

Norbert Mertzsch, Bernd Thomas

Technologische Herausforderungen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung

1 Vorbemerkungen

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 Einkommensenergie 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 Begriff der Nachhaltigkeit wurde erstmalig von Hans Carl von Carlowitz im Jahr 1713 im Sinne eines langfristig angelegten verantwortungsbewussten Umgangs mit einer Ressource – dem Holz – in seinem Werk „*Silvicultura oeconomica*“ verwendet.¹

Den Nachhaltigkeitsbegriff auf die Energieversorgung angewendet kann nur bedeuten, dass die Vermögensenergien langfristig wieder durch Einkommensenergien abgelöst werden und diese bis dahin möglichst schonend genutzt werden. Gleichzeitig sind die Grenzen für die Nutzung der Einkommensenergien zu beachten.

In den nachfolgenden Ausführungen steht die technologische Seite der Energiewende im Focus. Es soll aber auch hier nochmals daran erinnert werden, dass die notwendige Reduzierung der Emissionen von Kohlenstoffdioxid bei der Bereitstellung von Energieträgern für Industrie und private Verbraucher eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe ist (vgl. Fleischer 2012). Von der Politik gesetzte Rahmenbedingungen für diesen Wandel sind damit mitentscheidend für Erfolg oder Misserfolg von technischen und technologischen Entwicklungen.

¹ Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Nachhaltigkeit>.

2 Entwicklungsziele in der Energieversorgung

2.1 Gegenwärtiger Stand

Deutschland ist zum gegenwärtigen Stand zur Deckung seines Energiebedarfs in großen Bereichen auf den Import von Primärenergieträgern angewiesen.² Das betrifft insbesondere Erdöl und Erdgas, aber auch Steinkohle und Kernenergie. Die Nutzung der heimischen Energieträger Steinkohle und Braunkohle ist seit Jahren rückläufig. Heimisches Erdöl und Erdgas sind vom Aufkommen her nur von untergeordneter Bedeutung. Eine zunehmende Rolle spielt im Bereich der Energieversorgung die Nutzung der Einkommensenergien, insbesondere die Windenergie und die Photovoltaik. Die Nutzung der Bioenergie hat demgegenüber bereits einen hohen Stand erreicht und dürfte kaum weiter ausgebaut werden können (siehe Tab. 1).

Beim Endenergieverbrauch dominieren Kraftstoffe, vor Gas und Strom. Fernwärme spielt in Deutschland nur eine geringe Rolle (siehe Tab. 2).

Tab. 1: Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in Deutschland 2014

Energieträger	Anteil in %
Mineralöl	34,4
Steinkohle	13,1
Braunkohle	12,0
Erdgas, Erdöl	20,4
Kernenergie	8,1
Wasser- und Windkraft	3,1
andere Erneuerbare	8,2
Außenhandelsaldo Strom	-0,9
Sonstige	1,7

Quelle: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/Energiedaten/energiegewinnung-energieverbrauch.html>

² Vgl. <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/Energiedaten/energiegewinnung-energieverbrauch.html>.

Tab. 2: Endenergieverbrauch nach Energieträgern in Deutschland 2014

Energieträger	Anteil in %
Steinkohle	4,0
Braunkohle	1,0
Kraftstoff	29,6
Heizöl schwer	0,1
Heizöl leicht	8,0
Gas	24,3
Strom	21,2
Fernwärme	4,5
Sonstige	7,3

Quelle: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/Energiedaten/energiegewinnung-energieverbrauch.html>

2.2 Entwicklungsziele

Die Entwicklungsziele für die Energieversorgung ordnen sich dem zentralen Ziel der Klimapolitik Deutschlands unter. Dieses besteht in einer deutlichen Reduktion der Emission von Treibhausgasen. Gemäß Energiekonzept von 2010 soll bis 2050 im Vergleich zu 1990 eine Reduktion der Emissionen um 80 bis 95 Prozent erreicht werden.³ Darüber hinaus wird bis zum Ende des Jahrhunderts eine Dekarbonisierung insbesondere der Energiewirtschaft angestrebt.⁴

Um diese Ziele zu erreichen, ist eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz in allen Wirtschaftsbereichen notwendig. So soll der Primärenergieverbrauch bis 2050 gegenüber 2008 um 50% sinken. Für den Stromverbrauch ist bis 2050 gegenüber 2008 eine Reduzierung um 25% geplant. Unter dem Aspekt der Dekarbonisierung und der damit verbundenen Verknüpfung von Elektroenergie aus Einkommensenergie und deren weitere Nutzung in Bereichen von Wärmeversorgung und Verkehr dürfte diese Aussage nur für die 2008 existenten Verbraucher von Elektroenergie gelten.

Obwohl Elektroenergie insgesamt nur einen Anteil am Endenergieverbrauch von 21,2% hat, steht die Senkung der Emissionen in diesem Bereich

3 Vgl. <http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/klimapolitik-der-bundesregierung/#c17574>.

4 Vgl. <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/energie/g7-staatslenker-beschliessen-dekarbonisierung-a-1037754.html>.

derzeit im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit. Für diesen Bereich ist der Einsatz von Einkommensenergien besonders geeignet. So lag im Jahr 2012 der Anteil der Einkommensenergien am gesamten Stromverbrauch bei 23,6 Prozent. Ihr Anteil am gesamten deutschen Endenergieverbrauch (EEV) aus Strom, Wärme und Kraftstoffen betrug im gleichen Jahr bereits 12,7 Prozent. Im Wärmemarkt lag der Anteil der Einkommensenergien im Jahr 2012 bei 10 Prozent; beim Kraftstoffverbrauch bei knapp 6 Prozent (siehe Tab. 3).

Tab. 3: Entwicklung der Verkehrsleistungen im Personenverkehr (Mrd. Pkm)

	2010	2030	2050
MIV + Bus	989	1.070	1.063
Bahn	100	116	116
Luft	194	345	420

Quelle: http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/UI-MKS/mks-kurzstudie-ee-im-verkehr.pdf?__blob=publicationFile

Für den Verkehrsbereich strebt die Bundesregierung eine Reduzierung des Endenergiebedarfs bis 2050 um rund 40% gegenüber 2005 an (siehe Tab. 4).

Tab. 4: Entwicklung der Transportleistungen im Güterverkehr (Mrd. tkm)

	2010	2030	2050
Lkw	434	607	721
Bahn	110	154	196
Binnenschiff	62	77	87
Luft	11	19	23

Quelle: http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/UI-MKS/mks-kurzstudie-ee-im-verkehr.pdf?__blob=publicationFile

Dabei ist zu beachten, dass nach einer aktuellen Untersuchung zu Potenzialen und Entwicklungsperspektiven von Einkommensenergien im Bereich Verkehr davon ausgegangen wird, dass bis zum Jahr 2050 die Verkehrsleistungen noch deutlich zunehmen werden.⁵

⁵ Vgl. http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/UI-MKS/mks-kurzstudie-ee-im-verkehr.pdf?__blob=publicationFile.

Um den Energieverbrauch für die Wärmeversorgung von Gebäuden deutlich zu verringern, soll die jährliche Sanierungsrate von Gebäuden verdoppelt werden.

3 Technologische Herausforderungen

3.1 Energieeffizienz

Für die Erhöhung der Effizienz im Bereich Elektroenergieverbrauch gibt es viele Möglichkeiten.⁶ Im Industriebereich betrifft das z.B. alle Technologien, in denen Antriebe verwendet werden. Als Beispiele seien hier Druckluftsysteme, Pumpen oder Förderanlagen genannt. Im Haushalt betrifft das den Einsatz effizienter Geräte, wie Kühlschränke oder Waschmaschinen, aber auch die effiziente Nutzung von Elektrokochern und Herden bzw. den Verzicht auf den Stand-by von Geräten.

Problematisch für die Verbesserung der Effizienz elektrischer Geräte könnte deren zunehmende Vernetzung werden, da zu erwarten ist, dass dadurch viele Geräte eben nicht mehr vollständig ausgeschaltet werden, um die positiven Effekte der Vernetzung nutzen zu können, sondern im Stand-by-Betrieb verbleiben werden. Im Bereich der Beleuchtung ist ebenfalls eine deutliche Einsparung von Elektroenergie möglich. Dies wird vor allem durch den Ersatz von herkömmlichen Leuchtmitteln durch Energiesparlampen bzw. LED-Leuchten erreicht. Unter Nachhaltigkeitsaspekten problemlos sind diese neuen Leuchtmittel im Gegensatz zu gegenüber den für Mensch und Umwelt ungiftigen Glühlampen nicht. So enthalten die Energiesparlampen eine geringe Menge giftiges Quecksilber. Die aktuell hergestellten LED-Leuchten enthalten eine Reihe von Elementen, deren Gewinnung als problematisch anzusehen ist. Ein weiterer Ansatz zum Sparen von Elektroenergie bei der Beleuchtung ist, dass die Beleuchtung nur dann mit voller Leistung in Betrieb ist, wenn sie benötigt wird. Ansonsten wird die Lichtstärke gedimmt oder die Beleuchtung ausgeschaltet. Damit könnte auch dem „Verlust der Nacht“ zumindest teilweise begegnet werden.⁷

Im Bereich der Wärmeversorgung ist eine wichtige Maßnahme zum Energiesparen die Wärmedämmung von Gebäuden. Diese Maßnahme sollte jedoch nicht für jedes Gebäude einzeln betrachtet und durchgeführt werden, sondern in ein Gesamtkonzept für die energetische Stadterneuerung einge-

6 Vgl. <http://www.dena.de/themen/die-energiewende-das-neue-system-gestalten/unter-strom-energieeffizienz-im-strombereich.html>.

7 Vgl. <http://www.verlustdernacht.de/>.

hen. Bei einem solchen Gesamtkonzept sind dann auch Maßnahmen zum Denkmalschutz mit zu koordinieren, damit unsere Städte ihr Gesicht nicht verlieren. Ein weiteres Problem ist, dass die derzeit genutzten Baustoffe zur Wärmedämmung nach dem Nutzungsende des Gebäudes vielfach als gefährliche Abfälle anfallen. Das kann auch durch Schadenswirkungen von Naturgewalten wie Hagel, die infolge des Klimawandels häufiger auftreten können, vor Nutzungsende des Gebäudes eintreten (vgl. Hauner 2011; Laltelin/Jordi 2008). Deshalb sollte die Entwicklung in Richtung wiederverwendbarer bzw. nachnutzbarer Materialien gehen. Als Beispiele dafür können Schaumglas⁸ oder Vakuumdämmelemente aus Metall (vgl. Willems 2003) dienen. Ein effektiver Einsatz dieser Materialien zur Wärmedämmung wird vor allem bei Gebäuden mit langem Nutzungszeitraum erreicht. Als Beispiele können historische Gebäude angesehen werden, deren Nutzung aus heutiger Sicht auch in Jahrhunderten noch zu erwarten ist.

Auch im Industriebereich sind für Maßnahmen der Wärmedämmung neue Materialien zu nutzen. Dazu wurden von verschiedenen Herstellern zum Beispiel Hochtemperaturdämmstoffe entwickelt.⁹

Die Anstrengungen zur Energieeffizienz im Verkehrsbereich, für den ein weiterer Anstieg der Verkehrsleistungen prognostiziert wird, werden eine große Herausforderung werden. So sind auf der Fahrzeugseite alle Möglichkeiten auszuschöpfen, um sparsamere Fahrzeuge zum Einsatz zu bringen, ohne dass andere Emissionen erhöht werden. Unabhängig von den Verkehrsprognosen müssen alle Maßnahmen zur Stärkung des öffentlichen Personenverkehrs und zur Verlagerung von Güterverkehr von der Straße auf die Schiene ergriffen werden. Gerade in Randgebieten wurde der Schienenverkehr in den letzten Jahren leider zurückgefahren. Die geplante Schließung von Frachtbahnhöfen der Deutschen Bahn kann da nur als kontraproduktiv angesehen werden (vgl. z.B. Wüpper/Gellner 2016). Regional gibt es zur Verlagerung von Güterverkehr von der Straße auf die Schiene gute Ansätze, wobei hier noch Bemühungen um eine regionale Wertschöpfung hinzukommen.¹⁰ Die Umsetzung ist allerdings sehr kompliziert.

Noch wichtiger ist es jedoch, alle Möglichkeiten zur Vermeidung von Verkehr zu nutzen. Dazu zählen neben der Schaffung regionaler Wirtschaftskreise auch Maßnahmen der Siedlungspolitik, um Wohnen, Einkaufen und Arbeiten mit möglichst wenig bzw. möglichst effizientem Verkehr zu ermöglichen.

8 Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Schaumglas>.

9 Vgl. http://www.promat-hpi.com/de-de?_ga=1.198259433.759844210.1457798208.

10 Vgl. <http://www.hub5312.de/>.

3.2 Elektroenergie

Im Rahmen des Akademien-Projekts „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS) wurde im November 2015 in der Stellungnahme „Flexibilisierungskonzepte für die Stromversorgung 2050, Stabilität im Zeitalter der erneuerbaren Energien“ gezeigt, wie der Anteil der Einkommensenergie an der Erzeugung elektrischer Energie ohne negative Auswirkungen auf Stabilität und Versorgungssicherheit gesteigert werden kann.¹¹ Danach wird ein zukünftiges System für die Bereitstellung von Elektroenergie sehr flexibel sein müssen. Wird ein hoher Deckungsgrad durch Einkommensenergie angestrebt, sollte deren installierte Leistung höher sein als zur Deckung der Nachfrage nötig ist. Hinzu kämen Speicher und Rückverstromungs-Anlagen, insbesondere flexible Gaskraftwerke. Eine interessante Variante ist die Rückverstromung von gespeichertem Wasserstoff direkt in reversiblen Elektrolysezellen.¹²

Für den Ausbau der Einkommensenergien kommen vorrangig Windkraft und Photovoltaik zum Einsatz. Dabei haben sich inzwischen in der Bevölkerung regional bereits jetzt große Vorbehalte gegen den weiteren Ausbau der Windkraft entwickelt.¹³ Lösungen zu finden, um diese Vorbehalte abzubauen und die Akzeptanz in der Bevölkerung für derartige Anlagen wieder herzustellen, ist vor allem eine wichtige regionalpolitische Aufgabe. Hinzu kommen die bereits in früheren Arbeiten aufgeworfenen Fragen zu Problemen der Einkommensenergien, die deren Nachhaltigkeitsgrenzen aufzeigen könnten (vgl. Fleck/Mertzsch 2012; Mertzsch 2011). Dazu zählen:

- Windenergie:
 - Auswirkungen auf die Vogelwelt;
 - Auswirkungen von Schallemissionen von Offshore-Windparks auf Meerestiere (beim Bau und beim laufenden Betrieb);
 - Einfluss auf das regionale Klima bei großen Windparks;
 - Einfluss auf Stofftransporte bei globaler großflächiger Nutzung (z.B. Stofftransport aus der Sahara zum Amazonasgebiet);
- Photovoltaik:
 - Flächenverbrauch landwirtschaftlicher Nutzfläche bei Freiflächenanlagen;
 - Konkurrenz zur Solarthermie bei Dach- und Fassadenanlagen;

11 Vgl. http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Kooperationspublikationen/3Akad_Stellungnahme_Flexibilitaetskonzepte.pdf.

12 Vgl. http://www.sunfire.de/wp-content/uploads/PM_Boeing_final.pdf.

13 Vgl. z.B. <http://www.vi-rettet-brandenburg.de/>; <http://www.windkraftgegner.de/>.

- Biomasse:
 - Die Nutzung von landwirtschaftlich nutzbaren Flächen zur Gewinnung von Biomasse steht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelgewinnung. Der Nahrungsmittelgewinnung muss Priorität eingeräumt werden.

Zum Ausgleich witterungsbedingter Schwankungen werden in ein solches Energiesystem verschiedene Typen von Speichern integriert werden müssen (vgl. Fleischer/Mertzsch 2014; Mertzsch 2014). Für kürzere Speicherzeiten sind vor allem elektrochemische Speicher geeignet. Es wird erwartet, dass dafür hauptsächlich die elektrochemischen Speicher (Batteriespeicher) der Elektrofahrzeuge und der in Haushalten vorhandenen Photovoltaikanlagen genutzt werden. Kurzzeitige Schwankungen bei der Bereitstellung der elektrischen Energie können auch durch Lastabsenkungen bzw. Abschaltung ausgewählter Verbraucher ausgeglichen werden. Als Langzeitspeicher für längere wind- und sonnenarme Phasen („Dunkelflauten“) kommen derzeit chemische Speicher in Betracht. Damit werden Überschüsse an elektrischer Energie durch Umwandlung in chemische Energie stofflich als Wasserstoff oder Methan (Power-to-Gas – PtG) gespeichert. Weiterhin ist die Nutzung von Untergrundspeichern (Porenspeicher oder Kavernenspeicher) vorgesehen. Während für die Untergrundspeicherung von Methan (Erdgas) Erfahrungen vorliegen, sind für die Untergrundspeicherung von Wasserstoff noch umfangreiche Forschungsarbeiten auszuführen.¹⁴

Was die Nachhaltigkeit insbesondere von Kavernenspeicherung angeht, sind die Probleme der Entsorgung der Salzlaugen bei der Herstellung der Kavernen und der geologischen Stabilität zu betrachten. So gab es in den letzten Jahren verschiedentlich im Fernsehen Beiträge, in denen die Ansicht vertreten wurde, dass Untergrundspeicher unsicher sind und nur eine begrenzte Lebensdauer haben.¹⁵ Sollten diese Aussagen seriös sein, ergeben sich neben Fragen zur sicheren Stilllegung dieser Speicher mögliche „Ewigkeitskosten“ wie beim Ruhrbergbau¹⁶ und Fragen nach einem ausreichenden Potenzial für Nachfolgespeicher. Damit könnte die entscheidende Frage bleiben: Was ist bei der Speicherproblematik für die Energiewende der richtige Weg?

14 Vgl. https://dokumente.ub.tu-clausthal.de/servlets/MCRFileNodeServlet/Document_derivate_00000108/Forschung%20zum%20Thema%20Energiespeicher.pdf;jsessionid=096118A1CFCD2BB09639962CE099CF72.

15 Vgl. <http://www.br.de/fernsehen/bayerisches-fernsehen/sendungen/faszination-wissen/fawierdgas-energie-wende100.html>.

16 Vgl. <http://www.spektrum.de/news/ewigkeitskosten-wasser-pumpen-bis-in-alle-ewigkeit-spektrum-de/1222444>.

Da bisher weder der Ausbau der Elektroenergieerzeugung auf Basis Einkommensenergie eine sichere Versorgung mit Elektroenergie gestattet noch die Speicherproblematik geklärt ist, wird noch für eine längere Zeit eine Grundversorgung auf Basis von Vermögensenergie notwendig sein. Dass derzeit dafür Kraftwerke auf Kohlebasis wegen der billigen Kohleförderung ihren Weiterbetrieb sichern können, wohingegen die für diese Aufgabe besser geeigneten und hocheffizienten Gasturbinenkraftwerke bzw. GUD-Kraftwerke entsprechend dem heutigen Strommarktdesign nicht bzw. kaum noch im Einsatz sind, kann man sicher als politisches Regelungsversagen bezeichnen. Diese Grundlastkraftwerke müssten bis zu einer Mindestlast von ca. 30% der projektierten Leistung gedrosselt werden können, wenn viel Sonnen- und Windenergie im Netz sind (vgl. Tappe/Krüger 2015).

Im Rahmen der Energiewende werden Gefahren durch Vulkanausbrüche auf die Bereitstellung von Einkommensenergie (Problematik Jahr ohne Sommer) nicht diskutiert. Einzig in einem Beitrag von Thomas Krassmann wird auf mögliche Probleme hingewiesen (vgl. Krassmann 2011). Wenn man sich dieser Frage stellt, dürfte das großen Einfluss auf die vorzuhaltende Speichergröße, aber auch auf den Vorhalt weiterer Technologien haben. Denn bei einer weitgehenden Nutzung von Einkommensenergien zur Energieversorgung ist ein Verlust der Möglichkeit, schnell auf Vermögensenergien umzuschwenken, wahrscheinlich. Auch ein Grund dafür, bereits jetzt sparsam mit Vermögensenergie zu sein.

3.3 Wärmeenergie

Zu den technologischen Herausforderungen für eine nachhaltige Versorgung mit Wärmeenergie wurden bereits Ausführungen gemacht (vgl. Mertzsch/Jeremias 2015). Auch im Beitrag von Kerstin Becker und Ernst-Peter Jeremias wurde darauf eingegangen,¹⁷ weshalb hier der Vollständigkeit halber nur kurz auf die Probleme eingegangen werden soll.

Für die Einbindung von Einkommensenergie in die Wärmeversorgung bietet sich insbesondere die Solarthermie an. Dafür gibt es bereits viele Konzepte, doch die derzeitigen niedrigen Preise für fossile Energieträger behindern deren Umsetzung. Technologisch problematisch ist bei der Nutzung der Solarthermie die Sicherstellung der hygienischen Anforderungen für die Trinkwassererwärmung.

Die Nutzung von Bioenergie für die Wärmeversorgung kann über die Nutzung von Biogas bzw. Bioerdgas erfolgen oder durch die thermische

17 Vgl. den Beitrag von Kerstin Becker und Ernst-Peter Jeremias in diesem Band.

Nutzung von Holz bzw. holzartigen Stoffen. Da auf land- und forstwirtschaftliche Flächen auch für die Nahrungsmittelproduktion die Bereitstellung von Holz für die stoffliche Nutzung sowie Aspekte des Naturschutzes zu berücksichtigen sind, ist der Einsatz von Bioenergie begrenzt.

Die Nutzung von Elektroenergie aus dem Bereich der Einkommensenergie kann insbesondere bei einem Überangebot an Elektroenergie als Maßnahme des Lastmanagements erfolgen (Power-to-Heat – PtH). Dabei kann die Elektroenergie in Elektrokesseln oder Wärmepumpenanlagen genutzt werden.

Die Nutzung der Tiefengeothermie ist unter den gegenwärtigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen auch unter der Einbeziehung von Förderprogrammen für die Wärmegewinnung/Wärmespeicherung nicht betriebswirtschaftlich darstellbar. Hier sind für die nächsten Jahre durch technologische Entwicklungen deutliche Kostensenkungen für Geothermiebohrungen notwendig. Ein weiteres Problem sind seismische Risiken. Diese sind für die weitere Verbreitung der Geothermienutzung weitestgehend auszuschließen.

3.4 Verkehr

Aus technischer Sicht ist neben der Weiterentwicklung der Fahrzeuge in Richtung des sparsamen Energieverbrauchs auch der Betrieb der Fahrzeuge mit nachhaltigen Energieträgern/Kraftstoffen auf der Basis von Einkommensenergie zu ermöglichen. Das bedeutet, dass neben den bisher eingesetzten Verbrennungsmotoren zunehmend Elektromotore mit Batteriespeichern für Elektroenergie und Brennstoffzellen mit gespeichertem Wasserstoff als Antriebe genutzt werden (siehe Tab. 5).

Tab. 5: Wirkungsgrade unterschiedlicher Energieträger/
Kraftstoffe bezogen auf Pkw

	Wirkungsgrad in %
Elektroenergie	89
Wasserstoff	58
Methan	41
Benzin	35
Diesel	35

Quelle: http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/UI-MKS/mks-kurzstudie-ee-im-verkehr.pdf?__blob=publicationFile

Die Quelle der hier aufgeführten Energieträger/Kraftstoffe sind Einkommensenergien. Nicht berücksichtigt sind die einzelnen Wirkungsgrade der vorangegangenen Wandlungsstufen und genau hier liegen gegenwärtig auch wichtige Entwicklungspotenziale. Unter Berücksichtigung der genannten Wirkungsgrade ist zu erwarten, dass besonders im Straßenverkehr der Einsatz von Elektroenergie deutlich zunehmen wird.

Die Nutzung von Wasserstoff im Straßenverkehr wird in Verbindung mit der Nutzung der Brennstoffzelle zu sehen sein. Wieweit sich diese Technologie durchsetzen wird, hängt sicherlich von der Entwicklung im Bereich der Reichweite von Batteriefahrzeugen ab und von den Kosten des Aufbaus einer Wasserstoffinfrastruktur. Synthetisches Methan (PtG) und Biomethan werden neben konventionellem Erdgas (gemeinsame Infrastruktur) im Straßenverkehr Anwendung finden.

Für Verbrennungsmotoren werden auch in Zukunft biobasierte Kraftstoffe, deren Verwendung aus bekannten Gründen begrenzt ist, zu Verfügung stehen. Neue Technologien könnten durchaus noch das Potenzial besitzen bisherige Abfälle effektiv zu Kraftstoffen umzuwandeln. Bei elektroenergiebasierten Kraftstoffen handelt es sich um aus Wasserstoff synthetisiertes Methan (Sabatier-Verfahren – PtG) sowie Benzin und Diesel nach der Fischer-Tropsch-Synthese (Power-to-Liquid – PtL). Auf Grund der geringen Wirkungsgrade werden diese Kraftstoffe sicher nur für spezielle Anwendungen genutzt werden können.

Ein weiterer Kraftstoff, der in die Betrachtungen für das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) nicht einbezogen wurde, könnte Methanol sein (vgl. Offermanns/Bertau 2015). Der Wirkungsgrad wird vermutlich ebenfalls im Bereich von Benzin und Diesel, nach der Fischer-Tropsch-Synthese, liegen.

Im Bereich der Binnenschifffahrt ist der Einsatz von synthetischem Methan und Biomethan neben konventionellem Erdgas (gemeinsame Infrastruktur) als Flüssigerdgas (Liquefied Natural Gas, LNG) zu erwarten. Der Einsatz von LNG in diesem Bereich sollte beschleunigt werden, da er zusätzliche positive Effekte im Bereich Gewässerschutz besitzt. Methan könnte ebenso im Bereich des Wassersports und der Personenschifffahrt (als Compressed Natural Gas, CNG) verwendet werden (vgl. Mertzsch 2007).

In der Untersuchung für das BMVI wird für den Luftverkehr bis 2050 davon ausgegangen, dass eine deutliche Steigerung des Energieverbrauchs (bis knapp unter 40%) durch eine Zunahme des Luftverkehrs erfolgen wird. Als Treibstoff kommt weiterhin Kerosin in Frage. Sollte hier synthetisches Kerosin auf der Basis von Einkommensenergie eingesetzt werden, ist sicher-

lich ein beträchtlicher Zubau im Bereich der Windenergie und der Photovoltaik nötig. Zu dessen Größenordnung sind bisher keine Daten bekannt. Ob sich dieser in Deutschland realisieren lässt, ist fraglich.

Damit wird die in den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts angedachte Entwicklung von Flugzeugen mit Wasserstoffantrieb in den nächsten Jahrzehnten nicht zum Tragen kommen.¹⁸ Dafür wird derzeit an der Entwicklung hybrid-elektrischer Antriebe für Flugzeuge gearbeitet.¹⁹

3.5 Bereitstellung und Recycling benötigter Materialien

Während für die Energiebereitstellung und -nutzung in früheren Jahrzehnten weitgehend Massenwerkstoffe genutzt wurden, werden zur effektiven Nutzung der Einkommensenergien zunehmend Hochleistungswerkstoffe eingesetzt. Das betrifft z.B. Verbundwerkstoffe für Windkraftanlagen, Werkstoffe für Generatoren und Elektromotoren, Solarzellen, Brennstoffzellen und Elektrolysezellen.

Die Bereitstellung der Ausgangsstoffe für diese Werksstoffe ist eine besondere Herausforderung. Zum einen sind diese wegen der zum Teil geringen Anreicherung in Erzen nur mit hohem Einsatz an Energie und Chemikalien zu gewinnen.²⁰ Zum anderen ist das Niveau des Umweltschutzes in vielen Herkunftsländern gering. Dieser Umstand sichert zwar relativ günstige Rohstoffpreise, generiert aber dadurch neue Umweltprobleme in den betreffenden Regionen, die auch irgendwann einmal „bezahlt“ werden müssen. Bessere Umweltstandards würden die Kosten für diese Rohstoffe deutlich ansteigen lassen, was die Verbreitung der Technologien zur Nutzung der Einkommensenergien erfahrungsgemäß erschweren würde.

Weiterhin fehlen bisher vielfach effektive Technologien zum Recycling z.B. von Dotierungselementen von Solarzellen oder Neodym aus Magneten. Aber auch Lithium, vorrangig in Akkumulatoren verwendet, ist nur begrenzt erschließbar. Schlussendlich bleibt nur eine vernünftige Lösung für die Zukunft: Die bisher praktizierte industrielle Produktion, deren Wachstum vor allem auf Ausbeutung vorhandener natürlicher Ressourcen beruht, muss analog dem Wandel in der Energiebereitstellung auf nachhaltige Verfahren zur Rohstoffbereitstellung, insbesondere das Recycling, transformiert wer-

18 Vgl. <http://www.zeit.de/1993/51/fliegen-ohne-klimaschaden>.

19 Vgl. <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Elektromobilitaet-Airbus-und-Siemens-wollen-gemeinsam-E-Flugzeuge-voranbringen-3164696.html>.

20 Vgl. <http://www.engineering-igmetall.de/seltene-erden-schmutzige-rohstoffe-f%C3%BCr-gr%C3%BCne-technologie>.

den. Vor allem hier stehen in den nächsten Jahren bzw. Jahrzehnten große Aufgaben an.²¹

4 Zusammenfassung

Als Fazit bleibt, dass auf dem Weg zur nachhaltigen Energieversorgung mit Einkommensenergie noch sehr viele Probleme zu lösen sind, deren Realisierung langfristige Konzepte, zwischen Politik, Wirtschaft und Gesellschaft abgestimmt, braucht. Ob dabei die heute angedachten technischen Lösungen Bestand haben werden oder es zu völlig anderen Lösungen kommen muss, bleibt offen. Höchste Priorität ist unabhängig davon allen Maßnahmen, die zu einem sparsamen Energieverbrauch führen, einzuräumen.

Unter der Voraussetzung, dass bei Methan die Speicherproblematik langfristig beherrscht wird, scheinen aus gegenwärtiger Sicht die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für PtG-Technologien zur mittel- und langfristigen Speicherung von Elektroenergie und zur Versorgung des Verkehrsgebietes erfolgversprechend zu sein. Sowohl die Elektrolyse zur Wasserstoffgewinnung als auch die anschließende katalytische Synthese zu Methan sollten deshalb mit hoher Priorität weiterentwickelt werden.

Interessant ist in diesem Zusammenhang die Frage nach der Bewertung der Wirtschaftlichkeit neuer Verfahren: Geschieht diese allein nach unternehmerischen Gesichtspunkten oder werden die für die Gesellschaft zukünftigen möglichen Kosten aus den Folgen der Klimaerwärmung mit betrachtet?

Hieraus wären eine durch die Politik darauf angepasste Förderpolitik für Kohlenstoffdioxidarme oder -freie Erzeugungstechnologien, zumindest in der Entwicklungs- und Einführungsphase, und im Gegenzug Sanktionierung starker Kohlendioxid-Emissionen ableitbar. Die bevorstehenden technologischen Entwicklungsarbeiten brauchen derartige unterstützende Regulatorien.

Neben den technischen Herausforderungen sind auch soziale Probleme zu beachten, denn die Kosten für die Energieversorgung werden vermutlich ansteigen. In Folge dessen werden sich auch die Kostenstrukturen aller Produkte und Dienstleistungen sowie die Nutzungskosten von Produkten deutlich verändern.

21 Vgl. https://www.fona.de/mediathek/r3/pdf/131126_r3_Broschuere_barrierefrei.pdf.

Literatur

- Fleck, U.; Mertzsch, N. (2012): Probleme beim Übergang zur Vollversorgung mit Erneuerbaren. In: Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V. (Hg.): 5. Jahrestagung 2012 „Energiewende – Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag“. Abstractbook. Berlin (Leibniz-Sozietät der Wissenschaften), S. 101
- Fleischer, L.-G. (2012): Die Energiewende – ein komplexer gesellschaftlicher Transformationsprozess mit konkurrierenden Zielen, Prozessen und Strategien. In: Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V. (Hg.): 5. Jahrestagung 2012 „Energiewende – Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag“. Abstractbook. Berlin (Leibniz-Sozietät der Wissenschaften), S. 19
- Fleischer, L.-G.; Mertzsch, N. (2014): Herausforderungen größer als erwartet. Die wissenschaftlich- technische Komplexität der effektiven Speicherung großer Energiemengen stellt ein praktisches und theoretisches Kernproblem der Energiewende dar. In: ReSource Abfall – Rohstoff – Energie Fachzeitschrift für nachhaltiges Wirtschaften, Jg. 27, III. Quartal, S. 37–45
- Hauner, O. (2011): Herausforderung Klimawandel. Strategisches Management des Klimawandels aus der Sicht der deutschen Versicherungswirtschaft. Vortrag auf der 1. Summerschool „Klimaschutz und Klimafolgenanpassung“ der TH Wildau (FH) im ehemaligen Kernkraftwerk Rheinsberg. Berlin (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.)
- Krassmann Th. (2011): Vulkanemissionen – unterschätzte Gefahr für die deutsche Energieversorgung. – URL: www.mineral-exploration.de/mepub/vulkanemissionen.pdf
- Latelin, O.; Jordi, M. (2008): Hagel – die unterschätzte Gefahr. In: Schadensprisma, Sonderheft zur Ausgabe 4/2008 der Zeitschrift für Schadensverhütung und Schadensforschung der öffentlichen Versicherer. – URL: www.praever.ch/de/es/Publikationen/Documents/Schadenprisma_d.pdf
- Mertzsch, N. (2007): Nutzung des Erdgasantriebes zur Verbesserung der Umweltfreundlichkeit des Wassertourismus bzw. Wassersports. VBIW Arbeitskreis „Umweltschutz – Erneuerbare Energien“. 19.09. (unveröffentlicht)
- Mertzsch, N. (2011): Ambivalenzen erneuerbarer Energien. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Ambivalenzen von Technologien – Chancen, Gefahren, Missbrauch. Berlin, S. 143–152 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 112)
- Mertzsch, N. (2014): Speicherung Erneuerbarer Energien – Versuch eines Überblicks. In: Leibniz Online, Nr. 16. – URL: <http://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2014/01/mertzsch.pdf>
- Mertzsch, N.; Jeremias, E.-P. (2015): Entwicklungstendenzen in der Wärmeversorgung. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Technologiewandel in der Wissensgesellschaft – qualitative und quantitative Veränderungen –. Berlin, S. 125–132 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 122)
- Offermanns, H.; Bertau, M. (2015): Die Methanol-Ökonomie. – URL: <http://www.che-manager-online.com/themen/energie-umwelt/die-methanol-oekonomie>
- Tappe, St.; Krüger, Th. (2015): Zusammenspiel konventioneller und erneuerbarer Stromerzeugung; Transformer Life Management Tagung 2015. URL: – URL: <http://corporate>.

vattenfall.de/newsroom/pressemeldungen/pressemeldungen-import/vattenfall-und-nexans-testen-weltweit-modernsten-strombegrenzer-in-boxberg/

Willems, W. M. (2003): Zur Dauerhaftigkeit ausgewählter Vakuumdämmsysteme. VIP – Bau – 1. Fachtagung, Rostock-Warnemünde, 10.–11. Juli 2003. – URL: http://www.vip-bau.de/pdf/1_vip_bau/p_willems.pdf

Wüpper, Th.; Gellner, T. (2016): 27 märkische Güterbahnhöfe stehen auf Grubes Streichliste. In: Märkische Allgemeine Zeitung, 19. Mai, S. 9