



Leopoldina  
Nationale Akademie  
der Wissenschaften



*Dezember 2015*  
*Stellungnahme*

## Mit Energieszenarien gut beraten

Anforderungen an wissenschaftliche Politikberatung

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina | [www.leopoldina.org](http://www.leopoldina.org)  
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften | [www.acatech.de](http://www.acatech.de)  
Union der deutschen Akademien der Wissenschaften | [www.akademienunion.de](http://www.akademienunion.de)

## Impressum

### Herausgeber

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. (Federführung)  
Residenz München, Hofgartenstraße 2, 80539 München

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V.  
– Nationale Akademie der Wissenschaften –  
Jägerberg 1, 06108 Halle (Saale)

Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V.  
Geschwister-Scholl-Straße 2, 55131 Mainz

### Redaktion

Ralf Behn, acatech  
Selina Byfield, acatech

### Koordination

Dr. Christian Dieckhoff, Karlsruher Institut für Technologie  
Dr. Achim Eberspächer, acatech

### Gestaltung und Satz

unicommunication.de, Berlin

### Druck

koenigsdruck.de, Berlin

**ISBN: 978-3-8047-3507-1**

### 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.

# Mit Energieszenarien gut beraten

Anforderungen an wissenschaftliche Politikberatung



## Vorwort

Der Umbau der Energiesysteme in Deutschland, Europa und weltweit ist eine der großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Dieser Prozess wird in den kommenden Jahrzehnten zu Entwicklungen führen, die heute noch nicht vorherzusehen sind. Ein gutes Instrument für die Gestaltung dieses Transformationsprozesses sind Energieszenarien.

Szenarien zu modellieren, die sowohl der Komplexität des Energiesystems als auch den Unsicherheiten im Hinblick auf künftige Entwicklungen Rechnung tragen, ist eine wichtige Aufgabe der Wissenschaft. Expertinnen und Experten nutzen hierfür umfangreiche Datensätze, komplexe Modelle sowie Annahmen über langfristige Trends. Weil die daraus resultierenden Studien eine so bedeutende Rolle in der energiepolitischen Debatte spielen, sollte es anderen Fachleuten ermöglicht werden, die verwendeten Daten, Modelle und konkreten Annahmen zu überprüfen. Die Ergebnisse von Szenariostudien wiederum sollten so aufbereitet sein, dass auch Akteure außerhalb der Wissenschaft sie verstehen und beurteilen können.

Wissenschaftliche Validität und Ergebnisoffenheit, Transparenz und Nachvollziehbarkeit – um energiepolitische Entscheidungen sinnvoll unterstützen zu können, sollten Energieszenarien diese grundlegenden Anforderungen erfüllen. Wir würden uns freuen, wenn die vorliegenden Leitlinien für die Erstellung und Interpretation von Energieszenarien sowie die beschriebenen Handlungsoptionen für die politischen, gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Akteure hilfreich sind und zur Verbesserung der Beratungspraxis beitragen.

Verfasst wurde diese Stellungnahme von der Arbeitsgruppe „Szenarien“ des Akademiensprojekts „Energiesysteme der Zukunft“. Den beteiligten Wissenschaftlern, den Expertinnen und Experten, die ihre Erfahrung im Rahmen von Workshops eingebracht haben, sowie den Gutachtern danken wir herzlich für ihre Beiträge.



*Prof. Dr. Jörg Hacker*  
Präsident  
Nationale Akademie der  
Wissenschaften Leopoldina



*Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl*  
Präsident  
acatech – Deutsche Akademie der  
Technikwissenschaften



*Prof. Dr. Dr. Hanns Hatt*  
Präsident  
Union der deutschen Akademien  
der Wissenschaften

# Inhalt

	Zusammenfassung.....	5
1	Motivation und Zielsetzung.....	7
2	Energieszenarien – der Gegenstand .....	9
3	Anforderungen an Energieszenarien .....	11
	3.1 Anforderungen an die Erstellung von Energieszenarien .....	12
	3.2 Anforderungen an Schlussfolgerungen aus Energieszenarien.....	14
	3.3 Anforderungen an die Dokumentation von Energieszenarien .....	15
4	Verantwortlichkeiten für die Umsetzung.....	19
5	Wege zur Umsetzung.....	21
	5.1 Optionen zur Verbesserung der wissenschaftlichen Validität .....	21
	5.2 Optionen zur Verbesserung der Transparenz.....	23
	5.3 Optionen zur Verbesserung der Ergebnisoffenheit.....	25
6	Fazit .....	26
	Literatur .....	27
	Über das Akademienprojekt.....	30

## Zusammenfassung

Energieszenarien sind ein wichtiges Hilfsmittel für den zielgerichteten Umbau des Energiesystems: Indem sie mögliche Entwicklungspfade der Energieversorgung aufzeigen, liefern Szenarien Leitplanken für politische, gesellschaftliche und ökonomische Weichenstellungen. Sie sind wesentlicher Bestandteil von Studien, die meist von Akteuren aus Politik, Wirtschaft oder Nichtregierungsorganisationen in Auftrag gegeben und von wissenschaftlichen Instituten sowie Beratungsunternehmen erstellt werden.

Die vorliegende Stellungnahme formuliert Anforderungen für Energieszenariostudien, die den Anspruch haben, einen wissenschaftlichen Beitrag zur politischen und öffentlichen Debatte zu leisten. In diesen Studien wird untersucht, welche zukünftigen Entwicklungen möglich sind. Typischerweise werden hierzu – aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren auf das Energiesystem – mehrere Szenarien mit mathematischen Modellen berechnet und ausgewertet.

Energieszenariostudien müssen drei grundlegende Anforderungen erfüllen: Erstens müssen sie wissenschaftlich valide, zweitens transparent und drittens ergebnisoffen sein.

**Wissenschaftlich valide** ist eine Energieszenariostudie, wenn sie gemäß den Standards guter wissenschaftlicher Arbeit erstellt und dokumentiert wurde. Dafür müssen die verwendeten Methoden, Modelle und Daten in der Wissenschaft anerkannt sein. Um dies zu gewährleisten, kann die Erstellung einer Studie etwa von einem wissenschaftlichen Beirat begleitet

werden. Alternativ beziehungsweise ergänzend können unabhängige Gutachter beauftragt werden, die Studienergebnisse zu prüfen.

**Transparenz** setzt voraus, dass die Studien veröffentlicht werden. Insbesondere Studien, die von staatlichen Institutionen in Auftrag gegeben werden, sollten auch für die Öffentlichkeit zugänglich sein. Damit Energieszenarien zur demokratischen Meinungsbildung und Entscheidungsfindung beitragen können, müssen sie zudem für die jeweilige Zielgruppe nachvollziehbar sein. Dies bedeutet unter Umständen, dass Abschnitte innerhalb einer Studie für unterschiedliche Zielgruppen zu formulieren sind. Besonders wichtig ist es, Unsicherheiten in der Analyse und deren Konsequenzen für die Ergebnisse und Schlussfolgerungen für alle Zielgruppen deutlich zu machen. Für Fachleute sollten die Ergebnisse einer Studie nicht nur nachvollziehbar, sondern auch replizierbar sein, das heißt, sie sollten die Ergebnisse der Studie nachrechnen können. Dies setzt voraus, dass das Fachpublikum oder zumindest ein Gutachterkreis Zugang zu den verwendeten Daten, Modellen und zugrunde liegenden Annahmen bekommt. Dies könnte beispielsweise durch die Veröffentlichung dieser Informationen im Internet geschehen. Derzeit legen die Institute, die Energieszenarien erstellen, aus ökonomischen Gründen oder aufgrund von Verträgen oder Vereinbarungen die verwendeten Modelle und Daten meist nicht offen. Daher ist es eine wichtige Aufgabe, Formate und Leitlinien für die Offenlegung zu entwickeln. Die Erstellung und Pflege eines Satzes von Referenzdaten und -annahmen

für das deutsche Energiesystem sowie die Nutzung von Open-Source-Modellen sind mögliche Optionen, um die Transparenz zu erhöhen.

**Ergebnisoffenheit** bedeutet, dass etwaige Einflussnahmen des Auftraggebers und anderer Akteure auf die Studie nur dann zulässig sind, wenn sie benannt und die Konsequenzen für die Ergebnisse und Schlussfolgerungen dargestellt werden. Weil durch die Wahl von Annahmen und die Vorgabe von Zielwerten nur einige von vielen möglichen Szenarien berechnet werden, ist besonders dieser Arbeitsschritt transparent zu beschreiben.

Auftragnehmer und -geber sind gemeinsam verantwortlich dafür, wie Ener-

gieszenarien erstellt werden. Während die Rahmenbedingungen der Beratungspraxis maßgeblich durch die Auftraggeber bestimmt werden, entscheiden vor allem die Auftragnehmer, welche Methoden sie einsetzen. Um das Zusammenspiel zwischen diesen Akteuren zu verbessern, sollten allgemeine Standards für Energieszenariostudien entsprechend den genannten Anforderungen zu Validität, Transparenz und Ergebnisoffenheit entwickelt und eingeführt werden. Gerade staatliche Auftraggeber haben es mit ihren Ausschreibungen in der Hand, solche Standards für öffentlich geförderte Studien zu etablieren. Diese könnten in einem eigenständigen Dokument formuliert und künftigen Ausschreibungen als formaler Bestandteil beigelegt werden.

#### Die wichtigsten Anforderungen an Energieszenarien:

- Energieszenariostudien müssen wissenschaftlich akzeptierte, aktuelle Methoden, Modelle und Daten zur Sicherung der **wissenschaftlichen Validität** verwenden und **ergebnisoffen** durchgeführt werden.
- Erforderlich ist eine **adressatengerechte Darstellung** von (a) Methoden, Modellen und Daten und ihrer Bedeutung für die Ergebnisse sowie (b) des Ausmaßes und der Bedeutung der Unsicherheit, mit denen die Szenarien belegt sind.
- **Einflussnahmen** der Auftraggeber (oder anderer Akteure) auf die Erstellung der Szenarien müssen **offengelegt** werden.
- Die **Ergebnisse** müssen so dokumentiert werden, dass sie für die Adressaten der Studie **nachvollziehbar** und für das wissenschaftliche Fachpublikum **replizierbar** sind.



# 1 Motivation und Zielsetzung

In der Debatte über die Gestaltung des Energiesystems spielen Energieszenarien eine zentrale Rolle. Sie sind Grundlage energiepolitischer Entscheidungen und dienen unterschiedlichsten gesellschaftlichen Akteuren als Orientierungshilfe. Typischerweise sind Energieszenarien Teile von Studien, die von wissenschaftlichen Instituten oder Beratungsunternehmen im Auftrag von Ministerien, Umweltschutzorganisationen, Verbänden, Unternehmen und anderen Organisationen erstellt werden. Solche Studien liegen schon für Deutschland in großer und ständig wachsender Zahl vor, dazu kommen solche, die die europäische oder globale Energieversorgung betrachten.<sup>1</sup>

Die meisten dieser Studien haben das Ziel, zum einen die Politik zu beraten – in der Regel zugleich der Auftraggeber – und zum anderen einen Beitrag zur öffentlichen Debatte über die Umgestaltung des Energiesystems zu liefern. Daher sind sie in der Regel öffentlich zugänglich und enthalten eine relativ allgemeinverständliche Zusammenfassung. Manche dieser Studien richten sich eher an Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger, wie etwa die letzte *Energiereferenzprognose* im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums<sup>2</sup>, andere adressieren eine breitere Öffentlichkeit, wie die Studie *Energy [R]evolution* im Auftrag und unter Beteiligung von Greenpeace<sup>3</sup>. Die vorliegen-

de Stellungnahme konzentriert sich auf Energieszenariostudien, die primär die Politik beraten möchten und erst an zweiter Stelle die Öffentlichkeit adressieren.<sup>4</sup>

Energieszenariostudien sind wissenschaftlich anspruchsvolle Gebilde. Ihr Gegenstand – das Energiesystem – ist ein komplexes System, in dem technische, ökonomische, soziale und ökologische Faktoren aufeinander wirken. Um diese Wechselwirkungen analysieren zu können, wird das System durch vereinfachende Modelle beschrieben. Hinzu kommt, dass die zukünftige Entwicklung des Energiesystems von Faktoren abhängt, die nur schwer prognostiziert werden können. Beides hat zur Folge, dass Energieszenarien mit Unsicherheiten behaftet sind. Außerdem stehen die Autorinnen und Autoren von Energieszenariostudien vor der Herausforderung, ihre Aussagen und die wissenschaftlichen Methoden, mit deren Hilfe sie erarbeitet wurden, für ihre meist außerwissenschaftlichen Adressaten nachvollziehbar zu beschreiben.

Der Ausgangspunkt für die vorliegende Stellungnahme ist die Diagnose, dass diese Herausforderung bisher zum Teil nur unzureichend gelöst wird. Defizite bestehen etwa, wenn Modelle nicht ausreichend beschrieben werden, die

<sup>1</sup> Die vorliegende Stellungnahme ist geschlechterneutral formuliert. Wir haben uns bemüht, Formulierungen zu wählen, die die Lesbarkeit des Textes nicht einschränken. Die deutsche Sprache erschwert dies jedoch an vielen Stellen. In solchen Fällen haben wir eine Einschränkung der Lesbarkeit zugunsten der Geschlechterneutralität in Kauf genommen.

<sup>2</sup> EWI et al. 2014.

<sup>3</sup> Zuletzt Greenpeace et al. 2015.

<sup>4</sup> Energieszenarien werden in vielschichtigen Prozessen erstellt und verwendet, die nicht allein von wissenschaftlichen Kriterien geleitet und deren Ziel nicht immer der Erkenntnisgewinn ist. Studien können beispielsweise auch in Auftrag gegeben werden, um bereits feststehende Überzeugungen zu untermauern. Diese Stellungnahme beabsichtigt keine Analyse solcher Vorgänge. Vielmehr steht im Zentrum, wie der Anspruch der Wissenschaftlichkeit und die hiermit verbundenen Anforderungen eingelöst werden können. Wo diese Anforderungen mit außerwissenschaftlichen Kriterien in Konflikt geraten können und wie darauf reagiert werden kann, ist Gegenstand der Stellungnahme.

verwendeten Daten und Annahmen unvollständig dokumentiert werden oder unklar bleibt, wie viel Unsicherheit in den Schlussfolgerungen steckt. Auch ist nicht immer deutlich, inwiefern Vorgaben der Auftraggeber die Ergebnisse und Schlussfolgerungen beeinflussen. In solchen Fällen bleibt die politische Zielrichtung der Studien undeutlich, und es ist schwer zu beurteilen, ob sie wissenschaftlich valide sind. Damit Energieszenarien zur demokratischen Meinungsbildung und Entscheidungsfindung beitragen können, müssen diese Defizite behoben werden. Ziel der vorliegenden Stellungnahme ist es, hierfür Ansatzpunkte aufzuzeigen.<sup>5</sup>

Die Stellungnahme richtet sich in erster Linie an diejenigen, die die Praxis der wissenschaftlichen Beratung mittels Energieszenarien gestalten. Dies sind sowohl Personen aufseiten der Auftraggeber, insbesondere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von öffentlichen Institutionen wie Ministerien, als auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die die Studien erstellen. Darüber hinaus wendet sich die Stellungnahme an alle, die Energieszenarien lesen und beurteilen wollen: beispielsweise Journalistinnen und Journalisten, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von Nichtregierungsorganisationen sowie interessierte Bürgerinnen und Bürger.

Die Stellungnahme ist wie folgt aufgebaut: Für die eiligen Leserinnen und Leser sind die Kernaussagen und die wichtigsten Anforderungen an Energieszenarien in der Zusammenfassung gebündelt. Wer vor allem an den praktischen Konsequenzen der Betrachtungen interessiert ist, kann sich auf Kapitel 4 und 5 konzentrieren. In Kapitel 4 werden die Verantwortlichkeiten seitens Auftrag-

geber und -nehmer für die Gestaltung der Beratungspraxis erläutert und in Kapitel 5 konkrete Handlungsoptionen für beide Seiten aufgezeigt. Die Verantwortlichkeiten und Optionen werden in Kapitel 2 und 3 hergeleitet und begründet. Dabei stellt Kapitel 2 den Gegenstand Energieszenarien kurz vor und Kapitel 3 erläutert die Anforderungen an sie. Kapitel 6 fasst Herausforderungen und Optionen zusammen und stellt sie in einen breiteren Kontext.

---

<sup>5</sup> Droste-Franke et al. 2015 analysieren Energieszenarien im Kontext der Entscheidungsfindung im Rahmen der Energiewende und geben ebenfalls Empfehlungen zur Weiterentwicklung der etablierten Beratungspraxis. Die vorliegende Stellungnahme erweitert diese Analyse, indem Anforderungen für Energieszenariostudien und Handlungsoptionen zu ihrer Verbesserung ausdifferenziert und konkretisiert werden.

## 2 Energieszenarien – der Gegenstand

Ein Energieszenario beschreibt eine mögliche zukünftige Entwicklung (oder einen zukünftigen Zustand) des Energiesystems. Welches System auf welche Weise im Einzelnen untersucht und beschrieben wird, hängt von der Fragestellung ab. Gegenstand kann genauso das Energiesystem einer einzelnen Stadt<sup>7</sup> sein, eines bestimmten Landes<sup>8</sup> oder auch der ganzen Welt<sup>9</sup>. Manche Szenarien beschreiben nur die Elektrizitätsversorgung, andere erfassen auch die Wärmeversorgung oder den Mobilitätssektor. Es gibt Szenarien, in denen die Finanzierbarkeit im Mittelpunkt steht, während andere vor allem die technische Machbarkeit fokussieren.

Möglich ist eine zukünftige Entwicklung, wenn sie konsistent mit dem vorliegenden Wissen über das Energiesystem und die Entwicklung der Faktoren ist, die das System beeinflussen. Damit unterscheiden sich Szenarien wesentlich von (deterministischen) Prognosen, mit denen eine zukünftige Entwicklung oder ein Zustand vorhergesagt wird.<sup>10</sup> Auch werden mit Szenarien in der Regel keine Wahrscheinlichkeiten für diese Entwicklungen oder Zustände angegeben.<sup>11</sup>

Weil das Energiesystem durch sehr viele unterschiedliche Faktoren bestimmt ist, werden für die Erstellung der Szenarien meist Computermodelle verwendet. Die Variablen des Modells beschreiben die wesentlichen Systemeigenschaften und Einflussgrößen. Dies können beispielsweise die Installations- und Betriebskosten der unterschiedlichen Energieerzeugungs- und Endnutzungstechnologien, deren technische Wirkungsgrade und die durch sie freigesetzten Kohlendioxidemissionen (CO<sub>2</sub>-Emissionen) sein. Für die Berechnung eines Szenarios werden numerische Annahmen, also Zahlenwerte, für all diejenigen Variablen benötigt, die das Modell nicht selbst berechnet. Das sind beispielsweise häufig die Brennstoffpreise, die Entwicklung der Nutzernachfrage oder die Entwicklung der Wirkungsgrade von Technologien. Durch das Festlegen dieser Annahmen wird aus dem Raum der möglichen ein bestimmtes Szenario ausgewählt. Mit dem Modell werden dann die Werte für die übrigen Variablen berechnet. Dies sind häufig zum Beispiel die Gesamt-CO<sub>2</sub>-Emissionen und die Gesamtkosten der Energieerzeugung. Die numerischen Annahmen und die Ergebnisse beschreiben dann zusammen eine Entwicklung des betrachteten Energiesystems, bilden also gemeinsam ein Szenario.

6 Dieses Kapitel basiert im Wesentlichen auf Dieckhoff et al. 2014. Eine ausführlichere Analyse dazu, wie Energieszenarien in der wissenschaftlichen Politikberatung generiert werden und welche Aussagen mit ihnen begründet werden sollen, liefert Dieckhoff 2015.

7 Zum Beispiel der Stadt Düsseldorf in der Studie WI 2012.

8 Zum Beispiel Deutschlands in verschiedenen in dieser Stellungnahme zitierten Studien.

9 Zum Beispiel der *World Energy Outlook* (IEA 2014).

10 Der Begriff „Prognose“ wird jedoch noch nicht in allen Energieszenariostudien in dieser stringenten Weise vom Begriff „Szenario“ unterschieden.

11 Gelegentlich werden die präsentierten Szenarien in Energieszenariostudien als „wahrscheinliche“ charakterisiert, ohne dass diese Wahrscheinlichkeit quantifiziert wird. Es ist dann jedoch in der Regel unklar, wodurch sich diese „wahrscheinlichen“ Szenarien gegenüber den „weniger wahrscheinlichen“ auszeichnen. Vielmehr scheint hiermit gemeint zu sein, dass „relevante“ Szenarien betrachtet werden – aber auch die Kriterien dieser Relevanz bleiben in der Regel unklar.

Meistens werden in einer Energieszenariostudie mehrere mögliche Entwicklungen berechnet, indem für unterschiedliche Sätze von Annahmen Berechnungen mit einem Modell durchgeführt werden. Typischerweise ist das Ziel einer Studie, die Möglichkeit dieser Entwicklungen nachzuweisen oder mögliche Konsequenzen bestimmter energiepolitischer Maßnahmen oder anderer Ereignisse zu bestimmen. Die Studie *Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050* gibt beispielsweise an, ein technisch mögliches deutsches Energiesystem im Jahr 2050 zu beschreiben, in dem der Ausstoß von Treibhausgasen gegenüber 1990 um 95 Prozent reduziert ist.<sup>12</sup> Die *Trendstudie Strom 2022 – Belastungstest für die Energiewende* gibt an, die Konsequenzen unterschiedlicher Risikofaktoren zu beschreiben, wie etwa eine bis 2022 konstant bleibende statt sinkende Stromnachfrage.<sup>13</sup>

Einen kritischen Aspekt bei der Erstellung von Energieszenarien stellen Unsicherheiten im verfügbaren Wissen dar. Dies gilt zum einen für die Entwicklung einzelner Parameter – meist als „Parameterunsicherheiten“ bezeichnet – und zum anderen für die Wechselwirkungen dieser Parameter, die sich in der Modellbildung niederschlagen und als „Modellunsicherheiten“ bezeichnet werden. Die erstgenannte Art von Unsicherheiten steckt vor allem in den numerischen Annahmen, die für die Berechnungen getroffen werden müssen. Die Herausforderung besteht darin, dass hier Werte für teilweise sehr weit in der Zukunft liegende Zeitpunkte festgelegt werden müssen. Jedoch lassen sich viele Größen wie etwa der Ölpreis nur schwer vorhersehen.<sup>14</sup> Modellunsicher-

heiten können bereits durch die Wahl der System- und damit der Modellgrenzen auftauchen, da hierbei relevante Aspekte ausgeblendet werden können. Die genaue Formulierung des Modells durch Gleichungen, Algorithmen und Computerprogramme, die bestimmte Wechselwirkungen realer Größen beschreiben sollen, kann eine zweite Art von Modellunsicherheit bergen. Insbesondere die Beschreibung von ökonomischen oder sozialen Wechselwirkungen kann wegen begrenzter Ressourcen häufig nur ungenau erfasst werden.

Werden in einer Studie nur qualitative Szenarien erstellt („narrative“ Szenarien), kommt in der Regel kein Computermodell zum Einsatz. Das Erstellen solcher Szenarien ist vor allem dann sinnvoll, wenn die zu beschreibenden Entwicklungen besonders unsicher sind oder keine Kausalbeziehungen bekannt sind, die eine formale Modellierung erlauben. Beanspruchen diese Szenarien jedoch, wissenschaftlich fundiert mögliche Entwicklungen zu beschreiben, so muss auch für diese Szenarien gezeigt werden können, dass sie konsistent mit dem verfügbaren Wissen sind. In der Politikberatung im Energiebereich spielen solche Szenarien bisher eine untergeordnete Rolle.

Eine Energieszenariostudie entsteht typischerweise, indem ein Auftraggeber – etwa ein Ministerium, ein Verband oder ein Unternehmen – einen Auftragnehmer – also ein wissenschaftliches Institut oder Beratungsunternehmen – mit der Erstellung der Studie beauftragt. Vereinfacht gesagt handelt es sich hierbei um einen Dialog zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer, bei dem der Auftraggeber eine energiepolitische Fragestellung formuliert, die der Auftragnehmer mit seinen wissenschaftlichen Mitteln beantwortet.

12 UBA 2013. Dabei werden nicht nur die Emissionen erfasst, die durch die Energiebereitstellung entstehen, sondern auch die aus der Landwirtschaft und anderen Sektoren.

13 EWU 2013.

14 Gelegentlich bezeichnet der Ausdruck „Parameterunsicherheit“ nur die Unsicherheit der sogenannten Modellparameter. Hierbei handelt es sich in der Regel um diejenigen Modellgrößen, deren numerische Werte durch Kalibrierung oder statistische Schätzung bestimmt werden und dann als Teil der Systembeschreibung angesehen werden.

### 3 Anforderungen an Energieszenarien

Energieszenariostudien sollen belastbares Wissen über den Gestaltungsspielraum im Energiesystem für politische Entscheidungen und die öffentliche Debatte zur Verfügung stellen. Damit sie diese Aufgaben erfüllen können, müssen sie drei grundlegende Anforderungen erfüllen. Diese gelten in ihrer allgemeinen Form für jede Form der wissenschaftlichen Politikberatung. In diesem Kapitel werden diese Anforderungen zunächst grob umrissen und anschließend für den Gegenstand Energieszenarien konkretisiert.

Die vorliegende Stellungnahme orientiert sich dabei an etablierten Kodizes und Leitlinien. Das sind in erster Linie die *Leitlinien Politikberatung* der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften<sup>15</sup>, die *Vorschläge zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis* der Deutschen Forschungsgemeinschaft<sup>16</sup>, die *Leitlinien für die Politik- und Gesellschaftsberatung* der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften<sup>17</sup> sowie die *Standards und Gütekriterien der Zukunftsforschung*<sup>18</sup>.

Erstens gilt, dass die Ergebnisse, die in Energieszenariostudien präsentiert werden, **wissenschaftlich valide** sein

müssen. Die Methoden, Datengrundlagen und insbesondere Modelle zu ihrer Erstellung müssen also in der wissenschaftlichen Fachgemeinschaft als geeignet für die Beantwortung der jeweiligen Fragestellung angesehen werden. Schlussfolgerungen einer solchen Studie müssen gut begründet und nachvollziehbar sein. Unsicherheiten müssen kenntlich gemacht und ihre Relevanz für die Belastbarkeit der Ergebnisse deutlich gemacht werden. Der Umstand, dass Energieszenarien Möglichkeitsaussagen treffen, stellt hierbei eine besondere Herausforderung dar.

Zweitens müssen diese Studien **transparent** sein. Transparent ist eine Studie dann, wenn alle Informationen gegeben sind, damit ihre Adressaten sie nachvollziehen und andere Wissenschaftler sie hinterfragen können. Grundsätzlich ist zu fordern, dass Studien, die öffentlich finanziert werden, immer veröffentlicht werden – selbst wenn die Ergebnisse nicht den Erwartungen des Auftraggebers entsprechen. Die Veröffentlichung der Studie allein reicht jedoch nicht aus. Vielmehr sollte das gewählte Vorgehen und die Argumentation – insbesondere die Begründung von Schlussfolgerungen auf Basis von Modellergebnissen – in der Dokumentation mindestens nachvollziehbar dargestellt werden. Besonders wichtig ist dabei das Offenlegen von normativen Annahmen. Dem Fachpublikum sollte auch die Replizierbarkeit der Ergebnisse ermöglicht werden. Da die Studien typischerweise unterschiedliche Adressatenkreise haben, sollte außerdem eine adressatenspezifische Dokumentation und Kommunikation der Studien erfolgen.

<sup>15</sup> Weingart et al. 2008. Die Leitlinien befassen sich mit Politikberatung, die in formal organisierten Gremien stattfindet – wie etwa Enquete-Kommissionen oder Ethikräten (ebd. S. 12). Damit sind die in ihr formulierten Prinzipien nicht ohne weiteres auf den Gegenstand dieser Stellungnahme übertragbar. Während etwa das Prinzip der Transparenz (zusammen mit dem Prinzip der Öffentlichkeit) hier übernommen wird, bleibt das Prinzip der Pluralität der Gremien unbeachtet. Das Prinzip der Distanz wird in abgewandelter Form als Anforderung der Ergebnisoffenheit thematisiert.

<sup>16</sup> DFG 2013.

<sup>17</sup> acatech 2010.

<sup>18</sup> Gerold et al. 2015.

Drittens müssen sie **ergebnisoffen** erstellt werden. Insbesondere bedeutet dies, dass der Auftraggeber keinen unlauteren Einfluss auf die Ergebnisse und Schlussfolgerungen haben darf, etwa indem er die Methodenwahl beschränkt und damit bestimmte Ergebnisse präjudiziert oder indem er darauf hinwirkt, dass unliebsame Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus der Dokumentation ausgeschlossen werden. Im Fall von Energieszenarien liegt eine besondere Gefahr in der einseitigen Wahl von Annahmen. Diese Anforderung gilt auch für den Auftragnehmer: Er muss dafür Sorge tragen, dass die Ergebnisse auch nicht von seiner Seite verzerrt werden, etwa indem er eigene normative Überzeugungen einfließen lässt, ohne dies zu kennzeichnen.<sup>19</sup>

Im Folgenden werden die drei grundlegenden Anforderungen für den Gegenstand der Energieszenarien spezifiziert. Hierbei wird auf eine idealisierte Betrachtung zurückgegriffen, wonach eine Energieszenariostudie typischerweise in drei Phasen erstellt wird, in denen jeweils unterschiedliche Anforderungen besonders relevant sind: In der ersten Phase werden die Szenarien erstellt, indem ein Computermodell aus numerischen Daten und Annahmen numerische Ergebnisse berechnet. In der zweiten Phase werden diese Modellrechnungen interpretiert, und es werden Schlussfolgerungen aus den unterschiedlichen Rechenläufen gezogen. In der dritten Phase werden die Modellrechnungen zusammen mit den Schlussfolgerungen in einer Studie und weiteren Dokumenten festgehalten.<sup>20</sup>

Für qualitative Szenarien gelten diese Anforderungen ebenfalls – mit der Einschränkung, dass diese natürlich nicht

im numerischen Sinne reproduziert werden können. Die Anforderung der Reproduzierbarkeit meint bei qualitativen Szenarien, dass diese in sich schlüssig und nachvollziehbar dokumentiert werden müssen. Hierzu müssen insbesondere die unterstellten Kausalbeziehungen transparent gemacht werden.

### 3.1 Anforderungen an die Erstellung von Energieszenarien

Maßgebliche Anforderung für das Erstellen von Energieszenarien ist die wissenschaftliche Validität: Einerseits ist sicherzustellen, dass Methoden verwendet werden, die in der Wissenschaft für den Umgang mit der jeweiligen Fragestellung anerkannt sind. Andererseits muss auch ihr Einsatz gemäß wissenschaftlichen Standards erfolgen. Auch wenn Energieszenarien Produkte der wissenschaftlichen Politikberatung sind, müssen sie also den Anforderungen der jeweiligen wissenschaftlichen Fachgemeinschaft und den allgemeinen Standards guter wissenschaftlicher Arbeit<sup>21</sup> genügen.

Bei Energieszenariostudien ist besonderes Augenmerk auf die verwendeten Modelle zu legen. Schließlich gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Ansätze, die für unterschiedliche Fragestellungen mehr oder weniger gut geeignet sind.<sup>22</sup> Wichtig ist, dass jeweils kenntlich gemacht wird, mit welchen Unsicherheiten die verwendeten Modelle behaftet

<sup>20</sup> In der Realität werden vor allem die erste und zweite Phase häufig mehrmals iterativ durchlaufen, etwa weil numerische Annahmen nach der Interpretation der Rechenergebnisse verändert und neue Rechenläufe durchgeführt werden. Das Schlussfolgern aus Energieszenarien ließe sich aus analytischer Sicht auch als Teil der ersten Phase beschreiben. Darüber hinaus könnten die Schlussfolgerungen genauso als Teil der Dokumentation behandelt werden. Weil jedoch die Schlussfolgerungen aus Energieszenarien von herausragender Bedeutung für deren Verwendung in der Politik- und Gesellschaftsberatung sind, wird das Schlussfolgern hier als eigene Phase der Erstellung und auch in einem eigenen Abschnitt behandelt.

<sup>21</sup> Siehe insbesondere DFG 2013.

<sup>22</sup> Einen Überblick über die Ansätze liefern Mai et al. 2013.

<sup>19</sup> Streng genommen handelt es sich bei der Ergebnisoffenheit um einen spezifischen Aspekt wissenschaftlicher Validität und könnte somit auch in dieser Anforderung subsumiert werden. Da dieser Aspekt jedoch überaus wichtig ist, wird die Anforderung Ergebnisoffenheit hier eigens betrachtet.

sind und wie diese die Ergebnisse und Schlussfolgerungen in ihrer Aussagekraft begrenzen. Eine Möglichkeit, um das Ausmaß von Modellunsicherheiten abzuschätzen, sind Modellvergleichsrechnungen. Hierbei werden Rechnungen mit unterschiedlichen Modellen, aber äquivalenten Eingangsdaten durchgeführt. Die Varianz in den Ergebnissen gibt dann einen Hinweis auf die Modellunsicherheiten. Zwar gab es in der Vergangenheit eine Reihe von Modellvergleichsanalysen auch für Modelle, die in der Beratung der deutschen Politik verwendet wurden.<sup>23</sup> Derzeit finden solche Rechnungen aber vor allem auf globaler Ebene im Rahmen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) statt, das sich in der Energiesystemanalyse wesentlich auf die Modellvergleichsrechnungen des Energy Modeling Forum (EMF) der Universität Stanford stützt.<sup>24</sup>

Neben Modellunsicherheiten stellen auch Parameterunsicherheiten eine Herausforderung für die Sicherstellung von wissenschaftlicher Validität und Ergebnisoffenheit dar. Für viele Faktoren, die die Entwicklung des Energiesystems bestimmen, können für mögliche zukünftige Werte nur Spannen angegeben werden. Idealerweise würden in einer Studie alle möglichen Wertekombinationen für sämtliche dieser Spannen berechnet und der Raum der im Rahmen des jeweiligen Modells möglichen Entwicklungen damit vollständig ausgeleuchtet werden. Weil das bei umfangreicheren Modellen enorme Rechenkapazitäten voraussetzt, ist das bislang in der Beratungspraxis nicht üblich. Stattdessen werden bestimmte Werte aus den Wertespannen herausgegriffen – es werden also numerische Annahmen getroffen – und damit eine Auswahl von Szenarien aus dem jeweiligen Möglich-

keitsraum berechnet.<sup>25</sup> Zusätzlich werden Sensitivitätsanalysen für diejenigen Faktoren durchgeführt, die als besonders unsicher, zugleich aber auch ergebnisrelevant angesehen werden.

Das Festlegen der Annahmen ist für das Erstellen der Studien also ein zentraler Schritt. Schließlich wird dadurch maßgeblich bestimmt, welche Szenarien überhaupt betrachtet werden. Szenarien, die die Schlussfolgerungen einer Studie weniger eindeutig erscheinen lassen oder ihnen sogar widersprechen, können so ausgeblendet werden. Auf diese Weise würde die Ergebnisoffenheit der Studie beschränkt werden. Von entscheidender Bedeutung ist es also, die Auswahlkriterien für die Annahmen und damit für die Szenarien offen zu legen. Es sollte deutlich gemacht werden, wo innerhalb der Spannen der möglichen die gewählten Werte liegen und warum gerade sie gewählt wurden.

Dabei sollte auch offengelegt werden, inwiefern normative Kriterien die Auswahl beeinflusst haben, etwa wenn nur Szenarien betrachtet wurden, die bestimmten Zielen entsprechen oder innerhalb bestimmter Grenzwerte liegen. Beispielsweise definierte der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2003 in einer Studie eine Reihe normativer „Leitplanken“ für eine nachhaltige Energiewende. Er schlägt darin beispielsweise vor, nur Szenarien als akzeptabel anzusehen, in denen arme Haushalte maximal ein Zehntel ihres Einkommens zur Deckung des elementaren individuellen Energiebedarfs ausgeben müssen.<sup>26</sup> Darüber hinaus sollte klar erkennbar sein, wer die normativen Vorgaben festlegt. In der Regel ist dies der Auftraggeber einer Studie, etwa wenn Szenarien untersucht

<sup>23</sup> Gemeint sind die sogenannten Modellexperimente des Forums für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland, zuletzt FORUM 2007.

<sup>24</sup> Einen Überblick der letzten Modellvergleichsrechnungen des EMF bieten Weyant/Kriegler 2014.

<sup>25</sup> Das Konzept des „Möglichkeitsraumes“ wird in Dieckhoff et al. 2014, Kapitel 2.2 und 2.3 näher erläutert.

<sup>26</sup> WBGU 2003, S. 3.

werden, die bestimmte politische Ziele erfüllen. Selbstverständlich kann auch der Auftragnehmer normative Setzungen festlegen – wenn er das offenlegt.<sup>27</sup>

Es liegt bei den beteiligten Akteuren, insbesondere beim Auftragnehmer, die in diesem Abschnitt beschriebene Anforderung einzulösen. Nach außen wirksam wird das jedoch erst, wenn eine Studie auch von unabhängiger Seite beurteilt werden kann. Die wichtigste etablierte Möglichkeit hierfür ist eine transparente Dokumentation. Eine andere, bisher nur wenig genutzte Möglichkeit sind eigenständige Qualitätssicherungsmechanismen in der wissenschaftlichen Beratung – etwa indem für Energieszenariostudien ein Begutachtungsverfahren eingeführt wird.

Darüber hinaus stellt – wie in vielen wissenschaftlichen Bereichen – der gemeinschaftliche Aufbau und Erhalt von Wissen in der derzeitigen Praxis eine Herausforderung dar: Energieszenarien werden im Wesentlichen in Beratungsprojekten erstellt, häufig unter Beteiligung unterschiedlicher Institute mit verschiedenen Kompetenzen. Gerade das Wissen, das sich durch die Kooperation – beispielsweise durch die Kombination unterschiedlicher Modelle – ergibt, geht nach Projektende häufig rasch verloren. Es besteht deshalb ein Bedarf, den wissenschaftlichen Austausch innerhalb der Community der Ersteller von Energieszenarien zu stärken. Einen wichtigen Schritt hierzu stellt das jüngst eingerichtete Forschungsnetzwerk Energiesystemanalyse dar.<sup>28</sup>

### 3.2 Anforderungen an Schlussfolgerungen aus Energieszenarien

Die zentrale Herausforderung beim Schlussfolgern aus Energieszenarien besteht darin, dass die Kompetenz zur Interpretation der Energieszenarien – also unter anderem der Ergebnisse der Modellrechnungen – in erster Linie beim Auftragnehmer einer Studie liegt. Wie die *Leitlinien Politikberatung* der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften hervorheben, wird jedoch die Deutung der Ergebnisse – zu Recht – auch vom Auftraggeber beansprucht. Dieses asymmetrische Verhältnis ist grundsätzlich konfliktträchtig.<sup>29</sup> Die Herausforderung besteht darin, sicherzustellen, dass die aus den Szenarien gezogenen Schlussfolgerungen durch die Methode und die Ergebnisse gestützt werden – also wissenschaftlich valide sind. Gleichzeitig muss im Dialog von Auftraggeber und Auftragnehmer die Relevanz der Schlussfolgerungen sichergestellt werden – ohne die Ergebnisoffenheit der Analyse zu gefährden. Letztlich ist auch hier eine transparente Darstellung die beste Antwort auf diese Herausforderung. Es reicht also nicht aus, allein das Vorgehen zu dokumentieren – etwa indem beschrieben wird, wie mit einem Modell bestimmte Ergebnisse berechnet wurden. Vielmehr muss auch die Argumentation nachvollziehbar dargestellt werden, die auf dieses Vorgehen zurückgreift. Nur so ist es Dritten möglich, die Argumentation zu hinterfragen.<sup>30</sup>

Bei Energieszenariostudien erwächst eine besondere Herausforderung daraus, dass Szenarien Möglichkeitsaussagen treffen und damit in besonderem Maß anfällig für Fehlinterpretationen

<sup>27</sup> Näheres zu normativen Annahmen findet sich in Dieckhoff et al. 2014, Kapitel 2.4. Hier wird insbesondere auch auf die Unterscheidung explorativer und normativer Szenarien beziehungsweise der Methoden des Fore- und Backcasting eingegangen.

<sup>28</sup> Vgl. PTJ 2015, die Webseite des Forschungsnetzwerks.

<sup>29</sup> Weingart et al. 2008, S. 12.

<sup>30</sup> Wie die Argumentation einer Energieszenariostudie als Argument rekonstruiert werden kann, zeigen Dieckhoff et al. 2014 in Kapitel 2.8 in einem Beispiel. Eine umfassende Analyse liefert dazu Dieckhoff 2015.



sind. Grundsätzlich gilt: Aus dem Nachweis der Möglichkeit einzelner Szenarien kann nicht ohne Weiteres geschlossen werden, dass andere Szenarien möglich oder unmöglich sind. So kann beispielsweise eine Studie zeigen, dass es möglich ist, auf bestimmten Entwicklungspfaden einen bestimmten Zielzustand des Energiesystems im Jahr 2050 zu erreichen. Das bedeutet aber noch nicht, dass es nicht andere mögliche – und vielleicht bessere – Entwicklungspfade gibt, die zum gleichen Ziel führen. Ähnliches gilt, wenn robuste Entwicklungen oder Maßnahmen identifiziert werden, indem die Gemeinsamkeiten mehrerer Szenarien identifiziert werden. Diese sind nur dann robust, wenn in der Analyse alle relevanten möglichen Entwicklungen berücksichtigt wurden.<sup>31</sup>

Energieszenarien werden auch dazu verwendet, Handlungsempfehlungen zu begründen. Eine Handlungsempfehlung ist grundsätzlich eine normative Aussage. Szenarien selbst sind aber zunächst nur deskriptive Aussagen darüber, was als möglich angesehen wird. Um Handlungsempfehlungen mithilfe von Szenarien zu begründen, sind deshalb zwei Schritte nötig: Erstens muss begründet werden, dass die betrachteten Szenarien möglich sind – dies geschieht unter anderem mithilfe von Modellen. Zweitens muss mindestens eine normative Aussage getroffen werden, die beispielsweise die Bewertung der Szenarien erlaubt. Diese geht als Prämisse in die Begründung der Handlungsempfehlung ein. So könnte beispielsweise gefordert werden, dass von allen betrachteten Szenarien dasjenige realisiert werden sollte, in dem die Gesamtkosten am niedrigsten sind. Wichtig ist, dass solche normativen Prämissen ebenfalls in einer Studie offengelegt und als solche kenntlich gemacht werden.

### 3.3 Anforderungen an die Dokumentation von Energieszenarien

Das wichtigste Mittel, um die Anforderung der Transparenz zu erfüllen, ist die angemessene Dokumentation der Energieszenarien. Vorträge oder Fachgespräche können diese ergänzen. Meist ist Transparenz die Voraussetzung dafür, die anderen Anforderungen zu erfüllen. So kann eine Studie im Grunde erst dann ergebnisoffen erstellt werden, sobald die Annahmen und Auswahlkriterien für die Szenarien transparent gemacht werden.

Um Transparenz zu gewährleisten, muss die Dokumentation einer Studie zwei Anforderungen erfüllen: Erstens muss der Adressat der Studie sie **nachvollziehen** können. Zweitens muss es unabhängigen Wissenschaftlern möglich sein, die Studie zu überprüfen – die Studie muss also **replizierbar** dokumentiert werden.

Um Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten, gilt für die Dokumentation folgende Mindestanforderung: Es muss für die Adressaten verständlich sein, welche Methoden – insbesondere welche Modelle – verwendet wurden und wie man mit ihrer Hilfe aus empirischen Daten und Annahmen zu den Ergebnissen gekommen ist. Das allein ist jedoch nicht ausreichend, denn darüber hinaus muss verständlich gemacht werden, wie auf dieser Grundlage argumentiert wird. Insbesondere muss deutlich sein, wie die Schlussfolgerungen der Studie mit den Annahmen und Ergebnissen zusammenhängen und mit welchen Unsicherheiten sie behaftet sind. Außerdem sollte die Dokumentation alle Angaben enthalten, die der Adressat benötigt, um die Studie in den energiepolitischen Kontext einzuordnen. Das ist insbesondere bei Fragestellung und Schlussfolgerungen wichtig, aus denen ersichtlich sein sollte, ob beispielsweise auf die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung Bezug genommen

<sup>31</sup> Eine ausführlichere Darstellung liefern hierzu Dieckhoff et al. 2014.

wird. Überdies sollte die Studie es dem Adressaten erlauben, sie in den wissenschaftlichen Kontext einzuordnen. Wichtig ist dabei, andere relevante Studien zu nennen sowie deren Ergebnisse und Methoden mit denjenigen der eigenen Studie in Bezug zu setzen – was gleichzeitig zum gemeinschaftlichen Aufbau von Wissen innerhalb der Fachgemeinschaft beiträgt. In der Dokumentation muss außerdem kenntlich gemacht werden, welche Setzungen und Prämissen in die Studie eingegangen sind und wer ihr Urheber ist. Insbesondere muss erläutert werden, welchen Einfluss der Auftraggeber oder andere Akteure auf die Studie und ihre Ergebnisse hatten. Die Anforderung der Replizierbarkeit erweitert diese Punkte darin, dass die verwendeten Methoden, Daten, Annahmen und Ergebnisse so nachvollziehbar dargestellt werden, dass unabhängige Wissenschaftler die Ergebnisse reproduzieren können.

Eine Herausforderung besteht darin, dass sich die Adressaten je nach Studie unterscheiden können und sich überdies verschiedene Teile derselben Studie in der Regel an unterschiedliche Adressaten richten.<sup>32</sup> Die zusätzliche Anforderung besteht also darin, dass Dokumentation und Kommunikation – also letztlich alle Mittel der Transparentmachung – **adressatenspezifisch** erfolgen. Diese Anforderung wurde im Projekt NUSAP für wissenschaftliche Beratung insgesamt ausgearbeitet. An den Ergebnissen dieses Projektes, besonders dem *Guide for Uncertainty Communication*<sup>33</sup>, orientieren sich die folgenden Überlegungen. Zunächst gehen wir davon aus, dass eine typische Energieszenariostudie zwei Adressatenkreise hat: erstens Öffentlichkeit und Auftraggeber der Studie und zweitens das Fachpublikum, also Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem Bereich der Ener-

giesystemanalyse und Energieökonomik. Studien, die den Anspruch haben, zur wissenschaftlichen Debatte beizutragen, müssen zur Erfüllung der Replizierbarkeit immer die Wissenschaft als Adressaten berücksichtigen, wenn auch nicht als den primären.

Für jede Energieszenariostudie ist es nötig, fallspezifisch Adressatenkreise und für diese passende Kommunikationsmittel auszuwählen. Hierbei hilft das Konzept der „Progressive Disclosure of Information“ (PDI).<sup>34</sup> Seine Kernidee besteht darin, zwischen mehreren Ebenen („layers“) von Informationen, die in einer Studie zur Verfügung gestellt werden sollen, zu unterscheiden und diese den jeweiligen Adressatenkreisen zuzuordnen. Die äußerste Ebene bilden Informationen, die im Wesentlichen die Öffentlichkeit adressieren und dementsprechend allgemeinverständlich formuliert sind. Die innerste Ebene beinhaltet dagegen spezifische Informationen, deren Verständnis Fachwissen voraussetzt. Entscheidend ist dabei, dass mit weiter innen liegender Ebene nicht einfach Details hinzugefügt werden. Vielmehr wird auch die Form der Kommunikation an den jeweiligen Adressatenkreis der Ebene angepasst – und das umfasst neben den Inhalten auch Textsorten und Darstellungsformen.

Grundsätzlich ist es die Aufgabe von Auftraggeber und Auftragnehmer, diese Ebenen für jede Studie gemeinsam festzulegen. Hierzu müssen erstens die Adressatenkreise, zweitens die relevanten Informationen, die für jeden dieser Adressaten relevant sind, und drittens die dann angemessenen Darstellungs- und Kommunikationsformen festgelegt werden. Wie viele Ebenen sinnvoll sind, muss

<sup>32</sup> Mit dieser Herausforderung befasst sich aus allgemeinerer Perspektive auch das Symposium „Sprache der Wissenschaft“, dokumentiert in Leopoldina 2015.

<sup>33</sup> Wardekker et al. 2013.

<sup>34</sup> Wir beziehen uns im Wesentlichen auf dessen Anwendung und Ausgestaltung in Wardekker et al. 2013, insbesondere S. 14–16. Außerdem wurde dessen Hintergrundstudie Klopogge et al. 2007 hinzugezogen. Beide Quellen schreiben das PDI-Konzept Pereira/Quintana 2002 zu.

im Einzelfall entschieden werden. Richtet sich eine Energieszenariostudie an unterschiedliche Adressatentypen, kann es sinnvoll sein, innerhalb einer Studie unterschiedliche Abschnitte für verschiedene Adressaten zu formulieren. Beispielsweise könnte dann die Zusammenfassung der Studie allgemeinverständlich formuliert werden, während der Haupttext der Studie anspruchsvoller ist.<sup>35</sup> Gemäß der zuvor identifizierten beiden Adressatenkreise einer typischen Energieszenariostudie werden im Folgenden zwei Ebenen unterschieden.

Die **äußere Ebene einer typischen Energieszenariostudie** adressiert die Öffentlichkeit sowie den Auftraggeber. Für sie sollte die Anforderung der **Nachvollziehbarkeit** erfüllt werden. Die Adressaten innerhalb dieser Kommunikationsebene können sich je nach Studie deutlich unterscheiden. Ist das die Öffentlichkeit und damit auch Personen ohne spezifisches Fachwissen, sind die genannten Inhalte allgemeinverständlich zu formulieren. Sind es jedoch Personen, die über Fachwissen verfügen und die Studie fachlich einordnen können sollen, kann diese auch Fachvokabular enthalten. Informationen der äußeren Kommunikationsebene finden sich typischerweise in Pressemitteilungen und in der Zusammenfassung der Studie.

Eine spezifische Herausforderung ist das Nachvollziehbarmachen von Unsicherheiten für ein nicht-wissenschaftliches Publikum, das typischerweise in der äußeren Kommunikationsebene einer Energieszenariostudie adressiert wird. Hierzu geben der *Guide for Uncertainty Communication*<sup>36</sup> und auch die entspre-

chenden Leitlinien des IPCC<sup>37</sup> Hinweise. Eine Adaption dieser Richtlinien für Energieszenarien kann hier nicht geleistet werden. Wichtig ist jedoch, dass auch in der äußeren Kommunikationsebene die wesentlichen Unsicherheiten und deren Einfluss auf die Schlussfolgerungen für Laien verständlich dargestellt werden müssen. Die Sprache ist dabei entsprechend anzupassen. Beispielsweise sind numerische Angaben für ein außerwissenschaftliches Publikum in der Regel schwerer verständlich als verbale Formulierungen.<sup>38</sup>

Die **innere Ebene einer solchen Studie** adressiert Personen, die das Zustandekommen der Ergebnisse einschließlich der Methoden genau nachvollziehen wollen. Bei Energieszenarien handelt es sich dabei typischerweise um Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der Energiesystemanalyse oder Energieökonomik. Diesem Publikum sollte die **Replizierbarkeit** der Ergebnisse ermöglicht werden. Geeignete Mittel, um diese Informationen darzustellen, sind die Anhänge einer Studie, zitierte Fachliteratur sowie ergänzende Dokumentationen, die etwa im Internet zur Verfügung gestellt werden.

In der Praxis steht die Replizierbarkeit der Ergebnisse vor erheblichen Hindernissen finanzieller und praktischer Natur. Bei manchen der verwendeten Modelle und Datensätze handelt es sich um kommerzielle Produkte, die von den Auftragnehmern erworben und dann für die Erstellung der Studien verwendet werden. Oft verbieten dann Verträge, diese Modelle und Daten offenzulegen. In anderen Fällen sind die Modelle und Daten eigene Entwicklungen beziehungsweise Erhebungen der Institute und machen damit einen großen Teil ihres Betriebskapitals aus – wobei gerade der Ressourcenauf-

<sup>35</sup> Als Optionen für die Dokumentation einer Energieszenariostudie stehen Presstexte, die Zusammenfassung für Entscheidungsträger, der Haupttext der Studie, der Anhang zum Haupttext, Fachliteratur sowie Dokumente und Datenbanken im Internet zur Verfügung. Vgl. auch Wardekker et al. 2013, insbesondere S. 14.

<sup>36</sup> Wardekker et al. 2013.

<sup>37</sup> Mastrandrea et al. 2011.

<sup>38</sup> Vgl. insbesondere Wardekker et al. 2013, S. 18–25.

wand für die Datenerhebung und -pflege nicht zu unterschätzen ist. Die Modelle und Daten offenzulegen, würde die Wettbewerbsfähigkeit der Institute reduzieren. Doch selbst wenn ein Institut legitimiert und gewillt wäre, seine Modelle offenzulegen, indem es etwa den Quellcode veröffentlichten würde, müsste es diesen Mehraufwand aus eigener Tasche bezahlen. Für entsprechende Veröffentlichungen ist in den Projekten nämlich bisher in der Regel kein Budget vorgesehen.

Diese Hindernisse sind weitgehend durch die Rahmenbedingungen der Beratungspraxis bedingt und können vor allem durch die Auftraggeber, allen voran der staatlichen Seite, geändert werden. Die Änderung der Praxis hin zur Transparenz von Modellen und Daten wird zweifellos auf verschiedenste Widerstände stoßen. Sicherlich ist hierzu eine schrittweise Umstellung der Ausschreibungspraxis nötig, die es auch Instituten erlaubt fortzubestehen, die derzeit auf die Protektion ihrer Modelle und Daten angewiesen sind. Das macht diese Umstellung jedoch nicht weniger notwendig.

Dazu kommen praktische Herausforderungen: So ist nicht klar, wie ein komplexes Modell so dokumentiert werden kann, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die mit diesem noch nicht gearbeitet haben, es verstehen, kritisch prüfen und verwenden können. Den Quellcode ins Internet zu stellen, reicht nicht immer aus, da dieser in der Regel nicht selbsterklärend ist. Daher muss er kommentiert werden, sei es schriftlich oder durch eine Ansprechperson.

Auch die Veröffentlichung großer Datensätze ist nicht trivial, hier scheinen die Hindernisse jedoch weniger schwerwiegend zu sein. Die Entwicklung von Verfahren und Konzepten gerade für die Veröffentlichung von Modellen ist somit eine dringende Aufgabe für die Wissenschaft.

Was das Offenlegen von Modellen und Daten angeht, besteht also ein dringender Bedarf an Konzepten für das Anpassen der Rahmenbedingungen und für die praktische Umsetzung. Das Ideal ist eine wissenschaftliche Beratungspraxis, in der alle verwendeten Modelle und Daten veröffentlicht werden, etwa indem kommentierte Quelltexte und Datensätze im Internet zur Verfügung gestellt werden. Aus den genannten Gründen ist jedoch schwer abschätzbar, in welchem Umfang dieses Ziel erreicht werden kann. Eine Alternative könnte es sein, die in einer Studie verwendeten Modelle und Daten nur einem Gutachterkreis zugänglich zu machen und beispielsweise im Rahmen eines Workshops zu erläutern.<sup>39</sup>

<sup>39</sup> Die jüngst gegründete Open Energy Modelling Initiative, ein Zusammenschluss unterschiedlicher Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem Bereich der Energiemodellierung, hat ebenfalls das Ziel, Vorschläge zum Umgang mit diesen Fragen zu entwickeln (vgl. Openmod 2015).

## 4 Verantwortlichkeiten für die Umsetzung

Die Nutzung von Energieszenarien in der Öffentlichkeit wird durch drei Gruppen von Akteuren geprägt, denen unterschiedliche Verantwortlichkeiten in der Umsetzung der oben genannten Anforderungen zukommen.

- **Auftraggeber** legen durch ihre Ausschreibungen, die Auswahl von Angeboten und das Aushandeln der Auftragsdetails mit dem Anbieter die Standards und Rahmenbedingungen der Beratung auf Basis von Energieszenarien fest. Das gilt nicht nur für bestimmte Studien. Vielmehr prägen die Auftraggeber durch ihre wiederholten Ausschreibungen, was in der Beratungspraxis üblich ist. Durch ihre Ausschreibungen bestimmen sie außerdem mit, welche Szenarien insgesamt untersucht und öffentlich debattiert werden.
- **Auftragnehmer** tragen die Verantwortung, Energieszenarien gemäß den Standards der Wissenschaft und den hier formulierten Anforderungen zu erstellen und zu dokumentieren. Als Teil der wissenschaftlichen Gemeinschaft haben sie sicherzustellen, dass die Beratung mittels Energieszenarien auf Grundlage des besten verfügbaren Wissens erfolgt. Durch die Fortentwicklung der eigenen Methoden können sie mitbestimmen, wie sich die Beratungspraxis weiterentwickelt.

Die Verantwortung für gute Energieszenarien liegt also keineswegs nur bei den Auftragnehmern. Einen großen Teil davon tragen die Auftraggeber, da sie die Rahmenbedingungen vorgeben. Ginge es nur um Szenarien für strategische Entscheidungen in Unternehmen, könnte

man es bei diesen beiden Gruppen bewenden lassen. Für die wissenschaftliche Politikberatung liegt der Fall jedoch anders. Wenn ein kleiner Kreis aus Politik und Wissenschaft durch Auftragsvergabe, Auftragsbearbeitung und Umsetzung der Ergebnisse unter sich ausmache, was über die Zukunft der Energieversorgung geforscht wird, wenn dieser Kreis überdies maßgeblich steuerte, was öffentlich diskutiert wird, dann läge eine Konstellation vor, die bereits in den 1960er-Jahren als Expertokratie kritisiert wurde.<sup>40</sup> In einer stärker partizipativ orientierten Demokratie muss die Öffentlichkeit einbezogen werden, zumindest als Instanz, der gegenüber Transparenz zu gewährleisten ist. Zudem kann es sinnvoll sein, die Öffentlichkeit schon beim Formulieren von Fragestellungen für Szenariostudien einzubinden. Dieses Verständnis von Demokratie ist auch die Grundlage der hier formulierten Anforderungen an die Transparenz der Energieszenarien. Von daher ist neben Auftraggeber und -nehmer ein weiterer, freilich abstrakter Kreis von Akteuren mitzudenken:

- die **demokratische Öffentlichkeit**, verstanden als zumindest indirekter Adressat von Energieszenariostudien und vertreten durch beispielsweise politische Parteien, zivilgesellschaftliche Organisationen und Massenmedien.

Im Sinn dieser Akteursgruppe ist es besonders wichtig, eine offene Diskussion über die Inhalte von Energieszenariostudien zu ermöglichen. Dies sollte von Auftragnehmern wie -gebern aktiv ange-

<sup>40</sup> Vgl. Habermas 1968.

stoßen werden. Gerade die Auftraggeber – allen voran öffentliche Einrichtungen wie Ministerien – haben die Möglichkeit, in ihren Ausschreibungen gezielt eine adressatengerechte und transparente Darstellung der Studien für ein außerwissenschaftliches Publikum vorzugeben.

In der etablierten Praxis der Politikberatung auf Basis von Energieszenarien ist die Öffentlichkeit häufig nur indirekt beteiligt. Den Repräsentanten der Öffentlichkeit wie beispielsweise den Medien als „vierter Gewalt“ kommt deshalb eine eigene Verantwortung zu. Beispielsweise können sie einfordern, die hier beschriebenen Anforderungen einzuhalten und Missstände öffentlich machen. Insbesondere Medien sind für eine adäquate Darstellung der Studien mitverantwortlich. So dürfen sie diese nicht verfälscht oder verzerrt wiedergeben. Eine Gefahr liegt beispielsweise darin, dass Energieszenarien als Prognosen präsentiert oder zentrale Prämissen ignoriert werden. Diese Anforderungen entsprechen den üblichen Erwartungen an gute Wissenschaftskommunikation.<sup>41</sup>

---

<sup>41</sup> Formuliert sind diese beispielsweise in Leopoldina et al. 2014.

## 5 Wege zur Umsetzung

Bereits jetzt werden in der etablierten Praxis der Beratung auf Basis von Energieszenarien zahlreiche Verfahren eingesetzt, um den zuvor beschriebenen Anforderungen der wissenschaftlichen Validität, der Transparenz und der Ergebnisoffenheit gerecht zu werden. So werden beispielsweise Sensitivitätsanalysen eingesetzt, um die Ergebnisse robuster zu machen. In einigen Studien werden die verwendeten Methoden sehr ausführlich offengelegt. Wie eingangs geschildert, gelingt es aber in vielen Fällen noch nicht, die Anforderungen befriedigend zu erfüllen. Dies liegt zum Teil daran, dass noch keine umsetzbaren Konzepte existieren – etwa für die adressatenspezifische Darstellung von Unsicherheiten.

Im Folgenden werden Handlungsoptionen beschrieben, mit denen die derzeitige Praxis fortentwickelt werden kann, um die genannten Anforderungen besser zu erfüllen. Wo möglich, wird auf Beispiele verwiesen, in denen die jeweilige Option zumindest ansatzweise realisiert wird. Auch wird darauf hingewiesen, für welchen Akteur die jeweilige Handlungsoption in erster Linie relevant ist.

Bevor Handlungsoptionen beschrieben werden, die zur Verbesserung der einzelnen Anforderungen beitragen, ist eine Handlungsoption zu nennen, die sich auf alle drei Anforderungen zugleich bezieht: die **Entwicklung und Einführung von Standards für Energieszenariostudien** entsprechend der hier beschriebenen Anforderungen. Gerade staatliche Auftraggeber haben es mit ih-

ren Ausschreibungen in der Hand, Standards für öffentlich geförderte Studien einzuführen. Diese könnten in einem eigenständigen Dokument formuliert und zukünftigen Ausschreibungen als formaler Bestandteil beigelegt werden. Die vorliegende Stellungnahme ist als Ausgangspunkt für solche Standards zu verstehen. Ein wesentlicher Bestandteil sollte die Festlegung sein, welche Aspekte zwingend in welcher Form (passgenau für verschiedene Adressatengruppen) in einer Studie transparent gemacht werden müssen. Die Pflicht zur Veröffentlichung aller mit öffentlichen Mitteln finanzierten oder geförderten Studien sollte dabei eine eigenständige Vorgabe sein.

### 5.1 Optionen zur Verbesserung der wissenschaftlichen Validität

Wissenschaftliche Validität setzt die Möglichkeit einer wissenschaftlichen Qualitätskontrolle voraus. Da diese in der Politikberatung auf Basis von Energieszenarien bislang nur ansatzweise besteht, müssen zunächst geeignete Mechanismen eingeführt werden. Darüber hinaus setzt eine Qualitätskontrolle die Transparenz der Studien voraus.

Grundsätzlich hat jeder Auftraggeber die Möglichkeit, Mechanismen zur Qualitätssicherung für die eigenen Projekte einzuführen. Sinnvoller wäre aber, wenn eine Abstimmung der wichtigsten, vor allem der staatlichen Auftraggeber erfolgen würde. Die wissenschaftlichen Dachorganisationen sollten dabei einbezogen werden. Als Optionen für die Mechanismen kommen in Frage:

- a) Peer-Review im Rahmen von Veröffentlichungen in Fachzeitschriften:** Wenn Inhalte von Studien in begutachteten Fachzeitschriften veröffentlicht werden, kann der etablierte Modus wissenschaftlicher Qualitätssicherung genutzt werden. Geeignet für diese Form der Qualitätskontrolle sind vor allem Methoden und Modelle, gerade wenn diese wiederholt eingesetzt werden. Das Gleiche gilt für die Ergebnisse aus Sensitivitäts-, Modellvergleichs- und Metaanalysen. Eine praktische Einschränkung besteht darin, dass die Begutachtungsverfahren der Zeitschriften meist mehr Zeit in Anspruch nehmen als im Rahmen eines Beratungsprojekts zur Verfügung steht.

*Beispiel: Die Studie Role of Renewable Energy in Climate Mitigation: A Synthesis of Recent Scenarios<sup>42</sup> ist eine der umfassendsten vorliegenden Meta-Analysen globaler Energieszenarien und damit eine wichtige Grundlage des vierten Assessment Reports des IPCC.*

- b) Peer-Review für Studien:** Für eine Studie könnte ein von den Zeitschriften unabhängiges Peer-Review durchgeführt werden. Die Gutachterinnen und Gutachter sollten aufgrund ihrer Fachkompetenz vom Auftraggeber der Studie benannt werden.

*Beispiel: Vorbild hierfür kann das Verfahren der unabhängigen Begutachtung von Projektergebnissen der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften sein.<sup>43</sup>*

- c) Studienspezifischer Beirat (Advisory Board):** Statt eine Studie am Ende schriftlich zu begutachten, kann ein wissenschaftlicher Beirat

eingesetzt werden, der die gesamte Erstellung und die Dokumentation der Ergebnisse kritisch begleitet. Die Besetzung des Beirats hinsichtlich Disziplinen, Theorieansätzen und Methodenkompetenzen sollte der Fragestellung entsprechen.

*Beispiel: Die Erstellung der Studie Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030. Energieprognose 2009<sup>44</sup> wurde von einem vierköpfigen wissenschaftlichen Beirat begleitet, dessen Aufgabe und Mitwirkung in der Studie sehr transparent dokumentiert sind.*

- d) Permanentes Gremium:** Auch die Einrichtung eines festen Gremiums, das das Peer-Review mehrerer Studien durchführt oder als Beirat für unterschiedliche Studien fungiert, ist denkbar. Darüber hinaus könnte es die Aufgabe eines solchen Gremiums sein, die Erkenntnisse unterschiedlicher Studien zusammenzuführen. Bei der Besetzung dieses Gremiums ist daher auf eine ausreichend vielseitige Besetzung hinsichtlich Disziplinen, Theorieansätzen und Methodenkompetenzen zu achten.

*Beispiel: Das IPCC wertet die weltweite Forschung zum Klimawandel aus und bereitet sie in ihren Assessment Reports für politische Entscheidungen auf.*

Eine zweite Herausforderung für die Sicherstellung der wissenschaftlichen Validität speziell von Energieszenarien ist der Umgang mit Unsicherheiten. Bisher werden in Energieszenariostudien Modellunsicherheiten meist gar nicht behandelt. Hier könnten Konzepte, die in anderen Feldern bereits etabliert sind, auch in die Beratung auf Basis von Energieszenarien eingeführt werden, so etwa Modellvergleichsrechnungen. Parameterunsicherheiten werden

<sup>42</sup> Krey/Clarke 2011.

<sup>43</sup> acatech 2015.

<sup>44</sup> IER et al. 2010, insbesondere S. 323–326.



durch partielle Sensitivitätsanalysen und dadurch, dass jede Studie mehrere Szenarien präsentiert, zwar in der Regel bereits berücksichtigt. Es besteht aber ein Bedarf an Konzepten, um große Möglichkeitsräume umfassender zu analysieren. Es bestehen folgende Optionen:

- e) Weiterentwicklung von Methoden zur systematischen Analyse von Unsicherheiten**, insbesondere die Weiterentwicklung von Modellvergleichs-, Sensitivitäts- und Metaanalysen. Dies sollte durch entsprechende Forschungsförderung unterstützt werden.

*Beispiele: Das Energy Modeling Forum der Universität Stanford führt seit den 1970er-Jahren Modellvergleichsrechnungen durch;<sup>45</sup> in Deutschland fanden von 1999 bis 2007 mit ähnlichem Ansatz die Modellexperimente des Forums für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen statt.<sup>46</sup>*

- f) Integration beziehungsweise verstärkte Nutzung von Methoden der systematischen Analyse von Unsicherheiten in Beratungsprojekten.** Viele dieser Methoden kommen in der Wissenschaft bereits zum Einsatz. Es liegt in der Hand der Auftraggeber, sie auch in der Beratung zu etablieren, etwa indem sie das in ihren Ausschreibungen fordern.

*Beispiel: Die Szenariostudie der Enquete-Kommission Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung ist eine der wenigen Studien für Deutschland, in der Modellvergleichsrechnungen durchgeführt wurden.<sup>47</sup>*

## 5.2 Optionen zur Verbesserung der Transparenz

Transparenz ist eine Schlüsselanforderung an Energieszenarien, denn sie ist notwendige Voraussetzung für wissenschaftliche Validität und Ergebnisoffenheit. Wesentliche Hindernisse für die Gewährleistung von Transparenz bestehen darin, dass geeignete Darstellungsformate wenig entwickelt sind und ökonomische oder vertragliche Rahmenbedingungen das Offenlegen von Modellen und Daten vielfach behindern. Mindestens diese Handlungsoptionen bestehen:

- a) Entwicklung von Formaten und praktischen Leitlinien für eine adressatenspezifische Darstellung und Kommunikation von Energieszenarien:** Dabei sollte ein besonderes Augenmerk auf der adäquaten Kommunikation von Unsicherheiten und normativen Setzungen liegen. Bereits jetzt können Auftraggeber hierzu beitragen, indem sie die Darstellung und Kommunikation der Studien als eigenständigen Aspekt in die Ausschreibung aufnehmen und entsprechende Vorgaben machen. Darüber hinaus besteht ein Bedarf an systematischen Konzepten. Hier sollten interdisziplinäre Projekte zur Wissenschaftskommunikation gefördert werden, die solche Konzepte entwickeln. Ein erster Schritt könnte ein Formular zu zentralen Eigenschaften einer Studie sein, das Teil der Dokumentation zukünftiger Studien ist.

*Beispiele: Der Guide for Uncertainty Communication des NUSAP-Projekts bietet eine erste Hilfestellung an.<sup>48</sup> Ein Beispiel für eine innovative Darstellung von Energieszenarien ist das Projekt RE Futures<sup>49</sup>, in dem Ent-*

<sup>45</sup> Vgl. EMF 2015, die Webseite des Forums.

<sup>46</sup> Zuletzt FORUM 2007.

<sup>47</sup> IER et al. 2002.

<sup>48</sup> Wardekker et al. 2013.

<sup>49</sup> NREL 2015.

*wicklungsverläufe des Energiesystems der USA unter anderem in Videoanimationen dargestellt werden.*

- b) Entwicklung von Verfahren zur Integration divergierender Interessen:** Das Gelingen der Energiewende hängt maßgeblich von ihrer Akzeptanz in der Gesellschaft ab. Hier besteht der Bedarf, Verfahren für die Integration von divergierenden Interessen bei Entscheidungsprozessen zu entwickeln und anzuwenden. Dies betrifft die Erstellung von Energieszenarien unmittelbar, da sie wesentliche Grundlage dieser Aushandlung sind. Wissenschaft, Politik und Zivilgesellschaft und damit auch Auftraggeber und -nehmer sollten gemeinsam solche Verfahren entwickeln und einführen.

*Beispiele: In verschiedenen Entscheidungsprozessen im Energiebereich wurden bereits Konsultationen der Bevölkerung integriert, so etwa von der französischen Regierung bei der Erarbeitung des Gesetzes zur Transformation des französischen Energiesystems („transition énergétique“)<sup>50</sup>, von der Bundesregierung im Rahmen des beschleunigten Stromnetzausbaus in Deutschland<sup>51</sup> und von der Landesregierung Nordrhein-Westfalen bei der Entwicklung des Klimaschutzplans des Landes<sup>52</sup>.*

- c) Förderung des systemischen Verständnisses des Energiesystems in der Gesellschaft:** Jenseits der etablierten Energieszenariostudien besteht ein Bedarf, das Energiesystem, dessen Transformation und vor allem die vielen systemischen Wechselwir-

kungen für die breite Bevölkerung verständlich zu machen. Hierfür scheinen insbesondere interaktive Medien zweckmäßig, wie etwa Computerspiele („serious gaming“). Auch an Lehrmaterial ist zu denken. Diese Option ist vor allem für Auftraggeber relevant.

*Beispiele: Das Energiemodell „2050 Calculator“ der britischen Regierung wird in drei Versionen angeboten. Neben den detaillierten Modelltabellen für Experten und einer Web-basierten Version für Stakeholder gibt es eine dritte sehr leicht bedienbare Variante, die sich an Laien wendet.<sup>53</sup> Ein anderes Beispiel ist das Energiespiel ENERGETIKA 2010, in dem die Spielerinnen und Spieler ein stabiles und effizientes Energiesystem aufbauen müssen.<sup>54</sup>*

- d) Entwicklung von Formaten und praktischen Leitlinien für die Transparenz von Modellen und Daten:** Dies ist in erster Linie eine Aufgabe für die Wissenschaft. Für die Umsetzung in der Beratungspraxis bedarf es der engen Kooperation mit Auftraggebern. Insbesondere sollte ausgelotet werden, inwiefern in Beratungsprojekten Modelle und Daten etwa durch die Verwendung von Open-Source-Modellen offengelegt werden können; eine schwächere Variante wäre das Offenlegen nur gegenüber einer Gutachtergruppe.

*Beispiel: Die Open Energy Modelling Initiative dokumentiert eine Vielzahl bereits verfügbarer Open-Source-Energiemodelle und befasst sich mit praktischen und konzeptionellen Fragen ihrer Entwicklung und Anwendung.<sup>55</sup>*

<sup>50</sup> Eine grobe Beschreibung des Prozesses findet sich in Gautier 2014.

<sup>51</sup> Vgl. BNetzA 2015, die entsprechende Webseite der Bundesnetzagentur. Eine Analyse des Beteiligungsverfahrens liefern Weingarten et al. 2013.

<sup>52</sup> Vgl. MKULNV 2015, die entsprechende Webseite des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.

<sup>53</sup> Vgl. DECC 2015, die entsprechende Webseite der britischen Regierung.

<sup>54</sup> Dialogik 2010.

<sup>55</sup> Eine Liste und Beschreibung der von der Initiative registrierten Open-Source-Modelle findet sich ebenfalls unter Openmod 2015.

**e) Erstellung und Pflege eines Satzes von Referenzdaten und -annahmen für das deutsche**

**Energiesystem:** Ein solcher Referenzdatensatz könnte einerseits Daten zu wichtigen Größen enthalten, die das Energiesystem beschreiben. Andererseits könnten auch mehrere konsistente Sätze von Annahmen für die zukünftige Entwicklung dieser Größen enthalten sein. Diese Daten könnten im Rahmen der Ressortforschung erhoben und gepflegt werden. Zunächst besteht Klärungsbedarf, ob und für welche Daten und Annahmen dies sinnvoll wäre. Die Definition von Referenzannahmen bringt beispielsweise das Risiko mit sich, dass der untersuchte Möglichkeitsraum kollektiv eingeschränkt wird und damit die insgesamt diskutierten Szenarien an Diversität verlieren. Auftraggeber und Auftragnehmer sollten gemeinsam entscheiden, welche Daten und Annahmen in diesen Satz aufgenommen werden. Vermutlich können hierdurch zwei Defizite verbessert werden: Erstens würden Daten und Annahmen transparenter, wenn ein solcher Datensatz frei verfügbar wäre. Zweitens könnte ein solcher Referenzdaten- und -annahmensatz als Bezugspunkt zukünftiger Studien dienen. Wenn dann in einer bestimmten Studie Abweichungen von der Referenz kenntlich gemacht werden, würde das sowohl die Transparenz der Studien als auch ihre Vergleichbarkeit erhöhen.

*Beispiel: Mit diesem Anliegen wurde im Rahmen des IKARUS-Projekts (Laufzeit: 1990–2003) eine Datenbank zu technischen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Daten des deutschen Energiesystems erstellt.<sup>56</sup>*

### 5.3 Optionen zur Verbesserung der Ergebnisoffenheit

Energieszenariostudien, die zur wissenschaftlichen Debatte beitragen wollen, müssen wissenschaftlichen Kriterien entsprechen. Alle Festlegungen, die eine derartige ergebnisoffene Analyse einschränken, müssen in der Studie transparent gemacht werden. Das betrifft insbesondere die Auswahl der untersuchten Szenarien durch das Festlegen der Annahmen. Hier sollten die Auswahlkriterien genauso kenntlich gemacht werden wie die Rolle der beteiligten Akteure bei der Auswahl – allen voran die des Auftraggebers. Die Umsetzung liegt sowohl in den Händen der Auftragnehmer als auch der Auftraggeber. Beide Seiten sollten einfordern und aktiv fördern, dass Ergebnisoffenheit gewährleistet ist. Darüber hinaus sollte diese im Rahmen der wissenschaftlichen Qualitätskontrolle durch unabhängige Stellen überprüft werden. Die Handlungsoptionen hierfür wurden bereits in Abschnitt 5.1 formuliert.

<sup>56</sup> Vgl. die Abschlussdokumentation des Projektes Markowitz/Stein 2003.

## Fazit

Aufgabe der wissenschaftlichen Politikberatung auf Basis von Energieszenarien ist es, wissenschaftsbasierte Antworten auf energiepolitische Fragen zu geben. Eine zentrale Herausforderung für die Wissenschaft liegt darin, das Energiesystem in seiner Komplexität und mit seinen Unsicherheiten so zweckdienlich wie möglich zu beschreiben sowie daraus solide Ergebnisse zu gewinnen und Schlussfolgerungen zu ziehen. Eine zweite Herausforderung besteht darin, diese komplexen Ergebnisse so aufzubereiten, dass sie auch außerhalb der Wissenschaft verstanden, beurteilt und damit als Entscheidungsgrundlage verwendet werden können.

Um die Komplexität des Energiesystems möglichst gut zu erfassen, stehen bereits zahlreiche Methoden und Modelle zur Verfügung. Diese müssen kontinuierlich weiterentwickelt werden, etwa um die zunehmende Vernetzung des Strom-, Wärme- und Mobilitätssektors im Energiesystem erfassen zu können. Darüber hinaus ist es eine wichtige Aufgabe für die Wissenschaft, Konzepte zum Umgang mit Unsicherheiten systematisch weiterzuentwickeln.

Konkreter Handlungsbedarf besteht somit in Bezug auf die Gestaltung der Beratungspraxis selbst. Verbindliche Qualitätssicherungsmechanismen sind der Schlüssel für eine Verbesserung der wissenschaftlichen Validität. Konkrete Formate und praktische Leitlinien können dazu beitragen, die Szenariostudien adressatengerecht darzustellen und zu kommunizieren. Die wissenschaftliche Politikberatung auf Basis von Energieszenarien und damit alle beschriebenen

Handlungsoptionen können dabei nur in enger Kooperation von Auftragnehmern und Auftraggebern weiterentwickelt und umgesetzt werden. Darüber hinaus ist es erforderlich, die Öffentlichkeit und auch die erweiterte wissenschaftliche Gemeinschaft einzubeziehen. Die vorliegende Stellungnahme soll diese Kooperationen anregen.

## Literatur

### acatech 2010

Deutsche Akademie für Technikwissenschaften (acatech): *Leitlinien für die Politik- und Gesellschaftsberatung*, 2010. URL: [http://www.acatech.de/fileadmin/user\\_upload/Baumstruktur\\_nach\\_Website/Acatech/root/de/UEber\\_Uns/Leitbilder\\_und\\_Leitlinien/acatech\\_Leitlinien\\_PuG\\_2014-06.pdf](http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/UEber_Uns/Leitbilder_und_Leitlinien/acatech_Leitlinien_PuG_2014-06.pdf) [Stand: 21.05.2015].

### acatech 2015

Deutsche Akademie für Technikwissenschaften (acatech): *Qualitätsmanagement-Handbuch von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. Version 1.2*, 2015. URL: [http://www.acatech.de/fileadmin/user\\_upload/Baumstruktur\\_nach\\_Website/Acatech/root/de/UEber\\_Uns/Qualitaetsmanagement/2015-03-23\\_acatech\\_QM-Handbuch\\_1.2.pdf](http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/UEber_Uns/Qualitaetsmanagement/2015-03-23_acatech_QM-Handbuch_1.2.pdf) [Stand: 20.05.2015].

### BNetzA 2015

Bundesnetzagentur: *Offizielle Webseite*, 2015. URL: [www.netzausbau.de](http://www.netzausbau.de) [Stand: 10.07.2015].

### DECC 2015

Department of Energy and Climate Change (DECC), Government of the United Kingdom: *2050 Pathways*, 2015. URL: <https://www.gov.uk/2050-pathways-analysis> [Stand: 10.07.2015].

### DFG 2013

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG): *Vorschläge zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis. Denkschrift*, ergänzte Auflage, Weinheim: Wiley-VCH 2013.

### Dialogik 2010

Dialogik GmbH: *Energiespiel Energetika 2010*, 2010. URL: <http://www.dialogik-expert.de/de/forschung/Energiespiel.pdf> [Stand: 20.05.2015].

### Dieckhoff et al. 2014

Dieckhoff, C./Appelrath, H.-J./Fischedick, M./Grunwald, A./Höffler, F./Mayer, C./Weimer-Jehle, W.: *Zur Interpretation von Energieszenarien* (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft), München: Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech), 2014.

### Dieckhoff 2015

Dieckhoff, C.: *Modellierte Zukunft. Energieszenarien in der wissenschaftlichen Politikberatung*, Bielefeld: transcript 2015.

### Droste-Franke et al. 2015

Droste-Franke, B./Carrier, M./Kaiser, M./Schreurs, M./Weber, C./Ziesemer, T.: *Improving energy decisions. Towards better scientific policy advice for a safe and secure future energy system*, Cham et al.: Springer 2015.

### EMF 2015

Energy Modeling Forum (EMF), Stanford University: *Offizielle Webseite*, 2015. URL: <https://emf.stanford.edu/> [Stand: 10.07.2015].

### EWI 2013

Energiewirtschaftliches Institut der Universität Köln (EWI): *Trendstudie Strom 2022. Belastungstest für die Energiewende* (EWI-Berichtsteil), 2013. URL: [http://www.ewi.uni-koeln.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/Studien/Politik\\_und\\_Gesellschaft/2013/Trendstudie\\_Strom\\_2022\\_EWI\\_Endbericht\\_final.pdf](http://www.ewi.uni-koeln.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Studien/Politik_und_Gesellschaft/2013/Trendstudie_Strom_2022_EWI_Endbericht_final.pdf) [Stand: 06.10.2015].

### EWI et al. 2014

Energiewirtschaftliches Institut der Universität Köln (EWI)/Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS)/Prognos AG: *Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Endbericht* (Projekt Nr. 57/12, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie), 2014. URL: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose-endbericht,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> [Stand: 22.07.2014].

### FORUM 2007

Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland (Hrsg.): *Energiemodelle zu Innovation und moderner Energietechnik. Analyse exogenen und endogenen technischen Fortschritts in der Energiewirtschaft*, Münster: LIT 2007.

### Gautier 2014

Gautier, C.: *The French Energy Transition at a Crossroads*, 2014. URL: [http://gef.eu/uploads/media/The\\_French\\_Energy\\_Transition\\_at\\_a\\_crossroads.pdf](http://gef.eu/uploads/media/The_French_Energy_Transition_at_a_crossroads.pdf) [Stand: 20.05.2015].

### Gerold et al. 2015

Gerold, L./Holtmannspötter, D./Neuhaas, C./Schüll, E./Schulz-Montag, B./Steinmüller, K./Zweck, A. (Hrsg.): *Standards und Gütekriterien der Zukunftsforschung. Ein Handbuch für Wissenschaft und Praxis*, Wiesbaden: Springer 2015.

### Greenpeace et al. 2015

Greenpeace/Global Wind Energy Council (GWEC)/Solar PowerEurope: *Energy [R]evolution. A Sustainable World Energy Outlook*, 2015. URL: <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2015/Energy-Revolution-2015-Full.pdf> [Stand: 24.09.2015].

**Habermas 1968**

Habermas, J.: *Technik und Wissenschaft als Ideologie*, Frankfurt am Main: Edition Suhrkamp 1969.

**IEA 2014**

International Energy Agency (IEA): *World Energy Outlook 2014*, Paris: International Energy Agency 2014.

**IER et al. 2002**

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)/Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (WI)/Prognos AG: *Szenarienerstellung für die Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung“ des Deutschen Bundestages*, 2002. URL: [http://webarchiv.bundestag.de/archive/2007/0206/parlament/gremien/kommissionen/archiv14/ener/ener\\_studien.html](http://webarchiv.bundestag.de/archive/2007/0206/parlament/gremien/kommissionen/archiv14/ener/ener_studien.html) [Stand: 29.05.2015].

**IER et al. 2010**

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)/Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI)/Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW): *Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030. Energieprognose 2009*, 2010. URL: [http://en.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-projektberichte/PB\\_Energieprognose-2009.pdf](http://en.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-projektberichte/PB_Energieprognose-2009.pdf) [Stand: 29.05.2015].

**Kloprogge et al. 2007**

Kloprogge, P./Sluijs, J. P. van der/Wardekker, J. A.: *Uncertainty Communication. Issues and good practice*, 2007. URL: [http://www.nusap.net/downloads/reports/uncertainty\\_communication.pdf](http://www.nusap.net/downloads/reports/uncertainty_communication.pdf) [Stand: 24.07.2014].

**Krey/Clarke 2011**

Krey, V./Clarke, L.: „Role of Renewable Energy in Climate Mitigation: A Synthesis of Recent Scenarios“. In: *Climate Policy*, 11, 2011, S. 1–28.

**Leopoldina et al. 2014**

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina/Deutsche Akademie für Technikwissenschaften (acatech)/Union der deutschen Akademien der Wissenschaften: *Zur Gestaltung der Kommunikation zwischen Wissenschaft, Öffentlichkeit und den Medien. Empfehlungen vor dem Hintergrund aktueller Entwicklungen* (Stellungnahme), 2014. URL: [http://www.leopoldina.org/uploads/tx\\_leopublication/2014\\_06\\_Stellungnahme\\_WOeM.pdf](http://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2014_06_Stellungnahme_WOeM.pdf) [Stand: 21.05.2015].

**Leopoldina 2015**

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina: *Sprache der Wissenschaft – Sprache der Politikberatung. Vermittlungsprozesse zwischen Wissenschaft und Politik. Dokumentation des Leopoldina-Symposiums vom 15./16. Oktober 2014 in Halle (Saale)* (Diskussion), 2015. URL: [http://www.leopoldina.org/uploads/tx\\_leopublication/2015\\_Diskussionspapier\\_Sprache\\_der\\_Politikberatung.pdf](http://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2015_Diskussionspapier_Sprache_der_Politikberatung.pdf) [Stand: 21.05.2015].

**Mai et al. 2013**

Mai, T./Logan, J./Nate, B./Sullivan, P./Bazilian, M.: *Re-Assume. A Decision Maker's Guide to Evaluating Energy Scenarios, Modeling, and Assumptions*, 2013. URL: [http://iea-retd.org/wp-content/uploads/2013/07/RE-ASSUME\\_IEA-RETD\\_2013.pdf](http://iea-retd.org/wp-content/uploads/2013/07/RE-ASSUME_IEA-RETD_2013.pdf) [Stand: 21.02.2014].

**Markewitz/Stein 2003**

Markewitz, P./Stein, G. (Hrsg.): *Das IKARUS-Projekt: Energietechnische Perspektiven für Deutschland. Abschlussbericht des Projekts IKARUS* (Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt), 2003. URL: [http://juser.fz-juelich.de/record/136093/files/Umwelt\\_39.pdf](http://juser.fz-juelich.de/record/136093/files/Umwelt_39.pdf) [Stand: 10.07.2015].

**Mastrandrea et al. 2011**

Mastrandrea, M./Mach, K./Plattner, G.-K./Edenhofer, O./Stocker, T./Field, C./Ebi, K./Matschoss, P.: „The IPCC AR5 Guidance Note on Consistent Treatment of Uncertainties: A Common Approach Across the Working Groups“. In: *Climate Change*, 108, 2011, S. 675–691.

**MKULNV 2015**

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV): *Offizielle Webseite zum Klimaschutzplan*, 2015. URL: <http://www.klimaschutz.nrw.de/klimaschutz-in-nrw/klimaschutzplan/> [Stand: 10.07.2015].

**NREL 2015**

National Renewable Energy Laboratory (NREL): *Offizielle Webseite zum Projekt „Renewable Electricity Futures Study (RE Futures)“*, 2015. URL: [http://www.nrel.gov/analysis/re\\_futures/](http://www.nrel.gov/analysis/re_futures/) [Stand: 18.08.2015].

**Openmod 2015**

Open Energy Modelling Initiative: *Offizielle Webseite*, 2015. URL: <http://openmod-initiative.org/> [Stand: 17.08.2015].

**Pereira/Quintana 2002**

Pereira, Â. G./Quintana, C.: „From Technocratic to Participatory Decision Support Systems: Responding to the New Governance Initiatives“. In: *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 6:2, 2002, S. 95–107.

**PTJ 2015**

Projekträger Jülich (PTJ): *Webseite des Forschungsnetzwerks Energiesystemanalyse*, 2015. URL: <https://www.forschungsnetzwerk-energie.de/systemanalyse> [Stand: 24.09.2015].

**UBA 2013**

Umweltbundesamt (UBA): *Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050*, 2013. URL: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/treibhausgasneutrales\\_deutschland\\_im\\_jahr\\_2050\\_langfassung.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/treibhausgasneutrales_deutschland_im_jahr_2050_langfassung.pdf) [Stand: 21.05.2015].

**Wardekker et al. 2013**

Wardekker, J. A./Klopprogge, P./Petersen, A. C./Janssen, P. H./Sluijs, J. P. van der: *Guide for Uncertainty Communication*, 2013. URL: [http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/PBL\\_2013\\_Guide-for-uncertainty-communication\\_1339.pdf](http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/PBL_2013_Guide-for-uncertainty-communication_1339.pdf) [Stand: 24.07.2014].

**WBGU 2003**

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU): *Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit*, Berlin et al.: Springer 2003.

**Weingart et al. 2008**

Weingart, P./Kielmansegg, P. G./Ash, G. M./Hüttel, R. F./Kurth, R./Mayntz, R./Münkler, H./Neidhardt, F./Pinkau, K./Renn, O./Schmidt-Aßmann, E.: *Leitlinien Politikberatung*, 2008. URL: [http://www.bbaw.de/service/publikationen-bestellen/manifeste-und-leitlinien/BBAW\\_PolitischeLeitlinien.pdf](http://www.bbaw.de/service/publikationen-bestellen/manifeste-und-leitlinien/BBAW_PolitischeLeitlinien.pdf) [Stand: 24.07.2014].

**Weingarten et al. 2013**

Weingarten, E./Peters, W./Müller-Pfannenstiel, K.: „Bürgerbeteiligung in den Planungsverfahren zum Höchstspannungsnetzausbau nach EnWG und NABEG“. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 63:5, 2013.

**Weyant/Kriegler 2014**

Weyant, J./Kriegler, E.: „Preface and introduction to EMF 27“. In: *Climatic Change*, 123: 3–4, 2014, S. 345–352.

**WI 2012**

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (WI): *Szenario Düsseldorf 2050. Technologieoptionen und Pfade für ein klimaverträgliches Düsseldorf*, 2012. URL: <http://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/4382> [Stand: 21.05.2015].

## 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

Acht Arbeitsgruppen (AGs) bündeln im Akademienprojekt fachliche Kompetenzen und identifizieren relevante Problemstellungen. Interdisziplinär zusammengesetzte Ad-hoc-Gruppen erarbeiten dazu anschließend Handlungsoptionen für Politik und Gesellschaft.

### Arbeitsgruppen des Projekts

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

### AG Szenarien

Die nachfolgend genannte Gruppe von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern hat die vorliegende Stellungnahme erarbeitet, die vier Gutachtern vorgelegt wurde. Deren Anmerkungen fanden in der Schlussfassung ebenso Berücksichtigung wie Kommentare aus dem Kuratorium des Akademienprojekts und dem Ständigen Ausschuss der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina.

Prof. Dr. Armin Grunwald (AG-Leiter)	Karlsruher Institut für Technologie
Prof. Dr. Hans-Jürgen Appelrath	Universität Oldenburg
Dr. Christan Dieckhoff (Wissenschaftlicher Referent)	Karlsruher Institut für Technologie
Prof. Dr. Manfred Fishedick	Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie
Prof. Dr. Felix Höffler	Universität zu Köln
Dr. Christoph Mayer	OFFIS – Institut für Informatik
Dr. Wolfgang Weimer-Jehle	Universität Stuttgart

## Gutachter

em. Prof. Dr.-Ing. Michael F. Jischa	Technische Universität Clausthal
Dr. Knut Kübler	ehemals Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Dr. Uwe Remme	International Energy Agency

## Workshops

Der Entwurf der Stellungnahme wurde am 4. Juli 2014 und am 9. März 2015 in zwei Experten-Workshops zur Diskussion gestellt. Die dort geäußerten Rückmeldungen flossen in die weitere Texterstellung ein. An beiden oder einem der Workshops nahmen teil:

Christian Bantle	BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
Dagmar Dehmer	Der Tagesspiegel
Dr. Ulrich Fahl	Universität Stuttgart

Robert Germeshausen	Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung
Dr. Heidi Heinrichs	Forschungszentrum Jülich, Institut für Energie- und Klimaforschung
Prof. Dr. Dr. Rafaela Hillerbrand	Karlsruher Institut für Technologie
Dr. Michael Kilpper	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Dr. Almut Kirchner	Prognos AG
Dr. Christian Kirchsteiger	European Commission, Directorate-General for Energy
Dr. Jan Peter Klatt	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Prof. Dr. Gert Jan Kramer	Shell Global Solutions International B.V.
Dr. Martin Kowarsch	Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change
PD Dr. Dietmar Lindenberger	Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln
Björn Pieprzyk	Bundesverband Erneuerbare Energie
Dr.-Ing. Thomas Pregger	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Dr. Thorsten Pries	Bundesnetzagentur
Burkard Schlange	Shell International Exploration and Production B.V.
Dr. Michael Schlesinger	Prognos AG
Erduana Shala	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung

## Institutionen und Gremien des Akademienprojekts

### 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. Dr. Hanns Hatt	Präsident Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (seit September 2015), Präsident Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften und der Künste
Prof. Dr. Günter Stock	Präsident Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (bis August 2015), Präsident Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (bis September 2015)
Prof. Dr. Martin Grötschel	Präsident Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (seit Oktober 2015)
Prof. Dr. Bärbel Friedrich	Vizepräsidentin Leopoldina
Prof. Dr. Jürgen Gausemeier	Vizepräsident acatech
Prof. Dr. Andreas Löschel	Leiter Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung und Vorsitzender der Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“
Prof. Dr. Klaus Töpfer	Ehemaliger 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 Wünning 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.

*Die Stellungnahme wurde am 4. September 2015 vom Kuratorium des Akademienprojekts verabschiedet.*

*Die Akademien danken allen Autorinnen und Autoren sowie Gutachtern für ihre Beiträge.*

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Robert Bosch **Stiftung**

Deutsche Akademie der Naturforscher  
Leopoldina e.V.  
Nationale Akademie der Wissenschaften

acatech – Deutsche Akademie  
der Technikwissenschaften e.V.

Union der deutschen Akademien  
der Wissenschaften e.V.

Jägerberg 1  
06108 Halle (Saale)  
Tel.: (0345) 472 39-867  
Fax: (0345) 472 39-839  
E-Mail: politikberatung@leopoldina.org

Residenz München, Hofgartenstraße 2  
80539 München  
Tel.: (089) 5 20 30 9-0  
Fax: (089) 5 20 30 9-9  
E-Mail: info@acatech.de

Geschwister-Scholl-Straße 2  
55131 Mainz  
Tel.: (06131) 218528-10  
Fax: (06131) 218528-11  
E-Mail: info@akademienunion.de

Berliner Büro:  
Reinhardtstraße 14  
10117 Berlin

Hauptstadtbüro:  
Pariser Platz 4a  
10117 Berlin

Berliner Büro:  
Jägerstraße 22/23  
10117 Berlin

Die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften unterstützen Politik und Gesellschaft unabhängig und wissenschaftsbasiert bei der Beantwortung von Zukunftsfragen zu aktuellen Themen. Die Akademiemitglieder und weitere Experten sind hervorragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem In- und Ausland. In interdisziplinären Arbeitsgruppen erarbeiten sie Stellungnahmen, die nach externer Begutachtung vom Ständigen Ausschuss der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina verabschiedet und anschließend in der *Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung* veröffentlicht werden.

**Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung**

ISBN: 978-3-8047-3507-1