ISSN 0947-5850
ISBN 978-3-86464-231-9

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät • Band 155 Jg. 2022

trafo verlag

Sitzungsberichte

Leibniz-Sozietät der Wissenschaften

Die Energiewende 2.0
Im Fokus: Die Infrastruktur

Kolloquium des Arbeitskreises
“Energie, Mensch und Zivilisation”
am 13. Mai 2022

Herausgegeben von
Norbert Mertzsch & Ernst-Peter Jeremias

Mit Beiträgen von
Kerstin Becker, Frank Behrendt,
Ernst-Peter Jeremias, Norbert Mertzsch,
Barbara Saerbeck

Band 155

Jahrgang 2022

Die Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.

ist eine freie Vereinigung von Natur-, Geistes- und Sozialwissenschaftlern. In ihren Traditionen geht sie zurück auf die im Jahre 1700 gegründete Kurfürstlich-Brandenburgische Societät der Wissenschaften, eine der ältesten wissenschaftlichen Institutionen in Deutschland, sowie auf ihren geistigen Vater und ersten Präsidenten, Gottfried Wilhelm Leibniz. Mit ihr ist sie historisch durch die über Jahrhunderte ununterbrochene Zuwahl ihrer Mitglieder und deren wissenschaftliches Wirken verknüpft.
Die Sozietät, im Jahre 1993 mit Sitz in Berlin konstituiert, baut auf eigenständigen Forschungen ihrer Mitglieder auf und bietet ihnen ein Forum der Diskussion und Publizität. Im Plenum, in den Klassen und Arbeitskreisen pflegen ihre Mitglieder und Gäste besonders den interdisziplinären Diskurs und die Erörterung aktueller Grundprobleme von Wissenschaft und Gesellschaft. Die Sozietät will durch ihre Tätigkeit einen angemessenen Beitrag zum geistigen Leben in unserer Zeit leisten.

Vorstand (Präsidium) der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin

Herbert Hörz; Wissenschaftsphilosophie und -geschichte
Ehrenpräsident

Gerda Haßler; Sprachwissenschaft, Romanistik
Präsidentin

Lutz-Günther Fleischer; Verfahrenstechnik, Thermodynamik
Vizepräsident

Dorothee Röseberg; Romanistik, Kulturwissenschaft
Vizepräsidentin

Heinz-Jürgen Rothe; Arbeitspsychologie
Schatzmeister

Gerhard Pfaff; Chemie
Sekretar der Klasse für Naturwissenschaften und Technikwissenschaften

Kerstin Störl; Linguistik, Romanistik, Altamerikanistik
Sekretarin der Klasse für Sozial- und Geisteswissenschaften

Begründet im Jahre 1700
als Brandenburgische Societät der Wissenschaften

LEIBNIZ-SOZIETÄT: SITZUNGSBERICHTE

SITZUNGSBERICHTE
BAND 155 JAHRGANG 2022

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.leibnizsozietaet.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

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: 12.12.2022
ISSN 0947-5850 ISBN 978-3-86464-231-9

Inhalt

Ernst-Peter Jeremias, Norbert Mertzsch 7
Einführung

Frank Behrendt 17
Die zukünftige Energiebedarfs- und Deckungsstruktur Deutschlands im internationalen Verbund als Basis der komplexen gesellschaftlichen Daseinsvorsorge

Barbara Saerbeck 31
Das Energienetz der Zukunft

Kerstin Becker, Ernst-Peter Jeremias 35
Entwicklungstendenzen bei der Wärmeversorgung mit Wärmenetzen

Norbert Mertzsch 57
Speicher in die Energieinfrastruktur

Norbert Mertzsch 83
Aspekte der Energieversorgungssicherheit

Norbert Mertzsch 97
Schlusswort und Ausblick

Verzeichnis der Autorinnen und Autoren 99

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *155 (2022), 7–16*

Einführung

Ernst-Peter Jeremias, Norbert Mertzsch

In der Jahrtausende währenden Entwicklung der Menschheit konnte der Mensch seit dem Beginn des Gebrauchs des Feuers bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts im Wesentlichen nur auf die Einkommensenergien Wasserkraft, Windkraft und vor allem Holz zurückgreifen. Erst danach dominierte die Verwendung von Vermögensenergien wie Kohle und Erdöl. Der seit diesem Zeitpunkt registrierte Anstieg der Konzentration von Kohlenstoffdioxid in der Erdatmosphäre mit gravierenden Einflüssen auf das Klimasystem der Erde erzwingt die Rückkehr zur vorrangigen Nutzung von Einkommensenergien, wobei nun die direkte Nutzung der Solarenergie hinzukommt. Diese Rückbesinnung auf die vorrangige Nutzung von Einkommensenergien wird in Deutschland mit dem Begriff Energiewende umschrieben.

Dabei schrieb Werner Siemens bereits 1879:

> „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)

Ausgehend von der 5. Jahrestagung der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V. im Jahre 2012 zum Thema „Energiewende – Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag“ (Banse/Fleischer 2014) der bereits mehrere Veranstaltungen und Diskussionen vorausgingen, wurden in den letzten Jahren verschiedene Aspekte der Energiewende systematisch betrachtet (vgl. Banse/Fleischer 2018). 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 6. Dezember 2018.
- Kolloquium und Disputation zum Thema: „Die Energiewende 2.0: Im Fokus die Mobilität“ am 7. Mai 2021

Das Kolloquium zum Thema: „Die Energiewende 2.0: Im Fokus die Infrastruktur“ stellte eine weitere wichtige Komponente der Energiewende in den Mittelpunkt der fachlich-wissenschaftlichen Diskussion.

Das Kolloquium wurde am 13. Mai 2022 in der Archenholdsternwarte als Präsenzveranstaltung mit ca. 20 Teilnehmern durchgeführt. Eine geplante Übertragung in das Internet konnte aus rechtlichen Gründen bedauerlicherweise nicht umgesetzt werden.

***

Die Begrüßung der Teilnehmer übernahm der Vizepräsident der Leibniz-Sozietät, *Lutz-Günther Fleischer*. In dieser wies er auf die lange und erfolgreiche Tradition der praktischen und theoretischen Auseinandersetzung mit der Energiewende in der Leibniz-Sozietät – zumeist ge-

meinsam mit dem Verein Brandenburgischer Ingenieure und Wirtschaftler – hin. Er verband das rezente Thema mit den enormen Herausforderungen an die Energetik Deutschlands und der EU infolge der russischen Aggressionen gegen die ukrainische Zivilgesellschaft. Anschließend übernahm *Wolfgang Methling* die Moderation der weiteren Veranstaltung.

Den Einführungsvortrag hielt *Lutz-Günther Fleischer* zum Thema „Die Energiewende 2.0: Herausfordernde holistische Entwicklungen, essentielle Funktionen und sie organisierende komplexe Strukturen im kritischen Fokus". In diesem stellte er sechs Thesen auf, die hier zusammenfassend wiedergegeben werden:

Die erste These charakterisiert die Energiewende 2.0 als einen weitgehend unbestrittenen revolutionären, zukunftsbestimmenden, tiefgreifenden und umfassenden, bemerkenswert dynamischen, hochkomplexen Transformationsprozess unseres sozio-technischen Systems. Dieser Prozess wird von dem Ziel, die Gesellschaft von russischen fossilen Brennstoffen unabhängig zu machen, stark beschleunigt. Deutschland sieht im Ausbau von Wind- und Solarenergie den wesentlichen Transformationsansatz, sowohl im energetischen als auch im stofflichen Segment.

Die zweite These entwickelt den Optimismus, dass die Gesellschaft bei ausreichender Kommunikation die evolutionäre Fähigkeit der Menschen nutzen wird, das komplexe sozio-technische System bewusst im notwendigen Maße einer Energiewende 2.0 zu entwickeln.

Die wesentlichen Veränderungen und grundsätzlichen Neugestaltungen in allen Bereichen der Gesellschaft betreffen jeden Bürger und jede Bürgerin, wird in der dritten These festgestellt. Die bewusste Gestaltung der notwendigen technischen und sozialen Infrastrukturen für eine effektive Energiewende 2.0 mit Nutzung des Instruments der Digitalisierung sind zur Diskussion zu stellen, zu erörtern und zu bewerten.

Die technische und soziale Infrastruktur umfasst alle staatlichen und privaten Einrichtungen, Institutionen, Objekte und Projekte, die für die effektive Funktionsweise und Entwicklung der Gesellschaft notwendig sind. Eine zuverlässig funktionierende, primär gesellschaftsdienlich und bedarfsgerecht weiterentwickelte Infrastruktur gelten daher im internationalen Vergleich als wichtiger Indikator für den qualitativen Zustand sowie die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit und die gesellschaftspolitische Attraktivität der jeweiligen Gesellschaft, so der Kern der vierten These.

Die fünfte These wirbt für eine schnellstmögliche Beseitigung aller bestehenden Hindernisse für den Ausbau von Wind- und Solarenergieprojekten, nicht nur in Deutschland, sondern in ganz Europa. Das betrifft insbesondere die Planung und Genehmigung derartiger Projekte.

Die sechste These setzt sich mit den nunmehr konkreten nationalen Aktivitäten zur Umsetzung der Energiewende 2.0, die durch den notwendigen Ersatz von Energieimporten aus Russland noch verstärkt werden müssen. Der Anteil der Einkommensenergieträger am Stromverbrauch soll nun bis zum Ende dieses Jahrzehnts nahezu verdoppelt werden. Zur Orientierung: 2010 betrug er 7,1 %, 2020 45,2 % und 2021 41,1 % (BMWK 2022). Diese Forderung resultiert u.a. aus dem deutlich höheren Strombedarf für Elektroautos sowie zum Raumheizen mit dafür favorisierten Wärmepumpen. Dringend benötigt werden technisch-technologisch bedeutende Mengen grünen Wasserstoffs. Bis 2030 soll seine Leistung in Deutschland auf 10 Gigawatt gesteigert werden. Eklatant ist jedoch der Gegensatz von Ambition und Wirklichkeit hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit, der Wettbewerbsfähigkeit und fehlender Produktionskapazitäten.

Als Hauptredner sprach *Frank Behrend* über die zukünftige Energiebedarfs- und Deckungsstruktur Deutschlands im internationalen Verbund als Basis der komplexen gesellschaftliche Daseinsvorsorge. Um bis zum Jahr 2045 in Deutschland Treibhausgasneutralität zu erreichen, müssen bis 2040 die Emissionen von Kohlenstoffdioxid um 88 % gegenüber dem Jahr 1990 reduziert werden. Da ein Großteil dieser Emissionen energiebedingt verursacht werden, stehen die Energiesektoren im besonderen Fokus. Der Spagat der Zukunft besteht in der Transformation des Energiesystems hin zu einem klimaneutralen System, bei gleichzeitiger Erhaltung der in Deutschland üblichen hohen Versorgungssicherheit. Dafür muss der systemische Einsatz von Speichern neu gedacht, neue Energieträger, wie Wasserstoff, im Markt involviert und Sektoren miteinander gekoppelt werden. Damit das gelingen kann, wird nach Aussage des Referenten Deutschland, wie in der Vergangenheit, Energieimporteur bleiben. Das wird hauptsächlich Wasserstoff bzw. abgeleitete Energieträger betreffen.

Thoralf Uebach sprach als stellvertretender Vorsitzender der Landesgruppe Berlin/Brandenburg des VKU Verband Kommunaler Unternehmen zum Thema „Energieinfrastruktur als Daseinsvorsorge – globale Probleme, lokale Lösungen“. Am Beispiel der Stadtwerke Neurup-

pin, einem kommunalen Energieversorgungsunternehmen, das in den Sparten Elektroenergieversorgung, Gasversorgung, Fernwärmeversorgung und Wasser/Abwasser öffentliche kommunale Netze betreibt, zeigte er die Herausforderungen, die auf dem Weg zur Umsetzung der Energiewende bestehen. Sehr deutlich beschrieb der Praktiker in seinem Vortrag die Hemmnisse auf dem Weg bei der Transformation vom bisher dominierenden Energieträger Erdgas in der Fernwärmeversorgung der Stadt Neuruppin zur Nutzung der Einkommensenergien Sonne, Wind, Geothermie und Biomasse. Er erhielt vom zuhörenden Publikum dafür sehr viel Zustimmung. Leider konnte dieser praxisnahe Vortrag vom Autor nicht für die Veröffentlichung bereitgestellt werden.

Barbara Saerbeck führte in ihrem Vortrag „Strom, Wasserstoff und Wärmenetz der Zukunft" aus, dass die Bundesregierung die Stromerzeugung bis zum Jahr 2035 vollständig auf Erneuerbare Energien umstellen will. Damit die weitreichende Elektrifizierung, die zu einem rund doppelt so hohen Strombedarf führen wird, gelingen kann, sind erhebliche Effizienzsteigerungen notwendig. Gleichzeitig wird der Anteil dezentraler Erzeugungstechnologien in den Verteilnetzen steigen und die Sektorenkopplung verstärkt zu Wechselwirkung mit Wärme- und Wasserstoffnetzen führen. Diese zum Teil grundlegenden Veränderungen sind in der bisherigen Netzplanung nicht ausreichend berücksichtigt – eine konsistente Verzahnung im Sinne einer integrierten Systementwicklungsstrategie fehlt. Eine an langfristigen Bedarfen ausgerichtete Netzplanung in den Strom-, Gas- und Wärmenetzen ist aber unerlässlich, um den erforderlichen Aus- und Umbau kosteneffizient und rechtzeitig durchführen zu können. Darüber hinaus ist die stärkere Koordinierung von Planungen über Sektoren hinweg erforderlich, um eine insgesamt bedarfsgerechte Infrastruktur zu ermöglichen. Im Rahmen des Vortrags wurde die Notwendigkeit einer integrierten Netzplanung und die möglichen Auswirkungen auf die aktuelle Planung thematisiert.

Kai Strunz wies in seinem Vortrag „Smart Grid als Grundlage der Energiewende: Leitansätze für Europa" darauf hin, dass 2015 die Strategie einer europäischen Energieunion angekündigt wurde, die sich auf fünf wichtige Säulen stützt, die die Umsetzung der Energie- und Klimaziele in der Europäischen Union (EU) unterstützen sollen:

- Versorgungssicherheit: Nutzung vielfältigerer Quellen und bessere Nutzung der produzierten Energie in der EU
- Vollständige Energiemarktintegration: Interkonnektoren für freie EU-übergreifende Stromflüsse
- Energieeffizienz: weniger Energieverbrauch und weniger Energieimporte
- Dekarbonisierung: Handeln Sie für das Klima und reduzieren Sie Emissionen
- Unterstützende Forschung und Innovation: bahnbrechende kohlenstoffarme Lösungen.

Darüber hinaus ist es wichtig, über sozialverträgliche Lösungen nachzudenken.

Große Solarenergiepotenziale werden in Südeuropa beobachtet. Im Norden, einschließlich Großbritannien, Irland, Skandinavien und nördliche Teile von Frankreich und Deutschland, sind die bestehenden Windkraftpotenziale vielversprechend. Ein weiteres wichtiges Potenzial der Windkraft ist offshore gegeben. Aus der Verbindung der Potentiale mit den Verbrauchern ist das Europäische Forschungsprojekt e-Highway 2050 hervorgegangen. Es ist zu berücksichtigen, dass erneuerbare Energiequellen oft weit von Lastzentren entfernt sind. Das gilt nicht nur für Deutschland, sondern auch auf der europäischen Ebene.

In Deutschland werden derzeit große Offshore- und Offshore-Anteile installiert. Die Onshore-Windkraft konzentriert sich im Norden, Photovoltaik hauptsächlich im Süden der Republik. Mehrere große Lastzentren befinden sich im Süden und Südwesten von Deutschland. Es besteht die Notwendigkeit der Energieübertragung über große Entfernungen von Nord nach Süd. Die Langstrecken-Energieübertragung führt zwangsläufig zu einer erhöhten Belastung des AC-Übertragungsnetzes. 2010 gründete der VDE Deutschland eine Task Force, um dieses Problem in Deutschland anzugehen. 2011 wurde der Bericht der VDE-Arbeitsgruppe veröffentlicht (VDE 2011).

Neben der Fähigkeit, elektrische Leistung zu übertragen und zu verteilen, besteht eine Kerneigenschaft eines Netzes der elektrischen Energieversorgung darin, zu jedem Zeitpunkt Einspeisung und Entnahme elektrischer Leistung in Einklang zu bringen. Die Einspeisung erfolgt hierbei durch thermische Kraftwerke, erneuerbare Erzeuger und sich entladende Speicher. Auf der anderen Seite entsteht die Entnahme

durch Lasten sowie Speicher, die gerade geladen werden. Auch in einem Netz mit 100 Prozent erneuerbaren Energien muss diese Kerneigenschaft gegeben sein. Darauf zielen auch die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des Fachgebiets Sustainable Electric Networks and Sources of Energy (SENSE) der TU Berlin ab.

Auf dem Kolloquium am 13.5.2022 trug Kai Strunz vor, wie sich die Forschungen und Entwicklungen an der TU Berlin in den Kontext der nationalen und europäischen Anforderungen einordnen. In diesem Zusammenhang sind fünf Leitgedanken zu nennen, die den Weg zu einer klimafreundlichen Energieversorgung in Europa zeigen.

Erstens, eine europaweite Kooperation ist angesagt. In Europa gibt es eine Vielzahl einander komplementärer Potentiale erneuerbarer Energien.

Zweitens, bei der Realisierung der passenden Netze muss interdisziplinär gedacht und inklusive synergetische Infrastrukturen ermöglicht werden. Dazu gehören etwa Stromautobahnen in Gleichstromtechnik zur Integration in Drehstromnetze wie auch die Sektorenkopplung.

Drittens, es sind mehrskalige Modelle anzuwenden, um die Zukunft der Energieversorgung basierend auf Fakten planen zu können. Zu den Skalen gehören die geographische Ausdehnung, die zu betrachtenden Zeithorizonte und die möglichen Technologiespektren.

Viertens, das Smart Grid lebt von der Interaktion verschiedener Akteure, deren Möglichkeiten der Partizipation zu fördern ist. So kann die Akzeptanz des Smart Grids erhöht werden.

Fünftens, es sind auch Innovationen an der Grid Edge notwendig, um Flexibilität zu schaffen. Die Grid Edge versteht sich als Schnittstelle von Netz und mit diesem in Wechselwirkung stehenden Technologien. Dazu gehören etwa über Wärmepumpen klimatisierte Gebäude oder Ladestationen und Batteriewechselstationen für Elektrofahrzeuge.

In der Gesamtheit wird über diesen Leitgedanken der Weg zu einer 100 % erneuerbaren Energieversorgung vollzogen. Im Vortrag wurden diese fünf Leitgedanken beleuchtet und auf dazu passende Leitansätze eingegangen.

Auf zwei diese Thematik vertiefende Publikationen von Professor Strunz wird hiermit verwiesen (Koraki/Strunz 2018; Strunz/Kuschke/Schilling 2021). Auch dieser interessante wissenschaftliche Beitrag konnte vom Vortragenden bedauerlicherweise nicht für diese Veröffentlichung bereitgestellt werden.

Kerstin Becker und *Ernst-Peter Jeremias* gingen in ihrem Vortrag „Entwicklungstendenzen bei der Wärmeversorgung mit Wärmenetzen“, der von *Kerstin Becker* gehalten wurde, auf die geschichtliche Entwicklung der Wärmenetze innerhalb der letzten ca. 150 Jahre ein. Dabei zeigten sie auf, dass sich die Fernwärmenetze im Laufe der Entwicklung in ihrer Struktur und Technik bis heute deutlich verändert haben. Wärmenetze gewinnen im Zuge der notwendigen Maßnahmen zum Klimaschutz zunehmend an Bedeutung. Als Wärmeverteilsystem können sie effizient Einkommensenergien aufnehmen und verteilen, durch die Einbindung von Langzeitwärmespeichern aber auch speichern. Als ein wichtiges Element der Sektorenkopplung werden sie Überschussstrom aus Wind- und Photovoltaikanlagen für die Umwandlung in Wärmeenergie nutzen.

Dazu müssen die Wärmenetze aber in Verbindung mit den Wärmeabnehmeranlagen thermodynamisch angepasst und modifiziert werden. Insbesondere die Netztemperaturen müssen aus physikalischen Gründen von den bislang üblichen Vorlauftemperaturen > 100 °C und < 70 °C Rücklauftemperatur auf mindestens < 70 °C / < 50 °C reduziert werden. Das ist eine große aktuelle Herausforderung und bedarf einer komplexen ingenieurtechnischen Durchdringung. Durch Simulationsberechnungen können dafür die konkreten Maßnahmen ermittelt und begründet werden. Die Praxis zeigt aber, dass die Komplexität der ingenieurtechnischen Aufgabe zwingend durch ein Monitoring der Prozessdaten ergänzt werden muss. Sowohl für Bestands- als auch für Neubaunetze erfolgt durch die regelmäßige Auswertung der Daten eine Optimierung des Anlagenbetriebes in den Bereichen Energieerzeugung, Wärmeverteilung und insbesondere Wärmenutzung.

In seinem Vortrag „Speicher in der Energieinfrastruktur“ ging *Norbert Mertzsch* auf die Notwendigkeit ein, bei Energiebereitstellung aus stark fluktuierenden bzw. saisonalen Quellen zum stabilen Betrieb der Energieversorgung Speicher einzusetzen, um Verbrauch und Erzeugung ausgleichen zu können. Im Vortrag wurde auf aktuelle Speichertypen für Elektroenergie, Gase und Wärmeenergie und mögliche Entwicklungen eingegangen. Der Referent ging auf Probleme der Festlegung einer ausreichenden Speichergröße für die Zeit nach der Nutzung von Vermögensenergieträgern und Schlussfolgerungen für Besitz und Betrieb von Speichern aus dem Blickwinkel der Daseinsvorsorge ein.

Zusätzlich in den Tagungsband wurde der Beitrag „Aspekte der Energieversorgungssicherheit“ von *Norbert Mertzsch* aufgenommen. Das Thema Energieversorgungssicherheit, welches derzeit vor allem auf den Import von Energierohstoffen der Vermögensenergieträger bezogen wird, ist wesentlich umfassender zu betrachten. So sind auch Sicherheitsaspekte des Importes und der Bereitstellung von Einkommensenergie im Inland, wie auch der Energieinfrastruktur als Teil der kritischen Infrastruktur zu betrachten. Hinzu kommt die Problematik der Datensicherheit.

Im Schlusswort dankte der Vorsitzende des Vereins Brandenburgischer Ingenieure und Wirtschaftler e.V., *Norbert Mertzsch*, allen Vortragenden und Teilnehmern der Diskussion für ihre Beiträge.

Sehr große Veränderungen werden durch die Energiewende auch auf die Stoffwirtschaft zukommen. Mit einem Kolloquium „Energiewende 2.0: Im Fokus die Stoffwirtschaft“ wird der Arbeitskreis „Energie, Mensch und Zivilisation“ 2023 diese Problematik thematisieren.

***

Dieser „Protokollband“ wäre nicht zustande gekommen, wenn die Autoren nicht bereit gewesen wären, den zahlreichen Wünschen der Herausgeber – z. B. hinsichtlich Terminstellung, Manuskriptumfang, Präzisierungen – nachzukommen. Dafür sei ihnen herzlich gedankt. *Last but not least* sind die Herausgeber dem Berliner Senat, insbesondere der Abteilung Forschung der Senatskanzlei, zu Dank verpflichtet, denn ohne deren finanzielle Unterstützung hätte einerseits die Veranstaltung, aus der diese Publikation hervorgegangen ist, nicht durchgeführt werden können, andererseits wäre der Druck dieses „Protokollbandes“ so nicht möglich gewesen.

Bibliographie

Banse, Gerhard/Fleischer, Lutz-Günther (Hrsg.) (2014): *Energiewende – Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag. 5. Jahreskonferenz der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften* 2012. Berlin: trafo (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 31).

Banse, Gerhard/Fleischer, Lutz-Günter (Hrsg.) (2018): *Energiewende 2.0 im Fokus – Bewährtes, Problematisches, Notwendiges, Kontroverses.* Berlin: trafo (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 47).

BMWK (2022): *Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik* (AGEE-Stat) (Stand: Februar 2022). https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2021.pdf;jsessionid=6FDF136DA6C99E11CC-01689B6944F63E?__blob=publicationFile&v=35.

Koraki, Despina/Strunz, Kai (2018): „Wind and solar power integration in electricity markets and distribution networks through service-centric virtual power plants". *IEEE Transactions on Power Systems* 33/1, 473-485. https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?-arnumber=7937825.

Strunz, Kai/Kuschke, Maren/Schilling, Samuel (2021): „Climate-friendly and socially inclusive AC-DC renewable energy system with overlay multi-terminal HVDC network (OVANET): Solution with fully distributed optimization and infrastructure combination". *International Journal of Electric Power and Energy Systems* 132, 106119 https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106119.

Witzlau, Reinhard (2016): *Werner von Siemens Ideen & Ansichten*. Gransee: Edition Schwarzdruck.

VDE (2011): VDE-Studie „Stromübertragung für den Klimaschutz". *Potenziale und Perspektiven einer Kombination von Infrastrukturen*. https://shop.vde.com/de/vde-studie-stromübertragung-für-den-klimaschutz-6

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *155 (2022), 17–30*

Die zukünftige Energiebedarfs- und Deckungsstruktur Deutschlands im internationalen Verbund als Basis der komplexen gesellschaftlichen Daseinsvorsorge

Frank Behrendt

Abstract

Germany wants to achieve greenhouse gas neutrality by 2045, and emissions are to be reduced by 88 % by 2040 compared to 1990. Since a large part of these emissions are caused by energy, the energy sectors are in particular focus. The balancing act of the future consists in the transformation of our energy system towards a climate-neutral system, while at the same time maintaining the high security of supply that is usual in Germany. To do this, the systemic use of storage systems must be rethought, new energy sources involved in the market and sectors linked together. How is this to be done efficiently? Does the "Efficiency First" principle postulated in the course of the energy transition actually make sense in all areas? Furthermore, Germany has always been an energy importer in the past. Should this also be the case in the future or will the role shift?

Resümee

Deutschland möchte bis zum Jahr 2045 Treibhausgasneutralität erreichen, dazu sollen Emissionen bis 2040 um 88% gegenüber dem Jahr 1990 reduziert werden. Da ein Großteil dieser Emissionen energiebedingt verursacht werden, stehen die Energiesektoren im besonderen Fokus. Der Spagat der Zukunft besteht in der Transformation unseres Energiesystems hin zu einem klimaneutralen System, bei gleichzeitiger Erhaltung der in Deutschland üblichen hohen Versorgungssicherheit. Dafür muss der systemische Einsatz von Speichern neu gedacht, neue Energieträger in dem Markt involviert und Sektoren miteinander gekoppelt werden. Wie soll dies auf effiziente Weise geschehen? Ist der im Zuge der Energiewende postulierte Grundsatz „Efficiency First" überhaupt in allen Bereichen sinnvoll? Weiterhin war Deutschland in der Ver-

gangenheit auch immer Energieimporteur. Soll dies auch in Zukunft so sein oder wird sich diese Rolle verschieben?

Keywords/Schlüsselwörter
Greenhouse gas neutrality, Energy transition, Transformation of our energy system, security of supply
Treibhausgasneutralität, Energiewende, Transformation unseres Energiesystems, Versorgungssicherheit

1 Vorbemerkungen

Um in Deutschland Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 zu erreichen, müssen insbesondere die energiebedingten Emissionen gegenüber 1990 deutlich reduziert werden. Deshalb stehen die Energiesektoren im besonderen Fokus bei der Transformation unseres Energiesystems hin zu einem klimaneutralen System. Gleichzeitig ist die Aufrechterhaltung der in Deutschland üblichen hohen Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Dafür muss der systemische Einsatz von Speichern neu gedacht werden, neue Energieträger müssen in dem Markt involviert werden und die Sektoren sind miteinander zu koppeln. Wie das auf effiziente Weise geschehen sollte, adressiert dieser Beitrag mit folgender Gliederung:

- Aufgabenstellung
- Situationsbeschreibung
- Sektorenkopplung
- Energiesystem
- Wasserstoff.

2 Aufgabenstellung

In den 70er Jahren erschienen eine Vielzahl von Studien, die sich mit der Endlichkeit der zur Verfügung stehenden Ressourcen auf unserem Planeten auseinandergesetzt haben. Besonders hervorzuheben ist hierbei die Studie des Club of Rome, die im Deutschen unter dem Titel „Grenzen des Wachstums“ erschien. In dieser Studie wurde postuliert, dass nicht nur die fossilen Energieträger, sondern auch eine Vielzahl anderer Rohstoffe wie auch Nahrungsmittel in nicht zu ferner Zukunft

nicht mehr in hinreichendem Maße zur Verfügung stehen würden.

Die meisten der unter sehr pessimistischen Rahmenbedingungen aufgestellten Vorhersagen sind bis heute in dieser Form nicht eingetreten. Nichtsdestoweniger haben sich die Umweltbedingungen nicht zum Besseren gewendet. Es ist aber zunehmend klar geworden, dass es weniger die Ressourcenlimitierung, sondern der Eintrag von Treibhausgasen in die Atmosphäre der limitierende Faktor menschlichen Wirtschaftens ist und von daher die Aktivitäten sich darauf konzentrieren müssen, genau diesen Eintrag aus fossilen Energieträgern zu limitieren.

Aus entsprechenden Untersuchungen an Eiskern-Proben konnte ermittelt werden, dass der CO_2-Gehalt in der Atmosphäre im Jahre 1850, also zu Beginn dessen, was wir heute als industrielle Revolution bezeichnen, bei etwa 280 ppm lag. Im Jahre 1958 begann der Wissenschaftler Keeling auf einer Messstation am Observatorium auf dem Mauna Loa (Big Island, Hawaii, USA) kontinuierlich den CO_2-Gehalt in der Atmosphäre zu bestimmen. Zu diesem Zeitpunkt lag dieser bei rund 315 ppm. Die bekannte, nach ihm benannte Keeling-Kurve zeigt ein stetes Wachstum bis zum heutigen Tage auf aktuell rund 420 ppm CO_2 in der Atmosphäre.

Die heute damit einhergehende Steigerung der Durchschnittstemperatur in der Atmosphäre, verglichen mit dem vorindustriellen Zeitalter, liegt bei rund 1,2 °C. Die Auswirkungen dieser sich stetig ändernden Zusammensetzung unserer Atmosphäre sind heute schon vielfältig und die Vorhersagen für die Zukunft lassen es dringend geboten erscheinen, entsprechende Gegenmaßnahmen zu treffen, um den Gehalt an CO_2 in der Atmosphäre nicht deutlich über den heutigen Wert hinaus ansteigen zu lassen. Der vorliegende Beitrag soll einige der Möglichkeiten aufzeigen, die hierbei helfen können.

Im Zusammenhang mit der Vermeidung dessen, was man heute als Klimawandel bezeichnet, trifft man sehr schnell auf den Begriff der Nachhaltigkeit (vgl. Wikipedia 2022a). Dieser Begriff ist nicht neu. Hans Carl von Carlowitz (1645–1714) prägte ihn Ende des 17. Jahrhunderts in seiner Funktion als Staatsbeamter verantwortlich für die Erzgruben und Hütten des Erzgebirges, damals eines der größten Bergbaugebiete Europas. Diese Erzgruben wie auch die Hütten zur Erzeugung der Metalle mussten mit viel Holz bzw. Holzkohle als Energie- und Rohstoffquelle versorgt werden. Holzkohle war essentiell für die Reduktion von Eisenerz (wie auch anderer Metalloxide) hin zum

metallischen Eisen unter Freisetzung von CO_2. Hierzu wurden in erheblichem Ausmaß Bäume gefällt. Darüber hinaus trugen auch das damals stattfindende Bevölkerungswachstum und die einsetzende Urbanisierung wesentlich zu einem sich schnell beschleunigenden Holzmangel bei.

Zu diesem Zeitpunkt gab es noch kein Regelwerk für eine kontrollierte Waldnutzung verbunden mit entsprechenden Aufforstungsstrategien und -pflichten. Carlowitz realisierte dies wohl als einer der Ersten und führte in diesem Zusammenhang den Begriff der „Nachhaltigkeit" ein. Für ihn stand nicht der Aspekt des Naturschutzes im Zentrum, sondern er war vom Ziel des Erhalts der wirtschaftlichen Grundlage dieser prosperierenden Region getrieben.

Ein weiterer Begriff, der im Zusammenhang mit der Vermeidung oder Abmilderung des Klimawandels häufig anzutreffen ist, ist der der Energiewende. Erstmalig wurde dieser Begriff durch das Öko-Institut in Freiburg im Jahre 1980 verwendet und weist zwei Kernelemente auf. Zum einen den Ausstieg aus nuklearer Technologie zur Bereitstellung elektrischer Energie und zum anderen der Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Seit den frühen 1990er Jahren bis in die Zehnerjahre des 21. Jahrhunderts hinein ging es um die Entwicklung der Basistechnologien z.B. in Bereichen der Photovoltaik und der Windkraft. Daran schließt sich die immer noch laufende Phase der Systemintegration an. Hierunter versteht man die Berücksichtigung der Besonderheiten bei der Einspeisung großer Mengen elektrischer Energie aus fluktuierenden Quellen in Bestandsnetze, die gegebenenfalls angemessen erweitert und verändert werden müssen. Synthetische Kraftstoffe können den begonnenen Übergang in der Antriebstechnik von Fahrzeugen von Verbrennungsmotoren hin zu elektrischen Antrieben unterstützen. Letztendlich soll die Energiewende ihren Abschluss finden bei einer finalen Defossilisierung (nicht Dekarbonisierung) unseres Energiesystems und der Rohstoffversorgung. Kohlenstoffbasierte Verbindungen wird es sicherlich im Bereich der Chemie auch weiterhin geben, aber der enthaltene Kohlenstoff soll nicht mehr aus fossilen Rohstoffen stammen.

3 Situationsbeschreibung

Die Sondersituation der Corona-Pandemie hatte in Deutschland vo-

rübergehend – aufgrund der starken Auswirkungen auf die wirtschaftlichen Aktivitäten – zu einem so nicht vorhersehbaren deutlichen Rückgang der CO_2-Emissionen im Jahr 2020 verglichen mit dem Jahr 2019 geführt. Im Vergleich der Jahre 2021 und 2020 zeigt sich aber ein Wiederanstieg um rund 4,5% und damit eine Rückkehr auf den Entwicklungspfad, der vorher zu beobachten war: ein langsamer Rückgang, verglichen mit dem Referenzjahr 1990. Der Primärenergieverbrauch stieg 2021 im Vergleich zum Vorjahr um 2,6 %, was auch eine Rückkehr auf den vorher zu beobachtenden Pfad bedeutet.

Im Bereich des Anteils der erneuerbaren Energien an den jeweiligen Sektoren sind unterschiedliche Entwicklungen zu beobachten. Im Stromsektors ist ein kleinerer Rückgang auf 41,1 % der Strombereitstellung aus erneuerbaren Energiequellen zu beobachten, weil das Jahr 2021 ein windarmes Jahr war. Im Wärmesektor ist ein Anstieg auf 16,5 % bzgl. der erneuerbaren Energien und im Verkehrssektor ein leichter Rückgang auf 6,8 % zu konstatieren. Die installierte Leistung von Photovoltaik und Windkraft im Besonderen ist um 6,7 GW, entsprechend einem Zuwachs von ca. 10 %, im Jahre 2021 gewachsen.

Eine Gegenüberstellung des Primärenergieverbrauchs in Deutschland nach Energieträgern zwischen den Jahren 1990 und 2021 zeigt einige interessante Entwicklungen. Der Gesamtverbrauch nahm von 14,9 auf 12,2 EJ ab. Hieran sind bei gleichzeitigem Wirtschaftswachstum deutlich Effizienzgewinne erkennbar. Der Anteil des Mineralöls am Portfolio ist fast unverändert bei rund einem Drittel geblieben, wohingegen der Anteil der Stein- und Braunkohle von fast 40% im Jahre 1990 auf nur noch knapp 20 % im Jahre 2021 abgesunken ist. Der Anteil der erneuerbaren Energien ist von etwas mehr als einem Prozent auf 16 % angewachsen. Kernenergie ging von 11 auf 6 % in diesem Vergleich des Primärenergieverbrauchs zurück. Von besonderer Bedeutung gerade in der heutigen Zeit ist aber eine annähernde Verdoppelung des Anteils von Erdgas von vormals 15 auf 27 % im Jahr 2021. Dieser Zuwachs, verbunden mit einem sehr einseitig orientierten Lieferantenportfolio, hat die Grundlage für einen Teil der heutigen Probleme bzgl. der Versorgungssicherheit gelegt und bedarf dringend einer zeitnahen Veränderung.

4 Sektorenkopplung

Ein Schlüsselelement einer erfolgreichen Energiewende liegt in der Kopplung der drei Sektoren Strom, Wärme und Transportdienstleistungen. In diesem Zusammenhang gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten einer technischen Umsetzung.

Zwei der in diesem Zusammenhang wichtigen Technologien, die Silizium-basierte Solarzelle und die Brennstoffzelle, haben beide ihre ersten Schritte im Jahr 1839 gemacht. Becquerel entdeckte in diesem Jahr den photovoltaischen Effekt und Grove entwickelte die erste Brennstoffzelle. Es hat danach jeweils mehr als ein Jahrhundert gebraucht, bis technische Anwendungen dieser beiden Entdeckungen bzw. Entwicklung im großen Maßstab erfolgten. Interessanterweise profitierten beide Technologien von ihrer Anwendung in der Raumfahrt, da dort Kostenerwägungen von nachgeordneter Bedeutung waren, sondern das jeweilige technische Potential im Vordergrund stand. Diese ersten Entwicklungsschritte erlaubten es dann im Zusammenwirken mit unterstützenden politischen wie wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, jenen technischen Reifestand zügig zu erreichen, den wir heute in einer Vielzahl von Anwendungen sehen.

Power-to-heat repräsentiert eine der einfacheren Möglichkeiten der Kopplung zwischen den Sektoren Strom und Wärme. Eine Standardlösung in diesem Zusammenhang stellt die Wärmepumpe in diversen Ausprägungen dar. Der einer Wärmepumpe zugrundeliegende Kreisprozess nutzt Umweltwärme der Luft, des Bodens oder des Wassers, die mittels eines strombetriebenen Kompressors auf ein nutzbares Temperaturniveau angehoben wird. Die zweite Möglichkeit besteht in einer Tauschsieder-analogen Verwendung elektrischen Stroms. Als Beispielshaft sei hier eine entsprechende Ersatzanlage in dem früher rein kohlegefeuerten Heizkraftwerk Reuter der Fa. Vattenfall Wärme AG genannt, in dem heute ein solcher „Tauchsieder“ mit einer Heizleitung von 120 MW Fernwärme für ca. 36.000 Haushalte bereitgestellt.

Die Kopplung zwischen Strom und Verkehr kann in vielerlei Hinsicht erfolgen. Häufig spricht man in diesem Fall über Power-to-Liquid, also die Erzeugung flüssiger Kraftstoffe. Den beiden Kopplungsprozessen Power-to-Liquid und Power-to-Gas ist gemeinsam, dass Wasserstoff über eine Wasserelektrolyse unter Nutzung von Strom aus erneuerbaren Quellen bereitgestellt wird. Die zweite Synthesekompo-

nente ist Kohlenmonoxid, das über eine reverse Wassergas-Shift-Reaktion aus CO_2 hergestellt wird. Die Quelle für dieses CO_2 ist heute im Regelfall eine Punktquelle wie ein Kraftwerk, eine Zementfabrik oder eine ähnliche Anlage. Zukünftig stellt eine direkte Abscheidung des CO_2 aus der Luft eine weitere, heute aber noch technisch nicht hinreichend ausgereifte und ökonomisch noch nicht darstellbar Möglichkeit dar. Die anschließende katalytische Umsetzung von Wasserstoff und Kohlenmonoxid mittels der Fischer-Tropsch-Synthese in verschiedenen Varianten führt zu langkettigen Kohlenwasserstoffen, Methanol oder Methan. Das sind sehr gut verstandene Prozesse mit einem sehr hohen technischen Entwicklungspotential (TRL 8 bis 9, d.h. im Wesentlichen marktreif bzw. am Markt verfügbar). Nach einer weiteren Aufbereitung der flüssigen Produkte in einer Raffinerie werden auf diese Weise so genannte eFuels erzeugt. Über Verbrennungsprozesse kann dann bedarfsgerecht Wärme und, daran angeschlossen, mechanische und/oder elektrische Energie über die Wirkkette Turbine bzw. Motor und dann Generator bedarfsgerecht gewonnen werden kann.

Einen Sonderfall der Kategorie Power-to-gas ist in der Herstellung des Wasserstoffs mittels Elektrolyse zu sehen, wenn dieser nicht anschließend für die weitere Synthese, sondern als Energieträger für den Betrieb einer Brennstoffzelle oder die Direktverbrennung in einer Gasturbine genutzt wird. Auf diesem Wege wird dann direkt bzw. indirekt (über einen mit der Gasturbine gekoppelte Generator) dann wieder elektrischer Energie bereitgestellt. Der Wasserstoff übernimmt bei diesem Ansatz die Rolle eines chemischen Speichers.

Power-to-move beschreibt die Verwendung von Strom in Batterien zur Sicherstellung von Mobilitätsanwendungen, wobei der elektrische Strom aus erneuerbaren Quellen auch hier wiederum in Wasserstoff umgewandelt und dann durch Brennstoffzellen für Mobilitätsanwendungen genutzt werden kann.

Die Gegenüberstellung der Gesamtwirkungsgrade entlang der diversen Prozessketten zeigt aber auch die Herausforderungen im Zusammenhang mit diesen Kopplungsansätzen auf. Am Beispiel der Kopplung von elektrischer Energie und Verkehr soll dieses exemplarisch erläutert werden. Die direkte Speicherung elektrischer Energie in einer Batterie in einem Fahrzeug und deren Nutzung in einem elektrischen Antrieb unter Berücksichtigung eines Verbrauchs von 20 kWh/100 km resultiert in einer Reichweite von 5 km/kWh. Hierbei sind die Lade-

und Entladeverluste der Batterie sowie die mechanischen Verluste im Fahrzeug berücksichtigt. Bei einem klassischen Verbrennungsmotor unter Nutzung fossilen Diesels oder Benzins und einem Verbrauch von 6 l/100 km (entsprechend ca. 65 kWh/100 km) liegt bei entsprechender Betrachtung die Reichweite des Fahrzeugs bei 1,5 km/kWh. Für die oben beschriebenen eFuels und die mit deren Herstellung verbundenen energetischen Aufwendungen ergibt sich eine Reichweite von nur noch ca. 1 km/kWh, so dass ein breiter Einsatz dieser Kraftstoffe einer sorgfältigen Bewertung des energetischen Gesamtaufwandes bedarf.

5 Energiesystem

Die Energiewende geht einher mit der Notwendigkeit des Aufbaus fossilfreier wie flexibler Erzeugung, insbesondere unter Berücksichtigung der zeitlich fluktuierenden Bereitstellung elektrischer Energie aus Photovoltaik und Windkraftanlagen und ggf. notwendiger Grundlastbereitstellung. Hinzu kommt der unverzichtbare Aufbau substantieller kurz-, mittel- und langfristiger Speicherkapazitäten erheblicher Größe. Energiespeicher sind in den zukünftigen Netzen mit dezentralen Energiequellen eine unverzichtbare Komponente, um einen stabilen Betrieb zu gewährleisten.

Sie dienen zur Lösung der folgenden Problemstellungen:

- Energetischer Ausgleich der zeitlichen Schwankungen von Angebot und Nachfrage
- Entlastung der Versorgungsnetze durch Spitzenlastdeckung
- Verringerung der Übertragungsverluste, Reduzierung der Investitionskosten für Energieübertragungsanlagen und
- Verbesserung der Netzqualität durch dezentrale Pufferung bei Fehlerquellen.

Für die einzelnen Sektoren bzgl. der Endenergie (Strom, Wärme und Transport) gibt es jeweils spezifische Speichertechnologien, es finden sich aber auch Ansätze, die sektorübergreifend sind.

Im Bereich der Speicherung elektrischer Energie finden sich Speichertypen diverser Größenordnungen für unterschiedliche Energiemengen, wie Pumpspeicher, Batteriespeicher, wie auch sehr schnelle, aber kleine Kondensatoren, so genannte Supercaps. Wärme kann in solarthermische Warmwasserspeicher, Phasenwechselmaterialien (PCM) oder auch Zeolithen mittels Adsorption eingespeichert und mit

hohen Wirkungsgraden auch wieder abgerufen werden. Im Bereich des Verkehrs erfordert die Energiewende und die damit verbundene Abkehr von flüssigen fossilen Endenergieträger (Benzin, Diesel, Kerosin) eine deutliche Umstellung. Bei diesen Energieträgern war der Energieträger auch gleichzeitig der Speicher in Form chemischer Energie. Die kleinste Änderung ergibt sich noch bei der Nutzung der, wie oben angesprochen, in der Herstellung energetisch aufwendigen synthetischen Kraftstoffe. Der Übergang zu elektrischen Antrieben erfordert die Bereitstellung elektrischer Energie, die in Batterien gespeichert werden kann, oder von aus elektrischer Energie via Elektrolyse gewonnenem Wasserstoff, der mittels Brennstoffzelle wieder in elektrische Energie zurückgewandelt werden kann.

Energieversorgungssysteme sind aus vielerlei Gründen im Regelfall keine kleinen autarken Einheiten. Dies betrifft insbesondere den Aspekt der Versorgungssicherheit, aber auch Kosteneffizienz spielt hierbei eine wichtige Rolle. Im Bereich der Hochspannungs-Übertragungsnetze gibt es eine enge europäische Vernetzung und einen intensiven Transport elektrischer Energie über europäische Grenzen hinweg. Im Jahr 2021 hat Deutschland in seine verschiedenen Nachbarländer summarisch 57,0 TWh exportiert und 39,6 TWh importiert, so dass es zu einem positiven Austauschsaldo von 17,4 TWh kam. Ein Importüberschuss gab es hier im Wesentlichen mit den skandinavischen Ländern, während es bei allen anderen europäischen Nachbarn zu einem Exportüberschuss kam.

Im Rahmen der deutschen Energiewende kommt es zu einem grundsätzlichen Wandel der Erzeugungsstruktur bzgl. der Bereitstellung elektrischer Energie. Die zukünftige Erzeugung wird überwiegend auf Photovoltaik und Wind als Quellen zurückgreifen. Dies ist aber nicht die einzige zu lösende Herausforderung. Durch die angesprochene Sektorkopplung ist mit einem deutlichen Anstieg hin zu einer Verdopplung des elektrischen Endenergiebedarfs von rund 600 auf über 1200 TWh zu rechnen. Diesem Zuwachs muss ein entsprechender Ausbau der Übertragungs- und Verteilnetzkapazitäten gerecht werden.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob wir in Deutschland hinreichend Flächen für einen entsprechenden Ausbau der Erzeugungskapazitäten bereitstellen können. Für den Ausbau von Windkraftanlagen geht das Fraunhofer-Institut ISE von einem Bedarf an installierter Onshore-Windleistung bis 2050 im Szenario „Referenz“ von 263

GW aus (Sterchele/Brandes/Heilig/Wrede/Kost/Schlegl 2020). Ebenfalls unter der Annahme des vollständigen Repowerings bedeutet dies einen Bedarf von 65.750 Anlagen. Aktuell installiert sind in Deutschland 29.456 Anlagen (Bundesverband WindEnergie 2022). Eine Windkraftanlage benötigt als Standfläche und Versorgungswege (Schotter) ungefähr 8000 Quadratmeter, d.h. 0,8 Hektar (Europaeische Energiewende Community 2022). Für die oben genannte Menge an Anlagen bedeutet dies einen Gesamtflächenbedarf von 526 km². Das mag als enorm erscheinen, jedoch ist er im Vergleich zum Flächenbedarf heutiger Energieversorgungskonzepte nicht übermäßig groß. Die aktuell in Betrieb befindlichen Braunkohletagebaue belegen 230 km² (WIKIPEDIA 2022). Ein anderer Vergleich: alle Kraftfahrzeuge (durchschnittliche Flächenbedarf 10 m²) in Deutschland auf einem riesigen Parkplatz abgestellt, würden eine Fläche von 648 km² einnehmen (KBA 2022; automobiledimension 2022).

Im Bereich der Photovoltaik geht das FhG-ISE Referenz-Szenario von einem Bedarf an 415 GWp (Gigawatt-Peak, d.h. bei perfekter Einstrahlung erzielbarer) Leistung durch Solaranlagen in Deutschland aus. Hierbei wird im Rahmen dieser Studie angenommen, dass ungefähr ein Drittel der Anlagen auf Freiflächen, der Rest auf Ost-, West- und Süd-Dächern installiert werden (Quaschning 2016; Sterchele/Brandes/Heilig/Wrede/Kost/Schlegl 2020). Die Leistung von Photovoltaik-Anlagen pro Hektar variiert sehr stark je nach Anlagenform- und Bauart zwischen 0,5 MWp/ha und 1 MWp/ha (SOLARANLAGENPORTAL 2022; SOLARANLAGEN ABC 2022). Dies führt zu einem Gesamtflächenbedarf von 4.150 km² bis 8.392 km². Dieser Sachverhalt muss im Vergleich zur Gesamtsiedlungsfläche in Deutschland (also der bebauten Fläche) 33.362 km² bewertet werden (Umweltbundesamt 2021; Statista 2016). Es müssten somit knapp 17 % der Dächer mit Solarzellen belegt werden, dazu noch knapp 2.800 km² an Freiflächenanlagen, was ca. 17 % der Verkehrsfläche (Straßen) Deutschlands entspricht.

6 Wasserstoff

Wasserstoff spielt in vielen Betrachtungen zu einem zukünftigen Energiesystem eine wichtige Rolle, da bei der Wasserelektrolyse zeitlich fluktuierend anfallende elektrische Energie in einen gut handbaren chemi-

schen Energieträger überführt wird. Die Nutzung des anfallenden Wasserstoffs ist in vielfältiger Art und Weise möglich. Bezüglich der Herkunft des Wasserstoffs gibt es eine ausgedehnte Farbenlehre zu seiner Kennzeichnung. Beispielhaft seien hier grüner Wasserstoff basierend auf dem Einsatz von Strom ausschließlich aus erneuerbaren Quellen für die Elektrolyse und blauer Wasserstoff, der auf Prozessen beruht, bei denen zwar fossile Energieträger zum Einsatz kamen, dabei entstandenes CO_2 aber abgetrennt und gespeichert (CCS) wurde, genannt.

Neben der Zurückverwandlung in elektrische Energie entweder direkt durch eine Brennstoffzelle oder indirekt durch Verbrennungsprozesse mit angekoppeltem Generator, gibt es eine Vielzahl chemischer Verbindungen, deren Herstellung auf die Verfügbarkeit von Wasserstoff angewiesen ist. Hierzu zählt in prominenter Weise das Haber-Bosch-Verfahren zur Herstellung von Ammoniak, von dem wiederum die Düngemittelindustrie entscheidend abhängig ist. Gleichzeit stellt Ammoniak aber auch einen wichtigen Wasserstoffträger dar, aus dem nach einem Pipeline- oder Schiffstransport Wasserstoff wieder zurückgewonnen werden kann. Des Weiteren kann Wasserstoff auch zur Produktion von Kraftstoffen, wie bereits diskutiert, Einsatz finden.

Bezüglich des zukünftigen Wasserstoffbedarfs gibt es eine große Bandbreite an Schätzungen und Erwartungen, die eine technische Planung nicht einfach gestalten. Marktteilnehmer haben im Rahmen der Marktabfrage „Wasserstoff Erzeugung und Bedarf“, die von Fernleitungsnetzbetreibern durchgeführt wurde, insgesamt 488 Wasserstoffprojekte gemeldet. Im Netzentwicklungsplan Gas sind gemeldete Wasserstoffbedarfe in Deutschland von 231 TWh für den Zeitraum bis 2032, über 427 TWh bis 2040 und 598 TWh bis 2050 hinterlegt. Dieses stellt eine erwartete Steigerung um fasst eine Größenordnung verglichen mit dem aktuellen Wasserstoffbedarf von 55 bis 60 TWh (DIHK-Faktenpapier, Nationale Wasserstoffstrategie) dar.

Es gibt eine große Bandbreite an Studien zum erwarteten Hochlauf des Wasserstoffbedarfs, wobei sich aber noch kein einheitliches Bild ergibt. Das gleiche gilt für das Ausmaß des zu erwartenden Importbedarfs an Wasserstoff, der wiederum einen starken Einfluss auf die hierfür zu errichtende Infrastruktur hat.

7 Zusammenfassung

Eine kontinuierliche Erhöhung der Energieeffizienz in allen Sektoren ist der Schlüssel zur Reduktion des Energiebedarfs, wobei hierbei Kostenaspekte nicht aus den Augen verloren werden dürfen. Eine solche energetische wie stoffliche Effizienz reduziert auch die Treibhausgas-Emissionen.

Im Bereich des Wärmesektors stellt die zügige Sanierung des Gebäudebestands die größte Herausforderung dar. Rund 40 % des gesamtdeutschen Energieverbrauchs entfallen bisher auf den Gebäudebereich, 25 % davon auf Wohngebäude, der Anteil für Warmwasser und Raumwärme macht daran wiederum gut 80 % aus. Drei Viertel der Bestandsbauten wurde dabei noch vor der ersten Wärmeschutzverordnung von 1979 errichtet. Sie sind häufig noch nicht oder kaum energetisch saniert, auch sind die Heizungssysteme veraltet. Laut einer Studie des Umweltbundesamts lassen sich die Emissionen im Gebäudebereich durch eine Steigerung der Energieeffizienz um etwa 20 bis 30 Millionen Tonnen CO_2 reduzieren.

Im Verkehrsbereich sinkt seit Jahren, wenn auch zu langsam, durch technische Verbesserungen der spezifische Energieverbrauch pro Verkehrsleistung. Hierbei muss aber beachtet werden, dass ein Teil dieser technikbedingten Einsparungen durch ein zeitgleiches Anwachsen der Fahrzeuggewichte verloren geht. Eine Elektrifizierung bringt in diesem Sektor weitere Effizienzsteigerungen durch höhere Antriebswirkungsgrade. Der erhebliche energetische Aufwand für die Erzeugung synthetischer Kraftstoffe („eFuels“) lässt eine direkte Nutzung elektrischer Energie in batterieelektrischen Fahrzeugen oder, zumindest in Teilbereichen, Fahrzeugen mit Brennstoffzellen sinnvoller erscheinen.

Im Bereich industrieller Anwendungen soll der Primärenergiebedarf bis 2050 gegenüber 2008 halbiert werden. Neben dem Einsatz energieeffizienter Maschinen und Anlagen lässt sich die Gesamteffizienz des Energiesystems steigern, wenn die mit hohen Energieverlusten behaftete Zwischenspeicherung von fluktuierender elektrischer Energie aus erneuerbaren Energiequellen vermieden und der Strom vor allem dann genutzt wird, wenn er anfällt. Dies ermöglicht es Unternehmen, auf die Schwankungen der Strompreise zu reagieren und diese wirtschaftlich zu nutzen. Zu diesem Zweck bedürfe es einer einheitlichen Informationsgrundlage, um Industrieprozesse auf diese neuen Herausforderungen eines energieflexiblen Betriebs auszurichten.

Bibliographie

automobiledimension (2022): Auto Abmessungen der europäischen Automobilmarkt mit Foto von jedem Neuwagen Maße und seinen Dimensionen von Länge, Breite und Höhe. https://de.automobile-dimension.com/

Bundesverband WindEnergie (2022): *Windenergie in Deutschland – Zahlen und Fakten*. Berlin, www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/deutschland/

Europaeische Energiewende Community (2022): *Behauptungen zur Windkraft – Abholzung*. Frankfurt/M., https://energiewende.eu/-windkraft-abholzung/

KBA (2022): Bestand. Kraftfahrt-Bundesamt. Flensburg, https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand_node.html

Quaschning, Volker (2016): Sektorkopplung durch die Energiewende. *Anforderungen an den Ausbau erneuerbarer Energien zum Erreichen der Pariser Klimaschutzziele unter Berücksichtigung der Sektorkopplung*. Berlin: Hochschule für Technik und Wirtschaft, https://www.volker-quaschning.de/publis/studien/sektorkopplung/index.php https://www.volker-quaschning.de/publis/studien/sektorkopplung/index.php

SOLARANLAGENPORTAL (2022): *Leistung von Photovoltaikanlagen*. Hamburg, https://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/-leistung

SOLARANLAGEN ABC (2022): *Solaranlagen für Freiflächen*. Stuttgart, https://www.solaranlagen-abc.de/solaranlagen-fuer-freiflaechen/

Statista (2016): *Anteil der Straßen in Deutschland an der Gesamtfläche des Landes im Jahr 2014*. Hamburg, https://de.statista.com/statistik/-daten/studie/163401/umfrage/anteil-der-strassen-in-deutschland-an-der-gesamtflaeche/

Sterchele, Philip/Brandes, Julian/Heilig, Judith/Wrede, Daniel/Kost, Christoph/Schlegl, Thomas (2020): *Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen*. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem.pdf

Umweltbundesamt (2021): *Struktur der Flächennutzung*. Dessau,

https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/struktur-der-flaechennutzung#die-wichtigsten-flachennutzungen

WIKIPEDIA (2022a): *Nachhaltigkeit*. https://de.wikipedia.org/wiki/Nachhaltigkeit

WIKIPEDIA (2022): *Liste deutscher Braunkohletagebaue*. https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_deutscher_Braunkohletagebaue

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *155 (2022), 31–34*

Das Energienetz der Zukunft

Barbara Saerbeck

Abstract
A study published in June 2022 by Agora Energiewende entitled "Climate-neutral electricity system 2035 – How the German electricity sector can become climate-neutral by 2035" examines the question of how the German electricity system can be converted to renewable energies by 2035. The study analyzes the consequences for power generation and consumption and highlights the effects on grid expansion and operation. The following remarks are based on the results.

Resümee
Eine im Juni 2022 von Agora Energiewende veröffentlichte Studie mit dem Titel „Klimaneutrales Stromsystem 2035 – Wie die deutsche Stromwirtschaft bis 2035 klimaneutral werden kann" geht der Frage nach, wie das deutsche Stromsystem bis 2035 auf erneuerbare Energien umgestellt werden kann. Die Studie analysiert die Folgen für Stromerzeugung und -verbrauch und beleuchtet die Auswirkungen auf Netzausbau und -betrieb. Die folgenden Ausführungen basieren auf den Ergebnissen.

Keywords/Schlüsselwörter
Climate-neutral electricity system, study, grid expansion and operation
Klimaneutrales Stromsystem, Studie, Netzausbau und -betrieb

1 Einführung

Die fossile Energiekrise zeigt, wie essenziell der schnelle Ausbau der Erneuerbaren Energien für die Energiesicherheit und den Industriestandort Deutschland ist. Die Koalitionsparteien der neuen Bundesre-

gierung haben sich ambitionierte Ziele gesetzt. Laut der im Juli 2022 verabschiedeten Novelle des Erneuerbaren-Energien-Gesetz soll bis zum Jahr 2030 der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch auf mindestens 80 Prozent steigen. Darüber hinaus hat sich Deutschland im Rahmen seiner G7-Präsidentschaft erfolgreich dafür eingesetzt, dass die G7-Länder bis 2035 einen überwiegend dekarbonisierten Stromsektor anstreben.

Die Umstellung auf ein erneuerbares Stromsystem ist ein entscheidender Wegbereiter für die gesamtwirtschaftliche Transformation zur Klimaneutralität bis zum Jahr 2045. Damit dies gelingt, muss der jährliche Zubau von Dach- und Freiflächenphotovoltaik mehr als vervierfacht, der Zubau von Windkraft an Land rund versechsfacht und der Zubau der Windenergie auf See ebenfalls massiv gesteigert werden. Darüber hinaus ist beim Aus- und Umbau der Stromnetze ein neues Umsetzungstempo gefragt, was bei der Planung und Umsetzung der Strom- und Wasserstoffinfrastruktur einen Paradigmenwechsel voraussetzt.

2 Stromnetzausbau beschleunigen

Zur Erreichung der Klimaneutralität braucht Deutschland eine beispiellose Verstärkung und Erweiterung des Stromübertragungsnetzes – ein Anstieg von rund 15.000 Stromkreiskilometern auf rund 50.000 im Jahr 2035 gegenüber heute.[1] Um die Transportaufgaben in einem klimaneutralen Stromsystem erfüllen zu können, müssen die Herausforderungen für einen sicheren Stromnetzbetrieb in einem von Erneuerbaren Energien geprägten System zügig angegangen werden. Dazu muss ein breites Technologieportfolio unterschiedlichster Netzoptimierungs-, Netzverstärkungs- und Netzausbautechnologien genutzt werden.

Wichtig dabei ist, die Herausforderungen nach dem Jahr 2035 für die Stromnetze bereits in den Blick zu nehmen – der in der Studie genannte Netzausbau stellt lediglich ein Zwischenziel dar: Erstens wächst der Strombedarf durch steigende Nachfrage von anderen Sektoren auch nach 2035 weiter. Zweitens gewinnt der Stromaustausch innerhalb

[1] Bei der Einordnung dieser Ergebnisse ist zu beachten, dass diese ausschließlich für das betrachtete Szenario gültig sind und keine allgemeingültige Aussage über den mit der Umsetzung eines klimaneutralen Stromsystems einhergehenden Netzausbaubedarf erlauben.

Europas mit wachsenden Anteilen von Erneuerbaren Energien auch über 2035 hinaus deutlich an Bedeutung.

3 Flexibilitätspotenziale nutzen und systemdienlich einbinden

Neben dem Netzausbau und -umbau hin zu einer flexiblen, optimierten und sicheren Netzbetriebsführung sind mit zunehmender Einspeisung aus fluktuierenden Erneuerbaren Energien und dem Rückgang konventioneller Kraftwerksleistung weitere Flexibilitätsoptionen gefragt. Neue Verbraucher wie Elektromobilität, Wärmeerzeuger und Elektrolyseure, sowie Batteriespeicher und Pumpspeicherkraft bieten hier erhebliche Flexibilitätspotenziale, wenn sie systemdienlich betrieben werden.

Elektrofahrzeuge können beispielsweise flexibel geladen werden und zudem durch bidirektionales Laden (auch *Vehicle-to-Grid* genannt) als Stromspeicher eingesetzt werden. Wärmepumpen bieten zusätzliche Flexibilität auf der Nachfrageseite durch das Speicherpotenzial der Gebäude selbst und Wärmespeicher im Heizkreis. Anwendungen, die Strom direkt in Wärme umwandeln (Power-to-Heat) wie Heizstäbe oder Elektrodenkessel, sind darüber hinaus eine günstige Flexibilitätsmöglichkeit, um Strom in Stunden hoher Erzeugung aus Erneuerbaren Energien in Wärmeanwendungen (Industrie, Nahwärme, Fernwärme etc.) zu verwenden, statt ihn abzuregeln. Nicht zuletzt erzeugen Elektrolyseure Wasserstoff in Zeiten mit hoher erneuerbarer Erzeugung, in denen der Strom anderweitig nicht genutzt oder transportiert werden kann.

4 Energieinfrastruktur zusammen denken und planen

Erneuerbarer Strom wird im klimaneutralen Deutschland 2045 dank der Elektrifizierung von Prozessen oder indirekt, als Wasserstoff oder synthetischer Energieträger, zu den Abnehmern gelangen. Die stärkere Kopplung der Sektoren Strom, Verkehr, Wärme und Industrie durch Elektrofahrzeuge, elektrische Wärmeerzeuger und Elektrolyseure wirkt sich fundamental auf die Strom- und Wasserstoffnetzplanung aus.

Die schnelle Verfügbarkeit von einem ausreichend dimensionierten Wasserstoffbasisnetz sowie von Wasserstoffspeichern zur zeitlichen Entkopplung von Wasserstofferzeugung und -nachfrage ist eine unab-

dingbare Voraussetzung für eine aus Stromsystemsicht optimierte Standortwahl von Elektrolyseuren und steuerbaren gasbasierten Erzeugungsanlagen. Diese zum Teil grundlegenden Veränderungen sind in der bisherigen Netzplanung nicht ausreichend berücksichtigt.

Die aktuell separaten Planungsprozesse der Strom-, Gas- und Wasserstoffinfrastruktur nutzen Synergien nicht und können entsprechend nur begrenzt voneinander lernen. Mehr noch, die aktuell separaten Planungsprozesse führen zu weitreichenden Verzögerungen beim Ausbau der deutschen Energieinfrastruktur.

5 Jetzt die Weichen für die Zukunft stellen

Weitsichtige Energie- und Klimapolitik muss jetzt den bevorstehenden Ausstieg aus dem Gas sowie den Umstieg auf Wasserstoff und den Ausbau der Stromnetze planen. Nur mit einer gemeinsamen Planung kann der sektorübergreifende Infrastrukturbedarf ermittelt und zügig ausgebaut werden. Eine Änderung des Planungsverfahrens hin zu einer integrierten Systemplanung ist erforderlich. Besonders im Fokus stehen dabei der Stromnetzausbau und die Schaffung der notwendigen Wasserstoffinfrastruktur (Erzeugung/Importe, Basisnetz, Speicher) sowie die Absicherung von Investitionen in Windkraft, Solarenergie und für den Bau regelbarer Kraftwerke, die mit grünem Wasserstoff betrieben werden können.

Für einen effizienten Netzbetrieb müssen zudem der Ort von Erzeugung und Verbrauch von Strom stärker berücksichtigt werden. Das könnte durch die Einführung von regional unterschiedlichen Preisen geschehen, zum Beispiel durch eine Reform der Netzentgelte, um die Verfügbarkeit von grünem Strom im lokalen Netz widerzuspiegeln. Zentral ist des Weiteren die Ausarbeitung und Implementierung eines Maßnahmenpakets für einen sicheren Systembetrieb bei 100 Prozent Erneuerbaren Energien, das Technologien für Systemdienstleistungen und den effizienten Umgang mit Netzengpässen fördert.

Bibliographie

Agora Energiewende, Prognos, Consentec (2022): *Klimaneutrales Stromsystem 2035. Wie der deutsche Stromsektor bis zum Jahr 2035 klimaneutral werden kann*. URL: https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-stromsystem-2035/ (abgerufen am 08.09.2022).

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *155 (2022), 35–55*

Entwicklungstendenzen bei der Wärmeversorgung mit Wärmenetzen

Kerstin Becker und Ernst-Peter Jeremias

Abstract

District heating networks have a long tradition in the history of technology. Today's energy supply would be unthinkable without them. Historically, the beginnings of public district heating can be found in the 19th century in the USA. According to AGFW, as of 2020, heat output capacities of 23.2 GW (maximum heat load of all networks) were operated in Germany with a heat output to customers of 241 GJ. Due to the current quantitative and cost-related uncertainties in the provision of the fossil fuels heating oil and natural gas as a result of the Russian aggression in the Ukraine, existing local and district heating networks will have to be assigned a key role in the substitution of wealth with income energies. They will therefore probably have to make a larger contribution to the transformation process of the necessary climate change faster than expected. So far we have distinguished between four generations of heating networks. The so-called "cold networks" will be the 5th generation in the future and will enable high energy efficiency. Modern local and district heating networks are an important part of public services. The complexity of the technical and physical relationships requires new planning and operational management strategies for generation 4 and 5 heating networks. The requirements are described in the article and explained using selected examples.

Resümee

Fernwärmenetze haben in der Geschichte der Technik eine lange Tradition. Sie sind aus unserer heutigen Energieversorgung nicht mehr wegzudenken. Historisch gesehen finden sich die Anfänge der öffentlichen Fernwärmeversorgung im 19. Jahrhundert in den USA. Laut AGFW wurden mit Stand 2020 in Deutschland Wärmeleistungskapazitäten in Höhe von 23,2 GW (Wärme-

höchstlast aller Netze) mit einer Wärmeabgabe an Kunden von 241 GJ betrieben. Durch die aktuellen mengen- und kostenseitigen Unsicherheiten bei der Bereitstellung der fossilen Energieträger Heizöl und Erdgas in Folge der russischen Aggression in der Ukraine wird bestehenden Nah- und Fernwärmenetzen eine Schlüsselrolle bei der Substitution von Vermögens- durch Einkommensenergien zuzuordnen sein. Sie werden damit schneller als erwartet voraussichtlich einen größeren Beitrag im Transformationsprozess des Energieversorgungssystems übernehmen müssen. Wir unterscheiden bisher vier Generationen von Wärmenetzen. Die sogenannten „Kaltnetze" sind zukünftig die 5. Generation und ermöglichen eine hohe Energieeffizienz. Moderne Nah- und Fernwärmenetze sind ein wichtiger Bestandteil der öffentlichen Daseinsvorsorge. Die Komplexität der technisch-physikalischen Zusammenhänge erfordert neue Planungs- und Betriebsführungsstrategien von Wärmenetzen der Generationen 4 und 5. Die Anforderungen werden im Beitrag beschrieben und an ausgewählten Beispielen erläutert.

Keywords / Schlüsselwörter
District heating network, energy supply, transformation process, "cold networks", public services, planning strategy; operational management strategy
Fernwärmenetz, Energieversorgung, Transformationsprozess, „Kalte Netze", Daseinsvorsorge, Planungsstrategie; Betriebsführungsstrategie

1 Historische Entwicklung und Definition von Fernwärmenetzen

Fernwärmenetze haben in der Geschichte der Technik eine lange Tradition. Sie sind aus unserer heutigen Energieversorgung nicht mehr wegzudenken. Im Gegenteil. Die aktuelle internationale Situation im Sommer 2022 und die resultierende, verschärfte Lage auf dem Energiemarkt rücken Nah- und Fernwärmenetze stärker als bisher in den Fokus. Der Beitrag wird einige Aspekte dieser Tendenz näher beleuchten.

Historisch gesehen finden sich die Anfänge der öffentlichen Fernwärmeversorgung im 19. Jahrhundert in den USA. Zwischen 1879 und 1889 wurden erste Lizenzen für den öffentlichen Fernheizbetrieb in New York erteilt. In Deutschland wurden um 1870 erste größere Fernheizungen zunächst zur Eigenversorgung (vorrangig Krankenanstalten wie z. B. in Andernach, Beelitz, Bonn und Düsseldorf) errichtet. 1893 sind dann in Kiel erste Fernwärmeversorgungen für benachbarte Wohngebäude errichtet worden. Weitere Meilensteine der Entwicklung

der Fernwärmeversorgung in Deutschland, die zunächst als „Städteheizung“ bezeichnet wird, sind:

- Inbetriebnahme des staatlichen „Fernheiz- und Elektrizitätswerks Packhofstraße“ im Dezember 1900 in Dresden.
- Es folgen München (1901), Karlsruhe (1906), Kiel (1907), Leipzig (1912) und Berlin (1912).

Ab 1920 ist die Entwicklung sprunghaft. 1932 wird der Vorläufer der Arbeitsgemeinschaft Fernwärme (AGFW) gegründet (AGFW01 2022).

Die AGFW fördert heute als effizienter, unabhängiger und neutraler Spitzenverband die Kraft-Wärme-Kopplung, (Fern-)Wärme und Kälte auf nationaler und internationaler Ebene. Als Regelsetzer und Dienstleister der Branche vertritt die AGFW seit 50 Jahren mit ihrem technischen, energie- und umweltpolitischen, juristischen, betriebswirtschaftlichen Know-how die Interessen von mehr als 550 Unternehmen der Kraft-Wärme-Kopplung, der Wärmewirtschaft und der Industrie (AGFW02 2022). Heute sind in der AGFW insgesamt 541 Mitglieder vereinigt (AGFW03 2022).

Im Nachkriegsdeutschland stieg die Einspeisung in Wärmenetze von 10 PJ pro Jahr im Jahr 1950 auf 110 PJ im Jahr 1970, also um das 11-Fache. Die angestrebte Steigerung der gesamtstädtischen Energieeffizienz und der geförderte Einsatz regenerativer Energien bedeutet heute einen hohen Stand existierender Fernwärmesysteme und gleichermaßen einen weiteren Ausbau von Nah- und Fernwärmesystemen.

Laut AGFW wurden mit Stand 2020 in Deutschland Wärmeleistungskapazitäten in Höhe von 23,2 GW (Wärmehöchstlast aller Netze) mit einer Wärmeabgabe an Kunden von 241 GJ betrieben. Die Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen hat mit 28 TWh zur deutschen Stromerzeugung beigetragen. Bei der Energieerzeugung hat bisher Erdgas je nach Erzeugungskonzept mit einem Anteil zwischen 50 und 87 % eine herausragende Bedeutung (AGFW04 2022). Jetzt zeigt sich aber, dass die bisherige alternativlose strategische Ausrichtung der meisten Fernwärmesysteme auf Erdgas die Branche vor große Herausforderungen stellt.

Durch die aktuellen mengen- und kostenseitigen Unsicherheiten bei der Bereitstellung der fossilen Energieträger Heizöl und Erdgas in Folge der russischen Aggression in der Ukraine wird bestehenden Nah- und Fernwärmenetzen eine Schlüsselrolle bei der Substitution von

Vermögens- durch Einkommensenergien zuzuordnen sein. Sie werden damit schneller als erwartet voraussichtlich einen größeren Beitrag im Transformationsprozess des Energieversorgungssystems übernehmen müssen. Auch im Neubaubereich entstehen hier schneller größere Herausforderungen, als ursprünglich prognostiziert.

Fernwärme ist die Bezeichnung für eine Wärmelieferung zur Versorgung von Gebäuden bzw. Liegenschaften mit Heizung sowie Energie für Produktionsprozesse. Der Transport der thermischen Energie erfolgt in einem wärmegedämmten Rohrsystem, das überwiegend erdverlegt ist, teilweise werden auch noch Freileitungen verwendet. Als Nahwärme wird die Lieferung von Energie zum Zweck der Gebäudeheizung bezeichnet, wenn dieses nur über eine kurze Strecke, in der Regel auf Quartiersebene erfolgt. Der Übergang zur Fernwärme und den dort vorherrschenden größeren Wärmemengen und in einem ausgedehnteren Leitungsnetz ist fließend.

> „Wird Wärme von einem Dritten nach unternehmenswirtschaftlichen Gesichtspunkten eigenständig produziert und an andere geliefert, so handelt es sich um Fernwärme. Auf die Nähe der Anlage zu den zu versorgenden Gebäuden oder das Vorhandensein eines größeren Leitungsnetzes kommt es nicht an.“ (Wikipedia1 2022)

2 Klassifizierung von Fernwärmenetzen

Wir unterscheiden bisher vier Generationen an Wärmenetzen (Wikipedia2 2022). Historisch hat die Entwicklung von Wärmenetzen mit einer Nutzung von Wasserdampf begonnen. Die erste Generation wird einem Zeitraum von ca. 1880 bis 1930 zugeordnet. Die damaligen Systeme wurden also vorrangig als Dampfsysteme betrieben. Dementsprechend waren hohe Vorlauftemperaturen t_V bis 200 °C und Rücklauftemperaturen t_R bis zu 80 °C charakteristisch. Das hatte hohe Wärmeverluste und damit eine niedrige Effizienz des Wärmeversorgungssystems zur Folge. Kohle als Primärenergieträger war der dominierende Brennstoff. In der Folge sind in der zweiten Generation die Wärmenetze auf Heißwassersysteme umgestellt worden. Zur Verbesserung der Energieeffizienz wurden die Vor- und Rücklauftemperaturen schrittweise abgesenkt, so dass in den Wärmenetzen der 3. Generationen ab etwa 1980 Vorlauftemperaturen unter 100 °C und Rücklauftemperatu-

ren unter 45 °C angestrebt werden. Als Energieträger für die Wärmeerzeugung haben sich seit 1930 zusätzlich Heizöl und seit 1980 Erdgas gegenüber Kohle durchgesetzt. In Ballungsgebieten wird auch die thermische Müllverwertung für die Wärmeerzeugung genutzt. Der Einsatz von Erdgas hat die Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung beflügelt, also die gleichzeitige Erzeugung von Elektro- und Wärmeenergie in Blockheizkraftwerken. Das hat einerseits zu einer weiteren Erhöhung der energetischen Effizienz von Nah- und Fernwärmesystemen beigetragen, erweist sich andererseits heute vor dem Hintergrund der plötzlichen massiven Verknappung bzw. Verteuerung von Erdgas als problematisch. Mit den Diskussionen zum Klimaschutz, beginnend Mitte der 70-iger Jahre, steht das Thema einer energetischen Effizienzerhöhung weiterhin auf der Tagesordnung. Der Lösungsansatz besteht dabei in einer weiteren Absenkung der Netztemperaturen und dem „Umbau" bestehender Wärmenetze auf „Sammelbecken" für jegliche Arten von Einkommensenergien und für „Abfall- bzw. Umweltwärme".

Ein nachhaltiges Beispiel ist das Projekt „Wärmedrehscheibe Hennigsdorf" der Stadtwerke Hennigsdorf GmbH. Energiequellen der „Wärmedrehscheibe" sollen u.a. sein:

- Nutzung von Abwärme aus einem Stahlwerk: Das Walzwerk liefert schubweise bis zu 10 MW Abwärme, die in einem Multifunktionsspeicher gepuffert werden.
- Nutzung solarthermischer Energie: Eine Anlage mit 15.000 m² Kollektorfläche sowie weitere dezentrale solarthermische Anlagen.
- Betrieb eines Biomasseheizkraftwerks: Schon seit 2009 werden 50 % der Fernwärme aus Holzhackschnitzeln gewonnen.
- Betrieb von Biomethan-BHKW und -HKW: Kleine, flexible Einheiten decken den Spitzenbedarf, dienen teils als Notstromversorgung für Industriebetriebe und sichern die Schwarzstartfähigkeit des Stromnetzes.
- Nutzung von Regenerativstrom: Elektrokessel sollen überschüssigen Wind- oder Solarstrom bei einem niedrigen Börsenstrompreis als Wärmeenergie nutzbar machen (Bröer 2018; Jeremias/Bartsch/Becker/Bethke 2017).

Der im vorstehenden Beispiel verwendete Energiemix erweist sich heute als zukunftsfähig. Weitere Beispiele wurden in einem früheren Beitrag behandelt (Becker 2021).

Bei sogenannter zukunftsorientierter „Kalter Nahwärme“ oder in „Low-Ex-Systemen“ sind die Vor- bzw. Rücklauftemperaturen auf $t_V < 50$ °C bzw. $t_R \approx 25$ °C abgesenkt. Sie werden auch als Wärmenetze der 5. Generation bezeichnet. Die besonders niedrigen Netztemperaturen sind auch Voraussetzung für eine effiziente und wirksame Einbindung von Einkommensenergien wie solarthermische, geothermische Energie und „Abfall- und Umweltenergien“ aller Art. Die Nutzung der letzteren erfordert den Einsatz von Großwärmepumpen, deren energetische Effizienz auch an niedrige Nutztemperaturen gebunden sind. Die Grenzen bei der Realisierung von Low-Ex-Wärmeversorgungssystemen setzen die bestehenden Wärmeabnehmeranlagen. Ein möglichst geringer Heizenergiebedarf muss über entsprechend dimensionierte Heizflächen, in der Regel Flächenheizungen, realisiert werden. Im Gebäudebestand ist die Erfüllung dieser technisch-physikalischen Anforderung eine aktuell wirtschaftlich schwer zu realisierende Herausforderung. Im Neubaubereich muss und wird diese Zielstellung aber zunehmend in den Mittelpunkt rücken.

Das erste Kaltwärmenetz wurde 1991 in der Schweiz realisiert.

Sehr wichtig für eine sichere und effiziente Nah- und Fernwärmeversorgung ist die Wärmespeicherung im System. In der Vergangenheit wurde bevorzugt die Kurzzeitwärmespeicherung im Wasservolumen angewendet. Mit der Einbindung von fluktuierenden Einkommensenergien verlagert sich das Speicherproblem zunehmend hin zu einer saisonalen Langzeitspeicherung mit verschiedenen Technologien und physikalischen Prinzipien. Bezüglich des sehr wichtigen Speicherproblems wird auf den Beitrag von Mertzsch in diesem Sitzungsbericht verwiesen.

Wärmenetze der 4. und 5. Generation sind eine große ingenieurtechnische Herausforderung hinsichtlich die energetischen, technisch-physikalischen und wirtschaftlichen Umsetzung. Die Komplexität in der Einbindung diverser Erzeuger- und Speichervarianten und in der thermohydraulischen Wirkungsweise sind ohne Systemsimulation während der Planung und in der späteren betrieblichen Praxis nicht mehr ohne Weiteres beherrschbar. Die Simulation dynamischer Prozesse in gekoppelten Energiesystemen gewinnt deshalb eine zunehmende Bedeutung. Bekannte und angewendete Simulationsprogramme dafür sind u.a.:

- sisHYD-08i: AGFW-präferiertes geographisches Managementsys-

tem für Gas- und Fernwärmenetze (Neumann 2009).

- Modelica: Objektorientierte Modelliersprache für die Abbildung (multi-)physikalischer Systeme mit der Modelica-Bibliothek TransiEnt für die detaillierte Modellierung von Energieversorgungssystemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energien (Rhode/Brunnemann 2022).
- STANET® ist ein Programmsystem zur stationären und dynamischen Berechnung von Ver- und Entsorgungsnetzen (STANET 2022).
- POLYSUN® ist eine leistungsstarke Softwarepalette für die simulationsgestützte Planung, Auslegung und Optimierung von ganzheitlichen Energiesystemen für Gebäude und Quartiere (POLYSUN 2022).

3 Merkmale von Fernwärmenetzen

Die Grundzüge der Wärmenetze der 4. und 5. Generation werden in der nachstehenden Grafik vertieft. Zusammenfassend können folgende Merkmale genannt werden:

- Niedriger Energiebedarf auf der Verbraucherseite.
- Minimierung von Energieverlusten durch niedrige Systemtemperaturen und gute Isolierung von Anlagenkomponenten.
- Verzicht auf Vermögensenergien, insbesondere Kohle, Heizöl und Erdgas.
- Dezentrale Energieerzeugung unter Nutzung von Einkommensenergien.
- Sektorenkopplung mit „grünem“ Strom, insbesondere durch den Einsatz von Wärmepumpen.
- Zweiwegesystem, das durch die dezentrale Einbindung von Wärmeerzeugern bedingt ist.
- Lang- und Kurzzeitspeicherung von Wärmeenergie.
- Intelligente Regelung unter Nutzung der Digitalisierung.
- Bedarfsorientierte Bereitstellung universeller Energieprodukte (Wärme/Kälte).

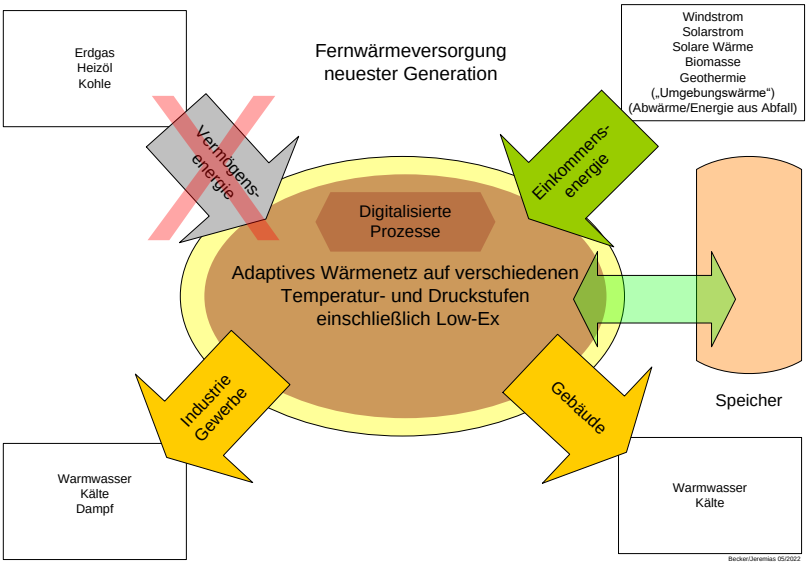


Abb. 1: Strukturelle Elemente von Fernwärmenetzen der 4. und 5. Generation (Eigene Darstellung)

Bildlich gesprochen sind Wärmenetze der neuesten Generationen große „Sammelbecken" für jegliche Arten von Energie, die eine geringe CO_2-Belastung der Atmosphäre hervorrufen und diese, teilweise niederexergetische Energien umweltfreundlich und kostengünstig für die Versorgung von Haushalten und Gewerbe sowie der Industrie zur Verfügung stellen sollen. Diese Netze werden deshalb wesentlich dazu beitragen können, die notwendigen CO_2-Minderungsziele in Deutschland bis 2035 zu erreichen und eine weitgehende Unabhängigkeit vom internationalen Energiemarkt herzustellen. Aspekte der Nachhaltigkeit einer zukunftssicheren Energieversorgung von Städten und Gemeinden werden auch in der Publikation „Nachhaltigkeitsaspekte einer zukunftssicheren Energieversorgung von Städten und Gemeinden" (Becker/Jeremias 2017) behandelt.

Wärmenetze besitzen gegenüber Einzelwärmeversorgungsanlagen in Gebäuden und gewerblich-industriellen Objekten folgende Vorteile:

- Flexibilität bei der Wahl der Energieerzeuger und Brennstoffe, insbesondere bei der Anpassung an Marktveränderungen aller Art.
- Räumliche Entkopplung von Energieerzeugung und -verbrauch.

- Einsatz effizienter Abgasreinigungsverfahren, insbesondere in Ballungsgebieten.
- Einsatz systemdienlicher, kostengünstiger Wärmespeicher zum Ausgleich des fluktuierenden Angebots an Einkommensenergien.
- Wirtschaftliche Großanlagen bei solarer Wärme- und bei Geothermie.
- Wärmenutzung aus BHKW aller Art mit einem hohem Gesamtwirkungsgrad.
- Biomasse-KWK mit fester Biomasse ist möglich.
- Nutzung kostengünstiger Brennstoffe wie Rest- und Abfallholz und Stroh, einschließlich der Gewährleistung einer gesetzeskonformen, wirksamen Abgasreinigung.
- Nutzung gewerblicher und industrieller Abwärme.
- Einsatz großer Wärmepumpen zur Nutzung günstiger (Ab-) Wärmequellen.
- Komplettangebot einer Wärmeversorgung (all-inclusive).
- Möglichkeit der Havarie- und Notversorgung.

Entwicklungstendenzen in der Wärmeversorgung sind auch Gegenstand eines speziellen Beitrages (Mertzsch/Jeremias 2015).

Eine fachlich seriöse Betrachtung erfordert es aber auch, auf die Nachteile von Nah- und Fernwärmesystemen gegenüber Einzelheizungssystemen hinzuweisen. Am häufigsten diskutiert werden dabei nachfolgende Aspekte:

- Abhängigkeit der Wärmekunden von nur einem Versorger (Alleinanbieter) durch Vertragsbindung, insbesondere in der Preispolitik.
- Langfristige Kundenbindung zur Refinanzierung der Investitionen in die Fernwärme ist erforderlich.
- Betrieb einer Fernwärmeheizung kann teurer als Einzelheizungssysteme sein.
- Wärmeverluste auf dem Transportweg eines Fernwärmeheizsystems.
- Verfügbarkeit von Fernwärme ist lokal begrenzt.
- Keine Wahlmöglichkeit für den Wärmekunden, welchen Brennstoff der Fernwärmeanbieter verwendet.

Bei genauerer Betrachtung der skizzierten Nachteile ist aber festzustellen, dass sich in der Vergangenheit bestandene, durchaus berechtigte

Nachteile vor dem Hintergrund der aktuellen Entwicklungen relativieren werden. Sie können sich von einem Nachteil in einen Vorteil verwandeln. So kann beispielsweise die größere Wahlfreiheit der für eine moderne Nah- und Fernwärmeversorgung zu verwendenden (zukünftig kostengünstigen, unerschöpflichen) Energiequellen ein deutlicher Wettbewerbsvorteil gegenüber Einzelheizungsanlagen werden.

4 Fernwärmenetze als Bestandteil der öffentlichen Daseinsvorsorge

Aus den bisherigen Betrachtungen resultiert, dass moderne Nah- und Fernwärmenetze ein wichtiger Bestandteil der öffentlichen Daseinsvorsorge sind und auch bleiben werden. Diese Bedeutung wird sich voraussichtlich weiter verstärken. Sie sind für den Verzicht auf Vermögensenergien, vor allem auf Heizöl und Erdgas, in der Wärmeversorgung eine wichtige Voraussetzung. Die Vermögensenergien müssen dabei durch Einkommensenergien ersetzt werden, die vor allem dezentral in die Wärmenetze eingespeist werden. Die Absenkung der Netztemperaturen ist dafür sowohl eine physikalisch-technische Voraussetzung, genauso wie für eine energieeffiziente Nutzung. Den Gebäudeheizungssystemen ist in diesem Zusammenhang bei der Dimensionierung und Ausführung besondere Aufmerksamkeit zu schenken, da Energiebedarf und Heizflächen maßgeblichen Einfluss auf die Funktionalität des Gesamtsystems haben. Besondere Herausforderungen sind im Gebäudebestand zu berücksichtigen. Wärmenetze sind in Verbindung mit den erforderlichen Speicherkapazitäten, sowohl kurzfristig als auch saisonal, weiterhin ein wichtiges Element der Sektorenkopplung, bei der „grüner Strom“ in Deutschland als Grundlage für die Dekarbonisierung aller Bereiche der Gesellschaft und Volkswirtschaft gesetzt ist.

Die Bedeutung der Wärmenetze für eine zukunftsfähige Energieversorgung in Deutschland führt zwangsläufig zur Erkenntnis, dass auch diese Netze für die öffentliche Daseinsvorsorge unverzichtbar sind bzw. werden. Deshalb ist es ein Gebot der Stunde, die Wärmenetze vorrangig in kommunaler Verantwortung zu betreiben. Die Entwicklung der aktuellen Nachfrage der Verbraucher nach Fernwärmeanschlüssen gibt dieser These recht. Aber auch die direkte Beteiligung der Bevölkerung, z. B. in Form von genossenschaftlichem Eigentum ist

eine denkbare Variante. Weiterhin wird voraussichtlich das Thema der Durchleitung von Wärmeenergie verschiedener Anbieter durch *ein* Wärmenetz an Aktualität gewinnen.

5 Planung und Monitoring von Fernwärmesystemen

Die Komplexität der technisch-physikalischen Zusammenhänge erfordert neue Planungs- und Betriebsführungsstrategien von Wärmenetzen der Generationen 4 und 5. Es werden nicht mehr erfahrungstheoretische Herangehensweisen und statische Planungsansätze zielführend sein. Vielmehr müssen die komplexen energetischen und hydraulischen Abläufe in Wärmenetzen durch messwertgestützte Simulationen bewertet werden. Auch in der späteren Betriebsführung ist ein Monitoring der wesentlichen Parameter unerlässlich. Darauf soll im weiteren Verlauf dieses Beitrages tiefer eingegangen werden.

Wärmenetze in ihren Anfangszeiten ähnelten dem Blutkreislauf des Menschen. Das Medium wird von zentraler Stelle, dem „Herzen", in alle Bereiche des Systems transportiert. In modernen Wärmenetzen ist diese Eindeutigkeit aufgehoben, mehrere Erzeugeranlagen geben ihre Wärme zu unterschiedlichen Zeiten mit unterschiedlichen Leistungen und auch unterschiedlichen Temperaturen in das System ab.

Mit der Anzahl der Wärmeerzeugungsanlagen steigt die Vielfalt der Parameter und der möglichen Betriebsfälle exponentiell. Alle möglichen Betriebsfälle vorherzusehen und in Regelkonzepten korrekt umzusetzen, ist eine große Herausforderung. Umso wichtiger ist es, die Wärmeerzeugungs- und Verteilsysteme nicht nur bei der Inbetriebnahme zu justieren, sondern auch im laufenden Betrieb zu überwachen. Dabei dürfen die Messwerte nicht nur kurzfristig im Sinne der Regelung zu Reaktionen führen. Die Werte sind mittelfristig und langfristig auszuwerten, um die Funktionalität der Anlagen sicherzustellen.

Die Einbindung neuer Wärmeerzeugungsanlagen in bestehende Wärmenetze kann nicht mit einem einfachen „Plug and Play-Ansatz" durchgeführt werden. Zwischen Konzept, Planung inklusive Regelkonzept und Realisierung liegen zahlreiche Schnittstellen, an denen es immer wieder zu Informationsverlusten kommt.

Die Umsetzung kann deutlich von dem ursprünglichen Konzept abweichen. Planer und auch die ausführenden Firmen gehen in der Regel von Standards aus, die sich in ihrer langjährigen Praxiserfahrung

bewährt haben. Diese Vorgehensweise, die im Regelfall erfolgreich ist, kann im Falle innovativer Lösungen jedoch zu ungewollten Effekten führen. Das können Fehler sein, wie zum Beispiel fehlende Rückschlagklappen oder falsch platzierte Sensoren. Es kann aber auch vorkommen, dass Regelkonzepte aus Standardbausteinen zusammengestellt werden, die dem konventionellen Typus von Regelungen entsprechen, jedoch den neuen Konzepten in ihrer Komplexität nicht mehr gerecht werden. Außerdem können in vermaschten Wärmenetzen mit mehreren Einspeisern Druck und Temperaturverhältnisse auftreten, die ohne vorherige Messungen nicht in jedem Fall vom Planer vorauszusehen waren, aber massiven Einfluss auf die Funktionalität der neuen Anlagen haben.

6 Auswirkungen einer „Verschiebung" von Versorgungsgrenzen in komplexen Fernwärmenetzen

Durch die Einspeisung von Wärme in mehreren Stellen des Wärmenetzes kann es Netzbereiche geben, in denen die Parameter nicht eindeutig definiert sind. Das heißt, es gibt Bereiche, in denen Stagnation oder Strömungsumkehr stattfindet. Im nachfolgend dargestellten Beispiel ist auf der linken Seite ein Wärmenetz im Sommerbetrieb gezeigt. Lediglich ein Einspeiser ist in Betrieb und versorgt das gesamte Wärmenetz. Dieser Bereich ist blau hinterlegt. Rechts ist das gleiche Wärmenetz mit 2 Einspeisern im Winterbetrieb dargestellt. Es ist zu sehen, dass jeder dieser Einspeiser sich einen eigenen Versorgungsbereich schafft, der abhängig ist von der jeweiligen Leistung der Netzumwälzpumpen und der Wärmeerzeuger. Die Schnittstelle zwischen den beiden Versorgungsbereichen ist nicht konstant zu verorten, sie variiert je nach Lastfall, je nach Leistung der Wärmeerzeuger und Umwälzpumpen und je nach Abnahmeleistung der Hausanschlüsse. Zur Strömungsumkehr kommt es im Bereich zwischen der Grenze der Versorgungsbereiche und dem Standort des zweiten Erzeugers.

Abb. 2: Dynamische Verschiebung von Netzbereichen (Eigene Darstellung)

Eine Strömungsumkehr hat Auswirkungen zum Beispiel bei in Reihe geschalteten Hausanschlussstationen (insbesondere bei Versorgung aus dem Rücklauf des Fernwärmenetzes) oder bei in Reihe geschalteten Erzeugeranlagen (zum Beispiel Einspeisung aus solarthermischen Anlagen). Diese Anlagen werden bei Strömungseinkehr in ihrer Funktion eingeschränkt, wie das folgende Beispiel einer solarthermischen Anlage zeigt.

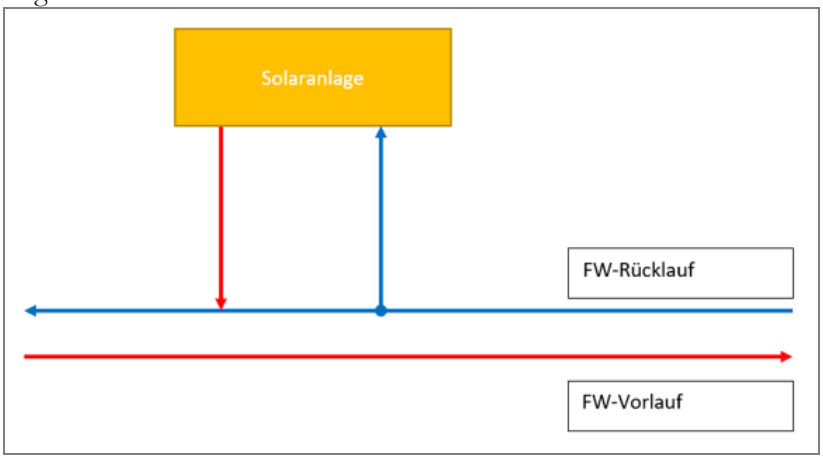


Abb. 3: Schematische Einbindung einer dezentralen solarthermischen Anlage in den Rücklauf eines Wärmenetzes (Eigene Darstellung)

Eine thermische Solaranlage entnimmt aus dem Rücklauf kaltes Me-

dium, erwärmt dieses und führt es zurück in den Fernwärmerücklauf. Im Falle einer Strömungsumkehr im Wärmenetz ergibt sich eine Zirkulationsströmung, bei der sich die Solaranlage stetig aufheizt, die Wärmeabgabe an das Wärmenetz wird ineffizient. Ähnliches kann auch auftreten, wenn es im Wärmenetzbereich zu Stagnation kommt, weil die Wärmeabnahme der Kunden zu diesem Zeitpunkt nicht gegeben ist. Wenn man nicht schon bei der Planung diesen Fall vorausgesehen hat, so kann man ihn doch bei der Auswertung der Messwerte erkennen, indem man die Temperaturen und Volumenströme beobachtet. Im nachfolgenden Diagramm ist der Verlauf der Temperaturen im Vor- und Rücklauf der Solaranlage im Verlaufe eines Sommertages dargestellt.

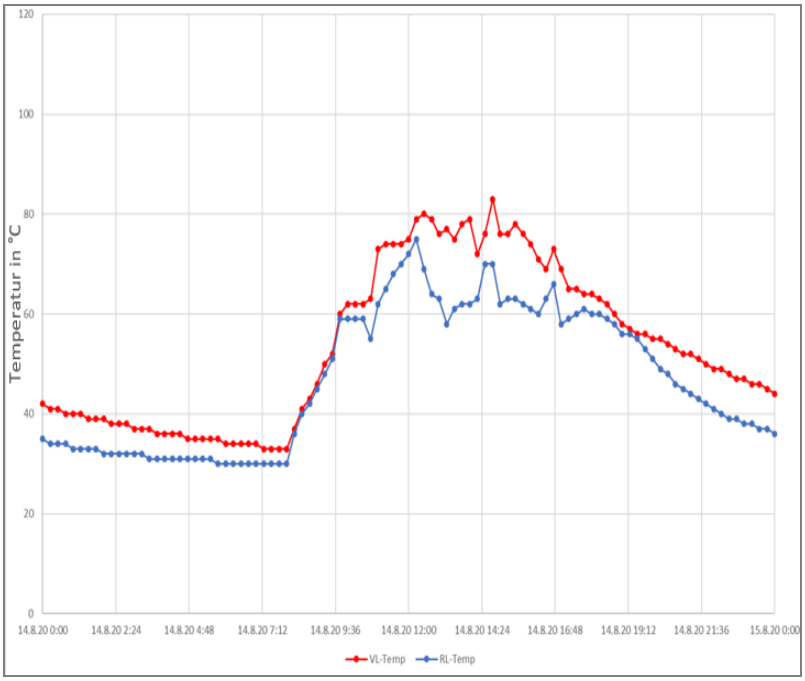


Abb. 4: Verhalten der Vor- und Rücklauftemperatur einer solarthermischen Anlage (Eigene Darstellung)

Die Vorlauftemperatur, die von der Solaranlage in das Wärmenetz geliefert wird, ist rot gekennzeichnet und die Rücklauftemperatur, die das Fernwärmenetz zur Vorerwärmung bereitstellt, ist blau im Diagramm

dargestellt. Es ist zu erkennen, dass zum frühen Morgen Abklingprozesse stattfinden. Die Umwälzpumpen sind außer Betrieb, Stagnation in den Leitungen führt zur Abkühlung des Heizwassers bis auf Umgebungstemperaturen. Gegen 08:00 Uhr setzt der Pumpenbetrieb ein, die Temperaturen steigen, weil jetzt das Rücklaufwasser aus dem Fernwärmenetz in die Anlagen geführt wird. Vor- und Rücklauftemperatur steigen bis auf 60 Grad. Ab circa 09:36 Uhr ist ein Beitrag der solarthermischen Anlage zur Erwärmung des Vorlaufes zu erkennen. Auffällig ist, dass sehr schnell auch die Rücklauftemperatur zu steigen anfängt. Das deutet darauf hin, dass hier die besprochene Zirkulation in der solarthermischen Anlage stattfindet und die Wärme nicht effizient an das Netz abgegeben werden kann. Im Laufe des Tages ändern sich die Rücklauftemperaturen, die Spreizung wird wieder höher. Das ist ein Indiz, dass Wärmeabnahme im Fernwärmenetz einsetzt, die Strömungsverhältnisse wieder in ihrer ursprünglichen Form aufgebaut werden und die Zirkulationsströmung sich auflöst. Zum Abend hin nimmt die Temperatur, die von der Anlage geliefert wird, deutlich ab und ab 19:00 Uhr sind die Pumpen ausgeschaltet und die Leitungen mit den Sensoren kühlen aus.

Wie kann man betroffene Netzbereiche identifizieren? Ein erstes Mittel besteht in Simulationsrechnungen. Thermohydraulische Netzberechnungen geben Hinweise darauf, zu welchen Zeiten welche Bereiche betroffen sein können. Diese Berechnungen erfolgen meist stationär für vorgegebene Lastfälle bei maximaler oder minimaler Belastung des Wärmenetzes. Damit können Bereiche eingegrenzt werden, in denen es zu Strömungsumkehrungen kommt. Das betrifft vor allen Dingen die Grenzbereiche zwischen den einzelnen Versorgungsgebieten. Hinsichtlich der Stagnationsprozesse im Netz geben diese Berechnungen eher weniger Hinweise. Klar ist, dass überwiegend die Randbereiche des Wärmenetzes von Stagnation betroffen sind. Hier muss die messtechnische Überwachung ansetzen. Die Abnahme an den einzelnen Hausanschlussstationen in einem Netzbereich kann mit modernen Wärmezählern online erfasst oder auch mittelfristig überwacht werden. So sind Zeiten zu identifizieren, in denen die Summe der Hausanschlussstationen keine Wärmeabnahme ausweist. Sofern im Wärmenetz keine Kurzschlüsse zur Erzeugung einer Zwangsdurchströmung eingerichtet sind, kommt es im Falle fehlender Wärmeabnahme zu Strömungsstillstand. Es können Maßnahmen eingeleitet werden, um die nachteiligen Effekte

der Stagnation auf dezentrale Wärmeeinspeisungsanlagen zu verringern bzw. zu vermeiden. Durch eine Anbindung der Anlagen mit einem Dreileitersystem und automatischer Umschaltung von der Reihenschaltung zur Parallelschaltung kann der Betrieb bei Strömungsumkehr abgesichert werden. Eine Änderung der Netzstruktur durch Vermaschung kann in bestimmten Fällen helfen, Stagnation zu vermeiden. Ist dies nicht möglich, sollte auf die Errichtung von Rücklaufhausanschlüssen verzichtet werden. Dezentrale Wärmeeinspeisungsanlagen müssen ggf. mit eigenem Pumpensystem eine Strömung im Wärmenetz bis hin zu den nächsten aktiven Wärmeabnehmern aufbauen können.

7 Auswertung und Schlussfolgerungen des Monitorings für ein Fernwärmenetz

Ein weiteres Beispiel für ein effektives Monitoring ist nachfolgend beschrieben und in der folgenden Grafik dargestellt. Es handelt es sich um ein kleines Wärmenetz, das 2019 in Betrieb genommen wurde. Angeschlossen sind zirka 50 Einfamilienhäuser, die mit Fußbodenheizungen ausgestattet sind. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt im Durchlaufsystem in den Hausanschlussstationen. Daher ist eine Wärmenetzvorlauftemperatur von ca. 55...57 °C ausreichend, um die Versorgungsaufgabe zu erfüllen. Die Rücklauftemperaturen aus den Hausanlagen sollten 27 °C nicht überschreiten. Diese Parameter waren in der Planung verwendet worden.

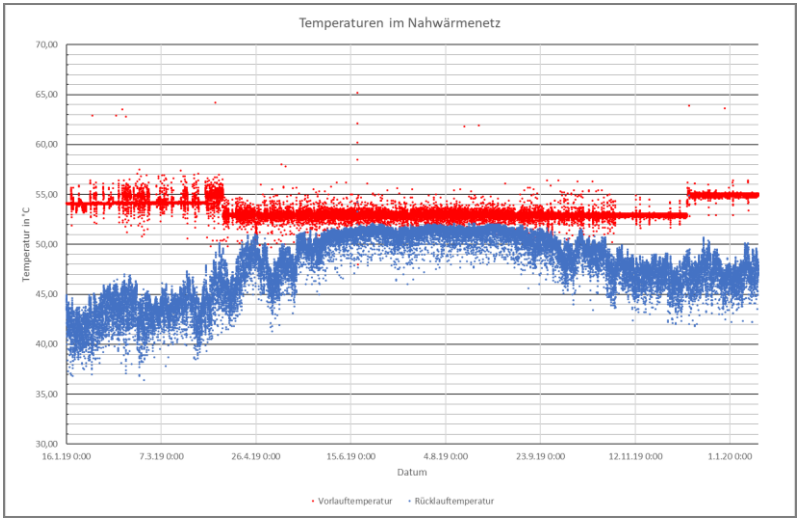


Abb. 5: Verlauf von Vor-und Rücklauftemperatur im Jahr 2019 in einem kleinen Wärmenetz (Eigene Darstellung)

Im Diagramm sind die Messwerte im Realbetrieb für die Vorlauftemperatur in Rot und die Rücklauftemperatur in Blau für das Kalenderjahr 2019 dargestellt. Der Netzbetrieb begann mit 54 Grad Celsius Vorlauftemperatur, im Sommer wurde die Temperatur auf 53 Grad Celsius gesenkt und zum Winter hin wieder auf 54 Grad Celsius angehoben. Es ist zu erkennen, dass die Rücklauftemperatur von Anfang an nicht den Erwartungen entspricht, sondern deutlich höher liegt und zum Sommer hin auch deutlich ansteigt. Die anfängliche Spreizung zwischen der Vor- und Rücklauftemperatur lag bei ca. 13 Kelvin statt der projektierten 28 Kelvin. Im Sommer ist die Spreizung auf 1...2 Kelvin zusammengebrochen. Im weiteren Fortgang sieht man, dass im Herbst und Winter der Folgeperiode die Rücklauftemperatur höher als im ersten Winter ist, so dass das Netz im Winterfall jetzt mit einer Spreizung von weniger als 10 Kelvin betrieben wurde. Diese Abweichung von der ursprünglichen Konzeption führt zu deutlich höheren Aufwendungen für Pumpenstrom und zu höheren Wärmenetzverlusten als erwartet. Als Ursache für diese Abweichungen wurden die Regelung des Wärmenetzes sowie die Beschaffenheit der Hausanschlussstationen identifiziert. Für das Wärmenetz wurde eine Netzschlechtpunktregelung errichtet, die es nun ermöglicht, den Volumenstrom dem tatsächlichen

Wärmebedarf anzupassen. Die Hausanschlussstationen weisen zwei Komponenten auf, die den Wärmenetzbetrieb in der projektierten Form unmöglich machen:

- die fest programmierte Regelung öffnet die Hausanschlussstation vollständig bei Vorlauftemperaturen unter 60 °C, eine effektive Regelung findet nur bei höheren Temperaturen statt und
- eine Komfortregelung in den Stationen sorgt für eine ständige Durchströmung zur Warmhaltung der Wärmetauscher, so dass der Kunde ohne Wartezeit heißes Wasser zapfen kann. Das führt im Sommer zu einer permanenten Strömung im Wärmenetz ohne nennenswerte Leistungsabnahme. Die nur sporadisch stattfindenden Trinkwarmwasserzapfungen haben keinen nennenswerten Einfluss.

Es ist an diesem Beispiel zu erkennen, dass die konzeptionelle Idee durch den Einsatz von Standardbauteilen nicht so umgesetzt wurde, wie es beabsichtigt war. In der Folge erhöhten sich die Wärmenetzverluste gegenüber der Planung und die Effizienz der solarthermischen Einspeisung in dieses Wärmenetz verringerte sich. Durch das Monitoring und die kritische Betrachtung der Ergebnisse konnten die Abweichungen von den ursprünglichen Planungsdaten erkannt und die Ursachen identifiziert werden. Die daraufhin durchgeführte Anpassung der Regelung des Wärmenetzes und das Anheben der Vorlauftemperatur auf 63 °C führten zu einer Stromeinsparung bei den Umwälzpumpen von mehr als 90%. Allerdings erhöhten sich die Wärmeverluste durch die höhere Netzvorlauftemperatur nochmals geringfügig.

Es zeigt sich, dass die Erfassung ausgewählter Messwerte zunächst eine notwendige aber keine hinreichende Bedingung für die Optimierung von Wärmenetzen ist. Außerdem erforderlich sind die Prüfung der erhaltenen Daten auf Plausibilität, Qualität und Vollständigkeit sowie die Speicherung der Messwerte. Erst dann sind sie einer fachgerechten Analyse zugänglich, um die gewünschten Funktionalitäten bei neuen Systemen tatsächlich sicher zu beurteilen und gegebenenfalls Ursachen von Abweichungen zu erkennen und Abhilfen zu schaffen.

Nur Wärmenetze, die messtechnisch überwacht und stetig analysiert werden, können zukünftig ein Sammelbecken für alle Arten erneuerbarer Energie und Abwärme darstellen und damit einen erheblichen Beitrag zur Energiewende leisten.

Es werden zukünftig vermehrt verschiedene Netzebenen etabliert werden, von Transportleitungen mit sehr hohen Vorlauftemperaturen und hohen Temperaturspreizungen über Niedertemperaturverteilnetze bis hin zu Kaltnetzen mit geringen Temperaturspreizungen, die den Gebäuden die Vorlage für dezentrale Wärmepumpen zur Verfügung stellen.

Es werden zukünftig auch deutlich mehr dezentrale Erzeuger eingebunden werden. Kunden werden Überschusswärme aus eigenen Anlagen (Solarthermie oder Kraft-Wärme-Kopplung) in das Wärmenetz einspeisen. Letztendlich werden auch Wärmenetze sich für eine Nutzung durch Dritte analog den Strom- und Gasnetzen öffnen. Die Komplexität wird weiter steigen, umso wichtiger wird auch das Monitoring der Messwerte und deren qualifizierte Analyse.

Aus aktuellem Anlass ist abschließend anzumerken, dass in der Vergangenheit energetische Effizienzverluste bei Fernwärmesystemen, und nicht nur dort, auch und insbesondere aus fachlicher Unkenntnis in Kauf genommen wurden. Der Aufwand für Verbesserung überstieg meistens die Kosten für die Energieverluste. Mit den jetzt dramatisch steigenden Energiepreisen wird eine solche Betrachtungsweise der Vergangenheit angehören müssen. Dieser Beitrag soll dafür motivierend wirken.

Bibliographie

AGFW01 (2022): *Energieeffizienz mit Kraft-Wärme-Kopplung und Fernwärme im Wandel der Zeit*. AGFW. Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. https://www.fernwaerme-info.com/fernwaerme/geschichte.

AGFW02 (2022): *Mitgliedschaft*. AGFW. Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. https://www.agfw.de/mitgliedschaft.

AGFW03 (2022): *Wir über uns*. AGFW. Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. https://www.agfw.de/wir-ueber-uns.

AGFW04 (2022): *AGFW-Hauptbericht*. AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. https://www.agfw.de/zahlen-und-statistiken/agfw-hauptbericht.

Jeremias, Ernst-Peter / Bartsch, Gerd / Becker, Kerstin / Bethke,

Thomas (2017): „Das Fernwärmenetz als Wärmedrehscheibe zur Einbindung regenerativer Energiearten für die ganzheitliche Versorgung“. Vortrag auf dem Kolloquium „Energiewende 2.0: Die ambivalente ‚Wärme‘ im Fokus der Wissenschaft und Wirtschaft, der Technik und Technologie“ am 19. Mai 2017 in Berlin. *Leibniz Online*. Berlin. https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads /2017/ 08/ 04-Jeremias.pdf.

Becker, Kerstin (2021): „Eine Energieerzeugungsanlage im Wandel der rahmenpolitischen und gesetzlichen Vorgaben. Lebenszyklusanalysen. Stationen im Lebenszyklus von Technologien und Aspekte ihrer Bewertung.“ *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften*, Bd. 146, hrsg. Banse, Gerhard / Mertzsch, Norbert. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist, 87-97.

Becker, Kerstin / Jeremias, Ernst-Peter (2017): „Nachhaltigkeitsaspekte einer zukunftssicheren Energieversorgung von Städten und Gemeinden. Technologie und nachhaltige Entwicklung“. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften*, Bd. 130, hrsg. Banse, Gerhard / Reher, Ernst-Otto. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist, 77-88.

Bröer, Guido (2018): *Solare Wärmenetze. Wärmedrehscheibe Hennigsdorf*. https://www.solar-district-heating.eu/wp-content/uploads/2018 /08/Energiekommune_2018_01_Solnet4.pdf.

Mertzsch, Norbert / Jeremias, Ernst-Peter (2015): „Entwicklungstendenzen in der Wärmeversorgung. Technologiewandel in der Wissensgesellschaft - qualitative und quantitative Veränderungen“. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften*, Bd. 122, hrsg. Banse, Gerhard / Reher, Ernst-Otto. Berlin:. trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist, 125-132.

Neumann, Ulrich (2009): *Optimierung von Energienetzen. Interner Fachbericht*. tetra ingenieure GmbH, Neuruppin.

STANET (2022): *STANET Netzberechnung für Gas. Wasser, Strom, Fernwärme und Abwasser*. Ingenieurbüro Fischer-Uhrig. Berlin. https://www.stafu.de/de/home.html.

Rhode, Daniel / Brunnemann, Johannes (2022): „Simulation dynamischer Prozesse in gekoppelten Energiesystemen“. Vortrag TransiEnt Workshop am 26.04.2022. Fraunhofer UMSICHT.

Rhode, Daniel / Brunnemann, Johannes (2022): „Simulation dynamischer Prozesse in gekoppelten Energiesystemen“. Vortrag Transi-

Ent Workshop am 26.04.2022. Fraunhofer UMSICHT

POLYSUN (2022): *Energiesysteme zuverlässig und ganzheitlich planen*. Vela Solaris AG, Winterthur. https://www.velasolaris.com.

Wikpedia1 (2022): *Nahwärme*. https://de.wikipedia.org/wiki/Nahwärme#cite_note-9.

Wikipedia2 (2022): *Die vier Generationen von Nah- und Fernwärmesystemen samt ihren Wärmequellen*. https://de.wikipedia.org/wiki/Nahwärme#/ media/Datei:Generations_of_district_heating_ systems_DE. svg.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *155 (2022), 57–82*

Speicher in die Energieinfrastruktur

Norbert Mertzsch

Abstract

As part of the energy transition, the supply of energy will increasingly come from heavily fluctuating or seasonal sources. In order to still ensure stable operation of the energy supply, consumption and generation must be balanced. This applies to the supply of electrical energy, thermal energy and gases as energy carriers. In order to guarantee the energy supply at all times, the increasing use of energy storage is necessary at all levels, from storage in the transmission grid to on-site storage. The lecture will deal with current storage types for electrical energy, gases and thermal energy and possible developments. Problems in determining a sufficient storage size for the time after the use of asset energy sources are pointed out. Likewise, conclusions for the ownership and operation of storage from the perspective of services of general interest.

Resümee

Im Zuge der Energiewende wird die Energieversorgung zunehmend aus stark schwankenden oder saisonalen Quellen erfolgen. Um dennoch einen stabilen Betrieb der Energieversorgung zu gewährleisten, müssen Verbrauch und Erzeugung ausbalanciert sein. Dies gilt für die Bereitstellung von elektrischer Energie, thermischer Energie und Gasen als Energieträger. Um die Energieversorgung jederzeit zu gewährleisten, ist der zunehmende Einsatz von Energiespeichern auf allen Ebenen notwendig, von der Speicherung im Übertragungsnetz bis zur Speicherung vor Ort. Der Vortrag befasst sich mit aktuellen Speicherarten für elektrische Energie, Gase und thermische Energie und möglichen Entwicklungen. Auf Probleme bei der Bestimmung einer ausreichenden Speichergröße für die Zeit nach der Nutzung von Asset-Energieträgern wird hingewiesen. Ebenso Schlussfolgerungen für Eigentum und Betrieb von Speichern aus Sicht der Daseinsvorsorge.

Keywords / Schlüsselwörter
Energy transition, energy supply, energy storage, storage size, services of general interest
Energiewende, Energieversorgung, Energiespeicher, Speichergröße, Daseinsvorsorge

1 Vorbemerkungen

Gemäß Bundesvereinigung Logistik (BVL) 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“ (BVL (2022): https://www.bvl.de/service/zahlen-daten-fakten/logistikbereiche/logistik (28.05.2022). Damit werden Transport und Speicherung (Lagerung) von Energie als Teil der Logistik gesehen, woraus sich ergibt, dass Energiespeicher als Teil der Energieinfrastruktur anzusehen sind.

Allerdings ist im „Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP“ für die Jahre 2021 – 2025 festgelegt: „Wir werden Speicher als eigenständige Säule des Energiesystems rechtlich definieren.“ (Bundesregierung (2021): https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1 (28.05.2022)). Ob diese Aussage einen Einfluss auf die Zuordnung der Speicher zur Energieinfrastruktur haben wird, bleibt abzuwarten. Unabhängig davon werden aber Energiespeicher auch einzelnen Erzeugern und Verbrauchern zugeordnet.

2 Aufgaben der Speicher

Strom, Gase und Wärme speichern ist zur Sicherstellung einer funktionierenden Energieversorgung ein zunehmend wichtiger Baustein, damit die Energiewende gelingen kann.

Dabei gilt es vor allem Schwankungen auf der Angebotsseite bei den zu nutzenden Einkommensenergien auszugleichen. Diese ergeben sich durch:

- Nicht bedarfsgerecht zur Verfügung stehende Einkommensenergien, insbesondere Elektroenergie aus Photovoltaik und Windener-

gie (Unterschiede bei Tag und Nacht, zeitweise Bewölkung, Wind weht nicht kontinuierlich).
- Saisonal vom Bedarf abweichende Energieangebote z.B. bei der Photovoltaik und insbesondere im Wärmebereich (Elektroenergie und Wärme werden besonders im Winter benötigt, sind aber besonders im Sommer verfügbar).
- Nicht bedarfsgerechte Erzeugung bzw. Anlandung von benötigtem Wasserstoff / synthetischem Energieträger als Speichermedien und für die Stoffwirtschaft.

Um die Stromnetze zu entlasten, werden Speicher teilweise auch direkt einzelnen Energieerzeugungsanlagen zugeordnet. So wird im Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber für das Rahmenszenario zum „Netzentwicklungsplan Strom 2037 mit Ausblick 2045, Version 2023“ für die räumliche Verteilung der Großbatteriespeicher die Annahme getroffen, dass diese verstärkt in der Nähe von Freiflächen-PV-Anlagen errichtet werden. (NEP 2022) Ausgeführt ist eine solche Kombination im Energiepark „Haringvliet“ in den Niederlanden. Dort sind Windenergieanlagen, Freiflächen-PV-Anlagen und Batteriespeicher miteinander kombiniert. Vattenfall sieht darin eine Blaupause für zukünftige Projekte (Vattenfall 2022).

Auch auf der Verbraucherseite bzw. im verbrauchernahen Bereich wird der Einsatz von Stromspeichern sinnvoll und notwendig sein. In diesen Bereichen werden sie u.a. benötigt für:

- Ausgleich von Bedarfsspitzen in Industrie und Gewerbe. Eine deutliche Senkung der Stromkosten ist für den Verbraucher dadurch möglich.

- Absicherung der Lademöglichkeiten für die Elektromobilität.

Für den Netzbetreiber ergibt sich dadurch die Möglichkeit, die Stromnetze auch auf der Verteilnetzebene nicht auf das Bedarfsmaximum an Elektroenergie auslegen zu müssen.

Die Speicherung von Gasen für die Energieversorgung und die stoffliche Nutzung wird in großen Speichern, die nicht direkt Erzeugern bzw. Verbrauchern zugeordnet sind, vorgenommen. Es ist zu erwarten, dass das auch bei zunehmendem Übergang zur Nutzung von Wasserstoff so bleibt.

Bei der Speicherung von Wärme erfolgt dieses im Allgemeinen in

Erzeugernähe, da im Bereich der Wärmenetze die Betreiber der Wärmenetze auch die Wärmeerzeugungsanlagen betreiben.

3 Speicherbetrieb

Klassifiziert werden Energiespeicher vorzugsweise nach der ein- und/oder ausgespeicherten Energieform beziehungsweise nach den Energieströmen, die bei diesen Prozessen übertragen werden. In der Regel wird die zu speichernde Energieform transformiert. Beim Be- und Entladen der Speicher handelt es sich also um transiente physikalische Größen und keine energetischen Speicherzustände. Speicher sind in zahlreiche Technologien implementierte energie-, informations- und verfahrenstechnische Grundelemente mit breiter Anforderungscharakteristik.

Kriterien für die Auswahl aus der Vielfalt mechanischer, thermischer, elektrischer, chemischer, elektrochemischer und hybrider Speichertechnologien sind grundsätzlich die

- benötigte Speicherkapazitäten und -energiedichten
- Speicherwirkungsgrade
- Be- und Entladeleistung
- Speicherdauer (Verweilzeiten)
- Speicherbeladezeiten und -entladezeiten
- mögliche Speicherzyklen (Anzahl und Stabilität)
- spezifischen Speicherkosten
- und generell die gesellschaftliche Akzeptanz.

Die entscheidende Frage, die in Zukunft beantwortet werden muss, lautet: Wann brauchen wir Speicher und welche Speichergröße ist nötig. Dies beinhaltet die Frage, welche Risiken abgedeckt werden sollen. Und da gehen die Antworten weit auseinander.

Die Frage wann brauchen wir Speicher wird in der Literatur unterschiedlich beantwortet. So gibt es Aussagen, dass große Speicher für elektrischen Strom erst ab einer Nutzung von über 60 % Einkommensenergie notwendig sind (vgl. Fürstenwerth/Waldmann 2014). Davor soll der Aus- und Umbau von Übertragungs- und Verteilnetzen günstiger sein. Über die Netze soll europaweit über eine größere Entfernung auf die jeweils kostengünstigste Flexibilitätsoption zugegriffen werden. Durch die Netzanbindung an die europäischen Nachbarn kann

ein großer Teil der in Deutschland erzeugten Überschüsse ins Ausland verkauft werden. In Zeiten von wenig Wind und Sonne in Deutschland soll Strom dann aus den Nachbarländern zurückgekauft werden. Insbesondere eine Verstärkung der Transportkapazitäten zu den Ländern mit besonders kostengünstigen Flexibilitätsoptionen, wie den Alpenländern und Skandinavien mit hohen Anteilen an Wasserkraftwerken und Pumpspeichern, wird als günstig angesehen.

Diese Aussagen mögen zwar rechnerisch belegbar sein, sind aus meiner Sicht aber zu kurzsichtig. Wir brauchen die Speicher jetzt. Wer häufiger über Land fährt, sieht, wie oft Windparks nicht am Netz sind. Und das fördert keineswegs das Verständnis für die Energiewende, doch dieses brauchen wir bei zunehmender Industrialisierung der Landschaft. Hinzu kommen Berichte, dass die großen Hoffnungen auf die norwegische Wasserkraft für die Stabilisierung der deutschen Energieversorgung bei fehlenden Einspeisungen von Einkommensenergien dort nicht so positiv gesehen werden, wie man es in Deutschland gerne hätte (Wolff 2011).

Was im Großen bisher nicht realisiert ist scheint laut einer Medienmitteilung des Bundesverbandes Energiespeicher Systeme (BVES) vom 06.04.2022 im Marktsegment Haushalt besser zu klappen (vgl. BVES 2022). Auch in dieser Medienmitteilung wird auf die Bedeutung der Energiespeicher hingewiesen*:*

> „Energiespeicher bieten ein enormes Potential für eine flexible, dekarbonisierte Energieversorgung und können einen großen Beitrag zur Versorgungssicherheit liefern. Die vorhandenen und marktgängigen Technologien sind schnell skalierbar und können damit kurzfristig die Importabhängigkeiten von insbesondere Öl und Gas deutlich reduzieren. Umso überraschender ist es, dass die aktuelle EEG-Reform wiederum das Thema Speicher ausklammert und stattdessen die Probleme der Energieversorgung durch etwa die ungesteuerte Einspeisung erhöht und nicht reduziert. Hier ist dringender Nachbesserungsbedarf, wenn es die Bundesregierung mit Klimaschutz und Versorgungssicherheit ernst meint. Nur mit Speichern bringen wir die Energiewende voran.“ (Urban Windelen, Bundegeschäftsführer BVES).

Mittlerweile scheint die Speicherproblematik aber auch in der Bundesregierung angekommen zu sein. Denn nach parlamentseigenem Presse-

dienst vom 05. Mai gibt es einen Bericht der Bundesregierung zum Thema (Bundestag 2022).

Noch schwieriger ist die Frage zu beantworten, was durch Speicher alles abgedeckt werden soll. Zum einen ist Energiebereitstellung dem täglichen Lastprofil anzupassen, was zunehmend über die Nutzung von vorher gespeicherter Energie erfolgen muss. Desweiteren sind die Schwankungen im Dargebot der Einkommensenergien auszugleichen. Bei der Photovoltaik geht das von der Tagesganglinie des Lichteinfalls bis zum saisonalen Dargebot. Bei der Windenergie wechseln sich windreiche Zeiten mit Windstille ab. Das bisher maximal angenommene Ereignis ist eine 14-tägige Dunkelflaute im Winter. Auch hier gibt es Annahmen, dass sich so etwas durch den europäischen Energieverbund ausgleichen lässt, da davon ausgegangen wird, dass nicht im gesamten Verbundbereich eine Dunkelflaute herrscht. Doch ob das immer klappt, wäre auch noch zu beweisen.

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 (vgl. Krassmann 2011, Mertzsch 2011, Mertzsch/ Thomas 2017, Renn 2017) auf diese Probleme 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, anzunehmen. Und was ein längerfristiger Blackout in unserer hochtechnisierten Welt bedeuten würde, ist in Studien, aber auch in einem Roman beschrieben (vgl. Mayer/ Brunekreeft 2020, Elsberg 2013).

Die Konsequenzen solcher Ereignisse und welche Risiken unsere hochtechnisierte Gesellschaft zu tragen bereit ist, sollten vor der vollständigen Umstellung des Energiesystems geklärt werden und nicht danach. Ein warnendes Beispiel für solche nicht ausreichend geführten Diskussionen über Risiken und Nutzen von Technologien bietet die Nutzung der Kernenergie. Hier hätte eine Ethikkommission sicher ein dankenswertes Betätigungsfeld.

Eine komplexe Risikoanalyse zur Bewertung der Rolle von Speichern wird als unabdingbar und überfällig angesehen. In vielen Statements führender Politiker und in Dokumentationen zum Thema wird

das Thema Speicher bisher nicht oder nur gering betrachtet. Eine Risikobewertung sollte folgende Themen enthalten:

1. Welche Speicher brauchen wir?
2. Wo brauchen wir Speicher?
3. Wann brauchen wir welche Speicherkapazität (Speicher gegen Stromtrassenneubau rechnen, Verlagerung von Industrie von Süd nach Nord, Berücksichtigung von „kleinen" Speichern in BEV/bidirektionales Laden/Digitalisierung)?
4. Was kostet der Speicherausbau?
5. Speicher und „Blackout".

Wenn davon ausgegangen wird, dass die Energieinfrastruktur zur Daseinsvorsorge gehört, ist festzustellen, dass auch die Energiespeicher Teil der Daseinsvorsorge sind. Daraus sollte abgeleitet werden, dass diese in die öffentliche Hand gehören. Das sollte auch aus den Problemen mit Erdgasspeichern von Gazprom Germania gelernt werden (vgl. Güßgen 2022). Denn Besitzverhältnisse von Speichern in privater Hand können sich schnell ändern. Und politische Interessen oder auch Kapitalinteressen werden nicht immer den Forderungen an die Daseinsvorsorge entsprechen. Es würde sich dann auch die Erarbeitung eines speziellen Marktdesigns für Speicher erübrigen, um mit diesem Geld zu verdienen.

Unter Berücksichtigung der auf die Menschheit durch den Klimawandel zukommenden Probleme für die Daseinsvorsorge sollte auch generell hinterfragt werden, ob die derzeitigen Preisbildungsmechanismen im Bereich des Energiemarktes unter dem Aspekt der Daseinsvorsorge zielführend sind.

3 Speicherarten

In der Plenarsitzung der Leibniz-Sozietät am 13. Dezember 2013 „Energiespeichertechnologien" und in verschiedenen anderen Veranstaltungen zu Problemen der Energiewende 2.0 im Rahmen der Leibniz-Sozietät wurde bereits auf Möglichkeiten der Energiespeicherung eingegangen (vgl. Mertzsch 2014, Jeremias et.al. 2017, Golbs et.al. 2017, Topal et.al. 2017), auf die an dieser Stelle noch einmal verwiesen werden soll.

Klassifiziert werden Energiespeicher vorzugsweise nach der ein-

und/oder ausgespeicherten Energieform bzw. den bei diesen Prozessen übertragenen Energieströmen (vgl. Rundel et.al. 2013, Beck et.al. 2013, Fleischer/Mertzsch 2014, Fleischer/Mertzsch 2015).

In der Tabelle 1 sind wesentliche bekannte Speicherarten für elektrische Energie aufgeführt. Dabei werden auch in Zukunft insbesondere im Bereich der Ausführungsformen neue Speicher hinzukommen.

Speicherart	**Wirkprinzip**	**Ausführungsform Beispiele**	**Einsatzgebiete**
Elektrische Speicher	Elektrische Energie Magnetfeld	Doppelschichtkondensator Pseudokondensator Hybridkondensator Supraleitender Magnetischer Speicher	USV Fahrzeuge Primärregelleistung
Mechanische Speicher	Kinetische Energie Druckenergie Potentielle Energie	Schwungrad Druckluftspeicher Pumpspeicher-Kraftwerk	Momentanreserve Primärregelleistung Sekundärregelleistung Sekundärregelleistung
Elektrochemische Speicher	Speicherung als chemische Energie	Blei-Säure-Akku Lithium-Ionen-Akku Redox-Flow-Batterie Hochtemperatur-Akku Feststoffbatterie Natrium-Ionen-Batterie	USV Notstromversorgung Pufferbatterie Elektromobilität
Chemische Speicher	Umwandlung in transport- und lagerfähige Produkte: Wasserstoff Methan Flüssige Kohlenwasserstoffe, Methanol Ammoniak	Erdgasnetz mit Gasspeichern Vorhandene Lager Druck-, Flüssigspeicher	Langzeitspeicherung mit Rückverstromung und Produktnutzung Kraftstoffversorgung Chemierohstoffe Energetische Nutzung Stoffliche Nutzung

Tabelle 1: Übersicht über Speicher für elektrische Energie (Eigene Darstellung)

3.1 Elektrische Speicher

Elektrische Speicher finden besonders für die schnelle und kurzzeitige Energiebereitstellung Anwendung, z.B. im Bereich USV, in Fahrzeugen und im Bereich der Primärregelenergie. Dabei werden Doppelschichtkondensatoren, Pseudokondensatoren und Hybridkondensatoren eingesetzt. Bei diesen wird die elektrische Energie in einem elektrischen Feld gespeichert.

Magnetfeldspeicher, bei denen die elektrische Energie in einem Magnetfeld unter Nutzung einer supraleitenden Spule gespeichert wird, befinden sich in Entwicklung. Ob diese sich wegen des hohen Aufwands für die Kühlung der Spule und die Kosten für die Supraleiter am Markt durchsetzen werden, bleibt abzuwarten.

3.2 Mechanische Speicher

Bei mechanischen Speichern kann zum einen die kinetische Energie einer Schwungmasse genutzt werden. Ausgeführt ist das z.B. in Schwungrädern. In Kraftwerken dienen vor allem die Schwungmassen der Turbinen und Generatoren der Momentanreserve in Kraftwerken.

Jüngstes Beispiel für einen rotierenden Speicher ist der Asynchrone, Rotierende Energie-System-Stabilisator (ARESS), der als integraler Bestandteil der vorhandenen Netzstruktur die Energieversorgung bei volatiler Einspeisung stabil halten soll. Entwickelt wurde er am Elektrotechnischen Institut (ETI) der TU Dresden (TU Dresden 2021) gemeinsam mit der Firma Siemens Energy Global GmbH Co. KG, der TU Dortmund, der Firma Amprion GmbH und der Leibniz Universität Hannover.

Druckenergie wird in Druckluftspeicherkraftwerken meist für Sekundärregelleistung genutzt. Die Druckluftspeicherkraftwerke arbeiten nicht allein auf der Basis eines mechanischen Energiespeichers (Luftspeichers). Exakter sind sie als kombinierte Druckluft-Gas-Speicherkraftwerke zu bezeichnen. In Schwachlastzeiten wird zwar die Luft mit überschüssiger Elektroenergie verdichtet und unter Druck in unterirdische Kavernen (üblicherweise in Salzstöcke) eingespeist. Bei Elektroenergie-Bedarf wird die Druckluft aber nicht nur ausgespeichert, sondern zusätzlich mit Erdgas angereichert, das Gasgemisch verbrannt, der Gasturbine zugeführt und aus der Rotationsenergie über einen Generator elektrische Energie gewonnen. Um das Vereisen der Turbine zu verhindern, wird Abwärme verwendet, die bei der Erzeugung und Ein-

speisung der Druckluft in die Kaverne entsteht und zu speichern ist.

Die favorisierte Installation von Druckluftspeichern in Salzstöcken begrenzt die Standorte für dieses Speicherkonzept. Bisher sind nur sehr wenige Kraftwerke ausgeführt worden, so dass eine realistische Einschätzung der Perspektiven problematisch ist.

Die bekanntesten Speicher, die mechanische Energie nutzen, nutzen potentielle Energie. Diese sind in Deutschland seit den 1920er Jahren in Pumpspeicher-Kraftwerken realisiert. Diese bestehen aus durch optimierte Rohrleitungen mit möglichst hohem Gefälle miteinander verbundenen Ober- und Unterbecken. Die Energieanlage, die aus der Pumpturbine bzw. getrennter Pumpe, Turbine und dem Motorgenerator besteht, liegt am Unterbecken. In Schwachlastzeiten wird Wasser aus dem Unterbecken in das Oberbecken gepumpt. In Spitzenlastzeiten fließt es leitungsgebunden vom Ober- ins Unterbecken zurück und wird in elektrische Energie transformiert.

Die potentielle Energie des Wassers bestimmt die Speicherkapazität. Reine Pumpspeicher-Kraftwerke sind meist so ausgelegt, dass die Generatoren aus der Speicherkapazität unter Volllast 4 bis 8h Elektroenergie produzieren können. Der Wirkungsgrad der Pumpspeicher-Kraftwerke beträgt η=0,70 bis η=0,80.

In Deutschland ist der Zuwachs mangels geeigneter Standorte gering. Eine Ableitung davon ist der bisher nicht realisierte Ringwallspeicher (Popp 2010). Auch die Nutzung von Tagebaurestlöchern im Rheinischen Braunkohlebergbau ist angedacht (Thema/Thema 2019). Ähnliches sollte auch für die Nachnutzung von Tagebaurestlöchern im Lausitzer Revier geprüft werden, auch wenn das mögliche Gefälle nicht so groß werden dürfte.

Als weiteres neueres Beispiel für mechanische Speicher ist die Schwerkraftspeicherlösung des Schweizer Unternehmens Energy Vault (vgl. Mombelli 2019) Dabei werden grundlegende Prinzipien der Schwerkraft und der kinetischen Energie genutzt, um Energie zu speichern und abzugeben, indem sie Verbundsteine oder „mobile Massen“ anheben und absenken. Die Technologie von Energy Vault ist von Pumpspeicherkraftwerken inspiriert, die sich auf die Schwerkraft und die Bewegung von Wasser verlassen, um Strom zu speichern.

3.3 Elektrochemische Speicher

Elektrochemische Speicher sind im privaten Bereich die gebräuch-

lichsten Speicher für Strom. So nutzen die meisten PKWs noch den Blei-Säure-Akku und das Handy und der Laptop den Lithium-Ionen-Akku. Bei den Akkumulatoren wird elektrische Energie in Galvanischen Zellen, benannt nach dem italienischen Arzt Luigi Aloisio Galvani (1737–1798), bestehend aus zwei Elektroden und einem Elektrolyten, bei Beladung in chemischer Energie umgewandelt. Bei der Entladung wird dann chemisch Energie wieder in elektrische Energie umgewandelt.

Der Bleiakkumulator ist auch nach über 150 Jahre der Erfindung durch Wilhelm Josef Sinsteden (1803–1891) ein gebräuchlicher Batteriespeicher und zur kurzfristigen Leistungsbereitstellung gut geeignet. Technologische Weiterentwicklungen führten zur Verbesserung der Ladeakzeptanz, der Zyklen-Lebensdauer und der Leistungsdichte.

Als Hochtemperaturbatterien sind Natrium-Nickelchlorid-Batterie und Natrium-Schwefel-Akkumulatoren (NaSA) für spezielle Anwendungen eingeführt. NaS-Akkus arbeiten mit einem festen Elektrolyten (natriumhaltiges Aluminiumoxid) und flüssigen Elektroden. Als Anode (Elektronenakzeptor) dient flüssiges Natrium und als Kathode (Elektronendonator) mit flüssigem Schwefel getränktes Graphitgewebe. Dass es nahezu keine Nebenreaktionen gibt, so der Wirkungsgrad entsprechend hoch und die elektrochemische Alterung entsprechend klein ist, erweist sich als wesentlicher Vorteil dieses Speichertyps. Neben der sicheren Einbettung des flüssigen Natriums erfordert das System auch ein aufwändiges Temperaturmanagement.

Unter dem Namen Lithium-Ionen-Akkumulator werden variantenreiche Speichersysteme eingesetzt und funktional sowie materialtechnisch weiterentwickelt. Bekannt sind u.a. Akkumulatoren der Typen Lithium-Polymer, Lithium-Cobaltdioxid, Lithium-Mangan, Lithium-Eisenphosphat und Lithium-Metall-Polymer. Besondere Bedeutung besitzt dabei wegen der Brandsicherheit der Lithium-Eisenphosphat-Akkumulator.

Einsatzgebiete sind Kommunikationsgeräte, die Elektromobilität und die Speicherung der Elektroenergie-Überschüsse aus Windkraftanlagen und Photovoltaikanlagen.

Als Beispiel für die Speicherung großer Energiemengen sei hier die WEMAG Batterie Station WBS 500 mit einer Speicherkapazität bis zu 1,1 MWh angeführt (WEMAG 2022). Auch die Lithium-Ionen-Akkumulatoren der Elektrofahrzeuge lassen sich durch bidirektionales

Laden (Vehicle-to-Grid) als Stromspeicher nutzen.

Für die Zukunft von besonderer Bedeutung ist die Weiterentwicklung der Lithium-Ionen-Batterie in Richtung Feststoffbatterie (SOLARIFY 2022). Es wird erwartet, dass diese eine lange Lebensdauer und Lagerfähigkeit besitzen. Weiterhin kann bei diesen der Elektrolyt nicht mehr in Brand geraten. Auch der Entwicklung der Natrium-Ionen-Batterie kommt eine große Bedeutung zu (INGENIUER.de 2021).

Redox-Flow-Batterien (Flüssigbatterien) sind elektrochemische Systeme, mit denen elektrische Energie in definierten chemischen Verbindungen stofflich gespeichert wird. Die Elektronen werden bei der Reduktion aufgenommen und bei der Oxidation abgegeben. Als Redoxpaare fungieren z.B. Verbindungen aus Vanadium, Brom sowie Titan, Eisen, Chrom, Cer, Zink und Schwefel. Der Elektroenergiespeicherung dienen zwei getrennte Elektrolyte, in deren Lösungsmittel die Reaktionspartner (Salze) gelöst sind. Die Elektrolytlösungen zirkulieren (flow) in zwei, von einer Membran mit Ionenaustausch getrennten Kreisläufen Die Elektrolyte brauchen in der Zelle des Akkumulators nicht ständig präsent zu sein. Die Energiemengen und die Leistung des Akkumulators sind unabhängig voneinander auslegbar. Infolge der getrennten Lagerung der Elektrolyte ist ihre Neigung zur Selbstentladung sehr gering. Das Laden ist über den Ersatz der flüssigen Elektrolyte möglich, was ihrer Nutzung im Bereich der Mobilität zugutekommen könnte. Redox-Flow-Batterien können langfristig verlustfrei speichern. Sie werden im Leistungsbereich von einigen Kilowatt bis zu mehreren Megawatt betrieben. Diese Eigenschaften der Redox-Flow-Batterie begünstigen die Nutzung als Speicher in Quartieren bzw. der Spitzenlastabdeckung in der Industrie sowie beim Laden von Elektrofahrzeugen.

Als Beispiel für eine Redox-Flow-Batterie ist die metallfreie Flussbatterie der JenaBatteries GmbH angeführt (JenaBatteries 2022). Für deren Herstellung werden keine kritischen Rohstoffe aus unsicheren Herkunftsländern benötigt. Sie ist vollständig in Europa produzierbar. Leistung und Kapazität des Akkus sind voneinander unabhängig skalierbar.

3.4 Chemische Speicher

Für die Langzeitspeicherung großer Mengen von Elektroenergie ist

deren Umwandlung in speicherfähige chemische Stoffe geeignet. Diese Stoffe werden bei der Speicherung nicht verändert. Bei Bedarf können diese rückverstromt werden, oder in anderen Energiemaschinen bzw. stofflich genutzt werden.

3.4.1 Erzeugung zu speichernder Stoffe

Wasserstoff
Wasserstofferzeugung durch Elektrolyse
- alkalische Elektrolyse
- saure Elektrolyse
- Hochtemperaturelektrolyse

Reaktion: $2H_2O$

Gasförmiges Speichermedium auf Basis von Wasserstoff
- Erzeugung von Methan
  Sabatier-Prozess

Reaktion: $CO_2 + 4H_2$

Flüssige Speichermedien auf Basis von Wasserstoff
- Erzeugung von flüssigen Kohlenwasserstoffen
  Fischer-Tropsch-Synthese

Reaktion: $nCO + (2n+1)H_2$

- Erzeugung von Methanol

Reaktion: $CO_2 + 3H_2$

- Erzeugung von Ammoniak
  Haber-Bosch-Verfahren

Reaktion: $3H_2 + N_2$

Tabelle 2: Erzeugung zu speichernder Stoffe (Eigene Darstellung)

Im ersten Schritt wird mit Elektroenergie mittels Elektrolyse Wasserstoff erzeugt. Dafür stehen die alkalische Elektrolyse, die saure Elektrolyse und die Hochtemperaturelektrolyse als Technologie zur Verfügung.

Die Weiterverarbeitung des Wasserstoffs zu Methan ist als Sabatier-Prozess, bereits 1902 entwickelt von Paul Sabatier (1854–1941) gemeinsam mit Jean Baptiste Senderens (1856–1937), bekannt.

Das synthetisiere Methan kann problemlos dem Erdgas zugemischt

werden bzw. bei Verzicht auf fossiles Erdgas dessen Infrastruktur gemeinsam mit aus Biogas erzeugtem Bioerdgas nutzen.

Der Weg zu flüssigen Kohlenwasserstoffen führt über die Fischer-Tropsch-Synthese. Diese wurde 1925 von Franz Joseph Emil Fischer (!877–1947) und Hans Tropsch (1889–1935) am Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr entwickelt. Da die eigentliche Synthese von Kohlenmonoxid und Wasserstoff ausgeht, ist in einem vorgelagerten Prozessschritt aus Kohlenstoffdioxid, Wasser und Einkommensenergien das Synthesegas zu erzeugen. Die Aufarbeitung des Rohkraftstoffs zur Maximierung des gewünschten Produktes erfolgt durch hydrierende Spaltung, sog. Hydrocracken.

Ein weiterer Syntheseweg führt zu Methanol, welches in großen Mengen als chemischer Grundstoff benötigt wird, aber auch als Energiequelle genutzt werden kann. Die Methanol-Synthese geht auf Arbeiten von Matthias Pier (1882–1965) im Jahr 1923 zurück. Die Nutzung von Methanol als Chemie- und Energierohstoff wurde bereits in den 1980er Jahren von Asinger beschrieben (Asinger 1986), damals allerdings noch ausgehend von der Kohle.

Weiterhin ist die Überführung des Wasserstoffs in Ammoniak möglich., Dieser lässt sich deutlich besser transportieren und speichern als Wasserstoff und wird nach dem Haber-Bosch-Verfahren hergestellt, benannt nach Fritz Haber (1868–1934) und Carl Bosch (1874–1940), welches zu Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelt wurde.

An dieser Stelle sei noch auf das ungeklärte Problem der sinnvollen Anlagengröße verwiesen. So ist bei großen Anlagen zur Weiterverarbeitung von Wasserstoff für die An- und Abfahrprozeduren mit einer Größenordnung von Tagen bis Wochen zu rechnen. Die Bereitstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse erfolgt aber wegen der Volatilität der Einkommensenergien nicht kontinuierlich. Deshalb erscheint die Zwischenspeicherung des Wasserstoffs vor der Weiterverarbeitung zwingend erforderlich. Ein anderer Weg wäre der Einsatz kleiner Anlagen, die kurze An- und Abfahrzeiten erlauben (vgl. Kirsch et.al. 2020) um dadurch auf die Zwischenspeicherung von Wasserstoff verzichten zu können.

3.4.2 Stoffliche Speicherung

In welcher Form sich die stoffliche Speicherung großer Energiemengen durchsetzen wird, bleibt abzuwarten. Neben der energetischen Effizi-

enz werden die Möglichkeiten und die Kosten für die notwendigen Erzeugungsprozesse, den Transport und die Lagerung der chemischen Stoffe eine wichtige Rolle spielen. Ein weiterer Aspekt, der für die stoffliche Speicherung von Energie eine große Bedeutung haben wird, ist die Frage, in welcher Form künftig große Energiemengen importiert werden. 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 werden soll.

Zur Speicherung von Wasserstoff und synthetischem 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 bis100 Millionen Nm^3. Kavernenspeicher eignen sich für die Abdeckung von Verbrauchsspitzen bis zur saisonalen Speicherung. In ihnen können konventionelles Erdgas, Biogas, synthetisches Methan und Wasserstoff gespeichert werden.

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. Porenspeicher sind für größere Wasserstoffanteile wegen des möglichen Wachstums sulfatreduzierender Bakterien nicht geeignet.

Für die erzeugten flüssigen Kohlenwasserstoffe hoher Energiedichte kann die für Transport und Lagerung von Erdölprodukten geschaffene Infrastruktur genutzt werden.

Lagerung und Transport von Methanol erfolgen im Bereich der chemischen Industrie seit Jahrzehnten problemlos. Für die Ausweitung auf weitere Nutzungsbereiche von Methanol werden deshalb keine Einschränkungen gesehen.

Ammoniak, welcher bereits bei einer Temperatur von - 33 °C flüssig

wird, lässt sich bei Raumtemperatur bei 8,6 bar verflüssigen. Damit ist die drucklose Lagerung bei Temperaturen unterhalb der Siedetemperatur oder unter Druck möglich. Dadurch sind die Anforderungen für Lagertanks deutlich geringer als für Wasserstoff.

3.5 Verwendung metallischer Brennstoffe

Zur Ergänzung der bisher genannten chemischen Speicherung soll hier noch die Verwendung von Wasserstoff zur Produktion regenerativer metallischer Brennstoffe durch Reduktion von Metalloxiden, vorzugsweise von Eisenoxiden, genannt werden (vgl. Wolf/Hain 2017). Bei Oxidation von Eisen mit Wasserdampf entsteht ein Wasserstoff/Wasserdampf-Gemisch, das mit Sauerstoff in bekannten Verbrennungskraftmaschinen ohne Abgas und emissionsfrei zum Zwecke der Produktion von technischer Arbeit zu Wasserdampf, der als Oxidationsmittel im Prozess verbleibt, verbrannt werden kann. Der Umwandlungswirkungsgrad der Prozesskombination Elektrolyse, Eisen-Wasserdampf-Prozess, emissionsfreie Verbrennungskraftmaschine wird bei 65 % erwartet, aber diese Kombination ist für große Speicherkapazitäten, wie sie für die Energiewende in den Sektoren Mobilität und Strom erforderlich sind, wirtschaftlich besser geeignet und vor allem langlebiger.

3.6 Speicherung von Elektroenergie als thermische Energie

Eine weitere Möglichkeit, Elektroenergie in technologisch bedeutenden Größenordnungen zu speichern, ist die Speicherung als thermische Energie. Diese Speichertechnologie ist als „power-to-heat"-Konzept bekannt. Bei einem Überangebot elektrischer Energie werden die PVA bzw. WKA nicht vom Netz genommen, sondern elektrische direkt in thermische Energie überführt. Weil bisher keine Speicher für Elektroenergie in vergleichbaren Größenordnungen zur Verfügung stehen, ist diese Speichertechnologie aus ökonomischer Sicht mitunter zweckmäßig (vgl. Groscurth/Bode 2013). Für „power-to-heat" existieren Optionen für den Einsatz elektrischer Wärmepumpen, die thermische Umgebungsreservoire nutzen können oder für den Einsatz gewöhnlicher Heizstäbe bzw. eines Elektrodenkessels. Als Speicher dienen gewöhnlich kapazitive (sensible) Wärmespeicher, die in Wärmenetze integriert sind. Der Einsatz der Technologie als negative Regelenergie ist möglich.

Auch Hochtemperaturspeicher (sogenannte Carnot-Batterien) eignen sich als Thermo-Mechanische Stromspeicher (vgl. Schäfer 2020). Bei der Nutzung von Hochtemperaturspeichern als Flexibilitätsoption im Energiesystem wird zunächst mithilfe einer Wärmepumpe oder eines Heizstabes bis 1.500 °C elektrische Energie in Hochtemperaturwärme umgewandelt. Diese Wärme wird dabei durch ein Wärmeträgermedium in den Speicher übertragen. Bei Bedarf wird die gespeicherte Wärme mittels eines Wärmekraftprozesses in Strom zurückverwandelt. Die erzeugte Wärmeenergie kann auch direkt für Industrieprozesse < 1.300 °C verwendet werden.

Außer Betrieb gegangene Kohlekraftwerke eignen sich besonders gut als Einsatzgebiet für HT-Speicher. Sie verfügen über die notwendige Infrastruktur, wie beispielsweise eine Turbine zur Dampferzeugung und einen Anschluss an das Fernwärmenetz.

In der Praxis wird diese Technologie ausgiebig erprobt. Beispielsweise setzt RWE in Zusammenarbeit mit der FH Aachen und dem deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrttechnik ein wegweisendes Pilotprojekt um, bei dem ein Kohlekraftwerk im rheinischen Revier zu einem Wärmespeicherkraftwerk umgerüstet wird (vgl. en:former 2019).

3.7 Speicher für thermische Energie

In Tabelle 2 sind wesentliche bekannte Speicherarten für thermische Energie aufgeführt. Dabei werden auch in Zukunft insbesondere im Bereich der Ausführungsformen neue Speicher hinzukommen.

Speicherart	**Wirkprinzip**	**Ausführungs-form Beispiele**	**Einsatzgebiete**
Kapazitive (sensible) Speicher	Temperaturänderung des Speichermediums	Heißwasserspeicher Druckspeicher, Erdwärmespeicher, Thermoöle, Salzschmelzen Feststoffspeicher	Kurzzeitspeicher Langzeitspeicher
Transformative (latente) Speicher	Nutzung der Umwandlungsenthalpie beim Phasenwechsel	Eisspeicher Salzhydratspeicher Paraffinspeicher	Kurzzeitspeicher Langzeitspeicher

Thermochemische Speicher	Nutzung der Chemisorptionsenthalpie	Zeolithe Silikagel	Kurzzeitspeicher Langzeitspeicher
Chemische Speicher	Reaktionsenthalpie reversibler chemischer Reaktionen	Natriumhydroxid/ Natronlauge Calciumoxid/ Calciumhydroxid	Kurzzeitspeicher Langzeitspeicher

Tabelle 2: Übersicht über Speicher für thermische Energie (Eigene Darstellung)

3.7.1 Kapazitive Wärmespeicher

Kapazitive Wärmespeicher sind die am häufigsten eingesetzten thermischen Speichertypen. Sie verändern charakteristischerweise während der Be- und Entladung ihre thermodynamische Temperatur. Kapazitive Speichern können direkt oder über Wärmeüberträger indirekt be- und entladen werden. Dafür existieren mehrere ausgereifte Bauformen der Apparate.

Bei ihrer Beladung wird dem System Wärme zugeführt und damit das Speichermedium der Wahl auf ein höheres Temperaturniveau, demzufolge ein höheres Energie- und Exergieniveau befördert. Bei der Entladung wird der Prozess infolge des Wärmeentzugs (Entropieexports) umgekehrt.

Kapazitive Speicher können direkt oder über Wärmeüberträger indirekt be- und entladen werden. Die Kapazität des Speichers hängt von der Masse des Speichermediums und dessen spezifischer Wärmekapazität ab.

Zwischen dem Speichermedium des Systems und seiner thermodynamischen Umgebung besteht eine Temperaturdifferenz, die sich über Zehnerpotenzen erstrecken kann. Daraus ergeben sich die Notwendigkeiten einer guten Isolierung bis Superisolierung der Speicher gegenüber ihrer Peripherie, der unmittelbaren Umgebung, und ein – von der Bauform abhängiges – zu optimierendes Verhältnis von Oberfläche und Volumen.

Als Speichermedien lassen sich vor allem nutzen:

- Wasser, wässrige Salz-Lösungen
- Thermoöle (Mineralöle, Synthetiköle, Bioöle)
- Salzschmelzen evtl. makroverkapselt (für verschiedene Temperaturbereiche)

- Kies, Sand (auch mit Wasseranteilen),
- Granit, Basalt
- Beton,
- Ziegelstein, Schamotte
- Metalle (Eisen, Stahl, flüssige Metalle)

Die meistens eingesetzten kapazitiven Speicher sind Heißwasserspeicher im Temperaturbereich bis θ=100°C. Sie dienen in Wärmenetzen zum Ausgleich von Bedarfsspitzen, gewinnen aber zunehmend auch zur Sicherung der Wärmeversorgung bei stromgeführten KWK-Anlagen an Bedeutung.

Eine besondere Ausführungsform eines kapazitiven Wärmespeichers ist der als Erdwärmespeicher konzipierte eTank, der so ausgeführt wird, dass das Grundwasser nicht beeinträchtigt wird (vgl. Topal et.al. 2017).

Druckspeicher werden mit Wasser bei Temperaturen von >100°C betrieben. Als bekanntes Beispiel seien hier die seit langem betriebenen Ruths-Speicher, benannt nach dem schwedischen Ingenieur Johannis K. Ruths (1879–1935), angeführt (Universal-Lexikon 2022). In ihnen hat das Wasser ein thermisches Niveau oberhalb der Siedetemperatur. Wird Dampf entnommen, siedet Wasser nach, so dass die Versorgung mit Dampf über die Speicherentladung gewährleistet werden kann. Zum Beladen des Speichers wird Dampf im Wasser kondensiert, wodurch dieses aufgeheizt wird.

Für Kies-Wasser-Wärmespeicher werden Gruben ausgehoben und mit wasserdichter Kunststofffolie ausgekleidet, mit einem Kies-Wasser-Gemisch gefüllt und nach oben ebenfalls mit Kunststoff abgedichtet. Die Wärme kann direkt leitend übertragen oder indirekt über eingebaute Rohrschlangen mit charakteristischen radialen Wärmedurchgängen befördert werden. Die Anwendung solcher Speicher hat gegenüber dem Bau von Stahl- oder Betonbehältern Vorteile. Die Wärmekapazität ist jedoch geringer.

Für deutlich höhere Betriebstemperaturen werden Wärmespeicher mit Thermoölen oder temperaturoptimierten Salzschmelzen als Speichermedien genutzt.

Als Feststoffspeicher werden vielfach in Gebäuden Betonspeicher eingesetzt (vgl. Beton 2017). Diese können zur Klimatisierung der Gebäude genutzt werden. Auch für Hochtemperaturanwendungen z.B. in der chemischen Industrie werden Feststoffspeicher eingesetzt (vgl.

Vauck/Müller 1978).

Bei Erdsondenwärmespeichern wird Wärme über Sonden mit einer Tiefe bis maximal 100 m im Erdreich gespeichert. Die Ein- und Ausspeicherung erfolgt über die gleichen Sonden. Dabei ist zu beachten, dass die Grundwasserströmung im Speichergebiet gering bleibt, um möglichst kleine Speicherverluste zu bewirken.

Bei Aquiferwärmespeichern erfolgt die Wärmespeicherung in hydraulisch abgeschlossenen Grundwasserschichten. Aquiferspeicher sind z.B. in Neubrandenburg ausgeführt (vgl. neu.sw 2017).

3.7.2 Transformative Wärmespeicher

Bei transformativen Wärmespeichern (Latentwärmespeichern) wird die Wärmemenge genutzt, die bei einem Phasenwechsel (phase change) des Speichermaterials frei wird. Zum Einspeichern von Wärme wird diese über einen Wärmeträger, einem Phasenwechselmaterial (PCM – phase change materials), mit einer Temperatur über dessen Phasenwechseltemperatur zugeführt. Dabei ändert dieses ohne eine Temperaturänderung den Aggregatzustand z.B. von Fest nach Flüssig. Bei Wärmeentnahme kehrt sich dieser Vorgang um. Bei transformativen Wärmespeichern kann Wärmeenergie verlustarm und über viele Zyklen gespeichert werden. Als Materialklassen für diese Speicher sind Wasser/Eis, Paraffine, Salzhydrate und deren Mischungen, Zuckeralkohole sowie eine Vielzahl von Salzen und deren eutektische Mischungen, bei höheren Temperaturen aber auch Metalle zu nennen.

Insbesondere zum System Natriumacetat-Trihydrat sind Ausführungsbeispiele bekannt (vgl. Golbs et.al. 2011, Golbs et.al. 2017).

3.7.3 Thermochemische Speicher

Thermochemische Speicher können als Sorptionsspeicher mit hygroskopischen Speichermedien, wie Zeolithen und Silicagel, ausgeführt werden. Die Wärmefreisetzung erfolgt während der Adsorption von Wasser an den hygroskopischen Speichermedien bis die maximale Beladung des Materials erfolgt ist. Zum Aufladen des Speichers wird das Material durch Wärmezufuhr wieder getrocknet (vgl. TECHNOLOGIEMATRIX 2018).

3.7.4 Chemische Speicher

Bei der chemischen Speicherung von thermischer Energie werden chemische Reaktionen genutzt, die mit einer deutlichen Wärmetönung reversibel ablaufen. Als Beispiele seien genannt:

- Umsetzung von Calciumoxid mit Wasser zu Calciumhydroxid unter Wärmefreisetzung; regenerieren des Speichers – Rückreaktion unter Wärmezufuhr,
- Bildung bzw. Zersetzung von Calciumcarbonaten,
- Reduktion von Metalloxiden.

Diese Speicher sind besonders für Hochtemperaturanwendungen geeignet. Der Schwerpunkt der Entwicklung liegt derzeit beim System Calciumoxid/Calciumhydroxid (vgl. Laing/Wörner 2013). Ein anderes interessantes System könnte das System Natriumhydroxid/Natronlauge sein. Es wurde 1883 in der Honigmannschen Natronlok verwirklicht, kam danach aber in Vergessenheit (vgl. Mähr 2005). Speicher nach diesem Vorbild wurden in der Schweiz entwickelt und getestet. Ein marktreifes Produkt ist noch nicht bekannt. In Deutschland ist dieses System ebenfalls bekannt (vgl. Wolf/Hain 2017).

4 Schlussbemerkungen

Zum Abschluss möchte ich nochmals auf Folgendes hinweisen:

Die Erforschung, Entwicklung und der Einsatz leistungsfähiger Speicher für elektrische und chemische (stoffliche) Gebrauchsenergien/ Endenergien gehört zu den dringendsten Aufgaben, damit die Energiewende gelingen kann. Es ist davon auszugehen, dass es einen Universalspeicher nicht geben wird und auch nicht geben kann.

Zum Schluss sei im Sinne von Wilhelm Ostwalds „energetischen Imperativ“ „Vergeude keine Energie – veredle und verwerte sie!“ (vgl. Rodnyj/Solowjew 1977) gesagt: „Vergeude keine Energie – speichere sie – du brauchst sie später!“

Bibliographie

Beck, Hans-Peter / Engel, Bernd / Hofmann, Lutz / Menges, Roland / Turek, Thomas / Weyer, Hartmut / Benger, Ralf / Beyer, Katrin /

Brenner, Stefan / Funck, Franziska / Güttel, Robert / zum Hingst, Jens / Lietz, Franziska / Mbuy, Aime / Minke, Christine (2013): *Studie Eignung von Speichertechnologien zum Erhalt der Systemsicherheit*. Goslar: Energie-Forschungszentrum Niedersachsen. https://www.icvt.tu-clausthal.de/fileadmin/ICVT/documents/forschungsberichte/eignung-von-speichertechnologien-zum-erhalt-der-systemsicherheit.pdf (28.05.2022)

Beton (2017): *Nachhaltig Energie tanken mit dem Wärmespeicher Beton*. 24.01.2017 https://baustoffbeton.at/heizen-kuehlen/nachhaltig-energie-tanken-mit-dem-waermespeicher-beton/ (28.05.2022)

Bundestag (2022): *Regierung zur Netzentgeltsytematik bei Stromspeichern. Klimaschutz und Energie/Unterrichtung – 05.05.2022* (hib 212/2022) https://www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-893232 (28.05.2022)

Elsberg, Marc (2013): *BLACKOUT. Morgen ist es zu spät*. München: Blanvalet.

en:former (2019): *Kohlekraftwerk wird zu großem Flüssigsalz-Wärmespeicher umgerüstet*. en:former, Essen https://www.en-former.com/kohlekraftwerk-als-waermespeicher/ (28.05.2022)

erdgasspeicher.de (2022): *Gasspeichertypen*. https://erdgasspeicher.de/-erdgasspeicher/gasspeichertypen/ (28.05.2022)

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.

Fleischer, Lutz-Günther / Mertzsch, Norbert (2015): „Die sogenannte Wärmespeicherung bildet ein essentielles Element des Funktions- und Sicherungssystems der evolutionären Energetik". *ReSource Abfall – Rohstoff – Energie Fachzeitschrift für nachhaltiges Wirtschaften* 28, 2. Quartal, 4–13.

Fürstenwerth, Daniel /Waldmann, Lars (Hrsg.) (2014): *Stromspeicher in der Energiewende. Untersuchung zum Bedarf an neuen Stromspeichern in Deutschland für den Erzeugungsausgleich, Systemdienstleistungen und im Verteilnetz*. Berlin: Agora Energiewende, https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2013/speicher-in-der-energiewende/Agora_Speicherstudie_Web.pdf (31.05.2022)

Golbs, Andreas / Weber, Stefan / Werner, Petra (2011): „Innovative Speichertechnologie als Grundlage einer Neugestaltung der Ener-

gieversorgung im individuellen Wohnbereich.“ *LIFIS ONLINE* (31.05.11). https://leibniz-institut.de/archiv/golbs_31_05_11.pdf (28.05.2022)

Golbs, Andreas / Werner, Petra / Weber, Stefan (2017): „Innovative Langzeitspeicher für die Wärmeversorgung im Individualbereich. Kurzreferat des Vortrags auf dem Kolloquium ‚Energiewende 2.0: Die ambivalente ‚Wärme‘ im Fokus der Wissenschaft und Wirtschaft, der Technik und Technologie‘ am 19. Mai 2017 in Berlin“. *Leibniz Online*, Berlin https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2017/08/05-Golbs_u.a.pdf (28.05.2022)

Groscurth, Helmuth-M. / Bode, Sven (2013): *Discussion Paper Nr. 9 “Power-t-heat” oder “Power-to-gas”?*. Hamburg: Arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik, http://www.arrhenius.de/uploads/media/arrhenius_DP_9_-_Power-to-heat.pdf (28.05.2022)

Güßgen, Florian (2022): „Gefährliche Abhängigkeit. Warum gehört Deutschlands größter Gasspeicher Gazprom?“. *WirtschaftsWoche*, Düsseldorf, 28.01.2022. https://www.wiwo.de/unternehmen/energie/gefaehrliche-abhaengigkeit-warum-gehoert-deutschlands-groesster-gasspeicher-gazprom/28014654.html (28.05.2022)

Ingenieur.de (2021): *Akku für Elektroautos. Natrium-Ionen-Batterie: CATL mixt Zell-Chemie und löst weltweites Problem.* 06.08.2021 https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/natrium-ionen-batterie-catl-mixt-neue-zell-chemie/ (28.05.2022)

JenaBatteries (2022): https://jenabatteries.de/ (28.05.2022)

Jeremias, Ernst-Peter / Bartsch, Gerd / Becker, Kerstin / Bethke, Thomas (2017): „Das Fernwärmenetz als Wärmedrehscheibe zur Einbindung regenerativer Energiearten für die ganzheitliche Versorgung. Vortrag auf dem Kolloquium ‚Energiewende 2.0: Die ambivalente ‚Wärme‘ im Fokus der Wissenschaft und Wirtschaft, der Technik und Technologie‘ am 19. Mai 2017 in Berlin“. *Leibniz Online*, Berlin https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2017/ 08/04-Jeremias.pdf (28.05.2022)

Kirsch, Hannah / Brübach, Lucas / Loewert Marcel / Riedinger, Michael / Gräfenhahn, Alexander / Böltken Tim / Klumpp, Michael / Pfeifer, Peter / Dittmeyer, Roland (2020): „CO2-neutrale Fischer-Tropsch-Kraftstoffe aus dezentralen modularen Anlagen: Status und Perspektiven“. *Chem. Ing. Tech.* 2020, 92, No. 1–2, Weinheim, 91–99; DOI: 10.1002/cite.201900120 file:///C:/ Users/Admin/Downloads/CO2-neutrale_Fischer-Tropsch-Kraftstoffe_aus_dezen.pdf (28.05.2022)

Krassmann Thomas (2012): *Vulkanemissionen – unterschätzte Gefahr für die deutsche Energieversorgung*. – URL: 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 (28.05.2022)

Mayer, Christoph / Brunekreeft, Gert (Hrsg.) (2020): *Resilienz digitalisierter Energiesysteme*. Blackout-*Risiken verstehen, Stromversorgung sicher gestalten*. (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft), München https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/PDFs/ESYS_Analyse_Digitalisierung.pdf (17.09.2022)

Mähr, Christian (2005): *Vergessene Erfindungen Warum fährt die Natronlok nicht mehr?* Augsburg: Verlagsgruppe Weltbild GmbH, 26–46.

Mertzsch, Norbert (2011): „Ambivalenzen erneuerbarer Energien“. *Ambivalenzen von Technologien – Chancen, Gefahren, Missbrauch* (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 112), hrsg. von Banse, Gerhard / Reher, Ernst-Otto. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist, 143–152.

Mertzsch, Norbert (2014): „Speicherung Erneuerbarer Energien – Versuch eines Überblicks Vortrag im Plenum am 13. Dezember 2013 zum Thema ‚Energiespeichertechnologien: Notwendigkeiten, Problemspektren, wissenschaftlich-technische Entwicklungen und Perspektiven‘“ *Leibniz Online*, Berlin .http://www.leibnizsozietaet.de /wp-content/uploads/2014/01/mertzsch.pdf (28.05.2022)

Mertzsch, Norbert; Thomas, Bernd (2017): „Technologische Herausforderungen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung“. *Technologie und nachhaltige Entwicklung* (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 130), hrsg. von Gerhard Banse, Ernst-Otto Reher. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist, 131–145.

Mombelli, Armando (2019): *Revolutionäre Methode zur Speicherung erneuerbarer Energie*. SWI swissinfo.ch, Bern https://www.swissinfo.ch /ger/wirtschaft/tessiner-startup-energy-vault_revolutionaere-methode -zur-speicherung-erneuerbarer-energie/45396114 (28.05.2022)

NEP (2022): https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/Szenariorahmenentwurf_NEP2037_2023.pdf (28.05.2022)

neu.sw (2017): *Wärmespeicherung im Aquifer*. https://www.neu-sw.de/images/downloads/fernwaerme/20170110-

waermespeicherung-im-aquifer.pdf (28.05.2022)

Popp, Matthias (2010): *Ringwallspeicher-Hybridkraftwerk*. http://www. Popp-ware.de/Ringwallspeicher/index.htm (28.05.2022)

Renn, Ortwin (Hrsg.) (2017): *Das Energiesystem resilient gestalten: Szenarien – Handlungsspielräume – Zielkonflikte* (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft), München. https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/PDFs/ESYS_ Stellungnahme_ Das_Energiesystem_resilient_gestalten.pdf (17.09.2022)

Rodnyj, N. I. / Solowjew, Ju. I. (1977): *Wilhelm Ostwald*. Leipzig: BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft.

Rundel, Paul / Meyer, Benedikt / Meiller, Martin / Meyer, Inge / Daschner, Robert / Jakuttis, Michael / Franke, Matthias / Binder, Samir / Hornung, Andreas (2013): *Speicher für die Energiewende*. Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Institutsteil Sulzbach-Rosenberg https://www.umsicht - suro.fraunhofer.de/content/dam/umsicht-suro/de/documents/ studien/studie_speicher_energiewende.pdf (28.05.2022)

Schäfer, Thomas (2020): *Thermo-Mechanischer Speicher (CARNOT*-Batterie). https://www.cleantech-ost.de/fileadmin/user_upload/ chefredakteur1/AK_Energiespeicher/IV_IPM_Thermomechanischer _Speicher_Schaefer.pdf (abgerufen am 28.05.2022)

Scheuermann, Armin (2022): *Grünes Gas auf großer Fahrt. Flüssiger Wasserstoff, Ammoniak oder LOHC - was spricht für welchen H2-Träger?* 17.05.2022 https://www.chemietechnik.de/energie-utilities/was-serstoff/fluessiger-wasserstoff-ammoniak-oder-lohc-was-spricht-fuer-welchen-h2-traeger-381.html (28.05.2022)

SOLARIFY (2022): *Nächster Schritt bei Feststoffbatterie*. 04.01.2022 https://www.solarify.eu/2022/01/04/487-naechster-schritt-bei-feststoffbatterie/(28.05.2022)

Technologiematrix (2018): S*orptionsspeicher*. https://technologiematrix. synergie-projekt.de/steckbrief/sorptionsspeicher/ (28.05.2022)

Thema, Johannes / Thema, Martin (2019): „Nachnutzungskonzept: Braunkohle-Tagebaue als Pumpspeicherkraftwerk?“. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 69/4, 38–39, Wuppertal Institut. https:// epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7291/file/7291 _Thema.pdf (28.05.2022)

Topal, Yunus / Lehmann, Benjamin / Popp, Axel (2017): „Solare Wärmeversorgung unter Nutzung eines eTanks als Wärmespeicher. Vortrag auf dem Kolloquium ‚Energiewende 2.0: Die ambivalente ‚Wärme‘ im Fokus der Wissenschaft und Wirtschaft, der Technik und

Technologie‘ am 19. Mai 2017 in Berlin“. *Leibniz Online*, Berlin. https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2017/08/07-Topal_-u.a..pdf (28.05.2022)

TU Dresden (2021): „Dresdner Wissenschaftler entwickeln essentielle Komponente für zuverlässige Energieversorgung für die Energiewende.“ 07.12.2021. https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/die-fakultaet/aktuelles/news/dresdner-wissenschaftler-entwickeln-essentielle-komponente-fuer-zuverlaessige-energieversorgung-fuer-die-energiewende (22.03.2022)

Universal-Lexikon (2022): *Ruths-Speicher*. https://universal_lexikon.de-academic.com/294310/Ruths-Speicher (28.05.2022)

Vattenfall (2022): „Vattenfall eröffnet Energiepark Haringvliet – die Kombination aus Wind, Solar und Batterien“. Pressemitteilung 02.03.2022. https://group.vattenfall.com/de/newsroom/pressemitteilungen/2022/energiepark-haringvliet-eroeffnet (28.05.2022)

Vauck, Wilhelm R. A. / Müller, Herrmann A. (1978): *Grundoperationen chemischer Verfahrenstechnik*. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.

WEMAG (2022): *WEMAG Batteriespeicher. Wirtschaftliche Batteriespeicher-Lösungen für Industrie, Landwirtschaft und Gewerbe*. https://www.wemag.com/oekostrom/gewerbe/batteriespeicher (28.05.2022)

Wolf, Bodo M. / Hain, Claudia (2017): „Wärmeversorgung und Energiewende. Vortrag auf dem Kolloquium „Energiewende 2.0: Die ambivalente ‚Wärme‘ im Fokus der Wissenschaft und Wirtschaft, der Technik und Technologie“ am 19. Mai 2017 in Berlin“. *Leibniz Online*, Berlin https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads /2017/08/08-WolfHain.pdf (28.05.2022)

Wolff, Reinhard (2011): „Energiewende in Europa: Norwegen will kein Akku sein. Norwegen bietet zur Speicherung von Strom gute Bedingungen für Pumpspeicherwerke – eine Ergänzung zur Windkraft. Doch die Norweger wollen nicht“. *taz,* Berlin https://taz.de/Energiewende-in-Europa/!5111153/ (28.05.2022)

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *155 (2022), 83–96*

Aspekte der Energieversorgungssicherheit

Norbert Mertzsch

Abstract
The topic of security of energy supply, which is currently mainly related to the import of energy raw materials from fossil fuels, must be considered much more comprehensively. Safety aspects of the import and provision of renewable energy domestically, as well as the energy infrastructure as part of the critical infrastructure, must also be considered. There is also the problem of data security.

Resümee
Das Thema Energieversorgungssicherheit, welches derzeit vor allem auf den Import von Energierohstoffen der Vermögensenergieträger bezogen wird, ist wesentlich umfassender zu betrachten. So sind auch Sicherheitsaspekte des Importes und der Bereitstellung von Einkommensenergie im Inland, wie auch der Energieinfrastruktur als Teil der kritischen Infrastruktur zu betrachten. Hinzu kommt die Problematik der Datensicherheit.

Keywords/Schlüsselwörter
security of energy supply, import, energy raw materials, energy infrastructure, critical infrastructure, data security
Energieversorgungssicherheit, Energierohstoffe, Energieinfrastruktur, kritische Infrastruktur, Datensicherheit

1 Vorbemerkungen

Das Thema der Energieversorgungssicherheit hat seit dem Beginn der militärischen Invasion Russlands in der Ukraine in der Öffentlichkeit eine überragende Bedeutung erhalten. Die damit verbundenen Proble-

me spürt jeder Bürger im eigenen Portmonee. Doch die Problematik der Energieversorgungssicherheit ist wesentlich umfassender. In diesem Beitrag soll kurz auf einige Aspekte dieses Problemkreises hingewiesen werden.

2 Worum geht es?

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 wir derzeit bei Erdgas sehen, problematisch ein kann.

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 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 auch der Übergang zur ausschließlichen Nutzung von Einkommensenergien wird ebenfalls Risiken in sich bergen, die rechtzeitig zu diskutieren sind (vgl. 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.

3 Historisches

Bis zum Beginn der Industrialisierung beruhte die Wirtschaft neben der Nutzung der menschlichen Arbeitskraft im Wesentlichen auf der Nutzung von Einkommensenergie, vor allem Wind- und Wasserkraft sowie Holz (Biomasse).

Die Nutzung von Holz als Energieträger war bereits damals nicht unproblematisch, da ein großer Bedarf an diesem auch als Reduktions-

mittel in der Metallurgie und als Baumaterial bestand.
Ein Beispiel für das Land Brandenburg gibt Theodor Fontane in seinen 1862 bis 1869 entstandenen „Wanderungen durch die Mark“:

> „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.“ (Von Rheinsberg bis zum Müggelsee – Märkische Wanderungen Theodor Fontanes. Aufbau-Verlag Berlin und Weimar 1973: 93).

In Berlin abgelöst wurde damals die Einkommensenergiequelle Holz durch die Vermögensenergiequelle 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.

Wenn man nun von der Vermögensenergie weg will – und wegen des Klimawandels auch muss (fossile Energieträger) – und Kernenergie (Spaltung bzw. Fusion) in keinem Fall eine Option sein soll, so bleiben nur die Einkommensenergien übrig. Dazu zählen die Solarenergie in den vielfältigsten Formen (Photovoltaik, Solarthermie, Windenergie, Wasserkraft und Bioenergie) und in geringeren Größenordnungen Geothermie und Gravitationsenergie. Ob diese für unser Wirtschaftsmodell in ausreichender Menge bereitgestellt werden können, muss die Zukunft zeigen. Dabei sollten die Randbedingungen, unter denen die Rückkehr zur Nutzung der Einkommensenergie erfolgt, beachtet werden:

Versiebenfachung der Weltbevölkerung gegenüber der Zeit vor der Industrialisierung
Mehr als Verdoppelung des Energiebedarfs der Menschheit (pro Kopf)

Agrarzeitalter:	Bevölkerung:	ca. 1000 Mio. – Energiebedarf	ca. 1000 W
2016:	Bevölkerung:	ca. 7418 Mio. – Energiebedarf	ca. 2380 W
(Deutschland:		ca. 82,8 Mio.	5170 W)

4 Nutzung von Vermögensenergie

Die Nutzung von Vermögensenergie ist seit Beginn der Industrialisierung vorherrschend bei der Energieversorgung, da hier die für industrielle Prozesse nötige Energiedichte jederzeit gewährleistet werden kann.

Nach einer Studie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe aus dem Jahr 2016 gelten für die Bereitstellung von fossilen Energierohstoffen (Vermögensenergien) folgende Aussagen (vgl. 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 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 wird 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, wird ein sehr großer Teil der weltweit verfügbaren Energierohstoffe nicht gefördert werden können, auch wenn die zukünftige Energieversorgung dadurch unsicherer wird.

Zur Sicherheit der Versorgung mit Energierohstoffen aus staatlicher Sicht soll hier auf eine Rede von Friedbert Pflüger aus dem Jahr 2015

eingegangen werden (vgl. BAKS 2015) Dabei zitierte er eine Rede von Winston Churchill, damals Erster Lord der Admiralität, aus dem Jahr 1913 vor dem britischen Parlament, bei der 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.

Für Deutschland bedeutet dies, da die Herstellung der Versorgungssicherheit Deutschlands durch eigene Energierohstoffe nicht möglich ist (1. Grundsatz), sollte beim Import von Energierohstoffen auf eine Diversifizierung der Lieferanten gesetzt werden (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 bedient werden können.

Bei leitungsgebundenem Import, wie beim Erdgas ist das deutlich komplizierter, da man hier auf langfristige Beziehungen angewiesen ist. Das schafft dann wechselseitige Abhängigkeiten. Diese sollten dann von jeder Seite beachtet werden. Wenn der Importeur sich dann in politischen Krisenzeiten in einem Wirtschaftskrieg unter Einbeziehung von Energierohstoffen gegenüber dem Exporteur befindet, sind stabile Lieferungen natürlich hinfällig (vgl. Hosp 2022).

Für 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

haben wird. Bei flüssigem Erdgas wird ein Drittel des internationalen Handels nicht über langfristige Verträge abgewickelt, sondern am Spotmarkt, also gegen Cash gehandelt (vgl. Reymond, Rimbert, 2022). Das heißt: Der Meistbietende bekommt die Tankerladung.

Das erklärt auch die derzeit sehr hohen Energiepreise. Wenn günstige, langfristige Lieferverträge nicht mehr in Anspruch genommen werden bzw. werden können, muss auf den wesentlichen 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.

Ob das beim Auslauf der Nutzung von Vermögensenergien so bleiben wird, ist abzuwarten. Hier könnte es nach dem Aufbau ausreichender Kapazitäten an Einkommensenergien zu einem Überangebot an Energierohstoffen auf den Märkten kommen, was die Preise deutlich senken könnte. Doch das dürfte dann keine Rolle mehr spielen.

5 Nutzung von Einkommensenergien

Die Nutzung der verdünnten, schwankenden solaren Energieflüsse auf der Erdoberfläche bedeutet zwangsläufig eine Industrialisierung weiter Teile der Landschaft. Derzeit werden für den Weltenergiebedarf 0,015 % der Sonneneinstrahlung genutzt. Das klingt sehr wenig, doch von der gesamten Sonneneinstrahlung hängen das Weltklima inklusive Windsysteme, Wasserhaushalt und Biosphäre ab. Da muss dann schon sehr genau hingesehen werden, wo der Mensch eingreift. Denn auch 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).

Nicht betrachtet im Rahmen der Energiewende werden bisher Gefahren durch größere Vulkanausbrüche auf die Möglichkeiten der Bereitstellung von Einkommensenergie (Problematik Jahr ohne Sommer). Bisher wurde nur in wenigen Beiträgen (vgl. Krassmann 2011, Mertzsch 2011, Mertzsch/Thomas 2017, Renn 2017) auf diese Probleme hingewiesen.

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 erwarten. Teilweise zeichnete sich das bereits im Sommer 2022 ab.

Wenn man sich dieser Frage stellt, dürfte das großen Einfluss auf die Gestaltung der zukünftigen Energieversorgung 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, anzunehmen. Und was ein längerfristiger Blackout in unserer hochtechnisierten Welt bedeuten würde, ist in Studien, aber auch in einem Roman beschrieben (z. B. Mayer/Brunekreeft 2020, Elsberg 2013).

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 solche nicht ausreichend geführten Diskussionen über Risiken und Nutzen von Technologien bietet sich die Nutzung der Kernenergie an. Hier hätte eine Ethikkommission sicher ein dankenswertes Betätigungsfeld. Wie bei den Vermögensenergien ist auch bei den Einkommensenergien in Deutschland eine ausreichende einheimische Versorgung nicht gesichert. 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, aus.

Auch hier sind die gleichen Probleme zur Sicherung von Importen zu klären, wie beim Import von fossilen Energierohstoffen (Vermögensenergien). 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 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. Auf diesbezügliche Probleme wird in einigen Arbeiten Bezug genommen (vgl. Staiß 2022, SOLARIFY 2022).

Ein weiteres Problem beim Import von Einkommensenergien ist die Klärung welcher Energieträger importiert werden soll (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 (vgl. Scheuermann 2022). Doch auch der Import von flüssigem Methan, hergestellt aus Wasserstoff, wäre denkbar, zumal die Infrastruktur dafür gerade errichtet werden soll. Als weiterer Energieträger wird reduziertes Eisen gesehen (SOLARIFY 2022). Solche Szenarien würden dann die einheimische Ammoniakerzeugung 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?

Diese Fragen sind innerhalb übergeordneter Problemkreise zu diskutieren:

1. Definition der Bedürfnisse, die sich die Gesellschaft zukünftig leisten kann. Dabei sind zu beachten: notwendige Ressourcenminimierung/-schonung, kein uneingeschränktes Wachstum mehr / Begrenzung und gerechte Verteilung von Wachstum.
2. Rechtzeitige Planung des komplexen Transformationsprozesses (derzeit werden die Maßnahmen nach den Erkenntnissen der Klimaforscher zeitlich festgelegt – Es muss 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 dem anderen sitzt“).
3. Umsetzung des notwendigen Transformationsprozesse unter Berücksichtigung der vorgenannten Punkte.

6 Energieinfrastruktur

Die Energieinfrastruktur gehört in Deutschland zur kritischen Infrastruktur (vgl. 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,
- vorsätzliche Handlungen,
- Kriege.

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 6 Tagen zum Stromausfall.

Für technisches bzw. menschliches Versagen mit erheblichen Auswirkungen in Europa kann der Stromausfall am 04. November 2006 im Emsland angeführt werden. 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, weitere Länder Westeuropas betrafen. Insgesamt waren 10 Millionen Menschen von den Stromausfällen betroffen. Nach maximal 1,5 Stunden war die Stromversorgung wieder hergestellt (vgl. Kurth 2006).

Vorsätzliches Handeln von Klimaaktivisten führte am 19.09.2022 zur Abschaltung von 2 Kraftwerksblöcken im Kohlekraftwerk Jänschwalde. Die Leistung von 1 Gigawatt stand dem Stromnetz dadurch zeitweise nicht zur Verfügung (rbb24 2022).

Die Auswirkungen eines Krieges auf die Energieinfrastruktur zeigen sich drastisch im Ukrainekrieg.

Um Schäden an der Energieinfrastruktur vorzubeugen bzw. diese gering zu halten, ist diese möglichst resilient zu gestalten (ESYS 2017). Dazu ist diese ständig zu warten und den sich entwickelnden Anforderung 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 Elektroenergietransport großer Mengen von Norddeutschland in den Süden, aber auch den Ausbau der Niederspannungs- und Mittelspannungsnetze zur Aufnahme lokal erzeugter Elektroenergie und zur Sicherstellung der Elektromobilität und der Wärmeversorgung.

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 auch für Extremsituationen, wie unter 5 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 (vgl. 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 bauliche und organisatorische Maßnahmen zu ergreifen. Als Beispiele, was für Maßnahmen ergriffen werden können, seien hier angeführt:

- Ggf. Zugangskontrollen zum Gelände und zu Bauwerken,
- Sicherung von Bauwerken inklusive Fenstern und Türen,
- Einbau von Alarmanlagen und Videoüberwachung,
- Zugang zu kritischen Bereichen erschweren (Vereinzelungsanlagen und Zugangskontrollsysteme,
- Einbau von geschützten Räumen,
- Sicherung von Lüftungsanlagen.

Dass Sicherungsmaßnahmen allerdings noch nicht alle Bereiche der Energieinfrastruktur erreicht haben, belegt ein Polizeibericht, nach dem vom Gelände eines Umspannwerkes Kabel gestohlen wurden, ohne dass sofort Alarm ausgelöst wurde (vgl. MAZ 2022).

Neben den vorgenannten Problemen, 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 Aus-

wirkungen in ganz anderen Teilen des Netzes ergeben. So eines am 08.01.2021 in einem Umspannwerk in Kroatien, das Hochspannungsleitungen in ganz Südosteuropa lahmlegte. Dadurch wurden Netzgebiete im nordwestlichen und im südöstlichen Teil des Kontinents getrennt. Die eingeleiteten Maßnahmen erlaubten es die Netzgebiete nach ca. 1 Stunde wieder zu verbinden. Ein Blackout konnte sicher verhindert werden (vgl. Österreichs E-Wirtschaft 2021).

7 Datensicherheit

Die Datensicherheit hat einen großen Einfluss auf die Energieversorgungssicherheit. Dieser wird in den nächsten Jahrzehnten deutlich zunehmen.

Um dieses zu gewährleisten sind Datennetze strikt vom Internet getrennt zu halten. Dabei ist sicherzustellen, dass, auch bei Wartungsarbeiten, keine Verbindung zum Internet hergestellt wird und neue Software vor dem Aufspielen auf Sicherheit geprüft wird.

Bei modernen Einzelheizungen ist es heute bereits möglich diese über das Smartphone zu steuern. Auch die Wartungsfirma hat üblicherweise Zugriff auf die Daten der Heizungsanlage, um bei Störungen schnell reagieren zu können. Wenn man bedenkt, dass bereits internetfähige Kühlschränke in Bootnetze eingebunden waren, ist die Frage nach der Sicherheit dieser Wärmeversorgungsanlagen nicht nur hypothetisch.

Problematischer dürfte diese Thematik allerdings im Bereich von Wärmenetzen sein, in denen zukünftig die verschiedensten Wärmeerzeuger eingebunden werden. Auch wenn eine solche Steuerung unabhängig vom Internet mit eigenen Leitungen erfolgt, besteht immer noch das Problem, dass Schadsoftware bei Fernwartungen oder über das Aufspielen neuer Software in das System gelangen kann, mit möglicherweise dramatischen Auswirkungen auf die Sicherheit der Wärmeversorgung. Auch der Einsatz von IT-Lösungen in der Wohnungswirtschaft sollte strikt von der Steuerung der Wärmenetze getrennt sein, obwohl es da natürlich zu Wechselwirkungen kommen kann (z. B. schnelle unübliche Änderungen des Wärmebedarfs in einer großen Anzahl von Wohnungen). Andererseits kann eine zentrale Wärmeversorgung in Verbindung mit Technologien zur Stromerzeugung auch ein Element zur Stabilisierung der örtlichen Versorgungssicherheit sein.

8 Fazit

Die Energieversorgungssicherheit hat viele Facetten. So sind neben den derzeitigen 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, zu lösen. Dies gilt auch für die zukünftige Beschaffung von Energieträgern für Einkommensenergien.

Wenn man sich überlegt, welche Aufgaben innerhalb von 23 Jahren gelöst werden sollen, muss die Frage erlaubt sei, ob das wirklich innerhalb dieser kurzen Zeit möglich ist, vor allem bei Wahrung der Energieversorgungssicherheit.

Viele der angesprochenen Probleme wurden bisher von der Politik nicht als akut angesehen. Die Gesellschaft lebte im hier und jetzt, auch wirtschaftlich, und reagierte nur anstelle zukunftsorientiert wirksam zu agieren. Das wird in Zukunft große Probleme bereiten.

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 (2015): *Bundesakademie für Sicherheitspolitik. Beim jährlichen „Follow-up" diskutierten vorige Seminarteilnehmer 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).

BBK (2010): *Handbuch Betriebliche Pandemieplanung*. zweite erweiterte und aktualisierte Auflage. https://www.dguv.de/medien/inhalt/praevention/themen_a_z/biologisch/pandemieplanung/handbuch-betriebl_pandemieplanung.pdf (25.09.2022).

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 (25.09.2022).

BMI (2011): *Schutz Kritischer Infrastrukturen – Risiko- und Krisenmanagement. Leitfaden für Unternehmen und Behörden*. 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).

Elsberg, Marc (2013): *BLACKOUT. Morgen ist es zu spät*. München: blanvalet.

EnSiG (2022): *Gesetz zur Sicherung der Energieversorgung (Energiesicherungsgesetz – EnSiG)*. https://www.gesetze-im-internet.de/ensig_1975/BJNR036810974.html (17.09.2022)

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.

Krassmann Thomas (2012): *Vulkanemissionen – unterschätzte Gefahr für die deutsche Energieversorgung*. URL: www.mineral-exploration.de/mepub/vulkanemissionen.pdf (25.09.2022).

Kurth Matthias (2006): *Stromausfall*. Pressekonferenz 17. November 2006 Bundesnetzagentur https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Presse/Reden/2006/StromausfallNov06Kurth061117Id7966pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (20.09.2022).

MAZ (2022): *Polizeibericht. Einbrecher stehlen Kupferkabel*. Märkische Allgemeine Zeitung 16. September 2022, S. 13.

Mayer, Christoph/Brunekreeft, Gert (Hrsg.) (2020): „Resilienz digitalisierter Energiesysteme. Blackout-Risiken verstehen, Stromversorgung sicher gestalten". *Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft*. München https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/PDFs/ESYS_Analyse_Digitalisierung.pdf (17.09.2022).

Mertzsch, Norbert (2011): „Ambivalenzen erneuerbarer Energien". *Ambivalenzen von Technologien – Chancen, Gefahren, Missbrauch. (*Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 112), hrsg. von Gerhard Banse, Ernst-Otto Reher. Berlin. trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist, 143–152.

Mertzsch, Norbert/Thomas, Bernd (2017): „Technologische Herausforderungen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung". *Technologie und nachhaltige Entwicklung* (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 130), hrsg. von Gerhard Banse, Ernst-Otto Reher. Berlin. trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist, 131–145.

Österreichs E-Wirtschaft (2021): *Großflächige Netzstörung: Chronologie zweier Störfälle*. https://oesterreichsenergie.at/aktuelles/neuigkeiten/detailseite/chronologie-zweier-stoerfaelle (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).

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 (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft)*, München. https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/PDFs/ESYS_ Stellungnahme_Das_Energiesystem_resilient_gestalten.pdf (17.09.2022).

Reymond, Mathias/Rimbert, Pierre (2022): *Energiekrieg. Die Sieger stehen schon fest*. LE MONDE diplomatique. 09.06.2022. https://monde-diplomatique.de/artikel/!5844528 (18.09.2022).

Scheuermann, Armin (2022): *Grünes Gas auf großer Fahrt. Flüssiger Wasserstoff, Ammoniak oder LOHC – was spricht für welchen H2-Träger?* 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/Klaue, Constanze (2021): *Eingeschneit: 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 -freier Energie ermöglichen*. 21.07.2022. https://www.solarify.eu/2022/07/21/608-eisen-soll-speicherung-und-transport-co2-freier-energie-ermoeglichen/ (19.09.2022).

Staiß, Frithjof/Adolf, Jörg/Ausfelder, Florian/Erdmann, Christoph/ Fischedick/ 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*. (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft). München file:///C:/Users/Admin/Downloads/Analyse_Wasserstoff_neu.pdf (17.09.2022).

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *155 (2022), 97–98*

Schlusswort und Ausblick

Norbert Mertzsch

Schlusswort

Mit dem Kolloquium zum Thema: „Die Energiewende 2.0: Im Fokus die Infrastruktur“ wurde von den Veranstaltern, dem Arbeitskreis Energie, Mensch und Zivilisation der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V. und dem Verein Brandenburgischer Ingenieure und Wirtschaftler e.V., ein weiterer Aspekt der Probleme der Energiewende betrachtet, der sich folgerichtig in die bisher zum Thema „Die Energiewende 2.0“ durchgeführten Veranstaltungen einreiht.

Die Vorträge und die Diskussion zeigten, dass es in den nächsten Jahren großer Anstrengungen bedarf, die Energieinfrastruktur so auszubauen, dass sie in der Lage ist die stark fluktuierenden Energieangebote der Einkommensenergien aufzunehmen, zwischenzuspeichern und bedarfsgerecht den Verbrauchern zur Verfügung zu stellen.

Im Bereich der Stromnetze bedeutet das, neben dem Ausbau der Übertragungsnetze vor allem die Verteilnetze den zukünftigen Erfordernissen anzupassen und vor allem Stromspeicherkapazitäten zu schaffen.

Im Bereich der Gasnetze wird voraussichtlich alles, einschließlich der Speicher in die Richtung der Nutzung von Wasserstoff gehen, wobei dieser nicht bis in den letzten Haushalt geliefert werden wird.

Zur Wärmeversorgung werden insbesondere in den Städten Wärmenetze eine Rolle spielen, in die die verschiedensten

Wärmequellen einspeisen werden. Dazu werden dann auch große saisonale Wärmespeicher benötigt.

Um all dieses sicher und effizient betreiben zu können, wird in diesem Bereich die Digitalisierung einen großen Schritt nach vorne machen müssen.

An dieser Stelle möchte ich allen Vortragenden und Disputanten für ihre Beiträge danken. Es ist vorgesehen die Vorträge und Diskussionsbeiträge in einem Band der „Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften“ zu publizieren, so dass nichts vom heute Besprochenen verloren geht.

Ausblick

Diese Veranstaltung konnte zunächst nur einen kleinen Blick auf den Problemkreis Energiewende und Infrastruktur werfen. Viele Dinge sind derzeit in Fluss und sind in den nächsten Jahren weiter vertiefend zu betrachten. Als Beispiele wären hier nur die Einflüsse der Weiterentwicklung der Energieeffizienz und des Verkehrs auf die Energieinfrastruktur nennen.

Sehr große Veränderungen werden durch die Energiewende auch auf die Stoffwirtschaft zukommen. So werden durch den Ersatz von Erdgas durch Wasserstoff zum Beispiel bei der Ammoniaksynthese viele Prozessschritte bei der Synthesegaserzeugung obsolet, dafür werden neue Prozesse zur Stickstoffbereitstellung zu integrieren sein.

Mit einem Kolloquium „Energiewende 2.0: Im Fokus die Stoffwirtschaft“ wollen wir 2023 diese Problematik thematisieren.

Mit diesen Anmerkungen zu unserem heutigen Symposium und einen Ausblick, was die nächsten Themen für Symposien sein könnten, möchte ich Sie nun in das Wochenende entlassen. Für die Teilnahme an dieser Veranstaltung danke ich Ihnen und würde mich freuen, Sie auch bei einer der möglichen Folgeveranstaltungen und weiteren Veranstaltungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V. und/oder des Vereins Brandenburger Ingenieure und Wirtschaftler e.V. begrüßen zu können.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *155 (2022), 99–101*

Verzeichnis der Autorinnen und Autoren[1]

Kerstin Becker (* 1969) studierte Kernenergietechnik/ Umweltschutztechnik an der TH Zittau. Danach 11- jährige Tätigkeit bei den Stadtwerken Zehdenick GmbH mit den Schwerpunkten Umweltmanagement und strategische Erweiterung der Geschäftsbereiche (Fernwärme, Gas- und Stromversorgung). Anschließend eine 12-jährige Tätigkeit als beratende Ingenieurin bei tetra ingenieure GmbH, spezialisiert auf energiewirtschaftliche Grundsatzfragen und Gutachten. Seit 2019 selbständige Unternehmerin (Deine Fernwärme).

Kerstin@deinefernwaerme.de

Frank Behrendt (*1959) studierte Chemie an der RWTH Aachen und der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. Dort beschäftigte er sich unter anderem mit der Simulation laminarer Methan-Luft-Gegenstromdiffusionsflammen, über welche er 1989 promovierte. Nach Forschungsaufenthalten in Schweden und in den Vereinigten Staaten mit dem thematischen Schwerpunkt „Katalytische Zündung und Verbrennung“ folgte im Jahr 1999 die Habilitation für das Fach „Technische Verbrennung“ an der Universität Stuttgart. Im Jahre 2001 wurde er Professor und Leiter des Fachgebiets „Energieverfahrenstechnik und Umwandlungstechniken regenerativer Energien" an der TU Berlin. Die wissenschaftlichen Arbeitsschwerpunkte Behrendts sind die experimentelle Untersuchung reaktiver Zweiphasen-Strömungen am Beispiel der Vergasung von Biomasse sowie Modellierung und numerische Simulation derartiger Prozesse und ihre ökonomisch-ökologischen

---

1 (MLS = Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.)

Bewertung. Seit 2003 gehört er dem Akademischen Senat sowie einer Reihe weiterer Gremien bzw. Ausschüssen der TU Berlin an. Im Jahre 2007 übernahm er die Rolle des Sprechers im „Innovationszentrum Energie“ der TU Berlin, welches alle Aspekte der energiebezogenen Forschung der TU Berlin zusammenfasst. Im gleichen Jahr wurde Behrendt zum Mitglied der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) gewählt und war dort von 2008 bis 2011 stellvertretender Sprecher bzw. Sprecher des Themennetzwerkes Energie und Ressourcen. Seit 2012 ist er Beauftragter des acatech-Präsidiums für internationale Kontakte im Bereich Energie und Ressourcen. Im Jahre 2009/2010 war Behrendt einer der vier Koordinatoren des Energieforschungskonzeptes für das BMBF. Den „Bürgerdialog Energie“ im Jahre 2011 begleitete er als Sprecher des Wissenschaftlichen Beirats. Behrendt ist deutscher Delegierter im Implementing Agreement „Emissions Reduction in Combustion“ der Internationalen Energieagentur (IEA). Er ist Co-Geschäftsführer der TU-Campus EUREF gGmbH, einem An-Institut der TU Berlin zur Einführung weiterbildender Masterstudiengänge zum Thema „Stadt und Energie“ (seit 2011) und Mitglied des Vorstandes der Karl-Fischer-Stiftung (seit 2003). Zu seinen weiteren Funktionen zählen u. a. die Mitgliedschaft im erweiterten Vorstand des BV Berlin & Brandenburg des VDI (seit 2009), in der Leitung des Fachbereichs Kohleveredlung der Deutschen Wissenschaftlichen Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle – DGMK (seit 2012) und im Advisory Board des „European Centre for Energy and Resource Security (EUCERS)“ im Department of War Studies des King’s College in London (seit 2010).

frank.behrendt@tu-berlin.de

Ernst-Peter Jeremias (* 1953/MLS) studierte 1972 bis 1976 Kraftwerksanlagen und Energieumwandlung an der 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 zum Themenkomplex „Elektromobilität und Infrastruktur".

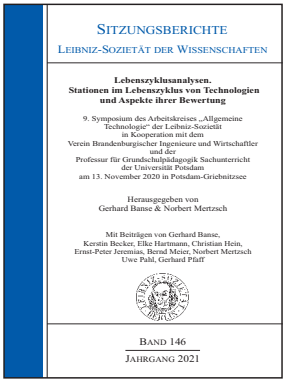
jer18dot@yahoo.com

Norbert Mertzsch (* 1950 / MLS) studierte Chemie an der Technische Hochschule für Chemie „Carl Schorlemmer" mit 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. Mitglied des Vereins Brandenburgischer Ingenieure und Wirtschaftler e.V. (VBIW), hier: Vorsitzender des Vereins und Leiter des Regionalvereins Nordwestbrandenburg sowie Leiter des Arbeitskreises Umweltschutz/Erneuerbare Energien. Mitglied der Brandenburgischen Ingenieurkammer.

mertzsch@t-online.de

Barbara Saerbeck (* 1983) studierte Politik- und Verwaltungswissenschaften in Konstanz, Prag und Brüssel sowie Internationale Beziehungen in Berlin und Potsdam. Dissertation am Forschungszentrum für Umweltpolitik der Freien Universität Berlin zum Einfluss der europäischen Umweltagentur auf europäische Entscheidungsprozesse. Im Zuge eines an der Freien Universität Berlin in der internationalen Klima- und Biodiversitätspolitik angesiedelten DFG-Forschungsprojekts befasste sie sich mit Hilfe sozialer Netzwerkanalysen mit dem Einfluss staatlicher und nicht-staatlicher Akteure auf internationale Verhandlungen sowie mit deren Interaktionen in den sozialen Medien. Beim Verbraucherzentrale Bundesverband war sie als Referentin für Energie mit der Analyse des deutschen Strom-, Gas- und Wärmemarkts befasst. Bei Agora Energiewende Projektleiterin für Grundsatzfragen mit dem Schwerpunkt nationale und europäische Politik tätig.

barbara.saerbeck@agora-energiewende.de



Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät
Band 146 (2021)

Gerhard Banse und Norbert Mertzsch (Hg.)
Lebenszyklusanalyse. Stationen im Lebenszyklus von Technologien und Aspekte ihrer Bewertung. 9. Symposium des Arbeitskreises „Allgemeine Technologie“ der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin (LS) am 13. November 2020 in Potsdam-Griebnitzsee
2021, 146 S., ISBN 978-3-86464-223-4, 16,80 EUR

Ausführliche Informationen unter:
http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-223-4.html

Der vorliegende Band enthält Beiträge des 9. Symposiums des Arbeitskreises „Allgemeine Technologie“ der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin. Der Arbeitskreis veranstaltete seit 2001 bislang acht Symposien, die in nachfolgenden „Protokollen“ in den „Sitzungsberichten der Leibniz-Sozietät“ veröffentlicht wurden.
Im Mittelpunkt stand diesmal die systematische Betrachtung aller Phasen des Lebenszyklus („From cradle to grave“) von Technologien und technischen Sachsystemen („Artefakte“). Zur Lebenszyklusanalyse gehören die Einbeziehung und Bewertung sämtlicher ökonomischer, sozialer, ökologischer, kultureller und weiterer Wirkungen während der Produktion (Herstellung), der Nutzungsphase und der Stilllegung bzw. Entsorgung („Auflösung“) eines technischen Sachsystems sowie der damit verbundenen vor- und nachgeschalteten Prozesse. Zu den Umweltwirkungen zählen sämtliche umweltrelevanten Entnahmen aus der Umwelt sowie die Emissionen in die Umwelt (Umwelt als Quelle und Senke). Dass diese Bewertungen schwierig, aber unverzichtbar sind, machen die Beiträge deutlich.
Ziel des 9. Symposium waren die technischen Sachsysteme selbst, also die „technische Ontogenese“ und ihre Phasen – die Untersuchung der Lebensläufe von Technologien und der zugehörigen Artefakte unter dem Blickpunkt der Allgemeingültigkeit (bezogen insbesondere auf technische, ökonomische, ökologische, rechtliche, soziale und humane Aspekte) zu betrachten. Dazu gehören vor allem:
– die Herstellungsphase: Ressourcenbereitstellung und -verbrauch, Energieverbrauch, Toxizität, Raum- und Gebäudebedarf, Transportbedarf (Entfernungen);
– die Nutzungsphase: Energieverbrauch, Nutzungsdauer und -muster, direkte und indirekte Induktions- sowie Rebound-Effekte;
– die „Auflösungsphase“ (Zerlegung, Recycling, Deponierung): Transport-, Energie-, Platzaufwand, Toxizität, Nachnutzung des Standorts.

Bestellung über jede gute Buchhandlung oder direkt beim Verlag:
trafo Verlagsgruppe, Finkenstraße 8, 12621 Berlin
Mail: info@trafoberlin.de Tel.: 030/612 99 418
http://www.trafoberlin.de/reihe_leibniz.html

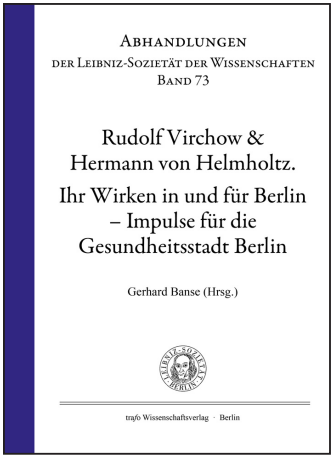
Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät
Band 147 (2021)

Ernst-Peter Jeremias und Norbert Mertzsch (Hg.):
Die Energiewende 2.0. Im Focus: Die Mobilität. Kolloquium der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften in Kooperation mit dem Verein Brandenburgischer Ingenieure und Wirtschaftler am 07. Mai 2021 als digitale Veranstaltung
2021, 140 S., ISBN 978-3-86464-224-1, 15,80 EUR

Ausführliche Informationen unter:
http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-224-1.html

In der Jahrtausende währenden Entwicklung der Menschheit konnte der Mensch seit dem Beginn des Gebrauchs des Feuers bis zur Mitte des 18. Jh. im Wesentlichen nur auf Einkommensenergien zurückgreifen. Dabei spielte der nachwachsende Rohstoff Holz neben der Wasserkraft und der Windkraft die dominierende Rolle. Erst danach dominierte die Verwendung von Vermögensenergien, wie Kohle und Erdöl. Der sich dadurch offensichtlich ergebende Anstieg der Konzentration von Kohlenstoffdioxid in der Erdatmosphäre mit gravierenden Einflüssen auf das Klimasystem der Erde erzwingt nun wieder die Rückkehr zur vorrangigen Nutzung von Einkommensenergien mit allen sich daraus ergebenden Konsequenzen (z. B. Energieangebot und Energiebedarf stimmen nicht überein usw.). Diese Rückbesinnung auf die vorrangige Nutzung von Einkommensenergien wird in Deutschland mit dem Begriff Energiewende beschrieben.
Analoges gilt für die Fortbewegung der Menschen, die bis zur Erfindung der Dampfmaschine und nachfolgend der Eisenbahn zu Land neben dem Laufen auf die Nutzung von Pferd und Wagen beschränkt war. Erst mit der Verfügbarkeit der Eisenbahn und Jahrzehnte später des Autos nahm die Mobilität der Menschen deutlich zu, was mit einem starken Anstieg des Energieverbrauchs für die Fortbewegung einherging und bis heute unvermindert anhält. Einen starken Schub erhielt die individuelle Mobilität durch die fragwürdige Umgestaltung der Städte zur autogerechten Stadt und die zunehmende Massenproduktion von Autos ab Mitte des 20. Jh., was auch den Ausstoß von Kohlenstoffdioxid nachhaltig erhöhte.
Um diesen wieder deutlich zu reduzieren muss sich im Rahmen einer effektiven Mobilitätswende das Mobilitätsverhalten jedes Einzelnen ändern. Der Umstieg von Fahrzeugen mit einem Antrieb auf Basis fossiler Kraftstoffe auf solche mit Elektroantrieb reicht da nicht aus. Damit verbunden werden muss ein gravierender Umbau im Bereich der Automobilindustrie mit entsprechenden Auswirkungen auf davon betroffene Arbeitsplätze. Es zeigt sich, dass Energiewende und Mobilitätswende wesentlich tiefer in die Gesellschaft eingreifen als man oberflächlich erwartet.

Bestellung über jede gute Buchhandlung oder direkt beim Verlag:
trafo Verlagsgruppe, Finkenstraße 8, 12621 Berlin
Mail: info@trafoberlin.de Tel.: 030/612 99 418
http://www.trafoberlin.de/reihe_leibniz.html



Gerhard Banse (Hrsg.)

Rudolf Virchow & Hermann von Helmholtz. Ihr Wirken in und für Berlin – Impulse für die Gesundheitsstadt Berlin

2022, [= Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 73] – in Vorbereitung
ca. 200 S., ISBN 978-3-86464-244-9, ca. 32,00 EUR
Infos: http://www.trafoberlin.de/ 978-3-86464-244-9.html

Im Jahr 2021 wurden die 200. Geburtstage von Hermann von Helmholtz am 31. August sowie von Rudolf Virchow am 13. Oktober genutzt, um das Wirken dieser zwei bedeutenden Wissenschaftler auf vielfache Weise. zu würdigen. Für die Leibniz-Sozietät war das Anlass, ihre Jahrestagung 2021 in Kooperation mit der Berliner Medizinischen Gesellschaft (BMG) und der Campus Berlin-Buch GmbH zur Thematik „Rudolf Virchow & Hermann von Helmholtz: ihr Wirken in und für Berlin – Impulse für die Gesundheitsstadt Berlin“ durchzuführen.

Der vorliegende Band enthält alle Beiträge, die zur Tagung vorbereitet oder durch sie angeregt worden sind: Bei Virchow geht es vorrangig um die naturwissenschaftliche Grundlegung der Medizin: Virchow als Pionier einer modernen, dem Menschen zugewandten medizinischen Wissenschaft, als Gesundheitspolitiker und seine Leistungen für die Gesundheit Berlins sowie die Beziehungen zwischen Virchow und der Berliner Medizinischen Gesellschaft sowie seine prähistorischen Ambitionen. Bei Helmholtz steht sein Bemühen um die Förderung der Wissenschaften im Vordergrund: Helmholtz und die organische Physik, sein Beitrag zur Gründung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin und deren Bedeutung sowohl für die industrielle Revolution als auch für die Wissenschaftsentwicklung. Darüber hinaus werden seine naturphilosophischen und erkenntnistheoretischen Vorstellungen behandelt.

Gemeinsam ist beiden Persönlichkeiten, dass sie in und mit der praktischen Anwendung ihrer Forschungsergebnisse nicht nur bedeutende, sondern – wie gezeigt wird – einzigartige Beiträge zur Entwicklung Berlins als Wissenschaftsstandort geleistet haben. Daran knüpfen die gegenwärtigen Bemühungen des Berliner Senats für die „Gesundheitsstadt Berlin 2030“ an.

Bestellungen über jede gute Buchhandlung oder direkt beim Verlag:
trafo Wissenschaftsverlag, Finkenstraße 8, 12621 Berlin
eMail: info@trafoberlin.de Tel.: 030/612 99 418