

# SCHRIFTENREIHE ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT

*Juni 2015*  
*Analyse*

## **Priorisierung der Ziele**

Zur Lösung des Konflikts zwischen Zielen und Maßnahmen  
der Energiewende

**Eberhard Umbach (Hrsg.)**

„Energiesysteme der Zukunft“ ist ein Projekt von:

**Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina**  
**acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften**  
**Union der deutschen Akademien der Wissenschaften**

## Impressum

### Herausgeber

Prof. Dr. Eberhard Umbach  
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften  
Hofgartenstraße 2  
80539 München  
E-Mail: eberhard.umbach@kit.edu

### Autoren

Prof. Dr. Alexander Bradshaw Max-Planck-Institut für Plasmaphysik	Dr. Udo Erdmann TIBER Technologie- und Innovationsberatung	Prof. Dr. Wolfram Münch EnBW Energie Baden-Württemberg AG
Prof. Dr. Karen Pittel ifo Institut für Wirtschaftsforschung	Prof. Dr. Christian Rehtanz Technische Universität Dortmund	Prof. Dr. Klaus Sedlbauer Fraunhofer Institut für Bauphysik
Prof. Dr. Eberhard Umbach acatech Präsidium	Prof. Dr. Ulrich Wagner Technische Universität München	

### Reihenherausgeber

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. (Federführung)  
Residenz München, Hofgartenstraße 2, 80539 München | [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V.  
– Nationale Akademie der Wissenschaften –  
Jägerberg 1, 06108 Halle (Saale) | [www.leopoldina.org](http://www.leopoldina.org)

Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V.  
Geschwister-Scholl-Straße 2, 55131 Mainz | [www.akademienunion.de](http://www.akademienunion.de)

### Empfohlene Zitierweise

Umbach, Eberhard (Hrsg.): *Priorisierung der Ziele. Zur Lösung des Konflikts zwischen Zielen und Maßnahmen der Energiewende* (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft), München 2015.

### Redaktion

Selina Byfield, acatech

### Koordination

Dr. Katharina Schätzler, Karlsruher Institut für Technologie  
Dr. Cyril Stephanos, acatech

### Gestaltung und Satz

unicommunication.de, Berlin

### Druck

koenigsdruck.de, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem Papier  
Printed in EC

**Stand:** September 2014

**ISBN:** 978-3-9817048-3-9

### Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie, detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

### Das Akademienprojekt

Das Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“ erarbeitet Stellungnahmen und Analysen zur Gestaltung der Energiewende. Stellungnahmen enthalten Handlungsoptionen für die Transformation des Energiesystems und werden nach externer Begutachtung vom Kuratorium des Akademienprojekts verabschiedet. Analysen sind Ergebnisberichte von Arbeitsgruppen. Die inhaltliche Verantwortung für Analysen liegt bei den Autoren. Sofern eine Analyse Bewertungen enthält, geben diese die persönliche Meinung der Autoren wieder.



Leopoldina  
Nationale Akademie  
der Wissenschaften

acatech  
DEUTSCHE AKADEMIE DER  
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

UNION  
DER DEUTSCHEN AKADEMIE  
DER WISSENSCHAFTEN

# Priorisierung der Ziele

Zur Lösung des Konflikts zwischen Zielen und Maßnahmen  
der Energiewende

Eberhard Umbach (Hrsg.)

## Vorwort

Die Transformation des Energiesystems ist in vollem Gange. Ausgelöst durch den Klimawandel und den Ausstieg aus der Kernenergie und angetrieben durch ein weltweit einzigartiges Gesetz, das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), mit flankierenden Gesetzen und Verordnungen, sind in den letzten Jahren enorme Fortschritte beim Ausbau der erneuerbaren Energien Windenergie, Photovoltaik und Biomasse erzielt worden. Es wurde ein Prozess in Gang gesetzt, der im Erfolgsfall wegweisend für die internationale Entwicklung sein wird und Deutschland auch in wirtschaftlicher Hinsicht eine allseits beachtete Vorreiterrolle zuteilwerden lässt, Innovationen für den Industriestandort Deutschland sichert und beim Ausbau von Wettbewerbsvorteilen hilft. Deutschland kann somit seiner gewachsenen globalen Verantwortung und seiner in den letzten Jahren gestiegenen Bedeutung als umweltbewusstes und beispielgebendes Hochtechnologieland in hervorragender Weise gerecht werden.

Die Verantwortung für das Gelingen der Energiewende liegt vor allem in den Händen der Politik, die durch geeignete Rahmenbedingungen die Hauptakteure, also die mit Erzeugung und Verteilung befassten Branchen ebenso wie die Verbraucher in Wirtschaft und Zivilgesellschaft, in die gewünschte Richtung lenkt. Da das Energiesystem ein hochvernetztes, komplexes und dynamisches System darstellt, das bei vergleichsweise langen Entwicklungszeiten mitunter träge, manchmal aber auch auf sehr kurzen Zeitskalen und schwer vorhersehbar auf Steuerungsimpulse reagiert, sind alle Maßnahmen mit Bedacht zu wählen. Das ist eine große Herausforderung für alle Akteure, insbesondere für die Hauptverantwortlichen in der Politik. Auch wenn – wie bei solch großen Herausforderungen üblich – jeder Entwicklungsschritt mit viel Kritik und Verbesserungsvorschlägen bedacht wird, ist die Energiewende bisher ziemlich erfolgreich.

Das spiegelt sich auch in den zahlreichen Analysen und kurzen Statements wider, die von Wissenschaft und Verbänden in letzter Zeit veröffentlicht wurden und die von anfeuernden Bestätigungen über neutrale Analysen bis hin zu harscher Kritik reichen. Einige dieser Publikationen können bestimmten Interessengruppen zugeordnet werden, die Mehrzahl scheint jedoch vom Ziel geleitet zu sein, durch Analysen und Vorschläge zum Verständnis des komplexen Energiesystems und zu seiner optimalen Weiterentwicklung beizutragen. Manchen Papieren liegt außerdem die Einsicht zugrunde, dass sich die Energiewende in einer kritischen Phase befindet, weil einige (Teil-)Ziele teilweise deutlich verfehlt werden oder gar verfehlt werden müssen. Die Ursache für die Zielverfehlung wird unter anderem in der Überzahl an Zielen gesehen, die aufgrund fehlender Priorisierung zu einer scheinbar mangelnden Steuerung des Wendeprozesses führt. Dadurch wird die Energiewende angreifbar, was sich unter anderem im wiederholten Ruf nach einem „Masterplan“ äußert. Das Beispiel zeigt außerdem die wichtige Rolle der Kommunikation.

Das Projekt „Energiesysteme der Zukunft“ der nationalen Wissenschaftsakademien hat sich zum Ziel gesetzt, eine möglichst neutrale Analyse der komplexen Zusammenhänge zu erstellen und gegebenenfalls Handlungsoptionen für die Verantwortungsträger zu erarbeiten. Adressaten der entsprechenden Publikationen sind Politik sowie Zivilgesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft. Das Ziel der Publikationen ist die Initiierung einer wissenschaftlichen und vorurteilsfreien Diskussion über die bisherigen Entwicklungen und den optimalen Weg in die Zukunft. Dabei werden unterschied-

liche Betrachtungsebenen ins Auge gefasst, das heißt detaillierte Abhängigkeiten und spezifische Maßnahmen ebenso wie allgemeine Aspekte und große Zusammenhänge. Neben der Verpflichtung zur strikten Neutralität, Vorurteilsfreiheit und Unabhängigkeit ist dabei als einzige Prämisse das Ziel zugestanden, die Weiterentwicklung der Energiewende bestmöglich zu gestalten. Die Arbeitsweise ist in einer Grundsatzerklärung niedergelegt, die diesem Papier beigelegt ist („Über das Akademienprojekt“).

Mit dieser Zielsetzung wurde auch das vorliegende Papier erstellt. Es resultiert aus der Einsicht, dass es unwahrscheinlich erscheint, alle Hauptziele der Energiepolitik der Bundesregierung gleichermaßen zu erreichen, und dass es noch viel unwahrscheinlicher ist, die vielen, teilweise quantitativen Einzelvorgaben zugleich zu erfüllen. Bei der Diskussion der Zusammenhänge wurde der Arbeitsgruppe klar, dass eine Priorisierung der Ziele sehr wünschenswert, für die Erreichung der Ziele sogar unbedingt erforderlich erscheint, und dass eine klare Unterscheidung zwischen Zielen und Maßnahmen für den weiteren Prozess sehr förderlich ist. Die Arbeitsgruppe sieht sich in diesem Vorschlag durch die letzten beiden Stellungnahmen der Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ bestätigt, die ebenfalls eine solche Priorisierung angeregt und dazu konkrete Vorschläge unterbreitet hat. Mit dem Fortschrittsbericht „Energie der Zukunft“, den die Bundesregierung im Dezember 2014 vorgelegt hat, greift sie diese Diskussion auf und präsentiert ein Priorisierungsschema, auf das die Expertenkommission in der neuesten Stellungnahme reagiert. Aufgrund des Erstellungszeitraums der vorliegenden Studie bis Juli 2014 konnte auf die beiden letztgenannten Papiere nicht mehr eingegangen werden.

Die Arbeitsgruppe möchte mit der vorliegenden Analyse aus wissenschaftlicher Sicht zur diesbezüglichen Diskussion durch Analysen und Denkanstöße beitragen. Dazu werden in einem ersten Schritt die formulierten Ziele und Unterziele im Einzelnen untersucht. In einem nächsten Schritt wird die vorhandene faktische Priorisierung herausgearbeitet, bevor darauf aufbauend weitere Priorisierungsoptionen als Alternativen entwickelt und ihre Auswirkungen kurz diskutiert werden. Letztlich werden übergeordnete Methoden aufgezeigt, um dem vorliegenden Problemfall der Vorausplanung eines komplexen Systems zu begegnen. Dabei ist allen Beteiligten bewusst, dass politische Prozesse ihre eigenen Randbedingungen und Regeln haben, und dass keine einfachen Antworten auf die aufgeworfenen Fragen möglich sind, zumal sie ein hochkomplexes und aufgrund der Randbedingungen sehr schwieriges Thema betreffen. Der hohe Abstraktionsgrad der Analyse zielt zudem nicht darauf ab, detaillierte Maßnahmen aufzuzeigen, sondern vielmehr die Entwicklung übergeordneter Handlungsoptionen anzuregen. Mit diesem Papier soll ein Diskussionsprozess angestoßen werden, der zu einer Klärung der Priorisierung der Ziele, einem darauf abgestimmten Maßnahmenkatalog mit dynamischer Anpassung und einer transparenten Informationspolitik führt.

Berlin, Dezember 2014



*Prof. Dr. Eberhard Umbach*  
Leiter der Ad-hoc-Gruppe „Priorisierung der Ziele“

# Inhalt

Zusammenfassung.....	5
Abkürzungen .....	7
1. Einleitung – die Ziele der Energiewende .....	8
2. Übergeordnete Ziele einer nachhaltigen Energiepolitik.....	11
2.1 Klima- und Umweltverträglichkeit.....	11
2.2 Wirtschaftlichkeit/Bezahlbarkeit.....	11
2.3 Versorgungssicherheit.....	12
2.4 Ressourcenschonung .....	13
2.5 Sozialverträglichkeit und Akzeptanz.....	14
2.6 Globale Verantwortung.....	15
3. Notwendigkeit einer Priorisierung der Ziele.....	16
4. Priorisierungsoptionen .....	20
4.1 Auswirkungen der Gesetze und Verordnungen und Bezug zu den proklamierten Zielen.....	20
4.1.1 Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG).....	20
4.1.2 Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWKG).....	26
4.1.3 Das aktuelle Priorisierungsschema aufgrund gesetzlicher Maßnahmen....	27
4.2 Mögliche Priorisierungsschemata mit Zielen aus dem Zieldreieck .....	28
4.2.1 Klimaschutz hat oberste Priorität .....	29
4.2.2 Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit haben höhere Priorität .....	36
4.3 Priorisierungsschemata und flexible Regelungsgeflechte .....	38
Anhang – Ziele der Energiewende.....	41
Literatur .....	43
Über das Akademienprojekt.....	46

## Zusammenfassung

Die Energiewende ist ein langfristig angelegtes und systemisch vernetztes Großprojekt, dessen Planung und Management eine enorme Herausforderung darstellen. Darüber hinaus ist dieses Projekt durch ein komplexes und dynamisches Wirkungsgefüge mit einem hohen Unsicherheitsniveau bezüglich der zahlreichen Randbedingungen und der tatsächlichen Wirkung der Maßnahmen gekennzeichnet. Deshalb erscheinen zur erfolgreichen Weiterführung der Energiewende eine klare Priorisierung der Ziele und eine gut erkennbare Ausrichtung der Maßnahmen auf diese Ziele notwendig. Allerdings können vom Gesetzgeber oder von Behörden festgelegte Maßnahmen eine De-facto-Priorisierung bewirken, die nicht mit der politisch proklamierten Priorisierung übereinstimmt. Sollen die ambitionierten Fernziele erreicht werden, so sollten diese Unsicherheiten und unbeabsichtigten Nebenwirkungen im Prozess der Energiewende berücksichtigt werden. Das heißt für die Umsetzung, dass Maßnahmen der Vorzug gegeben wird, die flexibel auf Änderungen von Rahmenbedingungen und Technologien reagieren. Stehen keine geeigneten Maßnahmen zur Verfügung, sollte der Unsicherheit durch kontinuierliches Nachjustieren Rechnung getragen werden, ohne dabei die Verlässlichkeit der politischen Aussagen zu gefährden. In diesem Fall können hinreichende „Stellschrauben“ im Prozess in Verbindung mit geeigneter Steuerungskompetenz der beteiligten Akteure das Problem lösen. Daraus ergeben sich vier wesentliche Anforderungen für die weitere Gestaltung der Energiewende:

1. Bei mehreren und vor allem bei konkurrierenden Zielen ist eine klare Priorisierung der Ziele erforderlich, bevor entsprechende Maßnahmen zur Erreichung der Ziele eingeleitet werden.
2. Dabei ist klar zwischen Zielen und Maßnahmen zu unterscheiden.
3. Zielpriorisierung und Maßnahmenportfolio sollten adaptiv-flexibel gehandhabt werden, um das Projekt auf einen Weg nahe dem Optimum zu bringen und dort zu halten – trotz sich ändernder Randbedingungen.
4. Die Priorisierung der Ziele und ihr Zusammenhang mit dem Maßnahmenkatalog müssen in der Öffentlichkeit transparent dargestellt werden, wobei auch über Misserfolge und zeitweilig erforderliche Abweichungen von den priorisierten Fernzielen informiert und diskutiert werden sollte.

Solch klare Festlegungen erscheinen für den langfristigen Erfolg der Energiewende sehr wichtig, auch wenn ein solches Vorgehen in der politischen Praxis eher ungewöhnlich ist. Denn die vorliegende Analyse zeigt, dass Zielarchitektur und Maßnahmenkatalog im gegenwärtigen Energiekonzept nicht hinreichend konsistent beziehungsweise kongruent sind. Dies liegt unter anderem an der fehlenden Priorisierung der Oberziele und der damit verbundenen mangelnden Zuordnung von Maßnahmen zu den besagten Zielen. Zum Beispiel wird durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ein Maßnahmenkatalog (der Ausbau der erneuerbaren Energien) a posteriori zum Oberziel erhoben (neben dem Ausstieg aus der

Kernenergie). Dadurch werden die eigentlichen, im Gesetz genannten Ziele Klimaschutz und Versorgungssicherheit nachrangig, was sich aus den entsprechenden quantitativen Entwicklungen unmittelbar ableiten lässt. Des Weiteren lässt sich eine Überdeterminiertheit und teilweise Widersprüchlichkeit des (quantitativen) Zielsystems feststellen. So wird dem Klimaschutz als einem der Kernziele der Energiewende in der aktuellen A-posteriori-Priorisierung eine nachrangige Position zugewiesen.

Die vorliegende Analyse vergleicht verschiedene Optionen von Zielpriorisierungen, wobei der Ausstieg aus der Kernenergie als gesetzt betrachtet wird (erstes Oberziel). Außerdem beschränkt sich die vergleichende Diskussion der Optionen auf die drei Hauptziele des politisch gewollten (und allgemein akzeptierten) Zieldreiecks Klimaschutz/Umweltschutz, Wirtschaftlichkeit/Bezahlbarkeit und Versorgungssicherheit. Neben diesen drei Hauptzielen werden die Ziele Sozialverträglichkeit und Akzeptanz, Ressourcenschonung sowie globale Verantwortung angesprochen, aber nicht weiter vertieft.

Die in den einzelnen Unterkapiteln genannten Priorisierungsschemata suggerieren zwar große Unterschiede in den jeweiligen Maßnahmenkatalogen, in praxi werden sich die Maßnahmen jedoch – wie im Text dargelegt – nur graduell unterscheiden können, da alle drei Ziele des Zieldreiecks parallel erreicht werden sollen.

Angeichts des dynamischen und komplexen Wirkungsgefüges des Langfristprojektes Energiewende kann sich die Rangfolge der Ziele in Abhängigkeit von exogenen und endogenen Ereignissen und Notwendigkeiten durchaus zeitweilig ändern – das heißt, auch die Priorisierung sollte auf Änderungen der Randbedin-

gungen adaptiv und evolutionär reagieren. Eine solche adaptive Zielpriorisierung und Maßnahmenzuschreibung kann nicht nur bestehende Inkonsistenzen und Zielkonflikte auflösen, sondern zugleich eine beständige Nachregelung und damit eine laufende Optimierung des Prozesses ermöglichen. Sehr wichtig ist dabei eine hohe Transparenz in der Kommunikation bezüglich der jeweiligen Priorisierung und deren Zusammenhang mit dem Maßnahmenpaket. Bei einer Änderung der Zielpriorisierung oder Nachregelung des Maßnahmenpakets sollten die Gründe des Wechsels und die „Trade-Offs“ klar kommuniziert werden. Neben dem Aufbau von Vertrauen in politische Entscheidungen und einer kontinuierlichen gesellschaftlichen Akzeptanz des Wendeprozesses kann dadurch eine höhere Zuverlässigkeit im Zielerreichungsgrad der Oberziele und der quantitativen Einzelziele sichergestellt werden.

## Abkürzungen

<b>BHKW</b>	Blockheizkraftwerk
<b>CCR</b>	Carbon Capture and Re-Use, Kohlenstoffdioxid-Abscheidung und -Wiederverwendung
<b>CCS</b>	Carbon-Capture and Storage, Kohlenstoffdioxid-Abscheidung und -Speicherung
<b>CH<sub>4</sub></b>	Methan
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlenstoffdioxid
<b>EEG</b>	Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien, kurz Erneuerbare-Energien-Gesetz
<b>E-Mobilität</b>	Elektro-Mobilität
<b>ETS</b>	Emissions Trading System, Emissionshandelssystem
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>GuD</b>	Gas- und Dampfkraftwerke
<b>GUS</b>	Gemeinschaft Unabhängiger Staaten
<b>IKT</b>	Informations- und Kommunikationstechnik
<b>KWK</b>	Kraft-Wärme-Kopplung
<b>KWKG</b>	Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung, kurz Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz
<b>LNG</b>	Liquefied Natural Gas, Flüssigerdgas
<b>LULUCF</b>	Land Use, Land-Use Change and Forestry, Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft
<b>NGO</b>	Non-governmental Organization, Nichtregierungsorganisation
<b>NO<sub>2</sub></b>	Lachgas
<b>ORC</b>	Organic Rankine Cycle
<b>PEV</b>	Primärenergieverbrauch
<b>PV</b>	Photovoltaik
<b>SKE</b>	Steinkohleeinheit

## 1. Einleitung – die Ziele der Energiewende

Die Energiewende wird von vielen Fachleuten im In- und Ausland als größte Herausforderung betrachtet, die sich die deutsche Politik zu Beginn dieses Jahrhunderts vorgenommen hat. Diese Vermutung liegt nahe, denn der Umbau des Energiesystems erfordert beharrliches und zielorientiertes politisches Umsteuern, ökonomische Kraftanstrengungen ungeahnten Ausmaßes und weitreichende Änderungen im Wirtschaftssystem. Außerdem bedarf es über einen langen Zeitraum hinweg einer kontinuierlichen Bereitschaft der Gesellschaft, sich auf diese Herausforderung einzulassen, dafür Opfer zu bringen und sich auf neue Verhaltensweisen umzustellen. Schließlich setzt die Energiewende auf technologische Neuerungen – zum Beispiel Speicher, deren Realisierung im zeitlichen Rahmen und zu erschwinglichen Preisen nicht abzusehen ist. Letztlich haben wir den Umbau des nationalen Energiesystems mit großem Elan begonnen, ohne uns mit den europäischen Nachbarn hinreichend abzusprechen, merken jetzt aber immer mehr, dass wir in ein europäisches Versorgungs- und Marktsystem eingebunden sind, das unsere Nachbarn bei unserem Wendemanöver stark involviert. Dabei haben wir sie vorher zu wenig in die Entscheidungs- und Entwicklungsprozesse eingebunden. Das stellt das Funktionieren der europäischen Gemeinschaft auf eine harte Probe.

Dennoch ist die Energiewende sowohl Notwendigkeit als auch Zukunftschance. Sie ist notwendig, weil der drohende Klimawandel und die absehbare Verknappung der fossilen Ressourcen – auch wenn diese deutlich länger reichen als

manche Schätzungen vermuten lassen – eine Umstellung der Energieversorgung erforderlich machen, wobei man über die Zeitskala unterschiedlicher Meinung sein kann. Und sie ist Zukunftschance, weil derjenige, der als Erster losmarschiert, die Richtung vorgibt und auf den internationalen Wirtschaftsmärkten Nutzen ziehen kann. Neben dieser eher ökonomisch-vernunftorientierten Argumentationsebene tritt noch die moralische Dimension der globalen Verantwortung: Welches Land, wenn nicht Deutschland mit seiner gut funktionierenden Wirtschaft, Hochtechnologie und Innovationskultur, kann ein so großes Experiment erfolgreich bewältigen?

Der Begriff „Energiewende“ ist weder exakt definiert noch wird er einheitlich verwendet, zumal es in den letzten zwei Jahrzehnten mehrere starke Richtungsänderungen in der deutschen Energie- und Klimapolitik gab, die in der öffentlichen Diskussion als „Wende“ bezeichnet wurden. Bereits 1995 hatte die damalige schwarz-gelbe Bundesregierung sehr ambitionierte Klimaziele proklamiert (25 Prozent geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2005 bezogen auf 1990)<sup>1</sup>, die im Koalitionsvertrag der rot-grünen Koalition von 1998<sup>2</sup> und im nationalen Klimaschutzprogramm von 2000<sup>3</sup> bestätigt, aber schließlich weit verfehlt wurden. Im Jahr 2000 hatte die damalige rot-grüne Bundesregierung außerdem mit den Energieversorgungsunternehmen vereinbart, sämtliche Kernkraftwerke sukzessive nach Maßgabe

<sup>1</sup> BMWi 2014-1.

<sup>2</sup> SPD/BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN 1998, S. 12.

<sup>3</sup> Deutscher Bundestag 2000, S. 5.

vorgegebener Reststrommengen bis spätestens 2024 abzuschalten.<sup>4</sup> Kurz zuvor war außerdem das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) verabschiedet worden, das das Stromeinspeisungsgesetz aus dem Jahr 1990 ersetzte und vor allem die Einspeisevergütungen („feed-in tariffs“) neu regelte.

Eine weitere Wende kam 2010. Das Energiekonzept der damaligen schwarz-gelben Bundesregierung<sup>5</sup> beinhaltete eine Vielzahl von langfristigen Klimaschutz- und Energiesparzielen, darunter die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen, die Verminderung des Gesamt-Energieverbrauchs und den verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energien. Nie zuvor in der Geschichte der Bundesrepublik sind derart viele, zum Teil quantitative Einzelziele so detailliert über einen so langen Zeitraum (40 Jahre) festgelegt worden (siehe Liste im Anhang).<sup>6</sup> Allerdings basiert das Gelingen des Energiekonzepts auf einigen Annahmen (zum Beispiel steigende Energiepreise, simultane Erreichung der Teilziele) und enthält einige inhärente Zielkonflikte (siehe Kapitel 3). Ganz abgesehen davon sind der ordnungspolitische Rahmen (zum Beispiel das EEG) und zahlreiche Maßnahmen der Energiepolitik nicht dazu geeignet, alle Ziele gleichwertig zu verfolgen und schließlich zu erreichen.

Dieses Energiekonzept legte also den „Weg ins regenerative Zeitalter“ fest mit den beiden „Eckpfeilern“, Energieeinsparung (zum Beispiel Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 50 Prozent bis 2050) und Ausbau der erneuerbaren Energien (60 Prozent Anteil am Gesamt-Energieverbrauch und 80 bis 95 Prozent Anteil am Gesamt-Stromverbrauch bis 2050). Dabei sollte die Kernenergie die Rolle einer „Brückentechnologie“

übernehmen, um genügend Zeit für die Transformation des Energiesystems zu gewinnen und dazu beizutragen, den Strompreis in diesem Zeitraum niedrig zu halten. Zu diesem Zweck wurden die Laufzeiten der Kernkraftwerke (KKW) verlängert. Bekanntlich hatte dieses Ziel, verbunden mit den entsprechenden Vereinbarungen mit den Betreibern der KKW, nur so lange Bestand, bis der Tsunami in Japan und die daraus resultierende Reaktorkatastrophe in Fukushima im März 2011 eine weitere Wende einläutete. Nach einer Reihe von Sofortmaßnahmen, einschließlich der zunächst zeitlich befristeten Abschaltung der sieben ältesten Kernkraftwerke, und nach umfangreichen Beratungen auf politischer Ebene sowie in einer speziell einberufenen Ethik-Kommission, beschloss die Bundesregierung den beschleunigten kompletten Ausstieg aus der Kernenergie.<sup>7</sup> Die sieben ältesten Kernkraftwerke sowie ein nicht im Betrieb befindliches KKW wurden nicht wieder eingeschaltet; die übrigen neun Kernkraftwerke sollen im Zeitraum von 2015 bis 2022 stufenweise außer Betrieb genommen werden. Eine Reihe von Gesetzen wurde dazu noch im Sommer 2011 vom Bundestag verabschiedet. Seitdem wird verstärkt von „der Energiewende“ gesprochen. Das Energiekonzept von 2010 mit seinen zahlreichen Einzelzielen wurde durch diese „Ergänzungen“ nicht außer Kraft gesetzt, sondern durch den beschleunigten Ausstieg aus der Kernenergie nur noch ambitionierter verfolgt. Schlussendlich sind auch noch Entwicklungen auf europäischer Ebene zu erwähnen, die die Energiewende tangieren: 2005 hat die Europäische Union (EU) ein Emissionshandelssystem (EU ETS) als Marktinstrument eingeführt, um die Emission von Treibhausgasen zu reduzieren, und seit 2010 gilt der nationale Plan für erneuerbare Energien gemäß der EU-Richtlinie 2009/28/EG (2010).

4 BMUB 2000.

5 Bundesregierung 2010.

6 Kübler 2013-1, S. 73–78; Kübler 2013-2, S. 30–33.

7 Deutscher Bundestag 2011.

Der vorliegende Diskussionsbeitrag beschäftigt sich mit der Priorisierung der Ziele. Wichtig ist die Frage nach der Priorisierung deshalb, weil sowohl die künftigen Maßnahmen als auch die Kommunikation über die Fortschritte der Energiewende von der Fest- und Offenlegung dieser Priorisierung abhängen beziehungsweise abhängen sollten. Wie erläutert wird, kann ein Maßnahmenkatalog die proklamierten Ziele durchaus konterkarieren, wenn die von den Maßnahmen de facto geschaffene Priorisierung mit der politisch beabsichtigten Priorisierung nicht übereinstimmt.<sup>8</sup> Außerdem kann es nötig sein, ein wichtiges Ziel, zum Beispiel den Klimaschutz, temporär nachrangig zu behandeln, wenn ein anderes Ziel, zum Beispiel der schnelle Ausstieg aus der Kernenergie oder die Versorgungssicherheit, für eine gewisse Zeit politischen Vorrang genießt. Das muss dann allerdings klar kommuniziert werden, damit der Erfolg der Bemühungen der Energiewende nicht an den temporär nachrangigen Zielen oder an zu vielen Einzelzielen gemessen wird, die sich eigentlich widersprechen. Genau an diesen beiden Problemen, einer unklaren Priorisierung der Ziele mit einem nicht kongruenten Maßnahmenkatalog und einer unklaren Kommunikation über die beabsichtigte beziehungsweise die tatsächliche Priorisierung der Ziele, setzen viele Kritiken der Energiewende seit einiger Zeit an. Noch bevor die nächsten Maßnahmenpakete gestartet werden, sollte deshalb über die Priorisierung der Ziele entschieden werden.

---

<sup>8</sup> Es sollte immer klar zwischen Zielen und Maßnahmen unterschieden werden. Ein Ziel ist eine Sollgröße, die mit dem Ist-Zustand verglichen wird. Der Ist-Zustand wird zum Beispiel durch Maßnahmen so lange bearbeitet, bis er dem Soll-Zustand entspricht. Eine Maßnahme ist dagegen eine zweckbestimmte Handlung, die die Bearbeitung des Ist-Zustandes in Richtung Soll-Zustand unterstützt.

## 2. Übergeordnete Ziele einer nachhaltigen Energiepolitik

Um tiefer in die Problematik der Zielpriorisierung einzusteigen, werden wir zunächst prinzipiell auf die übergeordneten Ziele einer nachhaltigen globalen Energiepolitik eingehen. Diese lassen sich folgendermaßen gliedern:

1. Klima- und Umweltverträglichkeit
2. Wirtschaftlichkeit/Bezahlbarkeit
3. Versorgungssicherheit
4. Ressourcenschonung
5. Sozialverträglichkeit und Akzeptanz
6. Globale Verantwortung

Wobei der letzte Punkt eigentlich die anderen fünf Punkte beinhaltet, aber separat aufgeführt wird, um die internationale Dimension hervorzuheben. Der zügige und komplette Ausstieg aus der Kernenergie wird nicht als eigenes Ziel aufgeführt, weil er nach dem Ausstiegsbeschluss des deutschen Bundestags von 2011 als nicht zu diskutierende feste Randbedingung verstanden wird. Mit anderen Worten ist das (siebte) Ziel „kompletter Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland bis 2022“ fest an erster Stelle der Priorisierung gesetzt und wird deshalb in der Folge bei der Priorisierung der Ziele in Kapitel 4 nicht zur Diskussion gestellt.

### 2.1 Klima- und Umweltverträglichkeit

Es kann keinen Zweifel geben, dass dem Klimaschutz größte Aufmerksamkeit gelten muss, selbst wenn noch nicht alle Zusammenhänge von globalem und regionalem Temperaturanstieg, Anstieg der Treibhausgase, Wolkenbildung etc. vollständig verstanden sind. Allein zwei Tatsachen sollten uns heute in die Ver-

antwortung zwingen, auf eine drastische Reduktion der Treibhausgas-Emissionen hinzuwirken: erstens, dass die ansteigenden anthropogenen Treibhausgas-Emissionen sehr wahrscheinlich wesentlich zu einem globalen Temperaturanstieg von mehreren Grad Celsius bis Ende des Jahrhunderts beitragen, und zweitens, dass das globale Klimasystem sehr träge reagiert, sodass manche Auswirkungen nicht mehr zu stoppen sind, wenn sie zu Folgen für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt führen, die als unakzeptabel eingestuft werden. Da die „Energieerzeugung“ (präziser: die Energieumwandlung) in Deutschland mit gut 80 Prozent den größten Beitrag zu den Treibhausgas-Emissionen liefert,<sup>9</sup> ist der unmittelbare Handlungsbedarf der Energiepolitik evident. Die „Dekarbonisierung“ der Energieversorgung muss deshalb ein vorrangiges Ziel sein.

Obwohl der Themenkomplex Klima/Umwelt im Rahmen der Energiediskussion häufig auf das Klima reduziert wird, dürfen auch andere Umweltaspekte beim Umbau des Energiesystems nicht aus den Augen verloren werden, wie zum Beispiel Luftreinheit, Trinkwasserversorgung, Vermeidung von Monokulturen, Versiegelung oder Verbauung der Landschaft, Entsorgung nuklearer Abfälle, Gefährdung der Umwelt durch entsorgte kadmiumhaltige Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) etc.

### 2.2 Wirtschaftlichkeit/Bezahlbarkeit

Wirtschaftlichkeit impliziert, dass die Energieversorgung eines Landes kosten-

<sup>9</sup> Löschel et al. 2014, S. 24.

effizient, also mit möglichst geringen volkswirtschaftlichen Kosten verbunden, sein sollte. Grundsätzlich kann das Ziel der Wirtschaftlichkeit dabei auch andere energiepolitische Ziele erfassen, da ebenfalls Einschränkungen der Versorgungssicherheit, Umweltschäden oder mangelnde Akzeptanz zu volkswirtschaftlichen Kosten führen. Trade-offs zwischen den verschiedenen ökonomischen Zielen würden damit direkt im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsanalyse erfasst. Aufgrund kaum überwindbarer Probleme bei der Quantifizierung dieser Trade-offs werden die einzelnen Ziele der Energiepolitik in diesem Papier jedoch einzeln diskutiert – wie in der öffentlichen Debatte üblich. Damit reduziert sich das Prinzip der Wirtschaftlichkeit auf das Prinzip der Bezahlbarkeit, welches die Kosteneffizienz der Energieversorgung aus einzelwirtschaftlicher Perspektive erfasst.

Fallen Preissteigerungen bei den Energiekosten zu deutlich aus, kann das weitreichende Folgen haben, angefangen vom Verlust der internationalen Wettbewerbsfähigkeit energieintensiver Branchen und damit verbundener Abwanderung ganzer Industriezweige bis hin zur Akzeptanzverweigerung für die Energiewende. Außerdem wird die „globale Energiewende“<sup>10</sup> – und nur diese ist letztlich relevant für Klima- und Umweltschutz, Ressourcenschonung etc. – nur dann gelingen, wenn die Energiepreise auch beim Umbau des Energiesystems nicht viel stärker als die allgemeine Inflationsrate steigen. Allerdings ist es vermutlich nicht zu vermeiden, dass sich zumindest die „Pioniere“ ihr Experiment einiges kosten lassen, damit es schnell genug erfolgreich ist und dann Nachahmer findet. Solange sich erhöhte Kosten nicht zum Dauerzustand entwickeln und die Kostensteigerung nicht insgesamt zu hoch

und das Gefälle zu internationalen Wettbewerbern nicht zu groß ausfällt, wird man die Energiewende auch mit einer Zusatzbelastung für deutsche Verbraucher umsetzen können. Hierzu ist jedoch eine verlässliche und glaubhafte Perspektive erforderlich (zum Beispiel eine Begrenzung des Anstiegs und spätere Normalisierung der Strompreise).

### 2.3 Versorgungssicherheit

Das Oberthema Versorgungssicherheit ist für sich gesehen bereits sehr komplex und muss für unterschiedliche Zeitskalen genauer spezifiziert werden. Eine langfristige Versorgungssicherheit (eigentlich als Verfügbarkeit zu bezeichnen) hängt mit der Verfügbarkeit und dem Zugriff auf Ressourcen im Jahresverlauf oder über Jahrzehnte hinweg zusammen. Für die technischen Systeme, wie das elektrische Energiesystem, aber auch für das Gasnetz oder die Ölversorgung, ist zusätzlich die kurzfristige Sicherheit im Sinne der betrieblichen Sicherheit und Stabilität von Bedeutung. Technische Störungen oder Engpässe in Netzen können zu Versorgungsunterbrechungen führen. Mangelnde Wartung aufgrund eines hohen Kostendrucks oder Investitionsverzögerungen können die Ausfallhäufigkeit erhöhen.

Noch ist Deutschland ein Land mit weit überdurchschnittlicher Versorgungssicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Energiesysteme. Im Jahr 2011 war zum Beispiel beim Strom eine nahezu hundertprozentige Versorgungssicherheit gegeben: Die durchschnittliche Nichtverfügbarkeit je Letztverbraucher betrug 15,3 Minuten.<sup>11</sup> Bei der Versorgung mit Gas, Kohle und Erdöl gab es keine Engpässe und damit eine sehr hohe Versorgungszuverlässigkeit. Allerdings ist die Zahl der Eingriffe zur Stabilisierung des Strom-

<sup>10</sup> Präziser muss man eigentlich von einer Transformation des globalen Energiesystems sprechen, da der Begriff Energiewende den speziellen deutschen Weg bezeichnet.

<sup>11</sup> BMWi 2014-2.

netzes in den letzten drei Jahren drastisch gestiegen, was ein Zeichen für eine höhere Beanspruchung der Netze durch die volatilen erneuerbaren Energien und damit für verringerte Sicherheitsreserven ist (zum Beispiel hat sich die Zahl der sogenannten Redispatch-Eingriffe der Netzbetreiber in den letzten drei Jahren verfünffacht).

Die technische und kurzfristige Versorgungssicherheit ist jedoch von herausragender Bedeutung für das Gelingen der deutschen Energiewende und damit auch des globalen Umbaus des Energiesystems. Ein technisch sicheres, zuverlässiges und verfügbares Energiesystem ist ein entscheidender Standortvorteil, es ist die gesetzliche Vorgabe für die regulierten Netzbetreiber. Wenn es nur einen oder gar mehrere größere Stromausfälle geben sollte, die man zumindest teilweise der Energiewende, also speziell den Instabilitäten und Kapazitätsengpässen des Stromnetzes infolge der spezifischen Eigenschaften der fluktuierenden Strombeiträge von Wind und Sonne, anlasten kann, besteht das Risiko eines gravierenden Akzeptanzverlustes. Eine merkliche Verminderung der Versorgungssicherheit würde auch die Attraktivität des Wirtschaftsstandorts Deutschland gefährden.

Unter „Versorgungssicherheit“ versteht man normalerweise nicht nur die technische Zuverlässigkeit des Energieversorgungssystems, sondern auch seine Verletzlichkeit gegenüber Versorgungsunterbrechungen von importierten Rohstoffen, vor allem von fossilen Brennstoffen. Selbst 2050 wird Deutschland von importiertem Öl und Gas abhängig sein, auch wenn bis dahin – konform mit den Zielen der Energiewende – die Einfuhr fossiler Energierohstoffe drastisch zurückgegangen sein sollte. Seit der ersten Ölkrise im Jahr 1973 hat eine starke Diversifizierung auf dem globalen Ölmarkt stattgefunden, sodass hier das Problem der Versorgungssicherheit nicht mehr so akut ist. Mit

einem russischen Anteil von knapp 40 Prozent<sup>12</sup> gibt es jedoch bei der Erdgasversorgung Grund zur Beunruhigung, zumal nach dem relativ kalten Winter 2012/13 der Füllstand der 48 deutschen Speicher einen Tiefstand von 20 Prozent<sup>13</sup> erreicht hat. Gerade die Vorgänge innerhalb und im Umfeld der Ukraine machen deutlich, wie stark die Gasversorgung aus Russland auch von politischen Rahmenbedingungen abhängt.

Die Einschätzung der langfristigen Verfügbarkeit von Ressourcen (Schlagwort: *peak oil*) wird im Rahmen dieses Dokuments unter dem Aspekt Ressourcenschonung subsumiert.

## 2.4 Ressourcenschonung

Die Endlichkeit mineralischer und fossiler Bodenschätze hat mindestens zwei Konsequenzen, die wir bei der Entwicklung des Energiesystems einbeziehen müssen – unabhängig davon, wie lange die Vorräte noch reichen. Zum einen belasten wir Länder mit geringerer Wirtschaftskraft und großer Abhängigkeit vom Zugang zu günstiger Energie sowie generell die nachfolgenden Generationen, indem wir ihnen den Zugang zu wichtigen Ressourcen erschweren oder sogar entziehen, die sie für ihre Zukunft, zum Beispiel ihre technologische Entwicklung und ihr wirtschaftliches Handeln, benötigen. Zum anderen richten sich die Energiepreise nach der Knappheit und Zugänglichkeit von erforderlichen Ressourcen entsprechend den üblichen Marktmechanismen, die allerdings auch durch gezielte Eingriffe marktbeherrschender Monopolisten oder Kartelle manipuliert werden. Eine kluge Energiepolitik wird diese beiden Gesichtspunkte einbeziehen müssen, wobei die Kunst darin besteht, rechtzeitig – das heißt lange vor der Verknappung – zu handeln,

<sup>12</sup> BAFA 2014.

<sup>13</sup> Handelsblatt 2013.

also zum Beispiel den Öl- und Gasverbrauch durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und der Elektromobilität zu reduzieren oder manche (knappen) Seltenen Erden, Metalle oder Halbleiter durch andere zu substituieren, bevor die Nachfrage nach den entsprechenden Produkten das Angebot übersteigt. Das Ziel Ressourcenschonung hängt eng mit den Zielen Versorgungssicherheit (Abschnitt 2.3) und Bezahlbarkeit, teilweise auch mit dem Ziel Umweltschutz (zum Beispiel Schiefergas, Ölförderung in der Tiefsee) zusammen. Wichtige Teilziele der Ressourcenschonung sind Substitution, Recycling und systematische Steigerung der Ressourceneffizienz. Der Umgang mit den Ressourcen wird zukünftig wesentlich größere strategische Bedeutung erlangen.

## 2.5 Sozialverträglichkeit und Akzeptanz

Die Energiewende muss auch die sozialen Ziele, die in unserer Gesellschaft weitgehend Konsens sind, mit berücksichtigen. Darunter fallen vor allem die Ziele einer gerechten Verteilung von Chancen und Ressourcen, einer friedlichen und ausgewogenen Konfliktbehandlung und einer sozial ausbalancierten Verteilung von Risiko und Nutzen zwischen Regionen und Bevölkerungsgruppen. Ist eines dieser Ziele in den Augen der betroffenen Bevölkerung verletzt, dann ist mit entsprechenden Protesten und Akzeptanzverweigerung für geplante Maßnahmen zu rechnen. In einer Demokratie ist die Akzeptanz ein Gradmesser für das politische Gelingen von gesellschaftlichen Großprojekten wie der Energiewende. Seit einigen Jahren werden mittlere und große Projekte zunehmend kritisch betrachtet und teilweise vehement bekämpft (zum Beispiel Startbahn West, Stuttgart 21, aber auch neue Stromtrassen, Speicherseen und Windparks). Auch wenn das zunehmende Bürgerengagement oftmals über das Ziel hinausgeht (Stichwort: Wutbürger, Protesttourismus), ist der

Protest ein wichtiger Indikator für mangelnde Sozialverträglichkeit. Als Reaktion auf Akzeptanzverluste reicht es aber manchmal nicht aus, die Öffentlichkeit eingehend, vollständig und transparent zu informieren und, wo möglich, durch gute Argumente zu überzeugen. Dann sollten Bürger, Nichtregierungsorganisationen (NGO) und Interessengruppen möglichst frühzeitig und dauerhaft an den Planungs- und Entscheidungsfindungsprozessen beteiligt werden (Stichwort: Partizipation). Sie müssen nach der jeweiligen Entscheidung dann allerdings Mitverantwortung übernehmen und sich aktiv für die gemeinsam gefundene Lösung einsetzen.

Beiden Maßnahmen, also der transparenteren Information und der Umsetzung einer geeigneten Form der Partizipation, kommt große Bedeutung zu, da die Energiewende zum einen finanzielle Opfer fordert (steigende Energiepreise, öffentliche Großinvestitionen), große strukturelle Veränderungen bedingt (Ausstieg aus der Kernenergie, dezentrale Kleinversorger versus zentrale Grundversorgung) und aktive Mitwirkung voraussetzt (Energiesparen, Mitwirkung in einem intelligenten Netz). Zum anderen werden vor diesem Hintergrund die Bewertung der ehrgeizigen Ziele und die Akzeptanz der einschneidenden Maßnahmen immer wichtiger, weil sich viele langfristige Vorhaben erst später auszahlen, während Kosten und Risiken sofort anfallen. Aus diesem Grund wird eine Voraussicht auf spätere Nutzenerfahrungen von den betroffenen Bürgerinnen und Bürgern verlangt. In diesem Zusammenhang spielt die Priorisierung der Ziele ebenfalls eine sehr wichtige Rolle, da beispielsweise die Vorrangigkeit des Ausstiegs aus der Kernenergie oder der Versorgungssicherheit eine temporäre Zunahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen mit sich bringen und die Preise nach oben treiben kann. Solche Zusammenhänge müssen offen kommuniziert werden, weil sonst die Akzeptanz der Energiewende insgesamt abnimmt.

## 2.6 Globale Verantwortung

Deutschland steht mit seiner Energiepolitik nicht nur in nationaler, sondern auch in globaler und in mancher Beziehung speziell in europäischer Verantwortung. Klimaschutz, viele Aspekte des Umweltschutzes und Ressourcenschonung sind Probleme, die ausschließlich global gelöst werden können. Hier kann Deutschland eine Experimentier- und Vorreiterrolle übernehmen, die Probleme sind aber nur im weltweiten Kontext und Konsens effektiv in den Griff zu bekommen (Deutschlands Anteil an den globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen beträgt rund drei Prozent, mit sinkender Tendenz).<sup>14</sup> Energiekosten und Versorgungssicherheit sind Themen von vordergründig regionaler beziehungsweise nationaler Bedeutung; bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass auch diese Herausforderungen nur oder zumindest besser im europäischen Rahmen gemeistert werden können, sofern sie nicht ohnehin in globalen Zusammenhängen stehen (Erdöl und Erdgas).

Darüber hinaus trägt Deutschland als bevölkerungsreichstes und wirtschaftlich stärkstes Land Europas mit zentraler Lage eine große europäische Verantwortung. Der stark veränderte Strommarkt, die Fluktuationen im europäischen Verbundnetz und die temporäre Überlastung der Stromnetze einiger Nachbarstaaten sind Beispiele für Einflüsse auf europäischer Ebene, die durch die Auswirkungen unserer Energiewende mit hervorgerufen werden. Außerdem prägt Deutschland durch direkten politischen Einfluss und durch seine Vorreiterrolle die europäischen Energieziele. Deshalb ist es erstaunlich, dass deutsche Entscheidungen zur Energie- und Klimapolitik kaum mit den europäischen Partnern besprochen, geschweige denn abgestimmt sind – zumindest wird das im Ausland so wahrgenommen. In den europäischen Nach-

barländern und auf EU-Ebene werden deutsche Entscheidungen und Entwicklungen folglich manchmal mit Erstaunen oder mit Irritation zur Kenntnis genommen, insbesondere wenn sie sich auf die Partner stark auswirken.<sup>15</sup> Im Kontext gegenseitiger Abhängigkeiten und im Rahmen des europäischen Binnenmarktes besteht diesbezüglich ein zunehmender dringender Abstimmungsbedarf.

Um die übergeordneten Ziele einer nachhaltigen Energiepolitik zu konkretisieren und daraus Maßnahmen abzuleiten, hat das Energiekonzept der Bundesregierung von 2010 zahlreiche quantitative Einzelziele benannt (siehe Anhang). Auch das Energiepaket vom Sommer 2011 infolge des Ausstiegsbeschlusses und die Koalitionsvereinbarung der großen Koalition vom November 2013 haben an diesen Zielen, vor allem an den quantitativen Zielen, grundsätzlich nichts geändert.

<sup>14</sup> BP 2014.

<sup>15</sup> Hakkarainen 2013, S. 172–185.

### 3. Notwendigkeit einer Priorisierung der Ziele

Zur Zeit der Erstellung dieses Papiers besteht sowohl in Politik, Zivilgesellschaft und Medien als auch in Wirtschaft und Wissenschaft der Eindruck, dass die Energiewende – wenn sie nicht gefährdet ist – zumindest wesentlich hindernisreicher verläuft als geplant und sich vielleicht länger hinziehen wird als erwünscht. Mehrere Entwicklungen haben dazu beigetragen:

- die fehlende Infrastruktur (zum Beispiel Stromleitungen und Stromspeicher) sowie die mangelnden Möglichkeiten und Anreize, in neue Infrastrukturen zu investieren,
- der Preisverfall der Emissionszertifikate beim EU ETS,<sup>16</sup>
- der Anstieg der deutschen CO<sub>2</sub>-Emissionen von 2010 bis 2013 (siehe Abbildung 5) sowie die Prognose, dass das selbstgesteckte Ziel für 2020 (Minderung um 40 Prozent gegenüber 1990) wahrscheinlich nicht erreicht werden kann,
- zunehmende Exporte deutschen Stroms (tageszeitbedingt),<sup>17</sup> manchmal zu negativen Preisen, die sowohl aus ökonomischer als auch technischer Sicht für Nachbarländer problematisch sind,
- die starke Steigerung der EEG-Umlage (Mechanismus, bei dem die Stromkunden die Einspeisevergütungen finanzieren) und die kontroversen Ausnahmeregelungen,<sup>18</sup>
- die Fokussierung der öffentlichen Debatte über die Energiewende auf den Bereich Stromerzeugung, obwohl sie einen Anteil von nur 20 Prozent am

Gesamt-Energieverbrauch hat (Wärme 50 Prozent, Verkehr 30 Prozent),<sup>19</sup>

- die fehlende Aufmerksamkeit, die dem bereichsübergreifenden Thema „Energieeffizienz“ geschenkt wird, obwohl laut Expertenmeinung das Potenzial für die Energieeinsparung hoch ist (siehe Abbildung 7).<sup>20</sup>

Manche dieser Probleme sind eher von vorübergehender, nicht prinzipieller Bedeutung und können durch entsprechende politische Entscheidungen korrigiert werden. Allerdings gibt es auch Fehlentwicklungen, die auf intrinsische Konflikte und paradoxe Zusammenhänge zurückzuführen sind. In diesem Zusammenhang kritisieren Fachleute, unter anderem die Monitoring-Kommission,<sup>21</sup> dass die Ziele nicht klar priorisiert sind und die Maßnahmen keiner eindeutig erkennbaren Priorisierung folgen. Viele quantitative Ziele der Energiewende wurden zwar festgelegt, doch fehlen bislang vor allem eine Priorisierung der Einzelziele und eine klare Unterscheidung von Zielen und Maßnahmen. Ist beispielsweise der stark forcierte Ausbau der erneuerbaren Energien ein Ziel oder eine Maßnahme, um die Ziele Klima- und Umweltschutz sowie Ressourcenschonung möglichst schnell zu erreichen? Das EEG macht den Ausbau der erneuerbaren Energien de facto zu einem prioritären Hauptziel, dem andere Ziele, wie zum Beispiel Wirtschaftlichkeit und Klimaschutz, nachgeordnet sind (siehe Kapitel 4.1). Dass der Klimaschutz de facto nachgeordnet ist, obwohl er entsprechend

<sup>16</sup> Europe Economics 2014.

<sup>17</sup> AG Energiebilanzen e. V. 2014.

<sup>18</sup> RWI 2014.

<sup>19</sup> UBA 2012.

<sup>20</sup> Löschel et al. 2014.

<sup>21</sup> Ebd.

der landläufigen Meinung mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien gleichgesetzt wird, mag auf den ersten Blick erstaunen, ergibt sich aber aus einer Reihe von Zusammenhängen. Zum Beispiel müssen zur Sicherstellung der Stromversorgung in sonnen- und windarmen Zeiten mangels Stromspeichern fossile Kraftwerke zusätzlich betrieben werden. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen sind dies vorrangig Braunkohlekraftwerke. Da diese außerdem wegen des Regelbedarfs aufgrund der fluktuierenden erneuerbaren Energien fernab ihres optimalen Betriebsmodus (das heißt mit größter Effizienz) laufen, erhöht sich der CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro erzeugter Strommenge gegenüber alternativen Back-up-Technologien, wie zum Beispiel Gaskraftwerken. Der zugrunde liegende Zielkonflikt wird im Kapitel 4.1 näher erläutert.

Die Priorisierung der Ziele ist deshalb besonders wichtig, weil der Erfolg energiepolitischer Maßnahmen letztlich daran gemessen wird, ob sie dazu beigetragen haben, die anvisierten Ziele zu erreichen oder nicht. Bei unscharfer oder fehlender Zielsetzung werden die Ergebnisse von Maßnahmen immer auch an (verfehlten) Einzelzielen gemessen, da eine simultane Erreichung aller Einzelziele praktisch ausgeschlossen ist (zum Beispiel auch wegen Zielkonflikten). Vor allem aber sollte die Priorisierung der Ziele dazu dienen, Maßnahmen zielgenauer zu formulieren und in ihrer Wirkung effektiver zu gestalten. Dieser Gesichtspunkt ist bei der Novellierung oder dem Ersatz von Gesetzen mit Langzeitwirkung (zum Beispiel dem EEG) von besonderer Bedeutung. Auch die Expertenkommission, die für die Begutachtung des Monitoring-Berichts zur Energiewende von der Bundesregierung eingesetzt wurde, hat in ihren beiden Berichten betont, dass die im Anhang angegebenen Teil- oder Einzelziele nicht als gleich relevant zu betrachten sind. Sie hat daher eine Zielhierarchie empfohlen, um die Energiewende erfolgreich zu bewältigen.

Ein weiterer Zielkonflikt besteht zwischen dem Ausstieg aus der Kernenergie und dem Klimaschutz (Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission). Auch unter der Voraussetzung, dass die erneuerbaren Energien entsprechend der politisch avisierten Geschwindigkeit ausgebaut werden, muss die Abschaltung der Kernkraftwerke zwangsläufig durch Zuschaltung anderer thermischer, also fossiler, Kraftwerke kompensiert werden. Dies gilt selbst dann, wenn der fehlende Nuklearstrom durch Importe gedeckt wird, denn auch im europäischen Ausland wird nicht-fossiler, intermittenter Strom vorrangig eingespeist. Das würde natürlich auch dann gelten, wenn die Bemühungen, Energie einzusparen, den wegfallenden Nuklearstrom (über)kompensieren würden. Dies ist allerdings nicht gegeben. In diesem Fall wäre die CO<sub>2</sub>-Bilanz zwar abnehmend, allerdings mit geringerer Steigung als ohne Ausstieg. Es wird betont, dass dieses Statement kein Plädoyer für die Kernenergie ist, sondern ein Plädoyer für klare Priorisierungsaussagen (siehe Kapitel 4.1). Wie bereits erwähnt, wird der Ausstieg aus der Kernenergie im Folgenden als konsensualer politischer Beschluss vorausgesetzt (im Sinne einer höchsten Priorität).

Ein drittes Beispiel soll hier kurz erwähnt werden. Eines der Einzelziele der Energiewende ist, den Stromverbrauch bis 2050 um 25 Prozent im Vergleich zu 2008 (beziehungsweise bereits um zehn Prozent bis 2020) zu senken.<sup>22</sup> Dieses Ziel ist in Konflikt mit dem Ziel, den Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch von heute etwa zwölf Prozent auf 60 Prozent bis 2050 zu erhöhen, denn die erneuerbaren Energien werden bereits jetzt überwiegend zur Stromerzeugung eingesetzt (Tendenz wegen des Ausbaus von Wind- und Solarenergie stark steigend).<sup>23</sup> Selbst wenn die Einsparziele

<sup>22</sup> Bundesregierung 2010, S. 5.

<sup>23</sup> BMWi 2014-3.

erreicht würden (50 Prozent Senkung des Primärenergieverbrauchs bis 2050), würde der Stromverbrauch nicht sinken; es sei denn, der Wissenschaft gelänge bis dahin – auf kommerzieller Basis – die direkte Umwandlung von Wind- oder Sonnenenergie in andere Energieträger als Strom. Ansonsten würden alle Umwandlungspfade wie Power-to-Heat oder Power-to-Gas, die Photovoltaik- oder Windstrom in andere Energieformen umwandeln, zur Erhöhung des Stromverbrauchs führen.

In der Tat ist der Brutto-Inlandsstromverbrauch seit fünf Jahren in etwa konstant,<sup>24</sup> wobei der steigende Anteil der statistisch nicht erfassten Eigenstromerzeugung bisher unberücksichtigt bleibt. Das Ziel, den Stromverbrauch zu senken, befindet sich im Übrigen auch im Konflikt mit dem Ziel, eine Million Elektrofahrzeuge bis 2020 und sechs Millionen bis 2030 auf die Straßen zu bringen. Schließlich ermöglicht die weitere Elektrifizierung des Energiesystems aus erneuerbaren Energien grundsätzlich eine leicht umsetzbare Substitution fossiler Energieträger in den anderen Sektoren, sodass eine Reduktion des Stromverbrauchs auch aus Klima- und Ressourcenschutzgründen nicht sinnvoll erscheint, sofern dem zusätzlichen Stromverbrauch entsprechende Einsparungen in den anderen Sektoren gegenüberstehen.

Weitere Zielkonflikte sowohl zwischen den Einzelzielen als auch zwischen den übergeordneten Zielen beziehungsweise den unmittelbar daraus abgeleiteten Maßnahmen werden hier nur noch stichwortartig aufgelistet; ihre Nennung soll aber die Notwendigkeit einer klaren Zielpriorisierung unterstreichen:

- Konflikt zwischen Nutzung (und Förderung) von Bioenergie der ersten Generation (Bioethanol, Biodiesel) und Nahrungsmittelerzeugung,

- Konflikt zwischen der Nutzung von Bioenergie der ersten Generation und Umweltschutzgesichtspunkten (Überdüngung, Wassernutzung, Flächen-nutzung),
- Konflikt zwischen Ausbau der erneuerbaren Energien und Wirtschaftlichkeit/Bezahlbarkeit,
- Spannungsfeld zwischen Erhöhung des Anteils fluktuierender erneuerbarer Stromquellen und Versorgungssicherheit,
- Konflikt zwischen forciertem Ausbau der erneuerbaren Energien und Klimaschutz (kurz- und mittelfristig; siehe auch Kapitel 4.1).

Schlussendlich ist noch zu erwähnen, dass manche Einzelziele sich nicht gegenseitig ausschließen, sondern miteinander um Versorgungsanteile konkurrieren (Beispiel: Steigerung der Anteile von Bioenergie bei Strom, Kraftstoffen und Wärme bei beschränktem Potenzial der Biomasse). Anders gesagt: Die quantitativen Ziele der Energiewende lassen sich durch verschiedene Kombinationen von Einzelzielen erreichen, das heißt, das jetzige Zielsystem zur Herbeiführung der Energiewende ist überbestimmt. Ein Beispiel stellt ein vor kurzem gezogener Vergleich der Förderung erneuerbarer Energien in Europa mit der Auswirkung eines (reformierten) Emissionshandelssystems dar. In der 2013 veröffentlichten Studie wurde mittels Marktsimulationen gezeigt, „dass sich das EU ETS als Kerninstrument der europäischen Klimapolitik eignet und es mittel- bis langfristig schafft – ohne zusätzliche Ausbauziele oder Fördermechanismen für erneuerbare Energien – als Marktergebnis einen signifikanten Anteil Erneuerbarer am Erzeugungsmix der EU anzureizen, ohne dass dieser selbst als Ziel definiert werden müsste“.<sup>25</sup>

Im folgenden Kapitel (Kapitel 4.1) wird im Detail gezeigt, wie Maßnahmen-

<sup>24</sup> AG Energiebilanzen e. V. 2014.

<sup>25</sup> Müsgens et al. 2013, S. 8.

pakete der Energiewende eine De-facto-Priorisierung der Ziele vorgeben, die nicht mit der öffentlich verbreiteten Priorisierung übereinstimmt. Tatsächlich folgt derzeit die Reihung der Ziele aus den Maßnahmen, und nicht – wie es eigentlich sein sollte – umgekehrt das Maßnahmenpaket aus der Reihung der Ziele. In Kapitel 4.2 werden verschiedene Priorisierungsoptionen diskutiert. Da die Zahl  $N$  der Priorisierungsmöglichkeiten mit der Zahl  $n$  der diskutierten Ziele steil ansteigt (mathematisch ausgedrückt mit  $N = n!$ ), beschränken wir uns bei der Diskussion der Priorisierung auf die drei Ziele, die von der deutschen Politik zuletzt im Koalitionsvertrag der Regierungsparteien vom Dezember 2013<sup>26</sup> als sogenanntes Zieldreieck hervorgehoben wurden: Klima- und Umweltschutz, Wirtschaftlichkeit/Bezahlbarkeit und Versorgungssicherheit, zumal die anderen in Kapitel 2 besprochenen drei Ziele bisher in der öffentlichen Diskussion noch nicht die gleiche Vorrangigkeit genießen.

---

<sup>26</sup> CDU et al. 2013, S. 134.

## 4. Priorisierungsoptionen

### 4.1 Auswirkungen der Gesetze und Verordnungen und Bezug zu den proklamierten Zielen

In diesem Abschnitt wird anhand von Beispielen aus dem Maßnahmenkatalog der Bundesregierung aufgezeigt, dass bei der Einführung von Maßnahmen beabsichtigte Ziele nicht erreicht werden oder sogar konterkariert werden können, wenn die Maßnahmen nicht auf eine klare Priorisierung der Ziele abgestimmt sind.

#### 4.1.1 Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG)

Im ersten Absatz des ersten Paragraphen des EEG sind die Ziele Klima- und Umweltschutz, Bezahlbarkeit und Ressourcenschonung ohne explizite Reihung nebeneinander gestellt, zusammen mit dem Ziel Ausbau der erneuerbaren Energien, das eigentlich den Maßnahmen zur Erreichung der Ziele Klima- und Umweltschutz sowie Ressourcenschonung zugerechnet werden sollte. Außerdem kann aus der Formulierung der implizite Versuch entnommen werden, das Energiesystem nachhaltig zu entwickeln, ohne die Versorgungssicherheit zu gefährden.

#### Erneuerbare-Energien-Gesetz § 1 Zweck des Gesetzes

(1) Zweck dieses Gesetzes ist es, insbesondere im Interesse des Klima- und Umweltschutzes eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen, die volkswirtschaftlichen Kosten der Energieversorgung auch durch die Einbeziehung langfristiger externer Effekte zu verringern, fossile Energieressourcen zu schonen und die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien zu fördern.

Mit dem zweiten Paragraphen wird eine implizite Priorisierung festgelegt: Offensichtlich hat der Ausbau der erneuerbaren Energien im Sektor Strom oberste Priorität. Das Gesetz fördert auch im Vergleich mit angrenzenden Gesetzen (siehe Kapitel 4.1.2) primär den Ausbau der erneuerbaren Energien. Auf der Basis des ebenfalls im Rahmen des EEG festgelegten Förderrahmens wurden in der letzten Dekade die erneuerbaren Energien massiv ausgebaut, da sie innerhalb der versprochenen Laufzeit der Förderung zum Teil hohe Renditen für die Betreiber versprochen.

#### Erneuerbare-Energien-Gesetz § 2 Anwendungsbereich

##### Dieses Gesetz regelt

1. den vorrangigen Anschluss von Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien und aus Grubengas im Bundesgebiet einschließlich der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (Geltungsbereich des Gesetzes) an die Netze für die allgemeine Versorgung mit Elektrizität,
2. die vorrangige Abnahme, Übertragung, Verteilung und Vergütung dieses Stroms durch die Netzbetreiber einschließlich des Verhältnisses zu Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) sowie einschließlich Prämien für die Integration dieses Stroms in das Elektrizitätsversorgungssystem,
3. den bundesweiten Ausgleich des abgenommenen Stroms, für den eine Vergütung oder eine Prämie gezahlt worden ist.

Maßgeblich für den zügigen Ausbau der erneuerbaren Energien waren die durch die garantierten Einspeisevergütungen interessanten Renditen und im Fall der Photovoltaik insbesondere auch die niedrigen Eintrittsbarrieren zur Errichtung

von Erneuerbare-Energien-Anlagen.<sup>27</sup> Es ist wichtig anzumerken, dass es vor allem die Förderquoten und damit verknüpft die Renditegesichtspunkte waren, die für den Erfolg des Ausbaus der erneuerbaren Energien maßgeblich verantwortlich sind. Das kann man sogar aus dem Vergleich zwischen den erneuerbaren Energien ablesen: Vergleicht man zum Beispiel den Anstieg der installierten Leistung im Vergleich zum Anstieg der produzierten Energiemenge bei der Photovoltaik (siehe Abbildung 1, links) mit derjenigen von Windenergieanlagen (siehe Abbildung 1, rechts), so zeigt sich, dass die installierte Leistung bei ersterer in den vergangenen Jahren im Vergleich zur produzierten Energiemenge viel schneller gewachsen ist, und zwar nahezu exponentiell. Der Hauptgrund für den schnelleren Ausbau der Photovoltaik ist vermutlich die deutlich höhere Förderquote im Vergleich zur Windenergie, denn der Vergleich der erzeugten Strommengen würde eine Priorisierung der Windenergie erwarten lassen. Zusätzlich haben wohl auch die Ankündigungen, die Degression der Förderanteile zu beschleunigen und nicht mehr wie bei Einführung des EEG hohe Einspeisevergü-

tungen auf 20 Jahre festzulegen, für rasanten Zubau in letzter Zeit gesorgt.

Die beiden Grafiken zeigen außerdem, dass trotz des Vorrangs der erneuerbaren Energien eine große Diskrepanz zwischen installierter und erzeugter Leistung vorliegt, was in der öffentlichen Diskussion häufig übersehen wird. Das Verhältnis aus erzeugter zu installierter Leistung liegt aufgrund der stochastischen (volatilen) Einspeisung bei der Windkraft bei 35 bis 50 Prozent, bei der Photovoltaik sogar nur bei 20 bis 25 Prozent (dies entspricht dem Verhältnis der blauen und grauen Balken in Abbildung 1). Allerdings ist bei diesem Vergleich zu beachten, dass der Bezug in der Abbildung die gesamte installierte elektrische Nennleistung bzw. die tatsächlich erzeugte elektrische Energie ist. Da der Strom aus Windkraft oder Photovoltaik aufgrund des Vorrangs der erneuerbaren Energien (EEG) immer einen Beitrag zur Stromerzeugung liefert, sobald er erzeugt wird, fallen diese aufgezeigten Verhältnisse günstig aus. Anders sieht der Vergleich aus, wenn die tatsächlich gelieferte Energiemenge mit der Energiemenge

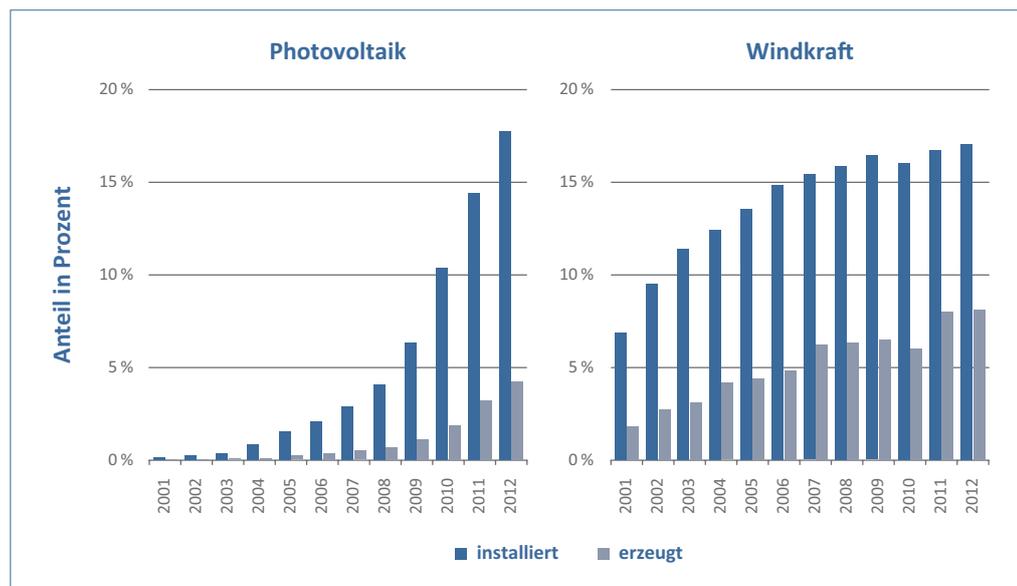


Abbildung 1: Anteil der Photovoltaik und der Windkraft an der gesamten installierten elektrischen Nennleistung beziehungsweise an der gesamten tatsächlich erzeugten elektrischen Energie in Deutschland.<sup>28</sup>

<sup>27</sup> BWE 2014.

<sup>28</sup> Eigene Darstellung auf Basis von BMWi 2014-4.

verglichen wird, die durch die installierte Leistung nominell erzeugt werden könnte: Windkraft etwa 18 Prozent, Photovoltaik etwa zehn Prozent. Der Grund für den Unterschied der beiden Zahlenpaare liegt in der Bezugsgröße, denn bei der gesamten Elektroenergiemenge (erstes Zahlenpaar) spielt der Vorrang der erneuerbaren Energien aufgrund des EEG eine entscheidende Rolle: Vorhandener Grünstrom muss immer eingesetzt werden, weshalb er bei entsprechenden Wetterbedingungen zur erzeugten Leistung aller Stromquellen im Vergleich zur installierten Leistung weit überproportional beiträgt. Das EEG in seiner derzeitigen Form bevorzugt also nicht nur die erneuerbaren Energien gegenüber den konventionellen Stromquellen, sondern priorisiert aufgrund der Förderquoten innerhalb der erneuerbaren Energien die Photovoltaik, obwohl diese im Vergleich zu den Fördersummen relativ wenig zum Strommix beiträgt.

Die Formulierung des EEG legt die Vermutung nahe, dass Wirtschaftlichkeitsaspekte bisher keine hohe Priorität hatten. Das wird durch die tatsächliche Entwicklung des Strompreisanteils des EEG am gesamten Strompreis bestätigt. Abbildung 2 zeigt für das Beispiel des Haushaltsstrompreises unter anderem, dass der EEG-Anteil am Strompreis gestiegen ist. Während der Anteil des Strompreises, der auf Erzeugung, Transport und Vertrieb zurückzuführen ist, seit 1998 um zwölf Prozent gestiegen ist, sind die Kosten induziert durch Abgaben, Umlagen und Steuern, insbesondere durch die EEG-Umlage (siehe Abbildung 3), um 243 Prozent, inflationsbereinigt um 173 Prozent, gestiegen. Anzumerken ist allerdings, dass der erzeugungsbaasierte Anteil, der nur um zwölf Prozent gestiegen beziehungsweise inflationsbereinigt sogar um elf Prozent gesunken ist, vom gesunkenen Börsenpreis aufgrund

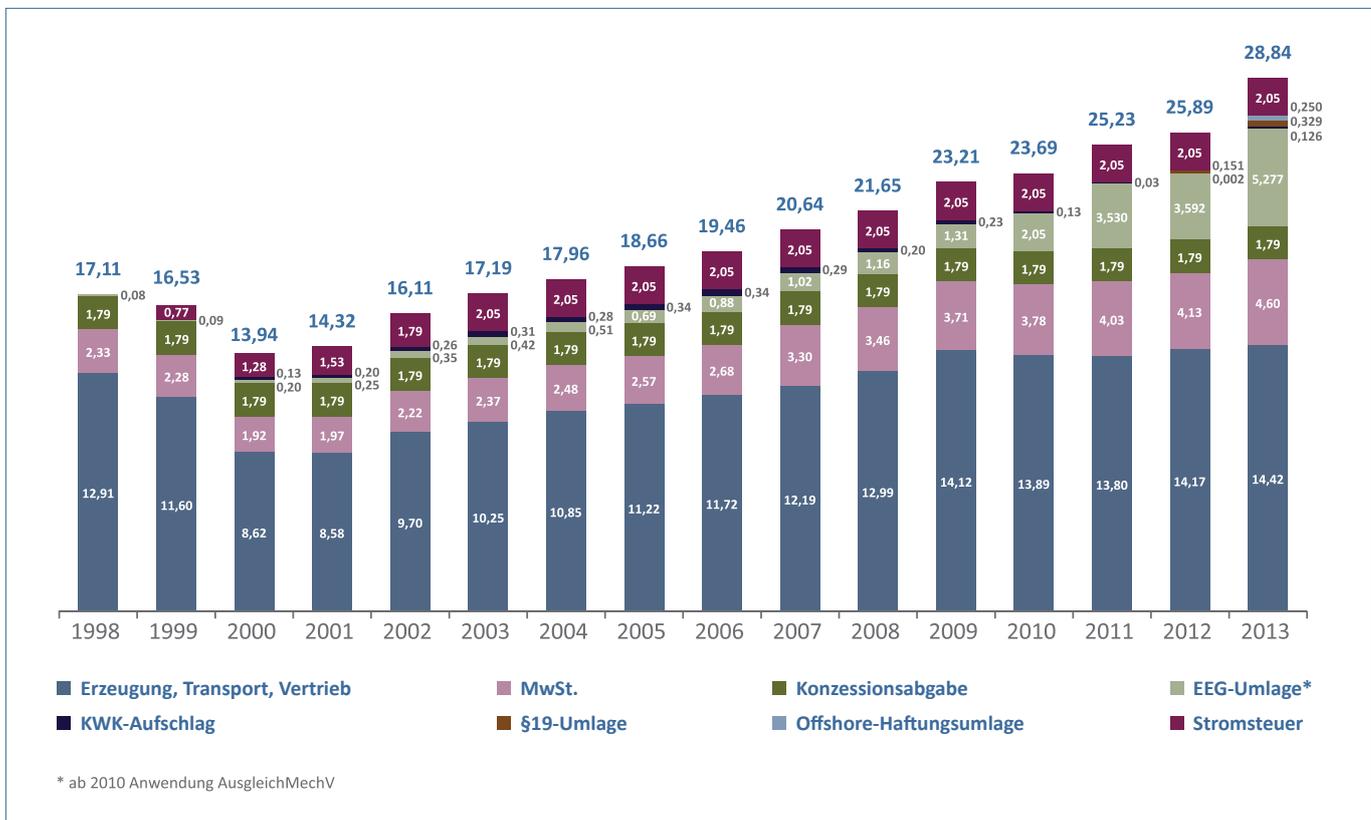


Abbildung 2: Durchschnittlicher Strompreis eines Drei-Personen-Haushaltes in €/kWh bei einem Jahresverbrauch von 3.500 kWh. Es wird die Strompreisentwicklung zwischen 1998 und 2012, aufgeschlüsselt nach Kostenanteilen, wiedergegeben.<sup>29</sup>

des Ausbaus der erneuerbaren Energien stark profitiert hat. Da dieser positive Effekt des EEG aber gleichzeitig erhöhend auf die EEG-Umlage wirkt, führt er zumindest für die Haushalte nicht zu einer Senkung der Strompreise. Zudem wirken sich die sinkenden Erzeugerpreise nachteilig auf die Investitionsanreize aus. Insgesamt sind die Strompreise pro Kilowattstunde in Haushalten von 1998 bis 2013 um 69 Prozent beziehungsweise inflationsbereinigt um 34 Prozent gestiegen. Rechnet man die in diesem Zeitraum eingeführte Stromsteuer einschließlich der darauf erhobenen Mehrwertsteuer

heraus, so ist der Strompreis inflationsbereinigt durch die Energiewende um 27 Prozent gestiegen.

Betrachtet man die Entwicklung der Strompreise für die Industrie, so ist der Preis für die eigentliche Beschaffung (Erzeugung, Verteilung und Vertrieb) wie bei den Privathaushalten gesunken und der Gesamtstrompreis für Unternehmen, die nicht von der EEG-Umlage befreit sind, durch EEG, Steuern etc. in ähnlichem Umfang wie bei den Haushalten gestiegen. Für stromintensive Unternehmen, die von der EEG-Umlage

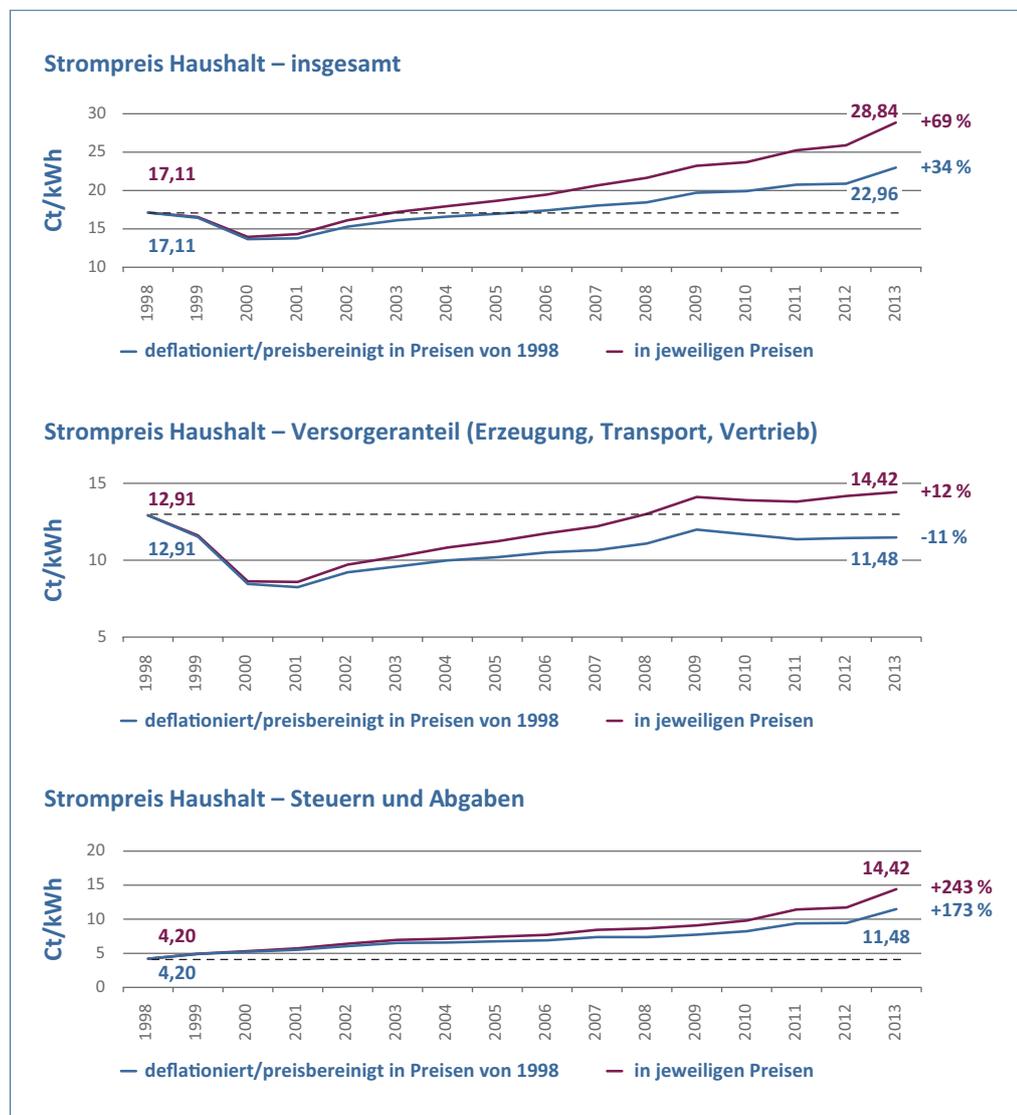


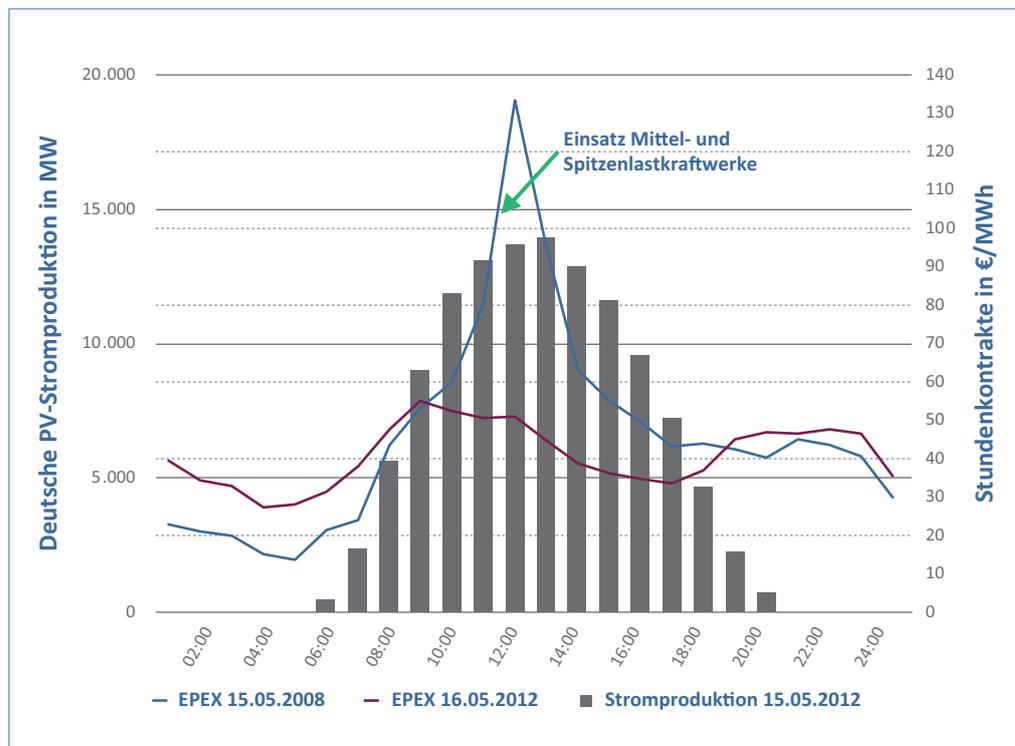
Abbildung 3: Nominale versus reale Entwicklung des Strompreises.<sup>30</sup> Real bedeutet deflationiert/preisbereinigt auf Basis des Verbraucherpreisindex des Statistischen Bundesamtes.

<sup>30</sup> BDEW 2013.

befreit sind, ist der Strompreis in den vergangenen Jahren rückläufig gewesen. Vergleicht man allerdings die Kosten der CO<sub>2</sub>-Vermeidung, wie sie sich im Anstieg der Strompreise widerspiegeln, mit dem Preis für CO<sub>2</sub>-Vermeidung in anderen Sektoren (zum Beispiel mit dem Preis für CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate im europäischen Emissionshandelssystem), so scheinen die Maßnahmen im Rahmen des EEG auf die Wirtschaftlichkeit nur wenig Rücksicht genommen zu haben.

Betrachten wir als Nächstes die Auswirkungen des EEG auf die Versorgungssicherheit. Die Tatsache, dass sich die Zahl der sogenannten Redispatch-Eingriffe der Netzbetreiber von früher wenigen Malen pro Jahr auf deutlich über 1000 erhöht hat (seit 2010 gab es eine Verfünfachung),<sup>31</sup> zeigt, dass der Aufwand für die Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit signifikant gestiegen

ist. Das liegt an der begrenzten Vorhersagbarkeit der tatsächlichen Einspeisung von Strom aus volatilen erneuerbaren Energien, die in den letzten Jahren stark zugenommen hat (siehe Abbildung 1). Da Energiespeicher aus verschiedenen Gründen bei Weitem nicht in ausreichender Kapazität zur Verfügung stehen, müssen zur Aufrechterhaltung der Stromversorgung konventionelle fossile Kraftwerke einspringen. Dies sollten aus Klimaschutz- und Effizienzgründen eigentlich Gaskraftwerke sein. Aus Abbildung 4 lässt sich allerdings ableiten, dass sich die Zeiten erhöhten Spitzenlastbedarfs verschoben haben, von der Mittagszeit auf die Morgen- und Abendstunden. Das ist durchaus kompatibel mit dem zunehmenden Angebot an (vorrangig eingespeistem) Strom aus Photovoltaik, der seine Produktionsspitze zur Mittagszeit hat, und der Vorstellung, dass Gaskraftwerke den Bedarf bei fehlendem Strom aus



**Abbildung 4: Einfluss der Stromproduktion durch PV auf die Mittel- und Spitzenlastkraftwerke.** Die Kurvenverläufe stammen von normalen Wochentagen, sind aber aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen nicht exakt, sondern nur exemplarisch vergleichbar.<sup>32</sup>

<sup>31</sup> Kapferer 2014, S. 3–4.

<sup>32</sup> BDI 2013.

erneuerbaren Energien nachregeln. Aufgrund der derzeit europaweit niedrigen Stromnachfrage bei gleichzeitig niedrigen CO<sub>2</sub>-Preisen werden allerdings auch Kohlekraftwerke zur Spitzenlastbereitstellung eingesetzt. Das führt dann dazu, dass der vergleichsweise teure Strom aus Gaskraftwerken derzeit nur noch an wenigen Stunden im Jahr wettbewerbsfähig ist. Daher werden heute keine neuen Gaskraftwerke mehr gebaut. Es droht sogar eine Außerbetriebnahme existierender Gaskraftwerke aufgrund von mangelnder Rentabilität.

Ein unerwünschter Nebeneffekt des Einsatzes von Kohlekraftwerken zur Bereitstellung von Ausgleichs- und Regenergie sind die im Teillastbetrieb deutlich niedrigeren Wirkungsgrade als im Dauerbetrieb, da ihr optimaler Arbeitspunkt (höchster Wirkungsgrad) auf den Dauerbetrieb ausgelegt ist. Dadurch steigt der CO<sub>2</sub>-Ausstoß zusätzlich. Diese Entwicklung, die vor allem mit den nied-

rigen CO<sub>2</sub>-Preisen zusammenhängt, ist neben der Zunahme der Braunkohleverstromung als Ersatz für die Kernenergie und jahreszeitliche Schwankungen ein wesentlicher Grund, weshalb die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den letzten Jahren wieder zugenommen haben. Abbildung 5 zeigt die Treibhausgas-Emissionen in Deutschland (CO<sub>2</sub>-Äquivalente) seit 1990 sowie die Minderungsziele für 2020 und 2050. Wenn man eine Ausgleichsgerade durch die Daten der letzten 20 Jahre legt (Regressionsgerade 1), so erhält man eine jährliche Reduktion der Emissionen von etwa 0,8 Prozent. Damit werden die Emissionsziele von 2020 und 2050 eindeutig verfehlt. Wenn man allerdings die jüngste Entwicklung der letzten fünf Jahre zugrunde legt, ist sogar mit einem jährlichen Anstieg der Emissionen für die nächsten Jahre um 0,8 Prozent zu rechnen. Die Abschaltung der restlichen Kernkraftwerke bis 2022 wird diesen Anstieg voraussichtlich noch deutlich erhöhen.

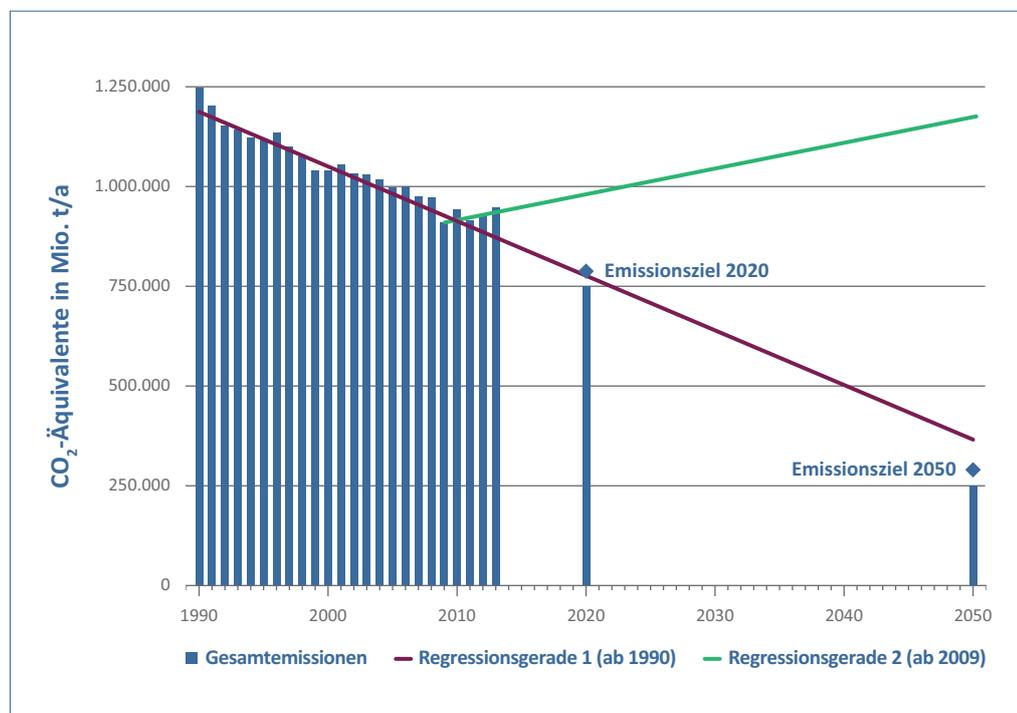


Abbildung 5: Treibhausgas-Emissionen in Deutschland (ohne Emissionen aus der Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft, LULUCF). Regressionsgerade 1 berücksichtigt die Emissionen ab 1990; Regressionsgerade 2 die Emissionen ab 2009.<sup>33</sup>

<sup>33</sup> Eigene Darstellung auf Basis von UBA 2012.

Fazit: Mit dem EEG wurde also eine De-facto-Priorisierung erreicht. Das EEG stellt den Ausbau der erneuerbaren Energien – obwohl eigentlich eine Maßnahme und kein Ziel – an die Spitze der Priorisierungshierarchie, während die Auswirkungen auf Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit eher vernachlässigt wurden. Die beschriebenen impliziten Wirkungen des EEG haben zur Folge, dass der Klimaschutz paradoxerweise hinter Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit das Schlusslicht bildet, obwohl mit dem EEG insbesondere auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert werden sollten. Wie die obige Analyse zeigt, ist dies kein temporärer Zufall, sondern EEG-inhärent, solange dieses Maßnahmenpaket nicht deutlich an die Entwicklung und Erkenntnisse der letzten Jahre angepasst oder durch ein anderes Fördersystem ersetzt wird. Es lässt sich deshalb folgern, dass die CO<sub>2</sub>-Minderungsziele für 2020 und 2050 ohne entsprechende Maßnahmen klar verfehlt werden.

#### 4.1.2 Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWKG)

Das Gesetz zur Modernisierung und zum Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung regelt „die Abnahme und die Vergütung von Kraft-Wärme-Kopplungsstrom (KWK-Strom) aus Kraftwerken mit KWK-Anlagen auf Basis von Steinkohle, Braunkohle, Abfall, Abwärme, Biomasse, gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen sowie Zuschläge für den Neu- und Ausbau von Wärme- und Kältenetzen sowie Zuschläge für den Neu- und Ausbau von Wärme- und Kältespeichern. [...]“<sup>34</sup>. Es ist dem EEG nachgeordnet, greift also nur, wenn das EEG nicht einschlägig ist. Auch das KWKG bevorzugt die Stromerzeugung und behandelt die Wärmeenergie nachrangig, wie das nachfolgende Beispiel zeigt.

Offensichtlich gibt es durch das EEG geförderte, mit Biogas befeuerte Blockheiz-

kraftwerke (BHKW), deren Wärme zum Teil ungenutzt in die Umgebung abgegeben wird, was nicht im Sinne der Energieeinspar- und Klimaschutzziele ist. Die Nachrangigkeit dieser Ziele wird durch die von der Rangordnung der Gesetze induzierte Rangordnung der Energieformen hervorgerufen. Diese räumt nämlich dem Strom klar den Vorrang ein, denn die Förderung betrifft vor allem die stromerzeugenden erneuerbaren Energien, deren Anteil an der Gesamt-Endenergie mit gut 20 Prozent jedoch deutlich hinter dem Anteil der Wärme mit gut 50 Prozent zurückbleibt (siehe Abbildung 6). Die durch die Gesetzeslage induzierte Rangordnung hat nun, wie am Beispiel der Nutzung von Biogas zu sehen, zur Folge, dass sich der Gesamtwirkungsgrad der Energiewandlung, also der unter den Gesichtspunkten Energieeffizienz, Ressourcenschonung und Klimaschutz optimale Mix zwischen Wärme und Strom, ungünstig entwickelt. Erst seit der Novellierung des EEG im Jahr 2012 ist bei der Nutzung mit Biogas betriebener BHKW eine Nutzung von mindestens 60 Prozent der Abwärme verpflichtend, um die volle EEG-Förderung zu erhalten. Mit diesem Passus scheint die Wärme mit der Elektroenergie auf nahezu dieselbe Stufe gestellt zu sein. Jedoch wurde ergänzend die Nachverstromung der Abwärme auf die Positivliste der Möglichkeiten gesetzt, die es einem Betreiber ermöglichen, die obengenannte Nutzung von 60 Prozent der Abwärme zu erreichen. Dazu werden anerkannte Verfahren genannt, zum Beispiel das ORC-Verfahren (Organic Rankine Cycle-Verfahren zur Stromerzeugung bei kleinen Temperaturunterschieden). Aufgrund des geringen Wirkungsgrades dieses Verfahrens und der relativ großen Anschaffungskosten der Anlagen ist die Durchsetzungsfähigkeit dieser Technologie am Markt ohne Förderung jedoch fraglich. Außerdem würde sich der Gesamtwirkungsgrad eines Biogas-BHKW von etwa 35 Prozent bei reiner Stromerzeugung auf lediglich etwa 45 Prozent bei dieser Art von Betrieb erhöhen – nicht auf 90 Prozent, die bei bestmöglicher Verwen-

<sup>34</sup> KWKG 2002.

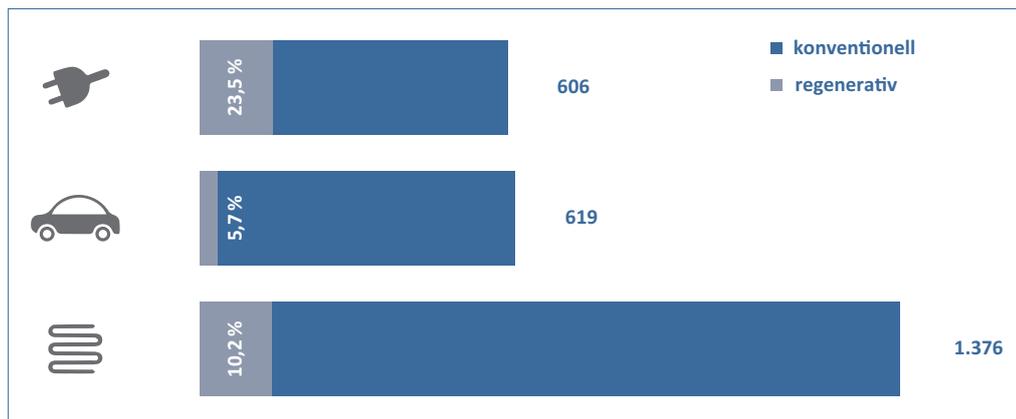


Abbildung 6: Anteile der erneuerbaren Energien an der Bereitstellung der verschiedenen Endenergieformen (Strom, Transport, Wärme) 2012 in Terrawattstunden.<sup>35</sup>

derung der entstehenden Wärme erreicht werden könnten. Durch die genannte Novellierung wurde also die Vorrangigkeit des Stroms nicht hinreichend reduziert und damit den Zielen Ressourcenschonung und Klimaschutz nicht in sinnvoller Weise Rechnung getragen. Fazit: Auch die Kombination aus den Maßnahme-Paketen EEG und KWKG priorisiert eine Maßnahme, nämlich den Ausbau des Stroms aus erneuerbaren Quellen (mit Erfolg: siehe Abbildung 6), und nicht die Ziele Klimaschutz und Ressourcenschonung, weil das CO<sub>2</sub>-Senkungspotenzial des Biogases nicht genügend ausgeschöpft wird.

Aus Abbildung 6 lässt sich auch entnehmen, dass der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung inzwischen erfreulich hoch, bei der Wärmeerzeugung und bei der Mobilität jedoch noch sehr ausbaufähig ist. Diese Aussage wird durch den Entwicklungstrend der letzten Jahre noch unterstrichen: Während der Anteil erneuerbarer Energien beim Strom steil ansteigt, ist er bei der Mobilität eher rückläufig und bei der Wärmebereitstellung schwach ansteigend auf niedrigem Niveau. In Anbetracht dieser Entwicklung stellt sich die Frage, ob man mit den jährlichen Kosten infolge des EEG von derzeit 24 Milliarden Euro, die im Wesentlichen zur Subventionierung des Stroms aus er-

neuerbaren Energien aufgewendet werden, am Wärmemarkt nicht eine wesentlich größere Hebelwirkung bezüglich der CO<sub>2</sub>-Reduzierung erzielen könnte. Wie aus Abbildung 7 ersichtlich, könnten über die Sanierung von Gebäuden auf dem zurzeit technologisch möglichen Stand alle Wohnhäuser, welche vor 1978 gebaut wurden, 60 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Jahr einsparen.

#### 4.1.3 Das aktuelle Priorisierungsschema aufgrund gesetzlicher Maßnahmen

Aus den obigen Ausführungen lässt sich der Schluss ziehen, dass sich mit der Einführung des EEG, des KWKG und der damit gekoppelten zusätzlichen Maßnahmen de facto ein Priorisierungsschema entwickelt hat, dessen Rangfolge sich derzeit so darstellt:

1. Ausbau der erneuerbaren Energien und Ausbau von KWK (ohne ausreichende Berücksichtigung von Grundlastfähigkeit, Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Klimaschutz)
2. Versorgungssicherheit
3. Wirtschaftlichkeit/Bezahlbarkeit
4. Klimaschutz

Hierbei ist offensichtlich eine Vermischung von Zielen (2. bis 4.) und Maßnahmen (1.) in Kauf genommen worden, da der derzeitige Maßnahmenkatalog und seine Auswirkungen den Schluss nahe-

<sup>35</sup> FfE 2014.

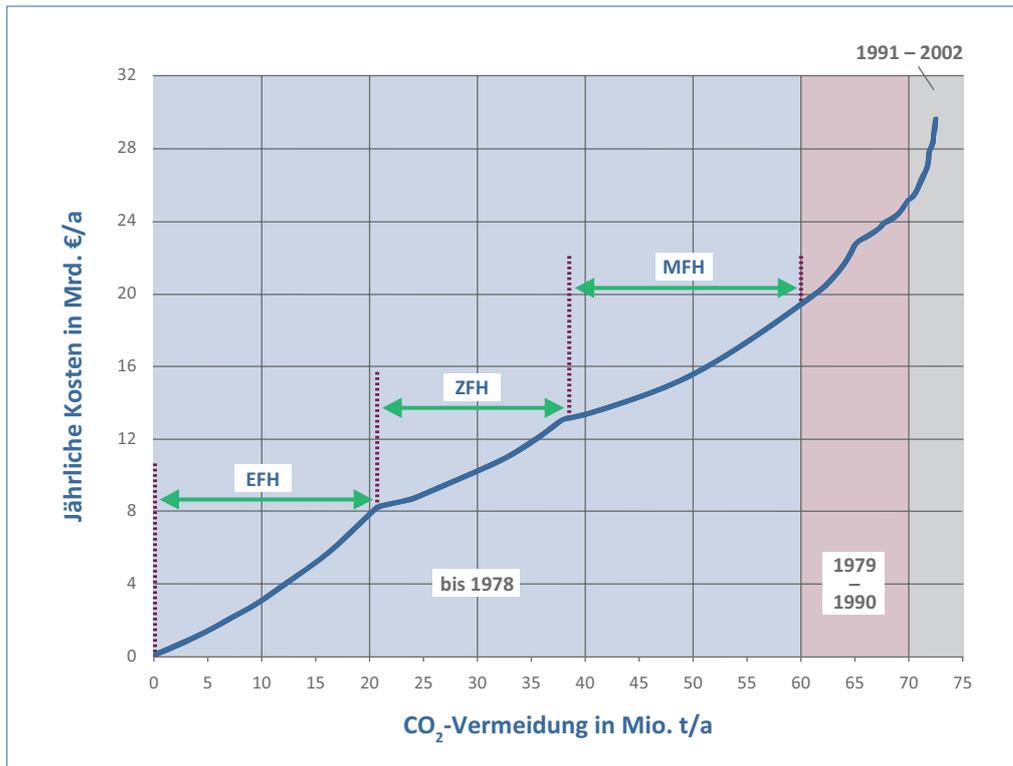


Abbildung 7: Kosten durch Sanierungsmaßnahmen für die Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen sortiert nach Baujahren der Gebäude und Gebäudetypen. EFH: Einfamilienhaus, ZFH Zweifamilienhaus, MFH: Mehrfamilienhaus.<sup>36</sup>

legen, dass sich die genannten Maßnahmen zum Selbstzweck also zu Zielen entwickelt haben, die mit den anderen Zielen in Konkurrenz stehen (vergleiche Beispiel in Kapitel 4.1.2). Mit dieser Darstellung wird zugleich nahegelegt, eine stärkere Trennung der Ziele und Maßnahmen vorzunehmen und die Maßnahmen darauf hin zu optimieren, dass sie den eigentlichen Zielen in bestmöglicher Weise dienen.

Als Fazit unserer Analyse der Defacto-Priorisierung, die sich aufgrund des Maßnahmenkatalogs a posteriori ergibt, kommen wir zu dem Schluss, dass die Maßnahme „Ausbau der erneuerbaren Energien“, vor allem der stromerzeugenden erneuerbaren Energien, quasi zum Ziel geworden ist und höchste Priorität genießt, während das von vielen Energie- und Klimafachleuten sowie von Verantwortungsträgern und Bürgern häufig als oberstes Ziel propagierte Klimaschutzziel mittlerweile die letzte Prioritätsstufe ein-

nimmt. Das mag als Übergangszustand durchaus gewollt und zielführend oder zumindest nicht zu vermeiden sein, müsste aber entsprechend kommuniziert werden. Damit ließe sich die öffentliche Reaktion auf den jüngsten und auch in den nächsten Jahren zu erwartenden Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen (siehe Abbildung 5) besser in den Griff bekommen.

#### 4.2 Mögliche Priorisierungsschemata<sup>37</sup> mit Zielen aus dem Zieldreieck

Wie in Abschnitt 4.1 gezeigt, lässt sich der Anspruch der Bundesregierung (laut Koalitionsvertrag), im Prozess der Energiewende Klimaschutz, Versorgungssicherheit und Bezahlbarkeit gleichrangig behandeln zu wollen, bisher nicht mit der Wirk-

<sup>37</sup> Priorisierungsschemata sind Ordnungsgefüge, die eine jeweils festgelegte Zielarchitektur oder Zielhierarchie darstellen. Diese konkreten Zielarchitekturen implizieren spezifische Wirkungsgefüge mit entsprechenden Abhängigkeiten und Beeinflussungen der Ziele untereinander, welche sowohl positiv als auch negativ sein können.

lichkeit der Energiewende vereinbaren. Eine Priorisierung der Ziele mit einem darauf abgestellten Maßnahmenkatalog wird deshalb nachdrücklich empfohlen. Damit könnte die Glaubwürdigkeit und Akzeptanz der Energiewende auch über einen längeren Zeitraum hinweg erhöht werden.

Im Folgenden werden einige Schemata der Priorisierung näher erläutert. Nach diesen Beispielen werden mögliche Übergänge zwischen einzelnen Schemata mit ihren Implikationen für die aus einem konkreten Schema abgeleiteten Maßnahmen diskutiert.

#### 4.2.1 Klimaschutz hat oberste Priorität

##### ***Konsequenzen für Unterziele und Ordnungspolitik***

Ein wichtiger Auslöser für die Einleitung der Energiewende waren die bedrohlichen Analysen der Klimaforscher, die in den Prognosen und Mahnungen des IPCC hinsichtlich des Klimawandels gipfelten und in den jüngsten Veröffentlichungen des IPCC nochmals bestätigt und unterstrichen werden. Diese Prognosen werden durch fast alle jüngsten Befunde erhärtet, auch wenn längst nicht alle Klimafragen eindeutig geklärt und unstrittig beantwortet sind. Der Weg in ein alternatives Energiesystem ist deshalb unvermindert wichtig und wird durch den deutschen Ausstiegsbeschluss aus der Kernenergie und die langfristig politisch ungewollte Abhängigkeit vom Import fossiler Ressourcen noch verstärkt. Die Vorrangigkeit des Klimaschutzes sollte also auch in Zukunft ein politisches Hauptziel sein, zumindest mittel- und langfristig. Weder das Argument des vergleichsweise kleinen deutschen Beitrags von etwa drei Prozent zu den globalen Treibhausgas-Emissionen noch das Argument der potenziell hohen Kosten der Transformation des Energiesystems befreien uns von unserer Verantwortung für die Zukunft des Weltklimas und die Verfügbarkeit lebenswichtiger Ressourcen für nachfolgende Generationen.

Die Frage nach dem besten Weg für die Begrenzung beziehungsweise Reduktion der Treibhausgas-Emissionen ist allerdings noch keineswegs beantwortet. Der forcierte Ausbau der erneuerbaren Energien leistet langfristig sicher einen sehr wichtigen Beitrag zum Klimaschutz, kurzfristig ist die Fokussierung auf den schnellen Ausbau durch das EEG jedoch problematisch, weil zum Beispiel der CO<sub>2</sub>-Ausstoß in den vergangenen Jahren wieder angestiegen ist, wie in Kapitel 4.1 erläutert.

Im Zusammenhang mit der Einräumung höchster Priorität für den Klimaschutz stellen sich generell folgende Hauptfragen:

1. Was können wir tun, um die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe drastisch zu reduzieren?
2. Wie lassen sich die Emissionen von Treibhausgasen jenseits des CO<sub>2</sub> senken?
3. Welche anderen Maßnahmen können den Anstieg der globalen Temperatur dämpfen?
4. Wie können wir andere Länder zu klimaschützenden Maßnahmen animieren?

Die Beantwortung der Fragen 2 bis 4 ist nicht Thema dieses Papiers, deshalb nur wenige kurze Bemerkungen dazu:

**Ad 2:** Zum einen wird dem globalen Anstieg der Emissionen stark klimaschädlicher Treibhausgase wie zum Beispiel Methan (CH<sub>4</sub>) oder Lachgas (N<sub>2</sub>O) derzeit zu wenig internationale Aufmerksamkeit gewidmet. Zum anderen sind beispielsweise die Abholzung von Wäldern und die intensive Bodennutzung Themen, die in komplexen Wirkzusammenhängen mit Bevölkerungswachstum, Welternährung und wirtschaftlichem Aufschwung stehen. Die potenziellen Entwicklungen solcher klimaschädlichen Einflüsse sollten in Relation zur Energiethematik gesetzt werden.

**Ad 3:** International diskutierte potenzielle Maßnahmen wie „Climate Engineering“ oder „Geo Engineering“ sollten wegen ihrer unbekanntem Wirksamkeiten und möglichen negativen Auswirkungen zunächst besser verstanden werden, ehe über ihren Einsatz entschieden wird. Gerade mithilfe von Deutschland sollte die Option näher erforscht werden, denn politisch Einfluss nehmen können wir nur, wenn wir über hinreichende Informationen verfügen und fachlich ernst genommen werden.

**Ad 4:** Neben entsprechenden diplomatischen Bemühungen kann ein erfolgreiches Beispiel mit nachweislichem Erfolg ein wichtiges Argument für die Einführung von Klimaschutzmaßnahmen liefern (Vorreiterfunktion). Der Erfolg bemisst sich aber nicht nur an der Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes, sondern zunehmend auch an Kostenfragen inklusive Investitionen, Versorgungssicherheit und Akzeptanz.

**Ad 1:** Die zentrale Klimaschutzfrage bezüglich der Reduktion der Verbrennung fossiler Rohstoffe lässt sich in die drei Sektoren des Energieverbrauchs untergliedern:

- Wärme und Kälte mit gut 50 Prozent des Primärenergieverbrauchs (PEV),
- Verkehr beziehungsweise Mobilität mit 25 Prozent des PEV,
- Stromerzeugung mit knapp 25 Prozent des PEV.

Auch wenn sich die öffentliche Energiedebatte vornehmlich mit dem Thema Strom beschäftigt, liegt das mit Abstand größte Klimaschutzpotenzial im Sektor Wärme und Kälte. Schreibt man also Klimaschutz ganz groß, so muss der PEV aus fossilen Ressourcen gesenkt werden. Die Vielfalt potenzieller Maßnahmen ist groß und zu einem nicht unerheblichen Teil mit vergleichsweise geringen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten verbunden. Zur Senkung des Verbrauchs kohlenstoffreicher fossiler

Energieträger für die Bereitstellung von Wärme kommen verschiedene Maßnahmen in Betracht:

- Ausbau alternativer (erneuerbarer) Wege zur Bereitstellung von Wärme (zum Beispiel tiefe oder flache Geothermie, Solarthermie).
- Steigerung der Effizienz des Einsatzes fossiler Ressourcen (Stichwort: bessere Nutzung der KWK).
- Stärkere Optimierung industrieller Prozesse mit hohem Wärme- oder Kälteeinsatz hinsichtlich ihrer thermischen Rahmenbedingungen (zum Beispiel Nutzung der Abwärme, kleinere Volumina bei großtechnischen Prozessen, Einsatz neuer energiesparender Verfahren).
- Verschiedene Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung beim Verbraucherverhalten durch geeignete Anreize in Bezug auf Reduktion von Wärme- oder Kälteverbrauch (zum Beispiel Wärmedämmung, Niedrigenergiehaus).

Eine weitere, in zukünftige Gesetzesnovellierungen einzubeziehende Maßnahme zum Klimaschutz betrifft die Verwendung des „überschüssigen“ Stroms aus erneuerbaren Energien. Bevor das Überangebot an Strom aus erneuerbaren Energien zu bestimmten Tageszeiten (zum Beispiel mittags) aufgrund von fehlenden Stromtrassen abgeschaltet oder auf dem Spotmarkt zu negativen Strompreisen „verkauft“ wird und bevor man Power-to-Gas mit sehr niedriger Effektivität für die Verstromung speichert, sollte auf jeden Fall der Weg Power-to-Heat analysiert und bezüglich aller Gesichtspunkte optimiert werden. Dieser Weg erscheint auch vor dem Ziel, 60 Prozent des PEV einschließlich des Wärme- und Mobilitätssektors durch erneuerbare Energien zu bestreiten, derzeit eine hervorragende und sehr effiziente Möglichkeit im Sinne des Klimaschutzes zu sein, weil fossile Verbrennung eingespart werden kann. Wenn zukünftig der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung wei-

ter zunimmt, wird dieser Weg möglicherweise immer wichtiger. Langfristig ist eine Konvergenz zwischen dem Wärme- und Strommarkt anzustreben. Am Beispiel Gebäudeenergieversorgung lässt sich gut zeigen, dass die Zunahme der Stromnutzung den PEV insgesamt stark verringert: In der Regel elektrisch betriebene Lüftungsanlagen senken den Wärmebedarf deutlich. Des Weiteren lässt sich Wärme aus „Überschussstrommengen“ leicht dezentral am Ort der späteren Nutzung speichern.

Im Sektor Verkehr beziehungsweise Mobilität ist das theoretische Einsparpotenzial von fossilen Brennstoffen zwar geringer als im Sektor Wärme/Kälte, aber dennoch unter Klimaschutzzielen von hoher Bedeutung. Eine weitere Untergliederung des Verkehrsbereichs in Wasser, Luft, Schiene und Straße, letztere noch unterteilt in Last- und Individualverkehr, ergibt unterschiedliche Perspektiven. Während sich im Verkehrsbereich Wasser an der Verwendung von Schweröl und Diesel hinsichtlich der Klimaschutzziele kurzfristig mengenmäßig wenig ändern lässt, ist im Verkehrsbereich Luft der Ersatz des Kerosins aus Erdöl durch synthetisches Kerosin aus Biomasse zweiter beziehungsweise dritter Generation (Restbiomasse) eine realistische und sinnvolle Erneuerbaren-Alternative. Sofern die derzeitigen technischen Entwicklungen zu kostengünstigen Lösungen führen, könnte die Biomasse zweiter Generation im Luftverkehr als erneuerbare Energie signifikant zum Klimaschutz beitragen. Im Schienenverkehr kann der Energiebedarf (in Deutschland vorwiegend Strom) bereits mittelfristig überwiegend aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. Im Straßenverkehr ist mittel- bis langfristig ebenfalls ein hoher Anteil an erneuerbaren Energien denkbar, wenn die flächendeckende Einführung der Elektromobilität gelingt. Eine Analyse von Effizienz, Kosten und Akzeptanz ergibt, dass die Einführung der Elektromobilität am ehesten im Bereich Personen- und Lasttransport in Ballungszentren, dann

im Bereich PKW in Ballungszentren und schließlich als Hybridfahrzeuge für Dienstfahrzeuge und Zweitwagen gelingen sollte, während der LKW-Transport und PKW-Fahrten über größere Distanzen noch länger mithilfe von flüssigen Treibstoffen erfolgen werden. Auch hier könnten maßgeschneiderte synthetische Kraftstoffe aus Biomasse zweiter Generation eine wichtige Rolle spielen, jedoch ist die Restbiomasse in ihrer Menge ziemlich limitiert, sodass man den Einspareffekt fossiler Brennstoffe nur begrenzt steigern kann. Mit geeigneten Pflanzen könnten des Weiteren die Biotreibstoffproduktion auf derzeit nicht nutzbaren Brachflächen oder der Einsatz von Algen zusätzliche Optionen erschließen. In beiden Fällen besteht jedoch noch erheblicher Forschungsbedarf.

Zum Sektor Stromerzeugung ist bereits in Kapitel 4.1 einiges gesagt worden. Auch wenn der prioritäre Ausbau der erneuerbaren Energien, vor allem von Windkraft und Photovoltaik, kurzfristig eher unzureichend zum Klimaschutz beiträgt, ist der Umstieg auf erneuerbare Energien langfristig die einzige Möglichkeit, den Klimaschutzzielen zumindest nahezukommen. Die Hauptfrage in Hinsicht auf die Klimaschutzziele lautet deshalb, inwiefern der ordnungspolitische Rahmen (zum Beispiel EEG und KWKG) derzeit noch zielführend ist und ob Veränderungen der Gesetze oder ein anderes Anreizsystem (zum Beispiel Konzentration auf das EU ETS) bessere und flexiblere Lösungen zulassen. Nach den obigen Ausführungen erscheint eine grundlegende Novellierung des EEG als Minimal- beziehungsweise Übergangslösung mindestens erforderlich. Eine größere Verbesserung scheint einigen Fachleuten zufolge nur mit einem entsprechend modifizierten EU ETS unter Wegfall des EEG möglich zu sein, womit auch die unglückliche Konkurrenzsituation zwischen den beiden Systemen EEG und EU ETS aufgelöst würde und der Preis der Emissionszertifikate wieder die tatsächlichen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Energiesektor

reflektieren würde.<sup>38</sup> Die längst fällige Novellierung des ordnungspolitischen Rahmens müsste in jedem Fall die Optimierung des gesamten Energiesystems und den Klimaschutz in den Fokus nehmen.

Schließlich muss darauf hingewiesen werden, dass bei einer prioritären Behandlung des Klimaschutzes die Möglichkeiten von Carbon Capture and Storage (CCS) und Carbon Capture and Re-Use (CCR) ernst genommen und weiterentwickelt werden müssen. Sollte die anthropogen verursachte globale Temperaturerhöhung den pessimistischen Einschätzungen vieler Fachleute folgen, so werden sehr schnell Alternativszenarien wie CCS und CCR in Betracht gezogen werden müssen, auch wenn dies die Systemkosten weiter nach oben treibt und Verwerfungen beim Einsatz fossiler Energieträger nach sich ziehen sollte. Beim großtechnischen Einsatz von CCS gilt es auch, frühzeitig und umfassend zu informieren und Befürchtungen anhand einer umwelt- und sicherheitsoptimierenden Auslegung entgegenzutreten. Durch eine frühzeitige und forcierte Forschung und Entwicklung sollten wir zum Zeitpunkt der Suche nach Auswegen entscheidungsfähig und handlungsbereit sein.

Wenn man den Klimaschutz an die erste Stelle der Prioritätenskala setzt, bleiben zwei Möglichkeiten für die Reihenfolge der beiden anderen Komponenten des Zieldreiecks, Versorgungssicherheit vor Wirtschaftlichkeit (Alternative 1) oder Wirtschaftlichkeit vor Versorgungssicherheit (Alternative 2).

**Alternative 1: Versorgungssicherheit hat höhere Priorität als Wirtschaftlichkeit**

Betrachten wir zunächst den langfristigen Aspekt der Versorgungszuverlässigkeit. Bei den fossilen Rohstoffen sind wir mit Ausnahme von Braunkohle auf Importe angewiesen. Während das bei Steinkohle

aufgrund der relativen Zuverlässigkeit der exportierenden Staaten auch mittel- und langfristig unproblematisch erscheint, stellt sich die Situation bei Erdöl und Erdgas, die wir auch als Rohstoffe in der chemischen Industrie benötigen, weitaus ungünstiger dar. Da die konventionellen europäischen Öl- und Gasquellen in relativ kurzer Zeit versiegen werden, sind wir vor allem in Deutschland zunehmend auf potenzielle Krisenregionen (Naher Osten) und politisch unberechenbare Machtzentren (GUS) angewiesen. Wie bereits in Kapitel 2 ausgeführt, erscheint dabei das Problem auf dem globalen Ölmarkt aufgrund der gestiegenen Diversifizierung im Vergleich zur Versorgung mit Gas weniger akut. Zur Diversifizierung der Erdgas-Lieferländer wäre daher auf jeden Fall die Errichtung einer leistungsfähigen Infrastruktur zur Anlandung von LNG vorteilhaft. Aus Sicht der Versorgungszuverlässigkeit wäre des Weiteren eine möglichst zügige Substitution von Erdöl und Erdgas durch erneuerbare Energien sehr wünschenswert; dies ist aufgrund des auch in Zukunft beträchtlichen Energiebedarfs im Wärme- und Mobilitätssektor und der beschränkten Verfügbarkeit von Biomasse jedoch sehr wahrscheinlich nicht ausreichend. Ein Ausbau der E-Mobilität und Energiewandlungstechniken wie Power-to-Heat beziehungsweise Power-to-Product könnten hier zumindest mittelfristig hilfreich sein.

Der zweite wichtige Aspekt der Versorgungssicherheit, die Verfügbarkeit, betrifft vor allem die Stromversorgung. In der Vergangenheit beschränkte sich die Zahl der jährlichen Redispatch-Eingriffe der Netzbetreiber auf zehn, heute liegt diese Zahl bei weit über 1000. Vor allem die Volatilität der erneuerbaren Energien Windkraft und Photovoltaik sowie die Prognoseunsicherheit von Wind- und Sonneneinstrahlung machen den Energieversorgern und Netzbetreibern zunehmend zu schaffen. Hinzu kommen drastische Verschiebungen der regionalen Einspeisemengen mit einem Windenergieüberschuss im vergleichsweise industrie-

<sup>38</sup> acatech et al. 2015.

armen Norden und einem zunehmenden Bedarf aufgrund wegfallender Grundlastversorgung im industriereichen Süden. Ohne auf die zahlreichen Teilaspekte dieser Veränderungen eingehen zu können, kann summarisch festgehalten werden, dass zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit/Verfügbarkeit im Stromsektor massive Investitionen erforderlich sind. Darunter fallen unter anderem:

- Ausbau der Hochspannungsnetze vor allem in Nord-Süd Richtung,
- Nachrüstung der Verteilnetze, die ihren Charakter verändern werden (zunehmende Einspeisung, Smart-Grid-Umbau, IKT-Kopplung),
- Aufbau und Integration von Stromspeichern zur Flexibilisierung der Stromversorgung und Glättung von Nachfrage- und Angebotsspitzen auf allen Zeitskalen (Sekunden, Stunden, Tage und Monate),
- Aufbau und Weiterentwicklung von Ersatzkraftwerken zur Vorhaltung von

ausreichender Leistung zu jedem Zeitpunkt des Jahres sowie

- verbesserte Integration in ein weiterentwickeltes europäisches Verbundsystem.

Bei dieser Prioritätsreihenfolge ist bislang wenig auf die Kosten, zum Beispiel die Entwicklung der Strompreise, Rücksicht genommen worden, da diese in diesem Unterkapitel als nachrangig betrachtet werden. Selbstverständlich wird man bezüglich der Kosten darauf achten müssen, dass die Versorgungssicherheit zwar ihren Preis hat, aber den vermutlich noch akzeptierbaren (erweiterten) Rahmen nicht sprengt. Konkret bedeutet das, dass Speicher oder neue Ersatzkraftwerke finanziert und unter vermutlich unrentablen Bedingungen vorgehalten werden müssen. Unter Klimaschutzgesichtspunkten sollten Ersatzkraftwerke vornehmlich Gaskraftwerke sein, die jedoch unter den derzeitigen Bedingungen auf der „Figure-of-Merit“-Skala am wenigsten rentabel erscheinen, also subventioniert werden müssten.

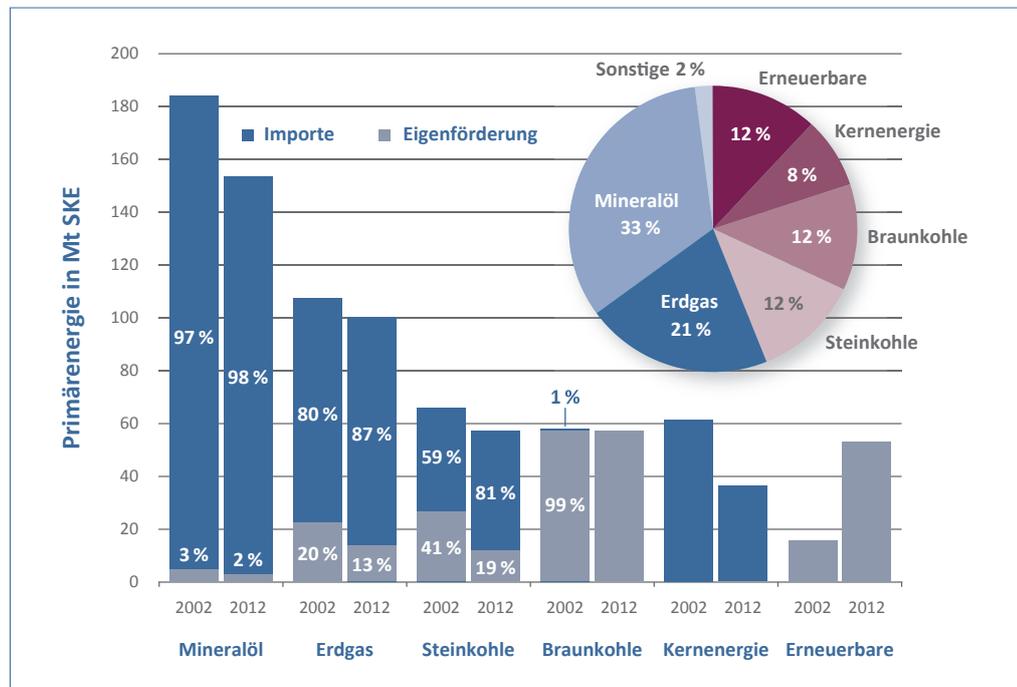


Abbildung 8: Vergleich des Einsatzes der Primärenergieträger und des Verhältnisses der Eigenversorgung und des Importanteils 2002 und 2012 für Deutschland sowie die relativen Anteile für 2012 (siehe Tortendiagramm).<sup>39</sup>

39 BGR 2013, S.15.

**Alternative 2: Wirtschaftlichkeit hat höhere Priorität als Versorgungssicherheit**

Bei einer solchen Prioritätenreihung muss grundsätzlich beachtet werden, dass Abstriche bei der Versorgungssicherheit auch die Wirtschaftlichkeit erheblich negativ beeinflussen können und schon aus diesem Grunde nur sehr eingeschränkt sinnvoll erscheinen. Insofern wird eine Priorisierung der Wirtschaftlichkeit nicht zu größeren Einbußen in der Versorgungssicherheit führen dürfen.

Grundsätzlich impliziert Wirtschaftlichkeit unter dem Primat des Klimaschutzes, dass die zu erreichenden CO<sub>2</sub>-Minderungsziele kosteneffizient, das heißt zu geringstmöglichen volkswirtschaftlichen Kosten, realisiert werden. Dies impliziert, dass CO<sub>2</sub>-Emissionen dort reduziert werden, wo dies am kostengünstigsten möglich ist – dies kann, muss aber nicht im Energiesektor der Fall sein. Eine Fokussierung auf spezielle Technologien und Sektoren kann entsprechend zu überhöhten Kosten führen. Bei Emissionsreduktionen im Energiesektor ist zudem zu berücksichtigen, dass dieser bereits durch das europäische CO<sub>2</sub>-Emissionshandelssystem erfasst wird, das die Gesamtmenge an Emissionen über die einbezogenen Wirtschaftsbereiche hinweg deckelt. Emissionsreduktionen in diesen Bereichen werden entsprechend durch steigende Emissionen in anderen Sektoren und Ländern kompensiert, so dass der Nettoeffekt auf die europäischen Emissionen zunächst gleich Null ist. Die sinkende Nachfrage nach Emissionszertifikaten senkt zudem die Preise, wovon CO<sub>2</sub>-intensive Unternehmen naturgemäß am meisten profitieren. Anreize, in alternative emissionsreduzierende Technologien zu investieren, werden zunehmend wirkungslos. Nationale Alleingänge bei Fördergesetzen reduzieren darüber hinaus die Anreize in den anderen Staaten der EU, in den Ausbau erneuerbarer Energien zu investieren. Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit ist eine spezielle Förderung der erneuerbaren Energien zudem unnötig,

da durch das EU-Emissionshandelssystem (EU ETS) automatisch diejenigen Technologien vorzugsweise eingesetzt werden, die Emissionen kostengünstig reduzieren.<sup>40</sup> Die Argumentation, dass die Unterstützung erneuerbarer Energien zu verstärkten Innovationen und damit zukünftigen Kostensenkungen führt, ist ebenfalls mit Vorsicht zu genießen. Zum einen gilt dieses Argument ebenso für andere Technologien und würde damit eher eine Stärkung der Forschungsförderung auf breiter Front rechtfertigen; zum anderen sind die Innovationswirkungen der heutigen Fördersysteme durchaus umstritten.<sup>41, 42</sup>

Wie sich das Streben nach Wirtschaftlichkeit beim Primat der Emissionsvermeidung auswirkt, hängt in hohem Maße davon ab, welche Emissionsreduktionstechnologien am kostengünstigsten sind. Dabei sind verschiedene Szenarien denkbar:

1. Fossile Energieträger bleiben trotz Internalisierung der Umweltschäden zumindest kurz- und mittelfristig günstiger als erneuerbare Energien, gegebenenfalls durch Implementierung der CCS-Technologie.
2. Bei Internalisierung der Umweltkosten sind erneuerbare Energien weniger kostenintensiv als Kohle, Gas oder Erdöl.
3. Einsparungen an CO<sub>2</sub>-Emissionen sind kostengünstig durch die Reduktion des Energieverbrauches realisierbar.<sup>43</sup>

Zu erwarten ist, dass eine wirtschaftliche Emissionsminderung einen Technologiemix impliziert, der sowohl erneuerbare Energien als auch Energie-

<sup>40</sup> acatech et al. 2015.

<sup>41</sup> Peters et al. 2011; EFI 2014.

<sup>42</sup> Für eine ausführliche Diskussion dieser Problematik sei auf acatech et al. 2015 verwiesen.

<sup>43</sup> Beim Vergleich der verschiedenen Technologien müssen die Kosten umfassend berücksichtigt werden. So greift die Betrachtung der sogenannten Stromgestehungskosten im Falle erneuerbarer Energien zu kurz. Induzierte Systemkosten durch den notwendigen Ausbau von Übertragungs- und Verteilnetzen müssen ebenso wie die Kosten für Reservekraftwerke oder Speicher berücksichtigt werden.

effizienzsteigerungen beinhaltet. Ebenso zu erwarten ist, dass sich die kostenmäßige Reihung der verschiedenen Technologien über die Zeit ändert und – zumindest im Strombereich – erneuerbare Energien mittel- oder langfristig günstiger werden als fossile Energieproduktion. Betrachten wir die Szenarien hintereinander:

**Szenario 1:** Erweist sich der Einsatz fossiler Energieträger trotz Einpreisung lokaler wie globaler Umweltschäden zumindest kurzfristig als günstiger als der Einsatz erneuerbarer Energien und/oder die Steigerung der Energieeffizienz, so würde aus dem Primat des Klimaschutzes folgen, dass unabhängig von der Wirtschaftlichkeit trotzdem eine Emissionsreduktion angestrebt werden muss. Einen Ausweg könnte hier eine Verlagerung der Emissionsreduktion ins Ausland darstellen. So wäre es bei Existenz einer internationalen, idealerweise über die Grenzen der EU hinausreichenden Handelsplattform für Emissionsrechte möglich, höhere deutsche Emissionen durch günstige Emissionsminderungspotenziale in anderen Ländern zu kompensieren, zum Beispiel durch den Ausbau von Solarenergie an sonnenreichen Standorten. Sieht man zunächst von der Möglichkeit internationaler Reallokation der Emissionen ab, so sind bei Primat des Klimaschutzziels der Ausbau erneuerbarer Energien und/oder Steigerungen der Energieeffizienz unumgänglich.

Ein Konflikt kann sich hinsichtlich der Priorisierung innerhalb des fossilen Kraftwerksparks ergeben. Aufgrund von Klimaschutzargumenten sollten prioritär Gasturbinen-Kraftwerke beziehungsweise aufgrund des deutlich höheren Wirkungsgrades am besten Gasturbinen in Kombination mit Dampfturbinen (GuD-Kraftwerke) zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Aus Wirtschaftlichkeitsperspektive sind Gasturbinen jedoch wegen der höheren Betriebs- und Rohstoffkosten und der zurzeit geringen CO<sub>2</sub>-Preise deutlich ungünstiger als Steinkohle- und noch

ungünstiger als Braunkohlekraftwerke, die zudem weit weniger gut regelbar sind und unter Teillast ineffizient arbeiten. Klima- und Wirtschaftlichkeitsargumente stehen damit bei den gegenwärtigen CO<sub>2</sub>-Preisen diametral gegeneinander. Sofern der Klimaschutz höhere Priorität als die Wirtschaftlichkeit besitzt, müsste der Ausbau und Betrieb von Gaskraftwerken aber trotz der höheren Kosten durch geeignete Marktinstrumente wie zum Beispiel politisch gesetzte Mindestpreise für CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate forciert werden. Das gilt allerdings nur, solange man den bezüglich der Gasversorgung kritischen Aspekt der Versorgungszuverlässigkeit nachrangig ansetzt. Eine Reduktion dieses Risikos wäre allerdings durch eine stärkere Diversifizierung in Bezug auf die Herkunftsländer möglich. Aus technischer Sicht erlaubt die regelbare Stromproduktion aus fossilen Energieträgern die Beibehaltung des traditionell hohen Niveaus an Versorgungssicherheit in Deutschland.

**Szenario 2:** Der Einsatz erneuerbarer Energien wie Sonne und Wind generiert an sich zwar geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen, führt aber – zumindest im derzeitigen Energie- und Regulierungssystem – zu den bereits beschriebenen Problemen eines zumindest kurzfristigen Anstiegs der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Auch gefährdet der Einsatz von Sonnen- und Windenergie die Versorgungssicherheit, wenn die Netzinfrastruktur nicht entsprechend ausgebaut wird und die Stromnachfrage nicht ausreichend flexibel auf Einspeiseschwankungen reagiert. Der Einsatz von Speichern, Demand Side Management und die stärkere Integration der europäischen Strommärkte können diese Gefahr zwar eindämmen, sind aber wiederum mit Kosten verbunden, welche die Wirtschaftlichkeit mindern. Müssen in wind- und sonnenarmen Zeiten fossile Kraftwerke zur Energieerzeugung eingesetzt werden, so würde der Einsatz von Braunkohlekraftwerken wiederum die geringste Importabhängigkeit, aber auch die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissi-

onen bedeuten (siehe auch Kapitel 4.1.1). Emissionsärmere Gasturbinen-Kraftwerke können zwar sehr schnell hochgefahren werden und eignen sich daher besonders gut als Ersatzkraftwerke in sonnen- oder windarmen Zeiten, sind jedoch mit höheren Produktionskosten verbunden und erhöhen die Importabhängigkeit. Der Einsatz von regelbarer Bioenergie als Reserveenergie im Strombereich ist bei Bioenergie der ersten Generation aufgrund der „Teller-Tank-Problematik“ sowie anbau- und transportbedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen kritisch zu betrachten. Auch die Frage nach der jeweils effizientesten Verwendung der verfügbaren Bioenergie (im Strombereich, Wärme-/Kälte-Sektor oder gegebenenfalls Mobilitätssektor) sollte unter Berücksichtigung der jeweils verfügbaren Alternativen und deren Kosten diskutiert werden.

Die Wirtschaftlichkeit beziehungsweise Bezahlbarkeit der erneuerbaren Energien hängt zudem in hohem Maße von den regulatorischen Rahmenbedingungen und dem Grad ihrer Marktintegration ab. Wenn man Wirtschaftlichkeitsaspekte ernst nimmt, wird man beispielsweise über Möglichkeiten nachdenken müssen, negative Strompreise zu vermeiden. Negative Strompreise waren zwar in der Vergangenheit als Reaktion des Marktes auf kurzzeitiges Stromüberangebot bei geringer Nachfrage auch aufgetreten, aber Zahl und Höhe der negativen sogenannten Stundenprodukte nimmt mit dem Ausbau von Stromquellen aus erneuerbaren Energien stark zu. Das grundsätzliche Problem besteht hier in der anreizinkompatiblen Wirkung der Einspeisevergütungen, die ein Abschalten der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien aus Eigentümersicht unattraktiv machen. Diese Problematik lässt sich nur durch eine stärkere Marktintegration der erneuerbaren Energien verhindern, die es auch aus Eigentümersicht sinnvoll macht, die Anlagen bei drohenden negativen Preisen abzuschalten, bis die Bilanz von Angebot und Nachfrage wieder positive Preise ermöglicht.

Abhilfe könnten prinzipiell Stromspeicher schaffen, da sie ein Überangebot an Strom wegpuffern und bei steigendem Bedarf (und Preis) wieder einspeisen könnten. Jedoch muss gerade aus Rentabilitätsgründen gut überlegt werden, ob neue Speicher zur Kostendämpfung beitragen können, da sich die Investitions- und Betriebskosten von Stromspeichern nur dann amortisieren, wenn die Häufigkeit der Speicherinanspruchnahme und die Differenzen der Marktpreise ausreichend hoch sind – was derzeit nicht einmal bei den günstigsten Speichern, den Wasser-Pumpspeichern, der Fall ist. Andere Stromspeicher, wie adiabatische Druckspeicher oder Batteriespeicher, liegen derzeit weit unterhalb der Amortisationsschwelle.

**Szenario 3:** Reduktionen im Energieverbrauch wirken sich auch bei gleichbleibendem Energiemix mindernd auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen und die Abhängigkeit von Importen fossiler Energieträger aus, während die technische Dimension der Versorgungssicherheit von der Reduktion der Nachfrage weitgehend unbeeinflusst bleibt. Gefährdungen der Versorgungssicherheit, wie sie Szenario 1 und 2 nach sich ziehen, treten entsprechend nicht auf.

#### 4.2.2 Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit haben höhere Priorität

Eine solche Priorisierungsreihenfolge erleichtert viele Maßnahmen und könnte das langfristige Gelingen der Energiewende und die Akzeptanz durch Minimierung der negativen Begleiterscheinungen befördern. Sie bedeutet jedoch nicht, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien gestoppt oder signifikant reduziert wird. Der Unterschied zur Prioritätenreihenfolge des Kapitels 4.2.1 besteht darin, dass die Treibhausgas-Emissionen nicht mehr „um jeden Preis“ minimiert würden. Das könnte zwar beispielsweise Abstriche bei der Zeitskala für die Einführung der erneuerbaren Energien zur Folge haben und die Erreichung der kurzfristigen nationalen Emissionsziele beeinträchtigen, könnte

aber kurz- und mittelfristig die Akzeptanz hierzulande verbessern und die Wahrscheinlichkeit der Nachahmung auf internationaler oder zumindest europäischer Bühne erhöhen. Beide Effekte, wiewohl kaum quantifizierbar, könnten langfristig dem globalen Klimaschutz stärker nützen.

#### ***Versorgungssicherheit hat höchste Priorität***

Für diese Zielpriorisierung spricht, dass die kurzfristige Versorgungssicherheit als Eigenschaft des technischen Systems für den Wirtschaftsstandort Deutschland eine erhebliche Rolle spielt. Durch die Einbindung in die europäischen Verbundsysteme für Strom und Gas ist jedoch immer auf eine gemeinsame Strategie mit den europäischen Partnern zu achten. Eine hohe technische Versorgungssicherheit bedingt erhöhte Investitionen in die Netzinfrastrukturen mit den resultierenden Landschafts- und Umwelteingriffen für Leitungen. Die Versorgungssicherheit als Wirtschaftsfaktor kann die erhöhten direkten Kosten jedoch wieder wettmachen, wobei eine sorgfältige Abwägung zu erfolgen hat.

Häufig wird die Energiewende hin zu erneuerbaren Energien mit einer Reduzierung der Versorgungssicherheit gleichgesetzt. Dies ist nicht der Fall, wenn ausreichend Netzinfrastrukturen und Ausgleichsmechanismen (zum Beispiel Speicher) für die Volatilität der erneuerbaren Energien errichtet werden. Dieses ist weniger ein technisches Problem, sondern vor allem eine Verknüpfung mit der Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems. Wenn von einer hohen Versorgungssicherheit mit oberster Priorität ausgegangen wird, dann leiten sich hieraus notwendige technische Maßnahmen (Netzkomponenten, fossile Reservekraftwerke, Speicher) ab, in die zu investieren ist, um ein zuverlässiges und sicheres Gesamtsystem zu erhalten. Je nach Priorität von Klimaschutz oder Wirtschaftlichkeit ist dabei eine unterschiedliche Schwerpunktlegung auf fossile Reservekraftwerke und verschiedene Speichertypen möglich.

Die langfristige Versorgungssicherheit (besser Versorgungszuverlässigkeit) kann durch eine Substitution von fossilen durch erneuerbare Energien erhöht werden. Die Wandlung in Netzenergie, das heißt die elektrische Energieerzeugung, findet direkt im Land statt und ist in einem wesentlich geringeren Maße abhängig von Energieimporten, wie Öl, Gas und Steinkohle. Nur durch heimische Braunkohle lässt sich ein ähnlicher Effekt erzielen. Bei geeigneter Systemauslegung für den Ausgleich der Volatilität lässt sich im Prinzip mit erneuerbaren Energien eine hohe langfristige Versorgungssicherheit herstellen. Die Abwägung, wie viel der elektrischen Energieerzeugung mit Braunkohle oder erneuerbaren Energien stattfindet, hängt von den unterlagerten Prioritäten der Wirtschaftlichkeit und der Klima- beziehungsweise Umweltfreundlichkeit ab, die in diesem Fall nachrangig priorisiert würden.

#### ***Wirtschaftlichkeit hat höchste Priorität***

Wird die Wirtschaftlichkeit als höchstes Ziel der Energiepolitik angesehen, so ist von immenser Bedeutung, dass diese nicht nur als kurzfristige Minimierung der Kosten interpretiert wird. Eine solche Interpretation würde zwar vermutlich kurzfristig zu geringeren Akzeptanzproblemen führen, könnte sich aber langfristig als äußerst nachteilig erweisen und das größte Risiko für eine zu langsame Transformation des Energiesystems bergen. Falls jedoch die zukünftigen Nutzen aus heutigen Investitionen in erneuerbare Technologien und Energieeffizienz im Rahmen einer langfristigen Wirtschaftlichkeitsanalyse hinreichend berücksichtigt und durch geeignete Maßnahmen adressiert werden, dürfte die Wahrscheinlichkeit für eine Vorbildfunktion und Nachahmungseffekte hoch sein.

Konkret bedeutet diese Priorisierung, dass alle Maßnahmen hinsichtlich der Energiewende vorrangig bezüglich ihrer kurz- und langfristigen Kosteneffizienz optimiert werden. Das heißt keinesfalls, alles beim Alten zu belassen, da der Klima-

schutz (und die Ressourcenschonung) und damit der Umbau des Energiesystems weiterhin zum Zieldreieck gehören und mit hoher Intensität verfolgt werden müssen. Diese Priorisierung hat jedoch zur Folge, dass die unmittelbaren Kosten, deren potenzielle Entwicklung, die Investitions- und Amortisationsaspekte sowie die internationale Einbindung und Abstimmung stärker als bisher in die Entwicklung der Maßnahmenpakete einbezogen werden. Eine daraus resultierende behutsamere Vorgehensweise sollte keineswegs zu einer Verfehlung der langfristigen Energieziele führen – die Maßnahmenpakete müssen auf die Einhaltung der Ziele programmiert bleiben – könnte aber den zum Beispiel in finanzieller Hinsicht kritischen und überproportional wachsenden Ausbau der erneuerbaren Energien in leichter verkraftbare Bahnen lenken. Probleme bei dieser Priorisierung sind zweifelsohne die Gefahr, zu viel Schwung aus der Energiewende zu nehmen, und die Proteste der bedenkenlosen Antreiber des Umbaus. Dennoch ist eine Höherstufung der Wirtschaftlichkeitsaspekte eine sehr bedenkenswerte Alternative, da für den langfristigen Erfolg der Energiewende ein langer Atem vonnöten sein wird.

### 4.3 Priorisierungsschemata und flexible Regelungsgeflechte

Die bisher proklamierte und durch den aktuellen Koalitionsvertrag noch einmal bestärkte Gleichrangigkeit der Oberziele (Zieldreieck: Klimaschutz/Umweltverträglichkeit, Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit/Bezahlbarkeit) erzeugt zusammen mit der Berücksichtigung der diversen Unter- und Einzelziele Probleme. Durch die getroffenen Maßnahmen entwickeln sich de facto und im Nachhinein Zwangsläufigkeiten der Priorisierung, welche die Gleichrangigkeit konterkarieren, wie am Beispiel der aktuellen Gesetze (EEG, KWKG) in Kapitel 4.1 gezeigt wurde. Eine solche Vorgehensweise wirkt sich ver-

mutlich zum Nachteil für den langfristigen Erfolg der Energiewende aus, da Widersprüche und Inkonsistenzen zunehmend sichtbar werden, Teilziele (zum Beispiel die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen) verfehlt werden und wichtige Parameter (zum Beispiel Kosten) aus dem Ruder laufen. Wird dagegen eine vorher festgelegte Priorisierung der Ziele zugrunde gelegt, kann ein in sich konsistentes Maßnahmenportfolio abgeleitet werden, das durch detaillierte quantitative Meilensteine konkretisiert werden kann. Da die Ziele und damit auch die Meilensteine priorisiert sind, entsteht ein transparenter Kriterienkatalog, dessen Erfüllung auf der Zeitachse für jeden erkennbar kontrolliert werden kann. Bei Abweichungen oder geänderten Rahmenbedingungen kann das Maßnahmenportfolio nachgeregelt werden, sofern genügend „Stellschrauben“ vorhanden sind.

Das Vorhandensein von geeigneten Stellschrauben und damit eng verbunden die Flexibilisierung des Maßnahmenkatalogs sind zentrale Ansprüche, die an die künftigen Novellierungen des Ordnungsrahmens gestellt werden. Die Forderung nach Flexibilisierung ergibt sich aus den Defiziten des gegenwärtigen Regelungsgeflechts<sup>44</sup> und den derzeitigen Schwierigkeiten, eine grundlegende Novellierung von EEG und anderen Regelungen auf den Weg zu bringen. Dabei sind Planbarkeit und Vertrauensschutz äußerst wichtige Komponenten, die für Klein- und Großinvestoren ebenso bedeutsam sind wie für Bürger und Wirtschaftsunternehmen, die sich nicht zu häufig auf größere Änderungen einlassen wollen und können. Eine flexible Nachjustierung des Ordnungsrahmens ermöglicht es, technische Entwicklungen entsprechend ihrem tatsächlichen Reifegrad zeitnah zu berücksichtigen, Kostenentwicklungen frühzeitig zu erkennen und gegebenenfalls gegenzusteuern sowie Veränderungen des Rechtsrahmens

<sup>44</sup> Siehe Ausfelder et al. 2015.

(zum Beispiel europäisches Recht) oder der Entwicklungen gesellschaftlicher Aspekte zu beeinflussen und einzubeziehen. Die Flexibilisierung kann sogar auf die Priorisierung ausgedehnt werden, wenn dies gut begründet und gut kommuniziert wird. Zum Beispiel wäre es denkbar, das Ziel Klima- und Umweltschutz zwar langfristig zu priorisieren, kurzfristig aber den Zielen Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit den Vorrang zu geben.

Aus der Planungsperspektive zeichnet sich die Energiewende durch Besonderheiten aus, die spezifische Erfordernisse an das Regelungsgeflecht der Maßnahmen stellen. Die Energiewende ist ein langfristig angelegter Gestaltungs- und Wandlungsprozess, der nur generationenübergreifend erfolgreich sein kann. Auch aus diesem Grund weisen diese Prozesse einen hohen Grad an Komplexität auf und betreffen im Prinzip alle gesellschaftlichen Akteure. In der strategischen Planung und Umsetzung kommt es deshalb auf eine integrierende, synchrone und systemische Herangehensweise an. Die Energiewende bedarf der andauernden Legitimation und Partizipation aller involvierten Akteure.

Nicht nur aus diesen Gründen unterliegt das Großprojekt Energiewende einem hohen Maß an Ungewissheit und Unsicherheit. Als Zukunftsprojekt wird es immer mit unerwarteten und unvorhersehbaren Entwicklungen konfrontiert sein. Vermutete Entwicklungen auf der Zeitachse erweisen sich häufig als Fehleinschätzung oder müssen aus anderen Gründen modifiziert werden. Das Energiesystem selber weist ein extrem komplexes und für viele Akteure unüberschaubares Wirkungsgefüge auf, was sich in inkonsistenten Proklamierungen von Zielen und Einschätzungen der Machbarkeit und der Auswirkungen niederschlägt. Ein zentrales Problem der Energiewende ist auch die „Vielstimmigkeit“ der Stakeholder und Fachleute, weil sie zu Verunsicherung und Orientierungslosigkeit führt.

Von heute an verbleiben noch 35 Jahre bis zum Jahr 2050, bis zu dem die Energiewende umgesetzt sein soll. Dieser Zeithorizont ist für eine detaillierte sequenzielle Maßnahmenplanung, wie sie häufig unter dem Schlagwort „Masterplan“ gefordert wird, nicht geeignet. Die technologischen, ökologischen, wirtschaftlichen, politischen und sozialen Rahmenbedingungen und Konstellationen der nächsten Jahrzehnte sind nicht zuverlässig prognostizierbar. Unwägbarkeiten, unvorhersehbare Ereignisse und neue Entwicklungen werden auch den Weg der Energiewende begleiten. Heute noch nicht vorhandene Informationen, die Ambiguität von Sachverhalten und gegensätzliche Handlungsoptionen werden uns permanent in Spannung halten. Diese Unsicherheiten müssen in der Planung berücksichtigt, das heißt durch Anpassungsmöglichkeiten aufgefangen werden. In veränderten politischen, wirtschaftlichen oder gesellschaftlichen Kontexten werden andere Wertigkeiten und Bewertungen entwickelt. Andere Akteure werden andere Einsichten, Informationen und Meinungen haben und die Ziele und Maßnahmen anders bewerten als die gegenwärtigen Protagonisten.

Innerhalb der Planungs- und Umsetzungsprozesse der Energiewende ist daher ein Kontingenzmanagement notwendig. Kontingenzmanagement bedeutet das Management von Unsicherheiten, Ungewissheiten und unvorhergesehenen Veränderungen. Dabei geht es auch um die planerische Einbeziehung alternativer Entwicklungsmöglichkeiten. Vor allem aber geht es um die Sicherstellung flexibler Handlungsoptionen. Für die Maßnahmenplanung der Energiewende bedeutet dies, das Regelungsgeflecht der Maßnahmen so flexibel und offen wie möglich zu halten. Ein solches Regelungsgeflecht muss einen ausreichenden Grad an Anpassungsfähigkeit aufweisen, Synchronität und Integration befördern, starker Kritik standhalten und mit Zeitknappheit zurechtkommen.

Eine Möglichkeit, um den Anforderungen und Schwierigkeiten der Energiewende zu begegnen, die sich insbesondere aus Komplexität, Langfristigkeit und inhärenten Unsicherheiten ergeben, wäre es, Elemente einer „rollierenden oder gleitenden Planung“ (Rolling Wave Planning)<sup>45</sup> in die Energiepolitik einzubauen. Mit einem solchen Planungskonzept wird eine schnelle, den veränderten Randbedingungen angepasste und flexible Maßnahmenplanung ermöglicht. Das ist angesichts der Notwendigkeit von beständiger (Um-)Planung beim auf Hochtouren laufenden Prozess der Energiewende eine große Herausforderung, zumal langfristig wirkende Entscheidungen mit vermutetem Vertrauensschutz bereits getroffen wurden und wieder getroffen werden müssen. Bei einem „Mehrgenerationenprojekt“ wie der Energiewende trägt ein rollierender Planungsansatz aber dazu bei, sich an den jeweiligen aktuellen Erfordernissen und Ausgangssituationen zu orientieren, da die Randbedingungen der kommenden 35 Jahre nur mit großer Unsicherheit prognostizierbar sind.

De facto würde eine rollierende Planung bedeuten, dass für einen festzulegenden Zeitraum eine klare Priorisierung der Ziele und darauf aufbauend ein Maßnahmenkatalog festgelegt werden, die nach Ablauf des Zeitraums durch eine gegebenenfalls modifizierte Priorisierung

und modifizierte Maßnahmen abgelöst werden können. Auf diese Weise kann allen Hauptzielen zeit- und kontextgerecht Rechnung getragen werden. Widersprüchlichkeiten im Zielsystem sind leichter auflösbar und die Maßnahmen können den zeitlichen Änderungen der Randbedingungen und Erfahrungen angepasst werden. Das würde der Glaubwürdigkeit der Energiepolitik mittel- und langfristig sehr zugutekommen und dazu beitragen, demotivierende scheinbare Rückschläge als das zu erkennen, was sie eigentlich sind, nämlich unvermeidbare Übergangszustände auf dem Weg zum langfristigen Erfolg. Auf diese Weise ließe sich zum Beispiel verständlich machen, warum der Klimaschutz – obwohl langfristig ein vorrangiges Ziel – kurzfristig den Zielen Versorgungssicherheit und Bezahlbarkeit nachgeordnet werden muss. Um die Glaubwürdigkeit der Politik nicht zu gefährden und eine für die Schaffung von Investitionsanreizen unumgängliche Verstärkung der Erwartungen zu ermöglichen, muss allerdings auch bei einer rollierenden Planung eine langfristige Konsistenz der Politik gewährleistet bleiben, während willkürlich anmutende Ad-hoc-Anpassungen von Politiken zu vermeiden sind.

Wie in Kapitel 3 erwähnt, ist mit dem Monitoringprozess ein Instrument installiert, das jene neuen Informationen und Daten bereitstellt, auf deren Grundlage Planungen korrigiert oder angepasst werden können. Dazu ist außerdem ein gesellschaftlicher und politischer Diskussions-, Meinungsbildungs- und Entscheidungsprozess zu etablieren, denn man wird künftigen Regierungen und künftigen Generationen keine langfristig festgelegte Planung ohne Eingriffsmöglichkeit zumuten können. Die Korrekturen und Anpassungen der Planungen sollten jeweils in ein aktualisiertes Priorisierungsschema münden und zu entsprechenden Änderungen im Maßnahmenportfolio führen.

<sup>45</sup> Der rollierende Planungsansatz ist dem Projektmanagement entliehen und zielt auf eine flexible, den jeweiligen Bedingungen entsprechende und dennoch im Rahmen einer langfristigen Zielvorgabe verbleibende Planung. Die rollierende Planung ist ein „Verfahren zur systematischen Aktualisierung und Konkretisierung der Pläne durch Fortschreibung“ (Springer Gabler 2013). Der einfache Grundsatz dieses Ansatzes liegt in der Möglichkeit, dass Planänderungen zu jedem Zeitpunkt möglich sind. Liegen neue Daten und Informationen, Prognosen oder Ergebnisse vorangegangener Entscheidungen vor, welche die erfolgte Planung aufgrund des problematisch gewordenen Zielerreichungsgrades revisionsbedürftig machen, so kann schnell und flexibel damit gearbeitet werden. Damit werden auch periodenartig Planungen aktualisiert, überarbeitet und angepasst. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der detaillierten und intensiven Planung der nahen Zukunft, wohingegen die mittel- und langfristige Planung weniger konkret gestaltet ist.

## Anhang – Ziele der Energiewende<sup>46</sup>

### Primärziele – Zieldreieck

- Klimaschutz und Umweltverträglichkeit
- Versorgungssicherheit
- Wirtschaftlichkeit/Bezahlbarkeit

### Klimaschutzziele – Quantitative Ziele der Energiewende

- Reduktion der Treibhausgas-Emissionen um 80 Prozent (bis 95 Prozent) bis 2050 gegenüber 1990 (Teilziele: Reduktion um 40 Prozent bis 2020, 55 Prozent bis 2030, 70 Prozent bis 2040)
- Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien am Bruttoenergieverbrauch auf 60 Prozent bis 2050 (Teilziele: 18 Prozent bis 2020, 30 Prozent bis 2030, 45 Prozent bis 2040)
  - Netzentlastung
  - Kosteneffizienter Ausbau
  - Marktintegration
  - Bedarfsgerechte Erzeugung
- Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch bis 2050 auf 80 Prozent (Teilziele: 35 Prozent bis 2020, 50 Prozent bis 2030, 65 Prozent bis 2040)
- Senkung des Primärenergieverbrauches bis 2050 um 50 Prozent gegenüber 2008 (Teilziel: 20 Prozent bis 2020)
- Senkung des Stromverbrauches um 25 Prozent bis 2050 gegenüber 2008 (Teilziel: 10 Prozent bis 2020)
- Senkung des Endenergieverbrauches im Verkehrssektor um 40 Prozent bis 2050 gegenüber 2005 (Teilziel: 10 Prozent bis 2020)

### Zusammenfassung energiepolitischer Ziele

- Steigerung der Energieeffizienz
- Entwicklung eines dynamischen Energiemixes und eines flexibleren Kraftwerksparks
- Aufbau einer leistungsfähigen Netzinfrastruktur (Speichertechnologien)
- Ausbau der Speicherkapazitäten
- Schaffung eines verlässlichen Rechtsrahmens für internationale Energiebeziehungen

### Energiepolitische Ziele in ausgewählten Handlungsfeldern<sup>47</sup>

#### Erneuerbare Energien

- Ausbau Offshore-Windleistung auf 25 GW bis 2030
- Ausbau der Onshore-Windleistung: Leistungsausweitung an bestehenden Standorten (Repowering)
- Nachhaltige und effiziente Nutzung der Bioenergie in Wärme, Strom und Kraftstoffen

#### Energieeffizienz

- Ausschöpfung der Effizienzpotenziale in privaten Haushalten und im öffentlichen Bereich
- Ausschöpfung der Effizienzpotenziale in der Industrie
- Entwicklung von Vernunft und Eigenverantwortung von Wirtschaft und Verbrauchern

#### Fossile Kraftwerke

- Flexiblerer Kraftwerkspark und dynamischer Energiemix

<sup>46</sup> Bundesregierung 2010; BMWi/BMUB 2012; Löschel et al. 2012.

<sup>47</sup> Hierbei handelt es sich, obwohl im Energiekonzept als Ziel genannt, um eine Mischung aus Zielen und Maßnahmen; Bundesregierung 2010.

- Wettbewerbssteigerung und Liberalisierung der Strom- und Gasmärkte
- Erprobung der CCS-Technologie (Carbon Capture and Storage)

### **Netzinfrastruktur und Integration erneuerbarer Energien**

- Ausbau Netzinfrastruktur
  - Stromerzeugung auf See und in Küstenregionen
  - Einspeisung durch dezentrale Erzeugeranlagen
  - Ausbau Stromaustausch in Europa
- Beschleunigung Netzausbau: „Zielnetz 2050“
  - Integration aus weiterentwickeltem Bestandsnetz
  - Overlay-Netz
  - Nordseenetz und
  - Integration des deutschen Netzes in europäischen Verbund
- Aufbau von „smarten“ Technologien
- Neue Marktmodelle und -mechanismen
- Aufbau intelligenter Netze
  - Nachfrageseitiges Lastmanagement: Smart Grids und Smart Meter
- Netzanbindung für Offshore-Windanlagen
- Markt- und Systemintegration der erneuerbaren Energien
- Ausbau der Speicherkapazitäten
  - Erschließung der verfügbaren Potenziale für Pumpspeicherkraftwerke
  - Nutzung ausländischer Pumpspeicher
  - Strom aus Biomasse durch Investitionsanreize
  - Intensivierung der Forschung in neue Speichertechnologien

### **Energetische Gebäudesanierung und energieeffizientes Bauen**

- Klimaneutraler Gebäudebestand bis 2050
- Verdoppelung der energetischen Sanierungsrate von derzeit ein Prozent auf zwei Prozent
- Neubauten ab 2020 Niedrigstenergiegebäude (öffentliche Gebäude ab 2018)

### **Mobilität und Verkehr**

- Eine Million Elektrofahrzeuge bis 2020 – sechs Millionen bis 2030
- Steigerung von Biokomponenten in Kraftstoffen: Dekarbonisierung

### **Energieforschung**

- Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit von Energiesystemen mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien
- Integrierte Energieforschungspolitik
- Unterstützung der energiewirtschaftlichen und klimapolitischen Vorgaben
- Sicherung der führenden Positionen deutscher Unternehmen auf dem Gebiet moderner Energietechnologien
- Sicherung und Erweiterung technologischer Optionen

### **Integration im europäischen und internationalen Kontext**

- Einbettung in europäische Energiepolitik
- Auf- und Ausbau eines europäischen Netzverbundes
- Liberalisierung des Binnenmarktes
- Weiterentwicklung des EU-Emissionshandels

### **Gesellschaftspolitik**

- Herstellung von Akzeptanz, Nachvollziehbarkeit und Transparenz der Energiewende in der Bevölkerung

## Literatur

### acatech et al. 2015

acatech/Leopoldina/Akademienunion (Hrsg.): *Die Energiewende europäisch integrieren. Neue Gestaltungsmöglichkeiten für die gemeinsame Energie- und Klimapolitik*, 2015.

### AG Energiebilanzen e. V. 2014

AG Energiebilanzen e. V.: Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2013, 2014. URL: [http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article\\_id=29&fileName=ageb\\_jahresbericht2013\\_20140317.pdf](http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ageb_jahresbericht2013_20140317.pdf) [Stand: 23.07.2014].

### Ausfelder et al. 2015

Ausfelder, F./Drake, F.-D./Paschke, M./Schüth, F./Theermann, M./Wagemann, K./Wagner, H.-J.: *Wechselwirkungen im Energiesystem. Mechanismen – Interaktionen – Beispiele* (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft), München 2015.

### BAFA 2014

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: Entwicklung der Erdgaseinfuhr in die Bundesrepublik Deutschland. Bilanzen 1998–2013 Grafik, 2014. URL: [http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erdgas/ausgewahlte\\_statistiken/egashist.pdf](http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erdgas/ausgewahlte_statistiken/egashist.pdf) [Stand: 08.07.2014].

### BDEW 2013

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.: Strompreisanalyse November 2013. Haushalte und Industrie, 2013. URL: [http://www.bdew.de/internet.nsf/id/123176ABDD9ECE5DC1257AA20040E368/\\$file/131120\\_BDEW\\_Strompreisanalyse\\_November%202013.pdf](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/123176ABDD9ECE5DC1257AA20040E368/$file/131120_BDEW_Strompreisanalyse_November%202013.pdf) [Stand: 30.07.2014].

### BDI 2013

Bundesverband der Deutschen Industrie e. V.: *Energiewende ganzheitlich denken. Handlungsempfehlungen des BDI für ein zukunftsfähiges Marktdesign*, Berlin: 2013.

### BGR 2013

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: *Energiestudie. Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen (17)*, Hannover: 2013.

### BMUB 2000

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen vom 14. Juni 2000, 2000. URL: <http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/atomkonsens.pdf> [Stand: 07.07.2014].

### BMWi 2014-1

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Klimaschutz, 2014. URL: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Industrie/Industrie-und-Umwelt/klimaschutz,did=490068.html> [Stand: 08.07.2014].

### BMWi 2014-2

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Monitoring-Bericht nach § 51 EnWG zur Versorgungssicherheit im Bereich der leitungsgebundenen Versorgung mit Elektrizität, 2014. URL: <http://www.bmwi.de/DE/Mediathek/publikationen,did=516506.html> [Stand: 07.07.2014].

### BMWi 2014-3

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Überblick 2013/Tischvorlage Erneuerbare Energien (Deutsch), 2014. URL: [http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/agee-stat-ueberblick-2013-tischvorlage-erneuerbare-energien-deutsch.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/agee-stat-ueberblick-2013-tischvorlage-erneuerbare-energien-deutsch.pdf?__blob=publicationFile&v=3) [Stand: 08.07.2014].

### BMWi 2014-4

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Zweiter Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“, 2014. URL: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/zweiter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> [Stand: 30.07.2014].

### BMWi/BMUB 2012

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Erster Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“, 2012. URL: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/erster-monitoring-bericht-energie-der-zukunft,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> [Stand: 30.07.2014].

### BP 2014

BP Statistical Review of World Energy June 2014, 2014. URL: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf> [Stand: 30.07.2014].

### Bundesregierung 2010

Bundesregierung: Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, 2010. URL: [http://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/\\_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](http://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?__blob=publicationFile&v=5) [Stand: 07.07.2014].

### BWE 2014

Bundesverband WindEnergie: Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), 2014. URL: <http://www.eeg-aktuell.de/das-eeg/> [Stand: 08.07.2014].

### CDU et al. 2013

CDU/CSU/SPD (Hrsg.): *Deutschlands Zukunft gestalten – Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD*, Rheinbach: Union-Betriebs GmbH 2013.

**Deutscher Bundestag 2000**

Deutscher Bundestag: Unterrichtung durch die Bundesregierung. Nationales Klimaschutzprogramm. Fünfter Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO<sub>2</sub>-Reduktion“. Drucksache 14/4729 vom 14.11.2000, 2000. URL: <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/14/047/1404729.pdf> [Stand: 07.07.2014].

**Deutscher Bundestag 2011**

Deutscher Bundestag: Gesetzentwurf der Bundesregierung. Entwurf eines Dreizehnten Gesetzes zur Änderung des Atomgesetzes. Drucksache 17/6246 vom 22.06.2011, 2011. URL: <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/062/1706246.pdf> [Stand: 08.07.2014].

**EFI 2014**

Expertenkommission Forschung und Innovation (Hrsg.): *Gutachten zu Forschung, Innovation und Technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands. Gutachten 2014*, Berlin: EFI 2014.

**Europe Economics 2014**

Europe Economics: Economic Analysis for Impact Assessment on Threshold for Disclosure of Non-public Information on Emission Allowances, 2014. URL: [http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/oversight/docs/ee\\_and\\_nrf\\_analysis\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/oversight/docs/ee_and_nrf_analysis_en.pdf) [Stand: 30.07.2014].

**FfE 2014**

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.: Endenergiebereitstellung in Deutschland nach Sektoren und regenerative Anteile 2012. Pressemeldung vom 13.05.2014, 2014. URL: <https://www.ffe.de/publikationen/pressemeldungen/506-65-jahre-energieforschung-fuer-die-energie-wende> [Stand 20.04.2015].

**Geiger et al. 2004**

Geiger, B./Hardi, M./Brückl, O./Roth, H./Tzscheuschler, P.: „CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Kraftwerksbereich, bei den erneuerbaren Energien sowie bei nachfrageseitigen Energieeffizienzmaßnahmen“. In: *IfE Schriftenreihe*, Heft 47, 2004.

**Hakkarainen 2013**

Hakkarainen, P.: „Europäisches Gemeinschaftswerk Energiewende“. In: Töpfer, K./Volkert, D./Mans, U. (Hrsg.): *Verändern durch Wissen. Chancen und Herausforderungen demokratischer Beteiligung: von >>Stuttgart 21<< bis zur Energiewende*, München: oekom 2013, S. 172–185.

**Handelsblatt 2013**

Handelsblatt: Versorgungssicherheit. Deutschlands Erdgasspeicher sind fast leer, 2013. URL: <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/versorgungssicherheit-deutschlands-erdgasspeicher-sind-fast-leer/8029294.html> [Stand: 07.07.2014].

**Kapferer 2014**

Kapferer, S.: Kleine Anfrage der Abgeordneten Oliver Krischner, Annalena Baerbock, Dr. Julia Verlinden u. a. der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, betr.: Daten zur Abregelung von regenerativen Stromerzeugungsanlagen. BT-Drucksache: 18/645, 2014. URL: <http://bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/P-R/Parlamentarische-Anfragen/18-645,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> [Stand: 08.07.2014].

**Kübler 2013-1**

Kübler, K.: „Energiekonzept, Mathematik und zweifelhafte Erwartungen“. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 63(1/2), 2013, S. 73–78.

**Kübler 2013-2**

Kübler, K.: Energiewende: „Was erwartet uns in der kommenden Legislaturperiode?“. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 63(8), 2013, S. 30–33.

**KWKG 2002**

Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz vom 19. März 2002 (BGBl. I S. 1092), das zuletzt durch Artikel 13 des Gesetzes vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066) geändert worden ist, 2002. URL: [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/kwkg\\_2002/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/kwkg_2002/gesamt.pdf) [Stand: 13.05.2015].

**Löschel et al. 2012**

Löschel, A./Erdmann, G./Staiß, F./Ziesing, H.-J.: *Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“. Stellungnahme zum ersten Monitoring-Bericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2011*. Berlin, Mannheim, Stuttgart: 2012.

**Löschel et al. 2014**

Löschel, A./Erdmann, G./Staiß, F./Ziesing, H.-J.: *Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“. Stellungnahme zum zweiten Monitoring-Bericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2012*. Berlin, Mannheim, Stuttgart: März 2014.

**Müsgens et al. 2013**

Müsgens, F./Reichert, P./Perner, J./Riechmann, C./Wissen, R.: „Emissionshandel oder Förderung Erneuerbarer in Europa: Wer sollte langfristig das Steuer übernehmen?“. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*: 9, 2013, S. 8.

**Peters et al. 2011**

Peters, G./Minx, J./Weber, C./Edenhofer, O.: „Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008“. In: *PNAS*, 108: 21, 2011, S. 8903–8908.

**RWI 2014**

Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung:  
„Grüner“ Strom gleich guter Strom? Warum Solarförderung ein teurer Irrtum ist, 2014. URL: [http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-positionen/RWI-Position\\_57\\_Solarfoerderung.pdf](http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-positionen/RWI-Position_57_Solarfoerderung.pdf)  
[Stand: 30.07.2014].

**SPD/BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN 1998**

Sozialdemokratische Partei Deutschlands/BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN: Aufbruch und Erneuerung – Deutschlands Weg ins 21. Jahrhundert. Koalitionsvereinbarung zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, 1998. URL: [https://www.gruene.de/fileadmin/user\\_upload/Bilder/Redaktion/30\\_Jahre\\_-\\_Serie/Teil\\_21\\_Joschka\\_Fischer/Rot-Gruener\\_Koalitionsvertrag1998.pdf](https://www.gruene.de/fileadmin/user_upload/Bilder/Redaktion/30_Jahre_-_Serie/Teil_21_Joschka_Fischer/Rot-Gruener_Koalitionsvertrag1998.pdf)  
[Stand: 07.07.2014].

**Springer Gabler 2013**

Springer Gabler: Rollende Planung, 2013. URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/rollende-planung.html> [Stand: 22.12.2013].

**UBA 2012**

Umweltbundesamt: Anteile von Strom, Wärme, Kraftstoffen am Endenergieverbrauch, 2012. URL: [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/2\\_abb\\_anteile-strom-waerme-ks\\_2013-09-26.png](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/2_abb_anteile-strom-waerme-ks_2013-09-26.png) [Stand: 08.07.2014].

## Über das Akademienprojekt

Mit der Initiative „Energiesysteme der Zukunft“ geben acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften Impulse für eine faktenbasierte Debatte über Herausforderungen und Chancen der Energiewende in Deutschland. Acht Arbeitsgruppen (AGs) bündeln fachliche Kompetenzen und identifizieren relevante Problemstellungen. Interdisziplinär zusammengesetzte Ad-hoc-Gruppen erarbeiten Handlungsoptionen zur Umsetzung einer sicheren, bezahlbaren und nachhaltigen Energiewende.

Auf Basis folgender Grundsätze stellt das Akademienprojekt System- und Orientierungswissen für Entscheidungen im Rahmen des Gemeinschaftswerks Energiewende bereit:

### Die Energieversorgung unseres Landes ist ein komplexes System

Rohstoffe und Ressourcen, Technologien, Ökonomie, Gesellschaft und Recht: Im Energiesystem gibt es vielfältige, sektorübergreifende Wechselwirkungen. Werden sie nicht ausreichend berücksichtigt, können punktuelle Eingriffe paradoxe und unbeabsichtigte Folgen haben. Ein umsichtiger Umbau der Energieversorgung braucht daher Systemverständnis. Dieses muss gemeinschaftlich und mit höchstem wissenschaftlichem Anspruch erarbeitet werden. Den Masterplan für die Energiewende kann es jedoch nicht geben. Die Energiewende bedeutet nämlich die stetige Transformation des Energiesystems in all seiner Dynamik.

### Der Sinn der Energiewende ist Nachhaltigkeit

Daher müssen wir uns darauf verständigen, welche Kriterien für eine nachhaltige Energieversorgung gelten sollen und wie Fortschritte in Richtung Nachhaltigkeit gemessen werden können. Im Energiekonzept der Bundesregierung bilden Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit das Zieldreieck einer nachhaltigen Energieversorgung. Sozialverträglichkeit und Gerechtigkeit müssen angemessen berücksichtigt werden. Um festzustellen, ob diese Ziele gleichwertig oder unterschiedlich zu gewichten sind, braucht das Land eine Wertediskussion und gute Verfahren für den Umgang mit Wertekonflikten.

### Wissenschaft erarbeitet Gestaltungsoptionen

Auf Basis wissenschaftlich fundierter Gestaltungsoptionen können Akteure aus Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft sachlich begründete, ethisch verantwortbare und politisch umsetzbare Entscheidungen treffen. Im Unterschied zu Handlungsempfehlungen, die einen bestimmten Vorschlag in den Mittelpunkt rücken, beschreiben Optionen, mit welchen Konsequenzen zu rechnen ist, wenn man sich für das eine oder andere Vorgehen entscheidet. So kann Wissenschaft aufzeigen, welche Vor- und Nachteile nach dem besten Stand des Wissens mit jeder Lösung verbunden sind. Der Umgang mit Zielkonflikten und der immer verbleibenden Unsicherheit im Entscheidungsprozess aber ist eine politische Aufgabe, die im Dialog mit den gesellschaftlichen Gruppen zu bewältigen ist.

## Mitwirkende des Projekts

### Arbeitsgruppen des Projekts

AG Ausgangssituation	AG Recht	AG Technologien
AG Gesellschaft	AG Ressourcen	AG Umsetzungsoptionen
AG Ökonomie	AG Szenarien	

### Ad-hoc-Gruppe „Priorisierung der Ziele“

Die vorliegende Analyse wurde von der Ad-hoc-Gruppe „Priorisierung der Ziele“ erarbeitet.

Prof. Dr. Eberhard Umbach (AhG-Leiter)	acatech Präsidium
Prof. Dr. Alexander Bradshaw	Max-Planck-Institut für Plasmaphysik
Dr. Udo Erdmann (Wissenschaftlicher Referent)	TIBER Technologie- und Innovationsberatung
Prof. Dr. Wolfram Münch	EnBW Energie Baden-Württemberg AG
Prof. Dr. Karen Pittel	ifo Institut für Wirtschaftsforschung
Prof. Dr. Christian Rehtanz	Technische Universität Dortmund
Dr. Katharina Schätzler (Wissenschaftliche Referentin)	Karlsruher Institut für Technologie
Prof. Dr. Klaus Sedlbauer	Fraunhofer Institut für Bauphysik
Prof. Dr. Ulrich Wagner	Technische Universität München

## Institutionen und Gremien

### Beteiligte Institutionen

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Federführung)

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina

Union der deutschen Akademien der Wissenschaften

### Steuerkreis

Der Steuerkreis koordiniert die Arbeit in acht interdisziplinären, thematischen Arbeitsgruppen.

Prof. Dr. Robert Schlögl (Vorsitzender)	Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft und Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion
Prof. Dr. Peter Elsner	Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie
Prof. Dr. Armin Grunwald	Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruher Institut für Technologie
Prof. Dr. Peter Herzig	Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
Prof. Dr. Ortwin Renn	Universität Stuttgart, Institut für Sozialwissenschaften, Abteilung für Technik- und Umweltsoziologie
Prof. Dr. Christoph M. Schmidt	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung
Prof. Dr. Ferdi Schüth	Max-Planck-Institut für Kohlenforschung
em. Prof. Dr. Rüdiger Wolfrum	Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht, Heidelberg
Prof. Dr. Eberhard Umbach	acatech Präsidium

## Kuratorium

Das Kuratorium verantwortet die strategische Ausrichtung der Projektarbeit.

Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl (Vorsitzender)	acatech Präsident
Prof. Dr. Jörg Hacker	Präsident Leopoldina
Prof. Dr. Günter Stock	Präsident Union der deutschen Akademien der Wissenschaften Präsident Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften
Prof. Dr. Bärbel Friedrich	Vizepräsidentin Leopoldina
Prof. Dr. Dr. Hanns Hatt	Präsident Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften und der Künste
Prof. Dr. Jürgen Gausemeier	Mitglied acatech Präsidium
Prof. Dr. Andreas Löschel	Universität Münster, Vorsitzender der Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“
Prof. Dr. Klaus Töpfer	Exekutivdirektor Institute for Advanced Sustainability Studies
Dr. Georg Schütte (Gast)	Staatssekretär Bundesministerium für Bildung und Forschung
Rainer Baake (Gast)	Staatssekretär Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Dr. Ingrid Wüning Tschol (Gast)	Bereichsdirektorin „Gesundheit und Wissenschaft“ Robert-Bosch-Stiftung

## Projektkoordination

Dr. Ulrich Glotzbach                      Leiter der Koordinierungsstelle, acatech

## Rahmendaten

### Projektlaufzeit

04/2013 bis 02/2016

### Finanzierung

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen EDZ 2013) und der Robert-Bosch-Stiftung gefördert.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Robert Bosch **Stiftung**



### **Koordinierungsstelle:**

Dr. Ulrich Glotzbach  
Leiter der Koordinierungsstelle Energiesysteme der Zukunft  
Unter den Linden 14, 10117 Berlin  
Tel.: +49 (0)30 206 30 96 - 14  
E-Mail: [glotzbach@acatech.de](mailto:glotzbach@acatech.de)

**Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft**

ISBN: 978-3-9817048-3-9