

ULRICH BARTOSCH, PETER HENNICKE, HUBERT WEIGER (HRSG.)

Gemeinschafts
projekt
Energie
wende

Der Fahrplan zum Erfolg



 Vereinigung Deutscher Wissenschaftler



Ulrich Bartosch, Peter Hennicke, Hubert Weiger (Hrsg.)

Gemeinschaftsprojekt Energiewende

Der Fahrplan zum Erfolg

ISBN 978-3-86581-668-9

112 Seiten, 14,8 x 21 cm, 14,95 Euro

oekom verlag, München 2014

©oekom verlag 2014

www.oekom.de

Die Energiewende ist machbar, wenn die Politik mutig und langfristig agiert

Auch im Jahr 2014 zeigen wissenschaftliche Studien: Die Energiewende ist ökologisch zwingend, technisch machbar und ökonomisch vorteilhaft. Strukturell und politisch steckt sie aber noch in den »Kinderschuhen«. Zur Begründung dieser These sind komplexe Systemanalysen und Szenarienvergleiche notwendig. Im Gegensatz zu anderen Ländern (zum Beispiel Japan) ist die Daten- und Szenariengrundlage für notwendige Richtungsentscheidungen der Energiewende in Deutschland ausgezeichnet. Aus der Vielzahl der vorliegenden Szenarien wird hier eine repräsentative, neue Arbeit (Nitsch 2014) herausgegriffen, deren Vorarbeiten in die sogenannten Leitszenarien des BMU eingegangen sind.

Wesentlich ist dabei, dass – auch in sprachlicher Hinsicht – die folgende Darstellung als *Modellergebnis unter »Wenn-dann«-Annahmen* zu verstehen ist. Solche quantifizierten Szenarienergebnisse dürfen weder als empirisch gesicherte »Tatsachen« noch als Wahrscheinlichkeitsprognosen über die Zukunft verstanden werden. Es sind wissenschaftlich gesicherte und technisch mögliche Gestaltungsräume. Es liegt an uns allen mitzugestalten, was hiervon Wirklichkeit wird.

Technisch-strukturelle Grundelemente der Energiewende

Mit dem Energiekonzept der Bundesregierung vom September 2010 und dem Gesetzespaket zur »Energiewende« vom Sommer 2011 – im Folgenden als Energiekonzept 2011 bezeichnet – wurde erstmals ein langfristiger politischer Fahrplan für einen umfassenden Umbau der Energieversorgung in Deutschland vorgelegt. Was ein Jahrzehnt zuvor von der rot-

grünen Koalition auf den Weg gebracht wurde, fand damit eine breite politische Mehrheit. Dies war ein Meilenstein in der deutschen Energie- und Klimaschutzpolitik. Zum einen enthält nämlich das dort formulierte langfristige Ziel einer 80- bis 95-prozentigen Reduktion der Treibhausgase bis 2050 implizit die Forderung nach einer praktisch emissionsfreien Energieversorgung zu diesem Zeitpunkt. Zum anderen wurde festgelegt, dass die dazu erforderliche Transformation des Energiesystems auf zwei »Säulen« beruhen soll, nämlich einer erheblichen Steigerung der Energieeffizienz in allen Bereichen der Energieversorgung und der Deckung des »Restbedarfs« durch Erneuerbare Energien.

Die quantifizierten Unterziele des Energiekonzepts hinsichtlich Verbrauchsreduktion und Anteil der Erneuerbaren Energien im zeitlichen Verlauf kommen nicht von ungefähr. Sie sind das Ergebnis einer großen Zahl von Szenarioentwürfen, Simulationsrechnungen und Systemanalysen, die sich über einen Zeitraum von mehr als zwei Jahrzehnten erstreckten und die zunehmend komplexer und differenzierter die möglichen Pfade in eine nachhaltige Energieversorgung modellierten. Beschränkt man sich nur auf die wichtigsten Studien der letzten zehn Jahre, so erhält man eine beachtliche Liste: UBA (2002); Nitsch (2004); WWF (2009); FVEE (2009); Greenpeace (2009); FfE (2009); EWI et al. (2010); UBA (2010); SRU (2011); BMU (2012); ISE (2012); UBA (2013).

Heute steht fest: Es liegen genügend Erkenntnisse zum technisch machbaren Weg in eine nachhaltige Energieversorgung vor. Die technisch-strukturellen Möglichkeiten der Transformation des Energiesystems hin zu einer effizienten hundertprozentigen Versorgung aus Erneuerbaren Energiequellen sind gegeben und lassen sich in ihren grundsätzlichen Ausprägungen beschreiben. Neuere Untersuchungen bestätigen, dass die im Energiekonzept definierten Unterziele für den Ausbau der Erneuerbaren Energien und die Reduktion des Energieverbrauchs im Wesentlichen sinnvoll sind und bei ihrer zeitgerechten Verwirklichung die angestrebte Reduktion der Treibhausgasemissionen erbracht werden kann. Deshalb besteht kein Anlass, von diesen Zielen grundsätzlich abzurücken.

Folgende generelle Erkenntnisse für die Gestaltung des zukünftigen Energiesystems lassen sich aus den zahlreichen Szenarioanalysen ableiten:

- Die Umbaudynamik, die in der Stromversorgung mit dem Beschluss, aus der Atomenergie auszusteigen, und den Wirkungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes angestoßen wurde, stellt nur den ersten »Einstieg« in die Energiewende dar. Sie muss unverändert aufrechterhalten und stabilisiert werden. Für die Wärmeversorgung und den Verkehrsbereich muss die Energiewende noch wirksam eingeleitet werden, dazu bedarf es weitergehender und deutlich wirksamerer Vorgaben.
- In allen Sektoren, insbesondere auch im Wärme- und Verkehrssektor, ist die Mobilisierung von Effizienzpotenzialen von herausragender Bedeutung. Der weitaus größte Teil der Verbrauchsminderungen des Energiekonzepts (unter anderem Halbierung des heutigen Primärenergieeinsatzes) muss hier erbracht werden. Ebenso sind strukturelle Veränderungen und Anpassungen in diesen Bereichen (stärker vernetzte Wärmeversorgungen; Verkehrsverlagerungen und neue Mobilitätskonzepte) eine wesentliche Voraussetzung für einen mittel- bis langfristig optimalen Einsatz von Erneuerbaren Energien.
- Das Stromsystem gewinnt zukünftig noch an Bedeutung. Die für eine weitgehende Umstellung der Energieversorgung erforderlichen Mengen Erneuerbarer Energien können überwiegend nur von Strom aus Solarstrahlung und Windkraft bereitgestellt werden. Umso wichtiger ist es, in allen Verbrauchsbereichen der energieeffizienten und sparsamen Nutzung von Elektrizität Priorität einzuräumen. Regenerativer Strom wird die wichtigste »Primärenergiequelle« der zukünftigen Energieversorgung. Das Stromsystem muss mittel- bis langfristig sowohl strukturell wie marktwirtschaftlich an die Dominanz volatiler regenerativer Stromerzeugung angepasst werden. Für die verbleibende fossile Restbedarfsdeckung (Residuallast) müssen strenge Effizienz- und Flexibilitätskriterien gelten (zum Beispiel Kraft-Wärme-Kopplung mit Wärmespeichern).
- Zeitlich und räumlich aufgelöste Modellrechnungen haben gezeigt, dass sowohl leistungsfähige räumliche Ausgleichs- und Transportmöglichkeiten (Stromnetze) als auch die Wechselwirkungen und Ausgleichsmöglichkeiten zwischen den einzelnen Sektoren der Energieversorgung von großer Bedeutung für eine effiziente Verwertung der zunehmenden fluktuierender Strommengen aus Erneuerbaren Energiequellen sind. Die Bedeutung der entsprechenden Nutzungssysteme

(»Power to Heat«, »Power to Mobility« und »Power to Gas«) wächst mittelfristig. Der zeitliche und mengenmäßige Einsatz herkömmlicher Speicher muss in Verbindung damit optimiert werden.

- Damit wächst auch die Bedeutung einer effizienten Stromanwendung sowohl in den herkömmlichen als auch in den zukünftig neu hinzutretenden Einsatzfeldern. Gerade deshalb sind ein minimaler Stromeinsatz beim Endverbraucher (Endenergie) und maximale Effizienz der Stromerzeugung (durch Kraft-Wärme/Kälte-Kopplung) geradezu ein Imperativ der Energiewende.
- Die Komplexität der Energieversorgung wird weiter zunehmen. Gleichzeitig wird das Verhältnis von »dezentraler« und »zentraler« Energieerzeugung sich grundlegend ändern. Hinsichtlich der Strom- und Wärmeerzeugung wird das Energiesystem per se dezentraler, hinsichtlich einer jederzeit gesicherten Gesamtversorgung mit Energie wird es jedoch sowohl strom- wie wärmeseitig auch mit zentralen Bausteinen (zum Beispiel Offshorewindkraft; Erneuerbare Stromimporte) vernetzter. Versorgungsnetze auf allen Ebenen übernehmen verstärkt Ausgleichsaufgaben (»smart grids«).
- Das gesamte Energiesystem muss unter Beachtung der hier skizzierten wechselseitigen Abhängigkeiten auf lokaler, regionaler und überregionaler Ebene ständig angepasst und weiterentwickelt werden. Der dazu erforderliche Suchprozess verlangt auf allen drei Ebenen eine ausreichend große Anzahl sachkundiger Akteure, die gleichberechtigt unter fairen Bedingungen operieren können. Damit eine zielorientierte Optimierung marktgetrieben stattfinden kann, sind korrekte Preissignale unter möglichst vollständiger Berücksichtigung von Klimaschadenskosten und anderer externer Kosten zwingend erforderlich.

Bedeutung der »Säulen« Energieeffizienz und Erneuerbare Energien für die CO₂-Minderung

Als »Maßstab« für eine erfolgreiche Transformation des Energiesystems im Sinne eines wirksamen Klimaschutzes und einer konsequenten Verringerung des Verbrauchs fossiler Energierohstoffe wird nachfolgend ein »Szenario 100« (Nitsch 2014) benutzt, welches auf den Modellierungen

der »Leitszenarien« für das Bundesumweltministerium (BMU 2012) aufbaut. Es berücksichtigt die aktuellsten Entwicklungen der Energiewirtschaft, geht von den vorläufigen statistischen Eckdaten des Jahres 2013 aus und modelliert, darauf aufbauend, eine Energieversorgung, welche die CO₂-Reduktionsziele des Energiekonzepts mittels einer zweckmäßigen Kombination von Effizienzsteigerungen und dem Ausbau Erneuerbarer Energien in allen Sektoren sicher erfüllt und im Jahr 2060 eine praktisch zu 100 Prozent auf Erneuerbaren Energien basierende Energieversorgung erreicht. Es ist somit repräsentativ für Szenarien, welche die Klimaschutzziele des Energiekonzepts 2011 sicher erfüllen. In der Rückwärtsbetrachtung dieses zielorientierten Szenarios wird ersichtlich, dass sich bis spätestens 2030 die notwendigen Strukturveränderungen und die erforderlichen Umbaugradienten deutlich abzeichnen müssen, wenn diese Zielsetzung tatsächlich erreicht werden soll.

Eine erfolgreiche Umsetzung dieses Szenarios setzt voraus, dass das dazu notwendige energiepolitische Instrumentarium (unter anderem BMU 2012 und SRU 2013) zügig aufgebaut wird und die aktuellen Defizite der Energiepolitik wirksam beseitigt werden. Der erforderliche energiepolitische Handlungsbedarf wird durch den Vergleich mit einem Szenario »GROKO« illustriert. Es modelliert eine Fortschreibung der gegenwärtigen Trends, wie sie sich unter anderem aus dem Koalitionsvertrag ergeben, und beschreibt die nicht ausreichenden Wirkungen der bisher erkennbaren Energiepolitik der Großen Koalition auf die Erreichbarkeit der Klimaschutzziele.

Mit einer CO₂-Reduktion von 43 Prozent (gegenüber 1990) in 2020 und von 86 Prozent in 2050 erreicht das Szenario 100 die angestrebten CO₂-Minderungsziele sicher² (► **Abbildung 2**). Für den weiteren Schritt zu einer praktisch emissionsfreien Energieversorgung (CO₂-Minderung um 95 Prozent) wird im Szenario ein weiteres Jahrzehnt angenommen. Im Koalitionspapier sind die Treibhausgasreduktionsziele des Energiekonzepts 2011 unverändert beibehalten worden. Wenn diese Zielsetzung politisch glaubhaft sein soll, muss also der energiepolitische Maßnah-

² Die Klimaschutzziele des Energiekonzepts 2011 beziehen sich auf alle Treibhausgase. Sie wurden hier für die Minderung der energie- und industrieprozessbedingten CO₂-Emissionen übernommen unter der Annahme, dass sich die übrigen Treibhausgase proportional zur CO₂-Minderung reduzieren.

menkatalog so gestaltet werden, dass die Transformationsdynamik des Szenarios 100 erreicht wird.

Das Szenario GROKO, welches die gegenwärtige und sich mittelfristig abzeichnende Energiepolitik abbildet, verfehlt dagegen die geltenden Klimaschutzziele deutlich. Dies ist vor allem dem geringen Mobilisierungsgrad von Effizienzpotenzialen geschuldet. Aber auch das gebremste Wachstum von Strom aus Erneuerbaren Energien und fehlende neue Impulse für den wenig dynamischen regenerativen Wärmesektor tragen dazu bei. In 2020 liegt die CO₂-Minderung nur bei 32 Prozent und in 2030 bei 42 Prozent. Im Mittel erreicht also das Szenario GROKO etwa den Minderungstrend des Zeitraums 2000 bis 2011, der aber für die im Koalitionspapier gesetzten Klimaschutzziele bei Weitem nicht ausreicht.

Um die angestrebten erheblichen Reduktionen der Treibhausgas- beziehungsweise CO₂-Emissionen zu erreichen, ist das konzertierte Zu-

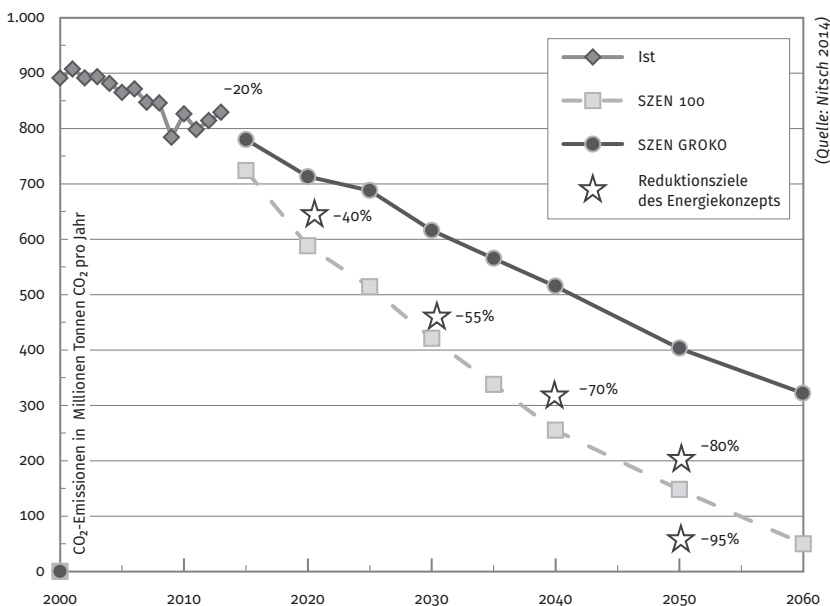


Abbildung 2: Entwicklung der energiebedingten CO₂-Emissionen (einschließlich Industrieprozesse) bis 2013 und Reduktionspfade in zwei Szenarien.

sammenwirken von Effizienzsteigerungen und dem Ausbau der Erneuerbaren Energien erforderlich. Beide Strategien sind von ähnlicher Bedeutung für eine substantielle Verminderung der Emissionen. Während unter den hier getroffenen Annahmen im Stromsektor der Ersatz fossiler Kraftwerke durch regenerativen Strom bei der Emissionsminderung dominiert, sind im Wärmesektor und im Verkehr die Effizienzsteigerungen von überragender Bedeutung.

Die »Arbeitsteilung« von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien wird aus dem Verlauf des Primärenergieverbrauchs in den Szenarien deutlich (► **Abbildung 3**). Nur bei unverzüglich einsetzenden Anreizen (zum Beispiel wirksamer Umsetzung der EU-Energieeffizienzrichtlinie in verbindliche Vorgaben und Gesetze), die zu einer guten Verdopplung der bisherigen jährlichen Steigerungsrate der Energieeffizienz führen würde – wie sie für das Szenario 100 angenommen wird –, könnte bis

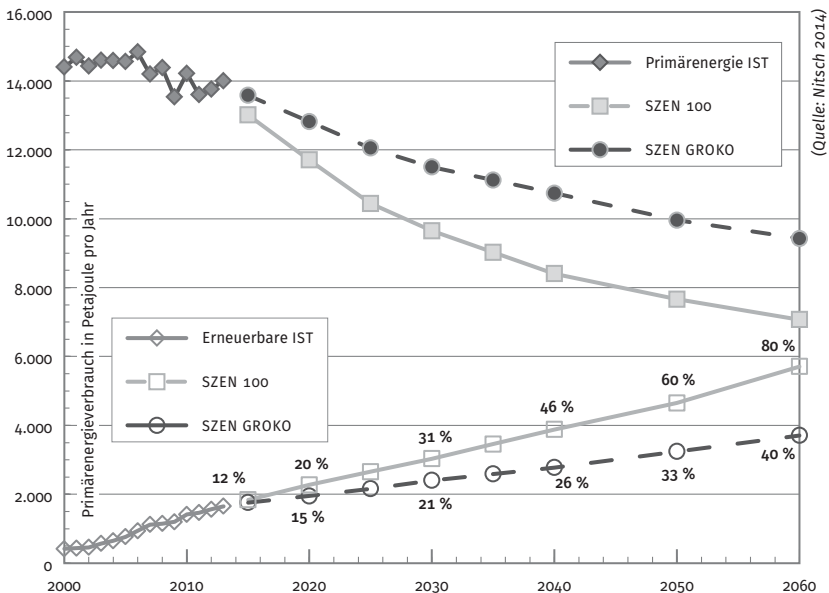


Abbildung 3: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs und des Beitrags Erneuerbarer Energien in zwei Szenarien (Primärenergie einschließlich des nichtenergetischen Verbrauchs; SZEN 100: 2060 = 55 Prozent).

2020 ein Primärenergieverbrauch um 11.700 Petajoule pro Jahr und damit noch die im Energiekonzept 2011 angestrebte Reduktion um 20 Prozent (gegenüber 2008) erreicht werden. Wird, wie im Szenario 100, dieser Prozess fortgesetzt, führt diese Dynamik in 2050 (2060) zu einem um 47 Prozent (51 Prozent) verringerten Primärenergieverbrauch.

Unter Fortsetzung der Trends des letzten Jahrzehnts (Szenario GROKO) dürften die erreichbaren jährlichen Effizienzsteigerungen maximal etwa halb so groß ausfallen, wie es zur Erfüllung der Energieeffizienzziele erforderlich wäre. Mit rund 12.800 Petajoule pro Jahr ist damit für 2020 eine Minderung des Primärenergieverbrauchs um zehn Prozent verbunden. Im Koalitionspapier ist für 2014 die Erarbeitung eines »Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz« vorgesehen. Ob dieser Plan wirksame und finanziell gut ausgestattete Maßnahmen enthalten wird, ist noch völlig offen. Deshalb ist unklar, ob von dem Aktionsplan konkrete Wirkungen ausgehen werden. Eine auch längerfristig eingriffsarme Energieeffizienzpolitik führt bis 2050 günstigenfalls zu einer Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 30 Prozent gegenüber 2008.

Dass die im Szenario 100 unterstellte Energieverbrauchsminde- rung prinzipiell erreichbar ist, haben aktuelle Studien erneut bestätigt (Dena 2012; ET 2013).

Die Bedeutung der »zweiten Säule« der Energiewende, der weitere Ausbau der Erneuerbaren Energien, zeigt ► **Abbildung 3** ebenfalls sehr anschaulich. Der Zuwachstrend der Erneuerbaren Energien muss über Jahrzehnte unverändert aufrechterhalten werden, wenn um 2050/2060 fossile Energie weitgehend ersetzt sein soll. Nur so können die dazu erforderlichen Anteile Erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch von gut 30 Prozent in 2030 und 60 Prozent in 2050 erreicht werden. Eine Drosselung des seit einem Jahrzehnt stabilen Trends würde selbst dann nicht zu einer ausreichenden CO₂-Minderung führen, wenn die »Effizienzsäule« sehr erfolgreich wäre. Zu befürchten ist, dass sich jedoch genau diese Verlangsamung vor dem Hintergrund der derzeitigen Rahmenbedingungen und der im Koalitionsvertrag beabsichtigten Maßnahmen einstellen wird.

Stromsektor und fluktuierende Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien

Der Stromsektor und das Wachstum von regenerativem Strom stehen derzeit im Mittelpunkt der Diskussionen zur Energiewende. Dies liegt zum einen daran, dass er der einzige Bereich ist, in dem die Energiewende bisher überhaupt strategisch angepackt wird, und zum anderen daran, dass sich hier die Unverträglichkeit der derzeitigen Marktordnung mit den Erfordernissen eines wirksamen Klimaschutzes und den Eigenschaften einer schwankenden und grenzkostenfreien Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien drastisch zeigen.

Auf den zukünftigen Verlauf des Bruttostromverbrauchs haben mehrere Entwicklungen Einfluss. Bis etwa 2025 hängt die Stromnachfrage im Wesentlichen von der Mobilisierung der Effizienzpotenziale bei den herkömmlichen Stromverbrauchern ab.

Mit steigenden Anteilen der Erneuerbaren Energien (SZEN 100 in 2030: 64 Prozent; 2040: 80 Prozent) wirken sich jedoch die neuen Anwendungsfelder aus, wie Elektromobilität, Wärmepumpen und »neue« Elektrowärme und längerfristig auch die Bereitstellung chemischer Energieträger, wie Wasserstoff oder Methan aus den Überschüssen der wachsenden volatilen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Dieser Anteil wächst nach 2030 deutlich und erreicht längerfristig eine ähnliche Größenordnung wie der Stromverbrauch der herkömmlichen Nutzer. Im Szenario 100 werden auf diese Weise zum Zeitpunkt 2060 rund 65 Prozent der gesamten Endenergie mittels Strom (direkt und über Wasserstoff) bereitgestellt, der zu 95 Prozent aus Erneuerbaren Energien stammt. Die Höhe des zukünftigen Bruttostromverbrauchs ist also eine Funktion sowohl der Mobilisierung von Effizienzpotenzialen als auch des Wachstums der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien.

Der Transformationsprozess des Stromsektors verändert dessen Erzeugungsstruktur völlig (► **Abbildung 4**). Die Leistung aller Kraftwerke nimmt entsprechend dem Zuwachs der Erneuerbaren Energien erheblich zu von derzeit 183 Gigawatt auf 266 Gigawatt in 2030 und auf 370 Gigawatt in 2060. Dominiert wird der Leistungszuwachs durch den Zubau von Wind- und Fotovoltaikanlagen. Bereits 2013 betrug deren Leistung mit zusammen 78 Gigawatt rund 35 Prozent der Gesamtleistung aller

Kraftwerke (bei der Strommenge waren es zwölf Prozent). In 2030 wächst ihr Anteil auf 60 Prozent (Strommenge 45 Prozent), um bis 2060 auf einen Anteil von 70 Prozent (Strommenge 55 Prozent) zu steigen. Die Integration der damit verknüpften Spitzenleistungen an sonnen- und windreichen Tagen und die sichere Bereitstellung von Leistung zu Zeiten der Nichtverfügbarkeit von Sonne und Wind stellen die Stromversorgung vor große, jedoch zu bewältigende Herausforderungen. Hohe Spitzenleistungen können bei Anteilen Erneuerbarer Energien von bis zu 60 Prozent (um das Jahr 2030) durch geschicktes Lastmanagement, den Einsatz herkömmlicher Speicher und die Verwendung von regenerativem Strom für Wärmezwecke und für Elektromobilität vollständig genutzt werden. Das Abregeln extremer Spitzen ist eine weitere Option, da dadurch kaum mehr als ein Prozent der Strommenge aus Erneuerbaren Energien verloren geht. Voraussetzung für ein erfolgreiches Ausregeln volatilen regenerativen Stroms sind gut ausgebaute Transport- und Verteilnetze zum

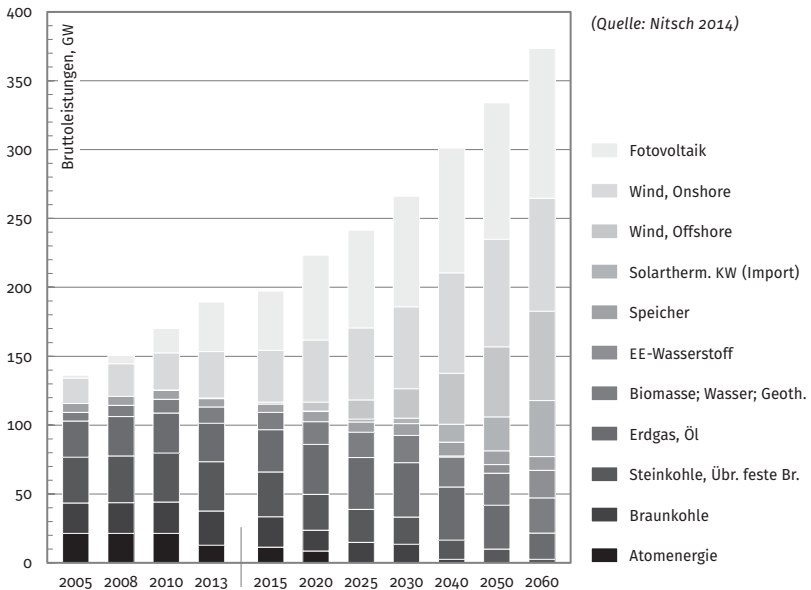


Abbildung 4: Entwicklung der Bruttoleistung der Stromerzeugung nach Kraftwerkstechnologien im Szenario 100 (geordnet nach wachsender Volatilität).

großräumigen Ausgleich des räumlich sehr unterschiedlich auftretenden Angebots Erneuerbarer Energien.

Bei weiter steigenden Anteilen der Erneuerbaren Energien werden unter den hier zugrunde gelegten Annahmen größere Überschüsse zusätzlich in speicherbare Energieträger umgewandelt, die dann wiederum zur Rückverstromung in effizienten Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (in ► **Abbildung 4** regenerativer Wasserstoff) zur Verfügung stehen, als Kraftstoff genutzt werden oder Hochtemperaturwärme für die Industrie bereitstellen. In 2030 werden erst rund zwei Prozent des regenerativen Stroms für die Herstellung von Wasserstoff genutzt, in 2059 sind es schon 23 Prozent und in 2060 gut ein Drittel der gesamten Strommenge aus Erneuerbaren Energien (vergleiche auch ► **Abbildung 4**).

Parallel zur Ausweitung der Gesamtleistung wächst auch der Anteil der nicht jederzeit einsetzbaren Leistung. Trotzdem ist die Bereitstellung der jeweiligen Höchstlast (Größenordnung 85 bis 95 Gigawatt) zu jedem Zeitpunkt gesichert. Bis 2040 werden dazu überwiegend fossile Kraftwerke bei sinkendem Anteil von Kohle- und steigendem Anteil von Gaskraftwerken, zunehmend unterstützt von Biomasse- und Geothermieanlagen, eingesetzt. Danach treten Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf der Basis von Wasserstoff (oder Methan) aus Erneuerbaren Energien und importierter solarthermischer Strom hinzu, kleinere Beiträge zur gesicherten Leistung stammen auch aus weitvernetzten Windkraftanlagen. Ebenfalls steigt die Leistung lokaler Speicher.³ Im Szenario 100 sinkt die Leistung konventioneller Kraftwerke in diesem Zusammenhang von derzeit 101 Gigawatt (einschließlich Atomenergie) auf 82 Gigawatt in 2030 und auf 22 Gigawatt in 2060. Biomasse, Geothermie, Speicher und Wasserstoff-Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen stellen zusammen weitere 50 Gigawatt Leistung (► **Abbildung 5**) bereit.

Um den zeitlichen Ablauf des Szenarios 100 zu gewährleisten, muss der Umbau der fossilen Stromversorgungsstruktur in Richtung Erdgas baldmöglichst eingeleitet und forciert betrieben werden. Bereits in 2020 sollte der Beitrag von Kohlestrom nur noch bei 184 Terawattstunden pro

³ Eine andere Option zur Verwertung großer Stromüberschüsse aus Erneuerbaren Energien und zur Bereitstellung gesicherter Leistung, nämlich die Verknüpfung mit skandinavischer (Speicher-)Wasserkraft, wird hier nicht betrachtet.

Jahr liegen, also gegenüber 2013 um 40 Prozent verringert sein. An Leistung aus Kohlekraftwerken werden noch 42 Gigawatt benötigt gegenüber 61 Gigawatt in 2013. Dies setzt, neben dem Verzicht auf weitere Neubauten, voraus, dass eine entsprechend hohe Zahl alter Kohlekraftwerke vom Netz genommen wird. Im gleichen Zeitraum muss die installierte Leistung von Gas(heiz)kraftwerken um acht Gigawatt auf 36 Gigawatt steigen und damit rund 100 Terawattstunden pro Jahr Strom bereitgestellt werden. In Fortführung dieser Entwicklung wird im Szenario 100 die Braunkohleverstromung kurz nach 2040 beendet, die Steinkohleverstromung verbleibt auf niedrigem Niveau ausschließlich in Heizkraftwerken bis nach 2050.

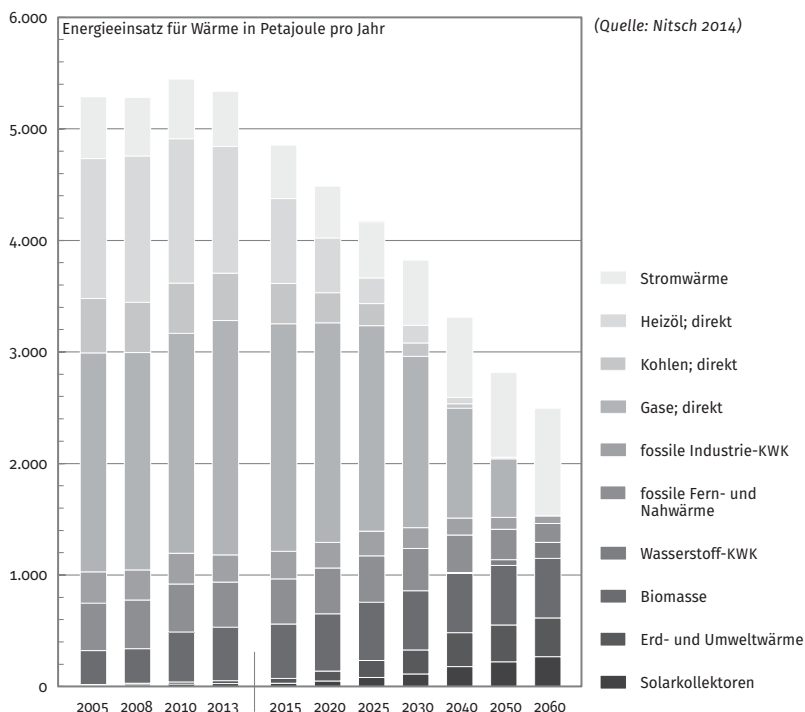


Abbildung 5: Entwicklung der Wärmeerzeugung im Szenario 100 nach Energietechnologien.

Aus der Tatsache, dass seit einiger Zeit dazu gegensätzliche Tendenzen im Stromsektor festzustellen sind, zeigt sich der große aktuelle energiepolitische Handlungsbedarf (Nitsch 2013). Als erster und unverzichtbarer Schritt einer erfolgreichen Transformation in dem hier beschriebenen Umfang ist eine sehr wirksame Wiederbelebung des CO₂-Emissionshandels erforderlich, damit es (wieder) genügend Anreize für gasgefeuerte Kraftwerke und Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen gibt und die Kohlestromerzeugung unattraktiv wird, indem zumindest ein Teil der verursachten externen Kosten einberechnet wird. Wenn dies nicht ausreicht, um genügend klimaschädliche Kohlekraftwerke aus dem Markt zu nehmen, muss die Politik über ordnungsrechtliche Maßnahmen aktiv werden. Eventuelle zusätzliche Anreize für die Bereitstellung konventioneller Leistung (zum Beispiel Kapazitätsmärkte) sollten sich aus demselben Grund auf hocheffiziente und flexible gasgefeuerte Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen beschränken.

Energiewende in der Wärmeversorgung

Für die Nutzwärmebereitstellung (Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme) werden 58 Prozent der Endenergie verbraucht, rund 50 Prozent der energiebedingten CO₂-Emissionen (420 Millionen Tonnen pro Jahr in 2013) entstehen dadurch. Eine erfolgreiche Transformation der Wärmeversorgung ist daher für das Gelingen der Energiewende von überragender Bedeutung. In der gegenwärtigen Diskussion darüber wird diese Tatsache meist völlig übersehen. Solange aber im Wärmesektor nicht eine dem Stromsektor vergleichbare Dynamik einsetzt, kann von einer Energiewende überhaupt nicht gesprochen werden. Die dafür erforderlichen strukturellen Veränderungen und Anpassungen werden nicht weniger durchgreifend sein müssen als im Stromsektor. Die Wirkung zweier Strategieelemente wird entscheidend sein, ob eine Energiewende im Wärmemarkt erfolgreich sein wird. Zum einen ist die durchgreifende energetische Sanierung des Gebäudebestands rasch und wirksam anzustoßen, wozu eine gute Verdopplung der bisherigen jährlichen Sanierungsrate gehört. Hierzu sollten umgehend die Vorschläge für verbesserte Abschreibungsmöglichkeiten von Sanierungsinvestitionen wieder aufgegriffen

und umgesetzt werden. Zum Zweiten sind für eine Belebung des regenerativen Wärmemarktes, insbesondere für den Kollektormarkt, wesentlich wirksamere Anreize zu schaffen. Gelingt dies der Energiepolitik in absehbarer Zeit, ist eine Entwicklung der Wärmenachfrage gemäß ► **Abbildung 5** möglich.

Die Energienachfrage im Wärmesektor kann von derzeit 5,335 Petajoule pro Jahr bis 2020 um 15 Prozent, bis 2030 um 28 Prozent und längerfristig um rund 50 Prozent sinken, woran die Verringerung des Heizwärmebedarfs den weitaus größten Anteil hat. Dadurch kann der heute dominierende Einsatz von Heizöl und Erdgas in Einzelheizungen kontinuierlich zurückgedrängt werden. Von zentraler Bedeutung ist die weitere Entwicklung der netzgebundenen Versorgung. Bei zurückgehendem Gesamtwärmebedarf bleibt deren Absolutmenge mittelfristig zunächst konstant, der dezentrale Anteil (Nahwärme) nimmt jedoch stark an Bedeutung zu.

Verkehr und Energiewende

Auch im Verkehrssektor hat die Energiewende noch nicht begonnen. Mit 185 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr (einschließlich Stromanteil) stammen 22 Prozent der CO₂-Emissionen aus dem Verkehr, eine Reduktion dieser Emissionen ist bisher so gut wie nicht erfolgt. Auch der Anteil Erneuerbarer Energien am gesamten Endenergieverbrauch des Verkehrs ist mit knapp sechs Prozent noch gering. Im Szenario 100 ist der mögliche Beitrag von Biokraftstoffe auf maximal 250 Petajoule pro Jahr begrenzt, weil die noch verfügbaren Biomassepotenziale effektiver im stationären Bereich eingesetzt werden können und es keinen erheblichen Import von Biomasse geben soll (BMU 2012; WBGU 2008). Neben einer Ausschöpfung erheblicher Effizienzpotenziale sind also weitere Optionen zur Nutzung Erneuerbarer Energien, wie Elektromobilität und regenerative Kraftstoffe (Wasserstoff und Methan aus Erneuerbaren Energien), mittel- bis langfristig von großer Bedeutung.

Der zukünftige Energieverbrauch des Verkehrs wird wesentlich durch die weitere Entwicklung des Güterverkehrs bestimmt, der – im Gegensatz zum Personenverkehr – derzeit noch mit wachsenden Energiever-

bräuchen einhergeht. Ein Rückgang und damit die Minderung von CO₂-Emissionen erfolgen kurz- und mittelfristig hauptsächlich durch eine substanzielle Effizienzsteigerung (verbunden mit Umschichtungen in der Verkehrsträgerstruktur und verändertem Mobilitätsverhalten). Im Szenario kann so der Endenergieverbrauch bis 2020 im Einklang mit dem Minderungsziel des Energiekonzepts um zehn Prozent, bis 2030 um 22 Prozent und bis 2050 um 41 Prozent sinken (► **Abbildung 6**).

Der wesentliche Beitrag Erneuerbarer Energien im Verkehr stammt mittelfristig noch von Biokraftstoffen. Ihr Anteil steigt im Szenario 100 bis 2030 auf 12,5 Prozent (alle Erneuerbaren Energien in 2030: 19 Prozent). Danach stellen Strom und Wasserstoff aus Erneuerbaren Energien deutlich wachsende Anteile. Bis 2050 wird die Hälfte des Individualverkehrs elektrisch beziehungsweise hybrid abgewickelt, der Rest stammt aus Biokraftstoffen und Wasserstoff aus Erneuerbaren Energien. Der straßengebundene Personenverkehr ist damit zu diesem Zeitpunkt völlig emissionsfrei, der Straßengüterverkehr bereits weitgehend. In 2050 wer-

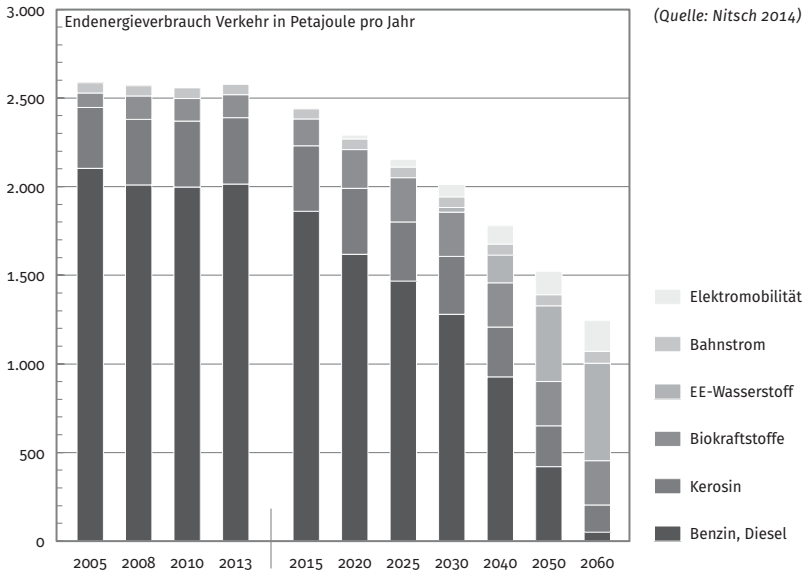


Abbildung 6: Struktur der Energiebedarfsdeckung im Verkehr im Szenario 100.

den 57 Prozent der Energienachfrage durch Erneuerbare Energien gedeckt. Im nächsten Schritt bis 2060 erfolgt eine Ausweitung auf 83 Prozent. Größere Mengen fossiler Brennstoffe werden nur noch im Flugverkehr eingesetzt.

Im Szenario 100 liegt die erreichbare CO₂-Minderung in 2050 bei 75 Prozent; damit kann auch der Verkehrssektor seinen Beitrag zum Klimaschutzziel erbringen.

Fazit der Szenarioanalyse

Der Koalitionsvertrag lässt keine kohärente Strategie erkennen, mit der die großen Herausforderungen eines Komplettumbaus aller Sektoren der Energieversorgung in den nächsten Jahrzehnten wirksam bewältigt werden könnten. Die beibehaltene Zielsetzung zum langfristigen Klimaschutz und mittelfristigen Atomausstieg ist daher ohne zusätzliche Anstrengungen nicht überzeugend. Obwohl schon in den letzten Jahren erkennbar war, dass die Umbaudynamik in den Bereichen Effizienzsteigerung (zum Beispiel bei der energetischen Gebäudesanierung), Wärmeversorgung, Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung und Verkehr deutlich gesteigert und beim Strom aus Erneuerbaren Energien mindestens beibehalten werden muss, wenn das langfristige Klimaschutzziel verbindlich angestrebt wird, sind diese Bereiche im Koalitionsvertrag nur allgemein und unscharf formuliert. Sie benötigen aber dringend neue und über die bisherigen Aktivitäten und Maßnahmen hinausgehende Impulse. Die nächsten Monate sollten daher genutzt werden, die Absichtserklärungen in diesen Feldern im Sinne wirksamer Maßnahmen zur Umsetzung der Klimaschutzziele zu konkretisieren.