgemeinbildender Kern der naturwissenschaftlichen und technischen Fächer mit Blick auf die *Energiewende* und zugehörige Basiskonzepte im Zusammenhang mit Energie, Energieversorgung, -speicherung und -transformation ausmachen, der einen entsprechenden Bildungsauftrag an allgemeinbildenden Schulen rechtfertigt bzw. zwingend erfordert. Dies betrifft die weiterführenden Schulen und die Grundschulen gleichermaßen. Doch finden in den Unterrichtsfächern Sachunterricht, Naturwissenschaften, Wirtschaft-Arbeit-Technik sowie Physik kaum bildungsrelevante Auseinandersetzungen mit Technik im Sinne des Erkennens von Funktionszusammenhängen und des Verstehens von Wirkungsweisen im Rahmen einer theoretischen und praktischen Auseinandersetzung statt. Häufig wird der technische Bereich im Rahmen der Schulbildung auf eine rein naturwissenschaftliche Auseinandersetzung – quasi auf das Konzept der Technik als angewandte Naturwissenschaft – beschränkt (Meier 2017: 96). Hierbei werden in einem sehr verkürzten

Verständnis vereinzelte Auseinandersetzungen innerhalb einzelner Themenfelder behandelt, die jedoch nicht im Sinne einer didaktisch begründeten horizontalen Reduktion verstanden werden dürfen, da in der Regel eben keine allgemeinen Sachverhalte damit erschlossen werden, sondern lediglich zusammenhangsloses Inselwissen erarbeitet wird. Dabei erscheint es im Hinblick auf die zu bewältigenden Herausforderungen im Energiesektor umso wichtiger, an der Technisierung der Lebenswelt der aktuellen und zukünftigen Generationen anzuknüpfen und diese in eine umfassende naturwissenschaftliche und technische Bildung einzubinden, um den Erfordernissen einer BNE gerecht(er) und insbesondere konkret(er) werden zu können. Nur, wenn Lernende die (Verwendungs-)Möglichkeiten, aber auch die Grenzen von Technik (hier in einem weiten Technikverständnis und nicht auf Artefakte beschränkt) kennen, können sie die Wirkungs- und Bedingungsbeziehungen von Technik richtig verstehen und zukünftig davon profitieren (GDSU 2013: 63).

Auf der Grundlage dieser Ausgangssituation befasst sich der vorliegende Beitrag zunächst mit dem Konzept der Bildung für Nachhaltige Entwicklung. Anschließend wird unter einem Fokus auf *Energie* und *Energiewende* der Frage nachgegangen, welche Ziele bzw. Kompetenzen im Konzept der BNE im Rahmen der allgemeinen Schulbildung erreicht werden sollen. In diesem Zusammenhang wird herausgearbeitet, dass es sich angesichts der zu erreichenden Kompetenzen um ein sehr unscharfes Konzept handelt, welches entsprechende unterrichtliche Herausforderungen nach sich zieht. Dies wird an der fachlichen und fachdidaktischen Auseinandersetzung exemplarisch anhand des Rahmenlehrplans (Teile B und C) für das Bundesland Brandenburg vollzogen. Ferner wird im Beitrag der Versuch unternommen, fachdidaktische Konzepte (beispielsweise das Konzept der allgemeinen Technologie, das Konzept der Orientierung an Schlüssel- und Zukunftstechnologien sowie der Mehrperspektivische Ansatz) der entsprechenden korrespondierenden Fachdidaktiken der benannten Unterrichtsfächer zu identifizieren und mit den Zielen der BNE sowie der vorgestellten fachwissenschaftlichen Inhalte zu verbinden, um eine zeitgemäße Auseinandersetzung vor dem Hintergrund der *Energiewende* initiieren zu können.

## 2 **Bildung für nachhaltige Entwicklung – ein unscharfes Leitkonzept**

Mit Blick auf die Herausforderungen des Klimawandels und die umfassende Zerstörung der natürlichen Umwelt ist bereits jetzt in vielen Ländern bzw. Regionen der Erde eine höchst kritische Situation hinsichtlich der Veränderung der menschlichen Lebensbedingungen bzw. -grundlagen auszumachen. Mit der sogenannten ‚Bildung für nachhaltige Entwicklung‘ wurde in den letzten Jahrzehnten ein Konzept erarbeitet, mittels dessen es gelingen soll, die Weltbevölkerung zur zunehmenden Bereitschaft und Fähigkeit einer aktiven Auseinandersetzung im Sinne der Nachhaltigen Entwicklung zu bewegen. Dies ist keine neue Idee, denn der Begriff ‚Nachhaltigkeit‘ stammt aus der Forstwirtschaft und ist bereits seit 1713 auf Hans Carl von Carlowitz<sup>1</sup> zurückzuführen und lässt sich wie folgt rahmen:

„Nachhaltigkeit bezeichnete zunächst die Bewirtschaftungsweise eines Waldes, bei welcher immer nur so viel Holz entnommen wird wie nachwachsen kann, so dass der Wald nie zur Gänze abgeholzt wird, sondern sich immer wieder regenerieren kann“ (Bolay/Reichle 2014: 30).<sup>2</sup>

Zwar reagierten die Menschen auf die verursachte Holzknappheit und damit einhergehender Schäden an der Natur, jedoch nutzten sie die Erkenntnisse aus der Wissenschafts- und Technikentwicklung vorrangig aus ökonomischen Motiven. Daneben machten es technische Errungenschaften, die allgemein dem Wesen der Technik und ihrer begründeten Fortentwicklung entsprechen, auch im Hinblick auf die „Bedingungen und Selbsterhaltung“ (Banse 1996: 15) des Arbeiters im Kontext des sich fortentwickelnden Arbeitssystems von Mensch und Maschine möglich, auf den massiven Abbau von Holz, „die Steinkohle, die Braunkohle, das Erdöl, dann das Erdgas und schließlich die Kernenergie“ (Hauff 2012) folgen zu lassen. Daraus resultierte eine sogenannte Ambivalenz der Technik (Schmayl/Wilkening 2001: 11) und förderte positive wie negative Auswirkungen, auch auf die Umwelt, zu Tage. Dennoch wurden erst

---

<sup>1</sup> 1713 berühmte Schrift „*Sylvicultura oeconomica*“ (Hauff, Nachhaltigkeit als Voraussetzung für Gerechtigkeit, Wohlstand und Lebensqualität, 10. Oktober 2012, anlässlich der Eröffnung des 77. Lehrgangs der Europäischen Akademie der Arbeit.

<sup>2</sup> Der Begriff der Nachhaltigkeit zog in dieser Zeit auch ins Englische ein und wurde als *sustained yield* übersetzt (vgl. Bolay/Reichle, 2014, S. 30).

im Jahr 1972 „die geistigen Grundlagen für die gesamte moderne Umweltpolitik“ (Hauff 2012) auf dem ‚Weltgipfel für Umwelt‘ der Vereinten Nationen in Stockholm gelegt. Auf europäischer Ebene wurde der Begriff der ‚nachhaltigen Entwicklung‘ erstmals 1987 im sogenannten ‚Brundtland-Bericht‘ wie folgt determiniert: „Sustainable development meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs“ (United Nations 1987: 37). Dieser Bericht gilt als Grundstein für die – wenngleich auch nur langsam – einsetzenden umweltpolitischen Diskussionen und Reglements. Er zeichnet sich durch zwei Grundgedanken aus: Zum einen rücken die Bedürfnisse der Ärmsten und deren Befriedigung in den Handlungsfokus der (künftigen) Akteure. Zum anderen spielt der Gedanke von „Beschränkungen, die der Stand der Technologie und der sozialen Organisation auf die Fähigkeit der Umwelt ausübt“ (Aachener Stiftung Kathy Beys 2015), zur Bedürfnisbefriedigung gegenwärtiger und zukünftiger Generationen eine entscheidende Rolle. Die Ansätze des Brundtland-Berichts wurden auf der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro (1992) fortgeführt und in der Agenda 21 nachhaltig ausgearbeitet. Dem Bereich der *Bildung* sprechen die Akteure innerhalb der Agenda 21 nicht nur implizit eine tragende Rolle zu, sondern sie konstatieren Bildung als eine „unerlässliche Voraussetzung für die Förderung der nachhaltigen Entwicklung und die bessere Befähigung der Menschen, sich mit Umwelt- und Entwicklungsfragen auseinanderzusetzen“ (Vereinte Nationen 1992: 329). Seither finden sich vermehrt nationale wie globale Diskurse innerhalb der wissenschaftlichen Forschung, in Wirtschaftskreisen, der Politik sowie dem primären und tertiären Bildungssektor. In den darauffolgenden Jahren wurden weitere Maßnahmen zur Eindämmung des Klimawandels (zumindest) festgelegt. Mit der Agenda 2030 und ihren 17 Nachhaltigkeitszielen wurde 2015 „ein für alle Länder geltendes globales und universell anwendbares Zielsystem für Entwicklungs- und Nachhaltigkeitsaspekte“ (Kropp 2019: 9) entwickelt und die Forderung formuliert, dass „alle Lernenden die notwendigen Kenntnisse und Qualifikationen zur Förderung nachhaltiger Entwicklung erwerben [...]“ (Vereinte Nationen 2015: 18). Das Instrument zur Umsetzung dieser Forderung bildet die Bildung für Nachhaltige Entwicklung.

## **2.1 Konzepte zur Umsetzung der BNE im primären Bildungssektor**

Die BNE gilt als ein junger, jedoch umfassender und ganzheitlicher Bildungsansatz, welcher fächer- und disziplinübergreifend seinen Wirkungsgrad erreichen soll. In Deutschland wird die Umsetzung der UNESCO-Programme für BNE, aktuell des Weltprogramms ‚BNE 2030‘, seit 2015 federführend vom Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF] koordiniert (BMBF 2024). Die Vermittlung von Kompetenzen innerhalb der BNE setzt an den gegenwärtigen, lebensweltlichen Erfahrungen von Schülerinnen und Schülern, Lehrkräften und Erwachsenen an. Im Hinblick auf die Ausgestaltung der zugrundeliegenden Curricula sowie der Zielformulierungen innerhalb der BNE ist es daher unabdingbar, sich mit dem Begriff der Kompetenz auseinanderzusetzen, denn das „Lernen des 21. Jahrhunderts ist [...] auf Kompetenzentwicklung“ ausgerichtet (Erpenbeck/Heyse 2007: 27). Die im Bildungsbereich wohl etablierteste begriffliche Rahmung geht dabei auf Weinert aus dem Jahr 2001 zurück. Er definiert Kompetenz wie folgt:

„Kompetenzen sind die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ (Weinert 2001: 27).

Ihrem Bildungsauftrag folgend, befähigt BNE „Lernende, informierte Entscheidungen zu treffen und verantwortungsbewusst zum Schutz der Umwelt, für eine bestandsfähige Wirtschaft und einer gerechten Gesellschaft für aktuelle und zukünftige Generationen zu handeln und dabei die kulturelle Vielfalt zu respektieren. Es geht um einen lebenslangen Lernprozess, der wesentlicher Bestandteil einer hochwertigen Bildung ist“ (UNESCO 2015: 12).

### *2.1.1 Orientierungsrahmen für den Lernbereich globale Entwicklung*

Orientiert an der Agenda 2030 und im Hinblick auf die Umsetzung der beschriebenen 17 Nachhaltigkeitsziele entwickelte das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) sowie die Kultusministerkonferenz (KMK) 2007 schulstufenübergreifend u. a.

den veröffentlichten *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung* und leistete damit einen wesentlichen Beitrag zur UN-Dekade Bildung für Nachhaltige Entwicklung (2005-2014) und zum BNE-Weltaktionsprogramm (WAP, ab 2015). Den Schwerpunkt bildet hier der *Lernbereich globale Entwicklung*, der „explizit in den Kontext des Leitbilds Nachhaltigkeit und des pädagogischen Konzepts Bildung für nachhaltige Entwicklung gestellt“ (Grundmann 2017: 31) wird. Mit dem Orientierungsrahmen wird die strukturelle Verankerung von BNE insbesondere in der Primar- sowie der Sekundarstufe I angeregt (Schreiber 2016: 84; Appelt/Siege 2016: 24). Das übergreifende Ziel besteht darin, BNE in allen Schulstufen zu implementieren. Im Grundschulbereich werden primär dem Fach Sachunterricht neben „weiteren Fächern“ (Schmitt 2016: 73) die meisten Anknüpfungspunkte mit der BNE zugesprochen. Innerhalb der Sekundarstufe I finden sich u. a. die Fächer Wirtschaft-Arbeit-Technik und Naturwissenschaften, welche an das Fachwissen des Sachunterrichts anknüpfen und das Lernen in verschiedenen Fachbereichen wie „Natur und Technik“, „Gesellschaft“, „Arbeit und Beruf“ lebensnah gestalten“ (Schmitt 2016: 73) -. Die Akteure gliedern das Modell in die drei Kompetenzbereiche Erkennen, Bewerten und Handeln (Schmitt 2016: 90) und formulieren zu diesen elf Kernkompetenzen, die es auszubilden gilt (Tabelle 1). Die Autoren merken ebenfalls an, dass „Instrumente wie die Technik-/Umweltfolgenabschätzung, mit denen die Auswirkungen auf Vorhaben in einzelnen Entwicklungsdimensionen ermittelt werden, [...]“ (Schmitt 2016: 44) erforderlich wären, um der Kohärenz auf verschiedenen (bildungs-)politischen Handlungsebenen umfassend gerecht zu werden.

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>Erkennen</b> | 1. Informationsbeschaffung und -verarbeitung |
|                 | 2. Erkennen von Vielfalt                     |
|                 | 3. Analyse des globalen Wandels              |
|                 | 4. Unterscheidung von Handlungsebenen        |
| <b>Bewerten</b> | 5. Perspektivenwechsel und Empathie          |
|                 | 6. Kritische Reflexion und Stellungnahme     |
|                 | 7. Beurteilen von Entwicklungsmaßnahmen      |

|                |   |
|----------------|---|
| <b>Handeln</b> | 8. Solidarität und Mitverantwortung       |
|                | 9. Verständigung und Konfliktlösung       |
|                | 10. Handlungsfähigkeit im globalen Wandel |
|                | 11. Partizipation und Mitgestaltung       |

Tab. 1: Kernkompetenzen im Orientierungsrahmen (Schreiber 2016: 95).

### 2.1.2 *Konzept der Gestaltungskompetenz nach De Haan*

Bei der Ausgestaltung von Lehr- und Lerngelegenheiten bedarf es daher keiner primären Fokussierung auf den Input, sondern insbesondere auf den zu erzielenden Output. Auch De Haan bezieht sich in seinem Konzept der Gestaltungskompetenz auf die Definition Weinerts und entwickelte im Hinblick auf BNE ein Konzept, welches einen markanten schulischen Bezug aufweist (Tabelle 2) und sich im Bildungskontext gewissermaßen etabliert hat. Am Outputansatz orientiert, führt er u. a. Problemlösestrategien sowie Handlungskonzepte und -fähigkeiten als zu erwerbende schulische Kompetenz auf. De Haan subsumiert die zu erwerbenden BNE-Kompetenzen unter dem Begriff der Gestaltungskompetenz und differenziert diese wiederum in Teilkompetenzen aus. De Haan definiert den Begriff der Gestaltungskompetenz als eine Fähigkeit, „Wissen über nachhaltige Entwicklung anwenden und Probleme nicht nachhaltiger Entwicklung erkennen zu können. Das heißt, aus Gegenwartsanalysen und Zukunftsstudien Schlussfolgerungen über ökologische, ökonomische und soziale Entwicklungen in ihrer wechselseitigen Abhängigkeit ziehen und darauf basierende Entscheidungen treffen, verstehen und individuell, gemeinschaftlich und politisch umsetzen zu können, mit denen sich nachhaltige Entwicklungsprozesse verwirklichen lassen“ (De Haan 2008: 31). Die von ihm ausdifferenzierten Teilkompetenzen lassen sich wiederum den Kompetenzkategorien der OECD zuordnen, was eine internationale Anschlussfähigkeit ermöglicht. Dass De Haan hier einen begrifflichen Zirkelschluss vollzieht, indem er Kompetenz als Fähigkeit bezeichnet, sei an dieser Stelle mit Blick auf die Anwendung eines funktionalen Kompetenzbegriffs (etwa nach Weinert) von den Autoren angemerkt.

| Kompetenzkategorien der OECD                              | Teilkompetenzen der Gestaltungskompetenz                         |
|---|--|
| <b>Interaktive Verwendung von Medien und <u>Tools</u></b> | T.1 Weltoffen und neue Perspektiven integrierend Wissen aufbauen |
|   | T.2 Vorausschauend denken und handeln                            |
|   | T.3 Interdisziplinär Erkenntnisse gewinnen und handeln           |
| <b>Interagieren in heterogenen Gruppen</b>                | G.1 Gemeinsam mit anderen planen und handeln können              |
|   | G.2 An Entscheidungsprozessen partizipieren können               |
|   | G.3 Andere motivieren können, aktiv zu werden                    |
| <b><u>Eigenständiges Handeln</u></b>                      | E.1 Die eigenen Leitbilder und die anderer reflektieren können   |
|   | E.2 Selbstständig planen und handeln können                      |
|   | E.3 Empathie und Solidarität für Benachteiligte zeigen können    |
|   | E.4 Sich motivieren können, aktiv zu werden                      |

Tab. 2: Zuordnung der Teilkompetenzen zu den Kompetenzkategorien der OECD (2005) (De Haan 2008: 32).

## 2.2 Teil-Resümee

Die Ausführungen zur BNE zeigen deutlich auf, welchen hohen bildungspolitischen Stellenwert Umweltthemen in Deutschland aktuell innehaben müssten. Die aktuellen Entwicklungen bzw. Umsetzungen der BNE unterliegen dabei einer Paradoxie. Die vereinbarten Ziele sind vor allem emotionaler und ethischer Natur und zielen auf ein gemeinhin als sinnhaft zu bezeichnendes, gerechtes, umweltfreundliches und nachhaltiges Leben<sup>3</sup> innerhalb einer friedlichen und wohlhabenden Staatengemeinschaft. Dennoch ist das Konzept der BNE nur schwer zu fassen,

<sup>3</sup> Dies gilt nicht nur für die Spezies Mensch, sondern für alle Lebewesen und für alle (natürlichen) Lebensräume.

ihre Ränder, sofern sie welche besitzt, sind diffus. Gemäß den Forderungen der Agenda 21 entwickelten und verabschiedeten die Akteure den Nationalen Aktionsplan (NAP) (2017), welcher 130 Ziele und insgesamt 349 konkrete Handlungsempfehlungen zur Förderung der „strukturelle[n] Verankerung von BNE in der deutschen Bildungslandschaft“ (BMBF, 2024, o. S.) vorhält. Einen Überblick zur strukturellen Verankerung von BNE in Schulgesetzen, Lehrplänen und der Lehrerbildung liefern Holst/Brock (2020) in einem Monitoring aus den Jahren 2017, 2018 und 2019. Hierbei geht für die Länder Berlin und Brandenburg u. a. aus der Betrachtung der Bildungs- und Lehrpläne hervor, dass „die Anzahl der (B)NE-relevanten Fundstellen in den Lehrplänen deutlich ansteigt“ (Holst/Brock 2020: 8; Brock 2018: 100ff.); insbesondere die Begriffe *nachhaltig* bzw. *Nachhaltigkeit* und *Lernen in globalen Zusammenhängen*. Positiv sei dabei anzumerken, dass auch „nicht nachhaltigkeitsaffine Fächer eine zunehmende Verankerung“ (ebd.) von Nachhaltigkeitsthemen verzeichnen. Die Autoren kritisieren jedoch, dass BNE als *Bildungskonzept* in den Lehrplänen noch unterrepräsentiert ist (ebd.). Indessen sind Ergebnisse von Umsetzungen mit Umweltcharakter einer längerfristigen Untersuchung unterworfen. Wie es die aktuelle Klimakrise aufzeigt, sind die Resultate aus den Bemühungen um umweltfreundliches Handeln nicht sofort messbar. Demnach ist auch die Ausbildung der geforderten ‚neuen Sichtweisen‘ und etwaiger Kompetenzen bei Schülerinnen und Schülern als prospektiv anzusehen. Mit Blick auf das Anliegen dieses Beitrages ist Ziel 4 der Agenda 2030, die ‚Hochwertige Bildung‘, als zentral zu erachten.

### **3 Kompetenzen, Fachinhalte und deren curriculare Verbindung – Energie und Energiewende unter dem Aspekt der Bildung für nachhaltige Entwicklung**

Um sich mit der curricularen Grundlage auseinandersetzen zu können, ist zunächst eine Begriffsannäherung erforderlich, die die Zielkategorie der unterrichtlichen Auseinandersetzung definiert. Dies ist in diesem Beitrag insbesondere der Begriff der Energiewende. Damit ist ein Transformationsprozess gemeint, der sich im Sinne der nachhaltigen Entwicklung auf einen Nutzungswechsel von nicht regenerativen Energien und deren Trägern (hier vor allem der fossilen Brennstoffe und Kernbrennstoffe) zu regenerativen Energien bezieht. Damit sind gemeinhin Fragen der

Gestaltung von Übergangsprozessen, aber auch von Speicherung, Übertragung, Wandlung und Nutzungssicherheit sowie Kosten und gesellschaftlicher Akzeptanz verbunden. Mit Blick auf die eingangs skizzierten Herausforderungen der globalen Erwärmung geht damit sowohl das Ziel einher, die durch nicht-nachhaltige Energienutzung verursachten Schäden an Mensch, Gesellschaft(en) und Natur zu reduzieren sowie die bislang noch immer kaum am Energiemarkt berücksichtigten Folgekosten (beispielsweise der Endlagerung von Kernbrennstoffen oder Aufwendungen, die aus der Karbonisierung der Umwelt resultieren, etwa Hochwasserschutzmaßnahmen, usw.) in die Gesamtbetrachtung aufzunehmen. Im Hinblick auf die Ausbildung von Technikmündigkeit, Interessen am Themenfeld Technik bis hin zur Berufs- und Studienorientierung von jungen Menschen wird dem schulischen Bereich die primäre Verantwortung zur aktiven Anbahnung zugeschrieben (Verein Deutscher Ingenieure [VDI] 2023: 9) und demnach der Einbezug von gesellschaftlich relevanten Themen in den Schulunterricht implizit gefordert. Doch welche Inhalte müssen diesbezüglich als Basis eines auf die Gegenwart und Zukunft ausgerichteten Lernens identifiziert werden, um einen entsprechend kompetenzorientierten Unterricht zu gestalten? Dies sind unter anderem primär physikalische Themengebiete wie Energie, Energieerhaltung, Energietransformation, Energiespeicherung, Energieübertragung. Um die Energiewende verstehen zu können, reichen jedoch physikalische Betrachtungen zu Basiskonzepten nicht aus. Es geht vielmehr auch um korrespondierende Technologien und zugehörige Artefakte, wie beispielsweise aus den Bereichen der Wasserstofftechnik, Photovoltaik, Solarthermie, Geothermie, Wind- und Wasserenergie und zugehörige Generatortechnik. Ferner geht es auch um Fragen der Energieversorgung mittels Energienetzen, Fragen von Dezentralität, Fragen von Versorgungssicherheit, Fragen von Wirkungsgraden. Diesbezüglich sind auch grundlegende Lernbereiche wie die Elektrizitätslehre oder Thermodynamik und zugehörige technische Betrachtungen erforderlich. Ferner intendiert der Begriff der Wende auch eine intensive Auseinandersetzung mit konventioneller Energieversorgung, um sich mit den daraus resultierenden Herausforderungen überhaupt erst auseinandersetzen zu können.

Diesbezüglich erfolgt nun ein Blick in die curriculare Basis des Landes Brandenburg, spezifisch für die inhaltlich korrespondierenden Unterrichtsfächer (Physik, Wirtschaft-Arbeit-Technik, Naturwissenschaften

und Sachunterricht), da Lehrkräfte des Landes Brandenburg bei der Auswahl von Unterrichtsthemen den Angaben der jeweiligen Teile des Rahmenlehrplans unterliegen. Diese gelten somit als „grundlegender Wegweiser für das Lernen in der Schule“ (Ministerium für Bildung, Jugend und Sport [MBJS] 2024) und als Richtlinie zur Gestaltung von schulinternen Curricula und fachspezifischen Unterrichtsstunden. Der Rahmenlehrplan ist durchgehend von Klassenstufe 1-10 konzipiert und beinhaltet die aufeinander aufbauenden Anforderungen aller Schulabschlüsse und Bildungsgänge (ebd.). Um einen ersten Einblick zur Umsetzung von Themenfeldern im Bereich der Energiewende auf regionaler Ebene zu gewinnen, wurden für diesen Beitrag zunächst die Aktivitäten des Bundeslandes Brandenburg im Bereich des schulischen, formellen Bildungsektors auf thematische Anknüpfungspunkte hin untersucht. Dazu wurde der Rahmenlehrplan einer lexikalischen Analyse unterzogen und das Material nach deduktiven Kategorien (Schlagwörtern) untersucht, darunter u. a. *Energiewende; Energie; Technik; technische Verfahren* (z. B. *Brennprobe*); *Ressource; Modelle der Technikdidaktik; Konzepte der Technikdidaktik* und *Anregungen/ Anleitungen zur methodischen Umsetzung von Technikunterricht*.

### 3.1 Ergebnisse für den Rahmenlehrplan Teil B für die Klassenstufen 1–10

Entsprechend der Erkenntnis, dass die „Gestaltung einer nachhaltigen Entwicklung [...] als Antwort auf die Herausforderungen des globalen Wandels zu den wichtigsten politischen Aufgaben des 21. Jahrhunderts [gehört]“ (MBJS 2015a: 34), wurden die Themenbereiche der BNE in den erneuerten Rahmenlehrplan Teil B als Richtlinie eingearbeitet. Innerhalb der übergreifenden Themen finden sich die Bereiche ‚Bildung für nachhaltige Entwicklung/Lernen in globalen Zusammenhängen‘ und orientieren sich dabei am Leitbild der Nachhaltigen Entwicklung. Das Themenfeld BNE umfasst hierbei die aktuellen Kernprobleme des globalen Wandels, unter der Fokuslegung dieses Beitrages fallen hier die Themenfelder *Energieversorgung* und *Ressourcenverknappung*. Die Akteure stellen Bezüge zu einzelnen Fachdisziplinen her, hierunter fallen u. a. die Fächer *Wirtschaft-Arbeit-Technik (WAT)* sowie *Naturwissenschaften*. Die angestrebte Kompetenzausbildung ist hierbei auf „Erkennen, Analysieren und Bewerten von nicht nachhaltigen und nachhaltigen Entwicklungstendenzen in einer zunehmend globalisierten Welt“ (Senatsver-

waltung für Bildung, Jugend und Familie [SenB]F]/MBS 2024) ausgerichtet. Eine explizite Nennung von Schlagwörtern im Wortfeld ‚Energiewende‘ findet hier jedoch nicht statt. Im weiteren Verlauf werden die Schülerinnen und Schüler dazu ausgebildet, „Handlungsfolgekettens in ihren Auswirkungen auf Ressourcen sowie auf soziale Beziehungen [hin einzuschätzen]“ (MBS 2015a: 34). Konkrete, verbindlich umzusetzende Themenfelder finden sich in den Rahmenlehrplänen der einzelnen Fachdisziplinen.

### **3.2 Ergebnisse für den Rahmenlehrplan Teil C Sachunterricht für die Klassenstufen 1–4**

Bei der Sichtung des Rahmenlehrplans wurde für das Primarstufenfach Sachunterricht festgestellt, dass es keine konkreten Vorgaben zu technischen und technisch-didaktischen Inhalten gibt. Konzepte, welche technisches Lehren und Lernen im Grundschulunterricht initiieren, fehlen gänzlich. Inhalte mit technischem Charakter, darunter z. B. das Themenfeld der Energie, sind zwar als Oberbegriffe ausgewiesen, stehen als Unterrichtsinhalte jedoch nebeneinander statt in Beziehung zueinander. Dazu wird der Begriff der Energie stark verkürzt und im Bereich ‚Was bewegt sich wie?‘ (Bewegung, Energie, Gleichgewicht) (MBS 2015b: 34) sowie ‚Was kann Wasser bewirken?‘ (im Wasser steckt nutzbare Energie (vom Wasserrad zum Wasserkraftwerk)) (MBS 2015b: 39) angeführt.

### **3.3 Ergebnisse für den Rahmenlehrplan Teil C Wirtschaft-Arbeit-Technik (WAT) für die Klassenstufen 5–10**

Im Grundschulfach Wirtschaft-Arbeit-Technik (WAT) (Klassenstufen 5-6 sowie 7-10) ist das Themenfeld der Energiebilanzierung auszu-machen. Allerdings ist dieses auf den Wahlpflichtbereich beschränkt und dient somit als mögliche Erweiterung des Unterrichts, ist jedoch nicht verpflichtend (MBS 2015c: 48).

### **3.4 Ergebnisse für den Rahmenlehrplan Teil C Naturwissenschaften für die Klassenstufen 5 – 6**

Für das Fach Naturwissenschaften (NaWi, Klassenstufen 5/6) findet sich das Themenfeld der Energie auf inhaltlicher, rein physikalischer Ebene.

Es wird jedoch nicht im Sinne der Energietransformation weiterentwickelt (MBS 2015d: 26).

### **3.5 Ergebnisse für den Rahmenlehrplan Teil C Physik für die Klassenstufen 7 – 10**

Für das Fach Physik ist anzumerken, dass Basiskonzepte zu Energie und Energietransformation umfassend vorhanden sind, sich jedoch auf rein naturwissenschaftliche Auseinandersetzungen beschränken. Dies ist eine typische neuhumanistische Bildungsvorstellung, die mit einem transferfähigen Bildungsbegriff im Sinne der oben beschriebenen Handlungskompetenz nichts gemein hat und damit – wenn überhaupt – nur die Basis einer Auseinandersetzung bilden kann, die jedoch mit Blick auf die Verankerung in den höheren Klassenstufen der allgemeinbildenden Schule um viele Jahre zu spät kommt.

### **3.6 Teil-Resümee**

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass, obwohl die BNE im Rahmenlehrplan Teil B als übergeordnetes Bildungsziel von Schulen benannt wird und innerhalb der Agenda 2030 explizit Ziele der hochwertigen Bildung und der ‚sauberen Energie‘ determiniert sind, korrespondierende Themenfelder wie das der Energie ohne jeden BNE-Bezug in den untersuchten Rahmenlehrplänen stehen. Es entsteht für Lehrkräfte der Eindruck, die Zielvorstellungen der BNE seien inhaltsleer. Umgekehrt werden die wenigen potentiellen Inhalte zu Energie und Energiewende weder mit BNE in Verbindung gesetzt noch konzeptuell in Unterrichtsmodelle eingebettet. Parallel dazu finden sich eben nicht die erforderlichen Kompetenzen, welche die Lernenden benötigen, um die Ambivalenz, die die Energiewende mit sich bringt, ansatzweise auszubilden. Dies widerspricht klar den Kompetenzvorstellungen aller korrespondierenden didaktischen Fachgesellschaften. Kompetenzen sind immer auf Klassen von Anforderungen gerichtet und müssen daher sowohl inhaltlich als auch mit Blick auf das Handeln akzentuiert werden. So ignoriert der Lehrplan die fachdidaktischen Standpunkte der Bezugsgesellschaften (z. B. DeGÖB, DGTB, VDI, ...) zu Kompetenzen und Standards der ökonomischen, technischen, naturwissenschaftlichen und berufsbezogenen Bildung schlichtweg. Gemäß Rahmenlehrplan werden Lehrkräfte

erst ab der Klassenstufe 7 dazu aufgefordert, Fachbegriffe (Achtung: Begriffe, nicht Konzepte!) von Energie (vornehmlich im Physikunterricht, siehe unten) und Technik im Unterricht zu vermitteln. Auch hier stellt sich die Frage, ob bereits vorhandene Themenvermittlungen in den Klassenstufen 1-4 der Grundschule ohne die Nutzung von Fachbegriffen und Basiskonzepten auskommt. Dies begünstigt, gerade bei jüngeren Kindern, die Ausbildung von Fehlvorstellungen und Fehlkonzepten, welche im Anschluss beispielweise im NaWi-Unterricht umgelernt werden müssten. Für dieses Fach, welches als Schnittstelle zwischen den Schulstufen angesehen werden kann, muss konstatiert werden, dass sowohl die fehlende inhaltliche als auch konzeptuelle Aufarbeitung des untersuchten Themenfeldes das hohe Risiko birgt, dass sich Fehlkonzepte schülerseitig manifestieren und den anschließenden Physiklehrkräften buchstäblich ‚auf die Füße fallen‘. Die fehlende konzeptuelle und methodische Aufbereitung des Themenfeldes Energie in den Lehrplänen allgemein lässt weiterhin die Schwierigkeit und den Ressourcenaufwand von Lehrkräften bei der eigenständigen Erarbeitung von komplexen technischen Inhalten unter dem Aspekt der BNE erahnen.

Insgesamt ist zu konstatieren, dass auch kaum technisch- oder naturwissenschaftsaffine Terminologien verwendet werden. Damit ist das nach wie vor bestehende Dilemma offensichtlich, dass der Technikdidaktik und ihren konzeptuellen Ansätzen kein Zugang und Handlungsspielraum gegeben wird. Es finden sich keine Hinweise auf technikdidaktische Modelle oder praktische Anregungen zu Umsetzungsmöglichkeiten im Unterricht. Energie und Energietransformation stellen zwar Themenfelder dar, werden jedoch abstrakt skizziert. Basiskonzepte zu Energieumwandlung sind im Grundschulbereich nicht vorhanden und im Physikunterricht lediglich auf Naturwissenschaften reduziert. Diesbezügliche soziotechnische Sichtweisen fehlen in allen benannten Unterrichtsfächern. Damit verschenkt der Bildungssektor wertvolle Jahre (insbesondere der Grundschulbildung), in denen das kindliche Vorwissen und die kindliche Neugier am Phänomen praktisch aufgegriffen, erforscht und hinterfragt werden könnte. Ferner ist zu konstatieren, dass zwischen den benannten Unterrichtsfächern im Grunde keine Anschlussfähigkeit besteht und diese nacheinander bzw. nebeneinander angesiedelt sind, jedoch keine sinnstiftenden Bezüge inhaltlicher oder gar konzeptueller Art verankert sind.

Die ausgemachten Themenfelder lassen sich konzeptionell primär der naturwissenschaftlichen Sichtweise zuordnen und zielen in der Gänze eben *nicht* darauf ab, gesamtgesellschaftliche Herausforderungen der Gegenwart und Zukunft zu bewältigen, wie es im Sinne der BNE bewältigt werden muss, um das Fortbestehen des Planeten und der Menschheit zu sichern. Bei der Konzipierung von Rahmenlehrplänen mit BNE-Charakter muss ein Umdenken stattfinden, denn bei der Anbahnung, Motivation und Vermittlung von Themen der BNE geht es nicht darum, neue thematische Inhalte in ein ohnehin schon übervolles Curriculum einzufügen „[...] [sondern] *um die Neuausrichtung der Fächer*, damit sie einem sozial und global relevanteren Zweck dienen: beizutragen zu einer nachhaltigen, gerechten und friedlichen Welt mit jungen Menschen, die motiviert, darauf vorbereitet und mündig sind, bestehende und lokale sowie globale Herausforderungen zu meistern.“ (UNESCO Mahatma Gandhi Institute of Education for Peace and Sustainable Development [MGIEP] 2019: 24) (hervorgeh. C.M.K.)

#### **4 Fachdidaktische Lösungsansätze mit Blick auf Energie und Energiewende (Schwerpunkt Technikdidaktik)**

Mit Blick auf die Entwicklung eines reflektierten soziotechnischen Verständnisses unter dem Schwerpunkt Energie und Energiewende (Transformationsprozess in obenstehendem Begriffsverständnis) stellt sich die Frage, wie die in den Curricula verankerten Inhaltsbereiche und die BNE bildungswirksam werden können.

Es scheint naheliegend, dass das Problem im Bildungsbereich nur bedingt auf inhaltlicher Basis zu suchen ist. Entsprechend wird nachfolgend der Versuch unternommen, darzulegen, dass neben der inhaltlichen Unterrichtsarbeit insbesondere eine umfassende Konzeptarbeit vollzogen werden muss, die diese Inhalte in größere Systemzusammenhänge einbettet, um umfassende Verständnisweisen ausprägen zu können. Dieser Annahme folgend stellt sich die Frage, wie Unterricht als zentrales Mittel der Allgemeinbildung auf ein umfassendes Systemverständnis sowie aktuelle und künftige Schlüsselprobleme einer globalisierten Welt vorbereiten kann. Die allgemeine Technikdidaktik liefert diesbezüglich auf methodologischer Ebene geeignete Konzepte, die in systematischer Kombination geeignete Lösungsansätze darstellen können. Um der Technikbildung entsprechend der Anforderungen, die die BNE an sie

stellt, gerecht zu werden, bedarf es der prospektiven Ausbildung eines persönlichen Potenzials, dass Technik „nachhaltig, human, sozial und ökologisch akzeptabel“ (Sachs 2001: 4) fortentwickelt wird. Unterrichtskonzepte (mitunter auch als Unterrichtsmodelle bezeichnet) sind in diesem Zusammenhang als übergreifende Leitideen zu verstehen, die den Unterricht eines Faches, mehrerer Fächer oder auch fachübergreifend langfristig planen und ausgestalten helfen. Diese nehmen für sich in Anspruch, in allen Klassenstufen und an allen Schulformen zum Einsatz kommen zu können. Sie sind entsprechend abstrakt formuliert, da sie zunächst noch gewissermaßen inhaltsunabhängig, jedoch zielkonkret sind, und müssen auf der Ebene der Abstraktheit noch zwischen fachdidaktischen und allgemeindidaktischen Konzepten unterschieden werden. Der Annahme folgend, dass sich Menschen ihre Umwelt in einer aktiven Auseinandersetzung erschließen (Jank/Meyer 2002: 290), werden nachfolgend nicht alle technikdidaktischen Konzepte auf ihre Eignung hin analysiert und überprüft, was den Rahmen dieses Artikels überschreiten würde. Vielmehr werden jene Konzepte vorgestellt und reflektiert, die einen begründeten Beitrag zur Lösung obenstehender Herausforderungen leisten können. Dies sind das Konzept der Allgemeinen Technologie, das Konzept der Orientierung an Basis- und Zukunftstechnologien sowie das Konzept des Mehrperspektivischen Technikunterrichts.

#### 4.1 Konzept der Allgemeinen Technologie

Die Allgemeine Technologie ist als generalistisch-interdisziplinäre Technikforschung und Techniklehre anzusehen, welche die Wissenschaft von den allgemeinen Funktions- und Strukturprinzipien technischer Sachsysteme und ihrer soziokulturellen Entstehungs- und Verwendungszusammenhänge bildet (Ropohl 2009: 32). Auf wissenschaftlicher Ebene besteht das Ziel der Allgemeinen Technologie entsprechend darin, das Allgemeine und die Wesensmerkmale technologischer Erscheinungen herauszuarbeiten (Wolffgramm 2012: 76). Somit ist die Allgemeine Technologie als theoretische Grundlagendisziplin der Technikwissenschaften anzusehen, welche ihre Basis in der Tendenz zur Vereinheitlichung der Produktionssysteme findet (ebd.). Mit Blick auf die Gestaltung von Unterricht ist die Allgemeine Technologie ein geeigneter Ansatz, um eine systematische Betrachtung technischer Sachsysteme zu vollziehen. Betrachtet werden hier insbesondere auch Systeme des Energieumsatzes

hinsichtlich ihrer Grundfunktionen Wandeln, Transportieren und Speichern. Mit Blick auf die Herausforderungen der Energiewende ist die Allgemeine Technologie ein geeignetes Konzept, um sowohl materiale als auch formale Bildung zu vollziehen, da Merkmalseigenschaften technischer Phänomene systematisch analysiert werden können. Entsprechend macht sich die Allgemeine Technologie Methoden wie die Systemanalyse zu Nutze und dient der Entwicklung eines weitreichenden übergreifenden technischen Denkens. Nach Ropohl gehören zu den Aufgaben der Allgemeinen Technologie neben der Klärung des Technikbegriffs und der oben skizzierten Betrachtungen technischer Sachsysteme insbesondere die Theorie der technischen Entwicklung, Methodenlehre technischer Wissenserzeugung, inklusive Planung und Gestaltung, Fragen der Technikverwendung und insbesondere Fragen der Technikbewertung (Ropohl 2006: 338). Mit Blick auf die *Energiewende* können mithilfe des Konzepts der Allgemeinen Technologie entsprechende Betrachtungen zum Produktlebenszyklus, Fragen der Technikfolgeabschätzung sowie ein umfassendes soziotechnisches Systemverständnis erarbeitet werden.

## 4.2 Konzept der Orientierung an Zukunftstechnologien

Lerninhalte nach deren Eignung auszuwählen, kennzeichnet eine zentrale Herausforderung unterrichtlicher Auseinandersetzung, insbesondere vor dem Hintergrund aktueller Herausforderungen in der Lebenswirklichkeit der Schülerinnen und Schüler. Dieses Auswahlproblem setzt voraus, dass Lehrerinnen und Lehrer Inhalte als bildungsrelevant erkennen, um diese in den Unterricht einzubinden. Diesbezüglich offenbart sich die Problematik eines unscharfen BNE-Ansatzes (siehe oben), welcher für den technischen Bereich keinerlei konkrete Vorgaben vollzieht. Ferner sind bestimmte Inhalte, die sich auf die Energiewende und ein diesbezügliches Verständnis beziehen, nicht in den Curricula verankert. In diesem Zusammenhang bietet sich das Konzept der Orientierung an Basis- und Zukunftstechnologien an. Dabei erfolgt die materiale und formale Bildung unter den inhaltlichen Schwerpunkten von Technikgenese und Technikfolgeabschätzung sowie insbesondere aktuellen technisch-technologischen Herausforderungen (Meier 2013: 69). Akzeptiert werden muss jedoch, dass sich moderne Technologien gegenüber dem klassischen Industriezeitalter durch eine noch einmal deutlich gesteigerte

Komplexität der eingesetzten Wirkzusammenhänge auszeichnen, was einerseits zur Überforderung der Schülerinnen und Schüler führen kann oder andererseits zu unzulässigen Vereinfachungen im Sinne der didaktischen Reduktion. Jedoch sind diese Herausforderungen kein legitimer Grund, sich eben nicht mit aktuellen Themen, wie beispielsweise der Energiewende, auseinanderzusetzen. Vielmehr stellt sich die Frage nach einer angemessenen Auswahl geeigneter Inhalte und deren fachdidaktischer Aufbereitung, etwa hinsichtlich ihrer Strukturierung beispielsweise unter Zuhilfenahme der didaktischen Analyse nach Wolfgang Klafki. Werden Inhalte als bildungswirksam und lohnenswert erachtet, gehört es schlichtweg zur Aufgabe von Lehrkräften, diese einer angemessenen unterrichtlichen Einbettung zu unterziehen. Die Energiewende muss vor diesem Hintergrund als ein zentraler Unterrichtsinhalt erachtet werden.

### **4.3 Konzept des Mehrperspektivischen Technikunterrichts (Mehrperspektivischer Ansatz)**

Unter Beachtung der Zielstellung der BNE im Allgemeinen und der Energiewende als Bestandteil einer nachhaltigen Bildung im Speziellen wird unter Berücksichtigung der Defizite der Brandenburger Curricula deutlich, dass neben einer planvollen naturwissenschaftlichen und technischen Auseinandersetzung insbesondere die Wechselwirkungen von Technik mit den betroffenen Individuen als zentral zu erachten sind. Vor diesem Hintergrund scheint insbesondere der Mehrperspektivische Ansatz (MpA) technischer Bildung lohnenswert zu sein bzw. Leitcharakter aufzuweisen, da dieser im Sinne eines ganzheitlichen Unterrichts darauf ausgerichtet ist, neben der technisch-technologischen Sichtweise speziell auch ökologische, ökonomische, politisch-soziale und normativ-ethische Perspektiven zu eröffnen (Ott 2003: 92) und unter Beachtung dieser Vielperspektivität zugleich als Planungsraster der Inhaltsstrukturierung dienlich ist. Der MpA biete somit die Chance, ein „mehrdimensionales Verständnis von Technik“ (Schmayl 2001: 70) zu entwickeln. Dabei wird Technik als menschliches Handeln begriffen, woraus sich die gesellschaftliche Sichtweise ableiten lässt und sich eine deutlich komplexere Betrachtung aufzwingt, da Technik künstlich geschaffen ist und der Bedürfnisbefriedigung dienen soll (Schmayl 2003: 137). Sie ist demnach mehr als reine Sachtechnik und mehr als die Anwendung von naturwissenschaftlichen Prinzipien. Technik muss diesem Verständnis folgend ambivalent betrachtet werden, da Menschen Verantwortung für diese

Technik und ihren Einsatz, unter der Betrachtung des Nutzens (u. a. für Hersteller, Verbraucher, Folgebetroffener), tragen. Das Thema der Energiewende ist ebengleich ein derartig ambivalentes Thema, bei dem bei unterschiedlichen Betrachtungsweisen (technisch, ökonomisch, ethisch, ökologisch, ...) eben diese Zielkonflikte entstehen, die im Sinne der BNE zu akzentuieren sind.

Der MpA eröffnet somit die Möglichkeit, die Ambivalenz der Energiewende im Unterricht aufzugreifen und mit Schülerinnen und Schülern nicht nur über die Notwendigkeit und die Folgen der Energiewende zu diskutieren, sondern das eigene technische Handeln kritisch zu reflektieren, das den Bedarf einer Energiewende hervorruft. Technikbildung, unter dem MpA, ist demnach kein faktenvermittelnder Ansatz, sondern er leistet einen Beitrag zur „Personwerdung des Schülers“ (Schmayl 2001: 71).

Die Betrachtung der kurz benannten Ansätze macht deutlich, dass diese keinesfalls als konträre oder konkurrierende Konzepte angesehen werden sollten. Vielmehr muss mit Blick auf aktuelle Herausforderungen der Lebenswelt eingesehen werden, dass soziotechnische Herausforderungen, wie die der *Energiewende*, ein deutlich gesteigertes Maß an Komplexität aufweisen, denen im Unterricht begegnet werden muss, um den Anforderungen an eine zeitgemäße technische Allgemeinbildung innerhalb der BNE gerecht werden zu können. Dies setzt voraus, dass gewünschter Output und erforderlicher Input aufeinander abgestimmt werden und zugleich Konzepte zur Verfügung gestellt werden, bei welchen mit dem Input der Output erreicht werden kann. Dazu sind oben skizzierte Ansätze kontextabhängig zweckdienlich und miteinander kombinierbar sowie um weitere didaktische Konzepte erweiterbar.

## 5 Fazit

Wenngleich ein Lehrplan noch keine hinreichende Bedingung ist, um einen Bildungsprozess zu garantieren, so ist er doch die notwendige Voraussetzung zur inhaltlichen, konzeptuellen und insbesondere kompetenzorientierten Gestaltung von Unterricht. Lehrpläne dienen der Grundorientierungen für die zielgerichtete Planung von Unterricht auf allen Ebenen, die von der einzelnen Stunde des einzelnen Schulfaches bis zum schulinternen Curriculum reichen. Wenn dabei kompetenzorientiert gearbeitet werden soll, wobei Kompetenzen im Sinne einer

Outputorientierung mittels Inhalts- und Verhaltenskomponente ausgestaltet werden, benötigen Lehrkräfte eine entsprechende Orientierung darüber, welche Leistungsdispositionen bezogen auf welche Anforderungsklassen in welchen Klassenstufen zu erreichen sind. Dass dabei die Schule der Lebenswelt der Lernenden nicht permanent nachteilen kann, setzt voraus, dass Curricula prospektiv orientiert werden. Dies wird insbesondere bei Themen und Zielvorstellungen wie der *Energie* und *Energiewende* im Kontext der BNE deutlich, die sicherlich auf Basiskonzepten von Energie aufbauen, jedoch umfassenden soziotechnischen Auseinandersetzungen bedürfen, um bildungswirksam werden zu können. Dazu müssen Einzelfächer klar konturiert werden, etwa durch Kompetenzstrukturmodelle oder zu verwendende Unterrichtskonzepte. Ferner sind Abstimmungen zwischen Fächern sowie die Herstellung ihrer Anschlussfähigkeit unabdingbar, um langfristig angelegte Lernprozesse zu initiieren. In Bezug auf die Bildungssituation in Brandenburg sind diesbezüglich erhebliche Zweifel angebracht, ob die auffallend offen gestalteten Lehrpläne Lehrkräften eine Orientierung gestatten, sich substantiell mit aktuellen Themen der BNE auseinanderzusetzen oder gar konkrete Themen wie die *Energiewende* in den Unterricht einzubetten.

BNE muss (und kann) konkret sein. Mit Blick auf Fragen von Energie, Energietransformation und Energiewende muss im Unterricht naturwissenschaftlicher Lerninhalt dazu dienen, Orientierungen für ein mündiges, tüchtiges und verantwortliches Handeln in einer soziotechnisch geprägten Umwelt bereitzustellen und hierbei die Aspekte wissenschaftlich-technischen Fortschritts und die Fragen von Nachhaltigkeit am konkreten Beispiel zu verbinden sowie Lernende zu einem folgenreichen Umgang mit Technik zu befähigen. Das bedeutet, dass neben grundlegenden curricularen Aspekten, wie Anschlussfähigkeit zwischen Unterrichtsfächern, echter Kompetenzorientierung (im Sinne der Verbindung von domänenspezifischem Handeln und zugehörigem domänenspezifischen Wissen) sowie konzeptuellen Orientierungen für Lehrkräfte, insbesondere auch die BNE gesellschaftspolitisch zu konkretisieren ist, statt diese diffus ‚überzuordnen‘.

Noch nie waren gesellschaftlich relevante und auf die Gesundheit aller Individuen gerichtete Umweltveränderungen so klar sichtbar wie in der Gegenwart. In diesem Sinne müssen die anhaltende Diskussion und die spürbaren gesellschaftlichen Bemühungen einer Umsetzung von

BNE-Zielen nun endlich als die erforderliche Wende in der Konstruktion und Ausarbeitung von Rahmenlehrplänen begriffen werden, um eine umfassende unterrichtliche Berücksichtigung erfahren zu können.

## Bibliographie

- Aachener Stiftung Kathy Beys (2015): *Brundtland Bericht, 1987. Lexikon der Nachhaltigkeit*. [https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/brundtland\\_report\\_563.htm](https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/brundtland_report_563.htm) (25.04.2024).
- Appelt, Dieter; Siege, Hannes (2016): „Konzeptionelle Grundlagen des Orientierungsrahmens“. *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage, 2016. Ein Beitrag zum Weltaktionsprogramm „Bildung für nachhaltige Entwicklung“*, hrsg. von Jörg-Robert Schreiber/ Hannes Siege. Berlin: Cornelsen, 21-25.
- Banse, Gerhard (1996): *Risikoforschung zwischen Disziplinarität und Interdisziplinarität. Von der Illusion der Sicherheit zum Umgang mit Unsicherheiten*. Berlin: edition sigma.
- Bolay, Eberhard; Reichle, Berthold (2014): *Handbuch der waldbezogenen Umweltbildung. Waldpädagogik. Teil 2: Praxiskonzepte*. Baltmannsweiler: Schneider.
- Brock, Antje (2018): „Verankerung von Bildung für nachhaltige Entwicklung im Bildungsbereich Schule“. *Wegmarken zur Transformation. Nationales Monitoring von Bildung für nachhaltige Entwicklung in Deutschland*, hrsg. von Antje Brock/Gerhard de Haan/Nadine Eitzkorn/Mandy Singer-Brodowski. Opladen, Berlin, Toronto: Verlag Barbara Budrich, 67-118.
- Buhr, Regina (2008): „Schnittstellenbetrachtung und Handlungsoptionen für den schulischen Bereich“. *Technische Bildung für Alle. Ein vernachlässigtes Schlüsselement der Innovationspolitik*, hrsg. von Regina Buhr/Ernst A. Hartmann. Berlin: Institut für Innovation und Technik, 55-67.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2024): *Bildung für nachhaltige Entwicklung*. [https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/bildung-fuer-nachhaltige-entwicklung/bildung-fuer-nachhaltige-entwicklung\\_node.html](https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/bildung-fuer-nachhaltige-entwicklung/bildung-fuer-nachhaltige-entwicklung_node.html) (20.05.2024).
- De Haan, Gerhard (2008): „Gestaltungskompetenz als Kompetenzkonzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung“. *Kompetenzen der*

- Bildung für nachhaltige Entwicklung. Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde*, hrsg. von Inka Bormann/Gerhard de Haan. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 23-43.
- Erpenbeck, John; Heyse, Volker (2007): *Die Kompetenzbiografie. Wege der Kompetenzentwicklung*. Münster: Waxmann.
- Gesellschaft der Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (2013): Perspektivrahmen Sachunterricht (Vollständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe)*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Grundmann, Diana (2017): *Bildung für nachhaltige Entwicklung in Schulen verankern. Handlungsfelder, Strategien und Rahmenbedingungen der Schulentwicklung*. Wiesbaden: Springer.
- Hauff, Volker (2012): *Nachhaltigkeit als Voraussetzung für Gerechtigkeit, Wohlstand und Lebensqualität. Kurzfassung des Festvortrags von Dr. Volker Hauff, Bundesminister a.D., anlässlich der Eröffnung des 77. Lebrgangs der Europäischen Akademie der Arbeit am 10. Oktober 2012*. [https://www.uni-frankfurt.de/62727697/Eroeffnungsrede\\_2012\\_Dr\\_\\_Volker\\_Hauff.pdf](https://www.uni-frankfurt.de/62727697/Eroeffnungsrede_2012_Dr__Volker_Hauff.pdf) (24.05.2024).
- Holst, Jorrit; Brock, Antje (2020): *Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) in der Schule. Strukturelle Verankerung in Schulgesetzen, Lehrplänen und der Lehrerbildung. Kurzbericht zu Beginn des UNESCO BNE-Programms „ESD for 2030“*. [https://www.bne-portal.de/bne/shareddocs/downloads/files/2020\\_bne\\_dokumentenanalyse\\_schule.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bne-portal.de/bne/shareddocs/downloads/files/2020_bne_dokumentenanalyse_schule.pdf?__blob=publicationFile&v=2) (12.06.2024).
- Jank, Werner; Meyer, Hilbert (2002): *Didaktische Modelle*. Berlin: Cornelsen.
- Kropp, Ariane (2019): *Grundlagen der Nachhaltigen Entwicklung. Handlungsmöglichkeiten und Strategien zur Umsetzung*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Kyburz-Graber, Regula; Nagel, Ueli; Odermatt, Freia (2010): *Handeln statt hoffen. Materialien zur Bildung für Nachhaltige Entwicklung für die Sekundarstufe I*. Baar: Klett und Balmer.
- Meier, Bernd (2013): *Wirtschaft und Technik unterrichten lernen: Didaktik für den Fachbereich Arbeit, Wirtschaft, Technik*. München: Oldenbourg Schulbuchverlag.
- Meier, Bernd (2017): „Curriculare Implikationen des Technikbegriffs“. *Technik & Technologie. techne cum episteme et commune bonum* (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin 131), hrsg. von Lutz-Günther Fleischer/Bernd Meier. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, 93–109.

- Ministerium für Bildung, Jugend und Sport (MBS) (2015a): *Rahmenlehrplan. Teil B. Fachübergreifende Kompetenzentwicklung*. [https://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche\\_Fassung/Teil\\_B\\_2015\\_11\\_10\\_WEB.pdf](https://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche_Fassung/Teil_B_2015_11_10_WEB.pdf) (06.05.2024).
- Ministerium für Bildung, Jugend und Sport (MBS) (2015b): *Rahmenlehrplan. Teil C. Sachunterricht. Jahrgangsstufen 1-4*. [https://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche\\_Fassung/Teil\\_C\\_Sachunterricht\\_2015\\_11\\_16\\_web.pdf](https://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche_Fassung/Teil_C_Sachunterricht_2015_11_16_web.pdf) (06.05.2024).
- Ministerium für Bildung, Jugend und Sport (MBS) (2015c): *Rahmenlehrplan. Teil C. Wirtschaft-Arbeit-Technik. Jahrgangsstufen 7-10 (Berlin). Integrierte Sekundarschule. Jahrgangsstufen 5-10 (Brandenburg)*. [https://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche\\_Fassung/Teil\\_C\\_WAT\\_2015\\_11\\_10\\_WEB.pdf](https://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche_Fassung/Teil_C_WAT_2015_11_10_WEB.pdf) (15.05.2024).
- Ministerium für Bildung, Jugend und Sport (MBS) (2015d). *Rahmenlehrplan. Teil C. Naturwissenschaften. Jahrgangsstufen 5/6*. [https://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche\\_Fassung/Teil\\_C\\_Nawi\\_5-6\\_2015\\_11\\_16\\_web.pdf](https://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche_Fassung/Teil_C_Nawi_5-6_2015_11_16_web.pdf) (15.05.2024).
- Ministerium für Bildung, Jugend und Sport (MBS) (2024): *Rahmenlehrplan Online Brandenburg*. <https://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/rlp-online> (03.05.2024).
- Niethammer, Manuela; Wils, Josef-Tobias (2020): „Potenziale der chemischen Fachperspektive für das fächerübergreifende Lernen an außerschulischen Lernorten“. *Begegnungen mit der Wirklichkeit. Chancen für fächerübergreifendes Lernen an außerschulischen Lernorten*, hrsg. von Gesche Pospiech, Manuela Niethammer, Dorothee Wieser, Frank-Michael Kuhlemann. Bern: hep, 105-119.
- Ott, Bernd (2003): „Strukturmerkmale einer ganzheitlichen Techniklehre und Technikdidaktik“. *Allgemeine Technikdidaktik – Theorieansätze und Technikbezüge. Berufsbildung konkret* (Bd. 6), hrsg. von Bernhard Bonz, Bernd Ott. Baltmannsweiler: Schneider, 90-103.
- Ropohl, Günter (2006): „Allgemeine Technikwissenschaft“. *Erkennen und Gestalten – Eine Theorie der Technikwissenschaften*, hrsg. von Gerhard Banse, Armin Grunwald, Wolfgang König, Günter Ropohl. Berlin: Verlag edition sigma, 331-342.

- Ropohl, Günter (2009): *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik* (3. Aufl.). Karlsruhe: Universitätsverlag.
- Sachs, Burkhard (2001): *Technikunterricht: Bedingungen und Perspektiven*. [https://www.edugroup.at/fileadmin/DAM/eduhi/data\\_dl/Technikbegriff\\_Sachs\\_-\\_tu\\_100.pdf](https://www.edugroup.at/fileadmin/DAM/eduhi/data_dl/Technikbegriff_Sachs_-_tu_100.pdf) (06.05.2024).
- Schmayl, Winfried (2001): „Der mehrperspektivische Ansatz (MpA)“. *Technikunterricht (unter Mitarbeit von Wolf Bienhaus mit Beiträgen von Karl Heinz Gebhardt und Walter Kosack, 2. überarbeitete Auflage 1995)*, hrsg. von Winfried Schmayl, Fritz Wilkening, Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 70-75.
- Schmayl, Winfried (2003): „Ansätze allgemeinbildenden Technikunterrichts“. *Allgemeine Technikdidaktik – Theorieansätze und Technikbezüge. Berufsbildung konkret* (Bd. 6), hrsg. von Bernhard Bonz, Bernd Ott. Baltmannsweiler: Schneider, 131-147.
- Schmitt, Rudolf (2016): „Grundschule: Sachunterricht und weitere Fächer“. *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung*, hrsg. von Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK)/Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ). Bonn, 115-128. [https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2007/2007\\_06\\_00\\_Orientierungsrahmen\\_Globale\\_Entwicklung.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2007/2007_06_00_Orientierungsrahmen_Globale_Entwicklung.pdf).
- Schreiber, Jörg-Robert (2016): „Kompetenzen, Themen, Anforderungen, Unterrichtsgestaltung und Curricula“. *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung*, hrsg. von Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK)/Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ). Bonn, 84-110. [https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2007/2007\\_06\\_00\\_Orientierungsrahmen\\_Globale\\_Entwicklung.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2007/2007_06_00_Orientierungsrahmen_Globale_Entwicklung.pdf).
- UNESCO (2015): *Roadmap zur Umsetzung des Weltaktionsprogramms „Bildung für nachhaltige Entwicklung“*. Bonn.
- UNESCO/Mahatma Gandhi Institute of Education for Peace and Sustainable Development (MGIEP) (2017): „Schlüsselprinzipien für die Verankerung von BNE in naturwissenschaftlichen Schulbüchern“. *Schulbücher für nachhaltige Entwicklung. Handbuch für die Verankerung von Bildung für eine nachhaltige Entwicklung (BNE)* (Erste

- Auflage (englische Fassung) 2017. Übersetzung der englischen Ausgabe ins Deutsche im Jahr 2019), hrsg. von UNESCO/MGIEP. Bonn, 89-93.
- United Nations (1987): *Our Common Future (Brundtland Report)*. Report of the World Commission on Environment and Development. UN-Dokument A/42/427. <https://www.are.admin.ch/are/de/home/medien-und-publikationen/publikationen/nachhaltige-entwicklung/brundtland-report.html> (03.05.2024).
- Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI) (2023): *Wir gestalten Zukunft. VDI-Handlungsempfehlung. Den Standort Deutschland stärken. Technische Allgemeinbildung in Schulen*. Düsseldorf.
- Vereinte Nationen (1992): AGENDA 21. *Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung*. Rio de Janeiro, Juni 1992. [https://www.un.org/depts/german/conf/agenda21/agenda\\_21.pdf](https://www.un.org/depts/german/conf/agenda21/agenda_21.pdf) (18.05.2024).
- Vereinte Nationen (2015): *Resolution der Generalversammlung, verabschiedet am 1. September 2015. Entwurf des Ergebnisdokuments des Gipfeltreffens der Vereinten Nationen zur Verabschiedung der Post-2015-Entwicklungsagenda*. <https://www.un.org/depts/german/gv-69/band3/ar69315.pdf> (15.02.2023).
- Weinert, Franz E. (2001): „Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit“. *Leistungsmessung in Schulen*, hrsg. von Franz E. Weinert. Weinheim: Beltz, 17-32.
- Wolffgramm, Horst (2012): *Allgemeine Techniklehre. Elemente, Strukturen und Gesetzmäßigkeiten* (Neu strukturierte, ergänzte, erweiterte und aktualisierte Fassung). <https://dgtb.de/wp-content/uploads/2018/11/Wolffgramm-Allgemeine-Techniktheorie-klein.pdf> (09.01.2023).



## **Deutschland bis 2045 klimaneutral?**

**Uwe Witt**

*(Rosa-Luxemburg-Stiftung, Berlin)*

### **Abstract**

In recent years, the European Union and the German government have set the course to accelerate the decarbonization of the energy sector, industry, transport and buildings. In some areas, successes are being seen (such as the expansion of green electricity, the phase-out of coal), while in others there is a risk of dramatic failure to meet targets. The reasons for the latter are incorrect or missing instruments and the risky reliance on unsuitable technological solutions. This is particularly true for the transport and building sectors, where, for example, ‘green gases’ are conceptually used by lobby groups and relevant parts of politics as a wildcard to delay more efficient and cheaper transformation processes in order to keep fossil business models on the market longer. However, concepts that suggest that electromobility can replace today’s car fleet one-to-one, instead of driving forward a real transport transition, are also problematic in the mobility sector. New resource conflicts are looming over everything, as circular economy and sufficiency play too small a role. In addition, there are as yet unresolved and newly emerging distribution conflicts that threaten not only ecological restructuring but also democracy. The lecture will identify the successes and deficits outlined and their causes, as well as point out possible solutions and open questions.

### **Zusammenfassung**

Von Europäischer Union und Bundesregierung wurden in den letzten Jahren Weichen gestellt, um die Dekarbonisierung von Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr und Gebäuden zu beschleunigen. In einigen

Bereichen zeigen sich Erfolge (etwa Ökostromausbau, Kohleausstieg), in anderen drohen dramatische Zielverfehlungen. Ursachen für letztere sind falsche oder fehlenden Instrumentierungen sowie das riskante Setzen auf ungeeignete technologische Lösungen. Dies gilt insbesondere für den Verkehrs- und den Gebäudesektor, wo beispielsweise 'grüne Gase' von Lobbygruppen und relevanten Teilen der Politik konzeptionell als Joker dafür genutzt werden, effizientere und preiswertere Transformationsprozesse zu verzögern, um fossile Geschäftsmodelle länger im Markt zu halten. Problematisch im Mobilitätsbereich sind aber auch jene Konzepte, die suggerieren, Elektromobilität könne den heutigen Pkw-Bestand eins zu eins ersetzen, anstatt eine echte Verkehrswende voranzutreiben. Über allem schweben neue Ressourcenkonflikte, da Kreislaufwirtschaft und Suffizienz eine zu geringe Rolle spielen. Hinzu kommen bislang ungelöste und neu entstehende Verteilungskonflikte, die nicht nur den ökologischen Umbau bedrohen, sondern auch die Demokratie. Der Vortrag wird die skizzierten Erfolge bzw. Defizite und deren Ursachen benennen sowie Lösungswege und offene Fragen aufzeigen.

### **Keywords / Schlüsselwörter**

renewable energy, emissions, hydrogen, greenhouse gas  
Erneuerbare Energie, Emission, Wasserstoff, Treibhausgas

Sehr geehrte Damen und Herren, vielen Dank für Einladung.

Ich wurde gebeten, heute über die Frage zu sprechen, wie realistisch eine Klimaneutralität Deutschlands im Jahr 2045 ist. Solch eine Einschätzung ist natürlich vermessen und spekulativ, darum möchte ich hier nur einige Schlaglichter setzen aus meiner Sicht, als jemand, der im klima- und energiepolitischen Umfeld jetzt bald 30 Jahre tätig ist.

Da Sie heute Nachmittag noch spezielle Vorträge zu den Sektoren Energiewirtschaft, Wärme und Verkehr hören werden, werde ich mich an jenen Stellen mit Details beschränken.

Der Beitrag gliedert sich in folgende Punkte:

- Status der Treibhausgas-Minderungen
- Erfolge bei der Dekarbonisierung
- Bisherige Stagnation in der Industrie, die Rolle von Wasserstoff
- Defizite bei der Dekarbonisierung
- Soziale und politische Risiken für die Zukunft

## Zum Status der Treibhausgas-Minderungen

Die Bundesrepublik emittierte 2023 46 Prozent weniger THG im Vergleich zu 1990 (Abbildung 1).



Abb. 1: Entwicklung der Treibhausgasemissionen Deutschlands (statista 2024, ergänzt)

Der Expertenrat der Bundesregierung für Klimafragen schätzt jedoch in einem Sondergutachten (Expertenrat für Klimafragen 2024) mit Blick auf 2030 ein:

„Die Zielverfehlung für die Jahresemissionsgesamtmengen im Zeitraum 2021-2030 ist ... wahrscheinlicher als die Zieleinhaltung.“

und:

„Das Ziel der Treibhausgasneutralität würde weder bis zum Jahr 2045 noch bis 2050 erreicht.“

Was meint der Expertenrat mit „Jahresemissionsgesamtmengen“? Sie leiten sich aus dem Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG 2024) ab. In Abbildung 2 sehen sie beispielsweise Anlage 2 des KSG (nach der jüngsten Novelle Anlage 2a) mit den Gesamtzielen und den Sektorzielen nach Jahren bis zum Jahr 2030. Die jeweiligen zulässigen Jahresemissionsgesamtmengen für einen Sektor würden sich aus der Summe der Einzelwerte der Jahre 2021 bis 2030 einer Zeile ergeben. Für die Energiewirtschaft sind dort nur Werte für die Stützjahre 2022 und 2030 angegeben, da das

für diesen Sektor wesentliche Budget des EU-Emissionshandels europäisch organisiert und handelbar sowie jahresübergreifend nutzbar ist.

**BUNDESKLIMASCHUTZGESETZ**

**Anlage 2 (zu § 4)**  
**Zulässige Jahresemissionsmengen für die Jahre 2020 bis 2030**

(Fundstelle: BGBl. I 2021, 3907) [KSG - nichtamtliches Inhaltsverzeichnis \(gesetzze-im-internet.de\)](#)

| Jahresemissionsmenge in Millionen Tonnen CO <sub>2</sub> -Äquivalent | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Energiewirtschaft  | 280  |      | 257  |      |      |      |      |      |      |      | 108  |
| Industrie  | 186  | 182  | 177  | 172  | 165  | 157  | 149  | 140  | 132  | 125  | 118  |
| Gebäude  | 118  | 113  | 108  | 102  | 97   | 92   | 87   | 82   | 77   | 72   | 67   |
| Verkehr  | 150  | 145  | 139  | 134  | 128  | 123  | 117  | 112  | 105  | 96   | 85   |
| Landwirtschaft   | 70   | 68   | 67   | 66   | 65   | 63   | 62   | 61   | 59   | 57   | 56   |
| Abfallwirtschaft und Sonstiges                                       | 9    | 9    | 8    | 8    | 7    | 7    | 6    | 6    | 5    | 5    | 4    |

**(2023: minus 46 Prozent gegenüber 1990)**

Abb. 2: Anlage 2 des Bundesklimaschutzgesetzes in der Fassung von 2023, Fassung von 2024 (KSG 2024)

Entscheidend für das Klima und die Zielerfüllung sind auch im deutschen KSG die kumulierten Emissionsmengen der einzelnen Jahre (nicht die Erfüllung in nur einem Zieljahr, etwa 2030).

Alle Sektor-Jahresziele stehen auch nach der jüngsten und von der Umweltbewegung hart kritisierten KSG-Novelle weiter im Gesetz. Allerdings wurde die Formulierung „zulässige“ in Bezug auf die Jahresemissionsmengen der einzelnen Sektoren gestrichen – einzelne zuständige Ministerien müssen neuerdings nicht mehr bei Verfehlung ihrer Sektorziele Maßnahmepläne vorlegen, wie sie die kumulierten Defizite abbauen wollen. Nunmehr findet eine Gesamtbetrachtung aller Sektoren statt. Untererfüllung eines Sektors kann beispielsweise mit der Übererfüllung eines anderen verrechnet werden. Dadurch wird jedoch der politische Druck auf jene Ressorts deutlich vermindert, die aufgrund ihrer Zuständigkeit Zieleverfehlungen in bestimmten Sektoren wesentlich zu verantworten haben. Das trifft insbesondere auf die Ressorts Verkehr (FDP) sowie Bauen und Wohnen für den Gebäudebereich (SPD) zu. Beide verfehlten schon mehrfach die Ziele des KSG.

## Welchen Beitrag haben die verschiedenen Sektoren seit 2010 geleistet?

Aus der Grafik in Abbildung 3 ist ersichtlich, dass bislang der „Brennstoffwechsel“ in der Energiewirtschaft (von fossilen zu erneuerbaren) den größten Beitrag zum Klimaschutz leistete und am wenigsten in den Bereichen Verkehr und Gebäude passierte. Dieser Wechsel insbesondere von Kohle- auf Ökostrom im Elektrizitätsbereich hat vergleichsweise niedrige CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten und weniger Barrieren hinsichtlich technologischer Skalierung und Akzeptanz.

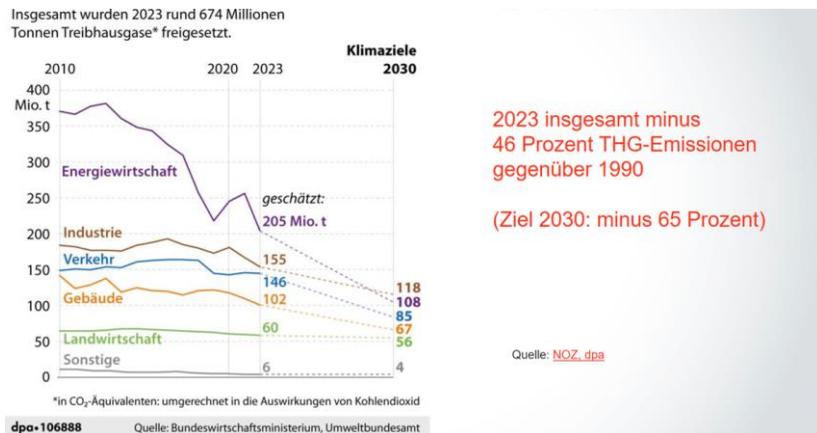


Abb. 3: Entwicklung der deutschen Treibhausgasemissionen nach Sektoren (noz 2024, ergänzt)

Die unterschiedlichen Beiträge ändern sich auch nicht mit dem Blick nach vorne. In der in Abbildung 4 gezeigten Darstellung des Umweltbundesamtes aus dem Projektionsbericht 2024 wird der Verkehr den Zielpfad bis 2030 um 180 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent verfehlen (kumuliert) und die Gebäudewirtschaft um 32 Mio. t (Wehmann/Schultz 2024).

Dieses Defizit würden lt. UBA aber Energiewirtschaft, Industrie und Landwirtschaft durch höhere Einsparungen ausgleichen. Und zwar so, dass am Ende sogar insgesamt leicht mehr Treibhausgase eingespart würden als das KSG vorgibt, und zwar 47 Mio. t zusätzlich.

### Kumulierte sektorale Jahresemissionsgesamtmengen und kumulierte Zielerreichung/Zielverfehlung der KSG-Sektoren und gesamt (2021-2030)

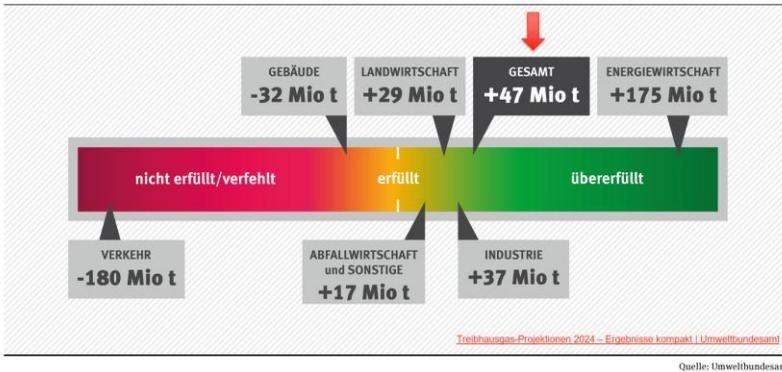


Abb. 4: Kumulierte sektorale Jahresemissionsmengen und kumulierte Zielerreichung/Zielverfehlung der KSG-Sektoren 2021-2030 (Wehnmann/Schultz 2024)

ABER: Der Expertenrat, der den UBA-Bericht überprüft hat, kommt zu den Ergebnissen, die eingangs zitiert wurden: drohende Zielverfehlungen statt Erfüllungen. Wie kommt der Expertenrat zu der abweichenden Einschätzung?

- Er kommt zu der Bewertung, dass die erwarteten Emissionen bis 2030 vom UBA in vier Sektoren unterschätzt werden, und zwar in Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr.
- Hauptgründe sind insbesondere die wahrscheinlich überschätzte Höhe der erwarteten CO<sub>2</sub>-Preise und die fehlende Plausibilität der erwarteten Minderungen, u.a. auch aufgrund fehlender Mittelausstattung zur Umsetzung der Politiken und Maßnahmen.

Als Konsequenz hätte die Koalition nicht nur die Regeln zum Vollzug des Klimaschutzgesetzes stärken müssen, statt sie wie mit der gerade in Kraft tretenden letzten Novelle aufzuweichen. Auch die Umsetzungsinstrumente hätten geschärft und die Finanzierung entsprechend aufgestockt werden müssen, am besten durch eine Abschaffung der Schuldenbremse sowie durch gezielte Abschöpfung hoher Einkommen und Vermögen. Dies scheint aber mit der FDP unmöglich zu sein.

## Wo war die Dekarbonisierung bislang eher erfolgreich?

Im Folgenden wird häufiger Bezug auf Arbeiten genommen, die im Auftrag von Agora Energiewende erstellt wurden. Es sind in der Regel ausgezeichnete Projektionen bzw. Analysen.

Vergleichsweise erfolgreich waren, wie erwähnt, die Treibhausgaseinsparungen in der Energiewirtschaft, sie sind stark gesunken, um 56 Prozent seit 1990 (Abbildung 5). Der starke Ökostrom-Ausbau hat fossile Erzeugung verdrängt, fast 52 Prozent Ökostrom waren im letzten Jahr im Netz. Die Sektoren Wärme und Verkehr haben deutlich geringere Anteile Erneuerbarer Energien (Abbildung 6).

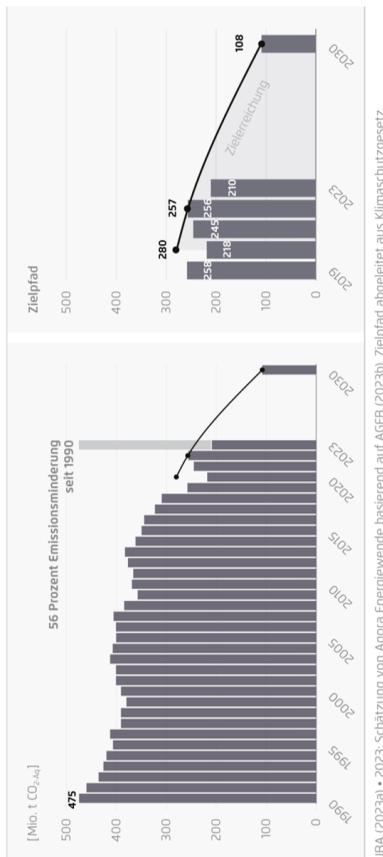


Abb. 5: Entwicklung THG-Emissionen des deutschen Energiesektors 1990 bis 2023, Ziele nach Klimaschutzgesetz für 2030 (Agora Energiewende 2024).

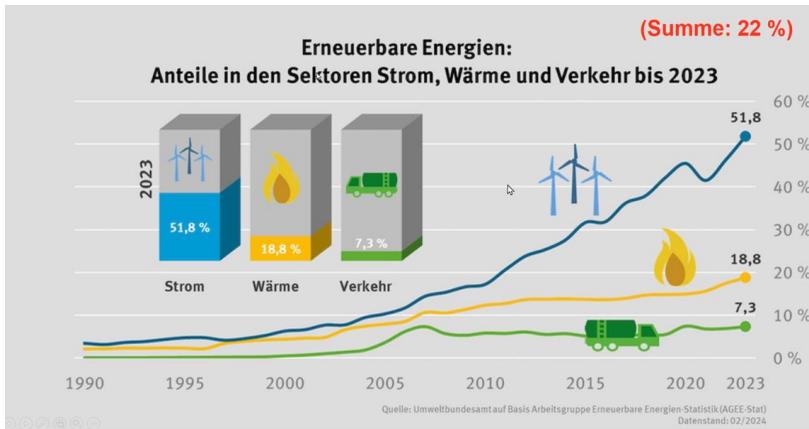


Abb. 6: Anteil Erneuerbarer Energien in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr bis 2023 (Wehnmann/Schultz 2024).

Der Stromsektor ist entscheidend für Dekarbonisierung – die Zukunft wird vor allem eine von Stromanwendungen und Nutzungen sein (E-Mobilität, Wärmepumpen, Wasserstoff-Herstellung). Die Ausbauraten sind aber herausfordernd (Flächenbedarf und Akzeptanzprobleme). Wichtig wäre deshalb auch eine bessere finanzielle Beteiligung der Standortkommunen an den Erträgen der Ökostromproduzenten (Abbildung 7).

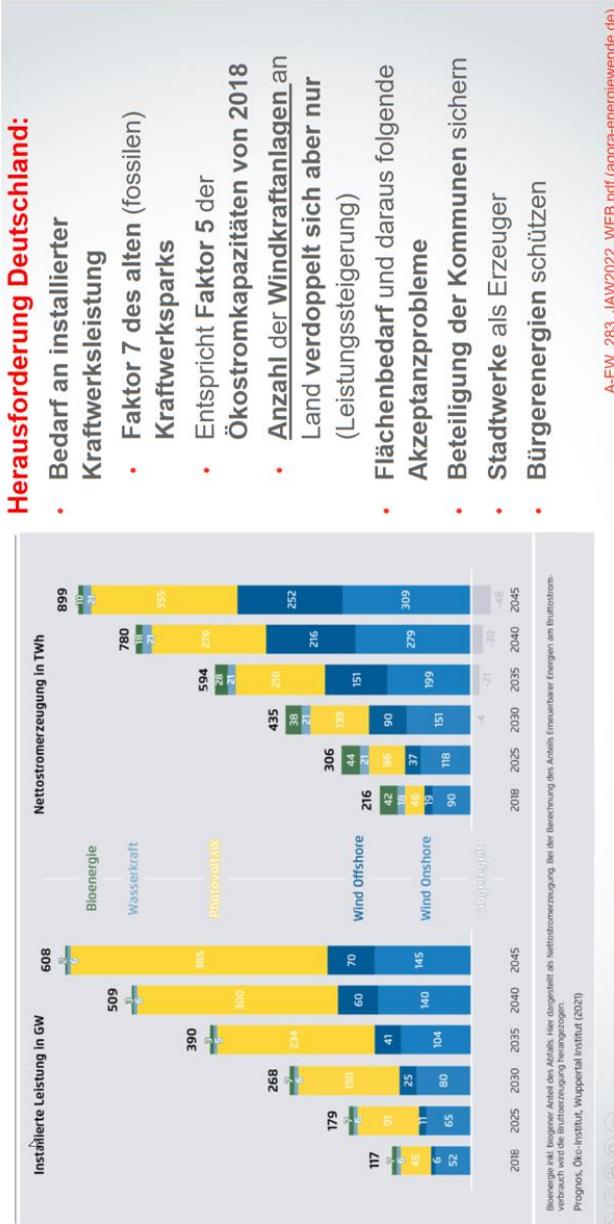


Abb. 7: Ausbaubedarf Erneuerbarer Energien bis 2045 (Agora Energiewende 2021, ergänzt)

Zur weiteren Illustration der Ausbauziele folgen Abbildung 8 und Abbildung 9 von Agora Energiewende, die den historischen und den für die Ziele der Bundesregierung bis 2035 notwendigen Zubau an Ökostromkapazitäten in Deutschland bei Photovoltaik und bei Wind an Land darstellen. Die letzten Ist-Balken für das Jahr 2023 wurde für diesen Beitrag nachträglich eingefügt.

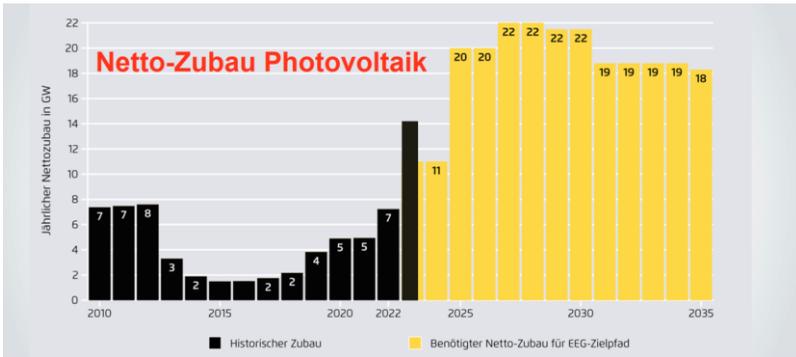


Abb. 8: Das EEG2023 weist Ausbauziele für 2024, 2026, 2028, 2030, 2035 und 2040 aus. Gezeigt wird der hierfür notwendige durchschnittliche Zubau pro Jahr bei Photovoltaik (Agora Energiewende 2023)

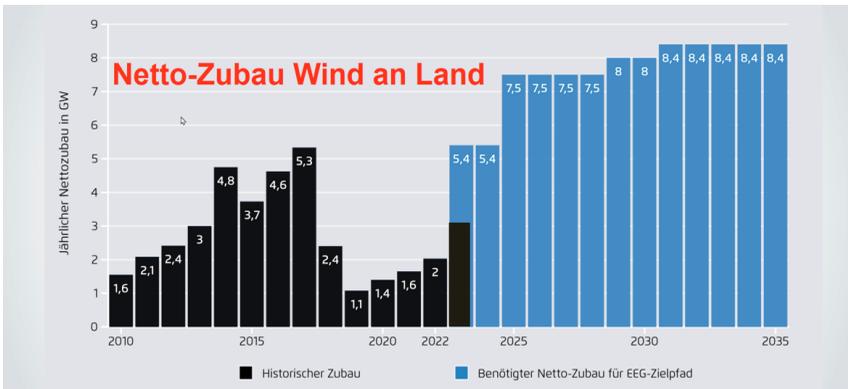


Abb. 9: Das EEG2023 weist Ausbauziele für 2024, 2026, 2028, 2030, 2035 und 2040 aus. Gezeigt wird der hierfür notwendige durchschnittliche Zubau pro Jahr bei Wind onshore, (Agora Energiewende 2023).

Auf den schleppenden Ausbau von Übertragungs- und Verteilnetzen und den notwendigen Zubau von Speichern kann hier nicht näher eingegangen werden. Er liegt aber um Jahre hinter den eigentlichen Plänen.

Ökostrom-Ausbau allein bringt noch keine Emissionsminderungen. Notwendig ist, gleichzeitig die fossile Erzeugung zurückzufahren, was jahrelang nicht passierte (Abbildung 10).

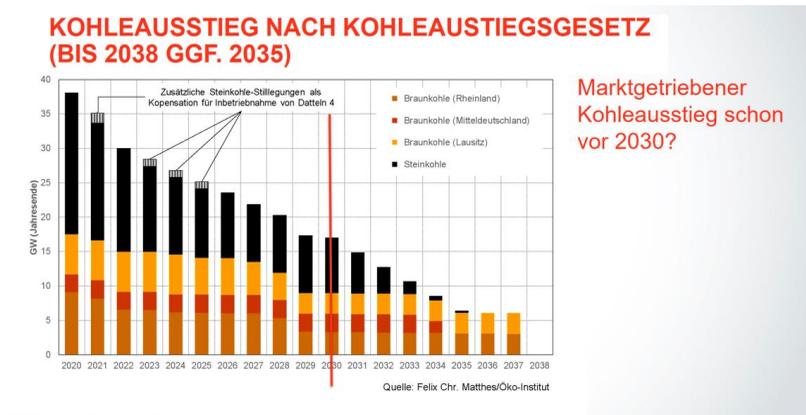


Abb. 10: Modellierter Kapazitätsabbaupfad der deutschen Kohlekraftwerke entsprechend Kohleausstiegsgesetz (Matthes 2020), 2030-Linie eingefügt.

Erst der Kohleausstieg nach dem Kohleausstiegsgesetz brachte in den letzten Jahren wesentliche THG-Einsparungen, der reformierte EU-Emissionshandel (ETS) half dabei (Abbildung 11). Mittlerweile steht die Frage, ob sich der Kohleausstieg infolge des ETS – also marktgetrieben – weitgehend schon vor 2030 vollzieht. Markt wäre hier ausnahmsweise klimapolitisch wirksamer als Ordnungsrecht. Allerdings hätte das Folgen für Kohleregionen und Beschäftigte, mit denen verantwortungsvoll umgegangen werden muss. So etwa durch eine Anpassung des Strukturstärkungsgesetzes Kohleregionen. Zudem muss die (Gas-)Kraftwerksstrategie der Bundesregierung endlich ausgearbeitet werden, um die Elektrizitätsversorgung dann auch bei Dunkelflauten zu sichern. Bislang existieren dafür nur Eckpunkte.

Warum könnte ein marktgetriebener Kohleausstieg schneller kommen als er in Deutschland gesetzlich vorgesehen ist (2038, ggf. 2035)?

Das ETS ist nach etlichen Reformen endlich wirksam, bei denen Hintertüren geschlossen und das zulässige THG-Budget angepasst wurden sowie ungenutzte Überschüsse sukzessive abgebaut werden. Ablesbar ist dies an der Entwicklung der Zertifikatspreise.

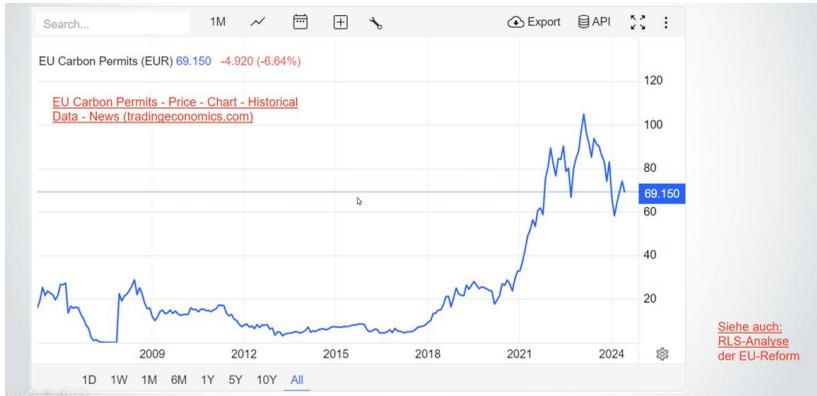
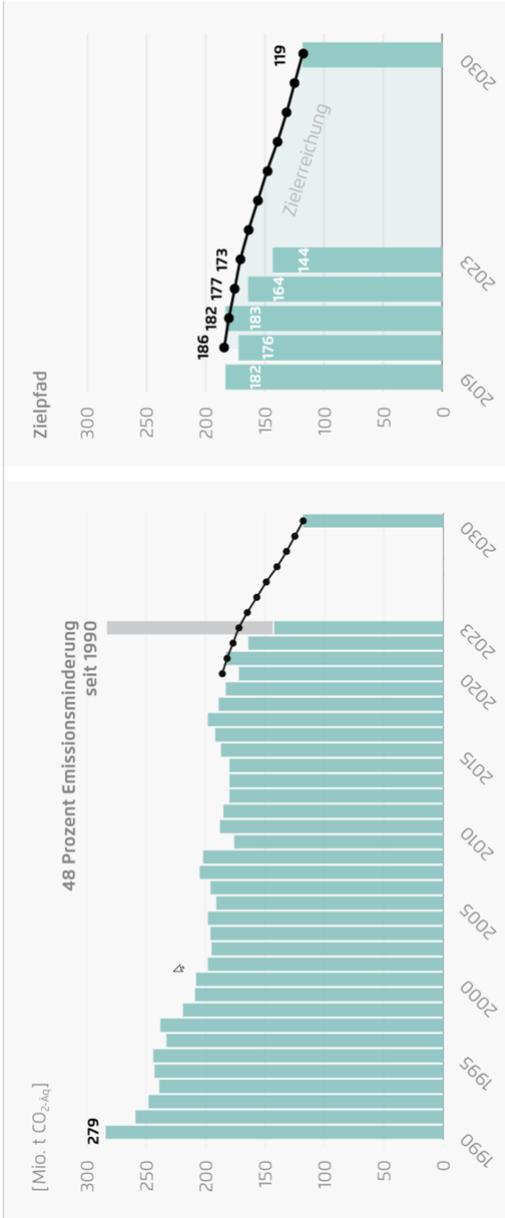


Abb. 11: Entwicklung der Preise für THG-Emissionszertifikate (European Union Allowance – EUA) im Europäischen Emissionshandel für Energiewirtschaft und Industrie (ETS-1) 2005 bis 2024 (tradingeconomics.com 2024).

Nach verschiedenen Modellierungen könnte die Kohleverstromung in Europa Ende der 20er Jahre unwirtschaftlich werden. Ob das passiert, hängt nicht nur am vorgesehenen ETS-Minderungspfad, also an der Verknappung der Zertifikate. Es wird auch beeinflusst davon, ob in der EU der Ausbau der Ökostromkapazitäten, Stromspeicher und sonstiger Ökostrom-Infrastruktur tatsächlich in dem Umfang realisiert wird, wie vorgesehen. Zudem spielt eine Rolle, inwieweit die Einkaufspreise für fossile Brennstoffe oder die Entwicklung der Stromnachfrage bis dahin stark von den Modellierungen abweichen.

### **Bisherige Stagnation in der Industrie, die Rolle von Wasserstoff**

Im industriellen Bereich wurde zwischen 2000 und 2020 fast nichts Substantielles für den Klimaschutz getan. Zwar gibt es eine deutliche Emissionsreduktion in der Industrie, diese resultierte aber aus krisen- bzw. konjunkturbedingten Produktionsrückgängen in den energieintensiven Zweigen (Abbildung 12).



UBA (2023a) • 2023: Schätzung von Agora Energiewende basierend auf AGE8 (2023a) und Destatis (2023a); Zielpfad abgeleitet aus Klimaschutzgesetz  
[Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2023 \(agora-energiewende.de\)](https://www.agora-energiewende.de)

Abb. 12: Entwicklung THG-Emissionen der deutschen Industrie 1990

Eine der zentralen Fragen für Teile der Industrie wird sein, inwieweit ab etwa 2030 grüner Wasserstoff verfügbar sein wird. Der wird aber knapp und teuer – also kein Öl der Zukunft – sein.

Die Herstellung von „grünem“ Wasserstoff über einen Elektrolyse-Prozess unter Nutzung von Ökostrom ist enorm energie- und kostenintensiv – und dies wird auf absehbare Zeit so bleiben. Wird Wasserstoff nicht in reiner Form verwendet, sondern mit Kohlenstoff in flüssige oder gasförmige Stoffe eingebaut, so benötigen diese Prozesse noch einmal zusätzlich große Mengen Energie. Ökostrom ist jedoch ein wertvolles Gut. Verfügbare Flächen und benötigte Rohstoffe dafür sind knapp und häufig konfliktbeladen – sowohl hierzulande als auch im Ausland.

In der Wissenschaft herrscht deshalb große Einigkeit darüber, dass grüner Wasserstoff und darauf basierende synthetische Kraft- und Brennstoffe (Power to Liquid, PtL) nur dort eingesetzt werden sollten, wo es absehbar nicht anders möglich ist. Priorität muss grundsätzlich die direkte Elektrifizierung und Energieeinsparung haben, also batterieelektrische Antriebe, Oberleitungen und Verkehrsverlagerungen auf die Schiene sowie Wärmepumpen und hohe Sanierungsstandards im Gebäudebereich. Das sieht im Grundsatz auch die deutsche Bundesregierung so, sie hält jedoch bislang die Möglichkeit des Einsatzes von Wasserstoff auch im Pkw-Bereich und im Gebäudesektor zumindest offen. Die FDP als Teil der Bundesregierung sowie die Oppositionsparteien CDU und BSW kämpfen sogar proaktiv für synthetische Kraftstoffe und Wasserstoff-Heizungen, um populistisch Verbrennungsmotor und Gasheizungen zu retten. Dieser verlustreiche Weg würde aber für die gleiche Dienstleistung (eine bestimmte Strecke Mobilität oder eine Einheit Wärme) um den Faktor fünf bis zehn mehr Ökostrom erfordern, als Elektroautos oder Wärmepumpen. Zudem fehlte dann Wasserstoff für jene Sektoren, die ihn wirklich benötigen. Dieser Weg wäre also ein Debakel für Industrie und Beschäftigte.

Als die Debatten um die Herstellung von grünem Wasserstoff vor einigen Jahren begannen, zeichnete sich schnell ab, dass dieser knapp und teurer sein wird. In Deutschland sprechen die kritischen Teile von Wissenschaft und Politik deshalb auch vom „Champagner der Energiewende“. Obgleich die Schätzungen über die Höhe des künftigen deutschen Wasserstoffbedarfs noch sehr auseinandergehen, gibt es eine Konstante: Langfristig müssten 70 bis 80 Prozent davon importiert werden,

weil innerhalb Deutschlands die Flächen für Ökostromanlagen zur Herstellung grünen Wasserstoffs genauso begrenzt sind wie deren Ausbeute.

Zwar gäbe es mit so genanntem blauem Wasserstoff auch eine Alternative ohne Ökostrom. Hierbei würde Wasserstoff wie heute üblich durch Dampfreformierung von Erdgas gewonnen, indem bei Temperaturen von bis zu 1000 °C in Wasserstoff und CO<sub>2</sub> getrennt werden. Das anfallende CO<sub>2</sub> würde anschließend jedoch nicht wie bislang in die Atmosphäre geblasen, sondern unter dem Meeresboden verpresst werden (Carbon Capture and Storage – CCS). Die Technologie ist in Deutschland aber höchstumstritten. Ob sie einen relevanten Anteil an einer emissionsarmen Wasserstoffproduktion haben wird, ist fraglich.

Die Bundesrepublik hat mit potentiellen Lieferländern, die günstigere klimatische Bedingungen zur Herstellung grünen Wasserstoffs aufweisen, Wasserstoffabkommen unterzeichnet. Auf der Liste stehen momentan Ägypten, Australien, Chile, Indien, Kanada, Namibia, Saudi-Arabien, die Vereinigten Arabischen Emirate und Algerien. Allerdings stehen die Vorhaben bislang nur auf dem Papier oder sind winzig. Überdies stellen sich insbesondere bei Importen aus dem Globalen Süden Fragen nach wirksamen sozialökologischen Leitplanken. In Bezug auf Länder Westafrikas und Marokko hat Arepo Consult dazu im Auftrag der Rosa-Luxemburg-Stiftung eine Studie erarbeitet und Vorschläge unterbreitet (Morgen/Schmidt/Steppe/Wörlen 2022). So liegt der Status der Projekte zur Wasserstoffbereitstellung aktuell weit hinter den Planungen zurück (Abbildung 13).

Sowohl für die Elektrolyseleistung in Deutschland wie in den Partnerländern gilt zudem: Gebaut wurde bislang fast nichts, selbst endgültige Investitionsentscheidungen (Final Investment Decision – FID) wurden bislang kaum gefällt. Die Internationale Energieagentur (IEA) veröffentlichte im April ihren „Northwest European Hydrogen Monitor 2024“ (IEA 2024). Er soll zeigen, wie weit Wasserstoff-Projekte in dieser Region (NWE) bisher vorangekommen sind. Untersucht wurden Vorhaben von grünem und blauem Wasserstoff. Die Region NWE umfasst zehn Länder, darunter Deutschland, Benelux, Frankreich, Norwegen und Großbritannien. Auch hier ein ähnlicher Befund: Nach einer Analyse dieses Berichts vom Energieanalysten Steffen Buckhold könnten die bisher relativ sicher absehbaren Mengen an grünem Wasserstoff (Anlagen gebaut oder FID, ohne Importe) im Jahr 2030 in NWE nur etwa fünf Pro-

zent der bisherigen fossilen Wasserstoffproduktion ersetzen. Für den zusätzlichen Bedarf an grünem Wasserstoff, etwa aus der Stahlindustrie, der Grundstoffindustrie oder des Luft- und Seeverkehrs, gäbe es da noch nicht ein einziges Kilogramm. Insgesamt werden die 27 EU-Mitgliedstaaten und Großbritannien bis 2050 mindestens 700 Terawattstunden (TWh) an gasförmigem Wasserstoff benötigen, so eine Analyse des deutschen Forschungsprojekts „TransHyDe“.

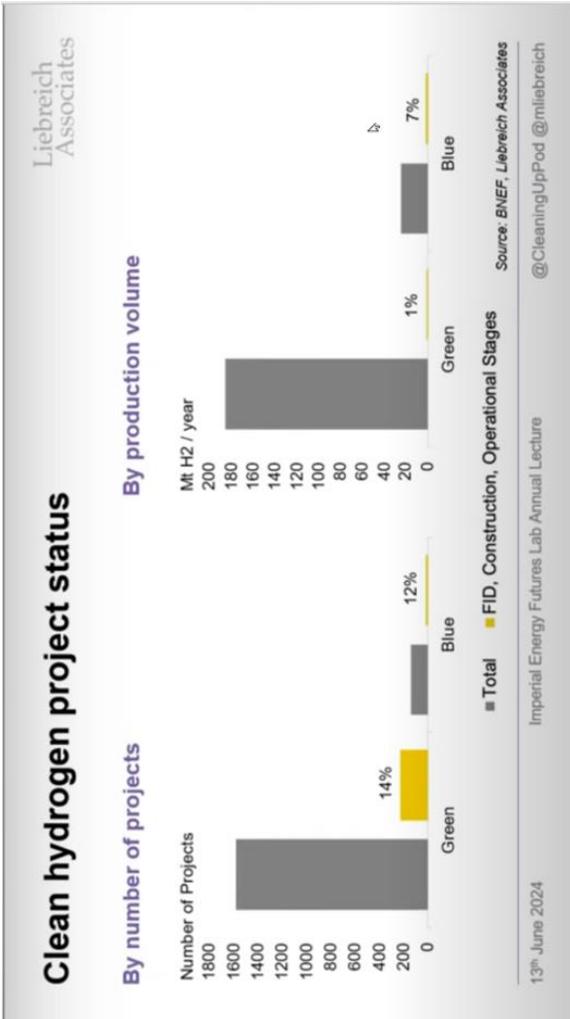


Abb. 13: Clean hydrogen project status, global (Liebreich 2024). <https://www.youtube.com/live/wOO9cuF8zKE>

Weltweit nicht anders: Nur etwa 4 Prozent der bis 2030 angekündigten 38 Millionen Tonnen emissionsarmer Wasserstoff im Jahr 2030 sind gegenwärtig im Bau oder mit FID untersetzt. Zum Vergleich: Im Jahr 2019 wurden weltweit 69 Millionen Tonnen grauer Wasserstoff hergestellt und verbraucht, fast ausschließlich (klimaschädlich mit CO<sub>2</sub>-Emissionen) aus Erdgas. Bis zum Jahr 2030 könnten global nach gegenwärtigem Projektstand also gerade einmal zwei Prozent des jetzigen fossilen Wasserstoffbedarfs klimafreundlich ersetzt werden.

Die Effizienz des Einsatzes von Wasserstoff ist darum eine Grundvoraussetzung. Sinnvolle und notwendige Einsatzfelder für Wasserstoff wären aus dieser Sicht die folgenden fünf:

1. Wo deutlich effizientere direkte oder batteriegestützte Strombereitstellung nicht oder nur unter enormen Aufwand möglich wäre (Flug- und Seeverkehr).
2. Um Treibhausgase zu vermeiden, die in der Industrie nicht energiebedingt entstehen, sondern aufgrund von stofflichen Prozessen (Stahlproduktion).
3. Zur thermischen Verwendung bei der Ablösung von Erdgas in Hochtemperaturprozessen.
4. Für aus Wasserstoff und Kohlenstoff erzeugte Kohlenwasserstoffverbindungen in der chemischen Industrie, um Erdgas und Erdöl als Grundstoff zu ersetzen.
5. Als Langzeit-Speichermedium zur Rückverstromung in Dunkelflauten.

### **Die größten Defizite bei der Dekarbonisierung**

Der Verkehrssektor verfehlt sein Emissionsminderungsziel wiederholt, die Emissionen liegen nur unbedeutend niedriger als 1990, wie der Balken für 2023 zeigt (Abbildung 14).

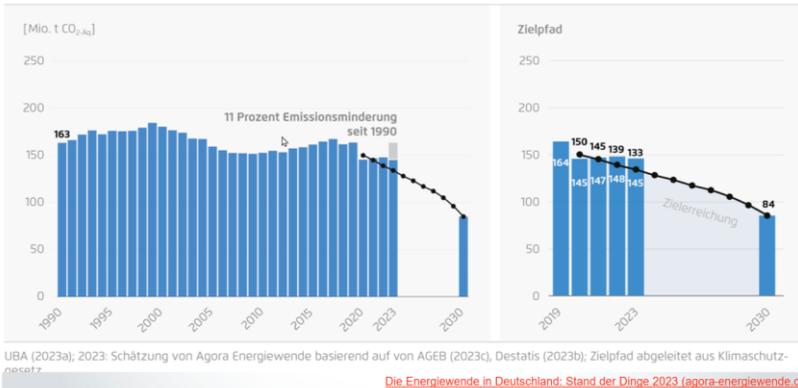


Abb. 14: Entwicklung THG-Emissionen des deutschen Verkehrssektors 1990 bis 2023, Ziele nach Klimaschutzgesetz für 2030 (Agora Energiewende 2024).

Die Hauptdefizite sollen hier nur angedeutet werden:

- Historisch verschleppter Ausbau des ÖPNV, Abbau bei der Bahn
- Kaum mobilitätsgerechte Städte im Sinne von Mensch und Umwelt
- Lediglich Antriebswende statt Verkehrswende – Pkw bleibt Leit-schnur
- Neuwagen werden immer größer
- Das EU-Verbrenner-Aus 2035 könnte angesichts drohender konservativer Mehrheiten nach den EU-Wahlen gekippt werden.

Auch im Gebäudesektor sind zu geringe Emissionsminderungen zu verzeichnen, hier gab es ebenfalls eine mehrfache Zielverfehlung. Insgesamt wurde das Treibhausgasemissionsziel um 8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq verfehlt (Abbildung 15).

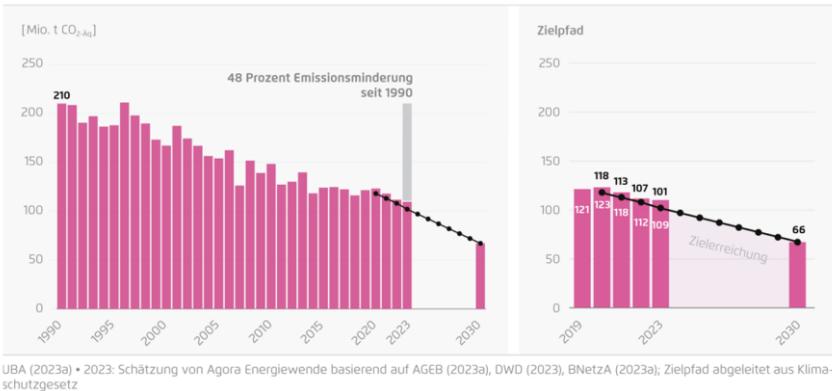


Abb. 15: Entwicklung THG-Emissionen der deutschen Gebäudesektors 1990 bis 2023, Ziele nach Klimaschutzgesetz für 2030 (Agora Energiewende 2024).

Ursache der stockende Wärmewende und der verlorenen Jahre sind:

1. Zu wenig und zu wenig gerechte energetische Sanierung im Bestand  
Energetische Sanierungen waren bislang wichtiger Treiber für Verdrängung, dennoch blieb die Sanierungsrate unter 1 Prozent statt auf notwendige 2 bis 3 Prozent zu steigen. Ziel muss es sein, Warmmietenneutralität herzustellen. Dafür muss unter anderem die Modernisierungumlage abgeschafft oder reformiert werden, etwa nach dem Drittel-Modell von Mieterbund und BUND. Hierzu sind auch die Fördermittel, insbesondere für den Mietwohnungsbestand, zu erhöhen und auf Gebäuden mit Haushalten zu konzentrieren, die von niedrigen Einkommen leben. Zudem muss dem Fachkräftemangel abgeholfen werden.
2. Heizungstausch floppt nach misslungener GEG-Novelle  
Das Heizungsgesetz hatte zunächst keine soziale Komponente bzw. die Fördermodalitäten wurden Monate nach Verabschiedung der Novelle beschlossen.

Der fachliche Link zur kommunalen Wärmeplanung und entsprechend notwendigen Übergangsfristen war im ersten Entwurf zu schwach.

Grundsätzlich hatte die Novelle aber eine richtige Zielrichtung, war jedoch einer üblen Kampagne der Gaswirtschaft und konservativer Medien ausgesetzt.

Überdies wurde der Entwurf letztlich zu Gunsten Wasserstoff und Biogas und zu Lasten der hocheffizienten Wärmepumpe aufgeweicht (Kostenfalle für die Zukunft!). Der Absatz von Wärmepumpen brach danach ein.

Wärmepumpen gehören zweifellos die Zukunft, sie machen Umweltwärme verfügbar und sind darum 5- bis 10-mal effizienter als Wasserstoff-Heizungen.

### 3. Wärmenetze

Die Kommunale Wärmeplanung muss nach dem neuen Wärmeplanungsgesetz bis 2026 in Großstädten und bis 2028 in Kommunen unter 100.000 Einwohner abgeschlossen werden. In Skandinavien gibt es solche Planungen bereits seit etlichen Jahren; in Deutschland wurde viel Zeit verschenkt. Absehbar sind bereits jetzt Konflikte um Planungen mit ungedeckten Checks (zu viel Wasserstoff und Biomasse in ersten Planungen, kaum Großwärmepumpen).

## Soziale und politische Risiken für die Zukunft

Ein absehbar soziales Risiko besteht in steigenden CO<sub>2</sub>-Preisen für Wärme und Mobilität (entsprechend Brennstoffemissionshandelsgesetz – BEHG), die insbesondere bei Überführung in das 2027 startende zweite EU-Emissionshandelssystem für Wärme und Mobilität (ETS-2) sprunghaft ansteigen könnten, gleichwohl sie aufgrund hoher CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten in diesen Sektoren kaum Lenkungswirkung entfalten werden. Verschärft wird das Problem dadurch, dass in Deutschland ein Klimageld zur Kompensation bislang nicht vorgesehen ist.

Auch in anderen Bereichen sind gezielte Kompensationen und Fördermittel notwendig an Stelle ihrer Ausreichung – wie bislang – nach dem Gießkannen-Prinzip. Das gilt beispielsweise für den Bereich energetischer Sanierungen, siehe oben, da die Umlage der Kosten energetischer Sanierungen häufig höhere Belastungen mit sich bringen als Heizkosten eingespart werden. Das daraus (und aus dem Missbrauch energetischer Sanierungen) resultierende Verdrängungspotential für Mieterinnen und Mieter ist sozialpolitischer Sprengstoff.

In diesem Lichte verschärft das bekannte Urteil des Bundesverfassungsgerichtes zum Klimatransformationsfonds in Verbindung mit der Weigerung der Regierungskoalition, die Schuldenbremse zu lockern oder höhere Einkommen und Vermögen höher zu besteuern, soziale Risiken.

Dies alles geschieht in einem Rahmen erschöpfender Multikrisen – nach Corona-Pandemie, nach den Kriegen in der Ukraine und im Nahen Osten sowie nach verstärktem Rechtsruck. Das Interesse am Klimaschutz ist parallel leider tendenziell gesunken – trotz immer sichtbarer Auswirkungen der globalen Erwärmung. Daraus resultiert die Frage: Kommt es zur Rücknahme von Klimaschutzvorgaben? Dem muss unbedingt entgegengewirkt werden, auch und gerade durch eine sozial gerechte Klimapolitik sowie ein starkes Engagement für friedliche Lösungen der globalen Konflikte.

## Fazit

Ein abschließendes Fazit lässt sich wie folgt in fünf Punkten ziehen:

1. Stromwende: Erfolge, aber auch enorme Herausforderungen.
2. Industrieumbau: Kommt der grüne Wasserstoff?
3. Wärmewende: Sozialer Sprengstoff ohne Neujustierung.
4. Mobilitätswende: Droht zu scheitern.
5. Finanzierung: Völlig offen nach dem Karlsruhe-Urteil und dem Klammern von FDP und Union an der Schuldenbremse.
6. Soziale Gerechtigkeit / Akzeptanz: Endlich ernsthaft in den Fokus rücken!

## Bibliographie

- Agora Energiewende (2021): *Der Photovoltaik- und Windflächenrechner. Ein Beitrag zur Diskussion um die Ausweisung von Flächen für Windenergieanlagen an Land.* [https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020\\_10\\_DE\\_RE-GIS/A-EW\\_235\\_PV-Windflaechenrechner\\_WEB.pdf](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_10_DE_RE-GIS/A-EW_235_PV-Windflaechenrechner_WEB.pdf).
- Agora Energiewende (2023): *Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2022. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2023.* [https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-10\\_DE\\_JAW2022/A-EW\\_283\\_JAW2022\\_WEB.pdf](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-10_DE_JAW2022/A-EW_283_JAW2022_WEB.pdf).
- Agora Energiewende (2024): *Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2023. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2024.* [https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-35\\_DE\\_JAW23/A-EW\\_317\\_JAW23\\_WEB.pdf](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-35_DE_JAW23/A-EW_317_JAW23_WEB.pdf).

- Expertenrat für Klimafragen (2024): *Gutachten zur Prüfung der Treibhausgas-Projektionsdaten 2024. Sondergutachten gemäß § 12 Abs. 4 Bundes-Klimaschutzgesetz*. <https://www.expertenrat-klima.de>.
- IEA (2024): *Northwest European Hydrogen Monitor 2024*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/b8ba8ad3-f135-4002-9e21-b8cbd213fb36/NorthwestEuropeanHydrogenMonitor2024.pdf>.
- KSG (2024): *Bundes-Klimaschutzgesetz*. <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/BJNR251310019.html>.
- Liebreich, Michael (2024): *Annual Lecture 2024 – Global Energy Transition Trends and Hydrogen*. Youtube-Video vom 13.06.2024. <https://www.youtube.com/live/w0Q9cuF8zKg>.
- Matthes, Felix Chr. (2020): *Post X: Kohleausstieg*. Öko-Institut. <https://x.com/felixmatthes/status/1222854403998339072>.
- Morgen, Sven; Schmidt, Max; Steppe, Jan; Wörlen, Christine (2022): *Fair Green Hydrogen: Chance or Chimera in Morocco, Niger and Senegal?* Arepo GmbH, Berlin [https://arepoconsult.com/wp-content/uploads/2022/04/Studie\\_Fair\\_Hydrogen.pdf](https://arepoconsult.com/wp-content/uploads/2022/04/Studie_Fair_Hydrogen.pdf).
- noz (2024): *Kampf gegen Klimawandel: Robert Habeck macht Hoffnung: Klimaziel für 2030 ist noch erreichbar*. <https://www.noz.de/deutschland-welt/politik/artikel/robert-habeck-ueberzeugt-klimaziel-fuer-2030-ist-noch-erreichbar-46651197>.
- Statista (2024): *Entwicklung der Treibhausgasemissionen Deutschlands*. <https://de.statista.com/infografik/2111/ausstoss-in-deutschland-in-millionen-tonnen-co2-aequivalente/>
- tradingeconomics.com (2024): *EU Carbon Permits*. <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon> (abgerufen 20.06.2024).
- TransHyDE (2024): *European Hydrogen Infrastructure Planning. Insights from the TransHyDE Project System Analysis*. [https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/lw\\_re-source/datapool/systemfiles/elements/files/9f75fc23-4d8d-11ef-9952-a0369fe1b6c9/live/document/20240321\\_European\\_Hydrogen\\_Infrastructure\\_Planning\\_DE\\_ExSum.pdf](https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/lw_re-source/datapool/systemfiles/elements/files/9f75fc23-4d8d-11ef-9952-a0369fe1b6c9/live/document/20240321_European_Hydrogen_Infrastructure_Planning_DE_ExSum.pdf).
- Wehnmann, Kai / Schultz, Karlotta (2024): *Treibhausgas-Projektionen 2024 – Ergebnisse kompakt*. Umweltbundesamt, Dessau [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/thg-projektionen\\_2024\\_ergebnisse\\_kompakt.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/thg-projektionen_2024_ergebnisse_kompakt.pdf).

## **Transformation und Energiewende – eine ambivalente Beziehung**

### **Anmerkungen aus soziologischer Sicht**

***Michael Thomas***  
(*Berlin, MLSt*)

#### **Abstract**

Sociology gives information about preconditions and consequences of the “Energiewende”. Such information is important. With a sociological perspective of transformation, the status of the “Energiewende” becomes more ambivalent. This relates to ambivalences. The paper shows the close connection between transformation and “Energiewende” as well as the ambivalences of these processes for the last decades in East Germany. Current challenges of climate change, ecological crisis e.g. again brings together transformation and “Energiewende”, with new questions. Thereafter new ambivalences and blockades arise, otherwise to see are alternatives. Such alternatives will be found with processes of regionalization. The paper outlines these processes by two examples.

#### **Zusammenfassung**

Die Soziologie liefert Informationen über Voraussetzungen und Folgen der Energiewende. Diese sind wichtig. Mit einer soziologischen Transformationsperspektive erhält die Energiewende einen ambivalenten Stellenwert. Damit ist zugleich eine Ambivalenz verbunden. Herausgearbeitet werden sowohl die enge Beziehung wie die im Umsetzungsprozess der Energiewende auftretenden Ambivalenzen. Aufgezeigt wird dies für die letzten Jahrzehnte in Ostdeutschland. Die aktuellen Herausforderungen von Klimawandel, ökologischer Krise etc. bringen Transformation

und Energiewende wieder enger zusammen, mit neuen Fragen. In der Folge treten neue Ambivalenzen und Blockaden auf, zeigen sich aber zugleich Alternativen. Diese finden sich insbesondere mit Regionalisierungsprozessen, denen anhand von zwei Beispielen nachgegangen wird.

### **Keywords / Schlüsselwörter**

concepts of the “Energiewende”, transformation, regionalization, ambivalences and blockades

Konzepte der Energiewende, Transformation, Regionalisierung, Ambivalenzen und Blockaden

## **1 Thematische Annäherung – Einstieg mit Umwegen**

Aus einer soziologischen Transformationsperspektive erhält die Energiewende einen ambitionierten Stellenwert. Die Perspektive ist anschlussfähig an Auffassungen einer „Energiewende 2.0“ (Banse/Fleischer 2014) und setzt eigene Akzente. Darauf zielt die nun folgende Einsteuerung.

Jüngst zeigte eine Studie (Berliner Zeitung, 11./12.5.2024: 8), dass beim Kauf von Elektroautos Ostdeutschland mit einem Anteil von 1,55 Prozent deutlich hinter Westdeutschland mit 3,10 Prozent liegt. Als eine Erklärung nennt der Autor die unterschiedlichen Einkommensniveaus.

Zu erkennen ist eine klassisch soziologische Fragestellung bzw. „Zuständigkeit“ der Soziologie für diese – die Frage sozialer Ungleichheit. Diese Frage findet sich in aktuellen Untersuchungen zu Energiearmut, Ungleichverteilung von Lasten, sie ist verbunden mit Maßnahmen bzw. Problemen wie Heizungsgesetz oder Netzentgelten, Gaspreisen. Hier ist diese Frage die nach dem Einfluss von Einkommensunterschieden auf das Kaufverhalten.

Das ist festzuhalten, relevante Untersuchungen werden berücksichtigt. So kommen Voraussetzungen und Folgen der Energiewende in den Blick. Dennoch bleibt mit den Daten *etwas* offen. Die viel beschworene „nachholende Modernisierung“ im Osten seit Ende 1989 war auch eine „nachholende *Motorisierung*“. Ostdeutschland wurde über Nacht Auto-land – egal ob Benziner oder Diesel, Hauptsache Westauto. Es gab kaum einen anderen Bereich, wo so deutlich der Osten im Westen angekommen war, wo sich Gewinne der Einheit und gefühlte Gleichwertigkeit einstellten.

Zugleich zeigt sich so, dass die Annäherung des Ostens an den Westen zum Teil auf Pfaden („Verbrenner“) erfolgte, die bereits damals kritisch waren. Mehr als dreißig Jahre später, sind diese frühen „Angleichungsrenditen“ noch immer (vor allem im ländlichen Raum) präsent im existierenden Fahrzeug- und Maschinenpark. Mobilitätsanforderungen wie das Auto als Statussymbol haben sich in Gewohnheiten und Verhaltensweisen festgesetzt – als *mentale Infrastruktur*. Diese wird nun attackiert mit politisch begründeten, allerdings häufig widersprüchlichen, Eingriffen angesichts von Klimawandel und erforderlicher Energiewende. Eingriffen wird in eines der wenigen Felder, wo Ostdeutsche sich nicht verstecken müssen. Es drohen neue Frakturen (Mau 2019), und alte werden wieder aufgerufen. Denn diese wurden zumindest kompensiert durch *das richtige Auto*.

Solche soziokulturellen „Pfadabhängigkeiten“ oder mentale Infrastrukturen beeinflussen Einstellungen und Verhalten. Insofern hat die Soziologie den jeweiligen (historisch gewordenen) Kontext einzubeziehen. Erst so lassen sich praktikable Antworten suchen. Häufig gehen standardisierte Befragungen schlicht an der lebensweltlichen Realität vorbei und stützen so Vorurteile.<sup>1</sup>

Ein weiterer Umweg: Den massiven Verwerfungen am Arbeitsmarkt in Ostdeutschland wurde mit tradierten Mitteln von Arbeitsbeschaffungsmaßnahmen (ABM), Beschäftigungsgesellschaften etc. begegnet. Deren Scheitern war programmiert. Im Ergebnis kam es vielfach zu dem, was soziologisch als „sekundäre Integration“ bezeichnet wird, integriert in Ersatz- oder simulierter Arbeit.

Im Rahmen eines Langzeitprojektes der AbWF<sup>2</sup> hatte ich einige Zeit die Leitung des Fachbeirates „Lernen im sozialen Umfeld“. Es ging darum, die gesellschaftliche und persönlichkeitsförderliche Relevanz von Tätigkeiten außerhalb beruflicher bzw. von Erwerbs-Arbeit aufzuzeigen. Warum nicht andere Tätigkeiten, wenn der betriebliche Arbeitsplatz verloren ist? Es gibt eine Fülle von gesellschaftlich relevanten Tätigkeiten, die nicht weniger wert sind als Erwerbsarbeit. Mit ihnen können sich

---

<sup>1</sup> Für ein gelungenes Beispiel differenzierter Befragung siehe Eversberg et al. (2024).

<sup>2</sup> Die Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung e.V. (AbWF) hatte das Projekt Qualifizierung-Entwicklung-Management seit 1992 getragen. Das komplexe Projekt wurde 2006 beendet. Ergebnisse im Schwerpunkt „Lernen im sozialen Umfeld“ hatte ich in einer Studie zusammengefasst. Die Materialien sind in den Förderinstitutionen (Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung) archiviert.

Lernförderlichkeit, Ermächtigung und Teilhabe verbinden. „Dritter Sektor“, „Soziale Unternehmen“, „Vereine“, entsprechend konzipierte ABM-Projekte ließen sich als Tätigkeitsfelder nachweisen.

Zunehmend gerieten kommunal oder bürgerschaftlich betriebene Projekte erneuerbarer Energien in den Blick. Auch hier ließen sich vielfältige Tätigkeiten und zukunftsfähige Entwicklungsmöglichkeiten aufzeigen. Das war angesichts blockierter Akteurs- und Handlungspotenziale im Osten eine soziale Öffnung und Aktivierung oder *Transformationsfähigkeit*.

Tragfähige Anwendungsbeispiele wurden ausgearbeitet – deren Institutionalisierung bzw. Finanzierung erschien jedoch als unmöglich. Es gab keine Bereitschaft, im Westen tradierte Modelle zu verlassen. Erst mit Hartz IV lag plötzlich ein Katalog von nahezu 150 Tätigkeiten vor, die sich als Ein-Euro-Jobs definieren ließen. Viele davon gehörten in das Raster von uns gesuchter emanzipatorischer Tätigkeiten.<sup>3</sup> Sie wurden jetzt endgültig abgebrochen, Emanzipation (Befähigung und Ermöglichung von Eigenaktivität) wurde durch Prinzipien neoliberaler Funktionalisierung und Disziplinierung ersetzt. Die Leute sollten sich in die Ein-Euro-Jobs fügen, ob diese nun zu ihrer Qualifikation, Erfahrung oder zu ihren Erwartungen gehörten, oder nicht. Nachfolgende arbeitsmarktpolitische Orientierungen verschärften diese Diskrepanz. Beispiele ließen sich anführen,<sup>4</sup> Grenzen dieses Weges zeigen sich bis in aktuelle Debatten (Bürgergeld).

Das angeführte Beispiel verbindet den Übergang zu erneuerbaren Energien (Bürgerenergie) mit praktischen Tätigkeitsformen und Tätigkeitsfeldern, die für viele Ostdeutsche neue Chancen bedeuteten. Aufzeigen ließ sich eine starke *Ermöglichungsstruktur* für den Umbau der ostdeutschen Gesellschaft, die Bürgerenergie als Grundlage für sozial innovative wie eigensinnige Aktivitäten. Darin liegt ein direkter Zugang zur soziologischen Transformationsproblematik bzw. zum soziologischen Transformationsbegriff. Diese sind knapp zu erläutern.

---

<sup>3</sup> Auf den spezifisch sozialphilosophischen Stellenwert des Tätigkeitskonzeptes kann hier nicht eingegangen werden; vor einiger Zeiten haben Seidl und Zahrt (2019) speziell auf dieses Konzept für einen möglichen Ausstieg aus fossiler Massenproduktion verwiesen.

<sup>4</sup> Über zehn Jahre habe ich arbeitsmarktpolitische Projekte in drei Landkreisen koordiniert. Allein diesen wäre viel zu entnehmen (was an anderer Stelle geschieht).

Sinnvollerweise ist das Transformationsproblem mit dem epochalen Bruch um die 1970er Jahre, dem ersichtlichen „Ende“ des fossilen kapitalistischen Industriemodells zu bestimmen.<sup>5</sup> Die erforderliche Änderung der gesellschaftlichen Entwicklungslogik zeigt sich in so einzigartiger Radikalität und Komplexität, dass sie in tradierter Begrifflichkeit (Wandel; Revolution; Reform ...) schwer zu fassen schien – *Transformation*. Eine zukunftsfähige gesellschaftliche Entwicklungslogik kann weder vom Markt allein noch von einem zentralen steuernden Staat bewältigt werden. Erforderlich ist *eine andere Art gesellschaftlicher, sozialer Organisation*, die eine entsprechende Handlungsorientierung und -dynamik ermöglicht. Die Rede ist von Sozial- oder Lebensformen, die in kooperativer Gemeinschaftlichkeit gründen (nicht dem individualistisch-egoistischen Kalkül) und so experimentelle, kreative Suchprozesse oder auch soziale Innovation hervorbringen können. Die Änderung muss *aus der Gesellschaft* kommen. Insofern geht es um ein soziologisches Konzept von Transformation (wie im Anwendungsfeld „Lernkultur“ angeklungen). Das Konzept ist hinreichend ausgearbeitet, mit praktischen Beispielen untersetzt und evolutionsbiologisch belegt.

Angesichts eines dominierenden neoliberalen Menschenbildes, einer tief in Wissenschaft wie Politik verankerten individualistischen Anthropologie, ist es unmittelbar politisch bedeutsam, es erfolgt keine Isolierung sozialer Aktivitäten oder Prozesse (gegenüber institutionellen); es geht um die „Anerkennung des Eigenanteils gesellschaftlichen Handelns an Konstitution und Reproduktion bindender Strukturen“ (Waldenfels 2022: 130). In einem Mehr-Ebenen-Konzept kommt das Soziale gehaltvoll auf die Agenda.

Die Energiewende ist Moment einer gesellschaftlichen Transformation. Sie ist Teil eines umfassenden Wandels im Entwicklungsmodell, und sie ist eine dafür erforderliche praktische Ermöglichungsstruktur<sup>6</sup>. Angesichts der Brüche im Osten, mangelnder wirtschaftlicher und sozialer Alternativen, musste sie hier zum Transformationsfeld *par excellence* werden. Damit waren Erfolge, Erwartungen, Enttäuschungen und bis heute Konsequenzen verbunden.

---

<sup>5</sup> Zu der Problematik liegen eine Reihe von Ausarbeitungen vor. Zusammenfassend bin ich darauf z.B. eingegangen in Thomas 2023. Insofern wird auf weitere Nachweise verzichtet.

<sup>6</sup> In anderen Theoriesprachen hieße das ähnlich „Praxis“ (Bourdieu), „sozialer Mechanismus“ (Merton) oder „Lebensform“ (R. Jaeggi).

## 2 Bürgerenergie im Osten – zwischen Transformation und Resignation

Im Sinn einer Review erfolgt ein Rückgriff auf die Energiekonferenz der Sozietät 2012. Mein Fazit der damaligen Bestandsaufnahme lautete, dass es gute Gründe geben würde, „die angeführten Leitbegriffe und Leitkonzepte nicht zu verabschieden“. (Thomas 2014: 270) Begriffe wie „lokal“, „dezentral“, „bürgerschaftlich“, oder „Partizipation“, „Demokratie“, „Regionalentwicklung“. Sie gelten in der Tat noch immer; der Weg der Energiewende, den sie charakterisieren, gewinnt an Relevanz.

Die erwähnte Konferenz liegt mehr als ein Jahrzehnt zurück; wir leben in einer erheblichen gesellschaftlichen Zäsur. Von „Unübersichtlichkeit“ zu sprechen, wäre eine arge Untertreibung; relevante Zeitdiagnosen liefern andere Beschreibungen, benennen komplexe Krisenprozesse, selbsterstörerische Entwicklungsdynamiken, technologische Zersetzungen unserer *condicio humanitas*.<sup>7</sup> Auf vorliegende Erfahrungen oder gar Gewissheiten ist nicht einfach zurückzugreifen: *Alles* steht auf dem Prüfstand. Das gilt für die angestrebte Energiewende, das gilt für die gesellschaftliche Transformation. Die Zäsur trifft vor allem dafür erforderliche Voraussetzungen, die sich deutlich verschlechtert haben. Review oder Rückbetrachtung müssen so zugleich entsprechende Akzentsetzungen aus der Zeitdiagnose finden. Der im Beitrag 2012 noch mitschwingende *vague Optimismus* hinsichtlich der (bürgerschaftlichen) Energiewende hat sich erledigt.<sup>8</sup> Eine erneute Bestandsaufnahme ist erforderlich. Optimismus könnte sich als trügerisch oder als Denkverweigerung erweisen; Hoffnung muss man sich erst wieder im radikalen Durchgang durch die Krise erarbeiten (Pelluchon 2023: 9).

Thesenhaft sollen zwei Fragen aufgegriffen werden:

1. Welche Ansätze, Projekte charakterisieren den Verlauf der bürgerschaftlichen Energiewende in der Transformationsgeschichte Ostdeutschlands?
2. Was lässt sich aus diesen Prozessen, vor allem den Blockaden über den Fall und dessen Sonderbedingungen hinaus für heute lernen?

---

<sup>7</sup> Die Auseinandersetzung mit Zeitdiagnosen ist gegenwärtig Thema im Arbeitskreis „Gesellschaftsanalyse“ der Sozietät. Ergebnisse sollen in nächster Zeit zur Diskussion gestellt werden.

<sup>8</sup> Das kann so insbesondere für Ostdeutschland gelten. Darauf hatte sich der Beitrag vor allem bezogen.

Mit der ersten Frage geht es darum, Ostdeutschland als Transformationsfall in das Licht zu rücken. Dabei hat die (bürgerschaftliche) Energiewende ihre besondere Bedeutung. Die zweite greift in die Gegenwart.

## 2.1 Erinnerung und Systematisierung einer Vorgeschichte

In einer Filmsequenz<sup>9</sup> der gemeinsamen Autofahrt zweier Bürgermeister in den späten 1990er Jahren sagt angesichts eines in Sicht kommenden Windrades der eine: „Wenn sich das Rad dreht, dann ist die Welt für mich in Ordnung“. Denn dieses Windrad vor dem damaligen Ort Zschadras gehört dem Ort und „zahlt“ das Geld für die Heizung von Kindergarten und Sporthalle sowie einen Schulbus. Über kreative Umwege konnte sich der offiziell finanziell handlungsunfähige Ort so *eigene Entwicklungsmöglichkeiten* erschließen.

Und der andere Bürgermeister, der von Bollewick aus Mecklenburg-Vorpommern, vertieft im anschließenden Kneipengespräch die Relevanz einer solchen kommunalen Energiewende: Das Geld soll vor Ort bleiben, denn „der ländliche Raum will nicht alimentiert werden“. Beispiele für Projekte und Initiativen ließen sich anführen, viele davon finden sich in der angegebenen Literatur (Links/Volke 2009); es gibt eine große Anzahl von Studien und Erfahrungsberichten, prozessbegleitende Erhebungen durch staatliche und genossenschaftliche Institutionen wie Stiftungen.

In Ostdeutschland war es in den 1990er Jahren zu einem erheblichen Ausbau der erneuerbaren Energien gekommen. Einige ostdeutsche Länder konnten deutschlandweit Spitzenplätze erreichen. Das betraf auch Arbeitsplätze und Investitionen. Brandenburg war einige Jahre der Vorreiter für Windenergie, Thüringen für Solarenergie. Die Erneuerbaren wurden zu einer ostdeutschen Erfolgsgeschichte, zu möglichen Zukunftsbranchen – Ostdeutschland auf dem Weg zu einer „aktiven Energiegesellschaft“ (Thomas 2014).<sup>10</sup>

---

<sup>9</sup> Die Filmsequenz findet sich in einem Filmprojekt, welches gemeinsam mit dem Dokumentarfilmern Daniel Kunle und Holger Lauinger (Sein-im-Schein) umgesetzt wurde: Zukunft Elbe-Elster ([www.zukunft-ee.de](http://www.zukunft-ee.de)).

<sup>10</sup> Diesen Pfad und dessen (immer mehr blockierte) Umsetzung haben wir zwischen 2009 und 2015 untersucht, begleitet und jährlich in Thesen dokumentiert und präsentiert (Leitbild „Ostdeutschland 2020“).

Dieser Ausbau der Erneuerbaren war allerdings nicht unproblematisch. Der Großteil der Wertschöpfung floss in den Westen ab, besonders erfolgreiche Regionen und Kommunen hatten besonders hohe Energiekosten.

Auch das erklärt die Relevanz einer lokalen und regional betriebenen Energiewende, die sich insbesondere mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2000 verstärkte: Energiegenossenschaften, Energiedörfer, Bürgerstiftungen, KMU, Stadt- und Gemeindewerke, Energietische, Vernetzungsbewegungen etc. Ein markantes Beispiel, für das auch der Bürgermeister von Bollewick stand, war ein in Mecklenburg-Vorpommern anvisierter „Garten der Metropolen“ – über 500 Energiedörfer sollten über die Eigenversorgung hinaus die Metropolen Berlin, Hamburg und Szczecin mit Energie versorgen. Die Rede war berechtigt von einer „(Bio-)Energiedorfbewegung“ (Land 2018 sowie Abschlussbericht und weitere unter [www.rla-texte.de](http://www.rla-texte.de)).

Neben dem gewichtigen Beitrag zur Energiewende mit lokaler Stromerzeugung und partiell Wärmegewinnung zeigten sich Möglichkeiten konkreter demokratischer Beteiligung, aktiver Partizipation und regionaler Entwicklung. Ein Weg von passiver Anpassung zu emanzipatorischer Selbsttransformation und eigensinniger Umgestaltung. Eine „nachhaltige“ In-Wert-Setzung genau der Potenziale (kleine Unternehmen, kommunale Projekte ...), die das Profil ostdeutscher Regionen ausmachten. Der Auf- und Ausbau entsprechender angepasster Unterstützungsstrukturen wurde begonnen: Regionale Entwicklungsagenturen, Coachingprojekte, Finanzierungsinstrumente (Thomas 2014; Leitbild 2009ff.) Das klingt emphatisch, hat aber seinen sachlichen Kern.

Ähnlich kann das auch für die Formulierung zum Scheitern dieser Art der Energiewende gelten. Für dieses Scheitern lässt sich in Anlehnung an ein Konzept in der soziologischen Biografieforchung von einer „tragischen Verlaufskurve“ sprechen. Eine besondere Tragik liegt darin, dass aus einer emanzipatorischen Bewegung starker bürgerschaftlicher Projekte eine regressive Bewegung der Ablehnung, ja der drohenden Zerstörung lokaler, kommunaler Demokratie wurde. Das Ausbremsen der kommunalen, der bürgerschaftlichen Energiewende hat Angst und aktive Gegnerschaft erzeugt. Windräder, Solarfelder wurden nunmehr wahrgenommen (und inszeniert) als fremd und bedrohlich, als „Migranten“ aus dem technologischen Bereich. Das nach wie vor hohe Niveau der Erzeugung Erneuerbarer im Osten gilt (um an einen Spruch der

Bergleute zu erinnern) als „Teufelswerk“.<sup>11</sup> Nicht nur symbolisch steht Windkraft gegen Vernunftkraft.<sup>12</sup>

Es sind also auch hier nicht nur nackte Zahlen, mit denen sich eine Relevanz sozialer Faktoren für die Energiewende zeigt – es ist eine einschneidende Veränderung politischer und kultureller Kontextbedingungen. Wenn nunmehr der Osten immer wieder als Blockierer erforderlicher Zukunftsinnovationen an den Pranger gestellt wird, dann liegen Gründe für in der Tat destruktive Trends und aufzuzeigende Blockaden auch in diesem Scheitern, in verbauter Teilhabe und Partizipation. Warum ist es zu dieser Verlaufskurve bzw. zu diesem Scheitern gekommen?

## 2.2 Ursachen einer problematischen Verlaufskurve

Das von Anfang an in Ostdeutschland herrschende Ungleichgewicht zwischen dem Ausbau der Erneuerbaren und abfließender Wertschöpfung wie steigenden Kosten in Erzeugerregionen wurde mit den geringen und sich reduzierenden Beteiligungsmöglichkeiten der Bürger, der Kommunen und auch der Unternehmen *vor Ort* auf die Spitze getrieben. Die Erneuerbaren wurden mehr und mehr zu lästigen Fremdkörpern, nicht aber zur Einkommenschance oder zu eigenen Gestaltungsprojekten.

Eine vom Markt getriebene Energiewende führte zu ökonomischen und sozialen Spaltungen (Flächenbesitzer vs. Einwohner; reiche Kommunen vs. solche unter Haushaltssicherung; Gemeinden vs. Ortsteile). Der Einbruch war insbesondere mit den Novellierungen des EEG 2007 und den folgenden verbunden. Denn diese Novellierungen nahmen die zentralen Förderkomponenten – eine garantierte Einspeisevergütung wie den Einspeisevorrang für so erzeugten Ökostrom – zurück und verschlechterten zudem Beteiligungsmöglichkeiten. „Plötzlich“ wurden auch kleine Energieprojekte zum Anlagefeld „der Großen“ bzw. von Großinvestoren.<sup>13</sup> Zudem hatte die institutionalisierte Politik kein In-

---

<sup>11</sup> „Gott hat die Kohle erschaffen. Der Teufel hat sie in der Erde versteckt. Wir Bergleute holen sie wieder heraus.“ Der Spruch ist in der Region (mit kleinen Variationen) Allgemeingut.

<sup>12</sup> 2013 hatte sich die „Bundesinitiative Vernunftkraft e.V.“ gegründet, die sich als Dachverband der Windkraftgegner sieht. Windkraft wird von ihr als „Zufallsstrom“ bezeichnet, die weitere Nutzung von Kohle- und Atomkraftwerken als „unerlässlich“. Dazu und zu weiteren Institutionen und deren Agieren vgl. Reusswig/Küpper 2022.

<sup>13</sup> Die „ungewollten Nebenfolgen“ der Novellierung des EEG von 2017, ausführlich thematisiert in der EK 6/1, für den Fall Mecklenburg-Vorpommern auch Land (2018).

strumentarium für die spezifischen lokalen, regionalen Potenziale, für erforderliche Rahmenbedingungen auf kommunaler, auf lokaler Ebene, etwa für Finanzierung, für Steuerung. Während die Landespolitik ausdrücklich die Zuständigkeit besitzt für viele Fragen der Energiewende,<sup>14</sup> ist es erstaunlich, dass gerade in den ostdeutschen Bundesländern mit Bezug auf kleine, dezentrale Projekte weniger agiert wurde als in westdeutschen wie etwa Bayern oder Baden-Württemberg (hinsichtlich Gründungsunterstützung, Beratung und Begleitung für Energiegenossenschaften, Genossenschaften des Gemeinwesens, kommunale Energieprojekte etc.).<sup>15</sup>

In ostdeutschen Regionen gab es weniger (organisiertes) bürgerschaftliches, zivilgesellschaftliches Engagement und Potenzial. Die Überzeichnung solcher Defizite aber verhinderte den Aufbau angepasster Unterstützungsstrukturen bzw. von Projekten, die Etablierung einer eigenständigen regionalen Handlungs- und Steuerungsebene blieb begrenzt (vgl. dazu die Beiträge in Reißig/Thomas 2005). Da sich aber zivilgesellschaftliche Kompetenz und zivilgesellschaftliches Potenzial nachweisen ließen (beispielsweise mit der bürgerschaftlichen Energiewende), wäre angesichts *ansonsten* fehlender Alternativen eine besondere Aufmerksamkeit wichtig und schlagen institutionelle Blindheit, Bevormundung gravierend zu Buche. Immer wieder kam es zu Kollisionen zwischen experimentell-kreativen Lern- und Suchprozessen wie formalisierten, generalisierten Regeln und Kriterien, ob nun hervorgerufen durch Haushaltssicherung oder EU-Regulieren. Treffend heißt es in einer Studie, „dass in ländlichen Räumen Innovationen stattfinden, die mit gängigen Indikatoren nicht darstellbar sind.“ (Wolff/Martens 2020: 26) Wie aber löst man sich von „gängigen Indikatoren“?<sup>16</sup> Darin liegt die

---

<sup>14</sup> Auf das komplizierte Mehr-Ebenen-Problem zur Steuerung der Energiewende in Deutschland (und im europäischen Kontext) gehen u.a. Knodt/Kemmerzell (2022) ein. Beispielsweise habe man mit dem föderalen System „nicht eine, sondern 16 Energiewenden umzusetzen“ (ebd.: 26).

<sup>15</sup> Darauf sind die erwähnten Studien näher eingegangen, insbesondere die von 2012. Eine Enquetekommission des Landtages, deren Mitglied ich war, hat zwischen 2015 und 2019 auch zu diesen Problemen gearbeitet, Erfahrungen zusammengestellt und Vorschläge gemacht. Hervorzuheben sind etwa solche zur Stärkung der Dörfer, der Regionalplanung oder auch zur ausgebauten finanziellen Beteiligung von Kommunen an Windkraftanlagen. (EK 6/1 2019).

<sup>16</sup> Etwas simplifiziert und in Anlehnung an das eingangs angeführte Beispiel: Man misst die Anzahl der Windkraftgegner in Relation zu den Aktivisten der bürgerschaftlichen Energiewende.

Herausforderung transformativer Wissenschaft, das ist Voraussetzung transformatorischer Politik. Bisher sind beides weitgehend nur Etiketten.

Zwei Beispiele: Ein von verschiedenen Ministerien aufgelegtes Projekt „Zukunftsstadt“, konnten wir für eine Brandenburger Stadt erfolgreich akquirieren und als einzige Stadt im Land auch über zwei Auswahlrunden umsetzen. Mit der Arbeit an einem „Reallabor“ ließen sich aktive bürgerschaftliche Prozesse voranbringen, auch solche zu energieeffizienten Lösungen. In der dritten Phase zeigten sich die Grenzen eines Wettbewerbs, der für experimentelles Design warb, aber nach harten Kriterien (oder eben „gängigen Indikatoren“) *abrechenbar* Sieger kreieren sollte. Offen experimentelles Agieren, wie es Transformation oder soziale Innovation tatsächlich auszeichnen muss, ist „nicht abrechenbar“ (vgl. zu dem Fall auch Thomas 2019).

Eine Projektausschreibung zum Zauberwort „soziale Innovationen“ wollten wir in einem vom Land unterstützten Rückkehrer-Netzwerk nutzen, um die mit unseren Erfahrungen naheliegende Frage zu bearbeiten, ob und wie zuwandernde Unternehmer wie potenzielle Beschäftigte Unternehmens- und Arbeitswelt verändern könnten. Im Vorgespräch mit der Förderstelle ergab sich: Nicht förderfähig, zu kompliziert. Es gehe allein darum, Arbeitskräfte anzuwerben. Warum musste man das aber „soziale Innovation“ nennen? Nicht zufällig wurde diese Bezeichnung rasch zu einem inflationären Label für diverse Beratungsunternehmen.

Es geht mit dem Angeführten nicht nur darum, Politikversagen zu skandalisieren. Die Dinge liegen vielfach komplizierter, die „Schnittstellen“ (Bürgerschaft – Verwaltung – Politik) auf und zwischen den unterschiedlichen Ebenen erweisen sich als hohe „Hürden“ oder „dicke Bretter“ (EK 6/1; Leitbild 2020). Letztlich geht es um Gestaltungsoptionen und diesbezügliches politisches Handeln. An einem aktuellen Beispiel – dem Strukturwandel in der Lausitz – lässt sich ein zweifaches Paradoxon ausmachen. Das erste besteht darin, dass trotz eines drastischen Einbruchs des Kohleabbaus nach 1990 die Phase ab Mitte der 1990er *nicht* zu einer Abkehr von der monostrukturellen Ausrichtung der regionalen Wirtschaft auf die fossile Industrie genutzt werden konnte. Einige Projekte zur Nachnutzung von Bergbauflächen für Erneuerbare Energien oder ökologische Produktion gab es und sie wurden zum Teil gestartet (Reißig/Thomas 2005). Deren Umsetzungen blieben begrenzt. Insofern war auch das keine Öffnung; das Gegenteil war der Fall: die Region *wurde*

Vattenfall. Mehr als 50 % regionaler Unternehmen waren schließlich direkt Teil der von diesem Unternehmen geleiteten Wertschöpfungskette „Kohle“, gebunden über Rahmenverträge, mit geschützten Geschäftsbeziehungen. Das betraf auch andere Bereiche (das regionale Wissenschaftssystem) oder Projekte wie die Internationale Bauausstellung (IBA Fürst-Pückler-Land).

Nahezu zwangsläufig musste daraus (zweites Paradox) eine Ausrichtung des vorangetriebenen Strukturwandels an einem *industriellen Innovationssystem* mit entsprechenden lokalen Kernen folgen. Andere regionale Entwicklungen – von KMU über Handwerk bis zu Daseinsvorsorge – konnten kaum ausreichende Aufmerksamkeit erreichen. Vor mehr als 20 Jahren hatte die Lausitz ihre „Zukunftsorte“ gesucht – kommunale Energieprojekte –; gefunden hat sie die bis heute nicht.

Der Strukturwandel in der Lausitz ist ein noch laufendes Vorhaben. Insofern geht es nicht um abschließende Einschätzungen. Im Vergleich zu den anderen Kohlerevieren ist eine regionale Verantwortungsübernahme<sup>17</sup> durchaus institutionalisiert („nur“ dominieren bisher Präferenzen aus dem alten regionalen Innovationssystem). Es entwickelt sich zivilgesellschaftliche Verantwortung (Bürgerregion); abzuwarten bleibt, wie sich die neu angesiedelten und aufgebauten wissenschaftlichen Institutionen „einbringen“.

Für Ostdeutschland konnten bisher die Möglichkeiten einer kommunalen, bürgerschaftlichen und so Regionalentwicklung stimulierenden Energiewende nur in geringem Umfang genutzt werden. Emanzipation, Kreativität, Selbstermächtigung sind Mangelware. Die zentral oder „von oben“ weiterhin in beachtlichen Schritten betriebene Energiewende – insgesamt sind die ostdeutschen Länder nicht schlechter als die westdeutschen (DIW 2019) – findet kaum ihre Rückkopplung zu Perspektiven wirtschaftlicher und sozialer Entwicklung vor Ort.

Der Schub an dezentralen Energieprojekten seit Ende der 1990er brachte zwar für Ostdeutschland im deutschlandweiten Vergleich nur einen Anteil von etwa zehn Prozent an Energiedörfern, Energiegenossenschaften, Bürgerstiftungen usw. Deren Kapitalisierung liegt deutlich

---

<sup>17</sup> Kritisch gehen auf die für den Strukturwandel geschaffenen Gremien auch Knodt/Kemmerzell (2022: 29) ein. „Diese postkorporatistischen Institutionen repräsentieren zwar eine größere Vielfalt an Interessen, werden allerdings eher ad hoc aus handverlesenen Mitgliedern gebildet.“ Die Unparteilichkeit ihrer Expertise bleibt umstritten.

unter der durchschnittlichen im Westen. Angesichts der prekären Situation im Osten ist das aber nicht wenig; und trotz der skizzierten Einbrüche haben sich eigeninitiativ, kooperativ organisierte Projekte und Initiativen behauptet. Das Tal des Abschwungs nach 2007 verharrte bei etwa einem Drittel der Vorhaben; in ländlich-peripheren Regionen blieben durchaus noch relevante Potenziale. Seit einigen Jahren gibt es wieder einen „Aufwuchs“ an Vorhaben (dazu später). Damit zur zweiten Frage.

### **3 Bürgerenergie – neue alte Herausforderungen**

Auf die zugespitzte zeitliche Konstellation wurde schon verwiesen. Längerfristig geprägt wird diese durch das nicht „bearbeitete“, nicht „gelöste“ Transformationsproblem. Ein selbstzerstörerischer Finanzmarkt hat sich ausgebreitet. Drastisch verdeutlichen das Daten und Trends zu Klima, Biodiversität, überschrittenen planetarischen Grenzen, verbrauchten Erden etc. Klimaziele sind kaum noch zu halten, sechs von neun der planetarischen Grenzen sind längst überschritten. Die Energienutzung der USA „frisst“ jährlich fünf Erden. In Deutschland wären das drei. In der Tat bräuchte es eine Art „kopernikanischer Wende“ – unsere Erde ist der zu rettende Ort und so Orientierungspunkt erforderlichen Handelns. Gegenüber der wohl längst trivialen Einsicht in solche Handlungserfordernisse ist die Handlungsverweigerung erschreckend und nimmt uns die Würde (Metzinger 2023)

Die Regierungskoalition aus SPD, GRÜNEN und FDP nannte sich auch Transformationsregierung, ihr Koalitionsprogramm hatte eine solche Zielstellung. Zu sehen ist davon wenig, Projektansätze (Heizungswende) mussten zurückgestellt werden, Ideologie und Politik einer Zeitenwende wie die eherne Schuldenbremse sind nur die sichtbaren Poller.

Für die Energiewende im engeren Sinn, vor allem Strom aus Erneuerbaren, sieht es etwas besser aus. Das trifft auch für die bürgerschaftliche, lokale oder dezentrale Energiewende zu. Ausbauzahlen der Erneuerbaren zeigen kontinuierlich nach oben (mit aktuell fast 52 % an der Stromerzeugung), EU und auch Bundesregierung haben die Ziele für 2030 höher gesetzt. Die Koalition hat mit den Änderungen des EEG 2023 einiges getan, um dezentrale, kommunale und bürgerschaftliche Projekte voranzubringen. So wurden finanzielle Beteiligungsmöglichkeiten der Kommunen ausgeweitet (z.B. durch das Windanlagenabgabege-

setz). Formuliert sind tragfähige Kriterien für Bürgerenergiegesellschaften. Beteiligungsmöglichkeiten sind mit dem Solarpaket vom Mai des Jahres verbessert (Balkonkraftwerke). Weniger produktiv ist die bisher nicht geregelte Einführung von Konzepten bzw. Maßnahmen eines Energiesharing, das von der EU seit 2018 von den Mitgliedsländern gefordert ist. Dies würde, wie Erfahrungen in Ländern (Spanien, Portugal) zeigen, eine breitere Einbeziehung von Mietern in die Energiewende bewirken (Prosumer-Modell), Potenziale in Deutschland sind beachtlich. Fundierte Schätzungen kommen auf 90 % der Haushalte (Aretz 2023).

In Deutschland gibt es um die 900 Energiegenossenschaften mit mehr als 220.000 Mitgliedern. Die Investitionen belaufen sich auf 3,6 Mrd. EUR. Nach einem Einbruch des Wachstums um 2014 gibt es seit einigen Jahren wieder einen leichten Anstieg (2022 mit 36 Neugründungen, 2023 mit 88). Allerdings trübt sich die Stimmungslage gegenwärtig ein. Die positive Stimmung vom Start der Koalition ist deutlich abgeflaut, viele der beschlossenen Maßnahmen gehen an den Besonderheiten von Energiegenossenschaften vorbei. Die Planung von neuen Projekten ist 2024 von 74 % im Jahr 2023 auf 62 % gefallen (Jahresumfrage 2024).

### 3.1 Zwei Wege – zwei Energiesysteme

Dennoch haben sich Handlungsräume nicht nur in Ostdeutschland weiter verengt. Vielfach aufgrund „klassisch“ sozialer Folgen, die sich sozialstrukturell und milieuspezifisch in höheren Werten für Zustimmung (einkommensstärkere Mittelschicht, gebildete urbane Milieus) oder Ablehnung (einkommensschwächere untere Schichten, ländliche Milieus) der Energiewende niederschlagen. Gewicht bzw. Unwucht der sozialen Problematik haben politische Relevanz. Die Herausforderungen für Deutschland insgesamt gleichen denen, die für die ostdeutsche Übergangsgesellschaft beschrieben und mit der transformationsspezifischen Verlaufskurve charakterisiert wurden. Es sind gemeinsame Herausforderungen; Krisenprozesse lassen sie markant hervortreten.

Die Energieökonomin Claudia Kemfert spricht für die Energiewende „vom Kampf zweier Energiesysteme: Das zentralistisch-autokratische und zerstörerische System der ineffizienten Verbrennung fossiler Energien gegen das dezentrale, demokratische und friedliche System der effizienten Nutzung erneuerbarer Energien“ (2023: 295). Trotz der Defizite und Probleme sieht sie noch eine „letzte Hoffnung“ für das zweite

System. Demgegenüber diagnostiziert Jens Beckert (2023) eine „Verkaufte Zukunft“, denn die Nicht-Lösbarkeit des Energieproblems sei „systemisch bedingt“: „In einer Welt steigenden Energieverbrauchs wird trotz des massiven Ausbaus der erneuerbaren Energien nicht weniger, sondern mehr Öl, Gas und Kohle verfeuert – allen Klimawarnungen zum Trotz.“ (Ebd.: 54) – Der Ausbau der Erneuerbaren halte nach wie vor nicht Schritt mit dem steigenden Verbrauch. Es gilt immer noch das rein kurzfristige betriebswirtschaftliche Kalkül, bis „der letzte Zentner fossilen Brennstoffs verglüht ist“ (Max Weber). Das Beharren im Alten findet raffinierte Umschreibungen, wird ummantelt mit ideologischen Verbrämungen, mit immer neuen „wissenschaftlichen“ Begründungen.

Die Komplexität der Energiewende wie deren Stellenwert in der übergreifenden Krisenproblematik können nicht weiterverfolgt werden. Mit dem Kern der soziologischen Thematisierung (oder Energiewende 2.0) hatten wir das angedeutet. Es geht um den „Kampf der zwei Systeme“, denn eine dezentrale, eine kommunale und bürgerschaftliche Energiewende hat das Potenzial, Gewichte zu verschieben, mit dieser „entsteht ein vollkommen ungewohnter Wettbewerb im sonst so gemütlichen oligopolistischen Geschäft“ (Kemfert 2023: 281).

Ausbauzahlen für die Erneuerbaren sind beachtlich – diese gelten für West- wie auch für Ostdeutschland (DIW 2019). Einige Entwicklungen im europäischen und im globalen Kontext sind ermutigend. Nachfolgend erfolgt die Konzentration auf den dezentralen, kommunalen oder bürgerschaftlichen Pfad der Energiewende. Dieser hat seine Relevanz weiter ausgeprägt. Das Gelingen der Energiewende hängt an diesem Pfad. Wie sieht es aus?

### **3.2 Beispiele**

Auf neuere politische Weichenstellungen wurde schon verwiesen; einige der gravierenden Fehlsteuerungen bei den früheren Novellierungen des EEG konnten korrigiert werden; kommunale Wärmeplanung oder die Förderung von Balkonkraftwerken eröffnen neue Aktivitätsfelder.

In einigen westdeutschen Regionen haben sich starke „Player“ etabliert – vom frühen Bioenergieort Jühnde (Niedersachsen) über die Schönauer Energierebellen im Schwarzwald bis zu Moosdorf in Bayern. Die Anzahl an kommunalen und genossenschaftlichen Vorhaben steigt, erste Clusterbildungen zeichnen sich ab. Deutliche Vorreiter sind Bayern

und Baden-Württemberg. Gemeinde- und Stadtwerke sind häufig engagiert in der Energiewende, wo und insofern im letzten Jahrzehnt auslaufende Konzessionsverträge zur Rekommunalisierung genutzt wurden. Das betrifft keineswegs nur ländliche Regionen oder kleinere Städte.

Ein wirkungsvolles Beispiel ist Hamburg. Die Stadt verfolgt schon länger Klimaschutzziele, insbesondere die Reduzierung von Emissionen durch verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien und Maßnahmen zur Energieeffizienz. Soziale, bürgerschaftliche Initiativen wären aufzuzeigen, oder auch „Transformationspioniere“ (Engel/Klindworth/Kniebling 2019). Eine besondere Aktivität soll herausgegriffen werden.

Hamburg hat den erfolgreichen Volksentscheid von 2013 über den Rückkauf der Stromnetze umgesetzt. Die Hamburger Stadtwerke sind Gestalter und Treiber der Energiewende, von Strom bis Wärme. Seit 2022 gibt es eine sektorübergreifend ausgerichtete Clusterstrategie. Es geht auch um die komplizierte Problematik energieintensiver Unternehmen. Interessant ist ein laufendes Projekt, mit dem in einem ersten Schritt Abwärme aus der Kupferproduktion bei der Aurubis AG zur Versorgung von 20.000 Haushalten genutzt werden kann. In einem zweiten Schritt geht es für die Stromversorgung dieses Kupferwerks um die Erzeugung von grünem Wasserstoff aus erneuerbaren Energien (Friebel 2024). So umstritten grüner Wasserstoff sein mag, für diese Industrie ist er ein geeigneter Anwendungsfall; die Stadt sieht sich mit dieser technologischen Innovation als Vorreiter der Energiewende. Für die Umsetzung baut sie eigene Windkraftanlagen und Photovoltaik aus. Strom, Wärme, Effizienz – es geht um komplexe Lösungen ([www.hamburger-stadtwerke.de](http://www.hamburger-stadtwerke.de)).

Einen interessanten Kontrastfall zu dem angeführten bildet Berlin. Hier war der Volksentscheid zur Rekommunalisierung der Netze 2013 trotz überwiegender Zustimmung am Quorum gescheitert. Wesentlicher Akteur des Volksentscheides, Initiator einer breiten Kampagne war der „Berliner Energietisch“ ([www.berliner-energietisch.net](http://www.berliner-energietisch.net)), ein breiter Zusammenschluss von Zivilgesellschaft, Vertretern aus Abgeordnetenhaus, öffentlichen Unternehmen und Wissenschaft. Der Energietisch hatte von Anfang an (2011) sehr dynamisch agiert, bis heute setzt er Signale für eine „Demokratie von unten“, durch den gescheiterten Volksentscheid hatte er sich nicht ausbremsen lassen (Dellheim 2015). Über Aktionskonferenzen wurden weitere Mitstreiter gewonnen (insgesamt ca. 50). Aus diesem Bündnis liegen Gesetzesentwürfe und Eckpunkte für die

Gestaltung der gegründeten kommunalen Stadtwerke vor. Da Berlin nunmehr das Stromnetz von Vattenfall gekauft hat, erweitern sich direkte Einflussmöglichkeiten auf die Kommunalpolitik – was in Berlin seine Tücken hat. Das Engagement geht auf die kommunale Wärme-wende (das komplette Wärmesystem soll in öffentliche Hand), auf die Unterstützung einer ökologischen und sozialen Bauwende und weiteres.

Beide Fälle zeigen, um welche Dimension einer kommunalen, de-zentralen Energiewende es in großstädtisch-industriellen Räumen geht. Zugleich sind Umsetzungsprobleme ähnlich zu denen in kleineren oder auch in ländlichen Räumen – erforderlich ist kooperative Partizipation zwischen Zivilgesellschaft und kommunaler Politik, im Idealfall auch mit Unternehmen.

Für Ostdeutschland lässt sich auf eine Reihe von Projekten und Initi-ativen verweisen, die die skizzierten Einbrüche überstanden haben. Das betrifft bekannte „Vorzeigeprojekte“ wie das Energiedorf Schlöben in Thüringen, Feldheim in Brandenburg oder Zschadras (jetzt Ortsteil von Colditz) in Sachsen. Eine nach wie vor aktive Unterstützungsstruktur als Dachverband für die Energiegenossenschaften stellt „BürgerEnergieThüringen e.V.“ dar, der 38 Energiegenossenschaften zusammenschließt. Zudem gibt es neue Initiativen und Entwicklungen. Eine typi-sche Gründungsgeschichte ist die 2022 in einem Dorf in Mittelsachsen (Mittweida) gegründete Energiegenossenschaft: Diese Gründung war die Antwort auf ein an zu wenig möglicher Bürgerbeteiligung gescheitertes Solarprojekt – dann machen wir es eben selber: „WirMachenEnergie eG“ (Chrismon 2024).

Oftmals ist es gelungen, das Problem der geringen Finanzkraft der Bevölkerung oder der mangelnden Bereitschaft, sich mit größeren Summen zu beteiligen (begrenzte Ressourcen in den strukturschwachen Re-gionen; Ungerechtigkeitsempfinden; Misstrauen etc.), zu lösen. Kommunen übernehmen indirekt finanzielle Anteile für ihre Bürger. So etwa in der Gemeinde Hoort in Mecklenburg-Vorpommern über gemeinwohl-orientierte Investitionen und indirekte Beteiligungsinstrumente (DPZ 2024). Möglich sind Konzepte nach Art von Bürgerstiftungen, die nicht nur auf finanzielle Beteiligung setzen.

Synergien ergeben sich auch insofern, als solche Energieprojekte Teil umfassenderer ökologischer Projekte im ländlichen Raum sind. Einige finden sich in starken Vernetzungsinitiativen zusammen, solchen im

Energiebereich direkt (siehe Thüringen), solchen in einer breiten Bewegung ländlicher Projekte im ökologischen, sozialen und künstlerisch-kulturellen Bereich, den Neulandgewinnern (Frech/Scurrrell/Willisch 2017). Die Brandenburger Dorfbewegung, die mit einem (auch durch Einsatz der erwähnten Enquete-Kommission) quasi institutionalisierten, jährlich tagenden „Parlament der Dörfer“ an Stärke gewonnen hat, setzt sich strategisch für die Verschränkung von Energiewende und Daseinsvorsorge ein und macht diesbezüglich politische Empfehlungen ([www.lebendige-doerfer.de](http://www.lebendige-doerfer.de)).

Dieser Weg der Energiewende ist keinesfalls tot; auch nicht in Ostdeutschland. Aufzuzeigen sind materialisierte Ergebnisse, beeindruckende Projekte und motivierende Erfahrungen. Die Möglichkeiten kommunaler Partizipation und direkten kommunalen Agierens sind ausgebaut worden. Nicht zufällig wird bei der Suche nach zukunftsfähigen Auswegen aus den komplexen gesellschaftlichen Krisenprozessen auf Ansätze und Erfahrungen aus dezentralen und bürgerschaftlichen Projekten zurückgegriffen. Es geht um „lebenspraktische Alternativen“, um soziale Erfahrung und gelebte Demokratie (so Beckert 2023: 192ff.; Welzer 2022 u.a.). Auch wenn dieser Bereich immer noch als klein und fragil anzusehen ist, er steht für mögliche Entwicklungspotenziale. Darauf ist in einer abschließenden Systematisierung noch einzugehen.

Umso mehr Brisanz liegt in der Beharrungskraft des Fossilismus. Ohne eine erhebliche Reduzierung des Verbrauchs ist diesem gravierenden Problem nicht zu begegnen; für Deutschland stehen dafür Umfang und Struktur der Energieimporte. Konflikte und Widersprüchlichkeiten in der Regierungskoalition bremsen Prozesse direkt oder indirekt aus. Einige „Signale“ auf EU-Ebene sind besorgniserregend. Festlegungen von Klimakonferenzen, die zudem in der Regel „gerissen“ werden, erreichen keinerlei Verbindlichkeit. In Teilen von Wissenschaft und Technik scheint es wieder opportun, Grundpfeiler der Energiewende in Frage zu stellen und eine „ideologiefreie“ Öffnung der Diskussion zu propagieren. Im Namen der Wissenschaft – und in völliger Verkennung machtpolitischer Konstellationen und tief eingeschriebener mentaler Infrastrukturen von Industrialismus und Fossilismus. Dazu kommen die weltpolitischen Konflikte, insbesondere Auswirkungen, Lasten und Bedrohungen des Krieges zwischen Russland und der Ukraine.– Dies kann hier nicht ausgeführt werden. Knapp zu zwei Konsequenzen bzw. Systematisierungen.

### 3.3 Konsequenzen und Systematisierungen

Es ist deutlich geworden, wie ambivalent und wie fragil die Energiewende noch immer ist. Der enorme Zeitdruck, unter dem sie steht, „beißt sich“ mit systemisch gesetzten unternehmerischen Kalkülen (Kostenfragen stehen *vor* Umweltfragen), mit mentalen Infrastrukturen oder sozialen Ungleichheiten. Berechtigt wird zunehmend von Planung und Steuerung geredet; vor einigen Jahren machte das neue-alte Zauberwort von einer „gelenkten Marktwirtschaft“ (Mazzucato 2021) die Runde. Auch die Bundesregierung hat sich einer solchen verschrieben. Am Beispiel Ostdeutschlands zeigten sich Defizite in Planung und Steuerung sowie damit verbundene Gefährdungen der Demokratie. Zu erinnern ist an die von Beckert betonten machtpolitischen Grenzen der repräsentativen Demokratie gegenüber den großen, globalen Unternehmen: Planungen, Steuerungen werden unterlaufen oder vorab kontaminiert im Interesse des oligopolistischen Geschäfts. Insofern geht es auch um die Frage, wie sich Präferenzen für einen Wandel im Energiesystem (eine Gewichtsverlagerung zwischen den beiden Systemen) institutionalisieren lassen und wie das Demokratieproblem „gelöst“ werden kann. Es geht um die oft unterschätzten *Voraussetzungen* von Planung und Steuerung.<sup>18</sup>

Werden solche nicht „eingeholt“, kann „Demokratie“ zum Verhinderer konstruktiver Klimapolitik oder der Energiewende werden. Es droht eine „Politik der Nicht-Nachhaltigkeit“ dadurch, dass die liberale Demokratie ökologische, soziale oder Klima-Kosten immer wieder „externalisier“ – in andere Regionen der Welt, auf die nächsten Generationen. Demokratische Strukturen seien „möglicherweise grundsätzlich ungeeignet [...], um die Umweltkrise in den Griff zu bekommen“. Eine „postdemokratisch gewendete Demokratie“ setzt auf eine „Politik der Nicht-Nachhaltigkeit“. (Blühdorn 2010: 44, 52) Eine solche Konsequenz ist nicht unvermeidlich. Der offensichtliche Legitimitätsverlust institutionalisierter Politik hat vor allem damit zu tun, dass das Band zur lebensweltlichen Realität „vor Ort“ oder „nach unten“ vielfach zerrissen ist. Es ist nicht nur ein im Osten anzutreffendes „anderes“, eher substanzielles

---

<sup>18</sup> Das war der produktive Kern des Konzeptes einer „gelenkten Marktwirtschaft“ bei Mazzucato; die politische Umsetzung ist davon weit entfernt. Das ist, wie eingangs skizziert, ebenso Kern einer soziologischen Transformationsperspektive. Deren politische Relevanz ist offensichtlich: „Die moralischen Handlungsorientierungen der Lebenswelt sind für Wirtschaft und Politik durchaus relevant.“ (Beckert 2023: 194)

Demokratieverständnis (so Morina 2023; Mau 2024), das zu den aufgezeigten Abstoßungen führt; es ist die „lebensweltliche Distanz des politischen Betriebes“ (Welzer 2023: 39). Politik geht über die Köpfe der Menschen hinweg. Eine der „Antworten“ darauf ist der populistische Reflex, der längst kein ostdeutsches Phänomen mehr ist. Erforderliche Maßnahmen der Energiewende – sei es das Aus für die Verbrenner, sei es die Heizungsumstellung – werden blockiert, weil die Schritte nicht ausreichend differenziert, konkretisiert und so nachvollziehbar sind. Der hin und wieder geforderte Weg in stärker autoritäre oder in technokratische „Lösungen“ im Sinn einer „protektiven Technokratie“ würde das Problem noch verschärfen. Eine „Expertokratie“ hilft nicht, „auch Fakten können tyrannisch wirken, wenn sie nicht nur informieren, sondern den demokratischen Willensbildungsprozess ersetzen“ (Reusswig/Küpper 2022: 40).

Politik löst die erforderliche Planung und die gebotenen Steuerungsleistungen zu wenig ein. Auf produktive Schritte, aber auch auf ausbleibende oder misslingende, wurde verwiesen. Das etablierte dirigistische Selbstverständnis, das zudem mit einem tiefen Misstrauen gegenüber den Ansprüchen und Leistungen der Menschen in den lokalen Kontexten verbunden ist, steht einer unterstützenden Lenkung von selbstgestalteten und selbstverantworteten Maßnahmen entgegen. Dass gerade aus solchen, insbesondere aus kooperativen Projekten die kreativen, emanzipatorischen Entwicklungsimpulse kommen können, bleibt außen vor. Kooperativ-verantwortliche Bürger könnten in einer Doppelrolle als *Prosumer* große Teile der Energiewende selbst tragen, die Energiewende in der Tat zu einem „Gemeinschaftswerk“ machen. In solchen wie den angeführten Energieprojekten von Feldheim bis Schönau oder eben mit Maßnahmen eines Energiesharing. Ein solcher politischer Stil, ein starkes Bündnis der Politik mit der demokratischen Zivilgesellschaft – also *Bürgerenergie* –, würde auch den Ambitionen der etablierten großen Unternehmen aktiv begegnen bzw. Schneisen für progressive Bündnisse schlagen. Beispiele dafür sind benannt worden.

Das führt zur zweiten Konsequenz oder Systematisierung. Es gibt praktische Projekte und überzeugende theoretisch-konzeptionelle Ansätze, die eine dezentrale Energiewende mit *Regionalisierungsstrategien* verbinden. Entsprechende Strategien hatten wir mit Entwicklungsalternativen im ostdeutschen Transformationsprozess verbunden (Leitbild 2020; Reißig/Thomas 2005; Thomas 2015). Regionalisierung erschien als (von

keiner politischen Partei hinreichend aufgenommenes) Plädoyer für eine Orientierung auf ostdeutsche Potenziale. Solche ließen sich mit regionalen KMU und eben mit Projekten der dezentralen Energiewende aufzeigen. Das erschien als ostdeutsche Besonderheit, stimuliert durch „Wende“ und Transformationsprozess. In jüngster Zeit macht aber ein breites Setting von Krisenprozessen (Corona und die Überforderung globaler Lieferketten), ersichtlich gescheiterte Angleichungen ehemals sozialistischer Staaten und Gesellschaften (Krastev/Holmes 2019), aufbrechender globaler Hegemonialstrukturen (Streeck 2021) neben den beschriebenen Demokratieproblemen das Fenster entschieden weiter auf, und es zeigen sich produktive Diskurse. Es scheint für Zukunftsgestaltung nicht nur möglich, sondern gleichsam *unerlässlich*, stärker auf *Regionalisierung* zu setzen, um dem fehllaufenden „Globalismus“ (Waldenfels 2022) zu entgehen.

Darauf ist nur hinzuweisen, mögliche Fallstricke der Relationierung von Globalisierung und Regionalisierung können nicht betrachtet werden. Ein produktiver Zugang versteht Regionalisierung nicht als Absage an Globalisierung, sondern als einen der Wege. Für diese sind dezentrale Energien ein wesentlicher Schlüssel. In der aktuellen Debatte versammeln sich stimulierende Ansätze um das Paradigma der „Infrastruktur“; Infrastrukturen als Voraussetzung einer zukunfts-offenen Daseinsvorsorge in den Regionen. Zwei Vorschläge aus der Debatte und Praxis sollen skizziert werden.

Eine bemerkenswerte Anregung (mit Verweis auf praktische Initiativen in den USA) hat Jeremy Rifkin (2022) vorgelegt. Rifkins Ausgangspunkte sind das Ende des fossilen Zeitalters und die zerstörerische Macht kapitalistischer Hypereffizienz. Diesen stellt er eine „Resilienzrevolution“ entgegen, die technologisch in Netzen (z.B. Datenzentren) gründet, die von erneuerbaren Energien gespeist werden. Die vernetzte Infrastruktur (Windräder, Solaranlagen etc.) liegt in Bürgerhand. In den Verantwortungsregionen (den „bioregionalen Ordnungen“) entwickelt sich eine eigenständige regionale Ökonomie und eine partizipative Demokratie („Peerocracie“).

Der Ansatz ist herausfordernd. Noch weiter in praktische Umsetzungen und alternative Projekte geht die kollektive Publikation einer Gruppe europäischer, vor allem britischer Wirtschaftswissenschaftler und Soziologen: „Die Ökonomie des Alltagslebens. Für eine neue Infra-

strukturpolitik“ (2019). Es geht um die unverzichtbaren Dinge alltäglicher Daseinsvorsorge, die mit kapitalistischer Privatisierung und dem Globalisierungswahn immer weiter zerstört werden. Diesen wird der Wiedergewinn einer regionalen Handlungsebene gegenübergestellt – als notwendiges Korrektiv zur durchaus erforderlichen Globalisierung. Die Vorschläge zu Demokratie und Politik, zu öffentlicher und privater Wirtschaft stellen eine zukunftsfähige Daseinsvorsorge wie die Bewahrung der lebenserhaltenden Systeme der Erde ins Zentrum.

Die Faszination dieses Ansatzes liegt vor allem in seinem offenen, anschlussfähigen experimentellen Design, das sich um eine demokratische Emanzipation lokaler, regionaler Verantwortungsgemeinschaften gruppiert. Zentral ist die Rückgewinnung der Zuständigkeit über die fundamentalen Güter – Strom, Wasser, Wärme. Das kann nicht weiter ausgeführt werden; die Studie selbst wie das Spektrum der Rezeption – von praktikablen Modellprojekten der Daseinsvorsorge bis zu Konzepten eines Infrastruktursozialismus – verbieten das. Aber auch so wird mit den exemplarischen Beispielen der enge Zusammenhang von dezentraler erneuerbarer Energie, Regionalisierung und transformatorischer Ermächtigung deutlich. Eine konsequente Politik der Regionalisierung kann Synergien in die ambitionierte Beziehung von Energiewende und Transformation bringen: Bürgerdemokratie, Bürgerenergie, Bürgergesellschaft. Insofern lässt sich noch einmal an die zitierte Filmsequenz erinnern: Wenn sich das Windrad dreht, ist die Welt in Ordnung.

#### 4 Fazit

Eine soziologische Transformationsperspektive steht in einem engen Wechselverhältnis insbesondere zur dezentralen, bürgerschaftlichen und kommunalen Energiewende. Das gilt für „die lange Vorgeschichte“ in Ostdeutschland ebenso wie aktuell. Vielfache Krisenprozesse stellen Herausforderungen dar; es fehlt nicht nur an praktikablen Antworten, sondern schon an konstruktiven Fragen. Ein möglicher Zugang kann eine systematische Regionalisierung sein, die die komplexen Gestaltungsherausforderungen in einen entsprechenden Kontext stellt. Das sollte den weiteren transdisziplinären Austausch stimulieren.

## Bibliographie

- Aretz, Astrid (2023): „Gemeinschaftlich Strom im Verteilernetz erzeugen und nutzen“. *Kieler Energiediskurs*, 10. Juli 2023 (www.ioew.de / 12.8. 2024).
- Banse, Gerhard/Fleischer, Lutz-Günther (Hrsg.) (2014): *Energiewende. Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag*. 5. Jahreskonferenz der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 2012. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 31. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag.
- Beckert, Jens (2024): *Verkaufte Zukunft: Warum der Kampf gegen den Klimawandel zu scheitern droht*. Berlin: Suhrkamp.
- Berliner Zeitung (2024): „Wenig Emotion für E-Motion“, v. Flynn Jacobs. *Berliner Zeitung am Wochenende*, 11./12. Mai, S. 8.
- Blühdorn, Ingolfur (2010): „Nachhaltigkeit und postdemokratische Wende. Zum Wechselspiel von Demokratiekrise und Umweltkrise“. *Vorgänge* 2/2010, S. 44 – 54.
- Chrismon (2024): Die hat Power! *chrismon* 08/ 2004, S. 10 – 14.
- Dellheim, Judith (2015): „‘Transformatorisches Potenzial‘ im Allgemeinen und im Besonderen, diskutiert am Beispiel des Berliner Energietisches.“ *Transformation im 21. Jahrhundert. Theorien – Geschichte – Fallstudien*, hrsg. v. Michael Thomas und Ulrich Busch. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 39. II. Halbband. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, S. 593 – 621.
- DIW (2019): „Sechster Bundesländervergleich erneuerbare Energien: Schleswig-Holstein und Baden-Württemberg an der Spitze“. Von Jochen Dieckmann, Andreas Püttner. *DIW-Wochenberichte* 48 (2019), S. 882 – 894.
- DPZ (2024): *Unsere Energiewende? Wie Beteiligung vor Ort die Transformation gestaltbar macht*. Viktoria Luh und Johana Siebert unter der Studienleitung von Paulina Fröhlich und Florian Ranft. Berlin: Das Progressive Zentrum e.V.
- EK 6/1 (2019): *Abschlussbericht der Enquete-Kommission 6/1 „Zukunft der ländlichen Regionen vor dem Hintergrund des demografischen Wandels*. Schriften des Landtages Brandenburg 2/2019: Landtag Brandenburg.
- Engel, Toya/Klindworth, Katharina/Knieling, Jörg (2019): „Transfor-

- mationspioniere für eine klimafreundliche Stadt“. *Ökologisches Wirtschaften* 1.2019 (14), S. 30 – 34. DOI 10.14512/OEW3401304 2019
- Eversberg, Dennis/Fritz, Martin/v. Felder, Linda/Schmelzer, Matthias (2024): *Der neue sozial-ökologische Herrschaftskonflikt. Mentalitäts- und Interessengegensätze im Streit um Transformation*. Frankfurt a.M.: Campus.
- Foundational Economy Collective (2019): *Die Ökonomie des Alltagslebens. Für eine neue Infrastrukturpolitik*. Berlin: edition suhrkamp.
- Frech, Siri/Scurrell, Babette/Willisch, Andreas (Hrsg.) (2017): *Neuland gewinnen. Die Zukunft in Ostdeutschland gestalten*. Berlin: Ch. Links Verlag
- Friebe, Roland (2024): „Hamburger Energiewerke. Unternehmens- und Projektvorstellung“. Präsentation am 30.5. 2024 (unv. Ms.)
- Jahresumfrage 2024: „Jahresumfrage 2024 zur Lage der Energiegenossenschaften“. www.dgrv.de (15.8.2024)
- Kemfert, Claudia (2023): *Schockwellen. Letzte Chancen für sichere Energien und Frieden*. Frankfurt a.M./New York: Campus.
- Knodt, Michèle/ Kemmerzell, Jörg (2022): „Alle für die Energiewende? Akteure und Institutionen in der deutschen Energiepolitik“. *Aus Politik und Zeitgeschichte*, 46 – 47, 14. November, S. 25 – 31.
- Krastev, Ivan/Holmes, Stephen (2019): *Das Licht, das erlosch. Eine Abrechnung*. Berlin: Ullstein.
- Land, Rainer (2018): „Thesen zur Energiewende 2.0“. *Die Energiewende 2.0: Essentielle Wissenschaftlich-technische, soziale und politische Herausforderungen*. Disputatio. Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V./Verein Brandenburger Ingenieure und Wirtschaftler e.V. (Ms.), S. 25 – 30.
- Leitbild Ostdeutschland (2020): Studie im Auftrag der Fraktionsvorsitzendenkonferenz der Partei DIE LINKE in den Landtagen und im Deutschen Bundestag. Jahresthesen zum sozial-ökologischen Umbau 2008–2012. Berlin: BISS e.V.
- Links, Christoph/Volke, Kristina (Hrsg.) (2009): *Zukunft erfinden. Kreative Projekte in Ostdeutschland*. Berlin: Ch. Links Verlag.
- Mau, Steffen (2019): *Lüften Klein. Leben in der ostdeutschen Transformationsgesellschaft*. Berlin: Suhrkamp Verlag.
- Mau, Steffen (2024): *Ungleich vereint. Warum der Osten anders bleibt*. Berlin: edition suhrkamp.
- Mazzucato, Mariana (2021): *Auf dem Weg zu einer neuen Wirtschaft*. Frankfurt a.M./New York: Campus Verlag.

- Metzinger, Thomas (2023): *Der Elefant und die Blinden*. Berlin: Berliner Verlag.
- Morina, Christina (2023): *Tausend Aufbrüche. Die Deutschen und ihre Demokratie seit den 1980er Jahren*. Berlin: Siedler Verlag.
- Pelluchon, Corine (2023): *Die Durchquerung des Unmöglichen. Hoffnung in Zeiten der Klimakatastrophe*. München: C. H. Beck
- Reißig, Rolf/Thomas, Michael (Hrsg.) (2005): *Neue Chancen für alte Regionen? Fallbeispiele aus Ostdeutschland und Polen*. Münster et al.: LIT Verlag.
- Reusswig, Fritz/Küpper, Beate (2022): „Tyrannei der Minderheit? Energiewende und Populismus“. *Aus Politik und Zeitgeschichte*, 21 – 22, vom 23. Mai, S. 28 – 34.
- Rifkin, Jeremy (2022): *Das Zeitalter der Resilienz. Leben neu denken auf einer milden Erde*. Frankfurt a.M./New York: Campus.
- Seidl, Irmi/Zahrnt, Angelika (2019): „Neugewichtung von Erwerbsarbeit und Tätigsein für eine Postwachstumsgesellschaft“. *Ökologisches Wirtschaften* 1. 2019 (14), S. 17 – 18. DOI 10.14512/OEW340117.
- Streck, Wolfgang (2021): *Zwischen Globalismus und Demokratie. Politische Ökonomie im ausgehenden Neoliberalismus*. Berlin: Suhrkamp.
- Thomas, Michael (2014): „Der erfolgreiche Einstieg in die Energiewende und den soziologischen Umbau als Voraussetzung einer ‚Großen Transformation‘“. *Energiewende. Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag*. 5. Jahreskonferenz der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 2012. Gerhard Banse/Lutz-Günter Fleischer (Hrsg): *Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften*, Bd. 31. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, S. 251 – 272.
- Thomas, Michael (2015): „Widersprüchliche Einheit. Grenzen der Angleichung – ein Leben mit Unterschieden: Warum eigentlich nicht?“. Busch, Ulrich/Thomas, Michael (Hrsg.): *Ein Vierteljahrhundert Deutsche Einheit. Facetten einer unvollendeten Integration*. *Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften*, Bd. 42. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, S. 107 – 127.
- Thomas, Michael (2019): „Vom Zukunftsdiskurs zum Reallabor – Stadtbau in Zeiten der Transformation. Chancen und Grenzen wissenschaftlicher Begleitung“. Thomas, Michael/Busch, Ulrich (Hrsg.) *Transformation im aktuellen Kontext. Chancen – Ambivalenzen – Blockaden*. *Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften*, Bd. 58. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, S. 237 – 257.

- Thomas, Michael (2023): „Das Schweigen der Männer und die hilflose Soziologie. Politische Diskurse, Leitbegriffe und wissenschaftliche (Selbst-)Begrenzungen in Zeiten des Umbruchs“. Gerda Haßler (Hrsg.): *Sprache – Diskurse – Meinungsbildung*. Jahrestagung der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften am 20.10.2022. Sitzungsberichte Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 157, S. 257 – 291. Meinung - Diskurs
- Waldenfels, Bernhard (2022): *Globalität, Lokalität, Digitalität. Herausforderungen der Phänomenologie*. Berlin: Suhrkamp.
- Welzer, Harald (2023): *Zeitenwende. Politik ohne Leitbild. Gesellschaft in Gefahr*. Frankfurt a.M.: S. Fischer.
- Wolff, Anke/Martens, Katrin (2020): *Innovation durch Kooperation. Genossenschaftsmodelle im Fokus. Studie*. Berlin: Kommunalwissenschaftliches Institut der Humboldt-Universität.

## **Die Behandlung der Energiewende in der Leibniz-Sozietät und im LIFIS – ein Überblick**

***Gerhard Banse***

*(Berlin, ML S)*

### **Abstract**

Based on a comprehensive compilation, an overview is given of the activities of both the Leibniz Society (LS) and the Leibniz Institute for Interdisciplinary Studies (LIFIS) in the field of “energy” (in the broad sense). “Activities” includes both scientific events (individual lectures and conferences) as well as publications and projects. Firstly, it is shown that relevant problems have been dealt with in a variety of thematic and methodological ways in the LS and LIFIS since their respective foundations (1993 and 2002 respectively). The work of several LS working groups played an important role in this. Secondly, it is shown that the thematic spectrum and the “formats” used have changed over the years. Thirdly, “stages” or “phases” are distinguished with regard to the topics dealt with and the methodological forms used. Fourthly, the inventory shows that technology-related presentations generally predominate. Economic, ecological, social, cultural, anthropological-human and ethical aspects are considered less systematically (decrease in the order mentioned!). Fifthly, in this context, technology assessment and life cycle analyses are briefly discussed as tools that can be used sensibly for the “energy transition”. The article concludes from the inventory that there is a scientific fund, particularly in the publications, but this is not sufficiently used either in the LS or in the LIFIS or – and above all – “externally”.

## Zusammenfassung

Auf der Grundlage einer umfangreichen Zusammenstellung wird ein Überblick über Aktivitäten sowohl der Leibniz-Sozietät (LS) als auch des Leibniz-Instituts für Interdisziplinäre Studien (LIFIS) im Bereich „Energie“ (i.w.S.) gegeben. Unter „Aktivitäten“ werden sowohl wissenschaftliche Veranstaltungen (Einzelvorträge und Tagungen) als auch Publikationen und Projekte subsumiert. Es wird erstens gezeigt, dass in der LS und im LIFIS relevante Probleme thematisch und methodisch seit ihrer jeweiligen Gründung (1993 bzw. 2002) vielfältig behandelt wurden. Dabei bzw. dafür spielte das Wirken mehrerer Arbeitskreise der LS eine gewichtige Rolle. Zweitens wird gezeigt, dass sich im Laufe der Jahre das thematische Spektrum als auch die genutzten „Formate“ gewandelt haben. Dazu werden drittens „Etappen“ bzw. „Phasen“ hinsichtlich der behandelten Themen und der genutzten methodischen Formen unterschieden. Viertens zeigt die Bestandsaufnahme, dass technikbezogene Darstellungen generell überwiegen. Ökonomische, ökologische, soziale, kulturelle, anthropologisch-humane und ethische Aspekte werden weniger systematisch betrachtet (Abnahme in der genannten Reihenfolge!). In diesem Zusammenhang wird fünftens kurz auf Technikfolgenabschätzung und Lebenszyklusanalysen auch als für die „Energiewende“ sinnvoll anwendbare Mittel eingegangen. Als Fazit der Bestandsaufnahme wird im Vortrag konstatiert: Insbesondere mit den Publikationen liegt ein wissenschaftlicher Fundus vor, der aber weder in der LS sowie im LIFIS noch – und vor allem – „extern“ ausreichend genutzt wird.

## Keywords/Schlüsselworte

working group, energy transition, life cycle analysis, Leibniz Society, LIFIS, technology assessment Arbeitskreis, Energiewende, Lebenszyklusanalyse, Leibniz-Sozietät, LIFIS, Technikfolgenabschätzung

## 1 Aktivitäten im Überblick

Aktivitäten im Zusammenhang mit „Energie“ gibt es in der LS seit ihrer Gründung im Jahr 1993. (Damals war der heute geläufige Begriff „Energiewende“ noch nicht geboren!) Im Sinne des auf den deutschen Dichter Christian Morgenstern (1871-1914) zurückgehenden Gedankens, dass es notwendig sei, von Zeit zu Zeit „von sich zurück[zu]treten wie ein Maler von seinem Bilde“ (Morgenstern 1922: 169), gilt es nach gut dreißig Jahren, „innezuhalten“ und das Erreichte in bilanzierender Absicht vor-

bzw. darzustellen. Das erfolgt chronologisch. Grundlage des Nachfolgenden ist eine umfangreiche und detaillierte Zusammenstellung von Aktivitäten sowohl der Leibniz-Sozietät (LS) als auch des Leibniz-Instituts für Interdisziplinäre Studien (LIFIS) im Bereich „Energie“ (i.w.S.).<sup>1</sup> Unter „Aktivitäten“ werden sowohl wissenschaftliche Veranstaltungen (Einzelvorträge und Tagungen) als auch Publikationen und Projekte subsumiert. Genannt werden müssen jedoch auch relevante Arbeitskreise der LS, da diese oftmals „Träger“ oder „Initiatoren“ dieser Aktivitäten waren bzw. sind.

### 1.1 Relevante Arbeitskreise (AK) der LS

Im Folgenden werden die AK der LS, die maßgeblich an der Bearbeitung des Problembereichs „Energie“ beteiligt waren und sind, lediglich kurz mit ihrer Aufgabenstellung aufgelistet. Zu deren vielfältigen Aktivitäten und Ergebnissen sei auf die angegebenen ausführlichen Darstellungen im Internet oder in Banse et. al 2018: 47-130 verwiesen.

- *Allgemeine Technologie* (2001 gegründet; 2022 Tätigkeit beendet)<sup>1</sup>: Der AK sah seine Aufgabe darin, „die Suche nach bzw. die Darstellung von allgemeinen Prinzipien der Technologie – Prinzipien, in die sich die verschiedensten Gesichtspunkte der heutigen Entwicklung einordnen, Prinzipien, die dadurch gekennzeichnet sind, ein Fundament der zukünftigen Entwicklung zu bilden“ (Banse et al. 2018: 52).
- *Geo-, Montan-, Umwelt-, Weltraum- und Astrowissenschaften* (GeoMUWA) (2001 gegründet)<sup>2</sup>: „Anliegen ist die akademietypische Förderung des mit der Bezeichnung des Arbeitskreises umrissenen großen Wissenschaftsgebietes, das etwa dem in der AdW der DDR als Geo- und Kosmoswissenschaften bezeichneten Fachgebiet entspricht und das in der Leibniz-Sozietät adäquat vertreten ist“ (Banse et al. 2018: 75).
- *Solarzeitalter* (2002 gegründet; 2004 Tätigkeit beendet): „Der Arbeitskreis will dazu beitragen, die mit der ‚solaren Wende‘ auf die Gesellschaft zukommenden allseitigen Veränderungen wissenschaftlich vorzubereiten und zu beeinflussen, und er will mit diesem Ziel ganz-

---

<sup>1</sup> Siehe näher <https://leibnizsozietat.de/sozietat/arbeitskreise/arbeitskreis-allgemeine-technologie-2/> (18.08.2024).

<sup>2</sup> Siehe näher <https://leibnizsozietat.de/sozietat/arbeitskreise/arbeitskreis-geo-montan-umwelt-weltraum-und-astrowissenschaften-ak-geomuwa/> (18.08.2024).

heitliches, komplexes Denken entwickeln und pflegen. [...] Der Arbeitskreis sieht die schnelle Entwicklung regenerativer Energien als Schlüsseltechnologie für die nachhaltige Versorgung künftiger Generationen mit Energie und Stoff an“ (Blumenthal 2002: 4).

- *Energieversorgung* (2004 gegründet; 2005 Tätigkeit beendet): „Der AK hatte sich die Aufgabe gestellt, die wissenschaftlichen Positionen, die in der Leibniz-Sozietät zur Energie-Problematik vertreten werden, und deren Begründungen zu sammeln“ (Kautzleben 2005: 8).
- *Gesellschaftsanalyse und Klassen* (2007 gegründet)<sup>3</sup>: Im Mittelpunkt steht „eine sehr breit angelegte Verständigung zu den unterschiedlichen gesellschaftlichen Entwicklungen, zu globalen und lokalen Umbrüchen und somit einer Vielfalt auszumachender Transformationsprozesse“ (Banse et al. 2018: 84).
- *Energie, Mensch und Zivilisation* (2021 gegründet)<sup>4</sup>: „Ein wesentliches Ziel des Arbeitskreises ist es, alle Aspekte der Energiebereitstellung und -verwendung unter der Prämisse der Einhaltung der Klimaschutzziele bzw. der Klimafolgenanpassung zu erörtern. Dabei sollen neben den naturwissenschaftlichen Grundlagen und den technisch/technologischen Realisierungen die ökonomischen, sozialen und politischen Probleme und Wechselwirkungen gleichgewichtig einbezogen werden. Eine exponierte Funktion des Arbeitskreises ist es, die in Deutschland effektiv und gemeinnützig zu gestaltende Energiewende hinsichtlich ihrer Ziele, Methoden und Ergebnisse konstruktiv, aber kritisch zu begleiten. Ergebnisse aus dem Arbeitskreis sollen in die Umsetzung des notwendigen Transformationsprozesses einfließen und diesen unterstützen.“<sup>5</sup>

## 1.2 Veranstaltungen<sup>6</sup>

Die Zusammenstellung der Veranstaltungen der LS und des LIFIS umfasst mehr als 25 verschiedene Aktivitäten, davon

---

<sup>3</sup> Siehe näher <https://leibnizsozietat.de/sozietat/arbeitskreise/arbeitskreis-gesellschaftsanalyse-und-klassen/> (18.08.2024).

<sup>4</sup> Siehe näher <https://leibnizsozietat.de/sozietat/arbeitskreise/arbeitskreis-energie-mensch-und-zivilisation/> (18.08.2024).

<sup>5</sup> <https://leibnizsozietat.de/arbeitskreis-energie-mensch-und-zivilisation-gegruendet/> (18.08.2024).

<sup>6</sup> In den folgenden Abschnitten wird kein Anspruch auf Vollständigkeit der Erfassung aller Aktivitäten erhoben!

- (mindestens) 11 Vorträge in den Klassen der LS,
- (mindestens) vier Vorträge im Plenum der LS,
- (mindestens) 4 Kolloquien im Plenum der LS,
- eine Jahrestagung (im Jahr 2012),
- zehn thematische Tagungen/Kolloquien,
- zahlreiche Vorträge in fachlich nahen Tagungen/Kolloquien sowie
- fünf thematische Konferenzen des LIFIS (in den Jahren 2003, 2006, 2008, 2011 und 2013).

### **1.3 Publikationen**

Analog vielfältig stellt sich die Übersicht über etwa 90 einschlägige Publikationen dar:

- drei thematische Bände der „Abhandlungen“: Bände 15, 31 und 47;
- drei Einzelbeiträge in drei Bänden der „Abhandlungen“: in den Bänden 33, 39 und 43;
- vier thematische Hefte der „Sitzungsberichte“ : H82, 147, 155 und 158;
- 32 Einzelbeiträge in 21 Heften der „Sitzungsberichte“: in den Heften 1, 5, 17, 30, 55, 80, 82, 89, 90, 100, 112, 120, 122, 130, 131, 138, 145, 146, 154, 156 und 159;
- zwei „Debatten“ in der LS mit zehn Beiträgen: 2008/2012 und 2009/2010;
- zwei thematische Hefte von „Leibniz Online“: Hefte 17 und 29;
- sechs Einzelbeiträge in „Leibniz Online“: in den Heften 2, 16, 36, 40, 46 und 50;
- 36 Beiträge in „LIFIS Online“ zum Themenbereich „Innovative Energie-, Stoffwandlung und -nutzung“.

### **1.4 Projekte**

Von den zahlreichen extern finanzierten Projekten der LS dienten sechs der vom Berliner Senat und drei der von der Rosa-Luxemburg-Stiftung (RLS) bewilligten Projekte der finanziellen Unterstützung der Durchführung von sieben Veranstaltungen und der Drucklegung von vier Publikationen.

*Beispiele:*

- 2004/2005, Senatsprojekt: „Studie Sichere Versorgung mit Energie und Rohstoffen“ (Kautzleben/Calov 2005);
- 2012, RLS-Projekt: „Durchführung der Jahrestagung der Leibniz-Sozietät ‚Energiewende – Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag‘“<sup>7</sup> (Banse/Fleischer 2014).

## 2 Inhaltliche Schwerpunkte im Überblick

Das Themen-Spektrum der Aktivitäten der LS im „Energie-Bereich“ reicht „A“ bis „Z“, von „Automobil“ über „Biomasse“, „Energetik“, „Energie-Tisch“, „Energiewende“, „GAIA“, „Gerechtigkeit“, „Fusionsreaktor“, „Kernkraft“, „Klimaproblem“, „Mobilität“, „Naturressourcen“, „Recycling“, „Sicherheit“, „Solarzeitalter“, „Speicher“, „Wärmeversorgung“ und „Weltenergieerzeugung“ bis „Zukunft“. Dabei lassen sich zeitlich drei „Etappen“ bzw. „Phasen“ hinsichtlich der Aktivitäten und der Themen unterscheiden:

### 2.1 Zeitraum von der Gründung der LS bis etwa 2001/2002

In dieser ersten Etappe bzw. Phase gab es kaum eine systematische Behandlung von Energie-Themen, denn es wurden lediglich mehrere – jedoch inhaltlich anspruchsvolle – Vorträge in der Klasse Naturwissenschaften (NW) bzw. Naturwissenschaften und Technikwissenschaften (NWTW) und im Plenum gehalten.

*Beispiele:*

- 17.02.1994, Klasse NWTW: Lothar Kolditz „Rohstoffe und Energie“;<sup>8</sup>
- 22.09.1994, Plenum: Karl Friedrich Alexander „Stand und Perspektiven einer ökologisch und ökonomisch nachhaltigen Weltenergieversorgung“<sup>9</sup>;

---

<sup>7</sup> Siehe näher <https://leibnizsozietat.de/jahrestagung-2012-der-leibniz-sozietat> (18.08.2024).

<sup>8</sup> Siehe <https://leibnizsozietat.de/sitzungsberichte-der-leibniz-sozietat-band-1-1994/> (18.08.2024).

<sup>9</sup> Siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtdatei-SB-005-1995.pdf> (18.08.2024).

- 18.01.2001, Klasse NWTW: Klaus-Dieter Bilkenroth „Energie im 21. Jahrhundert – Gestaltung der energetischen Zukunft“<sup>10</sup>.

## 2.2 Zeitraum von etwa 2001/2002 bis etwa 2014/2015

In dieser zweiten Etappe bzw. Phase war eine systematischere Behandlung möglich durch (a) Gründung von Arbeitskreisen und des LIFIS (2002), (b) (extern finanzierte) Projekte (ab 2004) sowie (c) Tagungen (mit nachfolgenden Publikationen).

*Beispiele:*

- 2002: Gründung des AK Solarzeitalter (bis 2004);
- 2004: Gründung des „ad hoc“-AK Energieversorgung (bis 2005);
- 2004/2005, Projekt: „Sichere Versorgung mit Energie und Rohstoffen“ (Kautzleben/Calov 2005).
- 11./13.09.2003, Augustusburg-Konferenz des LIFIS: „Solarzeitalter – Vision und Realität“ (Blumenthal/Öhlmann 2005);
- 26.09.2006, Kolloquium der LS: „50 Jahre Forschung für die friedliche Nutzung der Kernenergie“ (Andreeff/Seeliger 2007);
- 15./17.05.2008, Leibniz-Konferenz des LIFIS: „Solarzeitalter 2008 – Erneuerbare Energien und Materialien. Visionen – Probleme – Perspektiven“ (es erschienen mehrere Artikel in „LIFIS Online“);
- 31.05.2012, Jahrestagung der LS: „Energiewende – Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag“ (Banse/Fleischer 2014).

## 2.3 Zeitraum von etwa 2014/2015 bis zur Gegenwart

In dieser dritten, der gegenwärtigen Etappe oder Phase erfolgt(e) eine systematische Behandlung von Themen im Zusammenhang mit „Energie“ durch regelmäßige Veranstaltungen mit anschließenden „Protokollbänden“ (als „Sitzungsbericht“ oder in „Leibniz Online“).

*Beispiele:*

- 13.12.2013, Plenum (Kolloquium): „Energiespeichertechnologien: Notwendigkeiten, Problemspektren, wissenschaftlich-technische Entwicklungen und Perspektiven“;<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Siehe <https://leibnizsozietat.de/wissenschaftliche-sitzungen-der-klassen-der-leibniz-sozietat-im-jahre-2001/> (18.08.2024).

<sup>11</sup> Siehe <https://leibnizsozietat.de/plenarsitzung-am-13-dezember-2013-energiespeichertechnologien-bericht/> (18.08.2024).

- 14.11.2014, Tagung: „Naturressourcen, Energie, Umwelt: Wechselwirkungen und aktuelle Probleme“<sup>12</sup> (Greiling 2015);
- 19.05.2017, Kolloquium: „Energiewende 2.0: Die ambivalente ‚Wärme‘ im Fokus der Wissenschaft und Wirtschaft, der Technik und Technologie“<sup>13</sup> (Fleischer/Mertzsch 2017);
- 12.04.2018, Plenum: „Die Energiewende 2.0 im Disput: Essentielle wissenschaftlich-technische, soziale und politische Herausforderungen im Widerstreit“<sup>14</sup>;
- 06.12.2018, Plenum: „Disputatio zur Energiewende 2.0 – im Fokus: Die kardinale Effektivität und Effizienz“<sup>15</sup>;
- 07.05.2021, Kolloquium und Disputation: „Die Energiewende 2.0: Im Fokus die Mobilität“<sup>16</sup> (Jeremias/Mertzsch 2021);
- 17.03.2022, Kolloquium: „Kritische Rohstoffe, Gewinnung bis Entsorgung: Die Geowissenschaften als Problemlöser“<sup>17</sup> (Pfaff/Greiling 2022);
- 13.05.2022, Kolloquium: „Die Energiewende 2.0: Im Fokus die Infrastruktur“<sup>18</sup> (Mertzsch/Jeremias 2022);
- 22.03.2023, Kolloquium: „Kritische Rohstoffe II: Auswirkungen wachsender geo- und klimapolitischer Herausforderungen auf die Rohstoffversorgung Deutschlands und Europas“<sup>19</sup> (Pfaff et al. 2023b);

---

<sup>12</sup> Siehe <https://leibnizsozietaet.de/workshop-naturressourcen-energie-umwelt-wechselwirkungen-und-aktuelle-probleme-programm-und-abstracts/> (18.08.2024).

<sup>13</sup> Siehe <https://leibnizsozietaet.de/kolloquium-energiewende-2-0-die-ambivalente-waerme-im-fokus-der-wissenschaft-und-wirtschaft-der-technik-und-technologie/> (18.08.2024).

<sup>14</sup> Siehe <https://leibnizsozietaet.de/die-energiewende-2-0-essentielle-wissenschaftlich-technische-soziale-und-politische-herausforderungen/> (18.08.2024).

<sup>15</sup> Siehe <https://leibnizsozietaet.de/die-energiewende-2-0-im-fokus-die-kardinale-effektivitaet-und-effizienz-bericht/> (18.08.2024).

<sup>16</sup> Siehe <https://leibnizsozietaet.de/bericht-zum-kolloquium-und-expertendiskurs-die-energiewende-2-0-im-fokus-die-mobilitaet-am-07-mai-2021> (18.08.2024).

<sup>17</sup> Siehe <https://leibnizsozietaet.de/bericht-zur-tagung-kritische-rohstoffe/#more-24081> (18.08.2024).

<sup>18</sup> Siehe <https://leibnizsozietaet.de/bericht-zum-kolloquium-die-energiewende-2-0-im-fokus-die-infrastruktur/> (18.08.2024).

<sup>19</sup> Siehe <https://leibnizsozietaet.de/bericht-zum-kolloquium-kritische-rohstoffe-ii/#more-26451> (18.08.2024).

- 09.06.2023, Kolloquium: „Die Energiewende 2.0: Im Fokus die Stoffwirtschaft“<sup>20</sup> (Pfaff et al. 2023a);
- 24.03.2024, Kolloquium: „Kritische Rohstoffe: große Bedeutung, aber geringe öffentliche Wahrnehmung! Was ist zu tun?“<sup>21</sup>

Zu den Ergebnissen dieses Zeitraums gehören auch die 2018 erfolgte Herausgabe der Überblickspublikation „Energiewende 2.0 im Fokus – Bewährtes, Notwendiges, Kontroverses“ (Banse/Fleischer 2018) sowie – fast als logische Konsequenz – die Gründung des AK Energie, Mensch und Zivilisation im Jahr 2021.

### 3 Technikfolgenabschätzung und Lebenszyklus-Analysen als Gestaltungsmittel

Die Bestandsaufnahme von Aktivitäten in der LS und im LIFIS zur „Energiewende“ macht auch eine „Lücke“ zwischen Theorie und Praxis deutlich, die sich vor allem im Wissens-, im Bewertungs- und im Umsetzungsbereich manifestiert. Im Wissensbereich geht es insbesondere um Wissen über politische, rechtliche, ökonomische, soziale u.a. Rahmenbedingungen, über Konsumentenverhalten sowie über Techniknutzung und –folgen: Haben wir das Wissen, das wir benötigen bzw. benötigen wir das Wissen, das wir haben? Bei Bewertungen sind multikriterielle, dimensionenübergreifende Verfahren anzuwenden, wobei Konsens bzw. möglicher Dissens über Kriterien und deren Hierarchie zu berücksichtigen sind. Die letztendlich anzustrebende Umsetzung (Realisierung) der ausgewählten technischen Lösung wiederum ist neben finanziellen und Zeitfragen häufig mit Akzeptanzproblemen konfrontiert.<sup>22</sup> Mit der „Überwindung“ bzw. „Verkleinerung“ dieser „Lücke“ sind neben Wissenschaftlern weitere Akteure befasst, etwa aus den Bereichen Politik,

---

<sup>20</sup> Siehe <https://leibnizsozietat.de/bericht-zum-kolloquium-die-energiewende-2-0-im-fokus-die-stoffwirtschaft/> (18.08.2024).

<sup>21</sup> Siehe <https://leibnizsozietat.de/bericht-zum-kolloquium-kritische-rohstoffe-iii-am-24-maerz-2024/#more-28504> (18.08.2024).

<sup>22</sup> Der „Transformationsprozess“ von wissenschaftlichen Erkenntnissen in technische Lösungen ist generell mit vielfältigen Schwierigkeiten bzw. Hemmnissen konfrontiert (Banse 2015: 25–27). Rudolf Reichel etwa verweist auf eine ethisch-soziologische, eine ökonomische und eine Ressourcen-Schwelle (Reichel 1981), Diethard Schade thematisiert eine Wissens-, eine Methoden-, eine Kommunikations- und eine Machtbarriere (Schade 1991: 25–27).

Verwaltung, Recht und Planung. Generell sind rationale Lösungen anzustreben bzw. angestrebt, Lösungen, die auf inter- bzw. transsubjektiv nachvollziehbaren bzw. nachprüfbareren Denkinhalten und transparenten Methoden basieren (Banse 2006).<sup>23</sup> Zudem sollen diese Lösungen „zweckmäßig“ und „optimal“ sein. Dafür bietet es sich an, (auch) auf zwei etablierte „Verfahren“ zurückzugreifen, die in der LS bereits (u.a. mit Bezug zu Energiethemen) debattiert wurden: Technikfolgenabschätzung (bzw. Technikbewertung/Technology Assessment; TA) und Lebenszyklus-Analysen (Life Cycle Assessment; LCA).

### 3.1 TA

TA beinhaltet das mehr oder weniger systematische und weitgehend umfassende Erfassen (Beschreiben) und Beurteilen (Bewerten) der Einführungsbedingungen (Voraussetzungen) sowie der Nutzungs- und Folge-dimensionen (Wirkungen) technischen Handelns unter gesellschaftlichen, politischen, ökonomischen, ökologischen, technischen, wissenschaftlichen, militärischen und humanen (einschließlich ethischen) Aspekten in praktischer Absicht und nachvollziehbarer Weise (VDI 1991). Dazu werden folgende Werte ausgewiesen, die als Bewertungskriterium und Anforderungsstrategie für technisches (Entscheidungs-)Handeln entscheidend sind (Abbildung 1):

- Funktionsfähigkeit
- Sicherheit
- Gesundheit
- Umweltqualität
- Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich)
- Wohlstand (gesamtwirtschaftlich)
- Persönlichkeitsentfaltung und Gesellschaftsqualität

---

<sup>23</sup> Zentrale und konstitutive Eigenschaften des Rationalitätsbegriffs sind mit Armin Grunwald (a) Relationalität, (b) Prozeduralität und (c) Reflexivität (Grunwald 2002: 199–204).

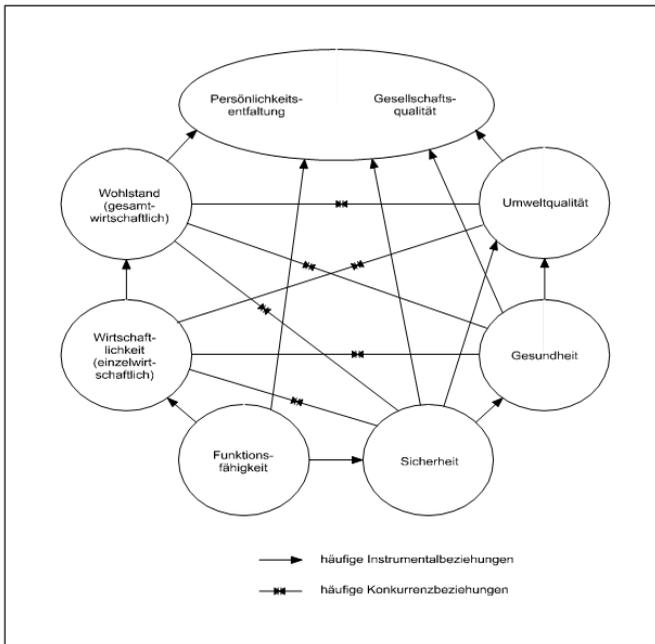


Abb. 1: Kriterien der Technikbewertung (Quelle VDI 1991).

Diese Werte und deren jeweilige Bedeutsamkeit sind jedoch nicht „offensichtlich“, sondern zwischen den Beteiligten „auszuhandeln“. Zudem sind sie mit Blick auf den jeweils zur Diskussion stehenden Technikbereich zu konkretisieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es zwischen ihnen neben „Folgebeziehungen“ und „Gleichgerichtetheit“ vielfältige Konkurrenzbeziehungen und Priorisierungen gibt, die darauf verweisen, dass jeweils Abwägungen vorzunehmen sind, die subjektiv unterschiedlich gewertet werden (können).

Im AK Allgemeine Technologie wurde vor diesem Hintergrund der „technologische Trichter“ eingeführt (Abbildung 2), mit dem visualisiert wird, dass jede technische Entwicklung einen Bewertungs- und Selektionsprozess durchläuft, in dem sukzessive die eingangs bereits genannte komplexe Frage zu beantworten ist, ob das, was naturwissenschaftlich möglich, technisch-technologisch realisierbar und ökonomisch machbar ist, sich auch als gesellschaftlich wünschenswert und durchsetzbar, ökologisch sinnvoll sowie human vertretbar erweist (Banse/Reher 2004: 6-7).

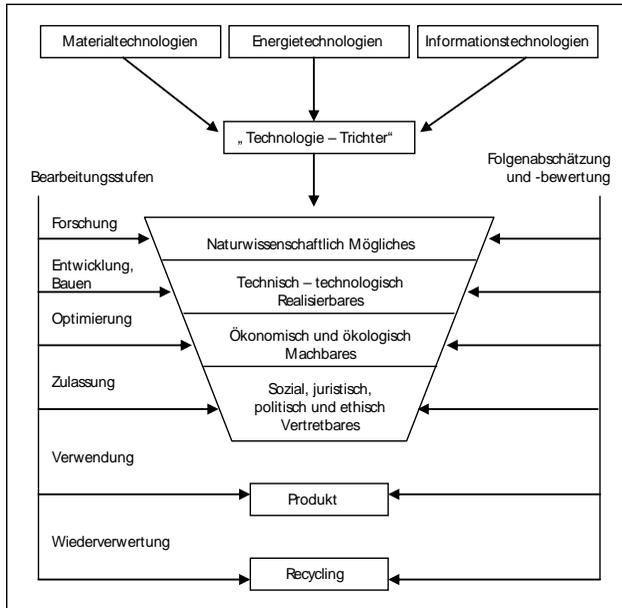


Abb. 2: Der technologische Trichter (Quelle: Banse/Reher 2004: 7).

Als Beispiele aus dem Energiebereich sei auf Beiträge auf den Symposien „Ambivalenzen von Technologien – Chancen, Gefahren, Missbrauch“ im Jahr 2010 (vgl. etwa Mertzsch 2011; Seeliger 2011), „Technik – Sicherheit – Techniksicherheit“ im Jahr 2012 (vgl. etwa Fratzscher 2013) und „Technologie und nachhaltige Entwicklung“ im Jahr 2016 (vgl. etwa Banse/Reher 2017; Becker/Jeremias 2017). Dabei zeigt sich, dass TA mit zahlreichen „lebensweltlichen Widerfahrnissen“ konfrontiert ist. Genannt seien das

- *Prognose-Dilemma*: Inwieweit sind Aussagen über mögliche Folgen technischer Hervorbringungen angesichts der Komplexität des Gegenstandes, der Offenheit der Zukunft und der Veränderung der Bedingungen rechtfertigbar?
- *Pluralismus-Dilemma*: Wie können die Vielfalt von handlungsleitenden Wertvorstellungen, Präferenzen, Interessen, Technikbildern und Zielen praktikabel berücksichtigt werden?

- *Interdisziplinaritäts-Dilemma*: Wie lässt sich das für TA notwendige interdisziplinäre Zusammenwirken methodologisch und organisatorisch angesichts vielfältiger Probleme und Hemmnisse „bewerkstelligen“?

Die bereits genannten Beispiele deuten Lösungswege und -möglichkeiten für den Umgang mit diesen „Dilemmata“ an.

### 3.2 LCA

LCA bedeutet

- eine systematische Analyse (möglichst) aller Umweltwirkungen von Produkten während des gesamten Lebensweges („von der Wiege bis zur Bahre“ / „from cradle to grave“)
- im Sinne einer ganzheitlichen Bilanzierung, die wirtschaftliche, ökologische, technische, soziale, ... Aspekte mit einbezieht,
- unter Berücksichtigung der Zeitdimension (Abbildung 3).

Dazu gehören sämtliche Umweltwirkungen während der Produktion, der Nutzungsphase und der Entsorgung des Produktes sowie die damit verbundenen vor- und nachgeschalteten Prozesse (z. B. Herstellung der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe).<sup>24</sup>



Abb. 3: Phasen des Lebenszyklus technischer Sachsysteme (Quelle: Banse 2021: 53).

<sup>24</sup> Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Lebenszyklusanalyse> (18.08.2024).

Zu erfassen und zu bewerten sind vor allem (Banse/Mertzsch 2021: 8):

- in der *Herstellungsphase*: Ressourcenbereitstellung und -verbrauch, Energieverbrauch, Toxizität, Raum- und Gebäudebedarf, Transportbedarf (Entfernungen);
- in der *Nutzungsphase*: Energieverbrauch, Nutzungsdauer und -muster, direkte und indirekte Induktions- sowie Rebound-Effekte;
- in der „*Auflösungsphase*“ (Zerlegung, Recycling, Deponierung): Transport-, Energie-, Platzaufwand, Toxizität, Nachnutzung des Standorts.

Im Symposium „Lebenszyklusanalysen. Stationen im Lebenszyklus von Technologien und Aspekte ihrer Bewertung“ im Jahr 2020 wurde dieses Konzept auch auf den Energiebereich (i.w.S.) angewendet (Banse 2021, vor allem 61-65; Becker 2021; Jeremias 2021). Dabei wurden u.a. folgende Probleme deutlich:

- *Unsicherheit und Qualität der Datenbasis* (Nutzung von Durchschnittswerten aus Datenbanken, Alter von Daten, Messunsicherheiten, Verfügbarkeit, Änderung der Bewertung von Daten hinsichtlich der Relevanz innerhalb des Lebenszyklus, Nutzungsdauer und -muster);
- *Subjektivität von Systemgrenzen und Bewertungen* (Betrachtungshorizont und Annahmen; Festlegungen; Präferenzen/Priorisierungen, Wertehierarchien, Abwägungen);
- *Ungenügende oder Nichtberücksichtigung sozialer Implikationen*;
- *Reboundeffekte* (etwa Beziehungen von Effizienz und Suffizienz<sup>25</sup>).

## 4 Fazit

Das Vorstehende lässt sich wie folgt zusammenfassen

1. In der LS und im LIFIS wurden stets Probleme mit Zusammenhang mit „Energie“ thematisch und methodisch vielfältig behandelt.
2. Das Spektrum hat sich dabei von grundsätzlicheren Themen („Kernenergie versus Solarzeitalter!“) zu differenzierenden Ansätzen („kritische Rohstoffe“, „Energiewende“) verschoben.

---

<sup>25</sup> *Effizienz* bedeutet hier die Reduzierung des Stoff- und Energieverbrauchs je Einheit hergestellter Güter oder Dienstleistungen, während sich *Suffizienz* auf die generelle Reduzierung der hergestellten Menge und Nutzung von Gütern bzw. Dienstleistungen bezieht.

3. Es überwiegen technikbezogene Darstellungen. Ökonomische, ökologische, soziale, kulturelle, anthropologisch-humane und ethische Aspekte werden weniger systematisch betrachtet (Abnahme in der genannten Reihenfolge!).
4. TA und LCA erweisen sich – trotz aller kognitiven, methodischen und normativen Schwierigkeiten, Probleme und Dilemmata – als Möglichkeit der Politikberatung. (Wir haben nichts Besseres!) Der Umgang mit ihnen führt häufig zu Kompromissen und oftmals zu suboptimalen Lösungen. Das sollte jedoch nicht daran hindern, Konzepte der Technisierung und des technischen Wandels weiter zu verfolgen, diskutierend weiter zu konkretisieren. Daran führt kein Weg vorbei!
5. Insbesondere mit den Publikationen liegt ein wissenschaftlicher Fundus vor, der aber weder in der LS und im LIFIS noch – und vor allem – „extern“ ausreichend genutzt wird.
6. Zukünftig ist zu klären, welche (weltanschaulich-)konzeptionellen „Basisannahmen“ die Energiewende (mehr) befördern bzw. verhindern (Natur-/Technik-Verständnis, Autonomie des Individuums, „Marktzwang“, „Grundwerte“, ...).

## Bibliographie

- Andreeff, Alexander; Seeliger, Dieter (Hrsg.) (2007): *50 Jahre Forschung für die friedliche Nutzung der Kernenergie*. Berlin: trafo Verlag (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 89).
- Banse, Gerhard (2006): „Gelingende Integration unterschiedlicher Rationalitäten?“ *Rationality and Procedurality (Rationalität und/als Proceduralität)*, hrsg. von Gerhard Banse; Monika Bartíková. Prag: Institut für Philosophie der Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik, 47–67 (Teorie Vědy. Časopis pro teorii vědy, techniky a komunikace / Theory of Science. Journal for Theory of Science, Technology & Communication 15/28, 1).
- Banse, Gerhard (2015): „Technikverständnis – Eine unendliche Geschichte...“. *Technologiewandel in der Wissensgesellschaft – qualitative und quantitative Veränderungen* –, hrsg. von Gerhard Banse; Ernst-Otto Reher. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, 19-34 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 122).

- Banse, Gerhard (2021): „Der Lebenszyklus von Technologien im Rahmen der Allgemeinen Technologie II“. *Lebenszyklusanalysen. Stationen im Lebenszyklus von Technologien und Aspekte ihrer Bewertung*, hrsg. von Gerhard Banse; Norbert Mertzsch. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, 53-66 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 146).
- Banse, Gerhard; Fleischer, Lutz-Günther (Hrsg.) (2014): *Energiewende – Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag*. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 31).
- Banse, Gerhard; Fleischer, Lutz-Günther (Hrsg.) (2018): *Energiewende 2.0 im Fokus – Bewährtes, Notwendiges, Kontroverses*. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 47).
- Banse, Gerhard; Küttler, Wolfgang; Rothe, Heinz-Jürgen (Hrsg.) (2018): *25 Jahre Leibniz-Sozietät – Vielfalt des wissenschaftlichen Lebens 1993 bis 2018. Beiträge und Materialien*. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 137).
- Banse, Gerhard; Mertzsch, Norbert (2021): „Einführung“. *Lebenszyklusanalysen. Stationen im Lebenszyklus von Technologien und Aspekte ihrer Bewertung*, hrsg. von Gerhard Banse; Norbert Mertzsch. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, 7-13 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 146).
- Banse, Gerhard; Reher, Ernst-Otto (2004): „Einleitung“. *Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie*, hrsg. von Gerhard Banse; Ernst-Otto Reher. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, 5-16 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 75).
- Banse, Gerhard; Reher, Ernst-Otto (2017): „Technologie und nachhaltige Entwicklung – Einführende Überlegungen“. *Technologie und nachhaltige Entwicklung*, hrsg. von Gerhard Banse; Ernst-Otto Reher. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, 31-48 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 130).
- Becker, Kerstin (2021): „Eine Energieerzeugungsanlage im Wandel der rahmenpolitischen und gesetzlichen Vorgaben am Beispiel der Wärmeerzeugung der Stadtwerke Rheinsberg GmbH“. *Lebenszyklusanalysen. Stationen im Lebenszyklus von Technologien und Aspekte ihrer Bewertung*, hrsg. von Gerhard Banse; Norbert Mertzsch. Berlin: trafo Wissen-

- schaftsverlag, 87-97 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 146).
- Becker, Kerstin; Jeremias, Ernst-Peter (2017): „Nachhaltigkeitsaspekte einer zukunftssicheren Energieversorgung von Städten und Gemeinden“. *Technologie und nachhaltige Entwicklung*, hrsg. von Gerhard Banse/Ernst-Otto Reher. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, 77-88 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 130).
- Blumenthal, Gert (2002): „Arbeitskreis Solarzeitalter besichtigt Innovationspark ‚Brennstoffzelle‘“. *Leibniz intern. Mitteilungen der Leibniz-Sozietät* 15 v. 10. November, 4-5. – <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/LI-15.pdf> (18.08.2024).
- Blumenthal, Gert; Öhlmann, Gerhard (Hrsg.) (2005): *Solarzeitalter – Vision und Realität*. Berlin: trafo Verlag (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät 15).
- Fleischer, Lutz-Günther; Mertzsch, Norbert (Hrsg.) (2017): „Beiträge zum Kolloquium: Energiewende 2.0 – Die ambivalente ‚Wärme‘ im Fokus der Wissenschaft und Wirtschaft, der Technik und Technologie“. *Leibniz Online*. Internetzeitschrift der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften e. V. 29. – <https://leibnizsozietat.de/internetzeitschrift-leibniz-online-nr-29-2017/> (18.08.2024).
- Fratzsch, Wolfgang (2013): „Über die Sicherheitskultur bei Kernkraftwerken“. *Technik – Sicherheit – Techniksicherheit*, hrsg. von Gerhard Banse; Ernst-Otto Reher. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2013, 33-49 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 116).
- Greiling, Reinhard O. (Hrsg.) (2015): „Workshop ‚Naturressourcen, Energie, Umwelt: Wechselwirkungen und aktuelle Probleme‘“. *Leibniz Online*. Internetzeitschrift der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften e. V. 17. – <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Portfolio-LO-17-2015.pdf> (18.08.2024).
- Grunwald, Armin (2002): „Rationalität in der gesellschaftlichen Gestaltung der Technik oder blinde Evolution?“. *Rationalität heute. Vorstellungen, Wandlungen, Herausforderungen*, hrsg. von Gerhard Banse; Andrzej Kiepas. Münster u.a.O.: LIT Verlag, 191-209 (Technikphilosophie 9).
- Jeremias, Ernst-Peter (2021): „Einkommensenergien und Recycling – Wichtige Voraussetzungen für eine nachhaltige Elektromobilität“. *Lebenszyklusanalysen. Stationen im Lebenszyklus von Technologien und Aspekte ihrer Bewertung*, hrsg. von Gerhard Banse; Norbert Mertzsch. Berlin:

- trafo Wissenschaftsverlag, 99-110 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 146).
- Jeremias, Ernst-Peter; Mertzsch, Norbert (Hrsg.) (2021): *Die Energiewende 2.0. Im Fokus: Die Mobilität*. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 147). – <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2021/10/Gesamtdatei-147-2021.pdf> (18.08.2024).
- Kautzleben, Heinz (2005): „3. Workshop des Arbeitskreises Energieversorgung“. *Leibniz intern. Mitteilungen der Leibniz-Sozietät* 29 v. 7. Oktober, 8-9. – <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/LI-29.pdf> (18.08.2024).
- Kautzleben, Heinz; Calov, Ursula (Hrsg.) (2005): *Sichere Versorgung der Menschheit mit Energie und Rohstoffen*. Berlin: trafo Verlag (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 82).
- Mertzsch, Norbert (2011): „Ambivalenzen erneuerbarer Energien“. *Ambivalenzen von Technologien – Chancen, Gefahren, Missbrauch*, hrsg. von Gerhard Banse; Ernst-Otto Reher. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, 143-152 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 112).
- Mertzsch, Norbert; Jeremias, Ernst-Peter (Hrsg.) (2022): *Die Energiewende 2.0. Im Fokus: Die Infrastruktur*. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 155). – <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/02/SB155.pdf> (18.08.2024).
- Morgenstern, Christian (1922): *Stufen. Eine Entwicklung in Aphorismen und Tagebuch-Notizen*. München: R. Piper & Co. Verlag. – <https://www.gutenberg.org/files/15898/15898-h/15898-h.htm> (18.08.2024).
- Pfaff, Gerhard; Greiling, Reinhard O. (Hrsg.) (2022): *Kritische Rohstoffe, Gewinnung bis Entsorgung: Die Geowissenschaften als Problemlöser*. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 154). – <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/02/SB154.pdf> 18.08.2024).
- Pfaff, Gerhard; Mertzsch, Norbert; Jeremias Ernst-Peter (Hrsg.) (2023): *Die Energiewende 2.0. Im Fokus: Die Stoffwirtschaft*. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 158). – [https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/12/01\\_SB-158-0.pdf](https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/12/01_SB-158-0.pdf) (18.08.2024).

- Pfaff, Gerhard; Müller, Axel; Greiling, Reinhard O. (Hrsg.) (2023b): *Kritische Rohstoffe: Auswirkungen wachsender geo- und klimapolitischer Herausforderungen auf die Rohstoffversorgung Deutschlands und Europas*. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 159). – <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2024/01/SB159.pdf> (18.08.2024).
- Reichel, Rudolf (1981): *Zu einigen Entstehungsbedingungen und Gesetzmäßigkeiten der Ausbreitung komplexer Neuerungsprozesse in der Volkswirtschaft*. Berlin: Hochschule für Ökonomie (Mitteilungen zu wissenschaftsökonomischen Untersuchungen der Hochschule für Ökonomie Berlin 1).
- Schade, Diethard (1991): „Technikbewertung und Produktfolgenabschätzung. Möglichkeiten und Grenzen“. *Integrierter Umweltschutz. Ingenieurkonzepte für eine umweltverträgliche Technikgestaltung*, hrsg. vom VDI – Verein Deutscher Ingenieure. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 17-29 (VDI-Berichte 899).
- Seeliger, Dieter (2011): „Ambivalenzen in der Uranwirtschaft – Segen oder Fluch für die Menschheit?“. *Ambivalenzen von Technologien – Chancen, Gefahren, Missbrauch*, hrsg. von Gerhard Banse; Ernst-Otto Reher. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, 83-101 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 112).
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure (1991): *VDI-Richtlinie 3780 „Technikbewertung. Begriffe und Grundlagen“*. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.



## **Stromwende – Stand und weitere Herausforderungen**

***Philipp Godron***

*(Agora Energiewende)<sup>1</sup>*

### **Abstract**

Germany faces major challenges in achieving its climate goals and driving forward the energy transition. Since 1990, emissions from the energy industry have fallen by 56%, which shows the effectiveness of previous measures. Nevertheless, further efforts are necessary to limit global warming and achieve the climate goals for 2030. Electricity generation from renewable energies reached a record level of 261 TWh in 2023 and covers over 50% of electricity consumption for the first time. Photovoltaics experienced a record expansion of 14.6 GW, while the expansion of onshore wind energy fell short of targets at 3 GW. An acceleration of the expansion of wind energy is necessary, even if the number of permits for wind turbines has increased significantly. A climate-neutral electricity system by 2035 requires a substantial further increase of wind and solar invest, incentives for more flexible electricity demand, for example through electric vehicles and electrolysers, and new hydrogen ready gas power plants. The expansion of the network infrastructure, both transmission and distribution networks, will require major investments in the next 15 years. Efficient planning and smart technologies are crucial to

---

<sup>1</sup> Agora Energiewende ist ein deutscher Think Tank, der unabhängig und überparteilich agiert und von verschiedenen philanthropischen Stiftungen finanziert wird. Seine Hauptaufgabe ist es, die Energiewende in Deutschland und weltweit zu einer Erfolgsgeschichte zu machen. Dies geschieht durch Analysen, Studien, den Austausch von Experten sowie durch Dialoge mit Entscheidungsträgern und Beratungsleistungen durch Agora.

controlling these costs. Despite the progress, there are still significant challenges, especially in expanding wind energy and making power grids more flexible. The energy transition in Germany requires coordinated efforts and investments to build the necessary infrastructure and promote cross-sector integration.

### **Zusammenfassung**

Deutschland steht vor großen Herausforderungen, um die Klimaziele zu erreichen und die Energiewende voranzutreiben. Seit 1990 sind die Emissionen der Energiewirtschaft um 56% gesunken, was die Wirksamkeit bisheriger Maßnahmen zeigt. Dennoch sind weitere Anstrengungen notwendig, um die Erderwärmung zu begrenzen und die Klimaziele für 2030 zu erreichen. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien hat 2023 einen Rekordwert von 261 TWh erreicht und deckt erstmals über 50% des Stromverbrauchs. Die Photovoltaik erlebte einen Rekordzubau von 14,6 GW, während der Ausbau der Windenergie an Land mit 3 GW hinter den Zielen zurückblieb. Eine Beschleunigung des Windenergieausbaus ist erforderlich, auch wenn die Genehmigungen für Windenergieanlagen deutlich gestiegen sind. Ein klimaneutrales Elektrizitätssystem bis 2035 erfordert eine erhebliche weitere Steigerung der Wind- und Solarinvestitionen, Anreize für eine flexiblere Stromnachfrage, z. B. durch Elektrofahrzeuge und Elektrolyseure, sowie neue wasserstofffähige Gaskraftwerke. Der Ausbau der Netzinfrastruktur, sowohl der Übertragungs- als auch der Verteilungsnetze, wird in den nächsten 15 Jahren erhebliche Investitionen erfordern. Effiziente Planung und intelligente Technologien sind entscheidend für die Kontrolle dieser Kosten. Trotz der Fortschritte gibt es noch erhebliche Herausforderungen, vor allem beim Ausbau der Windenergie und der Flexibilisierung der Stromnetze. Die Energiewende in Deutschland erfordert koordinierte Anstrengungen und Investitionen, um die notwendige Infrastruktur aufzubauen und die sektorenübergreifende Integration zu fördern.

### **Keywords/Schlüsselwörter**

energy transition, renewable energies, climate targets, grid infrastructure, power generation

Energiewende, erneuerbare Energien, Klimaziele, Netzinfrastruktur, Stromerzeugung

## 1 Entwicklung der Treibhausgasemissionen

Seit 1990 sind die Treibhausgasemissionen in der Energiewirtschaft um 56% gesunken. Diese bedeutende Reduktion zeigt, dass die bisherigen Maßnahmen, insbesondere der Ausbau der Erneuerbaren Energien und Effizienzsteigerungen in Industrie, Gewerbe und Haushaltsanwendungen, Wirkung zeigen (Abbildung 1).

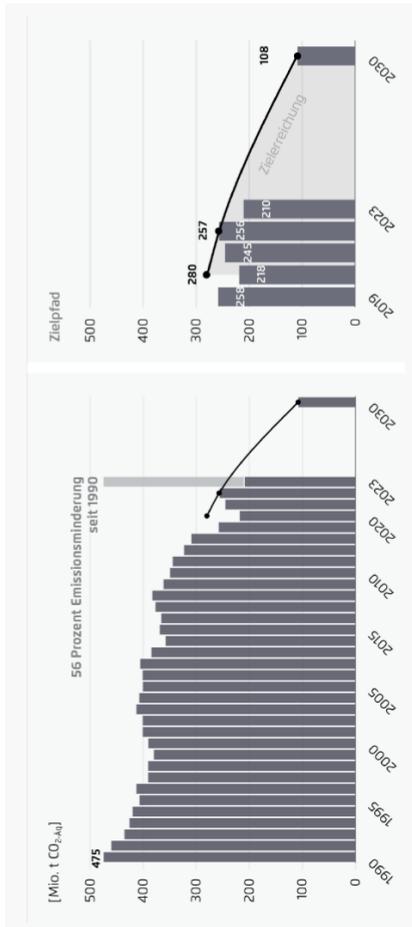


Abb. 1: Emissionsminderung im Sektor Energiewirtschaft [Agora Energiewende (2024); Agora Energiewende, Prognos, Consentec (2022)]

Dennoch sind weiterhin erhebliche Anstrengungen erforderlich, um die ambitionierten Klimaziele für 2030 zu erreichen. Die Herausforderungen sind vielfältig und betreffen sowohl die Reduktion von Treibhausgasemissionen als auch die Anpassung der Infrastruktur an die Erfordernisse der Energiewende.

## 2 Status der Stromerzeugung in Deutschland

Die Nettostromerzeugung in Deutschland sank von 550 Terawattstunden (TWh) im Jahr 2022 auf 492 TWh im Jahr 2023 (Abbildung 2).

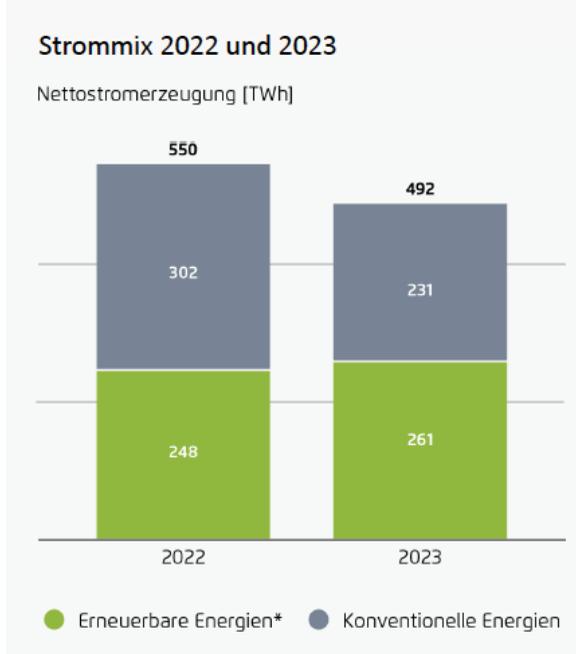


Abb. 2: Strommix in Deutschland 2022 und 2023 in der Nettostromerzeugung.

Gleichzeitig erreichten die erneuerbaren Energien eine Rekordmarke von 261 TWh erzeugter Energie, was deren wachsende Bedeutung im Energiemix unterstreicht: erstmals lag der Erneuerbaren-Anteil am Bruttostromverbrauch 2023 über 50%. Die Kohleverstromung fiel auf den niedrigsten Stand seit den 1960er Jahren, was ebenfalls zur Senkung der Emissionen beiträgt. Gleichzeitig profitiert Deutschland vom europäischen Strombinnenmarkt, indem zu Zeiten hoher EE-Einspeisung

Strom in die Nachbarländer exportiert, und im umgekehrten Fall Strom importiert wird. Im Saldo war Deutschland im Jahr 2023 Nettoimporteur von 11,7 TWh Strom, was einem Anteil von 2,2% des gesamten Stromverbrauchs entspricht. Erneuerbare Energien stellten dabei die größte Quelle sowohl bei Importen als auch Exporten dar, was ihre zentrale Rolle im Stromsektor verdeutlicht. Der Anteil der verschiedenen Energieträger an der Nettostromerzeugung 2023 im Vergleich zu 2022 ist in Abbildung 3 dargestellt.

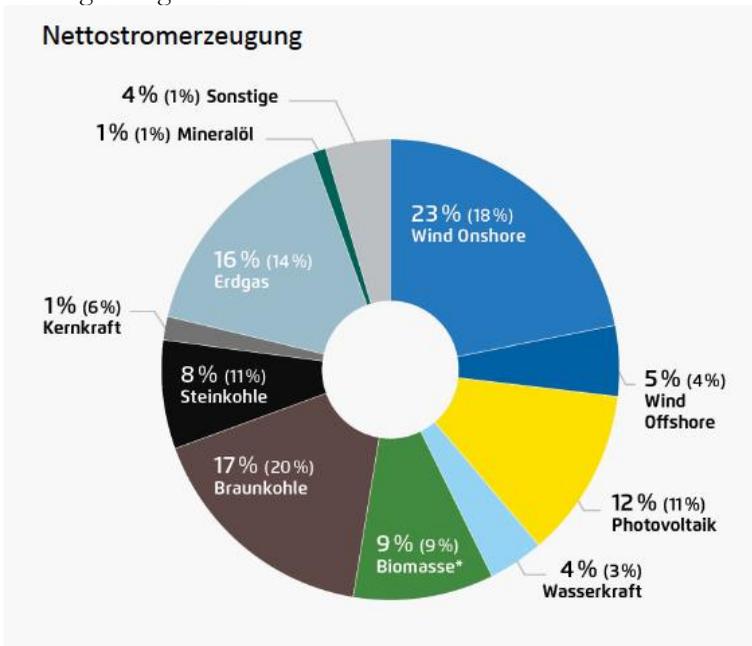


Abb. 3: Anteil der Energieträger an der Nettostromerzeugung 2023 (2022)

### 3 Ausbau von Photovoltaik und Windenergie

Der Ausbau von Photovoltaik und Windenergie ist in Deutschland deutlich fortgeschritten. Die Photovoltaik verzeichnete 2023 einen Rekordzubau von 14,6 Gigawatt (GW), was den bisherigen Rekord aus dem Jahr 2012 um 6,2 GW übertraf. Dieser Zubau zeigt, dass die Photovoltaik auf einem guten Weg ist, die Ziele für 2030 zu erreichen (Abbildung 4).

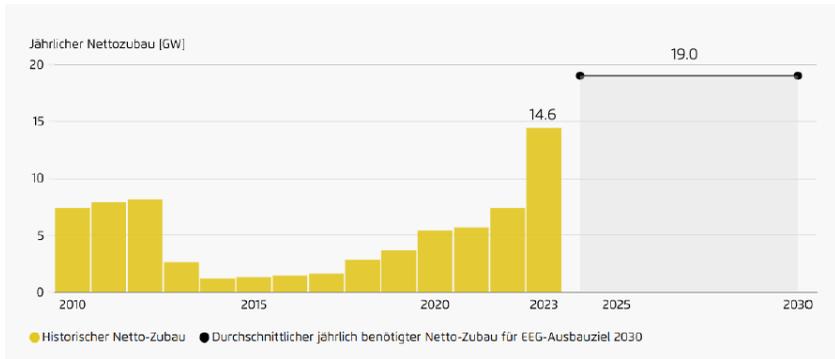


Abb. 4: Historischer und zukünftig benötigter Photovoltaik-Zubau für EEG-Ziele

Im Gegensatz dazu blieb der Zubau von Windenergie an Land mit 3 GW deutlich hinter den Anforderungen zurück. Um die Ziele für 2030 zu erreichen, muss der Ausbau der Windenergie etwa 2,5-mal schneller erfolgen (Abbildung 5). Ein positiver Trend ist jedoch der Anstieg der Genehmigungen für Windenergieanlagen an Land um 74% im Vergleich zum Vorjahr, was für die kommenden Jahre optimistisch stimmt.

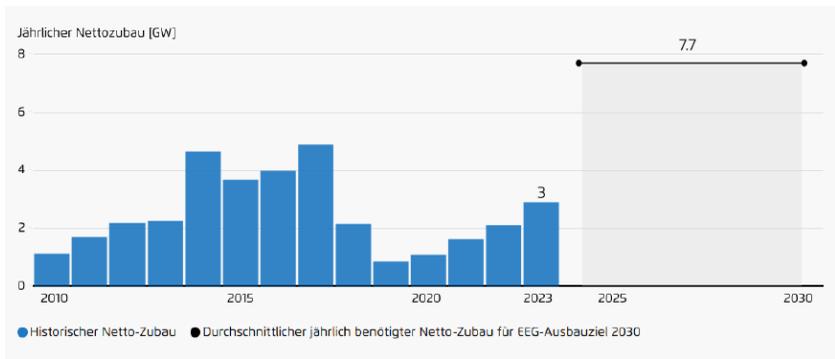


Abb. 5: Historischer und zukünftig benötigter Wind-an-Land-Zubau für EEG-Ziele

#### 4 Herausforderungen und Flexibilität

An dieser Stelle muss auf die Notwendigkeit verwiesen werden, die Flexibilität sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite zu

erhöhen. Um bis 2030 einen Anteil von 80% an erneuerbaren Energien zu erreichen, sind eine Beschleunigung des Ausbaus von Erzeugerkapazitäten und Netzen sowie Anpassungen im Marktdesign erforderlich. Dies erfordert einen Paradigmenwechsel beim Netzausbau und die Entwicklung eines umfassenden Systementwicklungsplans für Strom-, Wärme- und Wasserstoffnetze. Die Flexibilisierung der Stromnachfrage und der Ausbau der europäischen Interkonnektoren sind ebenfalls von großer Bedeutung. Eine sektorgekoppelte Kraftwerkstrategie sollen sicherstellen, dass ausreichend flexible Leistung auf Angebots- und Nachfrageseite bereitgestellt wird. Dazu gehören Flexibilitätsanreize in der Förderung von Biomasse und KWK-Anlagen, die Anpassung der bisherigen Bandlastprivilegien in der Netzentgeltgestaltung für die energieintensive Industrie und ein beschleunigter smart meter-Ausbau, um differenzierte Preissignale an z.B. Autobatterien, Wärmepumpen oder PV-Heimspeicher-Systeme vermitteln zu können.

Im Szenario eines klimaneutralen Stromsystems bis 2035 verdoppelt sich die installierte Leistung von Gaskraftwerken von 30 GW im Jahr 2022 auf 61 GW im Jahr 2035. Neue Kraftwerke müssen von Beginn an H2-ready sein, um den Übergang zu einer Wasserstoffwirtschaft zu ermöglichen. Über Preissignale orientieren Teile der Nachfrage, von bestimmten flexibilisierbaren Prozessen in der Industrie, über Elektro-PKWs, Wärmeerzeuger und Elektrolyseure, sich an der Erzeugung von Wind und PV, um in möglichst großem Umfang von günstigen Strompreisen zu profitieren. . Auch Batteriespeicher und Pumpspeicherkraftwerke bieten erhebliche Flexibilitätspotenziale.

## **5 Netzinvestitionen und Kosten**

Die Finanzierung der Energiewende führt immer wieder zu kontroversen Debatten. Die langfristigen Kosten für die Netzinfrastruktur werden bis 2045 deutlich ansteigen (Abbildung 6). Trotz einer Verdreifachung der Investitionen in Übertragungsnetze bleiben die Verteilnetze der größte Kostenblock. Diese Verteilnetzkosten variieren regional stark, was auf Unterschiede in der Abnahmedichte und dem Ausbau erneuerbarer Energien zurückzuführen ist. Hier gilt es, Ausgleichsmechanismen zu schaffen, die Kosten fair innerhalb Deutschlands zu verteilen – der zum 1.1.2025 von der Bundesnetzagentur eingeführte Ausgleichsmecha-

nismus geht in die richtige Richtung. Die Geschwindigkeit der Elektrifizierung und die Flexibilisierung der Nachfrage sind zentrale Faktoren für die spezifischen Kosten der Verbraucher. Effiziente Netznutzung kann den Ausbaubedarf und damit den Anstieg der Netzkosten verringern. Digitalisierung und die damit verbundene Mess- und Steuerbarkeit auch im Verteilnetzbetrieb können ebenfalls dazu beitragen, die Netzkosten zu senken. Wenn sich, wie geplant, durch umfassende Elektrifizierungsmaßnahmen in Industrie, Verkehr und der Wärmeversorgung der Stromverbrauch in den kommenden 20 Jahren verdoppelt, dann können die spezifischen Kosten für die Netzinfrastruktur annähernd auf dem heutigen Niveau stabilisiert werden.



Abb. 6: Annuitätische (d. h. langfristig durchschnittliche, jährliche) Netzkosten (CAPEX) -Langfristszenarien BMWK, T45 Strom [Fraunhofer ISI; Consentec GmbH u. a. (2024)]

## 6 Fazit und Ausblick

Deutschlands Treibhausgasemissionen sind im Jahr 2023 aufgrund einer veränderten Stromhandelsbilanz, Produktionsrückgängen in der energieintensiven Industrie und Einsparungen beim Strom- und Gasverbrauch auf den tiefsten Stand seit 70 Jahren gefallen. Erneuerbare Energien deckten erstmals über 50 Prozent des Bruttostromverbrauchs, was einen wichtigen Meilenstein zum Erreichen des 80%-Ziels der Bundesregierung bis 2030 darstellt. Die Photovoltaik verdoppelte fast ihren Zubau im Vergleich zu 2022, während der Wind-Onshore-Ausbau weiterhin schwach blieb. Dennoch geben die steigenden Genehmigungen für Windenergieanlagen Anlass zu Optimismus für die Zukunft.

Für die erfolgreiche Transformation des Stromsystems sind neben dem Ausbau von Wind und Photovoltaik Investitionen in die Übertragungs- und Verteilnetzinfrastruktur, in Flexibilität von Erzeugung residualer Kraftwerke, industrieller und privater Nachfrage sowie von Batteriespeichern erforderlich, sowie in die Absicherung des Bedarfs in Zeiten geringer Verfügbarkeit der Erneuerbaren. Es ist daher entscheidend, dass die Bundesregierung das Marktdesign anpasst, um Investitionen in Erneuerbare, Flexibilität und wasserstofffähige Gaskraftwerke genauso anzureizen wie flexible Fahrweise und Verbrauch

## Bibliographie

- Agora Energiewende (2024): *Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2023. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2024*. Siehe auch [https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-35\\_DE\\_JAW23/A-EW\\_317\\_JAW23\\_WEB.pdf](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-35_DE_JAW23/A-EW_317_JAW23_WEB.pdf).
- Agora Energiewende, Prognos, Consentec (2022): *Klimaneutrales Stromsystem 2035. Wie der deutsche Stromsektor bis zum Jahr 2035 klimaneutral werden kann*. Siehe auch: [https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021\\_11\\_DE\\_KNStrom2035/A-EW\\_264\\_KNStrom2035\\_WEB.pdf](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_11_DE_KNStrom2035/A-EW_264_KNStrom2035_WEB.pdf).
- Fraunhofer ISI; Consentec GmbH u. a. (2024): *Langfristszenarien 3- Wissenschaftliche Analysen zur Dekarbonisierung Deutschlands; Foliensätze*. <https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/>, abgerufen am 16.10.2024.



## **Wärmewende – Stand und weitere Herausforderungen**

**Kerstin Becker** (Ingenieurbüro Deine Fernwärme), **Ernst Peter Jeremias** (Flecken Zechlin, MLS), **Christian Reymann** (tetra ingenieure GmbH)

### **Abstract**

Heat transition in Germany – status and further challenges. Due to its share of energy consumption in Germany, a high degree of attention needs to be paid to the heating sector. The federal government's goal here is to achieve climate neutrality by 2045. In order to achieve the goal set by the federal government, all areas of the heating sector must be considered. Starting with the climate-neutral provision of heat, through reducing heat consumption and ending with lowering the temperature level, both in the area of production and consumption. The following article provides an overview of the goals set and the actors involved. It also suggests possible means and methods for achieving goals and provides an overview of the status quo in the heating sector.

### **Resümee**

Wärmewende in Deutschland – Stand und weitere Herausforderungen. Dem Sektor Wärme ist aufgrund seines Anteils am Energieverbrauch in Deutschland ein hohes Maß an Aufmerksamkeit zu widmen. Die Zielstellung der Bundesregierung ist hier das Erreichen der Klimaneutralität bis zum Jahr 2045. Um das durch die Bundesregierung gesteckte Ziel erreichen zu können, sind alle Bereiche des Wärmesektors zu betrachten. Beginnend bei der klimaneutralen Wärmebereitstellung über die Reduzierung des Wärmeverbrauches bis hin zur Senkung des Temperaturni-

veaus, sowohl im Bereich der Erzeugung als auch im Bereich des Verbrauches. Folgender Beitrag gibt einen Überblick über die gesteckten Ziele und die beteiligten Akteure. Zudem schlägt sie mögliche Mittel- und Methoden zur Zielerreichung vor und gibt einen Überblick über den Status quo im Sektor Wärme.

**Keywords/Schlüsselwörter**

climate neutrality, energy consumption in Germany, district heating Wärmewende, Status quo, Zielstellung 2045, Energiewende, klimaneutral, Fernwärme, Sanierung, erneuerbare Energien, Energieverbräuche in Deutschland

**1 Warum ist der Fokus auf den Wärmesektor für die Energiewende wichtig?**

Der Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2021 betrug 8.789 PJ. Davon fielen ca. 57%, also 5.027 PJ an Energieverbrauch auf den Sektor Wärme (Abb) (AG Energiebilanzen 2023a). Diese 57% teilen sich in 29% Raumwärme, 23% Prozesswärme und 5% Warmwasser auf. Somit entfällt auf die Bereiche Raumwärme und Prozesswärme bereits mehr als die Hälfte des deutschlandweiten Endenergieverbrauches.

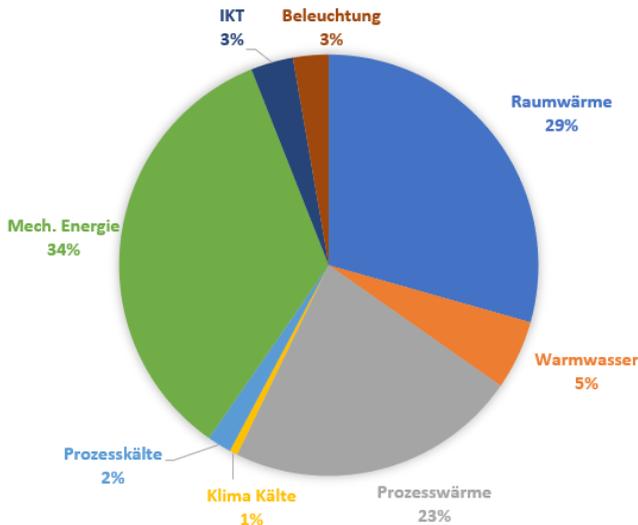


Abb. 1: Aufteilung des Endenergieverbrauches in Deutschland für das Jahr 2021 in Prozent, eigene Darstellung (Daten: AG Energiebilanzen, 2023a)

Aus dieser Aufschlüsselung der Endenergieverbräuche in Deutschland wird die Priorität für die Optimierung des Wärmeversorgungssektors im Rahmen der Zielerreichung zur CO<sub>2</sub>-Reduktion und zur Senkung des Energieverbrauches deutlich. Zudem verdeutlicht sich, dass eine erfolgreiche Energiewende nicht nur den Sektor Strom, sondern auch den Sektor Wärme berücksichtigen muss, da sich der erzielbare Effekt ohne den Sektor Wärme in überschaubaren Grenzen halten wird. Bei genauerer Betrachtung des Wärmeverbrauches nehmen der Bereich Wohnen und Industrie eine Schlüsselrolle ein. Gemeinsam sind diese beiden Bereiche für ca. 85% des Wärmeverbrauches verantwortlich (Abbildung 2).

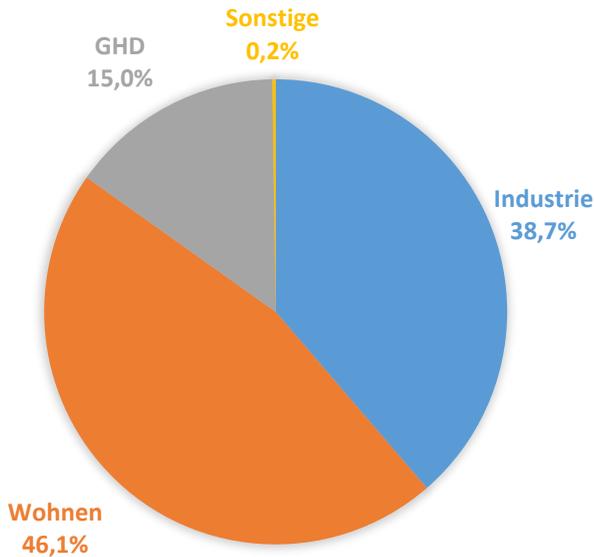


Abb. 2: Aufteilung des Wärmeverbrauches in Deutschland für das Jahr 2021 in Prozent, eigene Darstellung, (Daten: AG Energiebilanzen, 2023a)

## 2 Zielstellung für den Bereich Energie und speziell den Sektor Wärme

Die Bundesregierung hat mit der Bekanntmachung vom 18.10.2021 das Ziel definiert, bis 2030 „beim Endenergieverbrauch im Wärme- und Kältesektor, der zu ca. 2/3 aus dem Gebäudebereich besteht, einen Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte von 27% (in 2018: 14,2%) zu erreichen.“ (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2021: 1).

Als weiterführendes Ziel hat die Bundesregierung im Rahmen des Gesetzes für eine „flächendeckende kommunale Wärmeplanung die rechtliche Grundlage geschaffen“ (Bundesregierung 2024), um in Deutschland bis spätestens im Jahr 2045 ausschließlich klimaneutral zu heizen.

Zur Erfüllung dieser Ziele schreibt die Bundesregierung der Fernwärme eine herausragende Rolle zu. „Fernwärme nimmt in der klimaneutralen Wärmeversorgung der Zukunft eine herausragende Rolle ein, insbesondere in urbanen Gebieten. Deshalb müssen die Wärmenetze ausgebaut und auf Wärme aus Erneuerbaren Energien umgestellt werden.“ (Bundesregierung 2024)

Als Gründe für den Fokus auf die leitungsgebundene Wärmeversorgung wurden folgende Vorteile der Fernwärme gegenüber Einzelheizungen herausgestellt:

„Für Fernwärme kann beispielsweise die Abwärme genutzt werden, die bei Industrieprozessen entsteht. Es können große natürliche Wärmequellen (Luft, Geothermie, Gewässer) beispielsweise durch Großwärmepumpen genutzt werden. Fernwärme ermöglicht eine effiziente Wärmebereitstellung in hochverdichteten Regionen bei geringem Platzbedarf, also in Städten. Sie kann zudem einfach und in mehreren Schritten auf Erneuerbare Energieträger bei geringeren Investitionskosten umgestellt werden.“ (Bundesregierung 2024)

## **2.1 Akteure und Aufgaben**

Um die gesetzten Ziele zu erreichen, ist die Zusammenarbeit verschiedener Akteure zwingend erforderlich. Hierbei liegt der Fokus vor allem auf folgenden:

- Fernwärme Versorgungsunternehmen (FVU)
- Wohnungs- und Gebäudeeigentümer
- Gesetzgeber
- Forschung und Entwicklung
- Industrie
- Handwerk / Ingenieure / Architekten
- Nutzer.

Diese Akteure haben verschiedenen Aufgaben wahrzunehmen und zudem verschiedene Wirkungskreise. Dies macht eine verzahnte Bearbeitung der „Wärmewende“ unerlässlich. Die Aufgaben, welche zur Zielerreichung erforderlich sind, können im Wesentlichen wie folgend eingeteilt zusammengefasst werden:

- Dekarbonisierung der Fernwärme (Erhöhung des Anteiles EE am Erzeugerpark)

- Fernwärme Versorgungsunternehmen (FVU)
- Handwerk / Industrie / Ingenieure / Architekten
- Sanierung der Bestandsgebäude
  - Handwerk / Ingenieure / Architekten
  - Wohnungs- und Gebäudeeigentümer
  - Industrie
- Erhöhung des Anschlussgrades an die Fernwärme
  - Fernwärme Versorgungsunternehmen (FVU)
  - Handwerk / Ingenieure / Architekten
  - Wohnungs- und Gebäudeeigentümer
  - Industrie
  - Nutzer
- Verdichtung der Bebauung in Neubaugebieten zur Erhöhung der Wärmedichten
  - Industrie
  - Nutzer
  - Gesetzgeber
- Förderung effizienter Technologien
  - Gesetzgeber
  - Forschung und Entwicklung

Im Einzelnen seien die folgenden Aufgaben der Akteure benannt:

- Fernwärme Versorgungsunternehmen (FVU): Umstellung der Wärmeerzeugung, Um- und Ausbau der Wärmenetze
- Wohnungs- und Gebäudeeigentümer: Sanierung der Gebäude- und Anlagentechnik
- Gesetzgeber: Schaffung des ordnungspolitischen Rahmens
- Forschung und Entwicklung: Entwicklung effizienter Technologien
- Industrie: Produktion effizienter Anlagentechnik und Baumaterialien
- Handwerk / Ingenieure / Architekten: Durchführung, Planung von energetisch effizienten Bauwerken und Sanierungen
- Nutzer: Anpassung des Heiz- und Lüftungsverhaltens an die neuen Bedingungen nach Sanierung/Neubau

## **2.2 Mittel und Methoden**

Um die gesteckten Aufgaben und Ziele zu erreichen, stehen diverse ‘Werkzeuge’ zur Verfügung. Im Bereich der Dekarbonisierung der Fernwärme können als umweltfreundlich und klimaneutral angesehene Technologien zur Wärmeerzeugung genutzt werden. Hier ist im ersten Schritt die Nutzung von unvermeidbarer Abwärme, Umweltwärme (Erdwärme, Fluss- oder Seewasserwärme, Luftwärme) oder auch Solarthermie sinnvoll möglich. Auch die Verwendung fester Biomasse ist in einem gewissen Rahmen eine praktikable Option.

Die Nutzung fester Biomasse als klimaneutraler Brennstoff wird zurzeit kontrovers diskutiert. (NABU, 2022), (Land&Forst, 2023) Es ist aus Nachhaltigkeitsaspekten darauf zu achten, dass Holz aus regionaler Forstwirtschaft verwendet wird, um lange Lieferwege zu vermeiden. Zudem ist bei der Verwendung von Holz die stoffliche Nutzung der energetischen Nutzung vorzuziehen, da so das im Holz gespeicherte CO<sub>2</sub> für längere Zeit konserviert wird. Aus diesem Grund beschränkt sich die Nutzung fester Biomasse nahezu ausschließlich auf Restholz aus der Holzverarbeitenden Industrie und Restholz aus der Grünpflege, welches aus ökologischen Gründen nicht zwingend im Wald verbleiben muss. Hierbei ist es wichtig zu beachten, dass Holz mit diesen Merkmalen nur sehr begrenzt zur Verfügung steht und die Gefahr besteht, dass es mehrfach zur Nutzung eingeplant wird, sollte hier kein Austausch zwischen den Wärmeversorgungsunternehmen erfolgen.

Die Nutzung von solarthermischer Wärme ist stark abhängig von den Witterungsverhältnissen und bedarf großer Kollektorflächen. Zudem steht die Wärme nicht ganzjährig und auch nicht rund um die Uhr zur Verfügung. Hier ist zur Überbrückung von Schlechtwetterzeiten der Einsatz eines Tages- bzw. MehrtagesSpeichers und zur Überbrückung der Wintermonate ein Saisonalspeicher erforderlich. Dies führt zu einem erhöhten Flächenbedarf und steigenden Kosten. Die Ursache hierfür ist, dass der Speicher ebenfalls einen Aufstellort benötigt und die Wärmeverluste im Speicher durch eine größere Thermosolarfläche kompensiert werden müssen. Zudem ist ein erhöhter regelungstechnischer Aufwand erforderlich, um über die Thermosolaranlage die erforderlichen Netzvorlauftemperaturen zu erzielen. Die starke Saisonalität dieser Energiequelle stellt hierbei die größte Herausforderung dar, da in der Zeit des größten zu erwartenden Ertrages der geringste Wärmeverbrauch zu erwarten ist.

Somit ist ein signifikanter Anteil ( $>25\%$ ) an der Wärmeerzeugung nur über saisonale Speicher möglich. Man beachte außerdem Abhängigkeiten von klimatischen Einflüssen, deren Entwicklung bisher nicht im Detail vorhersehbar ist. Es sei auch auf sogenannte *Kalte Sommer* hingewiesen, die durch ein Ausbleiben solarer Einstrahlung z. B. durch größere Vulkanausbrüche auftreten können. Eine Reserve zur Wärmeerzeugung ist also mitzudenken.

Die Nutzung von nicht vermeidbarer Abwärme bietet in Gebieten mit einer ausreichenden Nähe von produzierenden Industriebetrieben bzw. Rechenzentren oder Serverfarmen zu den Wärmekunden eine gute Möglichkeit zur anteiligen Energiebereitstellung. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass Wärmenetze für die Nutzung über einen längeren Zeitraum geplant werden, um einen sozial vertretbaren Wärmepreis zu erzielen. Dies bedeutet eine langfristige Bindung der Betriebe als Wärmelieferant, auch in wirtschaftlich schlechten Zeiten (auch bei Kurzarbeit ö. ä.). Zudem muss hier auch mit dem Risiko des Weggangs des oder der (Industrie)-betriebe gerechnet werden. Die Gründe hierfür können vielfältig sein, als Beispiel seien hier die Geschäftsaufgabe oder Umlagerung der Produktion aufgrund betriebswirtschaftlicher Belange genannt. Darüber hinaus ist bei der Nutzung von Abwärme darauf zu achten, dass dies keine Optimierungsmaßnahmen in den Betrieben behindert. Zum Beispiel weil durch diese Maßnahmen gegebenenfalls die auskoppelbare Wärmemenge sinkt. Nicht jedoch in allen Gebieten, welche eine ausreichende Wärmedichte und somit die Eignung für ein Wärmenetz aufweisen, steht diese Energie zur Verfügung. Somit beschränkt sich das Potenzial in der Regel auf größere Ballungszentren.

Als weitere nutzbare Energiequelle steht Umweltwärme, wie zum Beispiel Erdwärme, Fluss- oder Seewasserwärme oder Luftwärme zur Verfügung. Diese kann über Wärmepumpen auf ein für Heizung und Brauchwarmwasserbereitung nutzbares Energieniveau angehoben werden. Hierbei sind die genannten Quellen jedoch keineswegs als gleichwertig zu betrachten.

Luftwärme stellt hierbei die ungeeignetste Option dar, da die Außenlufttemperatur im Jahresverlauf stark schwankt. Dies führt zu stark schwankenden Anlageneffizienzen und somit zu einem erhöhten Strombedarf in der Zeit des höchsten Wärmebedarfes.

See- oder Flusswasser und Erdwärme hingegen stellen das gesamte Jahr ein nahezu konstantes Temperaturniveau dar, welches hohe Anlagenwirkungsgrade ermöglicht. Die Nutzung von Fluss- oder Seewasser muss durch die zuständige Umweltbehörde genehmigt werden. Der Grund hierfür ist die Auskühlung des Wassers und die damit verbundenen potenziell negativen Folgen auf die Flora und Fauna im Naturraum Wasser. Auch ist hier durch den vorschreitenden Klimawandel damit zu rechnen, dass der Wasserstand in einigen Flüssen in den nächsten Dekaden abnehmen könnte und somit sowohl die Entzugsleistung sinken, als auch der ökologische Einfluss steigen wird. Aufgrund des Klimawandels ist auch zu erwarten, dass die Gewässertemperaturen steigen werden. Diesem Effekt kann durch die Abkühlung von Gewässern über die angesprochenen Wärmepumpen etwas entgegengewirkt werden.

Die Potenziale zur Nutzung von Erdwärme in Form von Tiefengeothermie (Tiefe >400 Meter bis 5 Kilometer) sind regional sehr unterschiedlich verteilt und leider nicht in allen Gebieten Deutschlands mit vertretbarem technischem Aufwand nutzbar. Hier sind im Vorfeld jeweils genauere Untersuchungen erforderlich, um das genaue Potenzial abschätzen zu können. Im Norddeutschen Becken, dem Oberrheingraben und dem Süddeutschen Molassebecken sind die Bedingungen für tiefe Geothermie eher günstiger als in den anderen Landesteilen. In diesen Gebieten bestehen Chancen, auf Vorkommen zu treffen, deren Temperaturen für eine Heizung/Warmwasserbereitung und sogar Stromerzeugung ausreichend sind. Oftmals liegen die Temperaturen unterhalb der direkt nutzbaren Wärme, sodass Wärmepumpen zum Temperaturhub eingesetzt werden müssen. Erdwärme kann jedoch auch oberflächennah genutzt werden, durch Erdsonden oder Flächenkollektoren. Hier sind die Bedingungen aber ebenfalls lokal sehr unterschiedlich. Zu beachtende Einflussfaktoren sind unter anderem die vorzufindenden Gesteins- und Bodenarten, Grund- und Oberflächenwasser, Schutzgebiete insbesondere für die Trinkwassergewinnung und nicht zuletzt auch Bodendenkmale.

Als weitere technisch mögliche Quelle für Wärmepumpen steht Trinkwasser zur Verfügung. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass es sich bei Trinkwasser um ein Lebensmittel handelt und jede Verunreinigung auszuschließen ist. Für die Trinkwasserhygiene selbst würde die Nutzung der Wärme einen positiven Effekt bringen, da sich in kaltem Wasser Keime und Bakterien weniger gut vermehren können, als in warmem

Wasser. Der Nutzung dieser Wärmequelle steht jedoch noch die Trinkwasserverordnung im Wege. In der Trinkwasserverordnung 2023 ist im § 13 die Planung, Errichtung, Instandhaltung und der Betrieb von Wasserversorgungsanlagen geregelt. Hier steht unter Absatz 5:

„Bei dem Betrieb von Wasserversorgungsanlagen dürfen, wenn sie in Kontakt mit dem Rohwasser oder Trinkwasser kommen, nur solche Stoffe oder Gegenstände verwendet und nur solche physikalischen, chemischen oder biologischen Verfahren angewendet werden, die dazu bestimmt sind, der Trinkwasserversorgung zu dienen. Bereits eingebrachte Stoffe oder Gegenstände, die nicht dazu bestimmt sind, der Trinkwasserversorgung zu dienen, hat der Betreiber der Wasserversorgungsanlage bis zum Ablauf des 9. Januar 2025 aus dem Rohwasser oder Trinkwasser zu entfernen. Die Anwendung von Verfahren, die nicht dazu bestimmt sind, der Trinkwasserversorgung zu dienen, hat der Betreiber der Wasserversorgungsanlage bis zum Ablauf des 9. Januar 2025 einzustellen.“  
(§13 Absatz 5 TrinwV)

Im Absatz 6 ist hiervon nur die Energieversorgung des Wasserwerkes selbst ausgenommen.

Dem Wärmenetzbetreiber steht mit den geförderten Werkzeugen der Machbarkeitsstudien oder auch Transformationsplänen ein geeignetes Mittel zur Verfügung, um die Potenziale der oben genannten Quellen für das eigene Versorgungsgebiet zu überprüfen.

Anhand dieser Auflistung wird deutlich, dass es durchaus Optionen gibt, die Wärmeversorgung zu dekarbonisieren, dass jedoch sowohl die Energiemenge als auch das Temperaturniveau der einzelnen Energieträger begrenzt ist. Aus diesem Grund ist es erforderlich, auch den Energiebedarf zu senken, um somit Angebot und Nachfrage anzugleichen. Unter anderem deshalb ist die Sanierung der Bestandsgebäude ein wesentlicher Faktor zur Zielerreichung.

Hierbei ist es zum einen wichtig, die thermische Hülle des Gebäudes zu ertüchtigen, um sowohl die Wärmeverluste grundsätzlich zu senken und ein Behaglichkeitsgefühl in den Innenräumen auch bei niedrigerer Rauminnentemperatur zu erreichen und zum anderen die Haustechnik zu optimieren bzw. modernisieren. Denn in bestehenden Fernwärmesystemen liegt unter anderem aufgrund der fehlenden Optimierung das Rücklauftemperaturniveau meist deutlich über dem theoretisch möglichen (Wirths, 2008: 5).

Hierbei kann bereits auf umfangreiche wissenschaftliche Untersuchungen zum Thema Haustechnik zurückgegriffen werden. Ein im Jahr

2014 durch die Hochschule München veröffentlichter Abschlussbericht mit dem Titel: „Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben LowEx-Fernwärme-Systeme. Breitenanwendung von Niedertemperatur-Systemen als Garanten für eine nachhaltige Wärmeversorgung“ (Stadtwerke München (Hrsg.) 2014) greift diese Problematik auf und gibt umfassende Empfehlungen für die Optimierung der Heizungstechnik, aber vor allem für die Optimierung der Hausanschluss-Stationen zur Erreichung niedriger Rücklauftemperaturen. Auch eine Veröffentlichung der Technischen Universität Dresden von Andreas Wirths mit dem Titel „Einfluss der Netzzücklauftemperatur auf die Effizienz von Fernwärmesystemen“ gibt einen guten Überblick über die möglichen Ursachen einer zu hohen Rücklauftemperatur in Bestandsanlagen. Als Gründe für eine zu hohe Rücklauftemperatur sind hier (Wirths, 2008: 5) unter anderem eine fehlende Regelgüte der eingebauten Regler, ein fehlender hydraulischer Abgleich in der Heizungsanlage und/oder der Brauchwarmwasserzirkulation oder auch eine ineffektive bzw. fehlerhaft eingestellte Außentemperaturabhängige Regelung genannt. Hier ist es daher in der Praxis ebenfalls zwingend erforderlich, die Fachhandwerker für die Relevanz einer gut eingestellten und dimensionierten Haustechnik zu sensibilisieren. Beispielsweise Maßnahmen, wie den hydraulischen Abgleich in der Heizungstechnik, aber eben auch in der Trinkwasserzirkulation. Dies ist erforderlich, um die durch die Fernwärme bereitgestellte Energie effizient zu nutzen und eine möglichst niedrige Rücklauftemperatur bereitzustellen. Neben dem Vorhandensein des erforderlichen Wissens und der notwendigen Aufmerksamkeit der Fachhandwerker und Anlagenplaner auf den Bereich der Anlageneffizienz sind auch weitere Hemmnisse für die energetische Sanierung von Gebäuden zu betrachten und möglichst auszuräumen. Die sieben bedeutendsten Hemmnisse sind in einer Veröffentlichung der Universität Gießen aus dem Jahr 2018 enthalten und werden in den folgenden Stichpunkten im Wortlaut aufgeführt (Rentrop 2018: 3):

- „Mangelnde Kenntnisse über den energetischen Zustand der Immobilie (fehlendes Problembewusstsein, keine Notwendigkeit zu sanieren)“
- „Energetische Sanierung ist nicht wirtschaftlich genug“
- „Keine finanziellen Möglichkeiten, schwaches Einkommen“
- „Komplexität der Thematik hinsichtlich Technik, Finanzierung, Vielfalt, Zeit etc.“

- „Ungünstige rechtliche / politische Rahmenbedingungen“
- „Mangelnde Transparenz über genaue Kosten und die Wirtschaftlichkeit energetischer Sanierungsmaßnahmen“
- „Angst vor unbefriedigenden Ergebnissen nach der energetischen Sanierung (Bauschäden, Ästhetik, Komfortverlust, unseriöse Handwerker etc.)“

Die Sanierung der Bestandsgebäude und der Neubau von Gebäuden mit niedrigen Energiebedarfen auf einem niedrigen Temperaturniveau hat zur Folge, dass der Wärmebedarf im Netz sinkt. Dies bedeutet einen geringeren Absatz an Wärme für den Wärmenetzbetreiber und erhöhte freie Transportkapazitäten in den Wärmeleitungen. Der zweite Effekt kann genutzt werden, um die Anschlussgrad an die Fernwärme zu erhöhen, also in diesem Fall eine Nachverdichtung entlang der verlegten Leitungen durchzuführen, ohne den Aufwand neuer Leitungsverlegungen. Zudem bietet das Leitungsnetz so gegebenenfalls genügend Reserven, um an den Netzen eine Netzerweiterung ohne größere Trassenverstärkung durchführen zu können. Die Erhöhung des Anschlussgrades ermöglicht auch bei sinkenden Energieverbräuchen der Gebäude die Bereitstellung der Fernwärme zu einem sozialverträglichen Wärmepreis, da die Kosten auf breite Schultern verteilt werden können.

Bei der Erschließung neuer Netzgebiete über den Netzausbau ist eine hohe Wärmedichte in den Erschließungsgebieten erforderlich. Hierbei ist es von behördlicher Seite erforderlich, bei der Erstellung von Bebauungsplänen hierauf bereits zu achten und bei Neubaugebieten auf eine ausreichend dichte Bebauung zu achten. Einfamilienhausgebiete mit großen Grundstücken eignen sich nicht für die Nutzung leitungsgebundener Wärme, da hier je kW Anschlussleistung zu viel Leitungslänge erforderlich ist, um eine ausreichende Wirtschaftlichkeit gewährleisten zu können. In diesen Gebieten sind auch in Zukunft nur weniger effiziente Einzelheizungen möglich.

Um die gesteckten Ziele wie die Sanierung der Bestandsgebäude, die Dekarbonisierung der Fernwärme, die Erhöhung der Anschlussdichten in der Fernwärme und auch die Verdichtung der Bebauung in Neubaugebieten erreichen zu können, ist die Verzahnung der Förderkulisse und der Forschung relevant. Nur so können in Zukunft vor allem die effizienten Technologien gefördert und somit die verwendeten Steuergelder sinnvoll eingesetzt werden. Auch ist es seitens der Forschung erforder-

lich, die Forschungsergebnisse deutlich mehr in die Gesellschaft zu tragen, um das Verständnis und die Relevanz dieses Themas in der Bevölkerung zu erhöhen.

### 3 Stand der Wärmewende

In den vorangegangenen Kapiteln wurde die Relevanz der Wärmeversorgung im Rahmen der geplanten Energiewende deutlich gemacht. Zudem wurden die Akteure, deren Aufgaben, die gesetzliche Zielstellung und die zur Verfügung stehenden Mittel und Methoden zur Zielerreichung erläutert.

Um die genannten Aspekte jedoch korrekt einordnen zu können, ist die Kenntnis des Status Quo im Wärmesektor erforderlich. Im Folgenden wird daher darauf eingegangen, wo Deutschland im Bereich der Wärmeversorgung derzeit stehen, wo also unser *Startpunkt* auf dem Weg zum vorher definierten Ziel liegt (Abbildung 3).

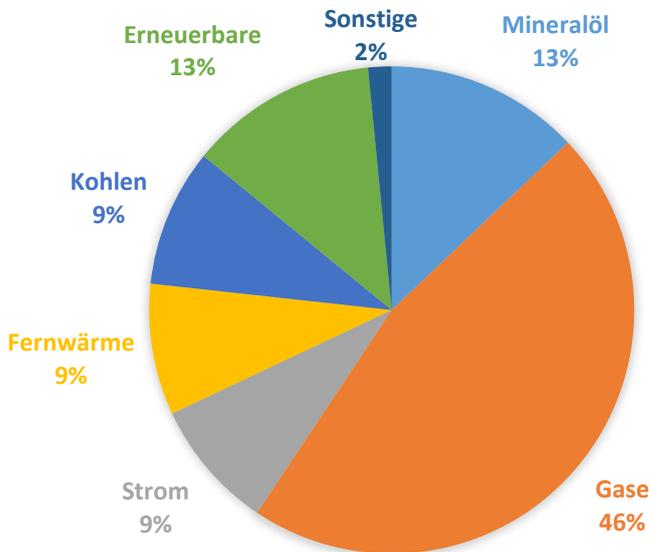


Abb. 1: Endenergieverbrauch im Sektor Wärme für das Jahr 2021, eigene Darstellung, (Daten: AG Energiebilanzen 2023a).

Der Anteil von erneuerbaren Energien am Wärmesektor für das Jahr 2021 betrug nach der AG Energiebilanzen 14,4%. Der Anteil an erneuerbaren Energien im Bereich der Fernwärme betrug für denselben Zeitraum 21,4% (Abb. 2), diese sind in den 14,4% bereits mitberücksichtigt. (AG Energiebilanzen 2023a)

Im Umkehrschluss müssen bis zum Jahr 2030 noch 12,6% an fossilen Energieträgern substituiert werden und bis zum Jahr 2045, also in 11 Jahren, noch 85,6% der verwendeten Energieträger. Bis zum Jahr 2045 sind im Bereich der Fernwärme 78,6% der verwendeten Energieträger zu ersetzen. Somit befindet sich die Wärmewende bereits auf einem guten Weg, die gesteckten Ziele auch zu erreichen, hat aber noch einige Hürden bis zur Zielerreichung zu nehmen.

In Energiemengen ausgedrückt sind aus der Sicht des Jahres 2021 und unter der Annahme konstanter Energieverbräuche bis 2045 noch ca. 4.400 PJ<sub>Endenergie</sub> an fossiler Energie durch regenerative Energieträger zu auszutauschen.

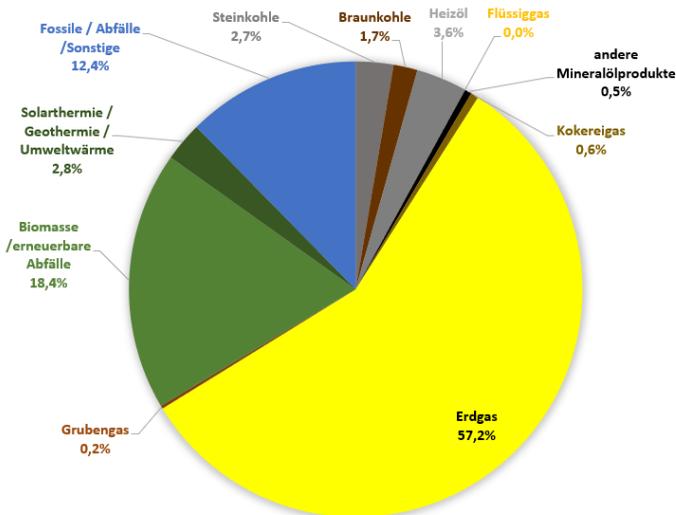


Abb. 2: Primärenergieanteile in der Fernwärme für das Jahr 2021, eigene Darstellung, (Daten: AG Energiebilanzen 2023b).

Zusätzlich zur Dekarbonisation der Wärme ist, wie in Kapitel 2.1 beschrieben, ein Fokus auf die Sanierung der Bestandsgebäude

erforderlich. Der derzeitige Wohngebäudebestand in Deutschland bis 2023 beträgt 19,5 Mio. Gebäude. Abb. 3 zeigt die prozentuale Aufteilung dieser Baualtersklassen auf die einzelnen Jahre. Die Abb. 3 ist an die Darstellung aus dem DENA Gebäudereport 2024 angelehnt, die verwendeten Daten wurden noch einmal mit den Daten des Statistischen Bundesamtes verifiziert. (Deutsche Energie Agentur (Hrsg.), 2023)

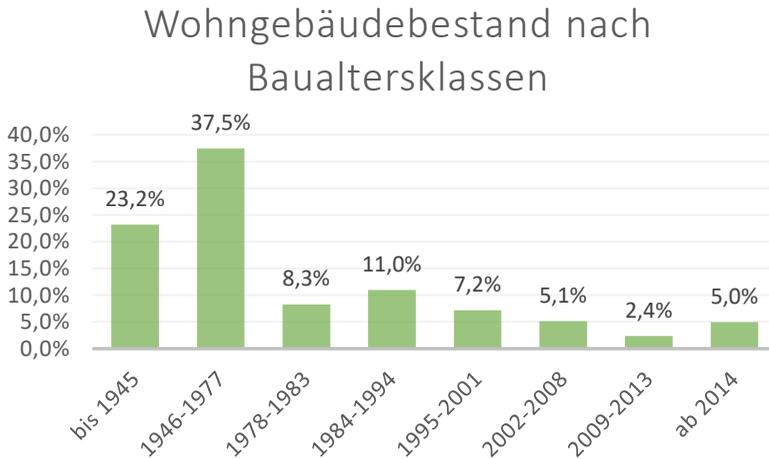


Abb. 3: Wohngebäudebestand nach Baualtersklassen, eigene Darstellung, (Daten: Deutsche Energie Agentur (Hrsg.) 2023), (Daten: destatis 2023a), (Daten: destatis 2023b).

In der Abb. 3 ist ersichtlich, dass 92,4% der Gebäude älter sind als 15 Jahre und sich die verbaute Heizungstechnik nahe dem Ende ihrer normativen Lebensdauer befindet. Zudem wird ersichtlich, dass 60,7% der Gebäude vor der ersten Heizanlagenverordnung 1978 errichtet wurden. Dies bedeutet das mehr als die Hälfte der Gebäude, einen sehr hohen Energieverbrauch durch eine alte Baustruktur und mehr als ein Drittel der Gebäude eine veraltete und wahrscheinlich ineffiziente Heizungsanlage besitzt. Wenn Abb. 3 im Zusammenhang mit Abb. 4 betrachtet wird, verdeutlicht sich dies noch einmal.

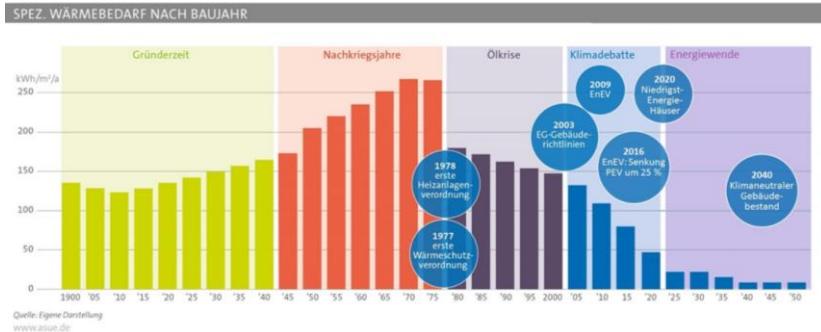


Abb. 4: Spezifischer Wärmebedarf nach Baujahr (ASUE im DVGW e.V., ohne Datum).

Mit den beiden Abbildungen Abb. 3 und Abb. 4 wird die Relevanz der in Kapitel 2.1 und 2.2 beschriebenen Sanierung von Bestandsgebäuden noch einmal deutlich herausgestellt. Mehr als die Hälfte (60,7%) aller Bestandsgebäude, was eine Gebäudeanzahl von 11,8 Mio. Gebäuden in ganz Deutschland entspricht, weist einen spezifischen Energieverbrauch von 100 kWh/m<sup>2</sup> bis zu >250 kWh/m<sup>2</sup> auf. Dies stellt mehr als das doppelte des Energieverbrauches von Neubauten aus dem Jahr 2022 dar.

## 4 Fazit

Im Jahr 2021 betrug der Wärmeverbrauch in Deutschland 57% des Endenergieverbrauches in Deutschland. Von diesen 57% war der Wohnungssektor mit 46,1% des Wärmeverbrauches für knapp die Hälfte des Wärmeverbrauches verantwortlich. Die Wärmewende stellt daher einen wichtigen Teil der Energiewende dar. Derzeitig stellen erneuerbare Energien nur knapp 14,4% des Primärenergiebedarfes im Wärmesektor, hier ist zur Zielerreichung des 27% Zieles der Bundesregierung noch eine große Lücke zu schließen. Daher sollte der Wärmesektor mehr in den Fokus der Betrachtung sowie des politischen Handelns und der Forschung gerückt werden.

Hierbei liegt ein wichtiger Fokus auf der Wärmeerzeugung mit erneuerbaren Energien. Wobei hier genau darauf zu achten ist, welcher Energieträger auch unter künftigen politischen Rahmenbedingungen als 'erneuerbar' anzusehen ist. Jedoch ist hier auch abseits der politischen Rahmenbedingungen zu vermeiden, den durch die Nutzung erneuerbarer Energien entstehenden ökologischen Schaden möglichst kleiner als bei

fossilen Energieträgern zu halten. Die Betrachtung der Wärmeerzeugung genügt hier nicht, es bedarf hier einer ganzheitlichen Betrachtung. Hier ist eine Senkung des Exergieniveaus in den Wärmenetzen durch eine Absenkung der erforderlichen Temperaturen beim Verbraucher zwingend erforderlich. Eine reine Substitution aller fossilen Erzeuger auf dem heutigen Niveau ist aufgrund der Ressourcenverfügbarkeit nicht möglich.

Hierbei bestehen jedoch diverse Hemmnisse im Bereich der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden, wie zum Beispiel mangelnde Kenntnisse der Gebäudeeigentümer über den energetischen Zustand der Immobilie, ungünstige rechtliche / politische Rahmenbedingungen oder die Angst vor unbefriedigenden Ergebnissen. Diese sind durch die Gesetzgebung und Wissensvermittlung und Bündelung noch zu beseitigen.

Die Aufgaben, welche zur Zielerreichung der durch die Bundesregierung gesteckten Ziele von treibhausgasneutraler Wärmeversorgung bis 2045 bearbeitet werden müssen, sind vielfältig und bedürfen der Zusammenarbeit einer breiten Akteursgruppe. Hierzu ist es wichtig, vorhandenes Wissen zu bündeln und zu vermitteln. Es ist erforderlich, Netzwerke zu bilden, um unter anderem Industrie, Forschung und Gesetzgebung enger zu verzahnen. Eine tragende Rolle kann hier die Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin als Drehpunkt und Plattform für diese Themen einnehmen. Ein weiteres Beispiel für diese Netzwerkbildung stellt die Plattform *grüne Fernwärme* der AGFW (<https://www.gruene-fernwaerme.de/gruene-fernwaerme/die-plattform>) dar. Diese dient ebenfalls zur Verbindung von Angebot und Nachfrage bei der Aufgabe der Transformationsplanung sowie der kommunalen Wärmeplanung.

Im Bereich der Gesetzgebung ist die Förderung effizienter Technologien unerlässlich, hierzu ist eine enge Zusammenarbeit mit der Forschung erforderlich. Technologien, welche sich im Rahmen der Forschung als effizient erwiesen haben, sollten im Rahmen von Förderprogrammen der Zugang zum Markt erleichtert werden. Hier ist ein Vorgehen ähnlich der Förderung fossiler Energieträger in der Nachkriegszeit erforderlich, da noch große Lücken zur Zielerreichung zu schließen sind. Zudem sollte die Förderung von erneuerbaren Energien aufrechterhalten und ähnlich der Förderung für Kernenergie, Kohle, Gas umgelegt werden. Dies ist für eine breite Akzeptanz in der Bevölkerung maßgeblich.

## Bibliographie

- AG Energiebilanzen (2023a): *Anwendungsbilanzen zur Energiebilanz Deutschland – Energieverbrauch nach Energieträgern und Anwendungszwecken*. [Online] 2023a. [Abgerufen am 19. 12 2023.] [https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/01/AGEB\\_22p2\\_rev-1.pdf](https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/01/AGEB_22p2_rev-1.pdf).
- AG Energiebilanzen (2023b): *Daten und Fakten - Bilanzen 1990 bis 2030 – Bilanzen 2021, Energieverbrauch nach Energieträgern und Anwendungszwecken*. [Online] 2023b. [Abgerufen am 24. 04 2024.] <https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/bilanzen-1990-bis-2030/?wpv-jahresbereich-bilanz=2021-2030>.
- ASUE im DVGW e.V. ohne Datum. *Spezifischer Wärmebedarf von Gebäuden nach Baujahr*. [Online] ohne Datum. [Abgerufen am 23. 04 2024.] <https://asue.de/node/2691>.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2021): *Bundesanzeiger. Richtlinie für die Förderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude (BEG WG)*. [Online] 16. 09 2021. [Abgerufen am 23. 04 2024.] <https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/F8BOqbY7wRjLlPqG4KnP/content/F8BOqbY7wRjLlPqG4KnP/BAanz%20AT%2018.10.2021%20B3.pdf?inline>.
- Bundesregierung (2024): Die Bundesregierung. *Kommunale Wärmeplanung für ganz Deutschland*. [Online] 11. 01 2024. [Abgerufen am 23. 04 2024.] <https://www.bundesregierung.de/breg-de/bundesregierung/bundeskanzleramt/waermeplanungsgesetz-2213692>.
- Destatis (2023a): *Wohngebäude, Wohnungen, Wohnfläche: Deutschland. Stichtag, Anzahl der Wohnungen – Genesis 31231 0005*. [Online] 2023a. [Abgerufen am 25 04 2024]. <https://www.genesis.destatis.de/genesis/online>.
- Destatis (2023b): *Baufertigstellungen im Hochbau: Deutschland. Stichtag, Anzahl der Wohnungen – Genesis 31121 0001*. [Online] 2023b. [Abgerufen am 25 04 2024]. <https://www.genesis.destatis.de/genesis/online>.
- Deutsche Energie Agentur (Hrsg.) (2023): *DENA-GEBÄUDEREPORT 2024. Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand*. [Online] 11 2023. [Abgerufen am 23. 04 2024.] <https://www.gebaeudeforum.de/wissen/zahlen-daten/dena-gebaeudereport-2024/>.
- Harms, Imke; Land&Forst (Hrsg.). (2023): *Verliert Holz ab dem Jahr 2030 den Status „erneuerbare Energie“?*. [Online: 07 2023]. [Abgerufen am 25

- 04 2024]. <https://www.landundforst.de/landwirtschaft/betrieb/verliert-holz-ab-jahr-2030-status-erneuerbare-energie-568870>
- May, Helge; NABU (Hrsg.) (2022): *Der große Bluff*. [Online] 03 (2022): [Abgerufen am 25 04 2024] <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/nachhaltiges-wirtschaften/biooekonomie/biomasse/313-24.html>
- Rentrop Jonas; Gebäudeenergieberater Ingenieure Handwerker – Bundesverband e.V. (Hrsg.) 2018: *Hemmnisse bei der Sanierung von Wohngebäuden*. [Online] 05 2018. [Abgerufen am 25 04 2024]. [https://www.gih.de/wp-content/uploads/2018/07/Kurzversion\\_Hemmnisse-bei-der-energ.-Sanierung\\_Jonas-Rentrop.pdf](https://www.gih.de/wp-content/uploads/2018/07/Kurzversion_Hemmnisse-bei-der-energ.-Sanierung_Jonas-Rentrop.pdf)
- Stadtwerke München (Hrsg.) (2014): *Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben LowEx-Fernwärme-Systeme. Breitenanwendung von Niedertemperatur-Systemen als Garanten für eine nachhaltige Wärmeversorgung*. [Online] 2014. [Abgerufen am 27. 12 2023.] <https://www.tib.eu/en/search/id/TIB-KAT:832260959>.
- Wirths, Andreas (Hrsg.) (2008): *Einfluss der Netzrücklauftemperatur auf die Effizienz von Fernwärmesystemen*. [Online] 2014. [Abgerufen am 27. 12 2023.] [https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/iet/gewv/ressourcen/dateien/forschung\\_und\\_projekte/projekte/mldh/vortraege/wirths\\_ruecklauftemperatur\\_13\\_dresdner\\_fernwaermekolloquium.pdf?lang=de](https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/iet/gewv/ressourcen/dateien/forschung_und_projekte/projekte/mldh/vortraege/wirths_ruecklauftemperatur_13_dresdner_fernwaermekolloquium.pdf?lang=de).



## **Verkehrswende 2024 – Stand und weitere Aussichten**

***Weert Canzler***

(Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung GmbH)

### **Abstract**

There has been progress in decarbonization in all sectors, but little has happened in transport so far. The transport sector is therefore under considerable pressure. Digitalization and the drive change have great potential, but are not sufficient to transform transport. Social innovations are also needed, such as sharing transport and a higher proportion of active mobility, i.e. walking and cycling. However, mobility practices based on the private automobile are highly stable and closely linked to the basic trends of a modern society. The automobile is both the cause and the consequence of social differentiation. But for some time now, the long-taken-for-granted, unquestioned use of the car is no longer shared everywhere, at least in the big cities. A transport turnaround is part of a “Great Transformation”. Its chances of success depend not least on the losses of the transformation being more than offset by its gains. This is often hardly possible due to a lack of synchronicity. Conflicts are therefore inevitable, and the risk of a populist culture war is great. On the other hand, there are a wealth of examples of successful local transport transitions, which are seen as a benefit by the vast majority of citizens and which they would not want to miss under any circumstances.

### **Zusammenfassung**

In allen Sektoren gab es Fortschritte in der Dekarbonisierung, nur im Verkehr tut sich bisher wenig. Daher steht der Verkehrssektor unter er-

heblichem Druck. Die Digitalisierung und auch die Antriebswende haben großes Potenzial, reichen aber für eine Transformation des Verkehrs nicht aus. Nötig sind zudem soziale Innovationen wie das Teilen von Verkehrsmitteln und ein höherer Anteil der aktiven Mobilität, also des Zufußgehens und des Radfahrens. Allerdings sind die auf dem privaten Automobil beruhenden Mobilitätspraktiken hochgradig stabil und eng mit den Basistrends einer modernen Gesellschaft verbunden. Das Automobil ist Ursache und Folge gesellschaftlicher Differenzierung zugleich. Doch seit einiger Zeit wird die lange selbstverständliche, unhinterfragte Nutzung des Autos zumindest in den großen Städten nicht mehr überall geteilt.

Eine Verkehrswende ist Teil einer „Großen Transformation“. Ihre Erfolgsaussichten hängen nicht zuletzt davon ab, dass die Verluste der Transformation durch ihre Gewinne mehr als ausgeglichen werden. Das ist aufgrund fehlender Synchronizität oftmals kaum möglich. Damit sind Konflikte vorprogrammiert, die Gefahr eines populistischen Kulturkampfes ist groß. Auf der anderen Seite gibt es eine Fülle von Beispielen einer gelungenen lokalen Verkehrswende, die von den allermeisten Bürgerinnen und Bürgern als Gewinn betrachtet wird und die sie keinesfalls missen wollen.

### **Keywords/Schlüsselwörter**

Transport sector under pressure, electrification and digitization as innovation drivers, social innovations, high potential of sector coupling, new narrative needed

Verkehrssektor unter Druck, Elektrifizierung und Digitalisierung als Innovationstreiber, soziale Innovationen, hohe Potenziale der Sektorkopplung, neues Narrativ nötig

## **1 Der Verkehr unter Transformationsdruck**

Das Auto dominiert wie nie zuvor. Von einer Wende kann keine Rede sein. Im Jahr 2019, dem Jahr vor der Corona-Pandemie, gab es in Deutschland mehr als 3,6 Millionen Neuzulassungen von Pkw. Wie jedes Jahr stieg die Zahl der privat genutzten Pkw, mittlerweile sind es mehr als 49 Millionen. So wächst weiterhin die Zahl der Autos, auch wenn die durchschnittliche Fahrleistung je Vehikel seit Jahren sinkt und die absolute Pkw-Verkehrsleistung insgesamt nur leicht zunimmt und pandemie-

bedingt sogar abgenommen hat (Follmer/Knie 2024; Agora Verkehrswende 2024).

Die Attraktivität des eigenen Autos ist offenbar ungebrochen. Dabei ist es offensichtlich, dass es viel Platz braucht, den öffentlichen Raum zerstört und viele straßennahe Wohnlagen unattraktiv macht. Darüber hinaus trägt der vorwiegend von Verbrennungsmotoren angetriebene Straßenverkehr erheblich zum Klimawandel bei. Ungefähr ein Fünftel aller klimaschädlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen werden vom Verkehr verursacht, davon 90 Prozent vom Straßenverkehr. Um die Folgen des Klimawandels beherrschbar zu halten, ist eine umfassende Dekarbonisierung aller Produktions- und Verbrauchssektoren nötig. Allerdings ist der Verkehrssektor von diesem Ziel weit entfernt. Seit Jahrzehnten liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr mit leichten Schwankungen auf dem gleichen hohen Niveau. In allen Sektoren gab es Fortschritte, nur im Verkehr, präziser: im motorisierten Straßenverkehr, tat und tut sich bisher wenig. Angesichts verbindlicher Reduktionsziele steht der Verkehrssektor unter erheblichem Druck (IEA 2023; Miller et al. 2021).

Große Hoffnung liegt auf der Antriebswende. Seit einigen Jahren hat die Elektrifizierung der Pkw – wenn auch in Deutschland weit hinter den Erwartungen – tatsächlich an Fahrt aufgenommen. Global betrachtet, vor allem im größten Automarkt überhaupt, in China, ist die Elektrifizierung in vollem Gange. Das zukünftige Verkehrssystem braucht jedoch nicht nur andere Antriebe. Es muss insgesamt erheblich effizienter werden, um nachhaltig zu werden und insbesondere, um seinen Anteil zum Klimaschutz zu leisten. So beansprucht der überbordende motorisierte Individualverkehr viel zu viel Platz. Der massenhafte Individualverkehr kommt in den Metropolen der Welt schon seit Jahren an seine Grenze bzw. hat diese längst überschritten. Es stockt und staut sich, die Luft- und Lärmbelastung ist hoch und die Konkurrenz um knappen Raum nimmt zu. Einen Anteil hat daran auch der seit Jahrzehnten gewachsene Pendelverkehr, der mit der fortlaufenden Trennung der Funktionen Wohnen, Arbeiten und Konsum bzw. Freizeit stetig gestiegen ist. Umgekehrt gilt: Eine hohe Aufenthaltsqualität in der Stadt gibt es nur mit weniger Autos, weniger Lärm und mehr intermodalen Mobilitätsoptionen. Außerdem stehen gerade die von Extremwetterereignissen zunehmend bedrohten Städte vor der Aufgabe, im Sinne der Anpassung an den Klimawandel versiegelte Verkehrsflächen zurückzubauen bzw. zu entsiegeln (siehe ausführlich Meyer 2024).

Nach dem Abschied vom Planungsideal der „autogerechten Stadt“ werden in den aktuellen Stadtentwicklungsplänen innovative Verkehrskonzepte gefordert. Es gilt, private Autos zurückzudrängen, den Öffentlichen Verkehr zu fördern und den „aktiven Verkehr“ zu Fuß und mit dem Fahrrad stärker zu unterstützen. Aber die Wirklichkeit sieht oft ganz anders aus. Selbst in Fahrradhochburgen wie Münster oder Kopenhagen oder im ÖPNV-Mekka Wien zerschneiden mehrspurige Autostraßen den öffentlichen Raum, belegen Parkplätze und Tiefgaragen wertvolle Flächen. Die durchschnittlichen Stehzeiten privater Autos liegen bei mehr als 23 Stunden am Tag. Auch SUVs stehen ja fast immer herum, allerdings brauchen sie zusätzlichen Platz und versperren Fußgehern oft den Weg und noch häufiger die Sicht. Zugleich kann sich keine wachsende Stadt schlecht oder manchmal sogar gar nicht vergütete Parkplätze auf öffentlichem Raum leisten. Es ist wenig vernünftig, wenn kaum genutzte private Automobile mit einer beanspruchten Grundfläche von mindestens zehn Quadratmetern kostenlos oder für eine geringe symbolische Gebühr den öffentlichen Raum in Beschlag nehmen, während dringend Platz für Wohnungen und Schulen, aber auch Areale für urbane Freizeit- und Erholungsaktivitäten gebraucht werden. Überhaupt sind die sozialen Kosten des Autoverkehrs wesentlich höher als die Summe der Steuern und Abgaben, die von den individuellen Nutzern bezahlt werden (EU COM 2019).

Gleichzeitig beginnt oft ein regelrechter Kulturkampf, wenn eine Kommune den öffentlichen Parkraum zurückbauen und eine andere Nutzung ermöglichen will. Betroffene Privatautomobilisten fühlen sich ihres Gewohnheitsrechtes beraubt und protestieren lautstark und auch gerne mit Unterstützung populistischer Parteien und Medien. Während sich bei den potenziellen Gewinnern einer neuen urbanen Raumnutzung nichts rührt; sie sind leise, organisieren sich kaum und werden im öffentlichen Diskurs nicht wahrgenommen.

Ohne Zweifel wurden in den letzten Jahrzehnten die Antriebe effizienter, auch wurden mit leichteren Materialien Gewichtseinsparungen erreicht und im Luftkanal windschnittigere Fahrzeugdesigns entwickelt. Aber zugleich wurden die Effizienzgewinne dadurch wieder zunichtegemacht, dass die Autos im Durchschnitt fortwährend größer, schwerer und schneller wurden. Die Anteile der Segmente verschoben sich weg von den Kleinwagen-Modellen und der unteren Mittelklasse hin zu den

übergewichtigen SUVs und übermotorisierten Ober- und oberen Mittelklassewagen.

Diese Rebound-Effekte sind das Ergebnis veränderten Nachfrageverhaltens. Aber das Nachfrageverhalten folgt keinem Naturgesetz, es hat auch mit (Fehl-)Anreizen zu tun. Einer dieser Fehlanreize lag und liegt in der Berechnung der EU-Flottengrenzwerte. Weil es im Verhältnis zum Fahrzeuggewicht günstiger ist, einen Diesel einzusetzen als einen Benziner, haben beispielsweise alle deutschen Premiumhersteller ihre Motorisierungspalette einseitig auf den Dieselantrieb ausgelegt. Wichtiger noch für die Erklärung der Beharrungskräfte im Automobilssektor als einseitige Modell- und Vertriebsstrategien sind jedoch Pfadabhängigkeiten sowohl bei den Fahrzeugherstellern als auch auf der Nachfrageseite.

Angesichts starker Beharrungskräfte und einer gesellschaftlich und infrastrukturell tief verankerten Dominanz des Automobils ist die Frage zu beantworten, ob und unter welchen Bedingungen eine Mobilitätswende überhaupt möglich erscheint. Die Digitalisierung und auch die Antriebswende haben großes Potenzial, aber reicht das für eine Transformation des Verkehrs? Nötig sind darüber hinaus soziale Innovationen jenseits des privaten Autos, also neue effiziente Mobilitätspraktiken mit neuen Nutzungsroutinen.

## 2                    **Zwischen Beharrung und Disruption**

Soziale Innovationen wie das Teilen von Verkehrsmitteln werden zunächst in Nischen probiert. Von diesen können Impulse für eine Veränderung des bestehenden Verkehrssystems ausgehen. Allerdings sind die auf dem privaten Automobil beruhenden Mobilitätspraktiken hochgradig stabil. Das Automobil – und das verstärkt die Pfadabhängigkeit zusätzlich – ist nicht nur ein weit verbreitetes technisches Gerät und sein Besitz selbst zur Norm geworden. Es *passt* auch ideal zur modernen Gesellschaft. Das Auto ist damit Ursache und Folge gesellschaftlicher Differenzierung zugleich. Diese besondere Qualität des Autos ist ein Grund für das offensichtliche Spannungsverhältnis zwischen Beharrung und Disruption (Knie 2024).

Denn so unerschütterlich wie es eine Zeitlang schien, ist die Stabilität des Autos auch nicht. Seit einiger Zeit wird die selbstverständliche, unhinterfragte Nutzung des Autos zumindest in den großen Städten nicht mehr überall geteilt. Zu viele Fahrzeuge belasten den verfügbaren Raum

und zwingen Städte zu Restriktionen. Die beruflichen wie privaten individuellen Fortbewegungswünsche lassen sich in den Ballungszentren mit einem privaten Automobil oft nicht mehr befriedigend erfüllen. Zunehmend werden geeignetere Alternativen genutzt: Eine Kombination aus Bussen, Bahnen, Rädern und Rollern wird für einen relevanten Teil der Stadtgesellschaft zur attraktiven Alternative (Canzler et al. 2018; Ruhrort 2020).

Aber nicht nur die Vielfalt der Verkehrsmittel nimmt zu, auch ihre Nutzung selbst verändert sich. Digitale Plattformen ermöglichen neue Verkehrsangebote, sie verändern Zugänge, verschieben die Relevanz des Besitzens zugunsten des Nutzens und ändern Wertschöpfungsketten. Vielfältige Verkehrsoptionen und eine spontan mögliche Zugänglichkeit gehen im Übrigen mit grundlegenden gesellschaftlichen Veränderungen einher, die Ausdruck von Individualisierungen sind. Lebensphasen und Arbeits- und Lebensstile differenzieren sich ebenso wie Familien- und Paarkonstellationen. Diese Entwicklungen werden durch die rasante persönliche Digitalisierung im Alltag verstärkt.

Daneben hat sich seit mehreren Jahren die Elektrifizierung der Fahrzeugantriebe spürbar beschleunigt und die Autohersteller und ihre Zulieferer in einen tiefgehenden Strukturwandel gezwungen. Die Elektrifizierung hat einen kräftigen Schub vor allem durch den Erfolg des Newcomers Tesla und durch die industriepolitisch motivierte E-Fahrzeugförderung in China erhalten. Die Umstellung des Antriebes auf einen batteriebetriebenen Elektromotor ist zur zentralen Innovationsstrategie der Fahrzeugindustrie geworden. Die erheblichen Potenziale der Elektrifizierung werden erst langsam erkannt: mit der Verknüpfung von E-Fahrzeugen mit Erneuerbaren Energieanlagen über und in Smart Grids – als zusätzliche Flexibilitätsoption (siehe Canzler/Knie 2013) – sind bisher kaum beachtete Synergieeffekte möglich. Vom gesteuerten Laden über das Rückspeisen von in Autobatterien zwischengespeichertem Strom und Flotteneinsätzen als mittelgroße Speicher bis hin zu Wechselbatteriesystemen für Spezialfahrzeuge und der zunehmenden Nutzung von leistungsverminderten Autobatterien in second-life-Anwendungen ist technisch vieles möglich. Noch fehlen dafür sowohl die regulativen Bedingungen als auch die standardisierten Geschäftsmodelle.

Auch wenn in der Auseinandersetzung um die künftige Antriebstechnik die Würfel zugunsten der Elektromobilität mittlerweile gefallen

sind: Ein Selbstläufer war – und ist – die Elektrifizierung in den etablierten Automobilunternehmen keineswegs. Vielmehr stieß sie – und stößt sie teilweise immer noch – auf massive interne Vorbehalte. Batteriegestützte Elektromobilität kämpft mit einer machtvollen Konstruktions- und Produktionstradition in einer über lange Zeit erfolgsverwöhnten Branche. Das zeigt sich nicht zuletzt in den Mindsets wichtiger Akteure in den Unternehmen. Motorenentwicklungschefs und deren Abteilung waren mächtig in den Automobilunternehmen, sie prägten über Jahrzehnte ihr Selbstverständnis. Organisationskulturell stiftete der klassische Motorenbau in den Autounternehmen traditionell den Identitätskern. Produktseitig dominiert seit Mitte des 20. Jahrhunderts das „Leitbild der Rennreiselimousine“ (Canzler 2016). In diesem Leitbild waren die wesentlichen – und vor allem von Männern bestimmten – Anforderungen an die Leistungen eines Automobils vereinigt: ein Auto sollte schnell beschleunigen sowie eine möglichst hohe Geschwindigkeit erreichen können und zugleich Platz für mindestens vier Personen plus Gepäck sowie eine hohe Reichweite bieten (ebd.: 133ff.). Die Rennreiselimousine war von Anfang an eng mit dem Verbrennungsmotor verbunden. Bis heute identifizieren sich auch große Teile der Belegschaften in den Autounternehmen mit diesem Antriebs- und Fahrzeugkonzept und empfinden die Antriebswende als Angriff auf die eigenen Interessen (Dörre et al. 2024).

### **3 Die Digitalisierung als Innovationstreiber**

Auch wenn die Antriebsfrage im Zentrum des öffentlichen Diskurses um die Zukunft der (Auto-)Mobilität steht, ist vermutlich dennoch die Digitalisierung der stärkste Treiber für Innovationen im Verkehr. Globale Digitalunternehmen drängen mit neuen Geschäftsmodellen in die Verkehrsmärkte. Verkehrsbezogene Apps boomen. Sie erlauben es, nach persönlichen Profilen optimale Verbindungen mit verschiedenen Verkehrsmitteln zu erhalten. Diese Entwicklung ist vor dem Hintergrund einer generellen Veränderung von Verhaltensmustern durch veränderte Kommunikationsformen zu sehen. Chat-Dienste haben das Mobilitätsverhalten gerade Jüngerer grundsätzlich verändert: Statt fester Verabredungen finden in alltäglichen Interaktionen schrittweise Annäherungen via Smartphone statt. Man verlässt sich auf die Informationen in Echt-

zeit. Individuelle Planungshorizonte werden kürzer und die Verkehrsteilnehmer geraten potenziell in die Rolle des Prosumenten, der digital unterstützt seine eigene Mobilität organisiert (Canzler/Knie 2016).

Die persönliche Digitalisierung ermöglicht integrierte Mobilitätsdienstleistungen aus „einem Guss“. Damit eröffnen sich neue Chancen für den Öffentlichen Verkehr (ÖV), der lange im Schatten der Autoindustrie stand und immer noch steht. Ob und inwieweit der ÖV seine verkehrs- und umweltpolitischen Vorzüge ausspielen kann und spürbare Modalverschiebungen tatsächlich zu erreichen sind, hängt stark von seiner Attraktivitätssteigerung und der „intermodalen Passung“ ab. In intermodalen Dienstleistungen ist ein moderner Bahnverkehr mit anderen Verkehrsmitteln, nicht zuletzt mit dem Auto, optional verknüpft und die Transaktionskosten eines Wechsels der Verkehrsmittel sind niedrig. Die Chancen der Digitalisierung sind immens, eine bequeme Verknüpfung eigentlich aller Optionen ist machbar (ebd.: 39ff.). Neben den veränderten Finanzierungsstrukturen sind hier jedoch neue Wettbewerbs- und Geschäftsmodelle notwendig, um die innovativen Potenziale der Branche anzureizen.

In vielen Städten gehören öffentliche Autos und Fahrräder bereits heute zum selbstverständlichen Teil des öffentlichen Verkehrsangebotes. Sie erlauben Haus-zu-Haus-Verbindungen und können damit einen Vorteil des privaten Autos ausgleichen, nämlich auch die „erste und letzte Meile“ eines Weges schnell und bequem zu überwinden. Das sind erste Hinweise auf eine Konvergenz von privatem und öffentlichem Verkehr. Hinter der möglichen Konvergenz stecken nicht nur technische Entwicklungen. Gleichzeitig sind auch bei den Einstellungen und beim Verhalten insbesondere bei den jüngeren Stadtbewohnern Veränderungen zu beobachten, die auf eine abnehmende Bedeutung des eigenen Autos und auf eine verstärkte pragmatische Inter- und Multimodalität hinweisen (LSE Cities/InnoZ 2015).

Beim Auto waren die Marken über lange Zeit ein wichtiges symbolisches Unterscheidungsmerkmal, zunehmend relevanter wurde auch die Produktdifferenzierung innerhalb der Marken. Die Marken bezogen ihre Identität – *Vorsprung durch Technik* oder „*Aus Freude am Fabren* – im Wesentlichen auf tatsächlich oder vermeintlich besondere technische Merkmale und Eigenschaften. Die Nutzer und die Nutzerinnen des Autos ließen sich neben der Reputation der Marken von der Verfügbarkeit, dem Preis und der Qualität der Fahrzeuge leiten. In aller Regel wurde durch

Kauf oder Leasing eine exklusive Nutzung gesucht. Das digital basierte Carsharing zeigt nun, dass sich hier ein Wandel auf der Wahrnehmungs- und Entscheidungsebene vollzieht. Für die Nutzer von flexiblen Carsharing-Systemen sind der Zugang und die Verfügbarkeit wichtig. Die Entscheidungen werden in Sekundenbruchteilen getroffen. Weder die Marke des Fahrzeugs noch die des Carsharing-Anbieters sind dabei entscheidend. Der unmittelbare Fahrtenwunsch und dessen sofortige Ermöglichung sind vordringlich. Das Smartphone wird zum digitalen General-schlüssel für den intermodalen Verkehr. Es bildet die technische Grundlage für alle Dienstleistungsoptionen, die oft als „Mobility as a Service“ angeboten werden und flexible Sharinganteile beinhalten (Hietanen 2014; Canzler et al. 2019).

#### 4 Renaissance von Fuß- und Radverkehr

Neben den wachsenden intermodalen Sharing-Angeboten, die vor allem die digital sozialisierten Jungen in den Städten interessiert, gewinnen auch die „klassischen Alternativen“ zum Auto an Bedeutung. Der Rad- und Fußverkehr erlebt vielerorts eine Renaissance, einen zusätzlichen Schub erhielt die *aktive Mobilität* während der Corona-Pandemie. In Deutschland ist das eher im Freizeitbereich so, während in anderen Ländern wie in den Niederlanden das Fahrrad auch im Alltagsverkehr eine höhere Bedeutung erfährt. In allen Städten Europas und Nordamerikas, die sich in den einschlägigen life-quality-Rankings oben platzieren können, spielt der Fahrradverkehr eine große Rolle. Daher investieren viele – vor allem große – Städte wie Wien, Paris, London und nicht nur die Vorreiter Kopenhagen und Amsterdam in die Fahrradinfrastruktur: in Fahrradwege, Abstellanlagen, Radschnellwege etc. Die britische Hauptstadt beispielsweise hat hohe Investitionen für neue Fahrradwege und die Ausweitung von public-bike-Services mobilisiert, zugleich hat sie in großem Umfang für verkehrsberuhigte Nachbarschaften gesorgt (s. Aldred et al. 2021). Diese Politik einer vordringlichen Förderung aktiver Mobilität kommt aus der Nische und wird in vielen europäischen und nordamerikanischen Städten nachgeahmt. Ihre Ergebnisse bestätigen die Erfahrungen aus den Niederlanden und aus Kopenhagen, dass mehr und sichere Fahrradwege auch diejenigen auf das Rad bringen, die vorher ängstlich waren (Gehl 2015).

Ziel der Förderung der aktiven Mobilität ist eine gute Erreichbarkeit vieler alltäglicher Ziele, ohne auf das Auto angewiesen zu sein. Auch der Zufußverkehr profitiert davon, dass der städtische Raum weniger von Autos blockiert wird – vorausgesetzt, dass es tatsächlich einen Rückbau von Autofahrbahnen und Parkstreifen gibt. Es kommt wie beim Radverkehr auch für den Zufußverkehr dort zu einer positiven Feedbackschleife. Gleichzeitig kommt auch das steigende Gesundheitsbewusstsein der aktiven Mobilität zugute: Das Zufußgehen, Laufen und Fahrradfahren werden zu Bestandteilen urbaner life styles (Gerike/Parkin 2015). Unter dem Oberbegriff des *tactical urbanism* werden in einigen Städten und Ballungsräumen weltweit Konzepte umgesetzt, die neben der Verbesserung der Aufenthaltsqualität vor allem die Sicherheit und die Attraktivität des Zufußgehens und des Fahrradfahrens verbessern und zugleich eine notwendige Klimaanpassung durch mehr Entsiegelung beschleunigen sollen (im Überblick: Sadiq-Khan/Solomonow 2016). Die *Superblocks* in Barcelona gehören dazu, sie haben mittlerweile weit über die katalanische Hauptstadt eine große Aufmerksamkeit erlangt (s. Lopez et al. 2022).

## 5 Unübersichtliche und widersprüchliche Trends

Die Digitalisierung als Treiber für Mobilitätsinnovationen und der Aufschwung des *tactical urbanism* können die Transformation des Verkehrs einleiten und unterstützen. Um jedoch die Pfadabhängigkeiten im motorisierten Individualverkehr zu überwinden, müssen gleich mehrere Voraussetzungen gegeben sein: neue technische Optionen und innovative postautomobile Angebote, veränderte Einstellungen und veränderte Regelwerke. Außerdem braucht es ein neues Narrativ. Zentrale Elemente des neuen Narrativs stehen in einem engen Verhältnis zu digitalen Techniken und charakterisieren ebenso die erneuerbaren Energien: dezentral, flexibel, vernetzt. Der Kontrast zum Bestehenden könnte aber kaum größer sein. In der Landschaft von Verkehr und Mobilität – wie übrigens auch in der Energiegewinnung und -verteilung (Podewils 2021) – galten lange die Regeln des Fordismus, nämlich das Gesetz der Größe des immer Gleichen als Garantie für Verlässlichkeit. Lange war die Massenmotorisierung der alleinige Maßstab für Modernität und gesellschaftlichen Fortschritt. Diese Zeiten sind vorbei.

Die für den Verkehr relevanten gesellschaftlichen Entwicklungen verlaufen jedoch nicht in eine Richtung. Sie sind teilweise sogar widersprüchlich. So sind die Steuerungs- und Regelungsstrukturen im Personenverkehr nach wie vor auf das private Automobil ausgerichtet. Von den Stellplätzen im öffentlichen Raum über die steuerliche Abzugsfähigkeit von beruflichen Fahrten mit dem eigenen Pkw bis zum Dienstwagenwesen ist ein wirkungsvolles Geflecht von Anreizen für die Nutzung des privaten Automobils entstanden. Die systematische Autoförderung seit Mitte des 20. Jahrhunderts lässt sich beispielsweise für Deutschland eindrucksvoll rekonstruieren (Klenke 1995). Der verfestigte Pfad des privaten Automobils zeigt sich auch im individuellen Verkehrsverhalten. Gerade im Alltagsverkehr dominiert ein habitualisiertes Verhalten, es gilt Störungen zu vermeiden und Verkehrsmittel zu nutzen, ohne über jede einzelne Fahrt nachdenken zu müssen. Alltagsverkehr ist hochgradig routinisiert. Das private Auto hilft dabei, diese Bedürfnisse zu befriedigen, und macht es dadurch Alternativen schwer (Canzler 2016: 38ff.). Digitale Verkehrsinformations- und Leitsysteme im Fahrzeug können im Übrigen bestehende Nutzungsroutinen auch unterstützen, sie sind in dem Fall alles andere als disruptiv.

Das Erbe einer Politik der autogerechten Stadtentwicklung wirkt trotz gewandelter verkehrs- und stadtpolitischer Rhetorik nach. Gleichwohl verändert sich, hinter dem Rücken der Akteure, die urbane Mobilität. Dazu tragen auch veränderte Präferenzen von Bürgern und kommunalpolitische Ziele wie beispielsweise eine bessere Luftqualität. Viele Kommunen sind entschlossen, die Luftqualität zu verbessern und negative Auswirkungen auf die Gesundheit der Bürger zu vermindern. Ambitionierte Grenzwerte für Stockoxide und Feinstaub sind von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren – wenn überhaupt – nur mit erheblichem technischen Aufwand und hohen zusätzlichen Kosten einzuhalten. Fahrt aufgenommen hat auch der lokale Klimaschutz, in lokalen Klimaschutzplänen werden sowohl Klimaschutzziele als auch notwendige Anpassungsmaßnahmen formuliert, die nicht zuletzt auch den Verkehr betreffen. CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele sind im Verkehr nur mit einer Verlagerung zum Umweltverbund und mit einer verstärkten Elektrifizierung des motorisierten Verkehrs auf Grundlage erneuerbarer Energien zu erreichen.

Aus klimapolitischer Sicht hat die Verkehrswende mittlerweile höchste Dringlichkeit. Das ganze Feld ist unter Druck. Das gilt nicht nur

für die Antriebstechnik, sondern betrifft auch einst stabile Zuschreibungen und kollektive Projektionen auf das Automobil. Sinkt also die Akzeptanz des motorisierten Individualverkehrs? Der Befund ist ambivalent: Die Dominanz des individuellen Massenverkehrsmittels Auto hält zwar bis heute unvermindert an. Doch sind mögliche Bruchlinien erkennbar. Der Erfolg des Autos, seine massenhafte Verbreitung in den früh motorisierten Regionen der Welt, ist selbst zum Problem geworden. Auf den gesättigten Automärkten – also in Europa, in den USA und auch in Japan und Korea – büßt das Auto seinen Status als besonderes Konsumgut ein. Es zeichnen sich erstmals soziale Mobilitätspraktiken jenseits des privaten Automobils ab, nicht überall und noch nicht flächendeckend, aber zumindest in einigen urbanen Milieus (s. Canzler et al. 2018).

Die (städtische) Mobilität ist über die Elektrifizierung des Fahrzeugantriebs hinaus insgesamt in Bewegung geraten. Der Nimbus des privaten Autos hat mit Erreichen der Vollmotorisierung gelitten. Erosionen der alten Verkehrswelt sind an vielen Stellen zu sehen, eine neue deutet sich an. Ein neues Narrativ wird schemenhaft sichtbar, es scheint auf bei einigen neuen Akteuren und wird manchmal eng mit technischen Utopien verbunden. Bisweilen sind innovative Mobilitätskonzepte technisch drastisch überformt. Das ist im Fall vieler Visionen vom autonomen Fahren bzw. Gefahrenwerden der Fall. Diese sind allerdings zum großen Teil nur in einer mittel- und langfristigen Perspektive realistisch oder sie erweisen sich als Sackgasse (Daum 2019). Auf der Suche nach neuen Geschäftsfeldern preschen hier vor allem die Digitalunternehmen aus dem Silicon Valley und China vor. Alle großen Digitalunternehmen arbeiten an Mobilitätslösungen, in dem autonome Autos ohne Steuerrad nur ein spektakulärer Fall sind. Automatisierte *Chauffeurfahrten* in Robo-Taxis sind eine Variante, eine andere sind selbstfahrende Lieferdienste. Drohnen eröffnen die dritte Raumdimension. Grundsätzlich lassen sich durchaus effiziente automatisierte Mobilitätsangebote denken, wenn die Roboter-Vehikel zuverlässig agieren, in einer hinreichenden Anzahl verfügbar und integraler Bestandteil des öffentlichen Verkehrs sind (Canzler, Knie 2018). Das ist wohl weniger in Städten, sondern eher dort interessant, wo sich ein klassischer Bus- und Bahnverkehr wegen fehlender Bündelungsmöglichkeiten gar nicht lohnt.

Allerdings ist zum einen völlig offen, ob die Nutzerinnen und Nutzer das, was technisch möglich ist, tatsächlich nachfragen. Die Akzeptanz hängt von den Kosten, von der Sicherheit und Zuverlässigkeit und nicht

zuletzt von der routinemäßigen Handhabbarkeit ab. Spektakuläre Hacking-Aktionen und hohe Transaktionskosten in der Nutzung würden es sehr erschweren, dass das autonome Gefahrenwerden und integrierte Mobilitäts-Stromversorgungs-Angebote die Nische verlassen. Sicherheits- und Haftungsfragen sind aus Nutzersicht entscheidende Punkte. Zum anderen fehlt in Deutschland und Europa der regulative Rahmen sowohl für den Regelbetrieb von Robo-Taxis als auch für die Einbindung von E-Fahrzeugen in das Stromnetz (s. Canzler et al. 2019; Kemmerzell 2020).

## 6 Chancen und Potentiale der Mobilitätswende

Insgesamt lassen sich neben starken technischen und mentalen Pfadabhängigkeiten und anderen Beharrungstendenzen wie den autogerechten Siedlungs- und Verkehrsinfrastrukturen auch einige Trends beobachten, die das Potenzial haben, die Pfadabhängigkeiten abzuschütteln und eine Verkehrswende zu ermöglichen und voranzutreiben.

Die Geschichte des Verkehrs zeigt: Ein politisches Programm und ein übergeordnetes Ziel standen Pate für eine konsequente Implementierung von verkehrsrechtlichen, steuerlichen und infrastrukturellen Voraussetzungen dafür, dass der *Traum vom privaten Auto* wahr wurde (Sachs 1983; Klenke 1995). Am Anfang standen sowohl umfangreiche infrastrukturelle und (verkehrs-)rechtliche Vorleistungen als auch ein breiter gesellschaftlicher Konsens über die Entwicklungsrichtung der Massentorisierung. Auf dem gleichen Wege und mit der gleichen Konsequenz müsste auch das neue Ziel der Verkehrswende mit seinen Elementen der Elektrifizierung, der Intermodalität und der Stärkung des Öffentlichen Verkehrs sowie des Zuzußgehens und Radfahrens verfolgt werden. Das passiert trotz anderslautender Rhetorik nicht mit der nötigen Konsequenz, noch fehlt auch das notwendige postautomobile Narrativ.

Für politische Akteure gilt oftmals, dass das Risiko einer Änderung des verkehrspolitischen Status quo höher bewertet wird als der Nutzen einer zukünftig nachhaltigeren Verkehrspraxis. Zumal die Alternativen zum konventionellen – und im Sinne der Handlungsroutinen auf Seiten der Nutzer trotz aller Einschränkungen eben auch *bewährten* – privaten Automobil sperrig und disparat sind. So findet sich selbst bei den Grünen wenig Bereitschaft, das Verkehrsrecht zugunsten einer Deprivilegierung des privaten Autos grundlegend zu reformieren und seine externen

Kosten zu internalisieren (s. Creutzig et al. 2020). Nicht einmal die klimaschädlichen Subventionen im Verkehr werden angegangen, die nach jüngsten Berechnungen eines Konsortiums von Fraunhofer-Instituten, dem Öko-Institut und anderen im Auftrag des Wirtschaftsministeriums nicht nur den Haushalt belasten, sondern für zusätzliche CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich sind (siehe Plötz et al. 2023). So summieren sich die CO<sub>2</sub>-Mehremissionen in Folge der Subventionen im Verkehr in den Jahren 2023 bis 2030 auf mehr als 52 Millionen Tonnen (ebd.: 28) bei jährlichen Mindereinnahmen von 25,5 Milliarden Euro – bezogen auf das Untersuchungsjahr 2020 (ebd.: 29). Auffällige Zurückhaltung gibt es auch bei Bepreisungsmodellen wie einer City-Maut, die viel zu einer Neuaufteilung des öffentlichen Raumes in Städten und damit zu mehr Platz für andere Nutzungen jenseits des privaten Autos beitragen könnte (Canzler/Knie 2020). Auch an dieses Instrument traut sich niemand heran.

Vor diesem Hintergrund könnte ein Ausweg aus dem Dilemma sein, überfällige Veränderungen probeweise und örtlich sowie zeitlich begrenzt zu versuchen (s. Canzler/Knie 2018: 109ff.). Man hätte dann im Fall des Scheiterns oder beim Auftreten nicht-intendierter Negativeffekte die Möglichkeit, wieder zum Ausgangspunkt zurückzukehren. Eine Kultur des Experimentierens würde es erlauben, den bereits schon erkennbaren neuen Praktiken auch einen entsprechenden Raum einzurichten, um zu testen, ob sich diese Praxis verallgemeinern und stabilisieren lässt und welche Folgen möglicherweise zu erwarten sind. Die Änderungen müssen als reale Experimente im Alltag erlebbar werden können.

Nicht alle Verkehrsversuche sind erfolgreich, manche finden keine Akzeptanz, andere werden (zu) früh abgebrochen oder kämpfen mit kontraproduktiven Rahmenbedingungen. Auch aus dem Scheitern von konventionellen planerischen Experimenten wie beispielsweise im Fall falsch lokalisierter Park-and-Ride-Anlagen kann man viel lernen. Reallabore, die im Feld von Verkehr und Mobilität ganz ähnlich wie im Bereich des Klimaschutzes insgesamt auf das schwierige Verhältnis von übergeordneten politischen Zielen und Teilinteressen treffen, sind mit besonderen Risiken verbunden. Reallabore zeichnen sich neben ihrer räumlichen und zeitlichen Begrenzung auch durch eine Bottom up-Orientierung aus. Die Beteiligung von Stakeholdern und vor allem die direkte Beteiligung von Betroffenen wird in Reallaboren als Voraussetzung für die Akzeptanz von Lösungen betrachtet. Damit kann es passieren, dass

Betroffene eines Quartiers ihre Interessen durchsetzen und demokratisch gefasste Beschlüsse auf Stadtebene oder auf nationaler Ebene konkretisieren. Das NYMBY-Phänomen, *not-in-my-backyard* – also nicht bei mir, bitte schön, kann auch im Format von Reallaboren auftreten. In letzter Konsequenz könnte eine breite direkt-partizipative Wende in der Verkehrspolitik, aber auch in anderen Feldern, zu einer „organisierten Verantwortungslosigkeit“ (Haderer 2023) führen. Es ist daher unumgänglich, dass zum einen die Erwartungen über die Art und Reichweite der Beteiligung in Reallaboren geklärt und zum anderen die Erfolgskriterien für diese Experimente und ihre Verstetigung explizit gemacht werden.

Eine Anleitung zum Wandel beruht auf wahrnehmbaren Vorteilen des Neuen wie beispielsweise ein insgesamt besserer Verkehrsfluss oder auch eine höhere städtische Aufenthaltsqualität gegenüber dem Status quo ante. Vorteile bleiben abstrakt, solange sie nicht konkret erlebt werden können. Auf das Automobil bezogen bedeutet das, dass sich neue Verwendungs- und Nutzungsformen ohne Privatbesitz eher herausbilden können, wenn diese auch zuverlässig und habituell nutzbar sind. Realexperimente könnten dies ermöglichen. Allerdings ist umgekehrt nicht zu erwarten, dass in Experimentierräumen auch alles funktioniert. Was gut gedacht und gemeint ist, kann dennoch scheitern. Die Eigensinnigkeit von Menschen gerade im Verkehr ist nicht prognostizierbar. Was in der einen Stadt gut läuft, funktioniert woanders nicht. Es muss eine neue Praxis entstehen, die sich entwickeln, entfalten und verändern und die in Handlungsroutinen stabilisiert werden kann. Genau dafür werden Experimentierräume gebraucht. Sie könnten ein gangbarer Weg aus den Zwängen regulatorischer und habitueller Pfadabhängigkeiten sein.

Es bestehen also durchaus Chancen, aus den Nischen zu neuen, auch nachhaltigen Verkehrspraktiken zu kommen. Das gilt auch für die Potenziale der Verknüpfung der Elektromobilität mit den Erneuerbaren Energie. Je größer der Anteil der fluktuierend anfallenden Erneuerbaren Energie, desto wichtiger werden Flexibilitätsoptionen wie Speicher (ausführlich in: Canzler/Knie 2013). Die potenziellen Speichermöglichkeiten in der Elektromobilität sind vielfältig, bisher ist bestenfalls das gesteuerte Laden überhaupt ein Thema. Weitere Speicherfunktionen erfordern nicht nur technisch die Voraussetzung zum bidirektionalen Laden, sondern auch Anreize dazu. Die Fähigkeit zum und der Nutzen des bidirektionalen Ladens ist der Schlüssel für die Integration von Fahrzeugen in

ein Stromsystem auf Grundlage Erneuerbarer Energien (Burger 2023).

Wir sind gefangen in einem Spannungsverhältnis zwischen Disruption und Beharrung. Große Infrastruktursysteme, zu denen auch der Verkehr und das Auto gehören, sind schon aufgrund ihres Umfangs und ihrer Komplexität durch eine hohe Stabilität geprägt. Sie bilden gleichsam ein Netz interdependenter Pfade – mit teilweise hoher Pfadabhängigkeit (s. auch Mattioli et al. 2020). Das Auto ist Teil eines vielfältigen, mehrfach vernetzten und räumlich tief gestaffelten Systems, zu dem materielle Infrastrukturen wie Autobahnen, Autostraßen und Verkehrsregelungen bis hin zu Ampelschaltungen wie auch die auf das Auto ausgerichteten Raumstrukturen gehören: Einfamilienhaussiedlungen am Stadtrand, Gewerbegebiete und Shopping-Center auf der grünen Wiese sowie ganze Ballungsräume mit weitläufigen Einzugsgebieten. Diese Siedlungs- und Versorgungsstrukturen gingen in den letzten Jahrzehnten einher mit dem Verlust einer kleinräumigen lokalen Versorgung mit Lebensmittelläden, Apotheken, Arztpraxen etc. Es sind entfernungsintensive Raum- und Siedlungsstrukturen entstanden, die über viele Jahre aufgebaut, gelebt und durch die dazugehörigen Anreizmechanismen stabilisiert wurden. Dazu gesellen sich noch weitere Stabilisatoren: von den wirtschaftlichen Interessen der Unternehmen und der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer und deren Gewerkschaften, die auf das private Auto fokussiert sind, über die sozialen Erwartungen und Normen, die das bauliche und rechtliche Fundament noch weiter zementieren. Nach Kingsley Dennis und John Urry kann sich das Verkehrssystem nur dann grundlegend wandeln, wenn neue technische Optionen nutzbar sind, die von potenten Akteuren in den Markt geschoben und angeboten werden können und wenn gleichzeitig der Druck auf der politischen Ebene zur Regulierung der Folgen des Massenverkehrs zunimmt und sich kulturelle Prägungen und Präferenzen gegenüber den Alternativen zum Auto verändern (Dennis/Urry 2009).

Andererseits sind wesentliche Voraussetzungen für eine Verkehrswende bereits gegeben. Technische Alternativen gibt es sowohl in der Antriebstechnik als auch bei den Sharing-Angeboten und auf digitalen Plattformen. Hinzu kommt ein steigender Druck, mehr für die Absenkung der Schadstoffgrenzwerte zu tun, und die generelle Erkenntnis, dass sich die zur Rettung des Weltklimas notwendigen CO<sub>2</sub>-Einsparungen nur mit einer beschleunigten Antriebswende erreichen lassen. Diese hat durch neue globale Spieler erheblich an Dynamik gewonnen.

Dass diese optimistische Annahme eines Abbaus von Pfadabhängigkeiten durchaus begründet ist, lässt sich aus empirischen Beobachtungen ableiten, die unter dem Stichwort *traffic evaporation* zusammengefasst werden können. Dieses Phänomen meint eine Abnahme von Verkehr, wenn die Nutzungsbedingungen schwieriger werden. Wird es (zu) mühsam, das eigene Auto nicht nur zu bewegen, sondern auch einen Stellplatz zu finden, sinkt generell die Bereitschaft, das Fahrzeug zu nutzen (Nello-Deakin 2022). Dieses Phänomen verhält sich spiegelbildlich zum Phänomen des *induzierten Verkehrs*. Lange Zeit galt: Verkehr wurde induziert, wenn sich seine Bedingungen verbessern. Umgekehrt ist das offenbar auch der Fall.

Eine Verkehrswende muss aber eingebettet sein in eine gesellschaftspolitische Reformbewegung mit einem an Dezentralität orientierten Raumordnungsprogramm, von dieser zehren und diese im Gegenzug auch wieder unterstützen (s. Diehl 2021). Die Herausbildung moderner Gesellschaften war eng mit dem Auto-Verkehr und der durch ihn einfacheren Raumüberwindung verbunden. So wurden die Voraussetzungen für eine soziale Differenzierung und eine gesellschaftliche Modernisierung geschaffen. Eine neue multioptionale, digital vernetzte, regenerativ betriebene und kollektiv nutzbare Verkehrslandschaft kann dann der Ausgangspunkt für eine gesellschaftliche Modernisierung sein, wenn die innovativen Angebote breit verfügbar sind individuelle Lebens- und damit auch Bewegungsformen besser realisiert werden können als in einem privaten Auto, das im Stau steckt, um das man sich aufwendig kümmern muss und das dennoch oftmals nicht dort ist, wo es gerade gebraucht wird.

Da die Verkehrswende Teil einer *Großen Transformation* (WBGU 2011) ist, ist sie auch nicht isoliert zu betrachten. Vielmehr hängen die Erfolgsaussichten der Verkehrswende daran, dass die Verluste der Transformation nicht nur verwaltet, sondern durch die Gewinne mehr als ausgeglichen werden. Es gibt gute Gründe daran zu zweifeln, dass das gelingt. Ein grundsätzlicher Einwand besteht darin, dass die kapitalistische Moderne nur den Modus der materiellen Kompensation von Verlust – und das betrifft beinahe alle Veränderungen und Routinebrüche – vorsieht. Nicht-materielle Ausgleichsoptionen kennt und erlaubt sie nicht (Beckert 2024). Dagegen spricht jedoch, dass gelungene lokale Verkehrswenden – sei es in Utrecht, Kopenhagen oder auch in Ljubljana oder Ghent – sehr

wohl von den allermeisten Bürgerinnen und Bürgern als Gewinn betrachtet werden, die sie keinesfalls missen wollen. Es ist schwer in diesen Städten jemanden zu finden, der oder die sich den Status quo ante, nämlich die autogerechte Stadt, zurückwünscht.

## Bibliographie

- Agora Verkehrswende (2024): *Vorboten der Verkehrswende? Analyse des Personenverkehrs in Deutschland vor, während und nach der Corona-Pandemie (2019–2023)*, bearb. von Ph. Gaffron, Berlin, online: <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/vorboten-der-mobilitaetswende/>
- Aldred, Rachel; Verlinghieri, Ersilia; Sharkey, Megan; Itova, Irena; Goodman, Anna (2021): „Equity in new active travel infrastructure: A spatial analysis of London’s new Low Traffic Neighbourhoods“. *Journal of Transport Geography* 96, 103194, online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692321002477>
- Beckert, Jens (2024): *Verkaufte Zukunft*. Frankfurt/Main: Suhrkamp.
- Burger, Jaap (2023): Enabling two-way communication: Principles for bidirectional charging of electric vehicles. Regulatory Assistance Project (EAP), online: <https://www.raponline.org/knowledge-center/enabling-two-way-communication-principles-for-bidirectional-charging-of-electric-vehicles/>
- Canzler, Weert; Knie, Andreas (2013): *Schlaue Netze. Wie die Energie- und Verkehrswende gelingt*. München: Oekom.
- Canzler, Weert; Knie, Andreas (2016): *Automobil und moderne Gesellschaft. Beiträge zur sozialwissenschaftlichen Mobilitätsforschung*. Münster: LIT-Verlag.
- Canzler, Weert; Knie, Andreas (2016): *Die digitale Mobilitätsrevolution. Vom Ende des Verkehrs, wie wir ihn kannten*. München: Oekom.
- Canzler, Weert; Knie, Andreas (2018): *Taumelnde Giganten. Gelingt der Autoindustrie die Neuerung?* München: Oekom.
- Canzler, Weert; Knie, Andreas; Ruhrort, Lisa (2019): *Autonome Flotten. Mehr Mobilität mit weniger Fahrzeugen*. München: Oekom.
- Canzler, Weert; Knie, Andreas; Ruhrort, Lisa, Scherf, Christian (2018): *Erloschene Liebe? Das Auto in der Verkehrswende. Soziologische Deutungen*. Bielefeld: transcript-Verlag.
- Creutzig, Felix et al. (2020): “Adjust urban and rural road pricing for fair

- mobility”. *Nature Climate Change*, Vol 10/2020, online: [https://www.nature.com/articles/s41558-020-0793-1.epdf?sharing\\_token=HBZUAOWuq1RqMtNgL13-CdRgN0jAjWel9jnR3ZoTv0Miimiz7tMmRh3Stt1kQML8Ps595Vlp4Ae-oeUXgXTiapAB415v4oyr-Gx9S6cZZiZvl4KDddnWKCfpAJTasSpN03GSKqE07mCA9AagGyJwPIJT2W48vmih46ai0eLoWug%3D](https://www.nature.com/articles/s41558-020-0793-1.epdf?sharing_token=HBZUAOWuq1RqMtNgL13-CdRgN0jAjWel9jnR3ZoTv0Miimiz7tMmRh3Stt1kQML8Ps595Vlp4Ae-oeUXgXTiapAB415v4oyr-Gx9S6cZZiZvl4KDddnWKCfpAJTasSpN03GSKqE07mCA9AagGyJwPIJT2W48vmih46ai0eLoWug%3D)
- Daum, Timo (2019): *Das Auto im digitalen Kapitalismus. Wenn Algorithmen und Daten den Verkehr bestimmen.*, München: Oekom.
- Dennis, Kingsley; Urry, John (2009): *After the Car*. Cambridge: Polity Press.
- Diehl, Katja (2021): *Autokorrektur. Mobilität für eine lebenswerte Welt*. Berlin: Fischer Verlag.
- Dörre, Klaus; Liebig, Steffen, Lucht, Kim et al. (2024): „Klasse gegen Klima? Transformationskonflikte in der Autoindustrie“. *Berliner Journal für Soziologie* 34, 9–46 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11609-023-00514-z>
- EU COM (European Commission) (2019): *Handbook on the external costs of transport*, online: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/studies/internalisation-handbook-isbn-978-92-79-96917-1.pdf>
- Follmer, Robert; Knie, Andreas (2024): Mobilitätsreport No. 9, Mit Homeoffice und Deutschlandticket in die Mobilitätszukunft? Ergebnisse aus Beobachtungen per repräsentativer Befragung, April 2024, Bonn, [https://www.infas.de/wp-content/uploads/2024/04/infas\\_7895\\_Mobilitaetsreport\\_09\\_20240429.pdf](https://www.infas.de/wp-content/uploads/2024/04/infas_7895_Mobilitaetsreport_09_20240429.pdf).
- Freudentahl-Pedersen, Malene (2009): *Mobility in Daily Life: Between Freedom and Unfreedom*. London: Routledge.
- Gehl, Jan (2015): *Städte für Menschen*. Berlin: Jovis.
- Gerike, Regine; Parkin, John (eds.) (2015): *Cycling Futures – From Research into Practice*. London: Routledge.
- Gössling, Stefan et al. (2018): „The Social Cost of Automobility, Cycling and Walking in the European Union”. *Ecological Economics* Volume 158, April 2019, Pages 65-74, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.12.016>
- Haderer, Margaret (2023): „Experimental Climate Governance as Organized Irresponsibility? A Case for Revamping Governing (also) through Government”. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 19 (1), <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15487733.2023.2186078>

- Hietanen, Sampo (2015): „Mobility as a Service – european model of digital era transport. 2014“. Online: <http://merjakyllonen.fi/merja/wp-content/uploads/2015/10/Hietanen-ITS-Finland.pdf>.
- IEA (2023): Net Zero Roadmap, A Global Pathway to Keep 1.5C Goal in Reach, [https://iea.blob.core.windows.net/assets/9a698da4-4002-4e53-8ef3-631d8971bf84/NetZeroRoadmap\\_AGlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/9a698da4-4002-4e53-8ef3-631d8971bf84/NetZeroRoadmap_AGlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf).
- Klenke, Dietmar (1995): „*Freier Stau für freie Bürger*“. Die Geschichte der bundesdeutschen Verkehrspolitik. Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft.
- Kemmerzell, Jörg (2020): „Energy Governance in Germany“. Knodt, M & Kemmerzell, J. (Eds.): *Handbook of Energy Governance in Europe*. Wiesbaden: Springer, 667-708.
- Knie, Andreas (2024): „Kein Richtiges Leben im Falschen? Die Grenzen der Verkehrswende unter herrschenden Bedingungen, *Handbuch Mobilität und Gesellschaft*, hrsg. von Weert Canzler, Juliane Haus, Andreas Knie, Lisa Ruhrort. Wiesbaden, online: <https://link.springer.com/book/9783658375560>
- Lopez, Iván; Jordi, Jorgi; Pardo, Mercedes (2020): „Mobility Infrastructures in Cities and Climate Change: An Analysis Through the Superblocks in Barcelona“. *Atmosphere* 2020, 11, 410; doi:10.3390/atmos11040410.
- LSE Cities & InnoZ (2015): „*Towards New Urban Mobility. The Case of London and Berlin*“. <https://lsecities.net/wp-content/uploads/2015/09/New-Urban-Mobility-London-and-Berlin.pdf>.
- Mattioli, Giulio, Roberts, Cameron, Steinberger, Julia K.; Brown, Andrew (2020): „The political economy of car dependence: A systems of provision approach“. *Energy Research & Social Science*, 66, 101486. doi:10.1016/j.erss.2020.101486.
- Meyer, Christoph (2024): „Sozial, ökologisch oder technisch-verkehrlich? Straßenkonzepte als Ansatzpunkt für multifunktionale Straßenräume“, Kreutz, St., Stokman, A. (Hg.): *Transformation urbaner linearer Infrastrukturlandschaften. Wie Straßen und Gewässer zu attraktiven und klimaangepassten Stadträumen werden können*. München. Online: <https://doi.org/10.14512/9783987263187>
- Miller, Joshua et al. (2021): *Decarbonizing road transport by 2050: accelerating the global transition to zero-emission vehicles*, online: <https://theicct.org/publication/zevtc-accelerating-global-transition-dec2021/>
- Nello-Deakin, Samuel (2022): „Exploring traffic evaporation: Findings

- from tactical urbanism interventions in Barcelona”. *Case Studies on Transport Policy* 10(4), 2430-2442, online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213624X22002085>
- Plötz, P., Rohde, C., Repenning, J., Auf der Maur, A., Becker, L., Braungardt, S., Deurer, J., Dünnebeil, F., Friedrichsen, N., Heidt, C., Hennenberg, K., Hermann, H., Jöhrens, J., Kasten, P., Köppen, S., Lutz, C., Scheffler, M., Thamling, N., Wünsch, M. (2023): *Quantifizierung der Treibhausgaswirkung von staatlichen Begünstigungen in Deutschland, Bericht zum Vorhaben Wissenschaftliche Unterstützung Klimapolitik und Maßnahmenprogramm (14-BE-2203)*; Karlsruhe, Berlin, 2024, online: [https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/THG-Wirkung\\_staetliche-Beguenstigungen.pdf](https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/THG-Wirkung_staetliche-Beguenstigungen.pdf)
- Podewils, Christoph (2021): *Deutschland unter Strom*: München: Beck.
- Ruhrort, Lisa (2020): „Reassessing the Role of Shared Mobility Services in a Transport Transition. Can They Contribute the Rise of an Alternative Socio-Technical Regime of Mobility?“. *Sustainability, Special Issue. "Sustainable Automobilities in the Mobile Risk Society"*, edited by S. Kesselring, W. Canzler & V. Kaufmann, Vol. 12, No. 19, Article 8253, pp. 1-24, DOI: <http://doi.org/10.3390/su12198253>. Open Access: <http://hdl.handle.net/10419/226176>.
- Sachs, Wolfgang (1984): *Unsere Liebe zum Automobil*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Sadik-Khan, Janette; Solomonow, Seth (2016): *Streetfight: Handbook for an Urban Revolution*. New York: Penguin Books.
- Urry, John (2004): „The ‘System’ of Automobility“. *Theory, Culture & Society*, 21(4–5), 25-39. <https://doi.org/10.1177/0263276404046059>
- WBGU (2011): *Welt im Wandel. Die Große Transformation. Gutachten*. Berlin, online: [https://www.wbgu.de/fileadmin/user\\_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2011/pdf/wbgu\\_jg2011.pdf](https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2011/pdf/wbgu_jg2011.pdf)



## **Anmerkungen zur Energiewende aus Sicht der Allgemeinen Technologie**

***Norbert Mertzsch***

*(Rheinsberg, MLS)*

### **Abstract**

The energy transition is causing profound changes in the use of primary energy sources, energy conversion processes and the use of individual types of energy at all levels of the energy industry and beyond. From the perspective of general technology, individual aspects of the changes in the production, transport and storage processes of energy sources and energy as well as the necessary infrastructure will be described here.

### **Resümee**

Die Energiewende bewirkt tiefgreifende Veränderungen in der Nutzung von Primärenergieträgern, Energieumwandlungsprozessen und der Nutzung einzelner Energiearten auf allen Ebenen der Energiewirtschaft und darüber hinaus. Aus der Perspektive der allgemeinen Technik werden hier einzelne Aspekte der Veränderungen in den Produktions-, Transport- und Speicherprozessen von Energieträgern und Energie sowie der dafür notwendigen Infrastruktur beschrieben.

### **Keywords/Schlüsselwörter**

Energy transition, energy industry, general technology.  
Energiewende, Energiewirtschaft, Allgemeine Technologie.

## 1 Vorbemerkungen

Für die Energiewende bleiben nach Planungen der Bundesregierung in Deutschland nur noch 21 Jahre, was eine unglaubliche Herausforderung, sowohl auf technischer als auch gesellschaftlicher Seite, ist. Nach Berechnungen des Sachverständigenrates für Umweltfragen ist das CO<sub>2</sub>-Budget, welches diesen Planungen zugrunde liegt, bereits jetzt fast oder sogar vollständig aufgebraucht – je nachdem, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Klimagrenzen eingehalten werden sollen (SRU 2024). Damit müsste eigentlich die Energiewende bereits in diesem Jahrzehnt vollzogen werden. Da das unrealistisch ist, fordert die Leopoldina die Ausarbeitung einer nationalen Strategie für das Kohlenstoffmanagement (Pfeiffer et al. 2024), was bedeutet, dass das Kohlenstoffdioxid der Atmosphäre aktiv und dauerhaft zu entziehen ist.

Probleme der Energiewende wurden innerhalb der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e. V. bereits aus vielen Perspektiven betrachtet, auch auf Symposien zur Allgemeinen Technologie (Banse/Fleischer 2014, Banse/Fleischer 2018). Eine umfassende Darstellung, was besprochen wurde, ist den Ausführungen von Gerhard Banse in diesem Band zu entnehmen (Banse 2024).

Die Energiewende beinhaltet im Wesentlichen die Umstellung des Energiesystems „weg von der Verbrennung, hin zum Strom, weil er energetisch viel effizienter ist“ (Kleidon 2024). Sie bewirkt auf allen Ebenen der Energiewirtschaft und darüber hinaus tiefgreifende Änderungen bei der Nutzung von Primärenergieträgern, den Energieumformungsverfahren und der Nutzung einzelner Energiearten (Abicht/Stöttner 2024).

Es sei darauf hingewiesen, dass die Möglichkeit der Abkehr von den Vermögensenergien hin zu Einkommensenergien nicht erst zum Ende des 20. Jahrhunderts erkannt wurde. Denn bereits 1879 schrieb Werner Siemens (1816–1882):

„Es gehört sogar kein allzu kühner Flug der Phantasie dazu, um sich eine Zukunft auszumalen, in der die Menschheit die lebendige Kraft, welche die Sonnenstrahlen der Erde in ungemessenem Betrag zuführen, und die sich aus zum Theil im Wind- und in den Wasserfällen zur direkten Benutzung zur Verfügung stellt, mit Hülfe des elektrischen Stromes zur Herstellung alles nöthigen Brennstoffs verwendet und die für ihre Kindheit von der Natur vorsichtig aufgestapelten Kohlenlager ohne Nachteil zu entbehren lernt!“ (Witzlau 2016: 76-77.)

Die Struktur der Energiewirtschaft lässt sich aus Sicht der Allgemeinen Technologie gemäß Abbildung 1 folgendermaßen beschreiben:

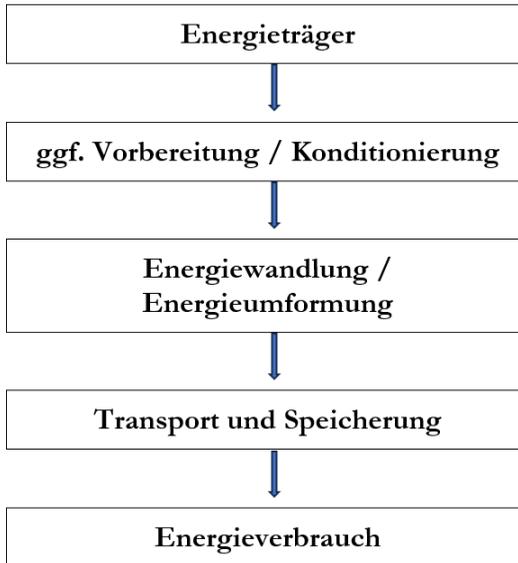


Abb. 1: Struktur der Energiewirtschaft.

Ausgehend von den Arbeiten von Horst Wolffgramm (1926-2020) zur Allgemeinen Technologie (Wolffgramm 1978, 2012) sollen hier aus Sicht der Allgemeinen Technologie einzelne Aspekte der Änderungen der Erzeugungs-, Transport-, und Speicherprozesse von Energieträgern und Energie sowie der notwendigen Infrastruktur im Rahmen der Energiewende beschrieben werden. Damit soll ein Beitrag zur Orientierung bei schnell wechselnden Aspekten der Energiewende geleistet werden.

## 2 Energieträger

### 2.1 Vorbemerkungen

Seit Beginn der Industrialisierung werden als Primärenergiequellen vornehmlich fossile Brennstoffe genutzt. Im Einzelnen sind das die Primärenergieträger:

- Torf,
- Steinkohle,

- Braunkohle,
- Erdöl,
- Erdgas,
- Ölschiefer.

Als weitere Primärenergiequellen sind spaltbare Kernbrennstoffe im Einsatz. Hinzu kommen in der Zukunft Fusionsbrennstoffe. Diese Primärenergiequellen gelten als Vermögensenergien, d.h. an Lagerstätten gebundene erschöpfbare natürliche Ressourcen (Fleischer/Mertzsch 2014).

Diese Vermögensenergien sollen im Rahmen der Energiewende durch Einkommensenergien, d.h. naturgegebene, ökologisch vorteilhafte Energieträger, die unter definierten Bedingungen fortdauernd, aber generell mengenlimitiert, sich im jeweiligen Bilanzraum erneuern, abgelöst werden. Dazu zählen:

- Solarenergie in den Formen Photovoltaik, Solarthermie, Kraft des fließenden Wassers, Windkraft, Bioenergie;
- Gravitationsenergie in Form der Gezeitenkraft;
- Geothermische Energie in Form von Erdwärme.

## 2.2 Bereitstellung der Vermögensenergieträger

Die Vermögensenergieträger sind auf der Erde nicht gleichmäßig verteilt. Nach einer Studie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe aus dem Jahr 2016 gelten für die Bereitstellung von fossilen Energierohstoffen (Vermögensenergien) folgende Aussagen (BGR 2016):

- Erdöl ist der weltweit wichtigste Energieträger. Es ist der einzige Energierohstoff, bei dem in den kommenden Jahrzehnten eine steigende Nachfrage wahrscheinlich nicht mehr gedeckt werden kann.
- Aus rohstoffgeologischer Sicht kann die Erdgasversorgung der Welt noch über Jahrzehnte gewährleistet werden. Erdgas ist weltweit noch in sehr großen Mengen vorhanden.
- Die Reserven und Ressourcen an Hartkohle und Weichbraunkohle können aus geologischer Sicht den erkennbaren Bedarf für viele Jahrzehnte decken. Mit einem Anteil von 55 % an Reserven und 89 % an den Ressourcen verfügt Kohle von allen fossilen Energierohstoffen über das größte Potenzial.
- Aus geologischer Sicht ist kein Engpass bei der Versorgung mit Kernbrennstoffen zu erwarten.

Damit dürfte die Versorgung Deutschlands mit fossilen Energierohstoffen, deren Nutzung spätestens 2045 beendet werden soll, auf Basis von Vermögensenergien gesichert sein. Dabei muss das meiste importiert werden, da die Versorgung mit einheimischen Energierohstoffen rückläufig ist. So wurde der Steinkohlenabbau bereits 2018 aus wirtschaftlichen Gründen eingestellt.

Die Bereitstellung der Vermögensenergieträger erfolgt durch den Bergbau, zu dem auch die Öl- und Erdgasindustrien zu zählen sind.

Die dafür notwendigen Arbeitsschritte lassen sich in die folgenden Phasen einteilen (Wolffgramm 1978):

- Herausbrechen der Vermögensenergieträger aus den Naturverband;
- Förderung der abgelösten Vermögensenergieträger;
- Aufbereitung der Vermögensenergieträger.

Zur Aufbereitung der Vermögensenergieträger werden u. a. gezählt:

- Zerkleinerung, Trocknung, Brikettierung fester Energieträger;
- chemische Aufbereitung von Erdöl zu Kraftstoffen, Heizöl in Raffinerien;
- Trocknung, Entschwefelung, gegebenenfalls CO<sub>2</sub>-Abtrennung bei Erdgas.

Da die Nutzung der Vermögensenergieträger bis zum Jahr 2045 auslaufen soll, werden die für die Bereitstellung dieser Energieträger notwendigen Industriezweige obsolet. Diese werden durch im Aufbau befindliche Industrien, die zur Nutzung von Einkommensenergien notwendig sind, abgelöst. Im Falle der Raffinerien zur chemischen Aufbereitung von Erdöl werden Kapazitäten zu „Grünen Raffinerien“ umgewandelt werden (Gnorski 2023).

### **2.3 Bereitstellung von Einkommensenergien**

Von den Einkommensenergien werden derzeit in Deutschland genutzt:

- Windkraft,
- Photovoltaik,
- Solarthermie,
- Kraft des fließenden Wassers,
- Bioenergie,
- Erdwärme

Für Gezeitenkraftwerke fehlen in Deutschland die geografischen Voraussetzungen.

Bis auf Bioenergie können die Einkommensenergien direkt genutzt und in Strom oder nutzbare Wärme umgewandelt werden.

Bei der Nutzung von Bioenergie muss die dafür nötige Biomasse, wenn keine Reststoffe und Abfälle genutzt werden, erst erzeugt werden. Die dafür notwendigen Arbeitsschritte lassen sich in die folgenden Phasen einteilen.:

- Anbau,
- Pflege,
- Ernte und gegebenenfalls Aufbereitung

Bioenergie wird als feste Biomasse (Holzscheite, Hackschnitzel, Pellets, Stroh) und Biogas zur Erzeugung von Elektroenergie und Wärmeerzeugung eingesetzt. Die installierte Leistung zur Erzeugung von Elektroenergie durch Biomasse lag 2020/2021 bei ca. 10 % der fossilen Kapazitäten und wird mit Fortschreiten der Energiewende deutlich zurückgehen (NEP 2023). Die Nutzung von Abfall- und Reststoffen sollte bei der Bioenergie vorrangig betrieben werden.

Die Nutzung der solaren Energieflüsse in Form der Windenergie, der Photovoltaik und der Solarthermie bedeuten zwangsläufig eine Industrialisierung weiter Teile der Landschaft. Das ist vielfach in der Bevölkerung umstritten und führt mitunter zu Protesten, Bildung von Bürgerinitiativen und langwierigen juristischen Auseinandersetzungen. Hier müssen die Bürger vor Ort besser beteiligt werden, damit sie, neben optischen und akustischen Belastungen, nicht auch die hauptsächlich finanziellen Belastungen (Netzentgelte) zu tragen haben.

Die Folgen des Klimawandels können sich, zumindest regional, auf die Nutzung von Einkommensenergien negativ auswirken. Das ist besonders bei der Nutzung von Bioenergie (durch den Klimawandel bedingte geringere bis fehlende Ernten) und der Wasserkraft (reduzierte Leistung infolge von Wassermangel) zu erwarten. Teilweise zeichnete sich das bereits im Sommer 2022 ab.

Wie bei den Vermögensenergien ist auch bei den Einkommensenergien in Deutschland eine ausreichende einheimische Versorgung nicht zu erwarten. Zur Sicherung der notwendigen Importe wird zum einen die innereuropäische Zusammenarbeit innerhalb der EU vertieft. Bei Impor-

ten ist darüber hinaus zu beachten, dass die exportierenden Länder ebenfalls den Umstieg von Vermögensenergien auf Einkommensenergien durchführen müssen. Deshalb wird eine enge Zusammenarbeit der importierenden und exportierenden Länder erfolgen müssen, um die Bedürfnisse des Importeurs mit denen des Exporteurs in Übereinstimmung zu bringen. Da die Exportländer im Wesentlichen ehemalige Kolonien sind, wird diese Zusammenarbeit mit sehr viel diplomatischem Feingefühl erfolgen müssen (Mertzsch 2022a).

Die begrenzte Nutzbarkeit „einheimischer“ Einkommensenergien führt auch zu der Schlussfolgerung, Energieeinsparung und -effizienz eine besondere Beachtung zu schenken; auch unter dem Aspekt einer höchstmöglichen nationalen Autarkie.

### **3 Energieumwandlung (Energieumformung)**

#### **3.1 Vorbemerkungen**

Bei der Nutzung der Vermögensenergien und der Einkommensenergien laufen Energiewandlungsprozesse bzw. Energieumformungsprozesse ab, die durch die Veränderung der Energieart charakterisiert sind. Gemeinsames Merkmal dieser Energiewandlungsprozesse bzw. Energieumformungsprozesse ist, dass die am Beginn vorliegende Energieart direkt oder über mehrere Stufen in die Nutzenergien elektrische Energie und Wärmeenergie umgewandelt wird. Die Energieumwandlung/Energieumformung von Vermögens- und Einkommensenergien kann direkt oder über mehrere Stufen erfolgen.

#### **3.2 Energieumwandlung von Vermögensenergie**

##### *3.2.1 Umwandlung in Elektroenergie*

Die vorbereiteten Vermögensenergieträger werden in Wärmekraftwerken zur anwendungsgerechten Endenergie – Elektroenergie oder Elektroenergie und Wärme umgewandelt (Wolffgramm 2012; Conrad 1981). Die großen Anlagen sind hauptsächlich Dampfkraftwerke bzw. Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerke (GuD-Kraftwerk). Bei Letzteren wirken die Verbrennungskraftmaschine Gasturbine bzw. die Wärmekraftmaschine Dampfturbine mit verschiedenen thermodynamischen Kreisprozessen

zusammen (*Wikipedia* 2024). Dadurch ergeben sich sehr hohe Wirkungsgrade (bis zu 63 %) und kurze Anfahrzeiten mit der Möglichkeit, schnell auf Anforderungen des Stromnetzes reagieren zu können.

Reine Gasturbinenanlagen werden zur Deckung des Bedarfs von Spitzenlast eingesetzt. Gasmotoren in Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung dienen vorzugsweise bei deutschen Stadtwerken zur Erzeugung von Elektroenergie, Wärme und Kälte. Diese Technologie, insbesondere erdgasbasierend, war in den letzten Jahrzehnten eine präferierte Technologie in Deutschland.

Die Energieketten bei der Energieumwandlung von Vermögensenergien zu Elektroenergie sind in Abbildung 2 dargestellt.

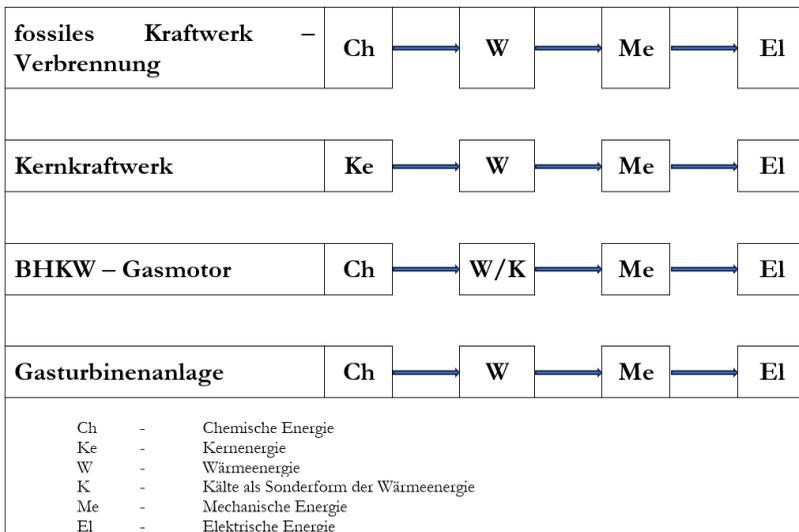


Abb. 2: Energieketten bei der Energieumwandlung von Vermögensenergien (nach Wolffgramm 2012: 178, ergänzt).

Die größten energetischen Verluste entstehen bei diesen Anlagen bei der Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit.

Im Zeitraum 2020/2021 wurde Elektroenergie in Deutschland, wie einer Tabelle im Netzentwicklungsplan Strom 2037 mit Ausblick 2045 zu entnehmen ist, aus den Vermögensenergieträgern Steinkohle, Braunkohle, Kernbrennstoff, Öl und Erdgas gewonnen (*NEP* 2023). Dabei liefen, außer bei der Nutzung von Kernbrennstoffen, jeweils Verbrennungsprozesse ab.

Kernbrennstoff wird in Deutschland seit 2022 nicht mehr zur Elektroenergieerzeugung genutzt. Die bisher betriebenen Kernkraftwerke werden zurückgebaut und die radioaktiven Abfälle zur Entsorgung vorbereitet. Die notwendigen Endlager sind erst in Vorbereitung. Demgegenüber werden in anderen Ländern neue Kernkraftwerke gebaut bzw. geplant.

Bis 2037, möglicherweise sogar früher, soll auch die Elektroenergieerzeugung aus Öl, Steinkohle und Braunkohle auslaufen. Damit endet die Ära der fossilen Großkraftwerke. Erdgas soll, soweit nötig, weiter für die Elektroenergieerzeugung genutzt werden, aber bis 2045 schrittweise durch Wasserstoff abgelöst werden. Dabei wandeln sich diese Kraftwerke dann zu Bestandteilen von Elektroenergiespeichern.

Ganz will man sich in Deutschland bei der Erzeugung von Elektroenergie scheinbar nicht nur auf Einkommensenergien verlassen. Denn im März 2024 startete das Bundesministerium für Bildung und Forschung das Programm „2040 – Forschung auf dem Weg zum Fusionskraftwerk“. Es zielt unter anderem darauf ab, „schnellstmöglich“ ein Fusionskraftwerk in Deutschland zu bauen (BMBF 2024). Ein solches Kraftwerk wird aber voraussichtlich erst weit nach dem Vollzug der Energiewende praxisreif werden, könnte aber für die Energieversorgungssicherheit von großer Bedeutung sein.

### *3.2.2 Umwandlung in Wärme*

Thermische Energie zum Heizen wird ebenfalls größtenteils noch auf Basis fossiler Energiequellen gewonnen. Dabei spielt die Auskopplung von Fernwärme aus fossilen Kraftwerken eine große Rolle. Als Energieträger werden Steinkohle, Braunkohle, Heizöl und vor allem Erdgas eingesetzt. Bei kleineren Wärmenetzen werden vor allem Blockheizkraftwerke in Kombination mit Spitzenlastkesseln auf Erdgasbasis eingesetzt.

Einzelheizungen in Wohnungen und Eigenheimen nutzen bevorzugt Erdgas oder Heizöl zur Wärmeherzeugung.

Diese Energiewandlungsprozesse auf Verbrennungsbasis werden durch die Energiewende zunehmend an Bedeutung verlieren. Als Dampfkraftwerke werden nach vollzogener Energiewende nur noch Gaskraftwerke auf Wasserstoffbasis als Speicherkraftwerke genutzt werden.

### 3.3 Energieumwandlung/Umformung von Einkommensenergie

Die Energieketten bei der Energieumwandlung von Einkommensenergien zu Elektroenergie sind in Abbildung 3 dargestellt.

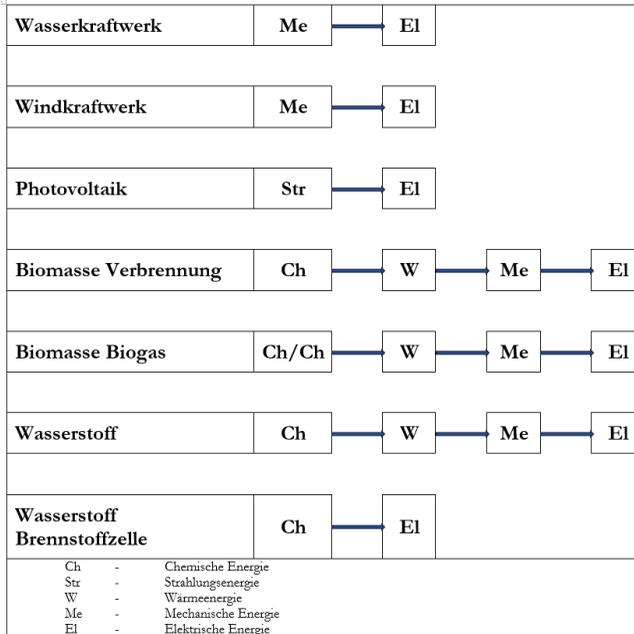


Abb. 3: Energieketten bei der Energieumwandlung von Einkommensenergien (nach Wolffgramm 2012: 178, ergänzt).

Die Kraft des fließenden Wassers wird in Laufwasserkraftwerken und Speicherkraftwerken genutzt. Die installierte Leistung in Deutschland wird mit 5600 MW bei 7300 Anlagen angegeben (BDW 2024). Zur Stromproduktion tragen sie nur etwa 14 % bei. Aus geografischen und ökologischen Gründen kann die Nutzung der Wasserkraft nicht wesentlich ausgebaut werden. Vorteil der Anlagen ist, dass, ein ausreichendes Wasserdargebot vorausgesetzt, die Elektroenergiegewinnung tages- und jahreszeitunabhängig ist.

Windkraft wird vor allem in *Offshore*- und *Onshore*-Windparks zur Elektroenergiegewinnung genutzt. Die installierte Leistung des Windkraftwerksanlagenbestands *offshore* soll von 7,8 GW (2020/2021) auf 70,0

GW (2045) anwachsen. *Onshore* wird mit einem Anwachsen der installierten Leistung von 56,1 GW (2020/2021) auf maximal 180,0 GW (2045) gerechnet. Dabei kann die Windparkgröße bis zu 2 GW installierter Leistung reichen. Kleinwindkraftanlagen haben bei der Elektroenergiegewinnung (noch) keine Bedeutung, obwohl bereits heute gute technische Lösungen verfügbar sind (Jüttemann 2022). Die installierte Leistung der Photovoltaikanlagen soll von 59,3 GW (2020/2021) auf maximal 445,0 GW (2045) ansteigen. Photovoltaik (PV) wird in Form von Dachanlagen, derzeit vor allem auch im Bereich von Eigenheimen, und Freiflächenanlagen zur Elektroenergiegewinnung genutzt. Bei Freiflächenanlagen ist darauf zu achten, dass möglichst wenig ertragreiche landwirtschaftliche Flächen genutzt werden, damit es zu keiner Konkurrenz zwischen der Nahrungsmittelproduktion und der Energiegewinnung kommt. Jedoch stellt auch die Nutzung wenig ertragreicher Flächen einen Eingriff dar, der zu Lasten der Biodiversität gehen kann. Typische artenreiche Biotope, wie z. B. Trockenrasen, werden durch die geringere Belichtung unter den PV-Flächen negativ beeinflusst. Die Umzäunung der Flächen schränkt auch die äsenden Wildtiere ein. Andererseits werden derzeit Vorhaben zur Flächennutzung wiedervernässter Moore für Photovoltaik und Windkraft entwickelt (Leopoldina 2024).

Eine besondere Bedeutung gewinnt aktuell die sogenannte Agri-Photovoltaik. Dabei erfolgt die gleichzeitige Nutzung von Flächen für die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion (Photosynthese) und die PV-Stromproduktion (Photovoltaik). Agri-PV deckt ein breites Spektrum in der Intensität und Art landwirtschaftlicher Nutzung und im Mehraufwand für den PV-Anlagenbau ab. Dieses Spektrum reicht vom Anbau von Sonderkulturen und intensiven Ackerkulturen mit speziellen PV-Montagesystemen bis zu extensiver Beweidung mit marginalen Anpassungen auf der PV-Seite. Damit steigert Agri-PV die Flächeneffizienz und ermöglicht den Ausbau der PV-Leistung bei gleichzeitigem Erhalt fruchtbarer Ackerflächen für die Landwirtschaft oder in Verbindung mit der Schaffung artenreicher Biotope (*Agri-Photovoltaik* 2024).

Biomasseheiz(kraft)werke werden mit Nutzung fester Biomasse (Holzscheite, Hackschnitzel, Pellets, Stroh) zur Elektroenergie- und Wärmeerzeugung, als Holzvergaser (selten) oder als Biogasanlagen mit Gasmotor betrieben. Bei Biogasanlagen ist die Abwärmenutzung aufgrund der Lage im ländlichen Raum oft nicht gewährleistet. Die installierte Leistung zur Erzeugung von Elektroenergie durch Biomasse lag

2020/2021 bei ca. 10 % der fossilen Kapazitäten und wird mit Fortschreiten der Energiewende deutlich zurückgehen. Nach jüngsten Überlegungen werden in Zukunft Biomassekraftwerke vorzugsweise mit CCS<sup>1</sup>/CCU<sup>2</sup> eine Perspektive haben.

Die Energieketten bei der Energieumwandlung von Einkommensenergien zu Wärmeenergie sind in Abbildung 4 dargestellt.

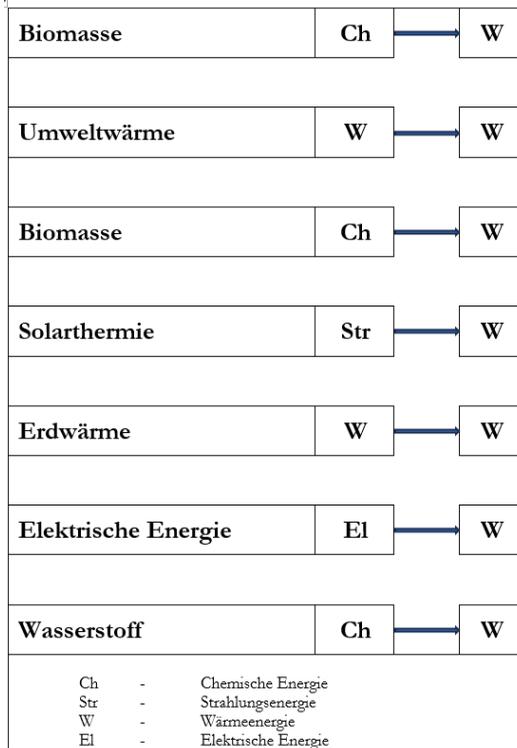


Abb. 4: Energieketten bei der Energieumwandlung/Energieumformung von Einkommensenergien (nach Wolffgramm 2012: 178, ergänzt).

<sup>1</sup> Die Speicherung von Kohlendioxid im Untergrund – sei es an Land oder im Meeresuntergrund – soll dem Klimaschutz dienen: engl. *Carbon Capture and Storage* = CCS.

<sup>2</sup> Abscheidung, Transport und anschließende Nutzung von Kohlenstoff: engl. *Carbon Capture and Utilization* = CCU.

Der Anteil von Einkommensenergien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte lag im Jahr 2023 mit 205,5 Mrd. kWh bei 18,8 % (UBA 2024).

Dabei dominieren die verschiedenen Formen der Biomasse die Wärmeversorgung aus Einkommensenergien. Feste Biomasse lieferte dabei 131,6 Mrd. kWh, flüssige Biobrennstoffe 2,6 Mrd. kWh, gasförmige Biomasse 21,6 Mrd. kWh und biogener Abfall weitere 14,9 Mrd. kWh.

Solarthermie dient in Deutschland nur der Wärmeenergieerzeugung. Für solarthermische Kraftwerke zur Stromerzeugung fehlen die geografischen Voraussetzungen. Der Beitrag der Solarthermie zur Wärmeversorgung aus Einkommensenergie lag 2023 bei 9,1 Mrd. kWh.

Zwischen solarthermischen Anlagen und Photovoltaikanlagen besteht Flächenkonkurrenz. Abhilfe könnten sogenannte Hybrid-Kollektoren schaffen, die aus Kostengründen selten genutzt werden (Doormann 2024). Die Hybrid-Kollektoren haben im Vergleich mit solarthermischen Anlagen hinsichtlich der Wärme ein geringeres Temperaturniveau zu bieten und sind daher z. B. für die Einspeisung von Wärme in die Fernwärme nur begrenzt geeignet. Hier wäre gegebenenfalls die Kombination mit Wärmepumpen hilfreich. Um die Wärmewende bis 2045 zu schaffen, sollten hier schnell tragfähige Lösungen gefunden werden. Auch gilt es, die speziellen Energienutzungen standort- und objektbezogen zu berücksichtigen. Solarthermie hat nämlich einen deutlich höheren Wirkungsgrad als Photovoltaik: Der Wirkungsgrad bei Solarthermie liegt bei 50 %, der von Photovoltaik nur bei 20 %. Pro Quadratmeter Dachfläche liefert eine solarthermische Anlage etwa 2,5-mal so viele kWh Wärme wie die Photovoltaik Strom erzeugt.

Die Wärmebereitstellung aus Geothermie und Umweltwärme lag im Jahr 2023 bei 25,7 Mrd. kWh, deutliche 18 % über dem Niveau des Vorjahres (21,7 Mrd. kWh). Damit werden ca. 12,5 % der Wärme aus Einkommensenergien durch Geothermie und Umweltwärme gewonnen. Erdwärme (Geothermie) bezeichnet die in der Erdkruste gespeicherte Wärmeenergie. Diese kann zum Heizen, Kühlen und zur Stromerzeugung genutzt werden (UBA 2023).

Oberflächennahe Geothermie nutzt die Erdwärme bis zu 400 m Tiefe. Da die nutzbare Wärme bis zu dieser Tiefe noch nicht zum Heizen ausreicht, ist der Einsatz von Wärmepumpen erforderlich. Das gilt auch für waagrecht verlegte Erdwärmekollektoren, wobei hier noch solare Anteile der Erderwärmung genutzt werden. Für die tiefe Geothermie

werden Wärmereservoirs bis in 5 km Tiefe erschlossen. Die gewonnene Erdwärme wird in Wärmenetze eingespeist, wobei auch hier unter Umständen Wärmepumpen genutzt werden müssen, um das geforderte Temperaturniveau zu erreichen (u. a. in Rheinsberg, Neuruppin). Bei einem ausreichenden Temperaturniveau kann mit Geothermiekraftwerken Strom erzeugt werden. Auch die Gewinnung von Lithium für Batterien aus dem Thermalwasser wird diskutiert (*Helmholtz* 2024). Geförderte Sole ist bereits im Genehmigungsverfahren auf Lithiumgehalte zu überprüfen. Die Nutzung von Erdwärme ist ab einer Tiefe von ca. 15 m nicht von Wettereinflüssen abhängig und kann das ganze Jahr genutzt werden.

Zur Umweltwärme wird die Wärme in bodennahen Luftschichten, in Oberflächengewässern und in Grundwässern gezählt. Teilweise wird auch die oberflächennahe Geothermie bis in 400 m Tiefe dazugerechnet.

Mit Fortschreiten der Energiewende wird der Einsatz von elektrischer Energie zur Wärmeerzeugung zunehmen. Zum einen wird das bei der Nutzung von Umweltwärme in Wärmepumpen bereits genutzt, zum anderen ist auch die Nutzung von Elektrodenkessel oder Widerstandsheizungen möglich (*Power-to-Heat*), insbesondere in Stunden mit hohen Stromüberschüssen aus Einkommensenergien (Sonne, Wind).

## 4 Verteilung und Speicherung der Energieträger bzw. Energie

### 4.1 Vorbemerkungen

Die Verteilung und Speicherung der Energieträger bzw. Energie entspricht den in der Logistik üblichen Verfahren. Dass diese Perspektive berechtigt ist, ergibt sich laut Bundesvereinigung Logistik (BVL) aus den Zielen der Logistik (*BVL* 2024). Danach gilt:

„Allgemein gesehen besteht die fortwährende Aufgabe der Logistik in der Sicherstellung von Transport, Lagerung, Bereitstellung, Beschaffung und Verteilung von Gütern, Personen, Geld, Informationen und Energie.“

Dabei sind die Energieträger bzw. die Energie als Gut zu betrachten, welches zu transportieren und gegebenenfalls zu lagern ist. Auch nach Wolffgramm (1978) kann der Energietransport mit der zur Speicherung notwendigen Infrastruktur zu den ortsändernden technologischen Vorgängen gerechnet werden.

| Gegenwärtiger Stand   |  |  |
|---|--|--|
| Erzeugung   | Energietransport und Speicherung   | Verbrauch  |
| Elektrischer Strom  | Übertragungsnetze<br>Verteilnetze<br><br>Speicherung: mechanische Speicher,<br>elektrochemische Speicher   | Haushalte<br>Gewerbe<br>Industrie<br>Verkehr<br>Energiewandlungs-<br>anlagen |
| Gasförmige Energieträger<br>Erdgas<br>synthetisches Erdgas<br>Bioerdgas                 | Rohrleitungsnetze für einzelne Gase / Gemische<br><br>Speicherung: Kavernenspeicher, Porenspeicher,  |  |
| Flüssige Energieträger<br>Erdöl und dessen Produkte<br><i>Power-to-Liquid</i> -Produkte | Rohrleitungsnetze<br>Schienen- und Straßentransport in Tankwagen<br><br>Speicherung: Kavernenspeicher, oberirdische Tanks  |  |
| Feste Energieträger<br>Kohle<br>Biomasse  | Schienen- und Straßentransport, Schifffahrt<br><br>Speicherung: offene/geschlossene Schüttgutlager   |  |
| Wärme   | Wärmenetze mit integrierten Speichern  |  |
| Nach vollzogener Energiewende   |  |  |
| Erzeugung   | Energietransport und Speicherung   | Verbrauch  |
| Elektrischer Strom  | Übertragungsnetze<br>Verteilnetze<br>Gelegentlich Straßen- oder Schienentransport<br>(chemische Speicher)<br>Speicherung: mechanische Speicher,<br>elektrochemische Speicher<br>chemische Speicher | Haushalte<br>Gewerbe<br>Industrie<br>Verkehr<br>Energiewandlungs-<br>anlagen |
| Gasförmige Energieträger<br>Bioerdgas<br>ggf. synthetisches Erdgas<br>Wasserstoff       | Rohrleitungsnetze für einzelne Gase / Gemische<br><br>Speicherung: Kavernenspeicher, Porenspeicher,  |  |
| Flüssige Energieträger<br><i>Power-to-Liquid</i> -Produkte                              | Rohrleitungsnetze<br>Schienen- und Straßentransport in Tankwagen<br><br>Speicherung: Kavernenspeicher, oberirdische Tanks  |  |
| Feste Energieträger<br>Biomasse   | Schienen- und Straßentransport, Schifffahrt<br><br>Speicherung: offene/geschlossene Schüttgutlager   |  |
| Wärme   | Wärmenetze mit integrierten Speichern, gelegentlich<br>Straßentransport (Wärmetanks)   |  |

Tab. 1 Stellung von Energietransport und Speicherung im System der Energieversorgung.

Dabei sind Energietransport und Speicherung der einzelnen Energieträger nicht isoliert zu betrachten. Es treten zumindest bei elektrischem Strom und gasförmigen Energieträgern Wechselwirkungen auf, die vor allem mit der Speicherproblematik von Elektroenergie zusammenhängen.

## 4.2 Elektroenergie

Die Verteilung der bereit gestellten Elektroenergie erfolgt über das Stromnetz. Erzeugung und Verbrauch müssen im Stromnetz stets ausgeglichen sein.

Bis vor wenigen Jahren speisten die Energieerzeuger (Großkraftwerke) im Wesentlichen in das Drehstrom-Hochspannungs-Übertragungsnetz ein. Die Spannung in diesem Netz liegt bei 380 bzw. 220 kV. Über dieses Netz wird die Elektroenergie zu den Verbrauchsschwerpunkten transportiert. Dort wird diese in Umspannwerken üblicherweise auf die Spannungsebene 110 kV transformiert und an die Verteilnetze übergeben. Über diese wird die Elektroenergie über die Mittelspannungsnetze und weiter über die Niederspannungsnetze den Verbrauchern zugeführt.

Eine Besonderheit des Stromnetzes ist die Auslegung nach dem Grundsatz der  $(n-1)$ -Sicherheit. Das heißt, dass das Stromnetz auch noch funktionieren muss, wenn eine Komponente, eine Leitung oder ein Transformator, ausfällt.

Das Stromnetz hat sich in dieser Art in den letzten 100 bis 120 Jahren herausgebildet. Dabei wurden im Laufe der Zeit zunehmend die örtlichen Elektroenergieerzeuger durch Großkraftwerke ersetzt. Herausragenden Persönlichkeiten für die Entwicklung des Stromnetzes waren Georg Klingenberg (1870–1920) und Oskar von Miller (1855–1934). Dadurch galt bis Anfang der 1990er Jahre (Gilson 1994):

„Die in den 20er Jahren getroffenen Entscheidungen für die zentralisierte Großkraftherzeugung und für die Verbundwirtschaft bilden bis heute das normative Fundament der Elektrizitätswirtschaftslehre. Alle Aussagen dieser Wissenschaften beruhen auf dieser Voraussetzung. Ein Urteil über die Notwendigkeit dieser Voraussetzung, also über die Begründung und Gültigkeit der Norm selbst, kann innerhalb der so konzipierten Energiewirtschaftslehre nicht getroffen werden. Daher lässt sich mit Hilfe der gegenwärtigen Energiewirtschaftslehre auch kein Urteil über die Funktionsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit anderer bisher nicht verwirklichter, aber technisch realisierbarer und – da im Voraus nicht entscheidbar – möglicherweise ökonomisch sinnvollerer Strukturen des Versorgungssystems fällen.“

Seit Anfang der 1990er Jahre wurde durch Einführung der Kraft-Wärme-Kopplung im Zusammenhang mit zunehmender Verbreitung der Fernwärme dieses System aufgeweicht. Im Rahmen der Energiewende ergibt

sich nun eine drastische Aufgabenveränderung innerhalb des Stromnetzes. Das Übertragungsnetz wird langfristig für den Transport von Elektroenergie der großen Windparks im Norden Deutschlands zu den Verbraucherzentren im Süden ausgelegt (NEP 2023). Eine andere Möglichkeit wäre, Anreize zu schaffen, dass energieintensive Produktionen dorthin verlagert werden, wo sich die Hauptproduktionsgebiete der Elektroenergie aus Einkommensenergien befinden (Abicht/Stöttner 2024). Dagegen gibt es jedoch Widerstand. Neben den bisher üblichen Drehstrom-Hochspannungs-Übertragungsleitungen werden dafür zukünftig auch noch aufzubauende Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen genutzt werden. Diese werden durch Übertragungsleitungen aus dem Ausland, z. B. Norwegen, ergänzt.

Auch die Verteilnetze müssen für die neuen Aufgaben als Sammel- und Verteilnetze für Einkommensenergien umgerüstet werden. Durch die vielen *Onshore*-Windparks in der Fläche, die Solarparks und die Solaranlagen im privaten Bereich besteht die Notwendigkeit, die dort erzeugte Elektroenergie über die Ebenen Niederspannung, Mittelspannung und Hochspannung bis zum Übertragungsnetz abzuleiten.

Zusätzlich entstehen im Rahmen der Sektorkopplung zur Absicherung der Mobilität und der Wärmeversorgung neue Bedarfe an Elektroenergie, die über das Stromnetz abgedeckt werden müssen. Dass das nicht immer reibungslos abläuft, zeigt das Beispiel Oranienburg, wo zeitweise keine zusätzlichen Verbraucher angeschlossen werden konnten (Göldner 2024). Dort ist das Problem inzwischen behoben (RBB24 2024).

Ein weiteres wichtiges Problem ist die Sicherheit des Stromnetzes. Dass diese nicht immer gewährleistet ist, zeigte sich im Anschlag auf die Stromversorgung des Tesla-Werkes bei Grünheide im März 2024 (Wangemann 2024). Im Zuge des Klimawandels ist seit einigen Jahren auch eine Zunahme von Wetterextremen festzustellen, die zu Schäden an der Energieinfrastruktur führen können. Als Beispiel für erhebliche Schäden am Stromnetz durch Naturereignisse sei hier das Schneechaos im Münsterland im Jahr 2005 angeführt (Schröder/Klaue 2021). In einigen Orten kam es bis zu einer Zeit von 6 Tagen zum Stromausfall.

Weitere Beispiele für Probleme mit der Sicherheit des Stromnetzes sind bei Mertzsch (2022a) aufgelistet. Es stellt sich die Frage, ob die Bündelung von Übertragungsleitungen gemäß Netzentwicklungsplan (NEP 2023) unter dem Aspekt der Resilienz wirklich sinnvoll ist.

In unserer hochkomplexen Welt ist die jederzeitige Verfügbarkeit von Energie in ausreichender Menge unabdingbar für das Funktionieren der Gesellschaft. Die Sicherung der Energieversorgung ist ein Staatsziel. Um dieses abzusichern, wurde das Gesetz zur Sicherung der Energieversorgung (Energiesicherungsgesetz – EnSiG) erlassen, welches absichern soll, dass die Deckung des lebenswichtigen Bedarfs an Energie für den Fall, dass die Energieversorgung unmittelbar gefährdet oder gestört ist und die Gefährdung oder Störung der Energieversorgung durch marktgerechte Maßnahmen nicht, nicht rechtzeitig oder nur mit unverhältnismäßigen Mitteln zu beheben ist, erfolgen kann (*EnSiG* 2023). Doch auch der Übergang zur ausschließlichen Nutzung von Einkommensenergien wird ebenfalls Risiken in sich bergen, die rechtzeitig zu diskutieren sind (Mertzsch 2011). Das Gesetz zur Sicherung der Energieversorgung wäre dann entsprechend anzupassen.

Um allen Aufgaben bei der Sicherung der Energieversorgung gerecht werden zu können, wird das Stromnetz zunehmend digitalisiert. Dem dient u. a. das Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende (*Gesetz* 2023). Um eine effektive Steuerung der Netze zu ermöglichen, werden die Energieerzeugung, die Netzsteuerung und die Erfassung der Energieverbräuche digitalisiert. Auch für die Integration des europäischen Strommarkts ist die Digitalisierung von großer Bedeutung. In diesem Zusammenhang wird auch vom *Internet of Energy* gesprochen (Gährs /Bluhm/Kütemeyer 2022). Dabei wird das Zusammenspiel von Erzeugung, Netz und Verbrauch immer mehr auf einer dezentralen Ebene erfolgen. Um die riesigen Datenmengen beherrschen zu können, wird zunehmend auf künstliche Intelligenz gesetzt werden. Die Verarbeitung der Daten wird zunehmend cloudbasiert und mit externer Recheninfrastruktur erfolgen. Die digitale Netzsteuerung kann resilienzfördernd wirken, bringt aber auch neue Risiken durch die zunehmende Abhängigkeit von der Informations- und Kommunikationstechnik (*TAB* 2024). Als Beispiel kann der plötzliche Ausfall unzähliger Windows-Rechner am 19.07.2024 dienen, der zu einer weltweiten IT-Katastrophe geführt hat. Der Verursacher war in diesem Fall die sehr verbreitete *Security*-Software Falcon von CrowdStrike, die vor modernen Cyberangriffen schützen soll – und damit auch vor Ausfällen (Eikenberg 2024). Inzwischen entwickelt das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) Folgemaßnahmen, um vergleichbare Vorfälle künftig zu vermeiden (*BSI* 2024).

Im bisherigen System der Elektroenergieversorgung hatten Speicher keine große Bedeutung. Die Strombereitstellung erfolgte über Grundlast-, Mittellast- und Spitzenlastkraftwerke. Dabei waren nur die Pumpspeicherkraftwerke, die als Spitzenlastkraftwerke dienten, als Energiespeicher anzusehen. Da die Kraftwerke, die die bisherigen Aufgaben übernahmen, zunehmend abgeschaltet werden, ist die ständige bedarfsgerechte Versorgung mit Elektroenergie durch volatile Windkraftwerke und Photovoltaik in Zukunft nicht mehr gesichert. Dazu sind in Übertragungs- und Verteilnetze für die Elektroenergie zunehmend Speicher zu integrieren. Die Nutzung der „Schwarspeicher“ von batterieelektrischen Kraftfahrzeugen erfordert bidirektionales Laden unter der Voraussetzung der Digitalisierung der Stromnetze und ist ein gutes Beispiel für die notwendige Sektorkopplung.

Die Energieketten bei der Energieumwandlung von Elektroenergie im Rahmen der Speicherung sind in Abbildung 5 dargestellt.

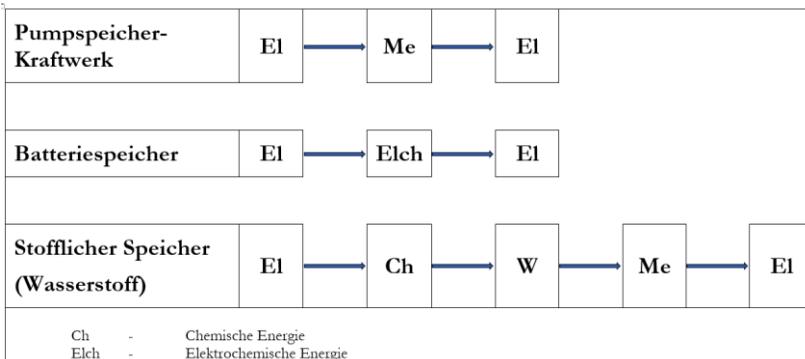


Abb. 5: Energieketten bei der bei der Energieumwandlung von Elektroenergie im Rahmen der Speicherung.

Die notwendigen Mengen an Elektroenergie können mechanisch, elektrochemisch oder chemisch gespeichert werden (Mertzsch 2014, Fleischer/Mertzsch 2014, Mertzsch 2022b). Während auf der Verteilnetzebene vor allem elektrochemische Speicher (derzeit Lithiumionen-Akkumulatoren) eine Rolle spielen dürften, auch in Verbindung mit der Elektromobilität, werden auf der Übertragungsnetzebene diese Aufgabe neben Pumpspeicherkraftwerke als große mechanische Speicher vor allem Gaskraftwerke in Verbindung mit Wasserstoffspeichern und Elektrolyseuren übernehmen müssen. Hier besteht eine enge Verknüpfung zwischen Stromtransport, Speicherung und Gaserzeugung, gegebenenfalls

Transport, Speicherung und Rückverstromung. Auf diese soll im Nachfolgenden etwas näher eingegangen werden.

Für die stoffliche Langzeitspeicherung ist Wasserstoff aus Elektroenergie mittels Elektrolyse zu gewinnen. Bei Bedarf ist dieser dann wieder zu verstromen. Gemäß vorgestelltem Netzentwicklungsplan wird der Komplex Elektrolyse/Wasserstoffspeicherung/Rückverstromung nicht als Speichereinheit gesehen. Das hat die Konsequenz, dass zwar die Anordnung der Elektrolyseure netzdienlich erfolgen soll, aber die Themen Wasserstoffspeicherung, Wasserstofftransport zur Rückverstromung und die Rückverstromung nicht im Komplex betrachtet werden. Dabei ist abzusichern, dass bei der netzdienlichen Anordnung der Rückverstromungskraftwerke diese in volkswirtschaftlich effizienter Weise in der Nähe von Wasserstoffspeichern anzuordnen sind. Diese Diskussion muss unbedingt vor dem Ausbau der Wasserstofftechnologie geführt werden.

Zusätzlich zur chemischen Speicherung von Elektroenergie für die Rückverstromung ist Wasserstoff über Elektrolyseure noch für die Sektorkopplung und die stoffliche Nutzung bereitzustellen und zu speichern, da technologische Anlagen in der Stoffwirtschaft möglichst kontinuierlich gefahren werden sollen, um effizient zu sein und eine möglichst lange Lebensdauer zu erreichen.

An dieser Stelle ist auch die Problematik anzusprechen, was Speicher abdecken sollen. Üblicherweise wird bisher mit Dunkelflauten im Winter von bis zu zwei Wochen gerechnet, die über Speicher abzudecken sind. Das gilt dann natürlich auch für die Bedarfe im Rahmen der Sektorkopplung und die stoffliche Nutzung.

Der Ausbau internationaler Stromtrassen zum Ausgleich des Stromangebots und des Strombedarfs, insbesondere auf dem europäischen Kontinent, kann einen wichtigen Beitrag zur zukünftigen Stabilität der Stromnetze leisten.

Nicht diskutiert werden bisher längerfristige Probleme bei der Versorgung mit Einkommensenergie, z. B. durch größere Vulkanausbrüche (Stichwort Jahr ohne Sommer). Dabei ist zu beachten, dass nach vollständiger Umstellung der Energieversorgung auf Einkommensenergie die Fähigkeit und die Möglichkeit, Vermögensenergie kurzfristig bereitzustellen und zu nutzen, verloren geht. Es kann dann über einen längeren Zeitraum nur gespeicherte Einkommensenergie genutzt werden. Die Konsequenzen sollten deshalb vor der vollständigen Umstellung des

Energiesystems diskutiert werden und nicht wegen des seltenen Auftretens verdrängt werden (Mertzsch 2011, Krassmann 2012).

### 4.3 Gasförmige Energieträger

Die Verteilung von gasförmigen Energieträgern betrifft den Vermögensenergieträger Erdgas und die Einkommensenergieträger Bioerdgas, synthetisches Methan und Wasserstoff.

Für die Verteilung von Erdgas existiert in Deutschland ein ausgedehntes Gasnetz mit großer Speicherkapazität. Dieses Netz kann auch für die Verteilung von Bioerdgas und synthetischem Methan vollumfänglich genutzt werden. Bioerdgas und synthetisches Methan sind teuer und werden aus diesem Grund sicherlich nur für wenige Anwendungen, z. B. im Mobilitätsbereich, in Frage kommen. Die Beimischung von Wasserstoff ist in gewissen Grenzen machbar, schließt dann aber manche Anwendungen, wie die Nutzung für Erdgasantriebe, wieder aus. Um diese Probleme zu beheben, laufen Untersuchungen zur Trennung von Wasserstoff und Methan.

Für die Verteilung großer Mengen Wasserstoff ist ein eigenes Wasserstoffverteilnetz in Planung (*FNB Gas* 2023). Nach verschiedenen Überlegungen könnte dafür ein Teil des vorhandenen Erdgasnetzes ertüchtigt und umgewidmet werden. Dieses Netz wird vorrangig große Verbraucher im Bereich der Sektorkopplung und der Stoffwirtschaft versorgen. Hinzu kommen Erzeugerkapazitäten im Rahmen der Speicherung von Elektroenergie.

Mit fortschreitender Energiewende wird nach dem Aufbau von Versorgungsalternativen ein großer Teil der Netzinfrastruktur für Erdgas nicht mehr benötigt. Diese ist dann stillzulegen und gegebenenfalls zurückzubauen, was zu beträchtlichen Kosten führen kann. Diese Problematik wird von der Bundesregierung in Angriff genommen (*BMWK* 2024).

Zur Speicherung großer Mengen des Vermögensenergieträgers Erdgas sind Kavernenspeicher und Porenspeicher geeignet (*erdgasspeicher.de* 2022). Aber auch das gesamte Erdgasnetz kann große Mengen Gas speichern. Kavernenspeicher sind künstlich erzeugte Hohlräume in Salzstöcken. Der Durchmesser beträgt bis zu 100 m und die Höhe variiert zwischen 50 und 500 m. Das Volumen solcher Kavernen liegt bei 40 bis 100 Millionen Nm<sup>3</sup>. Kavernenspeicher eignen sich für die Abdeckung von

Verbrauchsspitzen bis zur saisonalen Speicherung. Porenspeicher bestehen aus porösem Speichergestein (meist Sandstein), welches nach oben durch eine niedrigporöse Gesteinsschicht (z. B. Tonstein) abgedichtet ist. Zur Speicherung wird Erdgas unter hohem Druck in ein unterirdisches Speichergestein gepresst. In Porenspeichern werden große Mengen an Gas gelagert, die auf Grund ihrer geophysikalischen Eigenschaften recht langsam ein- und ausgespeichert werden, weshalb diese besonders für die saisonale Speicherung geeignet sind.

Zur Speicherung der Einkommensenergieträger synthetisches Erdgas und Bioerdgas sind die gleichen Speicher nutzbar, wie sie für Vermögensenergieträger Erdgas genutzt werden. Wasserstoff aus Einkommensenergien wird im zukünftigen Energiesystem in großen Mengen in Untertagespeichern bis zur Rückverstromung bei einem fehlenden Angebot an Elektroenergie aus Einkommensenergien oder für die stoffliche Nutzung eingelagert. Als Speicher sind wie beim Erdgas Kavernenspeicher und Porenspeicher vorgesehen (*EWI-Studie 2024*). Ausgeführt sind solche Speicher bisher nicht. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für solche Speicher werden z. B. am Standort Etzel in Niedersachsen ausgeführt (*Storage Etzel 2024*).

#### 4.4 Flüssige Energieträger

Der Transport flüssiger Energieträger auf Basis von Vermögensenergieträgern erfolgt in der Regel über Produktpipelines, Schiene, Schiff und Tanklaster (*Prognos 2018*).

Diese Prozesse wurden über Jahrzehnte optimiert und können problemlos für den Transport von flüssigen Energieträgern auf Basis von Einkommensenergieträgern wie biobasierten Kraftstoffen und *Power-to-liquid*-Produkten übernommen werden.

Die Bedeutung des Transports flüssiger Energieträger wird im Laufe der Energiewende auf Grund der zunehmenden Elektrifizierung vieler Prozesse deutlich zurückgehen. Da flüssige Energieträger aber besonders im Transportbereich weiter Bedeutung haben werden, wird auch deren Transport nicht völlig wegfallen.

Die Speicherung von flüssigen Energieträgern erfolgt in oberirdischen oder unterirdischen Tanklagern. Diese haben eine große Bedeutung für den Ausgleich von Angebot und Nachfrage bei diesen Energieträgern.

## **4.5 Feste Energieträger**

Der Transport fester fossiler Energieträger erfolgt in der Regel über Schiene, Schiff und LKW. Er ist im Rahmen der Ablösung der Kohle durch Erdgas bei der Gewinnung von Elektroenergie und beim Heizen bereits deutlich zurückgegangen und wird mit zunehmender Energiewende immer weiter zurückgehen.

Der Transport von fester Biomasse wird vom Erzeuger zum Verbraucher vorrangig im Nahbereich (bis max. 100 km) mit LKW erfolgen.

Für die Speicherung fester Energieträger werden offene oder geschlossene Schüttgutlager genutzt. Das Vorhalten solcher Speicher wird in Zukunft nur noch für feste Biomasse notwendig sein, da fossile Energieträger im Rahmen der Energiewende ihre Bedeutung verlieren.

## **4.6 Wärmebereitstellung**

### *4.6.1 Gebäudewärme*

Die Wärmebereitstellung für einzelne Gebäude, die im Weiteren nicht weiter betrachtet werden soll, erfolgt derzeit überwiegend durch Vermögensenergiequellen, wie Erdgas und Heizöl. Im Rahmen der Energiewende wird der nach einer thermischen Sanierung der Gebäude noch nötige Wärmebedarf durch Einkommensenergiequellen, wie Solarthermie, Umweltwärme und elektrischen Strom gedeckt werden. Eine große Bedeutung wird dabei der Wärmepumpe zukommen. Das ist auch beim Ausbau der Netze für Elektroenergie zu berücksichtigen.

Für Städte und größere Gemeinden werden Fernwärmenetze eine zunehmende Bedeutung erlangen. Bestehende Fernwärmenetze besitzen üblicherweise wenige Einspeisepunkte für die Wärmeenergie. Bisher wird die dafür nötige Wärme vorrangig mit Vermögensenergieträgern über Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung in Verbindung mit Spitzenlastheizkesseln erzeugt. Als Vermögensenergieträger werden vorrangig Erdgas, aber auch Kohle und Heizöl eingesetzt. Vielfach sind auch Heiz- bzw. Heizkraftwerke auf Basis von Biomasse eingebunden (Mertzsch/ Jeremias 2015).

Um in Zukunft zur Wärmeversorgung Einkommensenergien effektiv nutzen zu können, besteht die Notwendigkeit die Rücklauftemperaturen in den Fernwärmenetzen zu senken.

Als Einkommensenergien in Fernwärmenetze können eingebunden werden:

- solarthermische Energie,
- Umweltwärme,
- Erdwärme,
- Bioenergie,
- niederkalorische Rest- und Abfallenergie,
- Elektroenergie „Power-to-Heat“.

Durch die Nutzung eines weit gestreuten Spektrums an Einkommensenergien zur Wärmeversorgung, die teilweise durch Einbindung von Wärmepumpen bereitgestellt werden, lassen sich Fernwärmenetze kostengünstig und sicher betreiben. In einer Kurzanalyse „Drittzugang bei Wärmenetzen“, die im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellt wurde, wird der Drittzugang zu Wärmenetzen aufgrund des hohen regulatorischen Aufwands allerdings nicht für ein besonders erfolversprechendes Politikinstrument zur Steigerung des erneuerbaren Energien-Anteils in Wärmenetzen angesehen (Ortner et al. 2022). Der Betrieb der Netze ist auch als Kalt- und Niedertemperaturnetz möglich.

#### 4.6.2 *Wärmespeicherung*

Da der Bedarf an Heizenergie mit dem Dargebot jahreszeitlich und tageszeitlich nicht übereinstimmt, sind für die Bereitstellung der benötigten Wärme in den Fernwärmenetzen, aber auch bei einzelnen Gebäuden, Wärmespeicher einzusetzen. Wärmespeicher sind in der Literatur ausführlich beschrieben worden (Mertzsch 2014, Fleischer/Mertzsch 2015, Mertzsch 2022b), so dass auf diese nur kurz eingegangen werden soll. So gibt es für die Wärmespeicherung drei Grundarten der Speicher in den verschiedensten Ausführungsformen:

- Kapazitive (sensible) Speicher
- Transformative (latente) Speicher
- Thermochemische Speicher

Die Energiedichte nimmt von den kapazitiven (sensiblen) über die transformativen (latenten) zu den thermochemischen Speichern zu. Der Entwicklungsstand ist bei den kapazitiven (sensiblen) Speichern derzeit am höchsten.

Die Energieketten bei der Speicherung von Wärmeenergie sind in Abbildung 6 dargestellt.

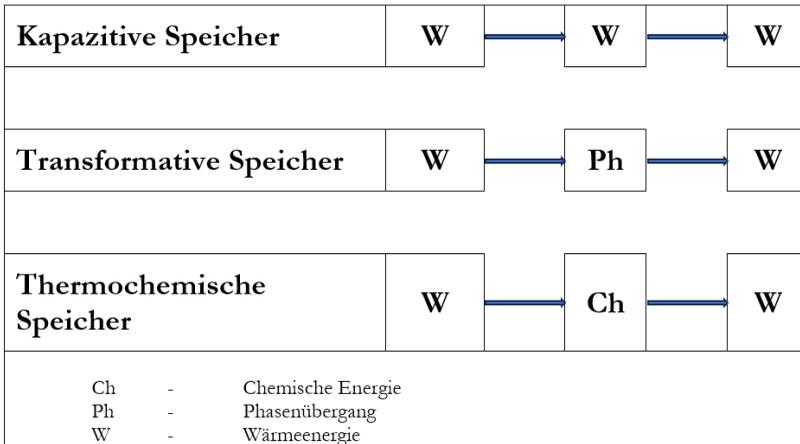


Abb. 6: Energieketten bei der bei der Energieumwandlung von Wärmeenergie im Rahmen der Speicherung.

#### 4.6.3 Hochtemperaturwärme

Der Bereich der Hochtemperaturwärme (auch Prozesswärme), der für industrielle Zwecke genutzt wird, liegt im Bereich über 130 °C. Bisher genutzte Energieträger für diesen Temperaturbereich sind die Vermögenenergieträger Kohle, flüssige Kohlenwasserstoffe und Erdgas. In Zukunft sollen diese durch elektrischen Strom und Wasserstoff auf Basis von Einkommensenergie abgelöst werden. Erste Entwicklungen laufen dazu. So haben die Unternehmen BASF, Sabic und Linde in Ludwigshafen eine Demonstrationsanlage für großtechnische elektrisch beheizte *Steamcracker*-Öfen eingeweiht. Diese ist vollständig in die bestehenden *Steamcracker*-Anlagen des Standorts integriert und soll Olefine produzieren (Müller 2024).

Um in zunehmendem Maße Einkommensenergien sinnvoll für Prozesswärme nutzen zu können, sind Hochtemperaturwärmespeicher in diese Wärmeversorgungssysteme zu integrieren. Dazu steht eine Vielzahl von Technologien bereit (Vandersickel et al. 2022). Dazu gehören u. a. die bereits länger in der chemischen Industrie bekannten Feststoffspeicher (Vauck/Müller 1978) und Ruths-Speicher, benannt nach dem schwedischen Ingenieur Johannes K. Ruths (1879–1935), als kapazitive (sensible) Speicher. Weiterhin wird an der Entwicklung von Hochtem-

peraturanwendungen von transformativen (latenten) und thermochemischen Speichern gearbeitet. Bei Letzteren liegt der Schwerpunkt beim System Calciumoxid/Calciumhydroxid (Laing/Wörner 2013).

## 5 Wasserstoff

Wasserstoff wird im Rahmen der Energiewende eine große Bedeutung zugemessen, da er als vielseitiger Energieträger und als Rohstoff für die Industrie einsetzbar ist.

Bisher wird der vor allem in der Stoffwirtschaft eingesetzte Wasserstoff auf Basis von Vermögensenergieträgern, heute vor allem Erdgas, erzeugt. Da mittlerweile unterschiedlichste Methoden zur Wasserstoffherzeugung entwickelt wurden, gibt es für die Zuordnung der Herkunft eine umfangreiche Farbenlehre (FIS 2023). Im Rahmen der Energiewende wird die Erzeugung des Wasserstoffs aber vorrangig auf der Elektrolyse von Wasser auf der Basis von Elektroenergie aus Einkommensenergien basieren (Mertzsch 2022a, 2022b). Dieser Wasserstoff wird zur langfristigen Speicherung von Elektroenergie für Zeiten, in denen kein ausreichendes Angebot auf Basis von Einkommensenergien zur Verfügung steht, genutzt und dann rückverstromt. Darüber hinaus wird der Wasserstoff auch Verbrauchern zur stofflichen Nutzung zur Verfügung stehen müssen.

Um den Mangel an Möglichkeiten zur ausreichenden Bereitstellung von Einkommensenergien in Deutschland auszugleichen, wird der Import von Wasserstoff als Energieträger für Einkommensenergien aus Ländern, in denen die Sonneneinstrahlung deutlich höher als in Deutschland ist, geplant. Ungeklärt ist beim Import von Einkommensenergien auf Basis von Wasserstoff, welcher Energieträger importiert werden soll (und wie er transportiert werden soll!), da Wasserstoff sich nur sehr aufwendig verflüssigen oder komprimieren lässt. Bisher werden da Flüssigwasserstoff, Wasserstoff gebunden an LOHC (*Liquid Organic Hydrogen Carrier*), wie z. B. Dibenzyltoluol, und Ammoniak genannt (Scheuermann 2022). Doch auch der Import von flüssigem Methan, hergestellt aus Wasserstoff, wäre denkbar, zumal die Infrastruktur dafür gerade errichtet wurde. Auch der Import von Methanol wäre denkbar (SOLIFARY 2024). Solche Szenarien würden dann z. B. die einheimische Ammoniakherzeugung infrage stellen, wobei die Erzeugung der Folgeprodukte, die

eng mit der Ammoniakherstellung verbunden sind, ebenfalls zu diskutieren wäre.

## 6 Energieverbrauch

Beim Verbrauch der einzelnen Energieträger werden sich im Rahmen der Energiewende deutliche Veränderungen ergeben. So wird die direkte Nutzung der elektrischen Energie deutlich zunehmen. Durch erhebliche Steigerungen der Energieeffizienz soll der Stromverbrauch in seinen klassischen Anwendungen allerdings gesenkt werden. Inwieweit die umfangreiche Nutzung von künstlicher Intelligenz, die eine immense Rechnerleistung und damit Stromverbrauch erfordert, die Effekte der Energieeffizienz wieder aufhebt, bleibt abzuwarten.

Insbesondere für die Bereiche Verkehr und Wärmeversorgung wird zunehmend Elektroenergie eingesetzt. Demgegenüber wird der Einsatz flüssiger und gasförmiger Energieträger für diese Bereiche deutlich zurückgehen.

Der Verkehrssektor ist bisher der Bereich mit dem geringsten energetischen Anteil an Einkommensenergien. Einkommensenergien werden hauptsächlich als Biokraftstoffe, die fossilen Kraftstoffen zuge-mischt sind, und Elektroenergie im Schienenverkehr genutzt (TAB 2024). Elektrofahrzeuge im Straßenverkehr spielen bisher eine untergeordnete Rolle.

Für die Zukunft werden im Verkehrsbereich flüssige und gasförmige Kraftstoffe auf Basis von Einkommensenergien vor allem in der Luftfahrt, der Schifffahrt und dem Schwerlastverkehr eine Rolle spielen, sofern batterieelektrische Anwendungen nicht sinnvoll umzusetzen sind.

## Bibliographie

Abicht, Lothar; Stöttner, Carina (2024): *KLIMANEUTRAL! So gelingt der Umbau von Wirtschaft und Technologie. Klima-Innovation für eine sichere Zukunft*. Frankfurt (Main), New York: Campus Verlag.

*Agri-Photovoltaik* (2024): *Agri-Photovoltaik*.

<https://www.ise.fraunhofer.de/de/leitthemen/integrierte-photovoltaik/agri-photovoltaik-agri-pv.html>.

Banse, Gerhard; Fleischer, Lutz-Günther (Hrsg.) (2014): *Energiewende – Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag. 5. Jahreskonferenz der*

- Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 2012.* (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 31). Berlin: trafo Wissenschaftsverlag.
- Banse, Gerhard; Fleischer, Lutz-Günther (Hrsg.) (2018): *Energiewende 2.0 im Fokus – Bewährtes, Problematisches, Notwendiges, Kontroverses.* (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 47). Berlin: trafo Wissenschaftsverlag.
- Banse, Gerhard (2024): „Die Behandlung der Energiewende in der Leibniz-Sozietät und im LIFIS – Ein Überblick“. *Die Energiewende 2.0 im Fokus: „Review des Transformationsprozesses des Energiesystems in Deutschland“*, hrsg. von Ernst-Peter Jeremias; Norbert Mertzsch; Gerhard Pfaff. (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 165). Berlin: trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist.
- BDW (2024): *Wasserkraft. Installierte Leistung und Stromproduktion.* <https://www.wasserkraft-deutschland.de/wasserkraft/wasserkraft-in-zahlen.html>.
- BGR (Hrsg.) (2016): *Energiestudie 2016. Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen* (20). Hannover. [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/Energiestudie\\_2016.pdf;jsessionid=424AD1525C57CBE0EFC614E76AF6F66E.1\\_cid321?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/Energiestudie_2016.pdf;jsessionid=424AD1525C57CBE0EFC614E76AF6F66E.1_cid321?__blob=publicationFile&v=3) (25.09.2022).
- BMBF (2024): *Positionspapier Fusionsforschung. Auf dem Weg zur Energieversorgung von morgen.* Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Referat FZJ, HZB, HZDR, IPP; Fusion. [https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/7/775804\\_Positionspapier\\_Fusionsforschung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/7/775804_Positionspapier_Fusionsforschung.pdf?__blob=publicationFile&v=5).
- BMWK (2024): *Green Paper Transformation Gas-/Wasserstoff-Verteilernetze.* [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/G/green-paper-transformation-gas-wasserstoff-verteilernetze.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/G/green-paper-transformation-gas-wasserstoff-verteilernetze.pdf?__blob=publicationFile&v=4).
- BSI (2024): *Nach globalen IT (Informationstechnik)-Ausfällen – BSI (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik) entwickelt Folgemaßnahmen.* [https://www.bsi.bund.de/DE/Service-Navi/Presse/Pressemitteilungen/Presse2024/240729\\_Folgemaassnahmen\\_Crowdstrike.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Service-Navi/Presse/Pressemitteilungen/Presse2024/240729_Folgemaassnahmen_Crowdstrike.html).
- BVL (2024): *Ziele der Logistik.* <https://www.bvl.de/service/zahlen-daten-fakten/logistikbereiche/logistik>.

- Conrad, Walter (Hrsg.) (1981): „Kraftwerk. Einteilung von Kraftwerken.“ *BI-Taschenlexikon Energie*. Leipzig: Bibliographisches Institut, 178.
- Doormann, Gina (2024): Hybridkollektor: beste solare Kombination aus Strom und Wärme. <https://www.solaranlagen-portal.com/solarthermie/kollektoren/hybridkollektor>.
- Eikenberg, Ronald (2024): *CrowdStrike-Fiasko: Neue Details zum fatalen Update, BSI warnt vor Angriffen*. <https://www.heise.de/news/CrowdStrike-Fiasko-Neue-Details-zum-fatalen-Update-BSI-warnt-vor-Angriffen-9808106.html?view=print>.
- EnSiG (2023): *Gesetz zur Sicherung der Energieversorgung (Energiesicherungs-gesetz – EnSiG)*. [https://www.gesetze-im-internet.de/ensig\\_1975/BJNR036810974.html](https://www.gesetze-im-internet.de/ensig_1975/BJNR036810974.html).
- erdgasspeicher.de* (2022): *Gasspeichertypen*. <https://erdgasspeicher.de/erdgasspeicher/gasspeichertypen/> (28.05.2022).
- EWI-Studie* (2024): *Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI). Die Bedeutung von Wasserstoffspeichern – Eine Analyse der Bedarfe, Potenziale und Kosten*. [https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2024/03/EWI\\_Die-Bedeutung-von-Wasserstoffspeichern.pdf](https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2024/03/EWI_Die-Bedeutung-von-Wasserstoffspeichern.pdf).
- FIS* (2023): *Wasserstoffqualität und Farbenlehre*. <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/567718/>.
- Fleischer, Lutz-Günther; Mertzsch, Norbert (2014): „Herausforderungen größer als erwartet. Die wissenschaftlich- technische Komplexität der effektiven Speicherung großer Energiemengen stellt ein praktisches und theoretisches Kernproblem der Energiewende dar.“ *ReSource Abfall – Robstoff – Energie Fachzeitschrift für nachhaltiges Wirtschaften* (27/III), 37-45.
- Fleischer, Lutz-Günther; Mertzsch, Norbert (2015): „Die sogenannte Wärmespeicherung bildet ein essentielles Element des Funktions- und Sicherungssystems der evolutionären Energetik.“ *ReSource Abfall – Robstoff – Energie Fachzeitschrift für nachhaltiges Wirtschaften* (28/II), 4-13.
- FNB Gas* (2023): *Wasserstoff-Kernnetz*. <https://fnb-gas.de/wasserstoffnetz-wasserstoff-kernnetz/>.
- Gähns, Swantje; Bluhm, Hannes; Küttemeyer, Leonie (2022): *Nachhaltige Digitalisierung einer dezentralen Energiewende. Stand der Forschung, relevante*

- Fragestellungen und aktuelle Herausforderungen*. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, ECOLOG – Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung. [https://www.ioew.de/fileadmin/user\\_upload/BILDER\\_und\\_Downloaddateien/Publikationen/2022/SBE\\_Gaehrs-Bluhm-Kuetemeyer\\_sus-digi-energy-transition\\_de.pdf](https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/2022/SBE_Gaehrs-Bluhm-Kuetemeyer_sus-digi-energy-transition_de.pdf).
- Gesetz (2023): *Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende*. <https://www.recht.bund.de/bgbl/1/2023/133/VO>.
- Gilson, Norbert (1994): *Konzepte von Elektrizitätsversorgung und Elektrizitätswirtschaft. Die Entstehung eines neuen Fachgebietes der Technikwissenschaften zwischen 1880 und 1945*. Stuttgart: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik
- Gnorski, Henry (2023): „Transformation der PCK Raffinerie GmbH zur Raffinerie der Zukunft“. *Die Energiewende 2.0 im Fokus: Die Stoffwirtschaft*, hrsg. Gerhard Pfaff; Norbert Mertzsch; Ernst-Peter Jeremias. (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 158). Berlin: trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist, 45-54. [https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/12/01\\_SB158-0.pdf](https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/12/01_SB158-0.pdf).
- Göldner, Igor (2024): *Strom-Engpässe in Oranienburg: Droht anderen Kommunen das auch?* <https://epaper.maz-online.de/epaper/ruppiner-tageblatt-2024-04-17-epa-90967/?page=p791761&searchword=Strom-Engpässe+in+Oranienburg+Droht+anderen+Kommunen+das+auch%3F&interactivelayer=3917367>.
- Helmholtz (2024): *Interview „Heimische Lithiumquellen sind enorm relevant“*. <https://www.helmholtz.de/newsroom/artikel/heimische-lithiumquellen-sind-enorm-relevant/>.
- Jüttemann, Patrick (2022): *WEGWEISER KLEINWINDKRAFT*. [https://www.klein-windkraftanlagen.com/wp-content/uploads/2022/12/Wegweiser-Kleinwindkraft\\_2022-12.pdf](https://www.klein-windkraftanlagen.com/wp-content/uploads/2022/12/Wegweiser-Kleinwindkraft_2022-12.pdf).
- Kleidon, Axel (2024): „Verbrennungstechnologien haben ausgedient“. *Terra X – die Wissens-Kolumne*. <https://www.zdf.de/nachrichten/wissen/energie-strom-effizienz-terrax-axel-kleidon-kolumne-100.html>.
- Krassmann Thomas (2012): *Vulkanemissionen – unterschätzte Gefahr für die deutsche Energieversorgung*. URL: [www.mineral-exploration.de/mepub/vulkanemissionen.pdf](http://www.mineral-exploration.de/mepub/vulkanemissionen.pdf) (25.09.2022).

- Laing, Doerte; Wörner, Antje (2013): *Wärme speichern mit Salz und Kalk – Faszination der Hochtemperatur-Speicherung*. Vortrag Berliner Energietage 2013. [https://elib.dlr.de/86264/1/BET2013\\_105\\_BMWi\\_05\\_Laing\\_Woerner\\_Hochtemperaturspeicherung.pdf](https://elib.dlr.de/86264/1/BET2013_105_BMWi_05_Laing_Woerner_Hochtemperaturspeicherung.pdf) (28.05.2022).
- Leopoldina (2024): *Klima – Wasserhaushalt – Biodiversität: für eine integrierende Nutzung von Mooren und Auen*. Halle (Saale). Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina. [https://www.leopoldina.org/fileadmin/redaktion/Publikationen/Nationale\\_Empfehlungen/2024-06-27\\_Leopoldina\\_Stellungnahme\\_Moore\\_und\\_Auen\\_Web.pdf](https://www.leopoldina.org/fileadmin/redaktion/Publikationen/Nationale_Empfehlungen/2024-06-27_Leopoldina_Stellungnahme_Moore_und_Auen_Web.pdf).
- Mertzsch, Norbert (2011): „Ambivalenzen erneuerbarer Energien“. *Ambivalenzen von Technologien – Chancen, Gefahren, Missbrauch*, hrsg. Gerhard Banse; Ernst-Otto Reher. (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 112). Berlin: trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist, 143-152.
- Mertzsch, Norbert (2014): „Speicherung Erneuerbarer Energien – Versuch eines Überblicks“. *Leibniz Online*, Nr. 16. URL: <http://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2014/01/mertzsch.pdf>.
- Mertzsch, Norbert; Jeremias, Ernst-Peter (2015): „Entwicklungstendenzen in der Wärmeversorgung“. *Technologiewandel in der Wissensgesellschaft – qualitative und quantitative Veränderungen*, hrsg. von Gerhard Banse; Ernst-Otto Reher. (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 122). Berlin: trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist, 83-96. <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtband-SB-122-2015.pdf>.
- Mertzsch, Norbert (2022a): „Aspekte der Energieversorgungssicherheit“. *Die Energiewende 2.0 im Fokus: Die Infrastruktur*, hrsg. Norbert Mertzsch; Ernst-Peter Jeremias. (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 155), Berlin: trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist, 83-96. <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/02/SB155.pdf>.
- Mertzsch, Norbert (2022b): „Speicher in die Energieinfrastruktur“. *Die Energiewende 2.0 im Fokus: Die Infrastruktur*, hrsg. von Norbert Mertzsch; Ernst-Peter Jeremias. (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 155). Berlin: trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist, 83-96. <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/02/SB155.pdf>.
- Müller, Benjamin (2024): *Anlagenprojekt von BASF, Sabic und Linde. Chemiekonzerne weihen ersten elektrischen Steamcracker ein*. 18.04.2024.

- <https://www.chemietechnik.de/anlagenbau/basf-sabic-und-linde-weihen-demonstrationsanlage-ein-992.html>.
- NEP (2023): *Netzentwicklungsplan Strom 2037 / 2045*, Version 2023, 2. Entwurf. [https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/2023-12/NEPkompakt\\_2037\\_2045\\_V2023\\_2E.pdf](https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/2023-12/NEPkompakt_2037_2045_V2023_2E.pdf).
- Ortner, Sara; Pehnt, Martin, Ochse, Susanne (2022): Kurzanalyse: Drittzugang bei Wärmenetzen. CLIMATE CHANGE 32/2022. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt
- Pfeiffer, Johannes; Erlach, Berit; Fishedick, Manfred; Fuss, Sabine; Geden, Oliver; Löschel, Andreas; Pittel, Karen; Ragwitz, Mario; Stephanos, Cyril; Weidlich, Anke (2024): „Kohlenstoffmanagement integriert denken: Anforderungen an eine Gesamtstrategie aus CCS, CCU und CDR (Impuls)“. *Schriftenreihe „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS) 2024*, [https://doi.org/10.48669/esys\\_2024-5](https://doi.org/10.48669/esys_2024-5).
- Prognos (2018): Status und Perspektiven flüssiger Energieträger in der Energiewende. <https://www.prognos.com/de/projekt/status-und-perspektiven-fluessiger-energetraeger-der-energiewende>
- RBB24 (2024): *Netzbetreiber erhöht Leistung: Strom-Engpass in Oranienburg ist behoben*. <https://www.rbb24.de/wirtschaft/beitrag/2024/04/strom-engpass-in-oranienburg-behoben-neue-hausanschluesse-moeglich.html>.
- Scheuermann, Armin (2022): *Grünes Gas auf großer Fabrt. Flüssiger Wasserstoff, Ammoniak oder LOHC – was spricht für welchen H<sub>2</sub>-Träger?* 17.05.2022. <https://www.chemietechnik.de/energie-utilities/wasserstoff/fluessiger-wasserstoff-ammoniak-oder-lohc-was-spricht-fuer-welchen-h2-traeger-381.html> (28.05.2022).
- Schröder, Lothar; Klau, Constanze (2021): *Eingeschnit: Schneechaos im Münsterland*. Stand: 10.02.2021. <https://www1.wdr.de/fernsehen/heimatflimmern/sendungen/schneechaos-im-muensterland-100.html>.
- SOLIFARY (2024): *Desertec reloaded: Gigaplants für Methanolproduktion in der Sahara. Obrist Group plant grundlastfähigen klima-positiven Weltenergieträger*. <https://www.solarify.eu/2024/06/17/648-desertec-reloaded-giga-plants-fuer-methanolproduktion-in-der-sahara/>.
- SRU (2024): *Wo stehen wir beim CO<sub>2</sub>-Budget? Eine Aktualisierung. STELLUNGNAHME | März 2024 des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU)*. <https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/>

- 04\_Stellungnahmen/2020\_2024/2024\_03\_CO2\_Budget.pdf?\_\_blob=publicationFile&cv=8.
- Storage Etzel (2024): *Wasserstoffspeicherung*. <https://www.storag-etzel.de/speicher/wasserstoff-h2cast>.
- TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) (2024): *Foresight-Report 2024*. Mit Fokus auf die Infrastruktursysteme Energie, Landwirtschaft und Ernährung sowie Verkehr und Mobilität (Autor/innen: N. Bledow; M. Eickhoff; M. Evers-Wölk; C. Kahlisch; C. Kehl; R. Nolte; P. Rioussset). Berlin. <https://foresight.tab-beim-bundestag.de>.
- UBA (2023): *Geothermie*. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/geothermie>.
- UBA (2024): Erneuerbare Energien in Zahlen. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#strom>.
- Vandersickel, Annelies; Giuliano, Stefano; Stathopoulos, Panagiotis; Brütting, Michael; Fluri, Thomas; Niedermeier, Klarissa (2022): *Hochtemperatur-Wärmespeicher – der Schlüssel zu erneuerbarer und bedarfsgerechter Industriewärme*. [https://www.fvee.de/wp-content/uploads/2023/06/th2022\\_05\\_04.pdf](https://www.fvee.de/wp-content/uploads/2023/06/th2022_05_04.pdf).
- Vauck, Wilhelm R. A.; Müller, Herrmann A. (1978): *Grundoperationen chemischer Verfahrenstechnik*. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.
- Wangemann, Ulrich (2024): „Anschlag auf Tesla: Generalbundesanwalt zieht Ermittlungen an sich“. Märkische Allgemeine Zeitung 08.03.2024.
- Wikipedia (2024): *Gas- und Dampf-Kombikraftwerk*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Gas-und-Dampf-Kombikraftwerk>.
- Witzlau, Reinhard (2016): *Werner von Siemens Ideen & Ansichten*. Grantee: Edition Schwarzdruck.
- Wolffgramm, Horst (1978): *Allgemeine Technologie. Elemente, Strukturen und Gesetzmäßigkeiten technologischer Systeme*. Leipzig: Fachbuchverlag.
- Wolffgramm, Horst (2012): *Allgemeine Techniklehre. Elemente, Strukturen und Gesetzmäßigkeiten* (Einführung in die Denk- und Arbeitsweise der allgemeinen Techniklehre). <https://dgtb.de/wp-content/uploads/2018/11/Wolffgramm-Allgemeine-Techniktheorie-klein.pdf> (04.01.2023).



## **Betrachtungen zur Energieversorgungssicherheit**

***Norbert Mertzsch, Ernst-Peter Jeremias, Gerhard Pfaff,  
Gerhard Banse***

*(alle MLS)*

### **Abstract**

Energy supply security used to be primarily related to the import of energy raw materials in the form of capital energy sources (fossil energy sources such as coal, crude oil, natural gas). Attacks on power pylons and the effects of storms have now shown that the topic needs to be considered in a much more comprehensive manner. In addition to historical considerations on the energy supply security of humanity, the lecture will also show the political and economic dimensions as well as the technical and organizational aspects of current and future energy supply security. The presentation will address relevant security aspects when importing capital energy sources as well as the secure provision of income energy (renewable energies such as wind energy, solar energy) domestically. The energy infrastructure as part of the critical infrastructure plays an important role in the considerations. The problem of data security, which is becoming increasingly important in the context of the energy transition, will also be addressed.

### **Zusammenfassung**

Energieversorgungssicherheit wurde früher vorwiegend auf den Import von Energierohstoffen in Form von Vermögensenergieträgern (fossile Energieträger wie Kohle, Erdöl, Erdgas) bezogen. Inzwischen zeigen Anschläge auf Strommasten und Auswirkungen von Unwettern, dass das Thema wesentlich umfassender zu betrachten ist. So sollen im Vortrag

neben historischen Betrachtungen zur Energieversorgungssicherheit der Menschheit sowohl die politischen und ökonomischen Dimensionen als auch die technischen und organisatorischen Aspekte der aktuellen und zukünftigen Energieversorgungssicherheit aufgezeigt werden. In den Ausführungen wird auf relevante Sicherheitsaspekte beim Import von Vermögensenergieträgern ebenso eingegangen wie auf die sichere Bereitstellung von Einkommensenergien (erneuerbare Energien wie Windenergie, Solarenergie) im Inland. Einen wesentlichen Platz in den Betrachtungen nimmt die Energieinfrastruktur als Teil der kritischen Infrastruktur ein. Angesprochen wird auch die Problematik der Datensicherheit, die im Rahmen der Energiewende zunehmende Bedeutung erhält.

### **Keywords**

energy supply security, historical considerations, import of energy raw materials, energy infrastructure, data security

Energieversorgungssicherheit, historische Betrachtungen, Import von Energierohstoffen, Energieinfrastruktur, Datensicherheit

## **1 Vorbemerkungen**

Hier einige wenige Schlagzeilen aus dem Jahr 2024, die das Thema Energieversorgungssicherheit betreffen:

- Handelsblatt 26.01.2024: Energie: Biden stoppt Genehmigung neuer LNG-Exporte (Meiritz et al. 2024)
- Märkische Allgemeine Zeitung 08.03.2024: Anschlag auf Tesla: Generalbundesanwalt zieht Ermittlungen an sich (Wangermann 2024)
- Märkische Allgemeine Zeitung 17.04.2024: Strom-Engpässe in Oranienburg: Droht anderen Kommunen das auch? (Göldner 2024)

Darauf wird später noch näher eingegangen. Bereits diese wenigen Beispiele zeigen, dass das Thema „Energieversorgungssicherheit“, welches nach dem Beginn der militärischen Auseinandersetzungen in der Ukraine eine deutlich gewachsene Bedeutung erhalten hat, viel umfassender zu betrachten ist als nur in Bezug auf den Import von Energierohstoffen.

In unserer hochkomplexen Welt ist die jederzeitige Verfügbarkeit von Energie in ausreichender Menge unabdingbar für das Funktionieren der Gesellschaft. Dabei basiert die Energieversorgung zum überwiegenden Teil nach wie vor auf Vermögensenergieträgern wie Kohle, Erdöl und

Erdgas. Da die einheimischen Vermögensenergieträger nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen, ist deren Import erforderlich, was, wie man beim Erdgas sehen kann, nicht ohne Probleme ist.

Die Sicherung der Energieversorgung ist ein Staatsziel. Um dieses abzusichern, wurde das Gesetz zur Sicherung der Energieversorgung (Energiesicherungsgesetz – EnSiG) unmittelbar nach der Ölkrise im Jahr 1973 erlassen, welches absichern soll, dass die Deckung des lebenswichtigen Bedarfs an Energie für den Fall, dass die Energieversorgung unmittelbar gefährdet oder gestört und die Gefährdung oder Störung der Energieversorgung durch marktgerechte Maßnahmen nicht, nicht rechtzeitig oder nur mit unverhältnismäßigen Mitteln zu beheben ist, erfolgen kann (EnSiG 2022).

Doch natürlich wird auch der Übergang zur vorwiegenden Nutzung von Einkommensenergien wie Sonne, Wind und Wasserkraft ebenfalls Risiken in sich bergen, die rechtzeitig zu diskutieren sind (Mertzsch 2011). Das Gesetz zur Sicherung der Energieversorgung ist dann entsprechend anzupassen.

Bei der Diskussion von Aspekten der Energieversorgungssicherheit sind immer auch ökonomische, soziale, ökologische und geopolitische Belange mit zu berücksichtigen.

Dieser Vortrag basiert auf dem Beitrag „Aspekte der Energieversorgungssicherheit“, der für den Sitzungsbericht zum Kolloquium „Die Energiewende 2.0 – Im Fokus: Die Infrastruktur“ erarbeitet wurde (Mertzsch 2022).

## 2 Historische Betrachtungen

Um Aussagen zur Energieversorgungssicherheit früherer Epochen treffen zu können, ist zunächst die Entwicklung des Energiebedarfs zu betrachten. Dazu gibt Tabelle 1 Anhaltspunkte.

| Epoche                                | Ressourcen                                    | Geschätzter Primär-Energiebedarf des Menschen (kWh pro Tag) |
|---------------------------------------|---|---|
| Steinzeit                             | Nahrungsmittel                                | 3   |
| Frühe Epochen nach Nutzung des Feuers | Nahrungsmittel, natürliche Brennstoffe (Holz) | 6   |

|                     |   |         |
|---------------------|---|---------|
| Agrargesellschaften | Nahrungsmittel, natürliche Brennstoffe (Holz), Biomasse, Tierenergie  | 10 – 20 |
| Mittelalter         | Nahrungsmittel, natürliche Brennstoffe (Holz), Wind, Wasser, Biomasse, Tierenergie                              | 25      |
| Gegenwart           | Nahrungsmittel, natürliche Brennstoffe (Holz, Kohle, Erdöl, Erdgas), Sonne, Wind, Wasser, Biomasse, Tierenergie | 50 – 60 |

Tabelle 1: Energiebedarf in den Menschheitsepochen (Universität Leipzig 2024).

Aus den genannten Bedarfswerten geht hervor, dass der Energiebedarf des Menschen in der überwiegenden Zeit der Geschichte der Gattung Homo (in den Epochen Sammler bzw. Jäger und Sammler) durch die Nahrungsaufnahme gedeckt wurde. Als Arbeitskraft stand nur die Muskelkraft des Menschen zur Verfügung. Hinzu kamen seit ca. 700.000 Jahren der Gebrauch und die Bewahrung des Feuers (Herrmann 2009), so dass die Möglichkeit der Zubereitung von Nahrung erweitert wurde. Dadurch wurde der Energiebedarf des Menschen etwa verdoppelt. Als externe Energiequelle diente Holz.

Im Rahmen des Übergangs zur Agrarwirtschaft zum Ende der letzten Eiszeit (um 10.000 v.Chr.), auch bezeichnet als neolithische Revolution, stieg der Energiebedarf dann deutlich an. Dieses war im Wesentlichen durch die agrarische Produktionsweise bedingt. So wurde neben der Nahrung für die Menschen auch Tiernahrung für Nutztiere benötigt. Der Holzbedarf stieg, da neben dem Unterhalt des Feuers zur Nahrungsbereitung und der Deckung des Wärmebedarfs der Menschen dieses auch als Energiequelle für das Töpferhandwerk und die Metallurgie benötigt wurde. Zusätzlich lernten die Menschen die Kraft des Windes und des Wassers zu nutzen. Im Laufe der Jahrhunderte bedingten Verbesserungen in der Produktionsweise und im Leben der Bevölkerung eine weitere Zunahme des Energiebedarfs.

Beim Übergang zum Industriezeitalter stieg der Energiebedarf in den Industrieländern dann bis zum heutigen Wert von ca. 6.300 W pro Person an. Dies war nur möglich durch die vorrangige Nutzung der fossilen Energiequellen Kohle, sowie später Erdöl und Erdgas (Vermögensenergien). Erst in den letzten 20 bis 30 Jahren begann auf Grund des Klimawandels die Rückbesinnung auf die Nutzung von solaren Energiequellen, Windkraft und Erdwärme (Einkommensenergien).

Dabei ist zu beachten, dass die Weltbevölkerung von der Zeit der Sammler sowie Jäger und Sammler von nur etwa einigen 10.000 auf etwa 4 Millionen Menschen zum Ende der letzten Eiszeit anwuchs. Zum Ende des Agrarzeitalters lag sie bereits bei ca. 1 Milliarde. Seitdem stieg die Bevölkerungszahl auf etwa 8 Milliarden Menschen an.

Die Entwicklung der Bevölkerungszahlen hatte und hat damit einen entscheidenden Einfluss auf die Höhe des globalen Energiebedarfes und somit auf die Möglichkeiten der Sicherung der Energieversorgung der Menschheit und umgekehrt.

Energieversorgungssicherheit für den Menschen bedeutete und bedeutet in der Menschheitsgeschichte also vorrangig Versorgungssicherheit mit Nahrungsmitteln. Dabei spielt neben der quantitativ ausreichenden Versorgung auch die Qualität der Nahrungsmittel eine wichtige Rolle. Diese Versorgungssicherheit ist bis heute nicht gegeben.

In der Zeit vor der neolithischen Revolution lag das daran, dass nur das naturgegebene Angebot an essbaren pflanzlichen und tierischen Produkten genutzt werden konnte, was u.a. witterungsbedingt sehr schwankend war. Eine Vorratshaltung war bis zur Aufgabe der nomadischen Lebensweise kaum möglich. Andererseits bestand teilweise die Möglichkeit, in Regionen abzuwandern, in denen die Versorgung mit Nahrungsmitteln besser gesichert werden konnte.

Im Agrarzeitalter beruhte die Energiebereitstellung für die Wirtschaft neben der Nutzung der menschlichen Arbeitskraft im Wesentlichen auf der Nutzung von Holz sowie der Nutzung von Wind- und Wasserkraft.

Die Nutzung von Holz als Energieträger war bereits damals nicht unproblematisch, da ein großer Bedarf an diesem auch für das Töpferhandwerk, als Reduktionsmittel in der Metallurgie und als Baumaterial bestand. So gab es Anfang des 18. Jahrhunderts besonders in Sachsen die Sorge, dass für den Bergbau und die Metallurgie langfristig nicht genügend Holz zur Verfügung steht. Das führte u.a. zur Entwicklung des Begriffs der Nachhaltigkeit, der erstmalig von Hans Carl von Carlowitz im

Jahr 1713 im Sinne eines langfristig angelegten verantwortungsbewussten Umgangs mit einer Ressource – dem Holz – in seinem Werk „Silvicultura oeconomica“ verwendet wurde (Wikipedia 2024c). Demnach ist im Wald nur so viel Holz zu schlagen wie permanent nachwächst.

Ein anderes Beispiel für die Übernutzung der Ressource Holz gab für den Übergang zum Industriezeitalter für das Land Brandenburg Theodor Fontane in seinen 1862 bis 1869 entstandenen „Wanderungen durch die Mark Brandenburg“:

„Da zuletzt erging Anfrage von der Kammer her an die Menzer Oberförsterei, wie lange die Forst aushalten werde, wenn Berlin aus ihm zu brennen und zu heizen anfange, worauf die Oberförsterei mit Stolz antwortete: ‚Die Menzer Forst hält alles aus.‘ ... und siehe da, ehe dreißig Jahre um waren, war die ganze Menzer Forst durch die Berliner Schornsteine geflogen.“ (Fontane 1973: 93).

In Berlin abgelöst wurde damals das Holz durch Torf aus dem Rhinluch. Unser derzeitiges kapitalistisches Wirtschaftsmodell beruht seit Beginn der Industrialisierung auf der bedarfsgerechten kontinuierlichen Zuführung fossiler Energieträger hoher Energiedichte (Vermögensenergie) mit allen bekannten Vor- und Nachteilen.

### 3 Politische und ökonomische Betrachtungen

Ausgehend von den historischen Betrachtungen zur Energieversorgungssicherheit soll nun auf heutige politische und ökonomische Gegebenheiten für die Energieversorgungssicherheit eingegangen werden.

Da bei den historischen Betrachtungen herausgearbeitet wurde, dass der Energiebedarf des Menschen in der überwiegenden Zeit der Geschichte der Gattung Homo (in den Epochen Sammler bzw. Jäger und Sammler) weitgehend durch die Nahrungsaufnahme gedeckt wurde, soll auch hier kurz auf das Thema eingegangen werden, obwohl die Ernährungssicherheit des Menschen üblicherweise als eigenes Thema betrachtet wird.

In den Industrieländern ist die Energieversorgung der Menschen heute über die Nahrung im Wesentlichen gesichert. Hier ist die Verschwendung von Nahrungsmitteln durch ein Überangebot als Problem zu sehen (BMEL 2022). Trotzdem ist auch in diesen Ländern die ausrei-

chende Versorgung mit notwendigen Nahrungsmitteln in Folge von Armut nicht immer gesichert. Ausdruck dessen ist die weite Verbreitung der Tafeln (Herrmann 2022).

Global gesehen ist die Situation deutlich problematischer. Nach Angaben der Welthungerhilfe (Welthungerhilfe 2023) stirbt derzeit alle dreizehn Sekunden ein Kind unter fünf Jahren an den Folgen von Hunger. Es wird davon ausgegangen, dass bis zu 828 Millionen Menschen hungern. Ursachen dafür sind zum einen Kriege, z.B. im Jemen, und Naturkatastrophen, z.B. Dürren und Überschwemmungen. Zum anderen kommen Fehlentwicklungen in der Landwirtschaft der betroffenen Länder hinzu, die nicht zuletzt in der Agrarpolitik der Europäischen Union und der USA zu suchen sind (Reichert et. al. 2011; Schilling 1986).

Zusätzlich werden große Probleme für die Landwirtschaft durch den Klimawandel erwartet (UBA 2023).

Das zeigt, dass das Recht auf Nahrung, welches ein Menschenrecht ist (Hessel/Vanderpooten 2011: 52), heute bei weitem nicht für alle Menschen umgesetzt ist. Dabei gibt es grundsätzlich genug Nahrung auf der Erde, ebenso das benötigte Wissen und die Mittel, um zu verhindern, dass Menschen hungern müssen. Deshalb ist hier ein krasses Politikversagen festzustellen, vor allem, da für Waffen immer ausreichend Geld bereitgestellt wird, während für die Bereitstellung von Nahrungshilfen die Hilfsorganisationen vielfach auf Spenden aus der Bevölkerung angewiesen sind.

Es bleibt also festzuhalten, dass die Energieversorgungssicherheit über die Nahrung auch heute für große Teile der Menschheit nicht gegeben ist.

Im Weiteren soll nun auf die Probleme der Energieversorgungssicherheit bei der Nutzung externer Energiequellen insbesondere in Deutschland eingegangen werden.

Bei der weiteren Nutzung von Vermögensenergieträgern, die ja bis 2045, also innerhalb von 21 Jahren, auslaufen soll, sind folgende Probleme zu betrachten:

Die Nutzung von Vermögensenergieträgern ist seit Beginn der Industrialisierung vorherrschend bei der Energieversorgung, da hier die für industrielle Prozesse nötige Energiedichte jederzeit gewährleistet werden kann. Darüber hinaus werden diese auch stofflich genutzt. Als Beispiele seien nur die Metallurgie und die chemische Industrie angeführt.

Nach einer Studie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe aus dem Jahr 2016 gelten für die Bereitstellung von fossilen Energierohstoffen (Vermögensenergien) folgende Aussagen (BGR 2016):

- Erdöl ist der weltweit wichtigste Energielieferant. Es ist der einzige Energierohstoff, bei dem in den kommenden Jahrzehnten eine steigende Nachfrage wahrscheinlich nicht mehr gedeckt werden kann.
- Aus rohstoffgeologischer Sicht kann die Erdgasversorgung der Welt noch über Jahrzehnte gewährleistet werden. Erdgas ist weltweit noch in sehr großen Mengen vorhanden.
- Die Reserven und Ressourcen an Hartkohle und Weichbraunkohle können aus geologischer Sicht den erkennbaren Bedarf für viele Jahrzehnte decken. Mit einem Anteil von 55% an Reserven und 89% an den Ressourcen verfügt Kohle über das größte Potenzial von allen fossilen Energierohstoffen.
- Aus geologischer Sicht ist kein Engpass bei der Versorgung mit Kernbrennstoffen zu erwarten.

Damit dürfte die Versorgung Deutschlands mit Energierohstoffen auf Basis von Vermögensenergien auf lange Zeit gesichert sein. Dabei muss das meiste importiert werden, da die Versorgung mit einheimischen Energierohstoffen rückläufig ist. Der Steinkohlenabbau wurde bereits 2018 aus wirtschaftlichen Gründen eingestellt.

Im Zuge der Energiewende soll in Deutschland der Bedarf an Vermögensenergien bis 2045 auslaufen. Um das Übereinkommen von Paris aus dem Jahre 2015 anlässlich der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) zu erfüllen, soll ein sehr großer Teil der weltweit verfügbaren Energierohstoffe nicht mehr gefördert werden können, auch wenn die zukünftige Energieversorgung dadurch unsicherer wird.

Zur Sicherheit der Versorgung mit Energierohstoffen aus staatlicher Sicht wird im Weiteren auf eine Rede von Friedbert Pflüger aus dem Jahr 2015 verwiesen (BAKS 2015). Dabei zitierte er aus einer Rede von Winston Churchill, damals Erster Lord der Admiralität, aus dem Jahr 1913 vor dem britischen Parlament, in der dieser sinngemäß folgende vier Grundsätze der Energiesicherheit formulierte:

1. Herstellung und Gewährleistung der eigenen Versorgungssicherheit.
2. Notwendigkeit der Diversifizierung im Energiesektor. All jene Staaten, die nicht mit Rohstoffen gesegnet sind, sollten auf ihre Energiesicherheit in Technologien sowie auf eine breit angelegte Diversifizierung ihrer Energiequellen und Versorgungswege setzen.
3. Wechselseitige Abhängigkeiten, als drittes Element, schaffen Stabilität und verbessern das politische Klima.
4. Staaten seien niemals gute Unternehmer, sodass ein freier Markt die besten Bedingungen für Unternehmen und Innovationen schaffe, um Energiesicherheit herstellen zu können.

Diese Grundsätze sind so allgemeingültig, dass diese auch heute noch für die Energieversorgungssicherheit angewendet werden können. Das wird nachfolgend am Beispiel Deutschland für die Problematik der Vermögensenergieträger getan.

Für Deutschland bedeutet dies, da die Herstellung der Versorgungssicherheit Deutschlands durch eigene Energierohstoffe nicht möglich ist (1. Grundsatz), dass beim notwendigen Import von Energierohstoffen auf eine Diversifizierung der Lieferanten gesetzt werden sollte (2. Grundsatz). Das ist beim Import von Kohle und Erdöl, deren Anlieferung weitestgehend per Schiff erfolgt, auch möglich. Hemmend kann sich auf die Diversifizierung auswirken, dass Exporteure langfristig gebunden und ausgelastet sind, so dass zusätzliche Importeure nicht tätig werden können. Das könnte die Erschließung neuer Rohstoffquellen erfordern, die, um wirtschaftlich arbeiten zu können, wiederum langfristige Verträge benötigen.

Bei leitungsgebundenem Import, wie beim Erdgas, ist das deutlich komplizierter, da man hier auf langfristige Beziehungen angewiesen ist. Das schafft dann (3. Grundsatz) wechselseitige Abhängigkeiten. Diese sollten dann von jeder Seite beachtet werden. Wenn der Importeur sich dann in politischen Krisenzeiten in einen Wirtschaftskrieg unter Einbeziehung von Energierohstoffen gegenüber dem Exporteur manövriert, sind stabile Lieferungen natürlich hinfällig (Hosp 2022). Das zeigte sich besonders deutlich bei den Erdgaslieferungen im Jahr 2022 aus Russland. Während diese für Deutschland im Laufe des Jahres gänzlich wegfielen, kann Österreich mittlerweile wieder auf größere Liefermengen zurückgreifen (WZ 2023). Doch auch bei politischer Stabilität und gutem politischem Klima können sich die Interessen des Lieferlandes ändern. So will laut „Handelsblatt“ vom Anfang des Jahres US-Präsident Joe Biden

wegen des Klimawandels die steigenden Gasexporte der USA drosseln und stoppt eine Reihe bereits geplanter Ausfuhrgenehmigungen für Flüssigerdgas (LNG) (Meiritz et al. 2024). Damit könnte mittelfristig die Versorgung Deutschlands mit Flüssiggas aus den USA gefährdet sein.

Im Zusammenhang mit der Gasmangellage im Jahre 2022, die durch Import von Erdgas über andere Lieferwege und den schnellen Aufbau von LNG-Terminals kompensiert wurde, wurde in den Medien die Gefahr eines Blackouts, eines unkontrollierten und unvorhergesehenen Ausfalls größerer Teile des Stromnetzes, thematisiert (Mayerhofer 2022; Wenzel 2022). Das führte dazu, dass die Nachfrage nach Notstromaggregaten enorm anstieg (Dietz 2022).

Die Thematisierung der Probleme eines Blackouts ist grundsätzlich richtig, wobei alles zu tun ist, damit dieser nicht eintritt. Was ein längerfristiger Blackout in unserer hochtechnisierten Welt bedeuten würde, ist in Studien, aber auch in einem Roman beschrieben (Elsberg 2013; Mayer/Brunekreeft 2020). Einschlägige Internetseiten geben Hinweise, was passieren kann und wie jeder Einzelne vorsorgen sollte (BBK 2023; Kreitner 2023; Saurugg/Unterauer 2023). Doch einer Verunsicherung der Bevölkerung sollte gerade in unklaren Situationen vorgebeugt werden, vor allem, da die Experten nur von möglichen geplanten zeitweisen Stromabschaltungen ausgingen, so dass das Gesamtsystem beherrschbar bleiben sollte. Beispiele zu unkontrollierten und unvorhergesehenen Problemen bei der Energiebereitstellung werden bei technischen und organisatorischen Betrachtungen zur Energieinfrastruktur gegeben.

Die Versorgung der PCK Schwedt GmbH mit Erdöl war durch Russland bis zur Importeinstellung durch Deutschland hingegen stabil. Auch heute wird über die Erdölleitung „Freundschaft“ Erdöl über Russland, jetzt aus Kasachstan, angeliefert (Börse Frankfurt 2024).

Gemäß dem 4. Grundsatz importieren in Deutschland Unternehmen die Vermögensenergieträger. Für die Unternehmen stellt sich beim Import von Energierohstoffen immer die Frage, was für das Unternehmen günstiger ist, langfristige Verträge oder der Kauf auf den Märkten. Dabei dürfte insbesondere bei leitungsgebundenen Importen der Langfristvertrag günstiger sein, da auch der Exporteur ein Interesse an der Auslastung der Leitungen hat. Bei flüssigem Erdgas wird ein Drittel des internationalen Handels nicht über langfristige Verträge abgewickelt, sondern am Spotmarkt, also gegen Cash gehandelt (Reymond/Rimbert 2022). Das heißt: Der Meistbietende bekommt die Tankerladung.

Das erklärt auch die zeitweise sehr hohen Energiepreise: Wenn günstige, langfristige Lieferverträge nicht mehr in Anspruch genommen werden bzw. werden können, muss auf den wesentlich teureren Spotmarkt ausgewichen werden, was dann Händler und Kunden zu spüren bekommen. Dabei werden die Energierohstoffe dann Spekulationsobjekt, und die Preise bilden nicht mehr den realen Wert ab. Hier sollte der Staat eingreifen und Spekulationsgewinne abschöpfen, denn eine bezahlbare Energieversorgung ist Daseinsvorsorge und sollte nicht der Spekulation unterliegen.

Ob das beim Auslaufen der Nutzung von Vermögensenergien so bleiben wird, ist abzuwarten. Ein Szenario, bei dem keine Vermögensenergien mehr genutzt werden, ist aber derzeit sehr unwahrscheinlich und hypothetisch, so lange die Weltgemeinschaft sich nicht auf einen globalen Ausstieg aus den Vermögensenergien einigt und diesen nicht konkret umsetzt.

Die Nutzung von Einkommensenergien für die Energieversorgung bedeutet den weitgehenden Übergang zur Nutzung der solaren Energieflüsse. Derzeit entspricht der Weltenergiebedarf etwas mehr als 0,01% der Sonneneinstrahlung. Das klingt sehr wenig, doch von der gesamten Sonneneinstrahlung hängen das Weltklima inklusive Windsysteme, Wasserhaushalt und Biosphäre ab (Kleidon 2019). Da muss dann schon sehr genau hingesehen werden, wo der Mensch eingreift. Denn hier gilt die Aussage von Ortwin Renn: „Die Hoffnung auf Vermeidung von negativen Technikfolgen ist trügerisch, weil es keine Technik gibt, nicht einmal geben kann, bei der nur positive Auswirkungen zu erwarten wären“ (Renn 2009: 33).

Die Nutzung der solaren Energieflüsse in Form der Windenergie, der Photovoltaik und der Solarthermie bedeutet zwangsläufig eine Industrialisierung weiter Teile der Landschaft. Da durch jahreszeitliche Einflüsse und das Wetter eine kontinuierliche Energieversorgungssicherheit nicht gegeben ist, bedarf es ausreichender Reservekapazitäten und Speicher, um diese zu gewährleisten. Das Thema Speicherung korrespondiert mit der zeitnahen Verteilung von Energie, insbesondere dem Austausch von Energie aus Bereichen höheren Aufkommens mit Bereichen höheren Verbrauchs. Das unterstreicht das Erfordernis eines schnellen und notwendigen Ausbaus auf allen Ebenen der Verteilnetze. Der weitere Ausbau der internationalen Vernetzung der Stromnetze auf der Höchstspannungsebene wird hier ebenfalls zur Versorgungssicherheit beitragen,

weil sich dadurch die Erzeugung (insbesondere durch Sonne und Wind) und der Verbrauch auch über große Strecken in das erforderliche Gleichgewicht bringen lassen. Auch Synergien zwischen verschiedenen Sektoren der Energieversorgung sind systemisch zu betrachten. So sind grundsätzlich die Speicherpotenziale der wachsenden Stromspeicherkapazitäten der batterieelektrischen Kraftfahrzeuge nutzbar. Eine Hochrechnung für 2030 sieht 1.000 GWh, also eine Terawattstunde, in den von der Bundesregierung angestrebten 15 Mio. Elektrofahrzeugen verfügbar, und damit die Möglichkeit zur Flexibilisierung unseres Energiesystems (Figgener 2023).

Der Aus- und Umbau der Energienetze auf Übertragungs- und Verteilnetzebene verteuert zwangsläufig die Energieversorgung des Landes, so dass die sozial gerechte Verteilung der entstehenden Kosten zwingend notwendig ist, ansonsten droht ärmeren Bevölkerungsteilen Energiearmut.

Nicht betrachtet im Rahmen der Energiewende werden bisher Gefahren durch größere Vulkanausbrüche auf die Bereitstellung von Einkommensenergie (Problematik „Jahr ohne Sommer“). Bisher wurde nur in wenigen Beiträgen (Krassmann 2011; Mertzsch 2011; Mertzsch/Thomas 2017; Renn 2017) auf diese Problematik hingewiesen. Wenn man sich dieser Frage stellt, dürfte das großen Einfluss auf die vorzuhaltende Speichergröße haben. Denn bei einer weitestgehenden Nutzung von Einkommensenergien zur Energieversorgung ist ein Verlust der Möglichkeit, schnell auf Vermögensenergien umzuschwenken, sofern diese noch nicht erschöpft sind, mit zu berücksichtigen.

Auch die Folgen des Klimawandels können sich, zumindest regional, auf die Nutzung von Einkommensenergien negativ auswirken. Das ist besonders bei der Nutzung von Bioenergie (durch den Klimawandel bedingte geringere bis fehlende Ernten) und der Wasserkraft (reduzierte Leistung infolge von Wassermangel) zu berücksichtigen. Teilweise zeichnete sich das bereits im Sommer 2022 ab. Hier ist auch darauf zu achten, dass der Flächenverbrauch durch Freiflächensolaranlagen nicht die Produktion von Nahrungsmitteln negativ beeinflusst, für die ggf. wegen geringerer Erträge mehr Fläche benötigt wird.

Die Konsequenzen solcher Ereignisse und welche Risiken unsere hochtechnisierte Gesellschaft bereit ist zu tragen, sollten vor der vollständigen Umstellung des Energiesystems geklärt werden und nicht danach. Als warnendes Beispiel für nicht ausreichend geführte Diskussionen über

Risiken und Nutzen von Technologien soll an dieser Stelle auf die Kernenergie verwiesen werden.

Wie bei den Vermögensenergien ist auch bei den Einkommensenergien in Deutschland eine ausreichende einheimische Versorgung nicht zu erwarten. Zur Sicherung der notwendigen Importe wird zum einen die innereuropäische Zusammenarbeit (das könnte eine wirkliche Herausforderung für die EU sein und deren Rolle hervorheben) vertieft. Zum anderen geht man von Importen von Wasserstoff als Energieträger für Einkommensenergien aus Ländern, in denen die Sonneneinstrahlung deutlich höher ist als in Deutschland, aus.

Auch hier sind die gleichen Themen zur Sicherung von Importen zu klären wie beim Import von fossilen Energierohstoffen, also Diversifizierung oder langfristige Bindung. Hinzu kommt, dass die exportierenden Länder ebenfalls den Umstieg von Vermögensenergien auf Einkommensenergien durchführen müssen. Deshalb wird eine enge Zusammenarbeit der importierenden und exportierenden Länder auf der einen Seite und der produzierenden Unternehmen auf der anderen Seite erfolgen müssen, um die Bedürfnisse der Importeure mit denen der Exporteure in Übereinstimmung zu bringen. Da die Exportländer oft ehemalige Kolonien sind, wird diese Zusammenarbeit mit sehr viel diplomatischem Feingefühl erfolgen müssen, damit diese auf Augenhöhe erfolgen kann. Den wirtschaftlichen und sozialen Mehrwerten in diesen Exportländern ist große Aufmerksamkeit zu schenken, was sich wiederum ökonomisch auf die Kosten unserer eigenen Energieversorgung erhöhend auswirken wird. Eine angemessene Zusammenarbeit kann hier eine WIN-WIN-Situation erzeugen: Einerseits wirken sich gute wirtschaftliche und soziale Bedingungen in den betreffenden Ländern auf die Beschäftigung aus und damit tendenziell gegen die Migrationsbestrebungen, andererseits sichern wir unseren Energiebedarf zu fairen und langfristigen Bedingungen. Auf diesbezügliche Probleme wird in einigen Arbeiten Bezug genommen (Neubert 2023; Staiß et al. 2022). Auch mit autokratischen Regierungen, wie z.B. in Saudi-Arabien und Marokko (Streck 2022), wird auf dem Gebiet des Importes von Einkommensenergien zusammengearbeitet werden müssen. Widersprüche zwischen wirtschaftlichen Interessen und moralischen Bedenken werden dabei immer wieder eine Rolle spielen.

Ein weiteres Problem beim Import von Einkommensenergien ist die Klärung, in welcher Form der Energieträger Wasserstoff importiert (und

wie er transportiert) werden soll. Bisher werden da Flüssigwasserstoff, Wasserstoff gebunden an LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier), wie z.B. Dibenzyltoluol, und Ammoniak genannt (Scheuermann 2022) oder auch Methanol (SOLIFARY 2024). Doch auch der Import von flüssigem Methan, hergestellt aus Wasserstoff, wäre denkbar, zumal die Infrastruktur dafür gerade errichtet werden soll. Auch der Import von Methanol wäre denkbar (SOLIFARY 2024). Als weiterer Energieträger wird reduziertes Eisen gesehen (SOLARIFY 2022). Solche Szenarien würden dann die einheimische Ammoniakherzeugung zumindest in Teilen infrage stellen, wobei die Erzeugung der Folgeprodukte, die eng mit der Ammoniakherstellung verbunden sind, ebenfalls zu diskutieren wäre. Gleiches gilt auch beim Import von reduziertem Eisen, welches dann in Deutschland mit Wasser unter Freisetzung von Wasserstoff oxidiert wird: Wäre dann in Deutschland noch die erste Stufe der Eisenmetallurgie sinnvoll? Was wäre mit den nachfolgenden Verarbeitungsstufen?

Im Rahmen der Diskussion der Problematik der Energieversorgungssicherheit sei nun noch auf eine weitere Problematik hingewiesen. Wenn davon ausgegangen wird, dass die Energieinfrastruktur zur Daseinsvorsorge gehört, sollte die Frage diskutiert werden, ob diese nicht aus Gründen der Energieversorgungssicherheit in die öffentliche Hand gehört (Die Linke 2022). Vorlage könnte das in Berlin geplante Vergesellschaftungsrahmengesetz sein (rbb24 2023). Bedauerlich ist, dass die Bundesrepublik nicht in der Lage war, den Übertragungsnetzbetreiber Tennet zurückzukaufen (n-tv 2024). Ebenso bedenklich ist die Suche nach Investoren für die Energienetze (Osman 2024). Da sollte auch aus den Problemen mit Erdgasspeichern von Gazprom Germania gelernt werden (Güßgen 2022). Denn Besitzverhältnisse von Energieinfrastruktur in privater Hand können sich schnell ändern. Und politische Interessen oder auch Kapitalinteressen werden nicht immer den Forderungen an die Daseinsvorsorge entsprechen. Wegen dieser Sorge bekämpfte z.B. der Bauernbund in Österreich den Verkauf der Düngemittelsparte der Staatsholding ÖBAG nach Tschechien juristisch (Miljković 2022), da kritische Infrastruktur im Interesse der Versorgungssicherheit nicht verkauft werden sollte.

Da ist dann zu überdenken, ob der 4. Grundsatz aus der Rede von Winston Churchill, Staaten seien niemals gute Unternehmer, so dass ein freier Markt die besten Bedingungen für Unternehmen und Innovationen schaffe, um Energiesicherheit herstellen zu können, wirklich immer gilt.

## 4 Technische und organisatorische Betrachtungen

Kritische Infrastrukturen (kurz: KRITIS) sind Organisationen oder Einrichtungen mit wichtiger Bedeutung für das staatliche Gemeinwesen, bei deren Ausfall oder Beeinträchtigung nachhaltig wirkende Versorgungsengpässe, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere dramatische Folgen eintreten würden (BBK 2024). Demgemäß gehört die Energieinfrastruktur in Deutschland zur kritischen Infrastruktur (BMI 2011). Ihr Ausfall bzw. eine eingeschränkte Nutzungsfähigkeit hätten erhebliche negative Auswirkungen auf Staat, Wirtschaft und Bevölkerung.

Gründe für Schäden an der Energieinfrastruktur können sein:

- Naturereignisse,
- technisches und/oder menschliches Versagen bzw. Fehler,
- vorsätzliche Handlungen,
- Kriege.

Beispiele für erhebliche Schäden an der Energieinfrastruktur sind (Wikipedia 2024b):

### 1. *Naturereignisse*

Schneechaos im Münsterland im Jahr 2005 (Schröder/Klaue 2021). In einigen Orten kam es bis zu sechs Tage zum Stromausfall. Dem hohen Gewicht des sehr nassen Schnees und den durch Starkwind auftretenden Schwingungen hielten viele Masten und Leitungen nicht stand und knickten ein oder rissen.

### 2. *Technisches und/oder menschliches Versagen bzw. Fehler*

Stromausfall am 04. November 2006 im Emsland. Dort wurde planmäßig für die gefahrlose Überführung eines Kreuzfahrtschiffes aus Papenburg eine Höchstspannungsleitung abgeschaltet. Durch nicht erwartete stärkere Belastungen im Höchstspannungsnetz kam es dann zu Stromausfällen, die weitere Länder Westeuropas betrafen. Insgesamt waren zehn Millionen Menschen von den Stromausfällen betroffen. Nach maximal 1,5 Stunden war die Stromversorgung wieder hergestellt (Kurth 2006).

Am 19. Februar 2019 kam es zum großflächigsten und längsten Stromausfall im Berliner Stadtgebiet seit dem Ende des 2. Weltkrieges. Bei Abrissarbeiten an der Salvador-Allende-Brücke in Berlin-

Köpenick wurden zwei 110-Kilovolt-Stromkabel durchtrennt. Betroffen waren 31.500 Haushalte und 2.000 Gewerbeeinheiten. Problem war, dass es für dieses Gebiet keine alternative Stromanbindung gab.

Technischer Fehler an der Strombörse am 26.06.2024. An der Pariser Strombörse EPEX hat ein technischer Fehler die Preisfindung verzerrt und der Strompreis schnellte in die Höhe. Das traf vor allem Kunden mit dynamischen Preisen bei Tibber & Co (Mahn 2024).

### 3. *Vorsätzliche Handlungen*

Vorsätzliches Handeln von Klimaaktivisten führte am 19.09.2022 zur Abschaltung von zwei Kraftwerksblöcken im Kohlekraftwerk Jänschwalde. Die Leistung von 1 Gigawatt stand dem Stromnetz dadurch zeitweise nicht zur Verfügung (rbb24 2022).

Am 26. September 2022 wurde mit vier Sprengungen ein Anschlag auf die Erdgasleitungen Nord-Stream 1 und 2 verübt. Dabei wurden beide Stränge von Nord Stream 1 und ein Strang von Nord Stream 2 unterbrochen. Der Anschlag ist bisher noch nicht aufgeklärt (Koponen/Lemcke 2024).

Am 05.03.2024 erfolgte ein Sabotageakt gegen das Teslawerk in Grünheide. Durch den Brandanschlag auf einen Strommast mit sechs 110-kV-Kabeln kam es zu einem Kurzschluss, von dem 83.000 Menschen sowie viele kleine und große Betriebe betroffen waren (Wangermann 2024).

### 4. *Kriege*

Einsatz von Graphitbomben des US-Militärs im Golfkrieg 1990/1991 gegen Umspannwerke im Irak. In kurzer Zeit wurden 85% der irakischen Stromversorgung unterbrochen (Wikipedia 2024a).

Starke Zerstörungen im Bereich der Energieversorgung der Ukraine durch gezielte russische Angriffe.

Um Schäden an der Energieinfrastruktur vorzubeugen bzw. diese gering zu halten, ist diese möglichst resilient zu gestalten (Renn 2017). Dabei sind die sich in den letzten Jahrzehnten herausgebildeten Konzepte zur Redundanz der Stromversorgung zu hinterfragen. Bisher ist nach den gültigen Normen ein Verbraucher, der über eine Doppelleitung angeschlossen ist, redundant angeschlossen. Wie die Beispiele zeigen, ist die Redundanz bei Doppelfreileitungen bei Naturereignissen und Anschlüssen

gen nicht immer gewährleistet, da der Doppelleitungsausfall im Allgemeinen nicht abgesichert ist und aus Kostengründen sicherlich nicht abgesichert werden kann (rbb24 2024a). In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob eine Bündelung von Übertragungsleitungen gemäß Netzentwicklungsplan (NEP 2023) unter dem Aspekt der Resilienz wirklich sinnvoll ist.

Für Großverbraucher sollte unter Sicherheitsaspekten geprüft werden, ob eine Einspeisung über verschiedene Umspannwerke machbar wäre.

Grundsätzlich wird es nicht möglich sein, alle Anlagen der kritischen Energieinfrastruktur, ob Stromleitungen oder Gasleitungen, gegen Terrorakte aller Art in irgendeiner Form abzusichern.

Hinzu kommt, dass es keine Technik gibt, nicht einmal geben kann, bei der nur positive Auswirkungen zu erwarten wären (siehe oben). So kann es z.B. auch „systemische“ Ausfälle usw. infolge etwa von „Nichtwissen“ geben (vgl. dazu etwa die Überlegungen zum Umgang mit Unsicherheit oder Unbestimmtheit in Banse 2016).

Übertragungs- und Verteilnetze sind ständig zu warten und den sich entwickelnden Anforderungen anzupassen. Aus dieser Forderung ergeben sich durch die Energiewende und die notwendige Sektorkopplung für die Bereiche Versorgung mit Elektroenergie, Wärmeversorgung und Mobilität enorme Herausforderungen. So ist insbesondere im Bereich der Versorgung mit Elektroenergie das Stromnetz wesentlich zu erweitern, um den Bedarf zu decken. Das betrifft zum einen den Elektroenergie-transport großer Mengen von Nord- nach Süddeutschland im Übertragungsnetz, aber auch den Ausbau der Verteilnetze auf Nieder- und Mittelspannungsebene zur Aufnahme lokal erzeugter Elektroenergie und zur Sicherstellung der Elektromobilität und der Wärmeversorgung. Dass das nicht immer reibungslos abläuft, zeigt das Beispiel Oranienburg, wo zeitweise keine zusätzlichen Verbraucher angeschlossen werden konnten (Göldner 2024). Dort ist das Problem inzwischen behoben (rbb24 2024b).

Gleichermaßen werden sich deutliche Anpassungen im Bereich des Gasleitungsnetzes ergeben, wenn die Versorgung mit Erdgas zugunsten von Wasserstoff zurückgefahren wird. Zum einen sind neue, wasserstoffgeeignete Leitungen zu bauen bzw., wenn möglich, die vorhandenen für Wasserstoff umzurüsten. Zum anderen sind Gasnetze z.B. in ländlichen Gebieten, die nicht mehr benötigt werden, zurückzubauen.

Zusätzlich zur Anpassung der Energienetze an die Notwendigkeiten im Rahmen der Energiewende sind deutlich mehr Energiespeicher zu errichten und zu betreiben, die die Versorgungssicherheit bei volatiler Einspeisung sicherstellen. Das gilt besonders auch zur Beherrschung von Extremsituationen, wie bereits beschrieben.

Die Betreiber kritischer Infrastruktur haben jederzeit ausreichend Personal zum sicheren Betrieb der Energieinfrastruktur zur Verfügung zu haben. So sind z.B. in Zeiten einer Pandemie präventive Maßnahmen zu ergreifen, um Sicherheit und Gesundheit der Mitarbeiter zu schützen (BBK 2010; 50Hertz 2020).

Um den Schutz der kritischen Infrastruktur vor vorsätzlichen terroristischen oder kriminellen Handlungen zu gewährleisten, sind insbesondere Leitwarten und Umspannwerke vor unbefugtem Zugriff oder Zutritt zu sichern. Dazu sind alle notwendigen baulichen und organisatorischen Maßnahmen zu ergreifen. Als Beispiele, welche Maßnahmen ergriffen werden können, seien hier angeführt:

- Zugangskontrollen zum Gelände und zu Bauwerken,
- Sicherung von Bauwerken inklusive Fenster und Türen,
- Einbau von Alarmanlagen und Videoüberwachung,
- Erschwerung des Zugangs zu kritischen Bereichen (Vereinzelungsanlagen) mit Zugangskontrollsystemen,
- Einbau von geschützten Räumen,
- Sicherung von Lüftungsanlagen.

Dass Sicherungsmaßnahmen in den letzten Jahren noch nicht alle Bereiche der Energieinfrastruktur erreicht hatten, belegt ein Polizeibericht aus dem Jahr 2022, nach dem vom Gelände eines Umspannwerkes Kabel gestohlen wurden, ohne dass sofort Alarm ausgelöst wurde (MAZ 2022: 13).

Neben den vorgenannten Sachverhalten, die sich auf den sicheren Betrieb der Energieinfrastruktur negativ auswirken können, sind auch durch den europäischen Strommarkt, der liberalisiert ist und den europaweiten Handel mit Strom gewährleistet, Probleme möglich, auf die reagiert werden muss. So hängen die Stromnetze europaweit zusammen und durch kleine Ereignisse in einem Teilnetz können sich große Auswirkungen in ganz anderen Teilen des Netzes ergeben. So traten am 08.01.2021 Probleme in einem Umspannwerk in Kroatien auf, wodurch Hochspannungsleitungen in ganz Südosteuropa lahmgelegt wurden.

Dadurch wurden Netzgebiete im nordwestlichen und im südöstlichen Teil des Kontinents getrennt. Die eingeleiteten Maßnahmen erlaubten es, die Netzgebiete nach ca. einer Stunde wieder zu verbinden. Ein Blackout konnte sicher verhindert werden (Österreichs E-Wirtschaft 2021).

Um allen Aufgaben bei der Sicherung der Energieversorgung gerecht werden zu können, wird das Stromnetz zunehmend digitalisiert. Dem dient u.a. das Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende (Gesetz 2023).

Um eine effektive Steuerung der Netze zu ermöglichen, werden die Energieerzeugung, die Netzsteuerung und die Erfassung der Energieverbräuche digitalisiert. Auch für die Integration des europäischen Strommarkts ist die Digitalisierung von großer Bedeutung. In diesem Zusammenhang wird auch vom Internet of Energy gesprochen (Gähns et al. 2022). Dabei wird das Zusammenspiel von Erzeugung, Netz und Verbrauch immer mehr auf einer dezentralen Ebene erfolgen. Um die riesigen Datenmengen beherrschen zu können, wird zunehmend auf künstliche Intelligenz gesetzt werden. Die Verarbeitung der Daten wird zunehmend cloudbasiert und mit externer Recheninfrastruktur erfolgen. Die digitale Netzsteuerung kann resilienzfördernd wirken, bringt aber auch neue Risiken durch die zunehmende Abhängigkeit von der Informations- und Kommunikationstechnik (TAB 2024). So können Hackerangriffe auf die Netzstrukturen zu nicht kalkulierbaren Gefahren werden. Als Beispiel kann der plötzliche Ausfall unzähliger Windows-Rechner am 19.07.2024 dienen, der zu einer weltweiten IT-Katastrophe geführt hat. Der Verursacher war in diesem Fall die sehr verbreitete Security-Software Falcon von CrowdStrike, die vor modernen Cyberangriffen schützen soll – und damit auch vor Ausfällen (Eikenberg 2024). Inzwischen entwickelt das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) Folgemaßnahmen, um vergleichbare Vorfälle künftig zu vermeiden (BSI 2024).

Das Gleiche gilt auch für den Bereich der Gasnetze und die Wärmeversorgung bei Nutzung von Fernwärme. Bei modernen Einzelheizungen ist es heute bereits möglich, diese über das Smartphone zu steuern.

## **5 Betrachtungen zur Bereitstellung von Rohstoffen für Einkommensenergien**

Während für die Energiebereitstellung und -nutzung in früheren Jahrzehnten weitgehend Massenwerkstoffe genutzt wurden, werden zur effektiven Nutzung der Einkommensenergien zunehmend Hochleistungswerkstoffe eingesetzt. Das betrifft z.B. Werkstoffe wie Seltene Erden, u.a. für Generatoren und Elektromotore, Solarzellen Brennstoffzellen, Elektrolysezellen und Batterien.

Da die Verfügbarkeit dieser Rohstoffe für die Energiewende eine bedeutende Herausforderung darstellt, wurden sie als kritische Rohstoffe eingestuft (Europäischer Rat 2024). Die Preisvolatilität und die geopolitischen Risiken können die Kosten und die Versorgungssicherheit bei diesen Rohstoffen beeinflussen. Das kann die Kosten für erneuerbare Energietechnologien beeinflussen und somit die Wirtschaftlichkeit der Energiewende gefährden. Daher ist es wichtig, Recyclingtechnologien zu entwickeln und die Diversifizierung der Bezugsquellen voranzutreiben. Eine nachhaltige Beschaffung und der effiziente Einsatz von Ressourcen sind unerlässlich, um die Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen zu verringern.

Kritische Rohstoffe sind besonders relevant für die Wirtschaftszweige, die Zukunftstechnologien wie Elektromobilität oder Dekarbonisierung bedienen. Es handelt sich um folgende 34 Materialien:

- Metalle wie Kobalt, Lithium, Magnesium, Titan, Wolfram,
- Seltenerdmetalle (Nd, Pr, Tb, Dy, Gd, Ce),
- Halbmetalle wie Silicium und Germanium,
- Erze wie Flussspat und Phosphorit.

Sie haben teilweise auch strategischen Charakter.

Die Sicherstellung der Verfügbarkeit kritischer Rohstoffe erfordert internationale Kooperationen und Handelsabkommen. Strategische Partnerschaften mit Ländern, die über reichhaltige Vorkommen verfügen, können helfen, die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Darüber hinaus ist die Förderung der Kreislaufwirtschaft entscheidend, um die Abhängigkeit von Primärrohstoffen zu reduzieren und die Ressourceneffizienz zu erhöhen.

## **6 Fazit**

Die Energieversorgungssicherheit hat viele Facetten. So sind neben den Problemen bei der Beschaffung von Energierohstoffen von Vermögensenergien infolge eines Wirtschaftskrieges auch weitere große Herausforderungen beim sicheren Betrieb und der Anpassung der Energieinfrastruktur an die Energiewende, inklusive notwendiger großer Speicherkapazitäten und der verstärkten Vernetzung der europäischen Strominfrastruktur, zu lösen. Dies gilt auch für die zukünftige Beschaffung von Energieträgern für Einkommensenergien. Das Ganze hat unter Beachtung der Erweiterung des bisherigen energiepolitischen Zieldreiecks – Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit (Pittel 2012) – um das Thema Akzeptanz zu einem energiepolitischem Zielviereck zu erfolgen.

Wenn man sich überlegt, welche Aufgaben innerhalb von 21 Jahren gelöst werden sollen, muss die Frage erlaubt sein, ob das wirklich innerhalb dieser kurzen Zeit möglich ist, vor allem bei Wahrung der Energieversorgungssicherheit.

Viele der angesprochenen Probleme werden aus der Sicht der Autoren bisher von der Politik als nicht akut angesehen. Die Gesellschaft lebt(e) im Hier und Jetzt, auch wirtschaftlich, und reagiert(e) nur, statt zukunftsorientiert wirksam zu agieren. Das wird in Zukunft große Probleme bereiten. Zusätzlich ist die Gesellschaft durch die sich in den letzten zwei Jahren überschlagende Gesetzgebung zur Energiewende verunsichert und reagiert zunehmend ablehnend. Es steht zu befürchten, dass sich dadurch in Zukunft das politische Umfeld für die Energiewende verschlechtert. Das ist insbesondere dann zu befürchten, wenn die Bevölkerung nicht ausreichend in die notwendigen Prozesse einbezogen wird. Insbesondere bei der Kommunikation über die notwendigen Prozesse und Abläufe besteht hier zwingender Handlungsbedarf.

Um die Energieversorgungssicherheit in Zukunft gewährleisten zu können, sind nachfolgende Fragen innerhalb übergeordneter Problemkreise zu diskutieren:

1. Definition der Bedürfnisse, die sich die Gesellschaft zukünftig leisten kann und will. Dabei sind zu beachten: notwendige Ressourcenminimierung/-schonung, kein uneingeschränktes Wachstum mehr, Begrenzung und gerechtere Verteilung von Wachstum.

2. Das Thema gesellschaftlicher Energieverbrauch korrespondiert sehr eng mit dem vorstehenden Denkansatz: Einsparung von Energie muss Vorrang vor der Erzeugung von Energie haben.
3. Rechtzeitige Planung des komplexen Transformationsprozesses: Derzeit werden die Maßnahmen nach den Erkenntnissen der Klimaforscher zeitlich festgelegt. Es müssen aber auch der Umfang und die realistische Dauer des Transformationsprozesses aus Sicht der bestehenden Erfordernisse berücksichtigt werden („Den einen Ast erst absägen, wenn man auf einem anderen sitzt!“).
4. Schrittweise, machbare und zielorientierte Umsetzung des notwendigen Transformationsprozesses unter Berücksichtigung der vorgeannten Punkte.

Beiträge zur Lösung dieser Probleme, die nur interdisziplinär gelingen kann, sollten aus Sicht der Autoren in der Leibniz-Sozietät innerhalb und in Zusammenarbeit der Arbeitskreise und Klassen diskutiert und in die Öffentlichkeit getragen werden.

## Bibliographie

- 50Hertz (2020): *Corona-Pandemie: 50Hertz sichert Stromversorgung*. Pressemitteilung vom 25.03.2020. – <https://www.50hertz.com/de/News/Details/6580/corona-pandemie-50hertz-sichert-stromversorgung> (20.09.2022).
- BAKS – Bundesakademie für Sicherheitspolitik (2015): *Beim jährlichen „Follow-up“ diskutierten vorige Seminar Teilnehmer der BAKS am 5. und 6. November über Energiesicherheit*. 19.11.2015. – <https://www.baks.bund.de/de/aktuelles/follow-up-ehemalige-und-energie> (18.09.2022).
- Banse, Gerhard (2016): „Über den Umgang mit Unbestimmtheit.“ *Leibniz Online* 22: 1–20. <http://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2016/03/Banse.pdf> (18.08.2024).
- BBK – Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2010): *Handbuch Betriebliche Pandemieplanung. 2. erweiterte und aktualisierte Auflage*. Stuttgart/Bonn. – [https://www.dguv.de/medien/inhalt/praevention/themen\\_a\\_z/biologisch/pandemieplanung/handbuch-betriebl\\_pandemieplanung.pdf](https://www.dguv.de/medien/inhalt/praevention/themen_a_z/biologisch/pandemieplanung/handbuch-betriebl_pandemieplanung.pdf) (25.09.2022).
- BBK – Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2023): *Vorsorgen für den Stromausfall*. – <https://www.bbk.bund.de>

- /DE/Warnung-Vorsorge/Tipps-Notsituationen/Stromausfall/stromausfall\_node.html (20.08.2024).
- BBK – Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2024): *Kritische Infrastrukturen*. – [https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/kritische-infrastrukturen\\_node.html](https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/kritische-infrastrukturen_node.html) (20.08.2024).
- BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.) (2016): *Energiestudie 2016. Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen (20)*. Hannover. – [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/Energiestudie\\_2016.pdf;jsessionid=424AD1525C57CBE0EFC614E76AF6F66E.1\\_cid321?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/Energiestudie_2016.pdf;jsessionid=424AD1525C57CBE0EFC614E76AF6F66E.1_cid321?__blob=publicationFile&v=3) (25.09.2022).
- BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2022): *Nationale Strategie zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung*. Stand 07.11.2022. – <https://www.bmel.de/DE/themen/ernaehrung/lebensmittelverschwendung/strategie-lebensmittelverschwendung.html> (20.08.2024).
- BMI – Bundesministerium des Inneren (2011): *Schutz Kritischer Infrastrukturen – Risiko- und Krisenmanagement. Leitfaden für Unternehmen und Behörden*. Berlin. – [https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/KRITIS/bmi-schutz-kritis-risiko-und-krisenmanagement.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=9](https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/KRITIS/bmi-schutz-kritis-risiko-und-krisenmanagement.pdf?__blob=publicationFile&v=9) (20.09.2022).
- Börse Frankfurt (2024): Raffinerie PCK Schwedt: *Auslastung wieder bei gut 80 Prozent*. <https://www.boerse-frankfurt.de/nachrichten/Raffinerie-PCK-Schwedt-Auslastung-wieder-bei-gut-80-Prozent-f54394c8-69e5-413e-84a1-d363757fc6e5> (18.08.2024).
- BSI (2024): *Nach globalen IT (Informationstechnik)-Ausfällen – BSI (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik) entwickelt Folgemaßnahmen*. [https://www.bsi.bund.de/DE/Service-Navi/Presse/Pressemitteilungen/Presse2024/240729\\_Folgemaassnahmen\\_Crowdstrike.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Service-Navi/Presse/Pressemitteilungen/Presse2024/240729_Folgemaassnahmen_Crowdstrike.html) (20.08.2024).
- Die Linke (2022): *Energiekonzerne vergesellschaften. Hintergrundinformation zu den LINKEN Forderungen nach Vergesellschaftung im Energiesektor*. Berlin: Bundesgeschäftsstelle Bereich Strategie & Grundsatzfragen 12.09.2022. – [https://www.die-linke.de/fileadmin/user\\_upload/2022\\_09\\_Energiekonzerne\\_vergesellschaften\\_Hintergrundinformation.pdf](https://www.die-linke.de/fileadmin/user_upload/2022_09_Energiekonzerne_vergesellschaften_Hintergrundinformation.pdf) (18.08.2024).

- Dietz, Florian (2022): „Blackout-Vorsorge in Berlin und Brandenburg. Nachfrage nach Notstromaggregaten enorm angestiegen.“ *rbb24 Abendschau* 24.11.2022. – <https://www.rbb24.de/panorama/beitrag/2022/11/berlin-brandenburg-blackout-notstromaggregat-nachfrage-anstieg.html> (19.08.2024).
- Eikenberg, Ronald (2024): *CrowdStrike-Fiasko: Neue Details zum fatalen Update, BSI warnt vor Angriffen*. <https://www.heise.de/news/-Crowdstrike-Fiasko-Neue-Details-zum-fatalen-Update-BSI-warnt-vor-Angriffen-9808106.html?view=print> (18.08.2024).
- Elsberg, Marc (2013): *BLACKOUT. Morgen ist es zu spät*. München: blanvalet.
- EnSiG – Energiesicherungsgesetz (2022): *Gesetz zur Sicherung der Energieversorgung (Energiesicherungsgesetz – EnSiG)*. – [https://www.gesetze-im-internet.de/ensig\\_1975/BJNR036810974.html](https://www.gesetze-im-internet.de/ensig_1975/BJNR036810974.html) (17.08.2024).
- Europäischer Rat (2024): *Ein EU-Gesetz zu kritischen Rohstoffen für die Zukunft der EU-Lieferketten*. [www.consilium.europa.eu/de/infographics/critical-raw-materials/](http://www.consilium.europa.eu/de/infographics/critical-raw-materials/) (24.05.2024).
- Figgenger, Jan (2023): „Elektromobilität – Marktentwicklung und V2X-Potenziale“. [https://www.youtube.com/watch?v=yO\\_JzwF1HnQ](https://www.youtube.com/watch?v=yO_JzwF1HnQ) (18.08.2024).
- Fontane, Theodor (1973): *Von Rheinsberg bis zum Müggelsee – Märkische Wanderungen Theodor Fontanes*. Berlin/Weimar: Aufbau-Verlag.
- Gähns, Swantje; Bluhm, Hannes; Küttemeyer, Leonie (2022): *Nachhaltige Digitalisierung einer dezentralen Energiewende. Stand der Forschung, relevante Fragestellungen und aktuelle Herausforderungen*. Berlin: ECOLOG – Institut für ökologische Wirtschaftsforschung/Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung. [https://www.ioew.de/fileadmin/user\\_upload/BILDER\\_und\\_Downloaddateien/Publicationen/2022/SB\\_E\\_Gaehrs-Bluhm-Kuetemeyer\\_sus-digi-energy-transition\\_de.pdf](https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publicationen/2022/SB_E_Gaehrs-Bluhm-Kuetemeyer_sus-digi-energy-transition_de.pdf) (24.08.2024).
- Gesetz (2023): *Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende*. <https://www.recht.bund.de/bgbl/1/2023/133/VO> (18.08.2024).
- Göldner, Igor (2024): *Strom-Engpässe in Oranienburg: Droht anderen Kommunen das auch?* <https://epaper.maz-online.de/epaper/ruppiner-tageblatt-2024-04-17-epa-90967/?page=p791761&searchword=Strom-Engp%C3%A4sse+in+Oranienburg+Droht+anderen+Kommunen+das+auch%3F&interactivelayer=3917367> (18.08.2024).

- Güßgen, Florian (2022): *GEFÄHRLICHE ABHÄNGIGKEIT: Warum gehört Deutschlands größter Gasspeicher Gazprom?* WirtschaftsWoche 28. Januar 2022. <https://www.wiwo.de/unternehmen/energie/gefaehrliche-abhaengigkeit-warum-gehört-deutschlands-groesster-gasspeicher-gazprom/28014654.html> (20.08.2024).
- Herrmann, Joachim (2009): „Geschichte – Naturgeschichte – klimatischer Wandel. Regionale und interkontinentale Auswirkungen auf die frühe Menschheitsgeschichte“. *Menschheit und Geschichte – Zwischen Eiszeit und Zukunft*, hrsg. von Joachim Herrmann. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, 159–181 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 102).
- Herrmann, Steffen (2022): „Tafeln in Deutschland: ‚Zwei Millionen Menschen mehr‘ auf Spenden angewiesen“. *Frankfurter Rundschau* 23.12.2022. <https://www.fr.de/wirtschaft/tafeln-deutschland-lebensmittel-spenden-armut-weihnachten-91993254.html> (18.08. 2024).
- Hessel, Stéphane; Vanderpooten, Gilles (2011): *Engagiert Euch!* Berlin: Ullstein Buchverlage GmbH.
- Hosp, Gerald (2022): „Warum Europa im Wirtschaftskrieg gegen Russland um Energiesanktionen nicht herumkommt“. *Neue Züricher Zeitung* 18.03.2022. <https://www.nzz.ch/meinung/ukraine-krieg-warum-energiesanktionen-sinnvoll-sind-ld.1674986> (19.08.2024).
- Kleidon, Axel (2019): „Was leistet die Erde und was trägt die Menschheit dazu bei? Antworten aus der Thermodynamik des Erdsystems.“ *Leibniz Online* 37 (23.08.2019). [https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2019/08/04\\_Kleidon\\_Vortrag\\_rh.pdf](https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2019/08/04_Kleidon_Vortrag_rh.pdf) (18.08. 2024).
- Koponen, Linda/Lemcke, Anja (2024): „Der Anschlag auf die Nord-Stream-Pipelines ist eine der grössten Sabotageaktionen der Geschichte. Wer steckt dahinter? Neue Spuren führen in die Ukraine“. *Neue Züricher Zeitung* 14.08.2024. <https://www.nzz.ch/international/nord-stream-ist-das-raetsel-um-den-ostseeanschlag-geloesst-eine-rekonstruktion-ld.1756488> (20.08.2024).
- Krassmann Thomas (2012): *Vulkanemissionen – unterschätzte Gefahr für die deutsche Energieversorgung*. [www.mineral-exploration.de/mepub/vulkanemissionen.pdf](http://www.mineral-exploration.de/mepub/vulkanemissionen.pdf) (25.09.2022).
- Kreitner, Sandra (2023): *BLACKOUT – Vorsorge im Landkreis Weilheim-Schongau*. <https://www.stromausfall-wm-sog.de/> (20.08.2024).
- Kurth, Matthias (2006): *Stromausfall. Pressekonferenz 17. November 2006 Bundesnetzagentur*. – <https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Presse/Reden/2006/Stromau>

- sfallNov06Kurth061117Id7966pdf.pdf?\_\_blob=publicationFile&v=2 (20.09.2022).
- Mahn, Jan (2024): *Technischer Fehler an der Strombörse: Strompreis schnell in die Höhe*. <https://www.heise.de/news/Technischer-Fehler-an-der-Stromboerse-Strompreis-schnell-in-die-Hoehe-9778686.html> (19.08.2024).
- Mayer, Christoph; Brunekreeft, Gert (Hrsg.) (2020): *Resilienz digitalisierter Energiesysteme. Blackout-Risiken verstehen, Stromversorgung sicher gestalten*. München (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft). [https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user\\_upload/Publicationen/PDFs/ESYS\\_Analyse\\_Digitalisierung.pdf](https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publicationen/PDFs/ESYS_Analyse_Digitalisierung.pdf) (17.09.2022).
- Mayerhofer, Lisa (2022): „Kommt der Blackout im Winter? Bundesamt für Katastrophenschutz gibt Tipps für den Ernstfall.“ *Münchener Merkur* 17.08.2022. <https://www.merkur.de/wirtschaft/gaskrisenstromausfall-liste-blackout-notvorrat-dinge-hilfe-ukraine-krieg-91712728.html> (18.08.2024).
- MAZ – Märkische Allgemeine Zeitung (2022): „Polizeibericht. Einbrecher stehlen Kupferkabel.“ *Märkische Allgemeine Zeitung* 16.09.2022.
- Meiritz, Annett; Stratmann, Klaus; Kort, Katharina (2024): „Energie: Biden stoppt Genehmigung neuer LNG-Exporte“. *Handelsblatt* 26.01.2024. <https://www.handelsblatt.com/politik/international/energie-biden-stoppt-genehmigung-neuer-lng-exporte/100010678.html> (20.08.2024).
- Mertzsch, Norbert (2011): „Ambivalenzen erneuerbarer Energien“. *Ambivalenzen von Technologien – Chancen, Gefahren, Missbrauch*, hrsg. von Gerhard Banse/Ernst-Otto Reher. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, 143–152 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 112).
- Mertzsch, Norbert (2022): „Aspekte der Energieversorgungssicherheit“. *Die Energiewende 2.0. Im Fokus: Die Infrastruktur*, hrsg. von Norbert Mertzsch, Ernst-Peter Jeremias. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, 83–96 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 155).
- Mertzsch, Norbert; Thomas, Bernd (2017): „Technologische Herausforderungen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung.“ *Technologie und nachhaltige Entwicklung*, hrsg. von Gerhard Banse, Ernst-Otto Reher. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, 131–145 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 130).
- Miljković, Marijana (2022): „Bauern wollen Borealis nicht ziehen lassen.

- Bauernbund bekämpft Verkauf der Düngemittelsparte nach Tschechien juristisch. Appelle an Öbag verhallen.“ *Wiener Zeitung* 14.09.2022. <https://www.wienerzeitung.at/nachrichten/wirtschaft/oesterreich/2161642-Bauern-wollen-Borealis-nicht-ziehen-lassen.html> (18.08.2024).
- NEP – Netzentwicklungsplan (2023): *Netzentwicklungsplan Strom 2037 / 2045, Version 2023, 2. Entwurf*. [https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/2023-12/NEP%20kompakt\\_2037\\_2045\\_V2023\\_2E.pdf](https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/2023-12/NEP%20kompakt_2037_2045_V2023_2E.pdf) (20.08.2024).
- Neubert, Hanns-J. (2023): „Grüner Wasserstoff aus Namibia.“ *MIT Technology Review* 16.06.2023. <https://www.heise.de/hintergrund/Gruener-Wasserstoff-aus-Namibia-9188625.html> (20.08.2024).
- n-tv (2024): *Geplanter Verkauf geplatzt: Bund kann sich deutsches Tennet-Stromnetz nicht leisten*. <https://www.n-tv.de/wirtschaft/Bund-kann-sich-deutsches-Tennet-Stromnetz-nicht-leisten-article25029489.html> (20.08.2024).
- Österreichs E-Wirtschaft (2021): *Großflächige Netzstörung: Chronologie zweier Störfälle*. <https://oesterreichsenergie.at/aktuelles/neuigkeiten/detailseite/chronologie-zweier-stoerfaelle> (20.09.2022).
- Osman, Yasmin (2024): „Bundesregierung wirbt um private Investoren für das Stromnetz“. *Handelsblatt* 09.07.2024. <https://www.handelsblatt.com/finanzen/banken-versicherungen/banken/energie-wende-bundesregierung-wirbt-um-private-investoren-fuer-das-stromnetz/100048793.html> (20.08.2024).
- Pittel, Karen (2012): „Das energiepolitische Zieldreieck und die Energie-wende“. *ifo Schnelldienst* 65 (12), 22-26. [https://www.ifo.de/DocDL/ifosd\\_2012\\_12\\_7.pdf](https://www.ifo.de/DocDL/ifosd_2012_12_7.pdf) (20.09.2022).
- rbb24 (2022): *Protestaktion Aktivisten blockieren Kraftwerk Jänschwalde – alle vier Blöcke wieder in Betrieb*. <https://www.rbb24.de/studiocottbus/-panorama/2022/09/blockade-aktivisten-aktionsgruppe-braunkohle-kraftwerk-jaenschwalde.html> (20.09.2022).
- rbb24 (2024a): *Interview: Strommast-Betreiber „Wenn jemand mit Sachkunde einen Anschlag verübt, kann man das nicht verhindern“*. 20.03.2024. <https://www.rbb24.de/wirtschaft/beitrag/2024/03/brandenburg-brandanschlag-stromversorgung-tesla-erkner-gruenheide-stromversorger-edis-ceo-interview.html> (20.08.2024).
- rbb24 (2024b): *Netzbetreiber erhöht Leistung: Strom-Engpass in Oranienburg ist behoben*. <https://www.rbb24.de/wirtschaft/beitrag/2024/04/strom->

- engpass-in-oranienburg-behoben-neue-hausanschluesse-moeglich.html (20.08.2024).
- rbb24 Inforadio (2023): *Berliner Stadtentwicklungssenator Gaebler will mit Vergesellschaftungsgesetz Fairness schaffen*. 01.06.2023, 10:45 Uhr. <https://www.rbb24.de/politik/beitrag/2023/06/vergesellschaftungsgesetz-cdu-spd-koalition-mieter-berlin.htm/listallcomments=on.html> (19.08.2024).
- Reichert, Tobias; Brankamp, Hauke; Lanje, Kerstin; Paasch, Armin (2011): *Wer ernährt die Welt? Die europäische Agrarpolitik und Hunger in Entwicklungsländern*. Aachen: Bischöfliches Hilfswerk MISEREOR e.V.
- [https://www.engagement-weltweit.de/fileadmin/Redaktion/ENGAGEMENT\\_WELTWEIT/Publik\\_/Landw/Misereor\\_Studie\\_Agrarpolitik\\_2011.pdf](https://www.engagement-weltweit.de/fileadmin/Redaktion/ENGAGEMENT_WELTWEIT/Publik_/Landw/Misereor_Studie_Agrarpolitik_2011.pdf) (20.08.2024).
- Renn, Ortwin (2009): „Komplexität, Unsicherheit und Ambivalenz. Vermittlung von TA und ihrer Methoden in der universitären Lehre.“ *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis* 18/3, 32-40.
- Renn, Ortwin (Hrsg.) (2017): *Das Energiesystem resilient gestalten: Szenarien – Handlungsspielräume – Zielkonflikte*. München (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft). [https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/PDFs/ESYS\\_Stellungnahme\\_Das\\_Energiesystem\\_resilient\\_gestalten.pdf](https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/PDFs/ESYS_Stellungnahme_Das_Energiesystem_resilient_gestalten.pdf) (17.09.2022).
- Reymond, Mathias; Rimbart, Pierre (2022): „Energiekrieg. Die Sieger stehen schon fest.“ *Le Monde diplomatique* 09.06.2022. <https://mondediplomatique.de/artikel/!5844528> (18.09.2022).
- Saurugg, Herbert; Unterauer, Markus (2023): *Blackout-Vorsorge. Das Notfallvorsorgebuch für Österreich*. Wien: Seifert-Verlag.
- Scheuermann, Armin (2022): *Grünes Gas auf großer Fahrt. Flüssiger Wasserstoff, Ammoniak oder LOHC – was spricht für welchen H<sub>2</sub>-Träger? –* <https://www.chemietechnik.de/energie-utilities/wasserstoff/fluessiger-wasserstoff-ammoniak-oder-lohc-was-spricht-fuer-welchen-h2-traeger-381.html> (28.05.2022).
- Schilling, Horst (1986): *Nahrungsmittel als Waffe*. Berlin: Dietz-Verlag.
- Schröder, Lothar; Klaue, Constanze (2021): *Eingeschnitten: Schneechaos im Münsterland. Stand: 10.02.2021*. <https://www1.wdr.de/fernsehen/heimatflimmern/sendungen/schneechaos-im-muensterland-100.html> (19.09.2022).
- SOLARIFY (2022): *Eisen soll Speicherung und Transport CO<sub>2</sub>-freier Energie*

- ermöglichen. 21.07.2022. <https://www.solarify.eu/2022/07/21/608-eisen-soll-speicherung-und-transport-co2-freier-energie-ermoglichen/> (19.09.2022).
- SOLIFARY (2024): *Desertec reloaded: Gigaplants für Methanolproduktion in der Sahara. Obrist Group plant grundlastfähigen klima-positiven Weltenergieeträger.* <https://www.solarify.eu/2024/06/17/648-desertec-reloaded-gigaplants-fuer-methanolproduktion-in-der-sahara/> (18.08.2024).
- Staiß, Frithjof; Adolf, Jörg; Ausfelder, Florian; Erdmann, Christoph; Fishedick, Manfred; Hebling, Christopher; Jordan, Thomas; Klepper, Gernot; Müller, Thorsten; Palkovits, Regina; Poganietz, Witold-Roger; Schill, Wolf-Peter; Schmidt, Maike; Stephanos, Cyril; Stöcker, Philipp; Wagner, Ulrich; Westphal Kirsten; Wurbs, Sven (2022): *Analyse Optionen für den Import grünen Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030. Transportwege – Länderbewertungen – Realisierungserfordernisse.* München (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft). [https://energiesystemezukunft.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/PDFs/Analyse\\_Wasserstoff\\_neu.pdf](https://energiesystemezukunft.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/PDFs/Analyse_Wasserstoff_neu.pdf) (17.09.2022).
- Streck, Ralf (2022): „Völkerrechtliche Prinzipien werden billig für grünen Wasserstoff verkauft.“ *Telepolis* 01.06.2022. <https://www.telepolis.de/features/Voelkerrechtliche-Prinzipien-werden-billig-fuer-gruenen-Wasserstoff-verkauft-7128221.html?seite=all> (17.09.2022).
- TAB – Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (2024): *Digitalisierung der Netz- und Verbrauchssteuerung.* <https://foresight.tab-beim-bundestag.de/reports/energie/aktuelle-trends/digitale-netz-und-verbrauchssteuerung/> (19.08.2024).
- UBA – Umweltbundesamt (2023): *Klimafolgen: Handlungsfeld Landwirtschaft.* <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels/klimafolgen-deutschland/klimafolgen-handlungsfeld-landwirtschaft> (20.08.2024).
- Universität Leipzig (2024): *Täglicher Primär-Energiebedarf des Menschen.* <https://home.uni-leipzig.de/energy/energie-grundlagen/04.html>.
- Wangemann, Ulrich (2024): „Anschlag auf Tesla: Generalbundesanwalt zieht Ermittlungen an sich“. *Märkische Allgemeine Zeitung* 08.03.2024. <https://www.maz-online.de/brandenburg/nach-anschlag-auf-tesla-generalbundesanwalt-uebernimmt-ermittlungen-NN5USEFKLRDT7-IORNZ43K3VUGY.html> (20.08.2024).
- Welthungerhilfe (2023): *Für eine Welt ohne Hunger.* <https://www.welthungerhilfe.de/> (20.08.2024).
- Wenzel, Frank-Thomas (2022): „Droht ein Blackout im nächsten

- Winter?“ *RedaktionsNetzwerk Deutschland* 04.03.2022.  
<https://www.rnd.de/wirtschaft/stromversorgung-provoziert-putin-einen-blackout-in-deutschland-QPGXNZDQEJDINK4DWUQU-5LDDO4.html> (17.09.2022).
- Wikipedia (2024a): Graphitbombe. <https://de.wikipedia.org/wiki/Graphitbombe> (18.08.2024)
- Wikipedia (2024b): *Liste historischer Stromausfälle*. [https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_historischer\\_Stromausf%C3%A4lle](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_historischer_Stromausf%C3%A4lle) (18.08.2024).
- Wikipedia (2024c): *Nachhaltigkeit*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Nachhaltigkeit> (18.08.2024).
- WZ – Wiener Zeitung (2023): „Österreichs Gas-Importe aus Russland steigen erneut.“ *Wiener Zeitung* 09.02.2023. <https://www.wienerzeitung.at/nachrichten/wirtschaft/oesterreich/2177748-Oesterreichs-Gas-Importe-aus-Russland-erneut-gestiegen.html> (19.08.2024).

## **Aktivitäten der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin (LS) und des Leibniz-Instituts für interdisziplinäre Studien (LIFIS) im/zum Bereich „Energie – Mensch – Zukunft“ (chronologisch geordnet)**

**Gerhard Banse**

(Berlin, MLS)

### **1 Arbeitskreise**

- *Allgemeine Technologie* (2001 gegründet; 2022 Tätigkeit beendet; siehe <https://leibnizsozietat.de/sozietat/arbeitskreise/arbeitskreis-allgemeine-technologie-2/>).
- *Geo-, Montan-, Umwelt-, Weltraum- und Astrowissenschaften* (GeoMUWA) (2001 gegründet; siehe <https://leibnizsozietat.de/sozietat/arbeitskreise/arbeitskreis-geo-montan-umwelt-weltraum-und-astrowissenschaften-ak-geomuwa/>).
- *Solarzeitalter* (2002 gegründet; 2004 Tätigkeit beendet; siehe *Leibniz intern. Mitteilungen der Leibniz-Sozietät* 15 vom 10. November 2002, 4; <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/LI-15.pdf>).
- *Energieversorgung* (2004 gegründet; 2005 Tätigkeit beendet; siehe *Leibniz intern. Mitteilungen der Leibniz-Sozietät* 29 vom 7. Oktober 2005, 8–9; <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/LI-29.pdf>).
- *Gesellschaftsanalyse und Klassen* (2007 gegründet; siehe <https://leibnizsozietat.de/sozietat/arbeitskreise/arbeitskreis-gesellschaftsanalyse-und-klassen/>).

- *Energie, Mensch und Zivilisation* (2021 gegründet; siehe <https://leibnizsozietat.de/sozietat/arbeitskreise/arbeitskreis-energie-mensch-und-zivilisation/>).

## 2 Veranstaltungen

- 17.02.1994: Klasse NWTW „Rohstoffe und Energie“, Lothar Kolditz (siehe <https://leibnizsozietat.de/sitzungsberichte-der-leibniz-sozietat-band-1-1994/>).
- 22.09.1994: Plenum „Stand und Perspektiven einer ökologisch und ökonomisch nachhaltigen Weltenergieversorgung“, Karl Friedrich Alexander (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtdatei-SB-005-1995.pdf>).
- 20.06.1996: Klasse NWTW „Kernenergie und Ökologie“, Dietrich Schwarz (siehe <https://leibnizsozietat.de/sitzungsberichte-der-leibniz-sozietat-band-17-•-jahrgang-1997>).
- 18.12.1997: Plenum „Kernenergie – eine Technik mit Zukunft?“, Günter von Sengbusch (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtdatei-SB-20-1998.pdf/>).
- 14.05.1998: Klasse NWTW „Perspektiven der chemischen Speicherung von Sonnenenergie“, Horst Hennig (siehe <https://leibnizsozietat.de/sitzungsberichte-der-leibniz-sozietat-band-26-•-jahrgang-1998/>).
- 18.01.2001: Klasse NWTW „Energie im 21. Jahrhundert – Gestaltung der energetischen Zukunft“, Klaus-Dieter Bilkenroth (siehe <https://leibnizsozietat.de/wissenschaftliche-sitzungen-der-klassen-der-leibniz-sozietat-im-jahre-2001/>).
- 16.05.2002: Klasse NWTW „Katalyse und Automobil – Wege zur Nachhaltigkeit der Mobilität“, Gerhard Öhlmann, (siehe <https://leibnizsozietat.de/sitzungsberichte-der-leibniz-sozietat-band-57-•-jahrgang-2003/>).
- 11.–13.09.2003: Augustusburg-Konferenz „Solarzeitalter – Vision und Realität“ (siehe *Leibniz intern. Mitteilungen der Leibniz-Sozietät* 20 vom 15. November 2003, 7-8; <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/LI-20.pdf>).
- 13.05.2004: Klasse NWTW „Über Transmutationen und Energiegewinnung im Unterkritischen Reaktor: Die

Möglichkeiten und Gefahren dieser neuen nuklearen Technologie“, Reinhard Brandt (siehe <https://leibniz-sozietat.de/sitzungsberichte-der-leibniz-sozietat-band-80-jahrgang-2005/>).

- 21.10.2004: Plenum „Die existenzielle Jahrhundertaufgabe: Die Ablösung atomarer und fossiler Energien durch erneuerbare Energien“, Hermann Scheer (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/LI-261.pdf>).
- 11.–13.05.2006: Leibniz-Konferenz „Solarzeitalter 2006 – Stoffproduktion im Solarzeitalter“ (siehe <https://leibniz-institut.de/konferenzen/konferenz-archiv/2-leibniz-konferenz-solarzeitalter-2006/>).
- 26.09.2006: Kolloquium „50 Jahre Forschung für die friedliche Nutzung der Kernenergie“ (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtband-SB-089-2007.pdf>).
- 14.02.2008: Plenum „Das Energieproblem der menschlichen Gesellschaft – Sicht eines Physikers auf Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft“, Günter Flach (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtband-SB-100-2009.pdf>).
- 15.–17.05.2008: Leibniz-Konferenz „Solarzeitalter 2008 – Erneuerbare Energien und Materialien. Visionen – Probleme – Perspektiven“ (siehe <https://leibniz-institut.de/konferenzen/konferenz-archiv/6-leibniz-konferenz-solarzeitalter-2008/>).
- 09.04.2009: Klasse NWTW „Speicherung von Sonnenenergie: Prinzipien, Materialien“, Wolfgang Voigt (siehe <https://leibniz-sozietat.de/wissenschaftliche-sitzungen-der-klassen-der-leibniz-sozietat-im-jahre-2009/>).
- 07.11.2009: Konferenz „Nachwachsende Rohstoffe – Ernährung versus Energie“ (siehe *Leibniz intern. Mitteilungen der Leibniz-Sozietät* 46 vom 23. Februar 2010, 12-13; <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/LI-46.pdf>).
- 12./13.05.2011: Leibniz-Konferenz „Solarzeitalter 2011“ (siehe <https://leibniz-institut.de/konferenzen/konferenz-archiv/11-leibniz-konferenz-solarzeitalter-2011/>).

- 31.05.2012: Jahrestagung „Energiewende – Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag“ (siehe <https://leibnizsozietat.de/jahrestagung-2012-der-leibniz-sozietat/>; *Leibniz intern. Mitteilungen der Leibniz-Sozietät* 56 vom 15. Juli 2012, 19-20; <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/LI-561.pdf>).
- 11.10.2012: Kolloquium „Erneuerbare Energieträger – Eigenschaftsprofile, Probleme und realistische Perspektiven ihrer Nutzung unter den Bedingungen Deutschlands“ (siehe *Leibniz intern. Mitteilungen der Leibniz-Sozietät* 57 vom 15. November 2012, 8-9; <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/LI-57.pdf>).
- 02./03.05.2013: Leibniz-Konferenz „Erneuerbare Energien 2013 – Neue Ideen für das Solarzeitalter“ (siehe <https://leibnizinstitut.de/konferenzen/konferenz-archiv/15-leibniz-konferenz-erneuerbare-energien-2013/>).
- 13.12.2013: Plenum (Kolloquium) „Energiespeichertechnologien: Notwendigkeiten, Problemspektren, wissenschaftlich-technische Entwicklungen und Perspektiven“ (siehe <https://leibnizsozietat.de/plenarsitzung-am-13-dezember-2013-energiespeichertechnologien-bericht/>).
- 14.11.2014: Workshop „Naturressourcen, Energie, Umwelt: Wechselwirkungen und aktuelle Probleme“ (siehe <https://leibnizsozietat.de/workshop-naturressourcen-energie-umwelt-wechselwirkungen-und-aktuelle-probleme-programm-und-abstracts/>).
- 11.06.2015: Klasse NWTW „Die Entdeckung der nuklearen Energie – einige wissenschaftshistorische Betrachtungen“, Horst Kant (siehe <https://leibnizsozietat.de/sitzungsberichte-der-leibniz-sozietat-band-131-jahrgang-2017/>).
- 25.05.2016: Klasse NWTW „Die Energiewende zwischen Markt und Staat – aktuelle Herausforderungen aus ökonomischer Sicht“, Erik Gawel (siehe <https://leibnizsozietat.de/mai-sitzung-der-klasse-naturwissenschaften-und-technikwissenschaften-bericht/>).
- 19.05.2017: Kolloquium „Energiewende 2.0: Die ambivalente ‚Wärme‘ im Fokus der Wissenschaft und Wirtschaft, der Technik und Technologie“ (siehe <https://leibnizsozietat.de/>).

kolloquium-energiewende-2-0-die-ambivalente-waerme-im-fokus-der-wissenschaft-und-wirtschaft-der-technik-und-technologie/).

- 12.04.2018: Plenum „Die Energiewende 2.0 im Disput: Essentielle wissenschaftlich-technische, soziale und politische Herausforderungen im Widerstreit“ (siehe <https://leibnizsozietat.de/die-energiewende-2-0-essentielle-wissenschaftlich-technische-soziale-und-politische-herausforderungen/>).
- 06.12.2018: Plenum „Disputatio zur Energiewende 2.0 – im Fokus: Die kardinale Effektivität und Effizienz“ (siehe <https://leibnizsozietat.de/die-energiewende-2-0-im-fokus-die-kardinale-effektivitaet-und-effizienz-bericht/>).
- 12.12.2019: Klasse SGW „ITK und nachhaltige Entwicklung – (k)eine ‚Harmonie a priori?!‘“, Gerhard Banse (siehe <https://leibnizsozietat.de/event/dezember-sitzung-der-klasse-sozial-und-geisteswissenschaften-der-leibniz-sozietat/>).
- 07.05.2021: Kolloquium und Disputation „Die Energiewende 2.0: Im Fokus die Mobilität“ (siehe <https://leibnizsozietat.de/bericht-zum-kolloquium-und-expertendiskurs-die-energiewende-2-0-im-fokus-die-mobilitaet-am-07-mai-2021/>).
- 11.11.2021: Klasse NWTW „Klimawandel, Ressourcen und Energieversorgung der Zukunft – Gründe für eine schnellstmögliche Energiewende (ökologische, soziale, ökonomische)“, Wolfgang Methling (siehe <https://leibnizsozietat.de/event/november-sitzung-der-klasse-nwtw-der-leibniz-sozietat-der-wissenschaften-zu-berlin/>).
- 17.03.2022: Kolloquium „Kritische Rohstoffe, Gewinnung bis Entsorgung: Die Geowissenschaften als Problemlöser“ (siehe <https://leibnizsozietat.de/bericht-zur-tagung-kritische-rohstoffe/#more-24081>).
- 13.05.2022: Kolloquium „Die Energiewende 2.0: Im Fokus die Infrastruktur“ (siehe <https://leibnizsozietat.de/bericht-zum-kolloquium-die-energiewende-2-0-im-fokus-die-infrastruktur/>).
- 22.03.2023: Kolloquium „Kritische Rohstoffe II: Auswirkungen wachsender geo- und klimapolitischer Herausforderungen auf die Rohstoffversorgung Deutschlands und Europas“ (siehe <https://leibnizsozietat.de/bericht-zum-kolloquium-kritische-rohstoffe-ii/#more-26451>).

- 09.06.2023: Kolloquium „Die Energiewende 2.0: Im Fokus die Stoffwirtschaft“ (siehe <https://leibnizsozietat.de/bericht-zum-kolloquium-die-energiewende-2-0-im-fokus-die-stoffwirtschaft/>).
- 24.03.2024: Kolloquium „Kritische Rohstoffe: große Bedeutung, aber geringe öffentliche Wahrnehmung! Was ist zu tun?“ (siehe <https://leibnizsozietat.de/bericht-zum-kolloquium-kritische-rohstoffe-iii-am-24-maerz-2024/#more-28504>).

### 3 Publikationen (außer in „LIFIS Online“)

- *Globaler Wandel I: Risiken – Ressourcen – Chancen* [u. a. mit Lothar Kolditz: „Rohstoffe und Energie“ (105-115)]. trafo Verlag 1994 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 1) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtdatei-SB-001-1994.pdf>).
- *Chemie und Umwelt* [u. a. mit Karl Friedrich Alexander: „Stand und Perspektiven einer ökologisch und ökonomisch nachhaltigen Weltenergieversorgung“ (29-54)]. trafo Verlag 1995 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 5) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtdatei-SB-005-1995.pdf>).
- *Radioaktivität. Von Bequerel bis Tschernobyl. Teil II* [u. a. mit D. E. Becker; J. Hutter; H. Klönk; Ch. Krause; F. Philippczyk; M. Reiner: „Die Kernenergie in Deutschland“ (23-48); Dietrich Schwarz: „Warum Kernenergie?“ (49-67)]. Berlin: trafo Verlag 1997 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 17) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtdatei-SB-017-1997.pdf>).
- [u. a. mit Günter von Sengbusch: „Kernenergie – eine Technik mit Zukunft?“ (81-99)]. Berlin: trafo Verlag 1998 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 20) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtdatei-SB-20-1998.pdf>).
- [u. a. mit Gert Blumenthal: „Die stoffwandelnde Industrie im Solarzeitalter – einige Überlegungen“ (19-51)]. Berlin: trafo Verlag 2002 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 55) (siehe

- <https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtband-SB-055-2002.pdf>).
- Blumenthal, Gert; Öhlmann, Gerhard (Hrsg.): *Solarzeitalter – Vision und Realität*. Berlin: trafo Verlag 2005, 232 S. (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät 15) (siehe <http://www.trafoberlin.de/3-89626-472-9.html>) – *Anlage 1*.
  - [u. a. mit Reinhard Brandt: „Über Transmutationen und Energiegewinnung im Unterkritischen Reaktor: Die Möglichkeiten und Gefahren dieser neuen nuklearen Technologie“ (91-101)]. Berlin: trafo Verlag 2005 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 80) (siehe <https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtband-SB-080-2005.pdf>).
  - Kautzleben, Heinz; Calov, Ursula (Hrsg.): *Sichere Versorgung der Menschheit mit Energie und Rohstoffen*. Berlin: trafo Verlag 2005, 210 S. (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 82) (siehe <https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtband-SB-082-2005.pdf>) – *Anlage 2*.
  - Flach, Günter: „Physikalische Aspekte des globalen Energieproblems“. *Leibniz Online. Internetzeitschrift der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften e. V.* 2 (2006) (<https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2006/12/03-EnergieglobalFlach.pdf>).
  - Andreeff, Alexander; Seeliger, Dieter (Hrsg.): *50 Jahre Forschung für die friedliche Nutzung der Kernenergie* [u. a. mit Dieter Seeliger: „Internationale Zusammenarbeit zu den kernphysikalischen Grundlagen und Perspektiven der friedlichen Nutzung der Kernenergie“ (19-38); Horst Märten: „Uranressourcen und Nuklearabfall im Blickwinkel der Kernenergiegewinnung der Zukunft“ (75-89)]. Berlin: trafo Verlag 2007 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 89) (siehe <https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtband-SB-089-2007.pdf>).
  - Wangermann, Gert (Hrsg.): *Theoria cum praxi. Fünf Jahre Leibniz-Institut für interdisziplinäre Studien e. V. (LIFIS)* [u. a. mit Herrmann Scheer: „Energie – Neu denken!“ (23-32); Gerhard Öhlmann: „Solarzeitalter – Auf dem Weg zur Realität“ (33-50); Gert Blumenthal: „Die Sonne und GAIA“ (51-83); Rainer Bitsch: „Integration von erneuerbaren Energiequellen und dezentralen Erzeugungen in bestehende Elektro-Energiesysteme“ (85-102)]. Berlin: trafo Verlag 2007 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät

- 90) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtband-SB-090-2017.pdf>).
- [u. a. mit Günter Flach: „Das Energieproblem der menschlichen Gesellschaft – Sicht eines Physikers auf Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft“ (57-79)]. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2009 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 100) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtband-SB-100-2009.pdf>).
  - Banse, Gerhard; Reher, Ernst-Otto (Hrsg.): *Ambivalenzen von Technologien – Chancen, Gefahren, Missbrauch* [u. a. mit Dieter Seeliger: „Ambivalenzen in der Uranwirtschaft – Segen oder Fluch für die Menschheit?“ (83-101); Norbert Mertzsch: „Ambivalenzen erneuerbarer Energien“ (143-152)]. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2011 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 112) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtband-SB-112-2011.pdf>).
  - Banse, Gerhard; Reher, Ernst-Otto (Hrsg.): *Technik – Sicherheit – Techniksicherheit* [u. a. mit Wolfgang Fratzscher: „Über die Sicherheitskultur bei Kernkraftwerken“ (33-49); Norbert Mertzsch: „Sicherheitsaspekte beim Rückbau des KKW Rheinsberg“ (51-57); Dieter Seeliger: „Fukushima – bisherige Lehren aus der Katastrophe über die Sicherheit von Kernkraftwerken“ (59-78)]. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2013 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 116) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtdatei-SB-116-2013.pdf>).
  - Banse, Gerhard; Wollgast, Siegfried (Hrsg.): *Toleranz – gestern, heute, morgen* [u. a. mit Lutz-Günther Fleischer: „Ernährung ‚versus‘ Energetik – mit einigen Facetten zum Toleranzproblem“ (253-277)]. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2013 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 33) siehe <http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-030-8.html>).
  - Banse, Gerhard; Fleischer, Lutz-Günther (Hrsg.): *Energievende – Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag*. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2014, 315 S. (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 31) (siehe <https://leibnizsozietat.de/band-31-der-abhandlungen-der-leibniz-sozietat->

- erschienen-2/#more-7304; <http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-006-3.html>) – Anlage 3.
- Knoll, Peter (Hrsg.): *Kolloquium: Im Mittelpunkt steht der Mensch – Fortschritte in den Geo-, Montan-, Umwelt-, Weltraum- und Astrawissenschaften* [u. a. mit Dietrich Spänkuch: „Mögliche klimatische Folgen bei weltweitem Einsatz erneuerbarer Energie“ (53-67)]. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2014 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 120) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtdatei-SB-120-2014.pdf>).
  - Mertzsch, Norbert: „Speicherung Erneuerbarer Energien – Versuch eines Überblicks“. *Leibniz Online. Internetzeitschrift der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften e. V.* 16 (2014) (<https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2014/01/mertzsch.pdf>).
  - Banse, Gerhard; Reher, Ernst-Otto (Hrsg.): *Technologiewandel in der Wissensgesellschaft – qualitative und quantitative Veränderungen* – [u. a. mit Wolfgang Fratzscher: „Energietechnik und Energiewende“ (105-123); Norbert Mertzsch; Ernst-Peter Jeremias: „Entwicklungstendenzen in der Wärmeversorgung“ (125-132); Dieter Seeliger: „Über einige qualitative und quantitative Fortschritte der praktischen Nutzung von Nanotechnologie bei der Energieumwandlung“ (133-149)]. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2015 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 122) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Gesamtband-SB-122-2015.pdf>).
  - Thomas, Michael; Busch, Ulrich (Hrsg.): *Transformation im 21. Jahrhundert. Theorien – Geschichte – Fallstudien.* II. Hbd. [u. a. mit Judith Dellheim: „Transformatorisches Potenzial‘ im Allgemeinen und im Besonderen, diskutiert am Beispiel des Berliner Energietisches“ (593-622)]. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2015 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 39) (siehe <http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-089-6.html>).
  - Busch, Ulrich; Thomas, Michael (Hrsg.): *Ein Vierteljahrhundert Deutsche Einheit. Facetten einer unvollendeten Integration* [u. a. mit Michael Thomas: „Widersprüchliche Einheit. Grenzen der Angleichung – ein Leben mit Unterschieden. Warum eigentlich nicht?“ (107-128)]. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2015

- (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 42) (siehe <http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-100-8.html>).
- Greiling, Reinhard O. (Hrsg.): „Workshop ‚Naturressourcen, Energie, Umwelt: Wechselwirkungen und aktuelle Probleme‘“. *Leibniz Online. Internetzeitschrift der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften e. V.* 17 (2015) (<https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Portfolio-LO-17-2015.pdf>) – *Anlage 4*.
  - Banse, Gerhard; Reher, Ernst-Otto (†) (Hrsg.): *Technologie und nachhaltige Entwicklung* [u.a. mit Kerstin Becker; Ernst-Peter Jeremias: „Nachhaltigkeitsaspekte einer zukunftssicheren Energieversorgung von Städten und Gemeinden“ (77-88); Norbert Mertzsch; Bernd Thomas: „Technologische Herausforderungen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung“ (131-145); Dieter Seeliger: „Perspektiven und Probleme einer kohlenstofffreien Energiewirtschaft“ (165-192)]. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2017 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 130) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/Band-130-Gesamtdatei.pdf>).
  - Fleischer, Lutz-Günther; Meier, Bernd (Hrsg.): *Technik & Technologie. technè cum episteme et commune bonum* [u. a. mit Horst Kant: „Die Entdeckung der nuklearen Energie – Einige wissenschaftshistorische Betrachtungen“ (189-207)]. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2017 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 131) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/SB-Jhg.-2017-Band-131.pdf>).
  - Fleischer, Lutz-Günther; Mertzsch, Norbert (Hrsg.): „Beiträge zum Kolloquium: Energiewende 2.0 – Die ambivalente ‚Wärme‘ im Fokus der Wissenschaft und Wirtschaft, der Technik und Technologie. *Leibniz Online. Internetzeitschrift der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften e. V.* 29 (2017) (<https://leibnizsozietat.de/internetzeitschrift-leibniz-online-nr-29-2017/>) – *Anlage 5*.
  - Banse, Gerhard; Fleischer, Lutz-Gunther (Hrsg.): *Energiewende 2.0 im Fokus – Bewährtes, Notwendiges, Kontroverses*. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2018, 339 S. (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 47) (siehe <http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-125-1.html>) – *Anlage 6*.

- Banse, Gerhard; Mertzsch, Norbert (Hrsg.): *Von der Idee zur Technologie – Kreativität im Blickpunkt* [u. a. mit Dieter Seeliger: „Mit Kreativität auf dem Weg zu einer neuen Wärmequelle“ (93-114)]. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2019 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 138) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2019/06/SB-138-2019-Gesamtdatetei-1.pdf>).
- Bühlow, Martin: „Ausstieg aus der Kohleförderung in Deutschland – Was geschieht mit den Menschen in den Revieren?“ *Leibniz Online. Internetzeitschrift der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften e. V.* 36 (2019) (<https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2019/03/Buelow.pdf>).
- Jeremias, Ernst-Peter: „Löst die Elektromobilität unser Klimaproblem im Sektor Verkehr?“ *Leibniz Online. Internetzeitschrift der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften e. V.* 40 (2020) (<https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2020/06/Portfolio-3-LO-40-2020.pdf>).
- Kant, Horst; Pfaff, Gerhard (Hrsg.): *Von den Mühen der Ebenen und der Berge in den Wissenschaften* [u. a. mit Hans-Jürgen Kaltwang: „Grubengasproduktion und -verwertung im Saarland vor dem Hintergrund der Energiewende“ (23-45)]. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2021 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 145) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2021/10/Gesamtdatetei-145-2021.pdf>).
- Banse, Gerhard; Mertzsch, Norbert (Hrsg.): *Lebenszyklusanalyse. Stationen im Lebenszyklus von Technologien und Aspekte ihrer Bewertung* [u. a. mit Kerstin Becker: „Eine Energieerzeugungsanlage im Wandel der rahmenpolitischen und gesetzlichen Vorgaben am Beispiel der Wärmeerzeugung der Stadtwerke Rheinsberg GmbH“ (87–97); Ernst-Peter Jeremias: „Einkommensenergien und Recycling – Wichtige Voraussetzungen für eine nachhaltige Elektromobilität“ (99-110)]. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2021 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 146) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2021/10/Gesamtdatetei-SB-146-2021.pdf>).
- Jeremias, Ernst-Peter; Mertzsch, Norbert (Hrsg.): *Die Energiewende 2.0. Im Fokus: Die Mobilität*. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2021, 140 S. (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät

der Wissenschaften 147) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2021/10/Gesamtdat-ei-147-2021.pdf>) – *Anlage 7*.

- Pfaff, Gerhard; Greiling, Reinhard O. (Hrsg.): *Kritische Rohstoffe, Gewinnung bis Entsorgung: Die Geowissenschaften als Problemlöser* [u. a. mit Christoph Hilgers: „Rohstoffverfügbarkeit und Energiewende“ (19-32)]. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2022 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 154) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/02/SB154.pdf>).
- Mertzsch, Norbert; Jeremias, Ernst-Peter (Hrsg.): *Die Energiewende 2.0. Im Fokus: Die Infrastruktur*. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2022, 101 S. (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 155) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/02/SB155.pdf>) – *Anlage 8*.
- Methling, Wolfgang: „Klimawandel, Ressourcen und Energieversorgung der Zukunft – Gründe für eine schnellstmögliche Energiewende (ökologische, ökonomische, soziale)“. *Leibniz Online. Internetzeitschrift der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften e. V.* 46 (2022) ([https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2022/09/06\\_5Methling\\_rh.pdf](https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2022/09/06_5Methling_rh.pdf)).
- Banse, Gerhard; Mertzsch, Norbert (Hrsg.): *Allgemeine Technologie – Eine Bestandsaufnahme* [u. a. mit Kerstin Becker; Ernst-Peter Jeremias: „Der lange Weg von der Entwicklung bis zum Einsatz neuer Technologien – oder: Zukunftsfähige Fernwärme“ (99-112)]. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2023 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 156) (siehe <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/02/SB155.pdf>).
- Pfaff, Gerhard; Mertzsch, Norbert; Jeremias Ernst-Peter (Hrsg.): *Die Energiewende 2.0. Im Fokus: Die Stoffwirtschaft*. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2023, 137 S. (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 158) (siehe [https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/12/01\\_SB158-0.pdf](https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/12/01_SB158-0.pdf)) – *Anlage 9*.
- Pfaff, Gerhard; Müller, Axel; Greiling, Reinhard O. (Hrsg.): *Kritische Rohstoffe: Auswirkungen wachsender geo- und klimapolitischer Herausforderungen auf die Rohstoffversorgung*

Deutschlands und Europas [u. a. mit Christoph Hilgers; Benjamin Busch; Jasemin A. Ölmez: „Klima, Rohstoffverfügbarkeit und Energiewende – Deutschland in der Krise?“ (21-69)]. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2023, 131 S. (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 159) (siehe <https://leibniz-sozietat.de/wp-content/uploads/2024/01/SB159.pdf>).

- Ebeling, Werner; Feistel, Rainer; Haß, Ernst-Christoph; Plath, Peter: „Zu Problemen der mechanisch – chemisch – elektrischen Energiewandlung und des Transports hochwertiger Energie im Kontext des Klimawandels“. *Leibniz Online. Internetzeitschrift der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften e. V.* 50 (2023) ([https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/08/08\\_07\\_EbFeHaPl-LO2023.pdf](https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/08/08_07_EbFeHaPl-LO2023.pdf)).

#### 4 Beiträge in „LIFIS Online“ zum Themenbereich „Innovative Energie-, Stoffwandlung und -nutzung“

(siehe auch <https://leibniz-institut.de/lifis-online/beitraege/esn/>)

- Bitsch, Rainer: „Integration von erneuerbaren Energiequellen und dezentralen Erzeugungen in bestehende Elektro-Energiesysteme“ [25.11.2006]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786134683>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/bitsch\\_25\\_11\\_06.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/bitsch_25_11_06.pdf)).
- Scheer, Hermann: „Energie – Neu denken!“ [15.01.2007]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:178633111X>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/scheer\\_15\\_01\\_07.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/scheer_15_01_07.pdf)).
- Öhlmann, Gerhard: „Solarzeitalter – Auf dem Wege zur Realität“ [14.02.2007]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786330865>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/oehlmann\\_14\\_02\\_07.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/oehlmann_14_02_07.pdf)).
- Brunner, Herwig; Schmid-Staiger, Ulrike; Trösch, Walter: „Neue Ansätze zur Stoffproduktion mit Mikroalgen“ [21.02.2007]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786330377>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/brunner\\_21\\_02\\_07.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/brunner_21_02_07.pdf)).
- Blumenthal, Gert: „Die Sonne und GAIA“ [12.05.2007]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786329042>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/blumenthal\\_12\\_05\\_07.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/blumenthal_12_05_07.pdf)).

- Brichta, Walter; Hammel, Ernst; Mauthner, Klaus: „Nanotechnology as a useful contribution to the reduction Carbon Dioxide Emissions“ [27.11.2007]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786327740>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/hammel\\_27\\_11\\_07.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/hammel_27_11_07.pdf)).
- Öhlmann, Gerhard: „Integrierte Energie- und Klimapolitik – Pläne und Probleme 2007“ [10.03.2008]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786324121>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/oehlmann\\_10\\_03\\_08.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/oehlmann_10_03_08.pdf)).
- Kaltschmitt, Martin; Lenz, Volker; Thrän, Daniela: „Zur energetischen Nutzung von Biomasse in Deutschland – Potenziale, Stand und Perspektiven“ [25.04.2008]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786323486>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/kaltschmitt\\_25\\_04\\_08.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/kaltschmitt_25_04_08.pdf)).
- Fischer, Hermann: „Land- und Forstwirte als Grundstoffproduzenten – Aktuelle Risiken und neue Chancen“ [26.04.2008]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786323265>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/fischer\\_25\\_04\\_08.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/fischer_25_04_08.pdf)).
- Scheer, Hermann: „Solare Energie und Rohstoffe als Basis zukunftsfähigen Wirtschaftens“ [20.05.2008]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786323052>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/scheer\\_20\\_05\\_08.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/scheer_20_05_08.pdf)).
- Flach, Günter: „Physikalische Grundlagen des Energieproblems“ [30.06.2008]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786322889>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/flach\\_30\\_06\\_08.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/flach_30_06_08.pdf)).
- Kamm, Birgit: „Biomasse-Wirtschaft und Bioraffinerie-Systeme“ [16.07.2008]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786322749>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/kamm\\_16\\_07\\_08.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/kamm_16_07_08.pdf)).
- Auner, Norbert; Lippold, Gerd: „Von Sand und Sonne zu Elektrizität und Wasserstoff“ [29.08.2008]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786322595>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/auner\\_29\\_08\\_08.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/auner_29_08_08.pdf)).
- Fleischer, Lutz-Günther: „Reflexionen zur Triade Energie-Entropie-Exergie – einer universellen Qualität der Energie“ [21.10.2008]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786322005>;

- [http://leibniz-institut.de/archiv/fleischer\\_21\\_10\\_08.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/fleischer_21_10_08.pdf)).
- Bitsch, Rainer; Fichtner, Wolf; Pfeiffer, Klaus; Pforte, René; Schwarz, Harald: „Netzintegration Erneuerbarer Energien in Brandenburg“ [24.11.2008]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786321556>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/schwarz\\_24\\_11\\_08.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/schwarz_24_11_08.pdf)).
  - Blumenthal, Gert: „Kernfusionsenergie – eine untaugliche Alternative“ [30.03.2009]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786320347>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/blumenthal\\_30\\_03\\_09.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/blumenthal_30_03_09.pdf)).
  - Birkholz, Mario: „Konvergenz in Sicht: Zur gemeinsamen Perspektive von Mikroelektronik und Biotechnologie“ [29.07.2009]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786319578>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/birkholz\\_29\\_07\\_09.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/birkholz_29_07_09.pdf)).
  - Kamm, Birgit: „Grüne Bioraffinerie-Demonstrationsanlage im Havelland“ [17.10.2009]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786319012>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/kamm\\_17\\_10\\_09.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/kamm_17_10_09.pdf)).
  - Bossel, Ulf: CCS: „Aber wohin mit dem CO<sub>2</sub>?“ [27.10.2009]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786318806>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/bossel\\_27\\_10\\_09.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/bossel_27_10_09.pdf)).
  - Morisseau, Gassam A.: „Vernetzung von Proteinen und Polysacchariden aus nachwachsenden Rohstoffen“ [22.04.2010]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786306611>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/morisseau\\_22\\_04\\_10.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/morisseau_22_04_10.pdf)).
  - Gerhardt, Norman; Saint-Drenan, Yves-Marie; Specht, Michael; Sterner, Michael; Stürmer, Bernd; Zuberbühler, Ulrich: „Erneuerbares Methan. Ein innovatives Konzept zur Speicherung und Integration Erneuerbarer Energien sowie zur regenerativen Vollversorgung“ [09.07.2010]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786304848>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/sterner\\_09\\_07\\_10.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/sterner_09_07_10.pdf)).
  - Bernhardt, Karl-Heinz: „Thesen zur Klimadebatte“ [14.12.2010]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786303787>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/bernhardt\\_14\\_12\\_10.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/bernhardt_14_12_10.pdf)).

- Bossel, Ulf: „Wasserstoff löst keine Energieprobleme“ [16.12.2010]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786303604>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/bossel\\_16\\_12\\_10.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/bossel_16_12_10.pdf)).
- Haussmann, Thomas; Schossig, Peter: „Wärme- und Kältespeicherung – Stand der Technik und Ausblicke“ [11.04.2011]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786302837>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/schossig\\_11\\_04\\_11.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/schossig_11_04_11.pdf)).
- Golbs, Andreas; Weber, Stefan; Werner, Petra: „Innovative Speichertechnologie als Grundlage einer Neugestaltung der Energieversorgung im individuellen Wohnbereich“ [31.05.2011]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786297191>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/golbs\\_31\\_05\\_11.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/golbs_31_05_11.pdf)).
- Balzer, Dietrich; Linke, Bernd: „Wissensbasierte Steuerung von Horizontalfermentern als System mit verteilten Parametern“ [27.06.2011]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786297078>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/balzer\\_27\\_06\\_11.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/balzer_27_06_11.pdf)).
- Möller, Detlev: „Das SONNE-Konzept: Die Kohlendioxid-Wirtschaft“ [15.08.2011]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786296934>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/moeller\\_15\\_08\\_11.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/moeller_15_08_11.pdf)).
- Petrova, Aneliya; Ringe, Jochen; Valbuena, Rafael; Westphal, Günter: „Struktur und technofunktionelle Eigenschaften von Kollagenen tierischen Ursprungs“ [13.09.2011]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786296861>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/petrova\\_13\\_09\\_11.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/petrova_13_09_11.pdf)).
- Szarka, Nora; Thrän, Daniela: „Die Rolle der Bioenergie in einer zukünftigen Energieversorgung“ [04.10.2011]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786296705>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/thraen\\_04\\_10\\_11.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/thraen_04_10_11.pdf)).
- Dehne, Tilo; Petrova, Aneliya; Ringe, Jochen; Valbuena, Rafael; Westphal, Günter: „Gewinnung von löslichen Kollagenen aus Schweineschwarten und deren Verwendung in der regenerativen Medizin“ [09.11.2011]  
(<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786296527>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/petrova\\_09\\_11\\_11.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/petrova_09_11_11.pdf)).
- Bernhardt, Karl-Heinz: „Klima im Wandel“ [01.02.2012]

- (<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786296276>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/bernhardt\\_01\\_02\\_12.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/bernhardt_01_02_12.pdf)).
- Thomas, Michael: „Der erfolgreiche Einstieg in die Energiewende und den sozialökologischen Umbau als Voraussetzung einer ‚Großen Transformation‘“ [28.06.2012]  
 (<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786295962>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/thomas\\_28\\_06\\_12.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/thomas_28_06_12.pdf)).
  - Lahl, Uwe; Zeschmar-Lahl, Barbara: „Weg vom Öl durch ‚feedstock change‘ in der Chemieindustrie“ [23.07.2012]  
 (<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786295881>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/lahl\\_23\\_07\\_12.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/lahl_23_07_12.pdf)).
  - Habermann, Boris; Ritzi, Emma: „Spezialtenside für die Gewässer- und Bodensanierung auf Basis biogener Reststoffe – TiNasid“ [09.08.2012]  
 (<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786295768>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/ritzi\\_09\\_08\\_12.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/ritzi_09_08_12.pdf)).
  - Dotzauer, Martin; Krautz, Alexander; Thrän, Daniela: „Bedarfsgerechte Bereitstellung von Bioenergie – Herausforderungen und Chancen“ [10.07.2013]  
 (<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786295261>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/thraen\\_10\\_07\\_13.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/thraen_10_07_13.pdf)).
  - Quaschnig, Volker: „Bedeutung der Photovoltaik für die Energiewende in Deutschland“ [26.09.2013]  
 (<http://dx.doi.org/10.14625/KXP:1786295199>;  
[http://leibniz-institut.de/archiv/quaschnig\\_26\\_09\\_13.pdf](http://leibniz-institut.de/archiv/quaschnig_26_09_13.pdf)).

## 5 Debatten

- *Debatte Energiebedarf und das Ende der Ölzeit* (2008–2012) [u. a. mit Gedanken von Lothar Kolditz sowie Diskussionsbeiträgen von Dietrich Spänkuch, Gert Blumenthal, Peter Müller, Norbert Mertzsch, Ulf Rassmann und einem Resümee von Lothar Kolditz] ([https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2013/03/Portfolio\\_Ölzeit.pdf](https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2013/03/Portfolio_Ölzeit.pdf)).
- *Debatte Klimawandel und Energieversorgung* (2009/2010) [u. a. mit Thesen von Heinz Kautzleben und Karl-Heinz Bernhardt sowie Diskussionsbeiträgen von Heinrich Bonnenberg, Günter Flach

und Klaus Steinitz]. ([https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2013/03/Portfolio\\_Klimawandel.pdf](https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2013/03/Portfolio_Klimawandel.pdf)).

## 6 Projekte

- 2004/2005, Senats-Teilprojekt 8: *Sichere Versorgung mit Energie und Rohstoffen*.  
Ergebnis: Kautzleben, Heinz; Calov, Ursula (Hrsg.): *Sichere Versorgung der Menschheit mit Energie und Rohstoffen*. Berlin: trafo Verlag 2005, 210 S. (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 82)  
(<https://leibnizsozietat.de/sitzungsberichte-der-leibniz-sozietat-band-82-jahrgang-2005/>).
- 2012, RLS-Teilprojekt 1: *Durchführung der Jahrestagung der Leibniz-Sozietät „Energiewende – Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag“*.  
Verantwortlich: Lutz-Günther Fleischer;  
Bericht: Leibniz intern. Mitteilungen der Leibniz-Sozietät 56 vom 15. Juli 2012, 19-20  
(<https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2012/10/LI-561.pdf>).
- 2017, RLS-Teilprojekt 1: *Durchführung des Kolloquiums „Energiewende 2.0: Die ambivalente ‚Wärme‘ im Fokus der Wissenschaft und Wirtschaft, der Technik und Technologie“*; Berlin.  
Verantwortlich: Lutz-Günther Fleischer;  
Bericht: <https://leibnizsozietat.de/internetzeitschrift-leibniz-online-nr-29-2017/#more-13518>.
- 2018, Senats-Teilprojekt 2a: *Drucklegung einer Publikation mit Beiträgen zur Energiewende*.  
Verantwortlich: Gerhard Banse; Lutz-Günther Fleischer;  
Ergebnis: Banse, Gerhard; Fleischer, Lutz-Günther (Hrsg.): *Energiewende 2.0 im Fokus – Bewährtes, Notwendiges, Kontroverses*. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2018, 339 S. (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 47)  
(<http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-125-1.html>).
- 2018, RLS-Teilprojekt 1: *Durchführung des Symposiums „Die Energiewende 2.0: Essentielle wissenschaftlich-technische, soziale und politische Herausforderungen“*.

Verantwortlich: Gerhard Banse;

Bericht: <https://leibnizsozietat.de/die-energiewende-2-0-essentielle-wissenschaftlich-technische-soziale-und-politische-herausforderungen/#more-15019>.

- 2021, Senats-Teilprojekt 1a: *Vortragsveranstaltung und Drucklegung einer Publikation zur Thematik „Die Energiewende 2.0: Im Fokus die Mobilität“*.

Verantwortlich: Norbert Mertzsch; Ernst-Peter Jeremias; Lutz-Günther Fleischer;

Ergebnis: Jeremias, Ernst-Peter; Mertzsch, Norbert (Hrsg.): Die Energiewende 2.0. Im Fokus: Die Mobilität. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2021, 140 S. (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 147)

(<https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2021/10/Gesamtdatei-147-2021.pdf>).

- 2022, Senats-Teilprojekt 2c: *Durchführung einer Tagung und Drucklegung einer Publikation zur Thematik „Die Energiewende 2.0: Im Fokus die Infrastruktur“*.

Verantwortlich: Ernst-Peter Jeremias; Norbert Mertzsch;

Ergebnis: Mertzsch, Norbert; Jeremias, Ernst-Peter (Hrsg.): Die Energiewende 2.0. Im Fokus: Die Infrastruktur. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2022, 101 S. (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften 155)

(<https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2023/02/SB155.pdf>;

<https://doi.org/10.53201/SITZUNGSBERICHTE155>).

- 2023, Senats-Teilprojekt 3b: *Durchführung der Tagung „Die Energiewende 2.0: Im Fokus die Stoffwirtschaft“*.

Verantwortlich: Ernst-Peter Jeremias; Norbert Mertzsch; Gerhard Pfaff;

Bericht: <https://leibnizsozietat.de/bericht-zum-kolloquium-die-energiewende-2-0-im-fokus-die-stoffwirtschaft/>.

- 2023, Senats-Teilprojekt 3c: *Durchführung der Tagung „Kritische Rohstoffe II“*.

Verantwortlich: Reinhard O. Greiling; Axel Müller; Gerhard Pfaff;

Bericht: <https://leibnizsozietat.de/bericht-zum-kolloquium-kritische-rohstoffe-ii/>.

## Anlage 1: Solarzeitalter – Vision und Realität. Inhalt

|   |     |
|---|-----|
| <i>Gerhard Banse</i> : Solarzeitalter – Nachhaltigkeit –<br>Technikfolgenabschätzung  | 13  |
| <i>Hervig Brunner, Ulrike Schmid-Staiger, Walter Trösch</i> : Nutzung des<br>biosynthetischen Potenzials von Mikroalgen als Energieträger<br>und Wertstoffproduzent | 25  |
| <i>Horst Hennig</i> : Wege zur chemischen Wandlung von Sonnenenergie  | 33  |
| <i>Ludwig Jörissen</i> : Die Brennstoffzelle als Eckpfeiler des Solarzeitalters   | 49  |
| <i>Martin Kittler</i> : Kristallines Silizium für Solarzellen: Status und<br>Herausforderung  | 69  |
| <i>Detlev Möller</i> : Die Atmosphäre als Stoff- und Energiereservoir.<br>Grenzen menschlicher Eingriffe  | 85  |
| <i>Peter Müller</i> : Potential der Photovoltaik zur Energieversorgung in<br>Deutschland  | 145 |
| <i>Klaus Thiessen</i> : Die Solarstrom-Anlagen in Berlin-Adlershof  | 165 |
| <i>Helmut Tributsch</i> : Wissenschaftliche Herausforderungen für eine<br>nachhaltige Energiewirtschaft   | 175 |
| <i>Bodo Wolf</i> : Das thermodynamische System Kohlenstoff-Wasserstoff-<br>Sauerstoff – Grundlage einer solaren Stoff- und<br>Energiewirtschaft                     | 195 |
| <i>Roland Watzke</i> : Nutzung von Mykorrhiza als neuer agronomischer<br>Standard „Plant Vitalizing Systems“  | 209 |
| <i>Thomas Herzog</i> : Solarenergie in Architektur und Stadtplanung.<br>Europäische Charta für Solarenergie in Architektur und<br>Stadtplanung                      | 213 |
| <i>Karl-Heinz Funken</i> : Wege zur Nutzung der Sonnenstrahlung in der<br>chemischen Technik  | 221 |
| <i>Christoph Richter</i> : Solarthermische Kraftwerke – Status und<br>Perspektiven  | 223 |
| <i>Konrad Scheffer</i> : Energie aus der Vielfalt der Pflanzenarten –<br>Potenziale, ökologischer Anbau, technische Verfahren                                       | 225 |
| <i>Marvel Sturzenegger</i> : Konzentriertes Sonnenlicht – der Weg zu<br>solaren Brennstoffen  | 227 |

## Anlage 2: Sichere Versorgung der Menschheit mit Energie und Rohstoffen. Inhalt

|  |     |
|--|-----|
| <i>Günter Flach; Heinz Kautzleben; Klaus Steinitz</i> : Sichere Versorgung der Menschheit mit Energie und Rohstoffen. Zwischenbericht Teil I zur Tätigkeit des ad-hoc-Arbeitskreises Energieversorgung der Leibniz-Sozietät  | 5   |
| <i>Karl Lanius</i> : Szenarien des Klimawandels  | 11  |
| <i>Wolfgang Böhme</i> : Beitrag zu Thematik „Klima und Menschheit“   | 35  |
| <i>Klaus-Dieter Jäger</i> : Klimawandel im Holozän – Problemanalyse am Beispiel Mitteleuropa   | 45  |
| <i>Klaus Steinitz</i> : Nachhaltige Energiesicherung im 21. Jahrhundert – Veränderte Bedingungen, neue Probleme und Herausforderungen  | 55  |
| <i>Karl Friedrich Alexander</i> : Perspektiven der Kernenergie für eine nachhaltige Versorgung der Menschheit mit Energie (Zusammenfassung)  | 81  |
| <i>Günter Flach</i> : Entwicklungstendenzen der Kernenergie  | 85  |
| <i>Johann Lingertat</i> : Gesteuerte Kernfusion  | 105 |
| <i>Helmut Abel</i> : Strahlenrisiken der Kernenergie   | 111 |
| <i>Klaus Steinitz</i> : Überlegungen zu einer komplexen Bewertung der Atomenergie. Wie könnte der Diskurs zwischen Anhängern und Gegnern der Nutzung der Atomenergie weitergeführt werden?                                   | 121 |
| <i>Klaus Thiessen</i> : Können Erneuerbare Energien die fossilen und Kernenergien ersetzen?  | 137 |
| <i>Gerhard Brandt</i> : Meereswellenenergie (Zusammenfassung)  | 141 |
| <i>Siegfried Nowak</i> : Fossile Kohlenstoffträger – ihre Rolle und Bedeutung für die Energieerzeugung und die Stoffwirtschaft   | 143 |
| <i>Lothar Kolditz</i> : Zur Komplexität der Thematik Versorgung mit Energie und Rohstoffen   | 151 |
| <i>Günter Flach; Heinz Kautzleben; Klaus Steinitz</i> : Sichere Versorgung der Menschheit mit Energie und Rohstoffen. Zwischenbericht Teil II zur Tätigkeit des ad-hoc-Arbeitskreises Energieversorgung der Leibniz-Sozietät | 161 |

### **Anlage 3: Energiewende – Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag. Inhalt**

|  |     |
|--|-----|
| <i>Gerhard Banse; Lutz-Günther Fleischer:</i> Einleitung   | 7   |
| <i>Lutz-Günther Fleischer:</i> Im Fokus von Theorie und Praxis: Die Energiewende – ein komplexer gesellschaftlicher Transformationsprozess mit konkurrierenden, Zielen, Prozessen sowie Strategien | 25  |
| <i>Günter Flach:</i> Einige Darlegungen zu den physikalisch-technischen Aspekten der Energiewende  | 75  |
| <i>Oliver Schwarz:</i> Regenerative Energien, natürliche Wirkungsgrade und die besondere Rolle der Solarenergie  | 85  |
| <i>Ulrich Fleck; Norbert Mertsch:</i> Probleme beim Übergang zur Vollversorgung mit Erneuerbaren Energien  | 101 |
| <i>Heinz Kautzleben:</i> Zur Energiewende in Deutschland. Anmerkungen aus der Sicht der Geowissenschaften – Überblick  | 113 |
| <i>Karl-Heinz Bernhardt:</i> Energiewende im Klimawandel   | 125 |
| <i>Lothar Kolditz:</i> Zur Energiefrage  | 133 |
| <i>Günter Flach:</i> Wohin führt die „Energiewende“?   | 137 |
| <i>Dieter Seeliger:</i> Kann Kernfusion die Bedarfslücke bei Elektroenergie im 21. Jahrhundert umweltverträglich schließen?  | 147 |
| <i>Peter Knoll:</i> Geowissenschaftliche Aspekte der Endlagerung radioaktiver Abfälle  | 165 |
| <i>Wolfgang Minkley:</i> Zum Integritätsverhalten von Salinarbarrieren   | 189 |
| <i>Norbert Mertsch:</i> Rückbau des Kernkraftwerkes Rheinsberg als Beispiel für den Rückbau von Kernkraftwerken  | 219 |
| <i>Christa Luff:</i> Gesellschaftliche Herausforderungen im Lichte der Energiewende. Die Energiewende als ökonomische und soziale Frage. Zusammenfassung   | 233 |
| <i>Torsten Fleischer:</i> Wandel des Systems der Elektrizitätsversorgung – Was Bürger darüber denken und dazu erwarten   | 237 |
| <i>Hartmut Bunsen:</i> Herausforderungen und Chancen der Energiewende für kleine und mittelständische Unternehmen. Zusammenfassung   | 249 |
| <i>Michael Thomas:</i> Der erfolgreiche Einstieg in die Energiewende und den sozialökologischen Umbau als Voraussetzung einer „Großen Transformation“  | 251 |
| <i>Ulrich Busch:</i> Wirtschaftswachstum und nachhaltige Entwicklung   | 273 |
| <i>Herbert Hörz:</i> Sichere Energieversorgung als globales Problem  | 293 |

*Rainer Schimming, Hans Joachim Schellnhuber: Die Globalen Probleme.  
Herausforderungen und Lösungsmöglichkeiten.  
Zusammenfassung*

311

**Anlage 4: Workshop „Naturressourcen, Energie, Umwelt:  
Wechselwirkungen und aktuelle Probleme“ im GeoMUWA  
Herbsttreffen am 14.11.2014 – Auszug**

*Reinhard O. Greiling: Einführung: Naturressourcen, Energie, Umwelt:  
Wechselwirkungen und aktuelle Probleme*

*Lutz-Günther Fleischer: Ernährung versus Energetik: Nachwachsende  
Rohstoffe/ Energieträger – wissenschaftlich-technische  
Kongruenzen und soziale Konkurrenzen*

*Frank R. Schilling, Birgit I. R. Müller, Reinhard O. Greiling: Energie,  
Effizienz und „Umweltverbrauch“*

*Norbert Mertzsch: Diskussionsbeitrag: Anmerkungen zum Workshop  
„Naturressourcen, Energie, Umwelt: Wechselwirkungen und  
aktuelle Probleme“*

**Anlage 5: Kolloquium „Energiewende 2.0: Die ambivalente ‚Wärme‘ im Fokus der Wissenschaft und Wirtschaft, der Technik und Technologie“ am 19. Mai 2017 in Berlin**

*Lutz-Günther Fleischer, Norbert Mertzsch:* Einleitung und Geleitwort zur Veröffentlichung der Vorträge des Kolloquiums „Energiewende 2.0: Die ambivalente ‚Wärme‘ im Fokus der Wissenschaft und Wirtschaft, der Technik und Technologie“

*Gerhard Banse:* Eröffnung des Kolloquiums „Energiewende 2.0: Die ambivalente ‚Wärme‘ im Fokus der Wissenschaft und Wirtschaft, der Technik und Technologie“ am 19. Mai 2017 in Berlin

*Lutz-Günther Fleischer:* Einführungsvortrag: Die „Wärmewende“ ein essentielles Element der Energiewende 2.0 – Bewährtes, Problematisches, Notwendiges, Ambitioniertes

*Ernst-Peter Jeremias; Gerd Bartsch; Kerstin Becker; Thomas Bethke:* Das Fernwärmenetz als Wärmedrehscheibe zur Einbindung regenerativer Energiearten für die ganzheitliche Versorgung

*Andreas Golbs; Petra Werner; Stefan Weber:* Innovative Langzeitspeicher für die Wärmeversorgung im Individualbereich

*Hennes Obermeyer:* Stellenwert und Bedeutung der Geothermie für die Wärmeversorgung

*Yunus Topal; Benjamin Lehmann; Axel Popp:* Solare Wärmeversorgung unter Nutzung eines eTank als Wärmespeicher

*Bodo M. Wolf; Claudia Hair:* Wärmeversorgung und Energiewende

*Dietmar Linke:* Der „Wärmeeinsatz“ bei der Herstellung und Anwendung von Konstruktionskeramik – ein fast durchweg heißes Thema

*Hartmut Göbler; André Schlott; Olaf Andersen; Jens Meinert; Torsten Klemm; Frank Reining:* Hochleistungs-Latentwärmespeicher für die Nutzung von Prozesswärme

*Georg L. Schwebel:* Nutzung fester Biomasse zur Prozesswärmeerzeugung

*Norbert Mertzsch:* Take-home-message: Ein Theorie und Praxis herausforderndes „offenes Ende“

## Anlage 6: Energiewende 2.0 im Fokus – Bewährtes, Notwendiges, Kontroverses. Inhalt

|  |     |
|--|-----|
| <i>Gerhard Banse; Lutz-Günther Fleischer:</i> Einführung   | 9   |
| <i>Lutz-Günther Fleischer:</i> Die Energiewende – ein komplexer gesellschaftlicher Transformationsprozess mit konkurrierenden Zielen, Prozessen und Strategien                           | 17  |
| <i>Herbert Hörz:</i> Sichere Energieversorgung als globales Problem  | 61  |
| <i>Gerhard Banse:</i> Dilemma der Gesellschaft unter wissenschaftlich-philosophischen Gesichtspunkten: Ernährung und Energie – Nutzung der Wertstoffe – Nutzung nachwachsender Rohstoffe | 79  |
| <i>Lutz-Günther Fleischer:</i> Die „Wärmewende“ ein essentielles Element der Energiewende 2.0 – Bewährtes, Problematisches, Notwendiges, Ambitioniertes                                  | 95  |
| <i>Michael Thomas:</i> Der erfolgreiche Einstieg in die Energiewende und den sozial-ökologischen Umbau als Voraussetzung einer „Großen Transformation“                                   | 127 |
| <i>Karl-Heinz Bernhardt:</i> Energiewende im Klimawandel   | 149 |
| <i>Kerstin Becker, Ernst-Peter Jeremias:</i> Nachhaltigkeitsaspekte einer zukunftssicheren Energieversorgung von Städten und Gemeinden   | 157 |
| <i>Wolfgang Fratzscher:</i> Energietechnik und Energiewende  | 169 |
| <i>Norbert Mertsch, Bernd Thomas:</i> Technologische Herausforderungen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung   | 187 |
| <i>Oliver Schwarz:</i> Regenerative Energien, natürliche Wirkungsgrade und die besondere Rolle der Solarenergie  | 203 |
| <i>Günter Flach:</i> Wohin führt die „Energiewende“?   | 219 |
| <i>Norbert Mertsch:</i> Ambivalenzen erneuerbarer Energien   | 229 |
| <i>Dieter Seeliger:</i> Ambivalenzen in der Uranwirtschaft – Segen oder Fluch für die Menschheit?  | 239 |
| <i>Dieter Seeliger:</i> Perspektivische Beiträge atomarer und nuklearer Prozesse zu einer künftigen kohlenstofffreien Energiewirtschaft  | 257 |
| <i>Bert Droste-Franke:</i> Energiespeicher und alternative Energieausgleichsoptionen aus diversen systemischen Perspektiven  | 285 |
| <i>Bodo M. Wolf; Claudia Hain:</i> Wärmeversorgung und Energiewende  | 305 |

|   |     |
|---|-----|
| <i>Norbert Mertzsch; Ernst-Peter Jeremias:</i> Entwicklungstendenzen in der Wärmeversorgung   | 317 |
| <i>Hennes Obermeyer:</i> Stellenwert und Bedeutung der Geothermie für die Wärmeversorgung   | 325 |
| <i>Heinz-Jürgen Rothe:</i> Energiespeichertechnologien: Notwendigkeiten, Problemspektren, wissenschaftlich-technische Entwicklungen und Perspektiven – Bericht über die Plenarsitzung am 13. Dezember 2013      | 331 |
| <i>Lutz-Günther Fleischer:</i> Die Energiewende bleibt im Fokus des kritischen Interesses der Gesellschaft. – Bericht über die Sitzung der Klasse Naturwissenschaften und Technikwissenschaften am 12. Mai 2017 | 333 |

**Anlage 7: Die Energiewende 2.0. Im Fokus: Die Mobilität. Inhalt**

|   |     |
|---|-----|
| <i>Ernst-Peter Jeremias; Norbert Mertzsch:</i> Einführung   | 7   |
| <i>Lutz-Günter Fleischer:</i> Die Energiewende 2.0 und einige rezente Implikationen.  |     |
| Erweiterte Fassung der Eröffnung  | 17  |
| <i>Ernst-Peter Jeremias:</i> Einführungsvortrag zu Aspekten der Mobilitäts- und Verkehrswende in Deutschland  | 39  |
| <i>Weert Canzler:</i> Keine Energiewende ohne Verkehrswende   | 45  |
| <i>Michael Bartnik:</i> Optimierung der individuellen Mobilität: Jelbi verbindet ÖPNV und Sharing-Mobilität   | 67  |
| <i>Marija Agafonova; Jens Wollenweber:</i> Nachhaltige Mobilität und Verkehr im Vergleich der Länder Deutschland und Kasachstan   | 81  |
| <i>Günter Prokop; Jürgen Bönninger; Marcus Mai; Kristian Höpping:</i> Sicherheit des automatisierten Fahrens Wie macht das automatisierte Fahrzeug seinen Führerschein – „Die Dresdner Methode“ | 97  |
| <i>Günter Hörmandinger:</i> Verkehr in der Studie „Klimaneutrales Deutschland 2050“   | 111 |
| <i>Dietmar Göblich:</i> Dekarbonisierung des urbanen Verkehrs am Beispiel Berlin  | 117 |
| <i>Ernst-Peter Jeremias; Norbert Mertzsch:</i> Zusammenfassung des Expertendiskurs „Die Energiewende 2.0: Im Fokus: die Mobilität.“   | 133 |
| <i>Norbert Mertzsch:</i> Schlusswort und Ausblick   | 135 |

## **Anlage 8: Die Energiewende 2.0. Im Fokus: Die Infrastruktur. Inhalt**

|  |    |
|--|----|
| <i>Ernst-Peter Jeremias; Norbert Mertzsch</i> : Einführung   | 7  |
| <i>Frank Behrendt</i> : Die zukünftige Energiebedarfs- und Deckungsstruktur Deutschlands im internationalen Verbund als Basis der komplexen gesellschaftlichen Daseinsvorsorge | 17 |
| <i>Barbara Saerbeck</i> : Das Energienetz der Zukunft  | 31 |
| <i>Kerstin Becker; Ernst-Peter Jeremias</i> : Entwicklungstendenzen bei der Wärmeversorgung mit Wärmenetzen  | 35 |
| <i>Norbert Mertzsch</i> : Speicher in die Energieinfrastruktur   | 57 |
| <i>Norbert Mertzsch</i> : Aspekte der Energieversorgungssicherheit   | 83 |
| <i>Norbert Mertzsch</i> : Schlusswort und Ausblick   | 97 |

## **Anlage 9: Die Energiewende 2.0. Im Fokus: Die Stoffwirtschaft. Inhalt**

|   |    |
|---|----|
| <i>Gerhard Pfaff; Ernst-Peter Jeremias; Norbert Mertzsch</i> : Vorwort  | 7  |
| <i>Gerhard Banse</i> : In memoriam: Professor Dr.-Ing. habil. Lutz-Günther Fleischer  | 19 |
| <i>Gerhard Pfaff; Ernst-Peter Jeremias; Norbert Mertzsch</i> : Einführung: Die Energiewende 2.0 und ihre Bedeutung für die Stoffwirtschaft  | 31 |
| <i>Henry Gnorski</i> : Transformation der PCK Raffinerie GmbH zur Raffinerie der Zukunft  | 45 |
| <i>Ulrich Schwarz</i> : Potenzial von Holzbauten als Kohlenstoffsenken  | 55 |
| <i>Angela Kruth</i> : Grüne Ammoniak-Technologien für Energiesicherheit, Klimaschutz und Wirtschaftswachstum  | 65 |
| <i>Julia Seber; Katrin Rübner; Alexander Schnell; Andreas Hahn; Ingo Bruch; Ulrike Alewell; Manuel Vöge; Kasma Shafiei; Gundula Schumann</i> : Hydrothermalgranulate – Eine Verwertungsmöglichkeit für Mauerwerkbruch | 79 |
| <i>Ernst-Peter Jeremias</i> : Wo stehen wir aktuell bei der Transformation im Sektor Verkehr? – Eine kritische Auseinandersetzung mit dem Stand 2023  | 95 |

## **Verzeichnis der Autorinnen und Autoren**

*Gerhard Banse*, Jahrgang 1946, Professor Dr. sc. phil. Professor e.h. Studium der Chemie, Biologie und Pädagogik an der Pädagogischen Hochschule Potsdam, danach Doktorand an der Sektion Philosophie der Humboldt-Universität zu Berlin (HUB); von 1974 bis 2011 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Philosophie der Akademie der Wissenschaften (AdW) der DDR, am Lehrstuhl Technikphilosophie der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus (BTUC), am Institut für Philosophie der Universität Potsdam, am Fraunhofer-Anwendungszentrum für Logistiksystemplanung und Informationssysteme Cottbus und am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), Campus Nord (ehemals Forschungszentrum Karlsruhe GmbH in der Helmholtz-Gemeinschaft). Von 1986 bis 1990 Vizepräsident der Urania – Gesellschaft zur Verbreitung wissenschaftlicher Kenntnisse, Berlin. 2011 bis 2014 Senior Researcher am ITAS/KIT und 2015 bis 2018 an der EA European Academy of Technology and Innovation Assessment Bad Neuenahr-Ahrweiler. 1974 Promotion zum Dr. phil. (HU Berlin), 1981 Habilitation zum Dr. sc. phil. (AdW der DDR) – jeweils mit technikphilosophischen Themen, 1988 Ernennung zum Professor für Philosophie an der AdW der DDR, 2000 Bestellung zum Honorarprofessor für Allgemeine Technikwissenschaft an der BTUC und Berufung zum Gastprofessor an der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Matej-Bel-Universität Banská Bystrica (Slowakische Republik), 2011 Ernennung zum Professor e.h. (ehrenhalber) der Schlesischen Universität Katowice (Polen). Mitglied (seit 2002) bzw. Ehrenmitglied (seit 2019) des Leibniz-Instituts für interdisziplinäre Studien (LIFIS); Mitglied (seit 2000), Vizepräsident (2009 bis 2012) und Präsident (2012 bis 2019) der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin; Vorsitzender des Kuratoriums der Stiftung der Freunde der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften (2019 bis 2023).

gerhard.banse@t-online.de / g.banse@leibnizsozietat.de

*Kerstin Becker*, Jahrgang 1969

1988 Abitur in Neuruppin, 1989 bis 1994 Studium Kernenergie-technik/Umweltschutztechnik (Technische Hochschule Zittau), 1994 Diplomingenieur; 1996 bis 2006 Tätigkeit bei der Stadtwerke Zehdenick GmbH mit den Schwerpunkten Umweltmanagement und strategische Erweiterung der Geschäftsbereiche (Fernwärme, Gas- und Stromversorgung). 2006 bis 2019 beratende Ingenieurin bei tetra ingenieure GmbH, spezialisiert auf energiewirtschaftliche Grundsatzfragen und Gutachten. Seit 2019 selbständige Unternehmerin (Ingenieurbüro Deine Fernwärme) – ingenieurtechnische Dienstleistungen für Wärmeversorger und Kommunen, Gutachterin für Primärenergiefaktoren und CO<sub>2</sub>-Emissionen (AGFW). Seit 2023 Geschäftsführerin der Stiftung der Freunde der „Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.“

info@deinefernwaerme.de

*Weert Canzler*, Jahrgang 1960, Dr. phil. habil.

Sozialwissenschaftler und Mobilitätsforscher, 1979 bis 1985: Studium der Politikwissenschaften, Wirtschaftswissenschaften und Jura an der FU Berlin, Abschluss als Diplom-Politologe, 1990 bis 1992: Federführender Aufbau des „Sekretariats für Zukunftsforschung“ (SFZ) in Gelsenkirchen, 1995: Promotion am Institut für Soziologie der TU Berlin, 1998: Gründung der „Projektgruppe Mobilität“ im Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung WZB (zusammen mit Andreas Knie), 1998 bis 2003: Leitung der Begleitforschung zum vom BMBF geförderten „Feldversuch CashCar“, 2007: Herausgeber des „Handbuchs Verkehrspolitik“ (zusammen mit Oliver Schöller und Andreas Knie, 2. erw. Auflage 2016 bei VS Springer), 2013 bis 2021: Sprecher des „Forschungsverbundes Energiewende“ der Leibniz-Gemeinschaft (WGL), 2015: Habilitation an der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ an der TU Dresden, seit 2020: Leitung der Forschungsgruppe "Digitale Mobilität und gesellschaftliche Differenzierung" im WZB (zusammen mit Andreas Knie). 2021 erhielt er zusammen mit Andreas Knie den „Bertha- und Carl-Benz-Preis“ der Stadt Mannheim. Autor einer Reihe von Büchern und sonstigen Publikationen.

weert.canzler@wzb.eu

*Björn Egbert*, Jahrgang 1982, Professor Dr. paed.

Björn Egbert absolvierte das Studium des Lehramts an Gymnasien in den Fächern Wirtschaft - Arbeit - Technik und Mathematik an der Universität Potsdam (200 bis 2010) und arbeitete 2008 bis 2009 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Prävention und Verkehrssicherheit (Oberkrämer) in den Bereichen Curriculumentwicklung und Erwachsenenpädagogik. Es folgte eine dreijährige Projektstätigkeit bei Potsdam Transfer (Zentrale wissenschaftliche Einrichtung für Gründung, Innovation, Wissens- und Technologietransfer der Universität Potsdam) im Arbeitsgebiet Entrepreneurship-Education an allgemeinbildenden Schulen (2011 bis 2013). Zeitgleich promovierte Björn Egbert an der Pädagogischen Hochschule (PH) Freiburg im Fach Wirtschaftspädagogik und Wirtschaftslehre (bis einschließlich 2014). Es schlossen sich eine Professur-Vertretung an der PH Freiburg (2015/16) und das Lehramts-Referendariat für die Fächer Mathematik und Technik (2016/17) an, bevor er dem Ruf an die Technische Universität Chemnitz zur Besetzung der Professur für Grundschuldidaktik Wirtschaft – Technik – Haushalt und Soziales folgte. Seit April 2019 ist er Inhaber der Professur für Grundschulpädagogik Sachunterricht an der Universität Potsdam. Er ist seit 2018 Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin.

egbert@uni-potsdam.de

*Philipp Godron*, Jahrgang 1973, Magister Artium; Master of European Studies

Philipp Godron ist Programmleiter Strom bei Agora Energiewende. Mit seinem Team arbeitet er zu Fragen rund um die Transformation zu einem klimaneutralen Stromsystem in Deutschland. Er ist seit 2016 bei Agora Energiewende. In seinen vorherigen Positionen hat er wesentlich zum Aufbau der internationalen Arbeit beigetragen und das Trainingsprogramm EnerTracks geleitet. Vor seinem Einstieg bei Agora war er mehr als fünf Jahre für die Desertec Industrial Initiative (Dii) tätig. Als Teamleiter und Koautor verantwortete er die Strategiereports der Dii zur Gestaltung eines überregionalen Strommarkts auf Basis Erneuerbarer Energien und koordinierte Markt- und Regulierungsanalysen sowie Stromnetzmodellierungen. Von 2009 bis 2011 beriet Philipp Godron als CIM/GIZ-Experte die jordanische Regierung zum Ausbau Erneuerbarer Energien. Seinen beruflichen Werdegang startete er 2003 bei E.ON,

wo er für energiepolitische Analysen sowie die Koordination und strategische Ausrichtung des Strom- und Gasnetzgeschäfts zuständig war. Philipp Godron hat Europawissenschaften, Politik, Geschichte und Philosophie in Köln, Bologna und Berlin studiert.

philipp.godron@agora-energiewende.de

*Ernst-Peter Jeremias*, Jahrgang 1953, Dr.-Ing.

1972 Berufsausbildung mit Abitur bei VEB Bergmann-Borsig/Görlitzer Maschinenbau; 1972 bis 1976 Studium Kraftwerksanlagen und Energieumwandlung (Ingenieurhochschule Zittau), Abschluss als Hochschulingenieur (1975); 1976 Diplomingenieur; 1976 bis 1980 Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter für Reaktorwärmetechnik im KKW Rheinsberg; 1980 bis 1991 Tätigkeit als Gruppenleiter für Reaktorwärmetechnik im KKW Rheinsberg; 1988 Promotion zum Dr.-Ing. (Akademie der Wissenschaften der DDR, Kernforschungszentrum Rossendorf); 1991 bis 1994 entec Planungsgesellschaft GbR (Geschäftsführender Gesellschafter); 1994 bis 2018 tetra ingenieure GmbH – Planungs- und Beratungsgesellschaft für Energie- & Umwelttechnik und Gebäude- & Versorgungstechnik (Geschäftsführender Gesellschafter; www.tetra-ingenieure.de); seit 01.11.2018 Gesellschafter tetra ingenieure GmbH und tätig als selbständiger Senior Consultant auf dem aktuellen Fachgebiet: Sektorenkopplung und Elektromobilität“ und Einkommensenergien; seit 2020 Freiberuflicher Dozent bei der Handwerkskammer Potsdam zum Themenkomplex „Elektromobilität und Infrastruktur“; Mitglied der Leibniz-Sozietät seit 2019.

jer18dot@yahoo.com

*Caroline Marina Kohl*, Jahrgang 1983, M. Ed.

Nach dem Abitur absolvierte Caroline Kohl eine Berufsausbildung (2003 bis 2006) zur Reiseverkehrskauffrau mit IHK-Abschluss. Von 2006 bis 2017 war sie selbstständig tätig als Reiseverkehrskauffrau in Weißwasser (heute LK Görlitz). Im Anschluss absolvierte sie ein Lehramtsstudium der Primarstufe in den Fächern Deutsch und Sachunterricht an der Universität Potsdam (2017 bis 2022) und legte im März 2021 den Bachelor of Education ab, gefolgt vom Master of Education im November 2022. Während des Studiums unterstützte sie als studentische Hilfskraft den Lehrstuhl Grundschulpädagogik Sachunterricht/ Bereich Naturwissenschaften an der Uni Potsdam (2019 bis 2023). In der Zeit von Juli 2021

bis Dezember 2021 entwickelte Frau Kohl, in einer Projektstätigkeit im Kooperationsprojekt „Außerschulische Lernorte“ eine konzeptuelle Weiterentwicklung zweier ausgewählter außerschulischer Lernorte in der Uckermark. Vom 01. Februar 2023 bis 31.01.2024 absolvierte sie das Referendariat nach OVP des Landes Brandenburg im OSL–Kreis. Seit dem 01.02.2024 arbeitet Frau Kohl als akademische Mitarbeiterin am Lehrstuhl Grundschulpädagogik Sachunterricht.

caroline.marina.kohl@uni-potsdam.de

*Norbert Mertzsch*, Jahrgang 1950, Dr. rer. nat.

Lehre als Elektromontageschlosser im Reichsbahnausbesserungswerk Potsdam; 1968 bis 1972 Studium der Chemie (Technische Hochschule für Chemie „Carl Schorlemmer“), Abschluss als Diplom-Chemiker; 1972 bis 1985 Tätigkeit im VEB Stickstoffwerk Piesteritz; 1976 Fachchemiker für Analytik und Spektroskopie (Karl-Marx-Universität Leipzig); 1984 Promotion (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg); 1985 bis 2013 Tätigkeit im Kernkraftwerk Rheinsberg; seither Rentner und bis 2019 Freier Mitarbeiter der Firma tetra ingenieure GmbH in Neuruppin. Seit 2018 Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin. Mitglied des Vereins Brandenburgischer Ingenieure und Wirtschaftler (VBIW), hier: Vorsitzender des Vereins und Leiter des Regionalvereins Nordwestbrandenburg sowie Leiter des Arbeitskreises Umweltschutz / Erneuerbare Energien (bis zur Auflösung des Vereins Ende 2022). Mitglied der Brandenburgischen Ingenieurkammer; seit 2019 Stellvertreter der Vorsitzender des Kuratoriums der Stiftung der Freunde der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften.

mertzsch@t-online.de

*Gerhard Pfaff*, Jahrgang 1953, Professor Dr. rer. nat. habil.

Gerhard Pfaff studierte Chemie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena und promovierte dort 1983 mit einer Arbeit im Bereich der Anorganischen Festkörperchemie. Anschließend war er als wissenschaftlicher Assistent und Oberassistent am Fachbereich Chemie der Friedrich-Schiller-Universität Jena mit vielfältigen Lehrverpflichtungen auf dem Gebiet der anorganischen Chemie tätig. 1991 begann er seine Tätigkeit bei Merck in Darmstadt in der Pigmentforschung. Seit 1994 war er Leiter der Abteilung Produktentwicklung innerhalb der Forschung für Effektpigmente. 2006 übernahm er die Leitung der Pigmentforschung. Seit

1994 hält Gerhard Pfaff Vorlesungen an der TU Darmstadt, wo er sich 1997 am dortigen Fachbereich Chemie mit einer Arbeit über Erdalkalitanate und Eisenoxide habilitierte. 2008 wurde er zum apl. Prof. an der TU Darmstadt ernannt. Gerhard Pfaff ist Autor von mehr als 150 wissenschaftlichen Veröffentlichungen und mehr als 70 Patenten. Seit 2016 ist er im Ruhestand, wobei er aber weiterhin Vorlesungen an den Universitäten in Darmstadt und Frankfurt/Main hält, an Fachpublikationen arbeitet und beratend für Merck tätig ist. 2018 wurde Gerhard Pfaff Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin. Seit 2019 ist er Sekretar der Klasse für Naturwissenschaften und Technikwissenschaften der Leibniz-Sozietät.

pfaff.pigmente@gmx.de / g.pfaff@leibnizsozietat.de

*Christian Reymann*, Jahrgang 1985, M.Sc.

2005 Berufsausbildung zum Metallbauer Fachrichtung Konstruktions-technik in der Schlosserei Frank Matysiak in Velten. 2006 Fachabitur am Oberstufenzentrum Oberhavel II Technik in Hennigsdorf. 2007 bis 2010 Studium Maschinenbau Fachrichtung erneuerbare Energien an der Beuth Hochschule für Technik Berlin, Abschluss als Bachelor of Engineering. 2010 Tätigkeit als Werksstudent bei Rolls-Royce Deutschland (<https://www.rolls-royce.com>) in Dahlewitz im Bereich Qualitätssicherung fertiger Bauteile. 2011 bis 2012 Tätigkeit als Qualitätsmanagementbeauftragter bei der thyssenkrupp Schulte GmbH in Berlin (<https://www.thyssenkrupp-schulte.de/>). 2013 bis 2015 Studium Regenerative Energien an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Abschluss als Master of Science. 2014 bis 2015 Praktikant bei der tetra ingenieure GmbH ([www.tetra-ingenieure.de](http://www.tetra-ingenieure.de)) im Bereich Haustechnik und Energieversorgung. Seit 2015 Tätigkeit als Projektingenieur bei der tetra ingenieure GmbH im Bereich Wärmenetze, PV-Anlagen und Konzepte. Mitglied der Stiftung der Freunde der Leibniz-Sozietät seit 2024.

christian.reymann@gmx.net

*Michael Thomas*, Jahrgang 1951, Dr. phil.

Von 1973 bis 1981 Studium und Forschungsstudium (Philosophie) an der Humboldt-Universität zu Berlin. 1981 Promotion zur Phänomenologie Husserls. Seit 1981 am Institut für Soziologie der Akademie für

Gesellschaftswissenschaften. 1990 Mitbegründer des BISS e.V., Projektleiter und langjähriger Vorstand. Zugleich seit 1990 Tätigkeiten an verschiedenen Universitäten (TU Dresden, Europa-Universität Viadrina Frankfurt/Oder), Aufenthalte als Gastwissenschaftler, so mehrfach am Wissenschaftszentrum für Sozialforschung Berlin, der Universität Mannheim, der Universität Bielefeld, am AIGCS in Washington, der University California in Santa Barbara, dem Babson College for Entrepreneurship in Boston. Verantwortliche Mitarbeit in zahlreichen Forschungsprojekten (DFG; Volkswagenstiftung; BMBF; EU), in Verbundprojekten und Forschungsnetzwerken universitärer und außeruniversitärer Institute. Mitarbeit in bzw. Leitung von verschiedenen Fachbeiräten. Seit Ende der 1990er Jahre international vergleichende Untersuchungen zu Regional- und Stadtentwicklung, zu Unternehmensnetzwerken und Arbeitsmarktentwicklungen, zu sozialen Innovationen sowie anwendungsbezogene Forschungen. Publikationen zu Theorie und Geschichte von Soziologie und Philosophie, zu Regionalentwicklung und soziologischen Transformationsforschung. Mitglied der Alexander von Humboldt-Stiftung seit 1991, der Deutschen Gesellschaft für Soziologie seit 1990 und der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin seit 2009.

thomas.micha@t-online.de

*Uwe Witt*, Jahrgang 1962.

Uwe Witt studierte von 1987 bis 1991 Volkswirtschaft an der Hochschule für Ökonomie in Berlin-Karlshorst. Anschließend arbeitet er zwei Jahre am Institut für Umweltökonomie der Humboldt-Universität zu Berlin zu Fragen der Organisation der Abwasserbeseitigung. Anschließend war er in einer Tageszeitung als Redakteur für Umwelt und Wirtschaft tätig. Von 1995 bis 2013 (mit Unterbrechung von 2002 bis 2005, in der er wieder journalistisch tätig war) arbeitete er als persönlicher wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Abgeordneten der PDS-Fraktion bzw. der Fraktion DIE LINKE im Bundestag zu Themen der Klima-, Energie- und Umweltpolitik. Von 2013 bis 2021 war er dort als Fraktionsreferent für Klima und Energie tätig. Seit 2021 ist Uwe Witt Referent für Klimaschutz und Strukturwandel bei der Rosa-Luxemburg-Stiftung. Zuletzt beschäftigte er sich vor allem mit energiewirtschaftlichen und verteilungspolitischen Fragen in den Bereichen Kohleausstieg, Erdgas, Strommarkt, Wasserstoff, CO<sub>2</sub>-Märkte und Wärmewende.

uwe.witt@rosalux.org

# Veröffentlichungen der Leibniz-Sozietät zum Themenkreis Rohstoffe und Energie in der trafo Verlagsgruppe, 2011–2022

## Abhandlungen der Leibniz-Sozietät

### Band 47

Banse, Gerhard / Fleischer, Lutz-Günther (Hg.): „Energiewende 2.0 im Fokus. – Bewährtes, Problematisches, Notwendiges, Kontroverses“, 2018, 339 S., zahlr. Tab. und Abb., ISBN 978-3-86464-125-1, 42,80 EUR  
Titel-Infos: [www.trafoberlin.de/978-3-86464-125-1.html](http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-125-1.html)

### Band 31

Banse, Gerhard u.a. (Hg.): „Energiewende – Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag“, 2013, 315 S., zahlr., Tab. u. Abb., ISBN 978-3-86464-006-3, 36,80 EUR  
Titel-Infos: [www.trafoberlin.de/978-3-86464-006-3.html](http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-006-3.html)

## Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät

### Band 155 (2022)

„Energiewende 2.0. Im Fokus: Die Infrastruktur“.  
2022, 101 S., ISBN 978-3-86464-231-9, 14,80 EUR  
Titel-Infos: [www.trafoberlin.de/978-3-86464-231-9.html](http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-231-9.html)

### Band 147 (2021)

„Kolloquium und Expertendiskurs: Die Energiewende 2.0: Im Fokus: die MOBILITÄT“.  
2021, 140 S., ISBN 978-3-86464-224-1, 15,80 EUR  
Titel-Infos: [www.trafoberlin.de/978-3-86464-224-1.html](http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-224-1.html)

### Band 130 (2017)

„Symposium ‚Technologie und nachhaltige Entwicklung‘“  
Mit den Beiträgen: Nachhaltigkeitsaspekte einer zukunftssicheren Energieversorgung von Städten und Gemeinden / Nachhaltigkeit von Kunststoffverpackungen – von der Wiege bis zur Bahre / Die Rolle der Nachhaltigkeit in der Konsumgüterproduktion, ihre Einschätzung und Kommunikation am Beispiel der Verpackungstechnik / Technologische Herausforderungen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung / Perspektiven und Probleme einer kohlenstofffreien Energiewirtschaft / u.a.m.  
2017, 180 S., zahlr. Tab. u. Abb., ISBN 978-3-86464-136-7, 19,80 EUR  
Titel-Infos: [www.trafoberlin.de/978-3-86464-136-7.html](http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-136-7.html)

### Band 122 (2015)

„Technologiewandel in der Wissensgesellschaft – qualitative und quantitative Veränderungen“  
Mit den Beiträgen: Energietechnik und Energiewende / Entwicklungstendenzen in der Wärmeversorgung / Über einige qualitative und quantitative Fortschritte der praktischen Nutzung von Nanotechnologie bei der Energieumwandlung / u.a.m.  
2015, 200 S., ISBN 978-3-86464-092-6, 19,80 EUR  
Titel-Infos: [www.trafoberlin.de/978-3-86464-092-6.html](http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-092-6.html)

### Band 120 (2014)

„Kolloquium: Im Mittelpunkt steht der Mensch – Fortschritte in den Geo-, Montan-, Umwelt-, Weltraum- und Astronomiewissenschaften am 11. April 2014 in Berlin“  
Mit dem Beiträgen: Mögliche klimatische Folgen bei weltweitem Einsatz erneuerbarer Energie / Verfügbarkeit von Rohstoffen in Deutschland – Argumente für eine stärkere Nutzung eigener Rohstoffressourcen / Ist das Erschließen von Geothermie-Lagerstätten im mittleren Oberrheingraben wirklich eine gute Idee? / u.a.m.  
2014, 227 S., ISBN 978-3-86464-090-2, 19,80 EUR  
Titel-Infos: [www.trafoberlin.de/978-3-86464-090-2.html](http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-090-2.html)

### Band 112 (2011)

Ambivalenzen von Technologien – Chancen, Gefahren, Missbrauch  
Mit den Beiträgen: Risiken und Chancen der Renaissance „vergessener“ Technologien (am Beispiel fossiler Kohlenstoffträger) / Ambivalenzen und Komplexität stoffwandelnder Technologien / Ambivalenzen in der Uranwirtschaft – Segen oder Fluch für die Menschheit? / Ambivalenzen der Kunststofftechnologie – Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts / Ambivalenzen erneuerbarer Energien / u.a.m.  
2011, 184 S., ISBN 978-3-89626-982-9, 19,80 EUR  
Titel-Infos: [www.trafoberlin.de/978-3-89626-982-9.html](http://www.trafoberlin.de/978-3-89626-982-9.html)

Bestellungen über jede gute Buchhandlung oder direkt beim Verlag  
trafo Wissenschaftsverlag, Finkenstraße 8, 12621 Berlin  
Tel.: 030/612 99 418 e-Mail: [info@trafoberlin.de](mailto:info@trafoberlin.de)