

# Messung und Integration der gesellschaftlichen Akzeptanz für ein Energiesystem

Daniel K. J. Schubert\*, Thomas Meyer, Dominik Möst

TU Dresden Lehrstuhl für Energiewirtschaft/Institut für Kommunikationswissenschaften,  
01062 Dresden, +49 351 463-38768, daniel.schubert@tu-dresden.de, www.ee2.biz

**Kurzfassung:** Energieszenarien werden sowohl in der Politik als auch in der Industrie zur Unterstützung der Entscheidungsfindung herangezogen. Die Integration gesellschaftlicher Akzeptanz bzw. von Akzeptanzfaktoren in die Energiesystemmodellierung ist bisher allerdings von untergeordneter Bedeutung. In der Konsequenz stellt sich die Frage, wie wesentliche Akzeptanzfaktoren besser in Energieszenarien berücksichtigt und bewertet werden können. Dazu werden im Rahmen einer für Deutschland repräsentativen Bevölkerungsbefragung die wichtigsten Akzeptanzfaktoren ermittelt. Anschließend wird ein möglicher Ansatz zur quantitativen Integration der zwei am wichtigsten eingeschätzten Akzeptanzfaktoren (lokal und global wirkende Emissionen) dargestellt.

**Keywords:** Energiesystemanalyse, Bevölkerungsumfrage, Akzeptanz, Emissionen, Ökobilanzierung

## 1 Die Rolle von Akzeptanz in Zukunftsszenarien

Bei der Entscheidungsfindung in Politik und Industrie werden regelmäßig modellgestützte Analysen und Szenarien für komplexe Sachverhalte eingesetzt. Die Energiesystemmodellierung und daraus resultierende Energieszenarien werden insbesondere verwendet, um Lösungsräume für ein nachhaltiges Energiesystem zu entwickeln (Möst und Fichtner 2009). Die vorgeschlagenen Lösungswege können allerdings auf Ablehnung innerhalb der Bevölkerung stoßen, wie beispielsweise der Widerstand gegenüber Carbon Capture und Storage (CCS)<sup>1</sup> oder auch die zunehmende Kostendebatte hinsichtlich Erneuerbaren Energien in Deutschland vor Augen führt (vgl. z. B. BMWi 2013).

Die Berücksichtigung der gesellschaftlichen Akzeptanz, bereits bei der Entwicklung von Lösungsräumen, kann helfen frühzeitig Probleme bei der Umsetzung zu identifizieren und diese zu vermeiden. Bisher werden Akzeptanzfaktoren in Energieszenarien allerdings kaum Beachtung geschenkt (Schubert und Thuß 2013).

In der Konsequenz stellt sich die Frage, wie wesentliche Akzeptanzfaktoren besser in Energieszenarien berücksichtigt und bewertet werden können. Die übergreifende Zielsetzung ist daher die Messung und Integration von Akzeptanzfaktoren in der Energiesystemmodellierung. Im Rahmen dieses Beitrags sollen dazu konkret folgende Forschungsfragen behandelt werden:

1. Welche Akzeptanzfaktoren sind für die Bevölkerung am bedeutendsten?
2. Wie können diese Akzeptanzfaktoren in die Modellierung integriert werden?

---

<sup>1</sup> Eine Übersicht zur Akzeptanzforschung hinsichtlich CCS findet sich bei Schumann 2012, S. 231 ff.

Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen werden in den nächsten Abschnitten zunächst die Begriffe Energiesystem und gesellschaftliche Akzeptanz im Kontext dieses Beitrags definiert bzw. eingegrenzt. In Kapitel 2 wird anschließend die Bedeutung von Akzeptanzfaktoren behandelt. Dazu werden zunächst mögliche Akzeptanzfaktoren bestimmt und im Rahmen einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage bewertet. In Kapitel 3 wird ein Ansatz zur Integration von bedeutenden Akzeptanzfaktoren in die bestehende Modellierung aufgezeigt. Abschließend werden in Kapitel 4 die wesentlichen Erkenntnisse des Beitrags zusammengefasst und ein Ausblick auf den weiteren Forschungsbedarf gegeben.

## 1.1 Eingrenzung des Begriffs Energiesystem

Eine Vielzahl von Akzeptanzstudien beschäftigt sich mit einzelnen Energiesystemen, wie beispielsweise der Akzeptanz von Windkraftanlagen oder Atomkraftwerken (vgl. Abbildung 1). Im Gegensatz dazu wird im Rahmen dieses Beitrags die Gesamtheit von verschiedenen Einzelsystemen betrachtet, die in der Summe für die Energieversorgung in Deutschland verantwortlich sind. Die Systemgrenze eines Energiesystems wird hier also auf nationaler Ebene gesetzt. Zusätzlich wird die Betrachtung des Energiesystems auf den Stromsektor begrenzt, da innerhalb des Stromsektors am ehesten davon ausgegangen werden kann, dass grundlegendes Wissen innerhalb der Bevölkerung vorhanden ist und Meinungsbildungsprozesse stattgefunden haben.<sup>2</sup> Ein gewisses Grundverständnis der Bevölkerung ist hier notwendig, da im Rahmen der Forschungsaktivitäten die gesellschaftliche Perspektive über Akzeptanzfaktoren einbezogen werden soll.

## 1.2 Definition der gesellschaftlichen Akzeptanz für ein Energiesystem

Der Begriff *gesellschaftliche Akzeptanz* kann von verschiedenen Perspektiven betrachtet werden und wird häufig nicht näher bestimmt (Wüstenhagen et al. 2007). In diesem Beitrag wird gesellschaftliche Akzeptanz für ein Energiesystem weniger von einer lokalen Perspektive verstanden (wie z. B. in Zusammenhang mit dem häufig diskutierten Not-In-My-Backyard-Effekt), sondern bezeichnet die Einstellungen der Gesamtbevölkerung. Als Arbeitsdefinition kann somit festgehalten werden, dass gesellschaftliche Akzeptanz für ein Energiesystem besteht, wenn keine aktive Ablehnung gegenüber einem Gesamtsystem und den damit verbundenen Auswirkungen existiert (Akzeptierbarkeit) sowie ein Minimum an positiver Akzeptanz innerhalb der Gesellschaft für ein Energiesystem vorhanden ist.<sup>3</sup>

## 2 Bedeutung von Akzeptanzfaktoren

### 2.1 Vorgehen

Ausgehend von den Begriffsabgrenzungen werden im Weiteren die verschiedenen Auswirkungen eines Energiesystems als Akzeptanz bzw. Ablehnung generierende Faktoren verstanden. Daher werden in diesem Kapitel zunächst auf Basis einer Literaturrecherche die Faktoren bestimmt, die wesentlichen Einfluss auf die Akzeptanz für ein Energiesystem

---

<sup>2</sup> Dies ist insbesondere der Fokussierung der öffentlichen Wahrnehmung im Kontext der Energiewende auf die Erzeugung Erneuerbare Energien sowie dem Ausstieg aus der Kernenergie geschuldet (vgl. verbraucherzentrale Bundesverband 2013).

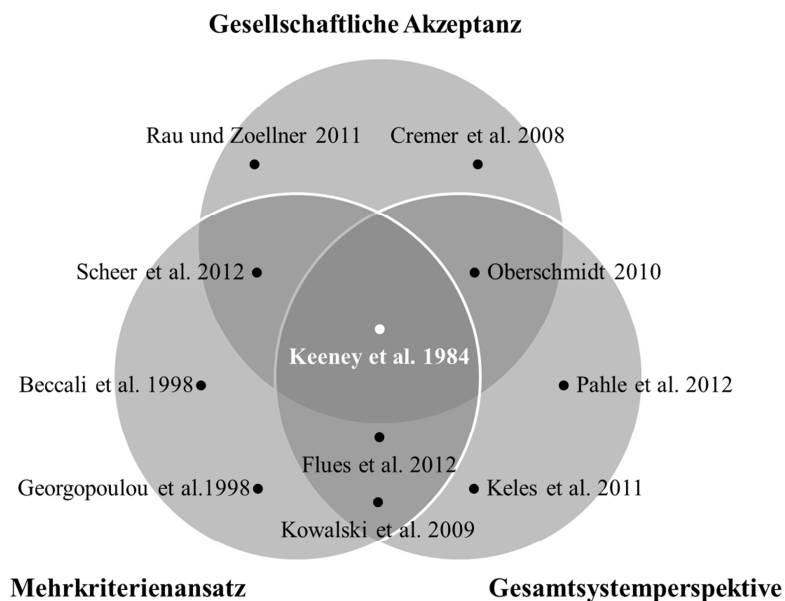
<sup>3</sup> Ein Minimum an positiver Akzeptanz (positive Einstellung verbunden mit aktivem Verhalten) erscheint notwendig, um neue Systeme zu etablieren bzw. Projekte umsetzen zu können (Ullrich 2008).

nehmen können. Im nächsten Schritt wird das Vorgehen bei der empirischen Ermittlung der Bedeutung der Akzeptanzfaktoren beschrieben. Anschließend werden die Umfrage-Ergebnisse dargestellt.

## 2.2 Ableitung von Akzeptanzfaktoren

Um keine wesentlichen Einflussfaktoren zu vernachlässigen, werden die Akzeptanzfaktoren aus bestehender Literatur abgeleitet. Dazu werden Studien herangezogen, die ein nationales Gesamtenergiesystem hinsichtlich gesellschaftlicher Akzeptanz auf multikriterieller Basis betrachten.

**Abbildung 1: Übersicht über ausgewählte Energiestudien**



Nur eine Arbeit erfüllt die oben genannten Voraussetzungen (siehe Abbildung 1). Die Wertbaumanalyse von Keeney et al. (1984), die im Rahmen des Projektes *Sozialverträgliche Energiepolitik* (Renn et al. 1985) entstanden ist, wurde durch die Bundesregierung in Auftrag gegeben, um die Szenarien der Enquete-Kommission: *Zukünftige Kernenergie-Politik* auf empirischer Basis hinsichtlich der sozialen Akzeptanz zu untersuchen. Für die hier vorgenommene Untersuchung wird die zweite Ebene des im Rahmen von Gruppendiskussionen entstandenen gesamtgesellschaftlichen Akzeptanz-Wertbaums von Keeney et al. (1984) herangezogen, um Akzeptanzfaktoren abzuleiten.<sup>4</sup> Die Akzeptanzfaktoren wurden daraufhin zur besseren Strukturierung und Auswertung dem energiepolitischen Zieldreieck untergeordnet (siehe Abbildung 2).

---

<sup>4</sup> Dabei wurde bereits auf die Quantifizierbarkeit (im Rahmen der Energiesystemanalyse) der Faktoren geachtet.

**Abbildung 2: Abgeleitete Akzeptanzfaktoren**

## 2.3 Ermittlung der Bedeutung der Akzeptanzfaktoren

### 2.3.1 Die Befragung

Um die Bedeutung der Akzeptanzfaktoren in der deutschen Bevölkerung zu ermitteln, wurde eine repräsentative Bevölkerungsumfrage mit insgesamt 1.006 Befragten durchgeführt. Die Umfrage fand im Zeitraum vom 21. Oktober bis 27. November 2013 mittels computergestützter telefonischer Befragungen (Computer Assisted Telephone Interview – CATI) im Telefonlabor der TU Dresden statt. Ein mehrstufiges Zufallsverfahren bildet die Grundlage für die Auswahl der Befragten: In der ersten Stufe wurde eine Zufallsstichprobe von Festnetztelefonnummern nach dem Gabler-Häder-Verfahren (Häder und Gabler 1998) gezogen. In der zweiten Stufe wurde ausschließlich die Person im Haushalt befragt, die zuletzt Geburtstag hatte, um die zufällige Auswahl des befragten Haushaltsmitglieds ab 18 Jahren zu gewährleisten.

Im Rahmen der verwendeten Haushaltsstichprobe auf Basis von Festnetzanschlüssen liegen in Abhängigkeit der Haushaltsgröße unterschiedliche Auswahlwahrscheinlichkeiten der Befragungsteilnehmer vor. Diese wurden mittels faktorieller Gewichtung anhand der Zahl der Haushaltsmitglieder ab 18 Jahren ausgeglichen. Darüber hinaus wurde die bei Zufallsstichproben in der Regel auftretende Über- oder Unterrepräsentation bestimmter soziodemografischer Gruppen in der Stichprobe ebenfalls mittels faktorieller Gewichtung korrigiert. Hierbei wurde die Verteilung der Merkmale Alter, Geschlecht und Bildung in der Stichprobe an die amtliche Statistik für Deutschland angeglichen. Dieses Vorgehen trägt zur Repräsentativität der Stichprobe bei, so dass von den Ergebnissen der befragten Stichprobe innerhalb der statistischen Fehlerspannen auf die Werte in der Grundgesamtheit, der Bevölkerung Deutschlands ab 18 Jahren, geschlossen werden kann.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Bei einem Stichprobenumfang von 1.006 Befragten ergeben sich je nach Antwortverteilung statistische Fehlerspannen (doppelter Standardfehler) zwischen  $\pm 1,38$  Prozentpunkten (bei einem Antwortanteil von 5%) und  $\pm 3,16$  Prozentpunkten (bei einem Antwortanteil von 50%), wobei das 95%-Konfidenzintervall zugrunde liegt (Noelle-Neumann und Petersen 2005).

### 2.3.2 Ableitung von Frageelementen

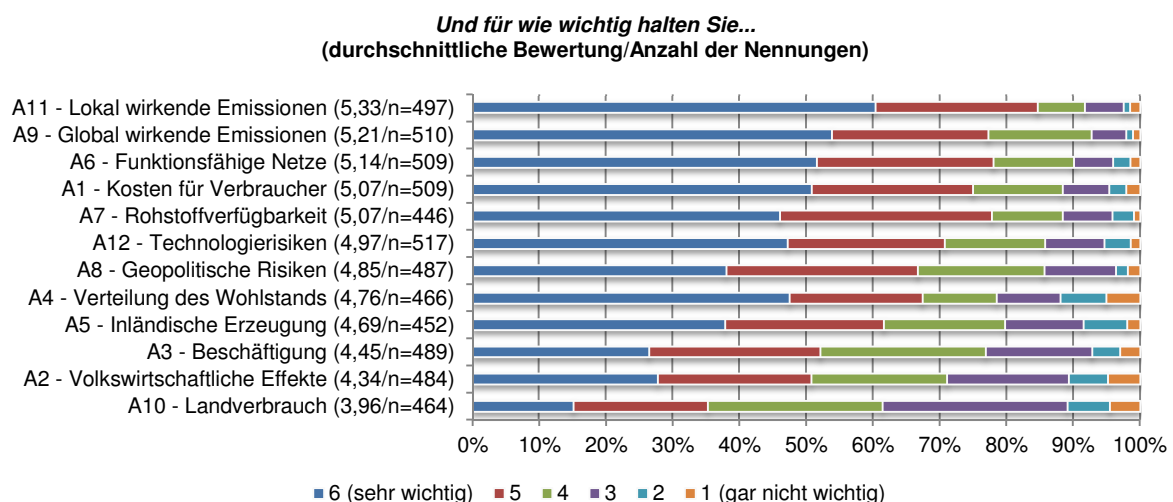
Um die Bedeutung der einzelnen Akzeptanzfaktoren im Rahmen der Bevölkerungsumfrage zu ermitteln, wurden jeweils Frageelemente (*Items*) hergeleitet, deren Wichtigkeit durch die Befragten bewertet wurde. Für den Akzeptanzfaktor *Volkswirtschaftliche Effekte* wurden zwei Frageelemente gebildet,<sup>6</sup> für die anderen Akzeptanzfaktoren jeweils ein Element. Diese Items konnten durch die Befragten mit einer sechsstufigen Rating-Skala bewertet werden – wobei 6 für *sehr wichtig* und 1 für *gar nicht wichtig* steht. Die Abfrage in diskreten Zahlenwerten erlaubt eine leichtere Interpretation der Ergebnisse, da z. B. Mittelwerte gebildet werden können. Eine Übersicht der Frageelemente, deren Verständlichkeit mittels Pretests geprüft wurde,<sup>7</sup> befindet sich im Anhang (Anhang 1). Durch jeden Befragten wurde lediglich die Hälfte der Frageelemente bewertet, die zufällig ausgewählt wurden. Dieses Vorgehen halbierte zwar die Stichprobengröße, war allerdings aus umfragetechnischer Perspektive zu bevorzugen, um Abbrüche oder Protestantworten durch einen zu langen Fragenblock zu vermeiden.

Um abschließend die Ergebnisse zu kontrollieren, wurden die Befragten nach dem für sie wichtigsten Ziel der Energieversorgung befragt. Im Gegensatz zu den vorherigen Frageelementen konnten hier die energiepolitischen Ziele in ein Konkurrenzverhältnis gesetzt werden.

### 2.3.3 Bewertung der Akzeptanzfaktoren

In Abbildung 3 sind die Ergebnisse zur Bewertung der Akzeptanzfaktoren dargestellt (detaillierte Ergebnisse sind tabellarisch in Anhang 2 zusammengefasst).

**Abbildung 3: Bewertung der Akzeptanzfaktoren**



An den ersten beiden Stellen stehen Umweltfaktoren: Zum einen auf lokaler (A11) und zum anderen auf globaler Ebene (A9), dahinter positioniert sich ein Aspekt zur Versorgungssicherheit in Bezug auf Netze (A6), an vierter Stelle stehen erst die *Kosten für Verbraucher* (A1). Überraschend ist, dass wirtschaftlichen Aspekten, wie die *Beschäftigung* (A3) und andere *Volkswirtschaftliche Effekte* (A2) eine untergeordnete Bedeutung

<sup>6</sup> Dies wurde aufgrund der Vielfältigkeit der möglichen volkswirtschaftlichen Aspekte für notwendig erachtet.

<sup>7</sup> Die Test-Interviews wurden dazu sowohl in der realen Interviewsituation als auch mit der *think-aloud*-Methode durchgeführt.

beigemessen wird. Aber auch der *Landverbrauch* (A10), auf dem letzten Platz, scheint nur geringe Bedeutung bei der Beurteilung eines Energiesystems durch die Bevölkerung zu haben.<sup>8</sup>

Die anteilige Nennung eines Akzeptanzfaktors als *sehr wichtig* verhält sich in der Regel proportional zum Mittelwert. Auffallend ist die Abweichung von diesem Trend bei dem Akzeptanzfaktor *Verteilung des Wohlstands* (A4). Dieser Akzeptanzfaktor rangiert bei der durchschnittlichen Bewertung auf dem achten Platz, bei der prozentualen Nennung als *sehr wichtig* liegt er noch vor der *Rohstoffverfügbarkeit* (A7) auf dem fünften Platz. Dies deutet auf eine Diskrepanz bei der Bewertung durch bestimmte Bevölkerungsschichten hin und sollte bei zukünftigen Untersuchungen noch detaillierter betrachtet werden.<sup>9</sup>

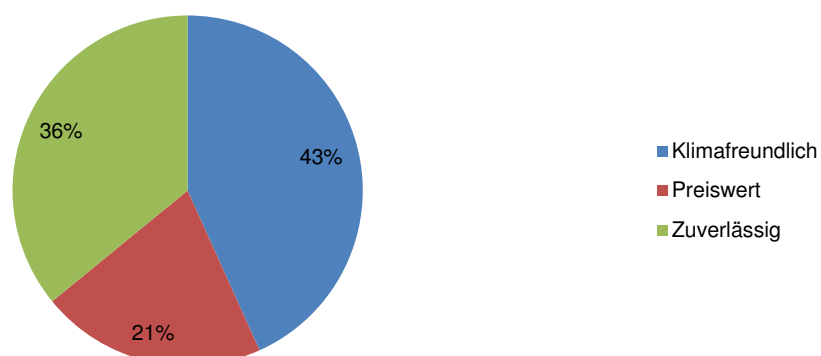
Zu beachten ist, dass die Ergebnisse einer Umfrage stets vor dem Hintergrund der genauen Fragestellung zu interpretieren sind (siehe Anhang 1) und dass hier die einzelnen Faktoren zwar als ein wichtiges Element innerhalb der Energieversorgung durch die Bevölkerung wahrgenommen werden können, allerdings derzeit kein zentrales Problem im Rahmen der Energiewende-Diskussion darstellen (siehe z. B. *Lokal wirkende Emissionen*).

### 2.3.4 Ziele der Energieversorgung

Die Frage nach der wichtigsten Eigenschaft für die Energieversorgung bestätigt die Rangfolge der einzelnen Akzeptanzfaktoren im Wesentlichen (siehe Abbildung 4). Analog zu den umweltbezogenen Aspekten *Lokal wirkende Emissionen* (A11) und *Global wirkende Emissionen* (A9), die als die bedeutendsten Akzeptanzfaktoren identifiziert wurden, ist *Klimafreundlichkeit* mit 43% der Nennungen das am häufigsten genannte Ziel. Der Akzeptanzfaktor *Funktionsfähige Netze* (A6) auf dem folgenden Platz, der dem energiepolitischen Ziel Versorgungssicherheit zuzuordnen ist, entspricht ebenfalls diesem Muster. Die Abfrage nach den konkurrierenden Zielen kann also im Wesentlichen die Ergebnisse hinsichtlich der Wichtigkeit der einzelnen Akzeptanzfaktoren bestätigen.

**Abbildung 4: Ziele der Energieversorgung**

*Was ist Ihrer Meinung nach die wichtigste Eigenschaft der Energieversorgung? Dass sie klimafreundlich, dass sie preiswert oder dass sie zuverlässig ist? (n=965)*



---

<sup>8</sup> Dies kann auf lokaler Ebene allerdings deutlich unterschiedlich/anders/verschieden sein.

<sup>9</sup> Der Unterschied zeigt sich bereits in der geschlechtsspezifischen Bewertung (siehe Anhang 2).

## 3 Integration in Energiesystemmodelle

### 3.1 Modellspezifische Rahmenbedingungen

Grundlage für die weiteren Überlegungen zur Integration von Akzeptanzfaktoren ist ein fundamentales Strommarktmodell. Hier wird stellvertretend für andere Strommarktmodelle als Beispiel das am Lehrstuhl für Energiewirtschaft der TU Dresden (EE2) eingesetzte europäische Strommarktmodell *ELTRAMOD* herangezogen. In dem im *General Algebraic Modeling System* (GAMS) programmierten Fundamentalmodell *ELTRAMOD* werden die Systemkosten der europäischen Elektrizitätsversorgung für insgesamt 8.760 Stunden eines Jahres minimiert. Das Modell wird insbesondere für die Ermittlung des optimalen Kraftwerkseinsatzes sowie zukünftiger Kapazitäten eingesetzt und eignet sich zur Konstruktion von Szenarien für den Strommarkt.<sup>10</sup>

Grundsätzlich ist die Implementierung möglichst vieler Akzeptanzfaktoren in die Modelle erstrebenswert. Dabei ist das Ziel des Vorgehens, die Berücksichtigung der gesellschaftlichen Perspektive, zu beachten. Daraus folgt, dass aufgrund der Komplexität nicht beliebige<sup>11</sup> und beliebig viele Faktoren sinnvoll durch die Bevölkerung bewertet werden können. In diesem Beitrag liegt daher der Fokus auf einem Ansatz zur Integration der in der Umfrage am bedeutendsten eingeschätzten Akzeptanzfaktoren, der lokal und global wirkenden Emissionen.

### 3.2 Lokal wirkende Emissionen

Lokal wirkende Schadstoffemissionen, wie Staub, Stickoxide oder Schwefeldioxid, stellten in den vergangenen Jahrzehnten ein massives Problem für Mensch und Umwelt dar. Die gesundheitsbezogenen Schadenskosten klassischer Luftschadstoffe in Deutschland werden beispielsweise auf 130 Mrd. Euro im Jahr 1998 geschätzt (Droste-Franke 2005). Durch den Einbau moderner Abgasreinigungstechnologien konnten die Schadstoffemissionen in der Energiewirtschaft allerdings deutlich reduziert werden (Müller 2001, S. 303 ff.), so konnten z. B. die Schwefeldioxidemissionen seit 1990 um 93% in Deutschland reduziert werden (Umweltbundesamt 2013).

In *ELTRAMOD* werden lokal wirkende Emissionen bisher nicht berücksichtigt und spielen auch in aktuellen Energieszenarien eine untergeordnete Rolle (Schubert und Thuß 2013). Für die Erfassung von lokal wirkenden Emissionen kommen Kennzahlen aus der Ökobilanzierung bzw. Lebenszyklusanalyse in Frage, die es erlauben auch die Emissionen der Vorkette zu berücksichtigen, die beispielsweise bei der Produktion sowie dem Transport der eingesetzten Rohstoffe und beim Bau der technischen Anlagen entstehen. Das Vorgehen bei der Erstellung von Ökobilanzen ist dabei grundsätzlich standardisiert (ISO 14010 und 14014), es gibt jedoch eine Vielzahl von Methoden und Kennzahlensets, die in der Praxis Anwendung finden (vgl. European Commission 2010). An dieser Stelle wird auf zwei auswirkungsorientierte Indikatoren Bezug genommen, die lokale Wirkungen haben und innerhalb des Ökobilanzierungswerkzeuges *Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme*

---

<sup>10</sup> Für die Modellbeschreibung und Anwendung von *ELTRAMOD* siehe Müller et al. 2013.

<sup>11</sup> Da jeweils ein Grundverständnis der Bevölkerung vorhanden sein sollte.

(*GEMIS*) ausgewiesen werden.<sup>12</sup> Dies sind zum einen das Versauerungspotential (ausgedrückt in SO<sub>2</sub>-Äquivalenten) und zum anderen das troposphärische Ozon-Vorläufer-Potenzial (TOPP) in TOPP-Äquivalenten, welches unter anderem zum Sommersmog beiträgt (Fritsche und Schmidt 2008). Mit Hilfe von *GEMIS* können für das Versauerungspotential und den TOPP-Äquivalent statische Werte in Abhängigkeit der jeweiligen Technologie, der eingesetzten Rohstoffe (abhängig von der Herkunft) und der Auslastung der Anlagen bestimmt werden. Da aber die Auslastung der Kraftwerke innerhalb der Modellierung endogen bestimmt wird, führt die Übernahme lediglich eines vorab bestimmten statischen Wertes zu nicht unerheblichen Fehlern. In der Konsequenz kann *GEMIS* oder ein ähnliches Ökobilanzierungswerkzeug verwendet werden, um im Nachgang der Modellierung und Szenarienbildung Umweltfaktoren anhand der Auslastung und anderer Parameter des Kraftwerksparks zu bestimmen. Dies ist ein gängiges Verfahren, welches beispielsweise für verschiedene Nachhaltigkeitsindikatoren durch Stamford (2012) oder der Energy System Analysis Agency (2013) angewandt wird. Ein Integrations-Ansatz, der auch indirekte Emissionen mit lokaler Wirkung innerhalb eines Strommarkt-Modells berücksichtigt, wird nach gegenwärtiger Kenntnis bisher nicht verfolgt.<sup>13</sup> Im Nachgang soll daher die Möglichkeit zur Anwendung eines Integrations-Ansatzes für verschiedene Emissionsarten vorgestellt werden.

Für diesen Ansatz werden die vom Umweltbundesamt in *GEMIS* hinterlegten Kraftwerksprozesse genutzt, um Parameter abzuleiten, die in die Modellierung integriert werden können. Dazu wird zunächst die Gleichung (1) für die spezifischen Emissionen pro Erzeugungseinheit  $EM_{spec,i,pp}$  mit Gültigkeit für jede Kraftwerkstechnologie  $pp$  und jedem Emissionstyp  $i$  bestimmt. Die Funktion der spezifischen Emissionen ist dabei abhängig vom Wirkungsgrad  $\eta_{pp}$  und den Vollaststunden  $VH_p$  der jeweiligen Kraftwerkstechnologie sowie der technologiespezifischen Parameter  $D_{i,pp}$ ,  $VK_{i,pp}$  und  $K_{i,pp}$ .

$$(1) EM_{spec,i,pp} = \frac{D_{i,pp} + VK_{i,pp}}{\eta_{pp}} + \frac{K_{i,pp}}{VH_{pp}}$$

Dabei steht  $D_{i,pp}$  für die direkten Emissionen, die beim Elektrizitätsumwandlungsprozess entstehen,  $VK_{i,pp}$  steht für Emissionen aus der Produkt-Vorkette, die in Zusammenhang mit dem Rohstoffeinsatz auftreten, beispielsweise bei der Produktion oder dem Transport des Energierohstoffs, und  $K_{i,pp}$  für die kapazitätsspezifischen Emissionen, die unter anderem beim Kraftwerksbau anfallen.

Zur Berücksichtigung innerhalb der Modellierung sollten allerdings nicht die spezifischen Emissionen, sondern die gesamten Emissionen in Abhängigkeit der Kraftwerkskapazitäten  $C_{pp}$  betrachtet werden, da dies ansonsten zu einem nicht linearen Problem führen würde. Daher ist die Gleichung (1) durch Multiplikation mit der produzierten Jahresenergiemenge von  $X_t$  auf der rechten Seite in Gleichung (2) für die gesamten Emissionen pro Technologie und Emissionstyp zu überführen.

$$(2) EM_{i,pp} = \frac{D_{i,pp} + VK_{i,pp}}{\eta_{pp}} \times \sum_t X_t + K_{i,pp} \times C_{pp}$$

---

<sup>12</sup> Das Ökobilanzierungswerkzeug *GEMIS* und die dazugehörige Datenbank mit verschiedenen Kraftwerksprozessen werden kostenfrei vom Umweltbundesamt und dem Ökoinstitut bereitgestellt.

<sup>13</sup> Bezüglich indirekter Kohlendioxid-Emissionen gibt es jüngst erste Ansätze zur Integration in das TIMES-Modell (Daly et al. 2013).



Ausgehend von dieser Gleichung können nun die Parameter für verschiedene Kraftwerkstechnologien auf Basis der in *GEMIS* hinterlegten Daten und Prozesse bestimmt werden. Parameter für ausgewählte Kraftwerkstechnologien sind im Anhang 3 dargestellt. Aus den ermittelten Parametern wird ersichtlich, dass auch durch die Produktion von Erneuerbaren Energien, wie Windkraft und Photovoltaik, signifikante lokal wirkende Emissionen in der Vorkette entstehen, die für die Akzeptanz und die Bewertung eines Energiesystems relevant sein können.

Um innerhalb der Modellbildung Kraftwerknaehrüstungen zu berücksichtigen, kann die Gleichung (2) um Erweiterungsoptionen für die Kraftwerkstechnologien ergänzt werden. Durch die Naehrüstung können die direkten Emissionen um den Faktor  $NR_{i,pp}$  in Abhängigkeit der nachgerüsteten Kapazität  $NRC_{pp}$  verringert werden. Zu beachten ist allerdings, dass durch die Kraftwerknaehrüstung zusätzliche Emissionen in der Vorkette entstehen können, die durch den Faktor  $NRK_{i,pp}$  berücksichtigt werden sollen.<sup>14</sup>

$$(3) EM_{i,pp} = \frac{D_{i,pp} - NR_{i,pp} \times NRC_{pp} + VK_{i,pp}}{\eta_{pp}} \times \sum_t X_t + K_{i,pp} \times C_{pp} + NRK_{i,pp} \times NRC_{pp}$$

Mit der zusätzlichen Gleichung (4) muss sichergestellt werden, dass die installierte Naehrüstungsoption die ursprüngliche Kraftwerkskapazität nicht übersteigt. Um nun die optimale Investition der Naehrüstungskapazität zu bestimmen, wird die Annuität der Investition  $NRCI_{pp}$  in die Zielfunktion (Gleichung 5) integriert, welche die Gesamtkosten  $TC$  abbildet und minimiert.

$$(4) NRC_{pp} \leq C_{pp}$$

$$(5) Min TC = \dots + NRC_{pp} \times NRCI_{pp}$$

Die Integration dieser Gleichungen und der zugehörigen Parameter in *ELTRAMOD* erlaubt nun nähere Untersuchungen der Szenarien hinsichtlich direkter und indirekter Emissionen. Durch die zusätzliche Berücksichtigung von Emissionsminderungsvorgaben, die durch Restriktionen vorgegeben werden können, ist endogen optimale Investitionsentscheidung für verschiedene Kraftwerkstechnologien bestimmbar. Dies kann beispielsweise eine unmittelbare Rolle spielen, ob Kraftwerke mit CCS-Technologie innerhalb des Modells zugebaut werden, da die Wirkungsgradreduktion durch den Abscheidevorgang zu höheren indirekten Emissionen führt, die den emissionsmindernden Einfluss der Abscheidung hinsichtlich der direkten Emissionen überkompensieren kann (Fadeyi et al. 2013). Somit können strenge Reduktionsvorgaben beim Versauerungspotential (z. B. aufgrund von Vorgaben aus der Akzeptanzforschung) die CCS-Technik als Lösungsoption direkt begrenzen.

### 3.3 Global wirkende Emissionen

Bei der Berücksichtigung von global wirkenden Emissionen kommen zum einen das stratosphärische Ozonbildungspotential und zum anderen das Treibhausausgaspotential in Betracht (Scientific Applications International Corporation 2006). Hier sollen nur Treibhausgasemissionen behandelt werden, da diese innerhalb der Gesellschaft in

---

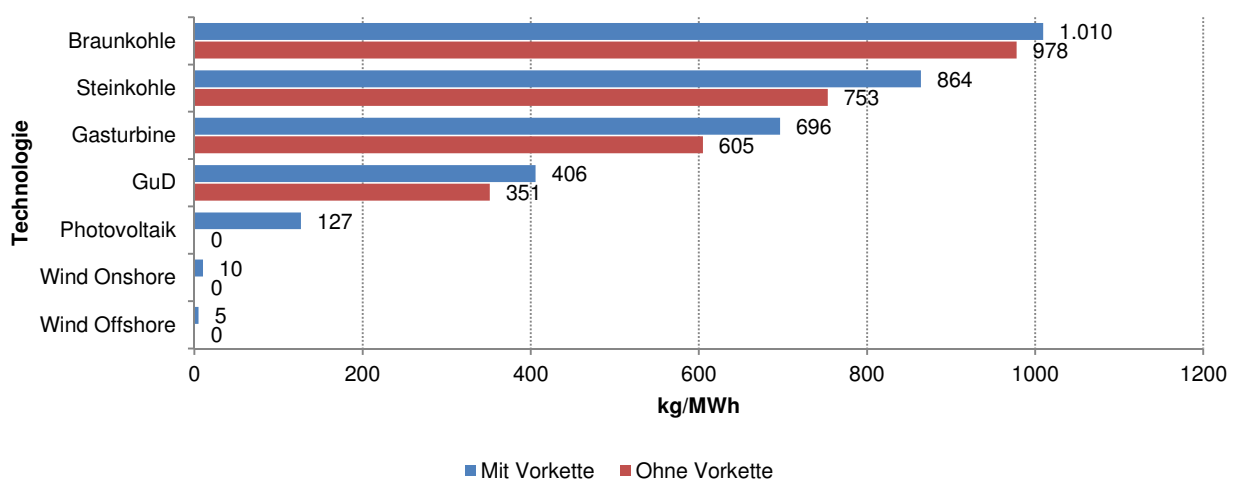
<sup>14</sup> Das beschriebene Vorgehen versucht gemischt ganzzahlige Optimierungsansätze zu vermeiden. Wenn dies keine Restriktion darstellt, kann  $NRC_{pp}$  auch als Binärvariable abgebildet werden.

Zusammenhang mit der Energiewende am stärksten wahrgenommen werden. Der anthropogen verursachte Klimawandel aufgrund des Treibhauseffektes ist wissenschaftlich weitgehend anerkannt (Pittock 2009). Im deutschen Energiesektor konnten Treibhausgasemissionen seit 1990 um rd. 17% reduziert werden (Umweltbundesamt 2013).

Innerhalb von *ELTRAMOD* werden lediglich die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen mit exogen vorgegebenen Zertifikatspreisen betrachtet. Für die ökonomische Berücksichtigung von Treibhausgasen in der Modellierung bieten sich hier einige alternative Ansätze an. Eine Möglichkeit besteht in der Abbildung der endogenen Wirkungen des deutschen Strommarkts auf die Zertifikatspreise des europäischen Emissionshandelssystems (Götz et al. 2012). Ein anderer Ansatz könnte in der Berücksichtigung der exogenen Schadenshöhe der Treibhausgasemission liegen, dieses Vorgehen wird beispielsweise von Preiss et al. (2013) angewandt und ist geeignet, um effiziente Emissionen aus globaler Perspektive zu bestimmen. Inwiefern die Berücksichtigung sämtlicher externer Effekte zur Steigerung der gesellschaftlichen Akzeptanz auf nationaler Ebene beiträgt, bleibt allerdings unklar.

Alternativ bieten sich mengenbezogene Erweiterungen der bisherigen Modellierung an, um die gesellschaftliche Akzeptanz in Form von Mengenschranken zu berücksichtigen. So könnte eine Erweiterung der Kohlenstoffdioxidemissionen auf andere Treibhausgase sowie die Berücksichtigung der indirekten Emissionen analog zum Vorgehen bei den indirekten Emissionen in Abschnitt 3.2 einen sinnvollen Ansatz darstellen. Ausgehend von diesem Ansatz sind die Kohlenstoffdioxidemissionen von verschiedenen Kraftwerkstechnologien mit und ohne Berücksichtigung von indirekten Emissionen in Abbildung 5 dargestellt. Durch die Berücksichtigung von indirekten Emissionen ergibt sich zwar keine Änderung der Rangfolge bei konventionellen Technologien (ohne Erneuerbare Energien), allerdings werden signifikante Treibhausgasemissionen bei der Photovoltaik deutlich, die zu einer Reihung innerhalb der Erneuerbaren Energien Technologien führt. Ein Aspekt, der für die gesellschaftliche Akzeptanz und die Auswahl der Technologien durchaus eine Rolle spielen könnte.

**Abbildung 5: Spezifische CO<sub>2</sub>-Äquivalente mit und ohne Berücksichtigung der Vorkette (eigene Berechnungen auf Basis von GEMIS)<sup>15</sup>**



<sup>15</sup> Annahmen zu Volllaststunden: konventionelle Kraftwerke jeweils 4.000 h, Wind Onshore 2.000 h, Wind Offshore 3.500 h und Photovoltaik 1.000 h.

## **4 Zusammenfassung und Ausblick**

Mit dem Beitrag soll eine erste Hilfestellung bei der Integration von Faktoren gegeben werden, die in der Zukunft bei der Bewertung von Szenarien von gesellschaftlicher Seite eine Rolle spielen können. Dazu konnten in Kapitel 3 die Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage vorgestellt werden. Mit der Umfrage konnte die erste Forschungsfrage nach der Bedeutung von Akzeptanzfaktoren durch ein Ranking beantwortet werden („Welche Akzeptanzfaktoren sind für die Bevölkerung am bedeutendsten?“). Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere Umweltfragen, gefolgt von Versorgungssicherheit und Kostenaspekten, für die Bewertung eines Energiesystems von maßgeblicher Bedeutung sind. Hingegen sind volkswirtschaftliche Aspekte in der Wahrnehmung der Bevölkerung anscheinend nur untergeordnet. Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage („Wie können diese Akzeptanzfaktoren in die Modellierung integriert werden?“) wurde ein neuer integrativer Ansatz für die beiden bedeutendsten Akzeptanzfaktoren (lokal und global wirkende Emissionen) vorgestellt. Dieser Ansatz vereint Aspekte aus der Lebenszyklusanalyse mit der Strommarktmodellierung und erweitert die Möglichkeiten der Analyse zukünftiger Energieszenarien deutlich.

Weitere Forschungsfelder ergeben sich auf der einen Seite in Zusammenhang mit der Bewertung der Akzeptanzfaktoren. So lassen sich aus der Bestimmung von Konkurrenzbeziehungen, der Stabilität sowie der Quantifizierung der Akzeptanzfaktoren eine Vielzahl von offenen Forschungsfragen ableiten. Auf der anderen Seite findet sich auch weiterer Forschungsbedarf bei der Integration zusätzlicher Akzeptanzfaktoren in die Modellierung. Dabei muss beachtet werden, dass die Komplexität der Ergebnisse nicht maßgeblich erhöht wird, um eine Bewertung aus gesellschaftlicher Perspektive weiterhin zu erlauben.

### **Anmerkung**

Dieses Forschungsprojekt ist Teil des Boysen-TUD-Graduiertenkollegs „Nachhaltige Energiesysteme - Interdependenz von technischer Gestaltung und gesellschaftlicher Akzeptanz“, welches durch die Friedrich-und-Elisabeth-Boysen-Stiftung sowie der TU Dresden finanziert wird.

## Literaturverzeichnis

- Beccali, Marco; Cellura, Maurizio; Ardenne, Davide (1998): Decision making in energy planning: the multicriteria analysis approach compared to a Fuzzy-Sets methodology. In: *Energy Conversion and Management* 39 (16–18), S. 1869–1881.
- BMWi (2013): Rösler und Altmaier legen gemeinsames Konzept zur Strompreisbremse vor. Online verfügbar unter <http://www.bmwi.de/DE/Themen/energie,did=551970.html>, zuletzt geprüft am 30.03.2013.
- Cremer, Clemens; Esken, Andrea; Fishedick, Manfred; Gruber, Edelgard; Idrissova, Farikha; Kuckshinrichs, Wilhelm et al. (2008): Sozioökonomische Begleitforschung zur gesellschaftlichen Akzeptanz von Carbon Capture and Storage (CCS) auf nationaler und internationaler Ebene. Endbericht. Wuppertal.
- Daly, Hannah; Scott, Kate; Barrett, John; Strachan, Neil (2013): Does Accounting for Indirect Emissions Affect Energy System Decarbonisation Pathways? Abstract: *13th European IAEE Conference*.
- Droste-Franke, Bernd (2005): Quantifizierung von Umweltschäden als Beitrag zu Umweltökonomischen Gesamtrechnungen. Dissertation. Stuttgart: IER.
- Energy System Analysis Agency (2013): Shaping our energy system - combining European modelling expertise, Brüssel.
- European Commission (2010): ILCD Handbook: Analysing of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment. Ispra: Joint Research Center.
- Fadeyi, Stephen; Arafat, Hassan A.; Abu-Zahra, Mohammad R.M. (2013): Life cycle assessment of natural gas combined cycle integrated with CO<sub>2</sub> postcombustion capture using chemical solvent. In: *International Journal of Greenhouse Gas Control* 19, S. 441–452.
- Flues, Florens; Löscher, Andreas; Pothen, Frank; Wölfling, Nikolas (2012): Indikatoren für die energiepolitische Zielerreichung. ZEW. Mannheim. Online verfügbar unter [http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/ZEW\\_Indikatorenbericht\\_2012.pdf](http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/ZEW_Indikatorenbericht_2012.pdf), zuletzt aktualisiert am 24.05.2012.
- Fritsche, Uwe R.; Schmidt, Klaus (2008): Handbuch zu Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS). Hg. v. Öko-Institut e.V. Darmstadt/Freiburg/Berlin. Online verfügbar unter [http://www.iinas.org/tl\\_files/iinas/downloads/2008\\_g45\\_handbuch.pdf](http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/2008_g45_handbuch.pdf), zuletzt geprüft am 28.01.2014.
- Georgopoulou, Ekaterini; Sarafidis, Yannis; Diakoulaki, Danae (1998): Design and implementation of a group DSS for sustaining renewable energie sexploitation. In: *Eur.J.Oper.Res.* 109 (2), S. 483–500.
- Götz, Birgit; Blesl, Markus, Fahl, Ulrich, Voß, Alfred (2012): The representation of emission trading schemes in national energy system models. Report on Work Package B-2 of the ETSAP Project “Integrating policy instruments into the TIMES Model”. Hg. v. IER. Stuttgart.
- Häder, Sabine; Gabler, Siegfried. (1998). Ein neues Stichprobendesign für telefonische Umfragen in Deutschland. In Gabler, Siegfried, Häder, Sabine & Hoffmeyer-Zlotnik, Jürgen H. P., *Telefonstichproben in Deutschland*, 69–88. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- IINAS (2013): GEMIS Modell und Datenbasis, Version 4.81. Online verfügbar unter <http://www.iinas.org/gemis-download-de.html>, zuletzt geprüft am 30.01.2014.
- Keeney, Ralph L.; Renn, Ortwin; Winterfeldt, Detlof von; Kotte, Ullrich (1984): Die Wertbaumanalyse. München: HTV.
- Keles, Dogan; Möst, Dominik; Fichtner, Wolf (2011): The development of the German energy market until 2030—A critical survey of selected scenarios. In: *EnergyPolicy* 39 (2), S. 812–825.

Kowalski, Katharina; Stagl, Sigrid; Madlener, Reinhard; Omann, Ines (2009): Sustainable energy futures: Methodological challenges in combining scenarios and participatory multi-criteria analysis. In: *Eur.J. Oper. Res.* 197 (3), S. 1063–1074.

Möst, Dominik; Fichtner, Wolf (2009): Modelle und Szenarien – Einführung zur Energiesystemanalyse. In: Dominik Möst, Wolf Fichtner und Armin Grunwald (Hg.): *Energiesystemanalyse. Tagungsband des Workshops „Energiesystemanalyse“ vom 27. November 2008 am KIT Zentrum Energie, Karlsruhe.* Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe, S. 11–32.

Müller, Theresa; Gunkel, David; Möst, Dominik (2013): How Does Renewable Curtailment Influence the Need of Transmission and Storage Capacities in Europe? In: *Tagungsband: 13th European IAEE Conference.*

Müller, Leonhard (2001): *Handbuch der Elektrizitätswirtschaft: technische, wirtschaftliche und rechtliche Grundlagen.* 2. Auflage. Berlin: Springer.

Noelle-Neumann, Elisabeth & Petersen, Thomas (2005). *Alle nicht jeder: Einführung in die Methoden der Demoskopie.* 4. Auflage. Berlin: Springer.

Oberschmidt, Julia (2010): *Multikriterielle Bewertung von Technologien zur Bereitstellung von Strom und Wärme.* Dissertation, Göttingen. Online verfügbar unter <http://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/11858/00-1735-0000-0006-AFC8-F/oberschmidt.pdf?sequence=1>, zuletzt geprüft am 24.05.2012.

Pahle, Michael; Knopf, Brigitte; Tietjen, Oliver; Schmid, Eva (2012): *Kosten des Ausbaus erneuerbarer Energien: Eine Metaanalyse von Szenarien.* Potsdam.

Pittock, Barrie A. (2009): *Climate Change: The Science, Impacts and Solutions.* Collingwood: CSIRO Publishing.

Preiss, P.; Wissel, S.; Fahl, U.; Friedrich, R., Voß, A. (2013): *Die Risiken der Kernenergie in Deutschland im Vergleich mit Risiken anderer Stromerzeugungstechnologien.* Stuttgart: IER (Arbeitsbericht: 11).

Rau, Irina; Zoellner, Jan (2011): *Aktivität und Teilhabe – Akzeptanz Erneuerbarer Energien durch Beteiligung steigern: Projektabschlussbericht.* Online verfügbar unter [http://www.tu-berlin.de/fileadmin/f27/PDFs/Forschung/Abschlussbericht\\_Aktivitaet\\_Teilhabe\\_format.pdf](http://www.tu-berlin.de/fileadmin/f27/PDFs/Forschung/Abschlussbericht_Aktivitaet_Teilhabe_format.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2013.

Renn, Ortwin; Albrecht, Gabriele; Kotte, Ullrich; Peters, Hans Peter; Stegelmann, Hans Ulrich (1985): *Sozialverträgliche Energiepolitik. Ein Gutachten für die Bundesregierung.* München: High Tech Verlag.

Scheer, Dirk; Wassermann, Sandra; Scheel, Oliver (2012): *Stromerzeugungstechnologien auf dem gesellschaftlichen Prüfstand: Zur Akzeptanz der CCS-Technologien.* In: Katja Pietzner und Diana Schumann (Hg.): *Akzeptanzforschung zu CCS in Deutschland. Aktuelle Ergebnisse, Praxisrelevanz, Perspektiven.* München: oekom, S. 86–106.

Schubert, D.; Thuß, S. (2013): *Does Political and Social Feasibility Matter in Energy Scenarios? Karlsruhe.* In: *Tagung Helmholtz Association ENERGY TRANS Conference: Energy Systems in Transition: Inter- and Transdisciplinary Contributions*, 10.10.2013.

Schumann, Diana (2012): *Gesellschaftliche Akzeptanz.* In: Jürgen-Friedrich Hake und Wilhelm Kuckshinrichs (Hg.): *CO<sub>2</sub>-Abscheidung, -Speicherung und -Nutzung. Technische, wirtschaftliche, umweltseitige und gesellschaftliche Perspektiven.* Jülich: Forschungszentrum Jülich, Zentralbibliothek (Schriften des Forschungszentrums Jülich : Reihe Energie et Umwelt, 164), S. 225–256.

Scientific Applications International Corporation (2006): *Life Cycle Assessment: Principles and Practice.* Online verfügbar unter <http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/lca.html>, zuletzt geprüft am 29.01.2014.

Stamford, Laurence J. (2012): Life cycle sustainability assessment of electricity generation: a methodology and an application in the UK context. Dissertation. University of Manchester, Manchester. Online verfügbar unter <https://www.escholar.manchester.ac.uk/uk-ac-man-scw:166964>, zuletzt geprüft am 29.01.2014.

Ullrich, Carsten G. (2008): Die Akzeptanz des Wohlfahrtsstaates. Präferenzen, Konflikte, Deutungsmuster. Wiesbaden: VS-Verlag.

Umweltbundesamt (2013): Übersicht zur Entwicklung der energiebedingten Emissionen und Brennstoffeinsätze in Deutschland 1990 – 2011. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/uebersicht-zur-entwicklung-energiebedingten>, zuletzt geprüft am 28.01.2014.

Umweltbundesamt (2014): Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland nach Sektoren. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-klimarahmenkonvention-2>, zuletzt geprüft am 28.01.2014.

verbraucherzentrale Bundesverband (2013): Verbraucherinteressen in der Energiewende. Ergebnisse einer repräsentativen Befragung. Berlin. Online verfügbar unter [http://www.vzbv.de/cps/rde/xbcr/vzbv/Energiewende\\_Studie\\_lang\\_vzbv\\_2013.pdf](http://www.vzbv.de/cps/rde/xbcr/vzbv/Energiewende_Studie_lang_vzbv_2013.pdf), zuletzt geprüft am 28.01.2014.

Wüstenhagen, Rolf; Wolsink, Maarten; Bürer, Mary Jean (2007): Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. In: *Energy Policy* 35 (5), S. 2683–2691.

## Anhang

### Anhang 1: Frageitems

Codierung	Akzeptanzfaktor	Frageitem (Wie wichtig halten Sie..)
A1	Kosten für Verbraucher	...niedrige Energiepreise für Privathaushalte
A2	Volkswirtschaftliche Effekte	...die Stärkung des Wirtschaftsstandortes durch die Förderung neuer Energien
		...niedrige Energiepreise für die Wirtschaft
A3	Beschäftigung	...eine Energieversorgung, die zu hoher Beschäftigung in Deutschland führt
A4	Verteilung des Wohlstands	...dass nicht einzelne Unternehmen durch die Energiepolitik bevorzugt werden
A5	Inländische Erzeugung	...die Unabhängigkeit von Stromimporten zu jedem Zeitpunkt
A6	Funktionsfähige Netze	...stabile Energienetze, die eine Versorgung ohne Stromausfälle garantieren
A7	Rohstoffverfügbarkeit	...eine Energieversorgung die die Nutzung von endlichen Rohstoffen vermeidet
A8	Geopolitische Risiken	...die Abhängigkeit von einigen wenigen Rohstofflieferanten vermeiden?
A9	Global wirkende Emissionen	...eine geringe Belastung des weltweiten Klimas durch die Energieversorgung?
A10	Landverbrauch	...die Nutzung von nur wenigen Flächen durch die Energieinfrastruktur?
A11	Lokal wirkende Emissionen	...einen geringen Schadstoffausstoß in die Umgebung?
A12	Technologierisiken	...die Nutzung von Technologien mit nur geringem Gefahrenpotential

## Anhang 2: Ergebnisse der Befragung

A1) Ich lese Ihnen nun einige Eigenschaften der Energieversorgung vor. Bitte sagen Sie mir jeweils mit den Zahlen von 1 bis 6, für wie wichtig Sie die jeweilige Eigenschaft halten. Eine 1 bedeutet, sie ist Ihnen im Hinblick auf die Energieversorgung „gar nicht wichtig“ und eine 6, sie ist Ihnen „sehr wichtig“. Für wie wichtig halten Sie niedrige Energiepreise für Privathaushalte.

Basis: Alle Befragten (n=509), ohne „keine Angabe“, Zufallsauswahl von je 8 Items abgefragt

Antwort	Gesamt	Altersgruppen				Bildung			Geschlecht	
		Alle	18 -29 J.	30 -49 J.	50 -64 J.	65 J. +	Bis Haupt- schule	Realschule	Abitur und höher	M
<b>1 - Gar nicht wichtig</b>	2%	3%	1%	2%	3%	2%	2%	3%	3%	1%
<b>2</b>	3%	1%	3%	4%	0%	4%	1%	2%	3%	1%
<b>3</b>	7%	6%	11%	6%	3%	0%	7%	16%	8%	6%
<b>4</b>	13%	24%	10%	10%	9%	12%	7%	20%	16%	9%
<b>5</b>	24%	33%	21%	22%	19%	21%	31%	22%	21%	30%
<b>6 - Sehr wichtig</b>	51%	33%	54%	56%	66%	61%	52%	37%	49%	53%

A2a) Für wie wichtig halten Sie die Stärkung des Wirtschaftsstandortes durch die Förderung neuer Energien?

Basis: Alle Befragten (n=464), ohne „keine Angabe“, Zufallsauswahl von je 8 Items rotiert abgefragt

Antwort	Gesamt	Altersgruppen				Bildung			Geschlecht	
		Alle	18 -29 J.	30 -49 J.	50 -64 J.	65 J. +	Bis Haupt- schule	Realschule	Abitur und höher	M
<b>1 - Gar nicht wichtig</b>	1%	1%	2%	0%	4%	1%	0%	2%	1%	1%
<b>2</b>	2%	1%	2%	2%	0%	1%	1%	4%	1%	3%
<b>3</b>	14%	15%	11%	13%	22%	17%	16%	9%	18%	8%
<b>4</b>	22%	28%	20%	17%	22%	17%	21%	25%	24%	18%
<b>5</b>	29%	29%	32%	30%	22%	15%	39%	32%	27%	32%
<b>6 - Sehr wichtig</b>	32%	26%	33%	38%	31%	49%	23%	28%	29%	38%



**A2b) Für wie wichtig halten Sie niedrige Energiepreise für die Wirtschaft?**

Basis: Alle Befragten (n=502), ohne „keine Angabe“, Zufallsauswahl von je 8 Items rotiert abgefragt

Antwort	Gesamt	Altersgruppen				Bildung			Geschlecht	
		Alle	18 -29 J.	30 -49 J.	50 -64 J.	65 J. +	Bis Haupt- schule	Realschule	Abitur und höher	M
<b>1 - Gar nicht wichtig</b>	9%	2%	9%	14%	8%	14%	6%	5%	10%	6%
<b>2</b>	10%	4%	11%	7%	23%	7%	13%	10%	12%	7%
<b>3</b>	22%	17%	26%	25%	16%	25%	17%	24%	22%	22%
<b>4</b>	19%	21%	15%	23%	19%	12%	21%	26%	17%	23%
<b>5</b>	17%	29%	15%	14%	6%	12%	17%	22%	15%	20%
<b>6 - Sehr wichtig</b>	23%	27%	24%	17%	28%	30%	26%	13%	24%	22%

**A3) Für wie wichtig halten Sie eine Energieversorgung, die zu hoher Beschäftigung in Deutschland führt?**

Basis: Alle Befragten (n=490), ohne „keine Angabe“, Zufallsauswahl von je 8 Items rotiert abgefragt

Antwort	Gesamt	Altersgruppen				Bildung			Geschlecht	
		Alle	18 -29 J.	30 -49 J.	50 -64 J.	65 J. +	Bis Haupt- schule	Realschule	Abitur und höher	M
<b>1 - Gar nicht wichtig</b>	3%	2%	4%	2%	5%	1%	3%	5%	4%	2%
<b>2</b>	4%	1%	7%	3%	8%	1%	4%	8%	5%	2%
<b>3</b>	16%	15%	17%	17%	11%	16%	13%	18%	18%	13%
<b>4</b>	25%	23%	26%	25%	25%	26%	21%	28%	22%	29%
<b>5</b>	26%	32%	23%	25%	21%	20%	35%	23%	27%	24%
<b>6 - Sehr wichtig</b>	26%	27%	24%	28%	28%	35%	25%	18%	24%	30%
<b>Weiß nicht/ kn</b>	0%	0%	0%	0%	2%	1%	0%	0%	0%	0%

**A4) Für wie wichtig halten Sie dass nicht einzelne Unternehmen durch die Energiepolitik bevorzugt werden?**

Basis: Alle Befragten (n=466), ohne „keine Angabe“, Zufallsauswahl von je 8 Items rotiert abgefragt

Antwort	Gesamt	Altersgruppen				Bildung			Geschlecht	
		Alle	18 -29 J.	30 -49 J.	50 -64 J.	65 J. +	Bis Haupt- schule	Realschule	Abitur und höher	M
<b>1 - Gar nicht wichtig</b>	5%	7%	3%	6%	6%	3%	10%	3%	7%	3%
<b>2</b>	7%	9%	6%	6%	8%	11%	3%	6%	9%	4%
<b>3</b>	10%	6%	9%	13%	10%	12%	7%	10%	10%	8%
<b>4</b>	11%	13%	12%	8%	10%	13%	8%	12%	12%	9%
<b>5</b>	20%	23%	19%	22%	12%	10%	20%	28%	18%	23%
<b>6 - Sehr wichtig</b>	48%	42%	51%	45%	54%	51%	52%	41%	44%	53%

**A5) Für wie wichtig halten Sie dass die Unabhängigkeit von Stromimporten zu jedem Zeitpunkt?**

Basis: Alle Befragten (n=452), ohne „keine Angabe“, Zufallsauswahl von je 8 Items rotiert abgefragt

Antwort	Gesamt	Altersgruppen				Bildung			Geschlecht	
		Alle	18 -29 J.	30 -49 J.	50 -64 J.	65 J. +	Bis Haupt-schule	Realschule	Abitur und höher	M
<b>1 - Gar nicht wichtig</b>	2%	0%	1%	3%	3%	2%	1%	3%	3%	1%
<b>2</b>	6%	0%	6%	13%	6%	8%	6%	6%	8%	4%
<b>3</b>	12%	6%	15%	12%	16%	10%	14%	12%	14%	8%
<b>4</b>	18%	24%	19%	15%	13%	14%	18%	22%	17%	20%
<b>5</b>	24%	32%	21%	19%	23%	22%	24%	26%	21%	27%
<b>6 - Sehr wichtig</b>	38%	38%	38%	38%	39%	44%	37%	31%	37%	40%

**A6) Für wie wichtig halten Sie stabile Energienetze, die eine Versorgung ohne Stromausfälle garantieren?**

Basis: Alle Befragten (n=509), ohne „keine Angabe“, Zufallsauswahl von je 8 Items rotiert abgefragt

Antwort	Gesamt	Altersgruppen				Bildung			Geschlecht	
		Alle	18 -29 J.	30 -49 J.	50 -64 J.	65 J. +	Bis Haupt-schule	Realschule	Abitur und höher	M
<b>1 - Gar nicht wichtig</b>	2%	0%	0%	5%	0%	4%	0%	1%	2%	1%
<b>2</b>	3%	7%	0%	3%	0%	2%	2%	3%	3%	2%
<b>3</b>	6%	10%	6%	3%	1%	2%	9%	7%	4%	9%
<b>4</b>	12%	19%	10%	7%	13%	17%	10%	9%	12%	13%
<b>5</b>	27%	29%	23%	29%	24%	19%	32%	30%	28%	24%
<b>6 - Sehr wichtig</b>	52%	35%	61%	53%	62%	56%	47%	50%	51%	51%

**A7) Für wie wichtig halten Sie eine Energieversorgung die die Nutzung von endlichen Rohstoffen vermeidet?**

Basis: Alle Befragten (n=446), ohne „keine Angabe“, Zufallsauswahl von je 8 Items rotiert abgefragt

Antwort	Gesamt	Altersgruppen				Bildung			Geschlecht	
		Alle	18 -29 J.	30 -49 J.	50 -64 J.	65 J. +	Bis Haupt-schule	Realschule	Abitur und höher	M
<b>1 - Gar nicht wichtig</b>	1%	1%	0%	1%	4%	2%	0%	1%	0%	2%
<b>2</b>	3%	3%	2%	2%	10%	4%	4%	2%	3%	3%
<b>3</b>	7%	4%	9%	6%	16%	9%	9%	4%	8%	6%
<b>4</b>	11%	6%	13%	12%	8%	9%	16%	9%	11%	10%
<b>5</b>	32%	44%	31%	30%	14%	27%	29%	38%	32%	32%
<b>6 - Sehr wichtig</b>	46%	42%	45%	49%	48%	49%	42%	46%	46%	47%

**A8) Für wie wichtig halten Sie die Abhängigkeit von einigen wenigen Rohstofflieferanten vermeiden?**

Basis: Alle Befragten (n=487), ohne „keine Angabe“, Zufallsauswahl von je 8 Items rotiert abgefragt

Antwort	Gesamt	Altersgruppen				Bildung			Geschlecht	
		Alle	18 -29 J.	30 -49 J.	50 -64 J.	65 J. +	Bis Haupt- schule	Realschule	Abitur und höher	M
<b>1 - Gar nicht wichtig</b>	2%	3%	1%	1%	3%	2%	1%	3%	2%	1%
<b>2</b>	2%	2%	1%	3%	2%	1%	4%	1%	2%	2%
<b>3</b>	11%	18%	12%	4%	9%	12%	13%	7%	9%	14%
<b>4</b>	19%	32%	21%	10%	12%	19%	17%	20%	20%	18%
<b>5</b>	28%	21%	22%	41%	29%	30%	28%	28%	28%	29%
<b>6 - Sehr wichtig</b>	38%	24%	43%	41%	45%	36%	37%	41%	39%	36%

**A9) Für wie wichtig halten Sie eine geringe Belastung des weltweiten Klimas durch die Energieversorgung?**

Basis: Alle Befragten (n=510), ohne „keine Angabe“, Zufallsauswahl von je 8 Items rotiert abgefragt

Antwort	Gesamt	Altersgruppen				Bildung			Geschlecht	
		Alle	18 -29 J.	30 -49 J.	50 -64 J.	65 J. +	Bis Haupt- schule	Realschule	Abitur und höher	M
<b>1 - Gar nicht wichtig</b>	1%	0%	2%	1%	2%	0%	1%	2%	1%	1%
<b>2</b>	1%	1%	1%	1%	0%	0%	2%	1%	1%	1%
<b>3</b>	5%	1%	7%	7%	6%	7%	2%	5%	6%	3%
<b>4</b>	16%	21%	11%	13%	21%	20%	14%	12%	16%	14%
<b>5</b>	23%	38%	22%	11%	25%	17%	29%	26%	27%	16%
<b>6 - Sehr wichtig</b>	54%	39%	57%	67%	46%	56%	52%	54%	49%	65%

**A10) Für wie wichtig halten Sie die Nutzung von nur wenigen Flächen durch die Energieinfrastruktur?**

Basis: Alle Befragten (n=464), ohne „keine Angabe“, Zufallsauswahl von je 8 Items rotiert abgefragt

Antwort	Gesamt	Altersgruppen				Bildung			Geschlecht	
		Alle	18 -29 J.	30 -49 J.	50 -64 J.	65 J. +	Bis Haupt- schule	Realschule	Abitur und höher	M
<b>1 - Gar nicht wichtig</b>	5%	2%	8%	4%	0%	5%	4%	5%	4%	5%
<b>2</b>	6%	5%	9%	7%	2%	4%	10%	7%	9%	2%
<b>3</b>	28%	45%	25%	17%	22%	25%	25%	33%	29%	25%
<b>4</b>	26%	19%	25%	31%	36%	23%	31%	26%	23%	32%
<b>5</b>	20%	28%	16%	18%	16%	22%	17%	20%	21%	18%
<b>6 - Sehr wichtig</b>	15%	1%	17%	23%	24%	21%	13%	9%	14%	18%

**A11) Für wie wichtig halten Sie einen geringen Schadstoffausstoß in die Umgebung?**

Basis: Alle Befragten (n=497), ohne „keine Angabe“, Zufallsauswahl von je 8 Items rotiert abgefragt

Antwort	Gesamt	Altersgruppen				Bildung			Geschlecht	
		Alle	18 -29 J.	30 -49 J.	50 -64 J.	65 J. +	Bis Haupt- schule	Realschule	Abitur und höher	M
<b>1 - Gar nicht wichtig</b>	2%	1%	3%	0%	2%	2%	0%	1%	1%	3%
<b>2</b>	1%	1%	1%	1%	2%	0%	2%	1%	1%	
<b>3</b>	6%	12%	1%	4%	8%	12%	2%	0%	6%	6%
<b>4</b>	7%	9%	8%	3%	8%	2%	14%	8%	8%	6%
<b>5</b>	24%	28%	22%	28%	13%	20%	23%	32%	28%	18%
<b>6 - Sehr wichtig</b>	60%	49%	65%	64%	67%	64%	59%	58%	56%	67%

**A12) Für wie wichtig halten Sie die Nutzung von Technologien mit nur geringem Gefahrenpotential?**

Basis: Alle Befragten (n=517), ohne „keine Angabe“, Zufallsauswahl von je 8 Items rotiert abgefragt

Antwort	Gesamt	Altersgruppen				Bildung			Geschlecht	
		Alle	18 -29 J.	30 -49 J.	50 -64 J.	65 J. +	Bis Haupt- schule	Realschule	Abitur und höher	M
<b>1 - Gar nicht wichtig</b>	2%	0%	1%	3%	2%	3%	0%	1%	2%	0%
<b>2</b>	4%	8%	4%	1%	0%	3%	7%	2%	4%	3%
<b>3</b>	9%	13%	13%	3%	6%	12%	8%	6%	10%	8%
<b>4</b>	15%	32%	9%	8%	9%	17%	14%	13%	15%	15%
<b>5</b>	23%	19%	25%	24%	27%	24%	20%	26%	22%	26%

**Was ist Ihrer Meinung nach die wichtigste Eigenschaft der Energieversorgung? Dass sie klimafreundlich, dass sie preiswert oder dass sie zuverlässig ist?**

Basis: Alle Befragten (n=986), ohne „keine Angabe“

Antwort		Altersgruppen				Bildung			Geschlecht	
		18 -29 J.	30 -49 J.	50 -64 J.	65 J. +	Bis Haupt- schule	Realschul e	Abitur und höher	M	W
<b>Klimafreundlich</b>	42%	46%	40%	44%	38%	41%	43%	44%	38%	49%
<b>Preiswert</b>	21%	15%	25%	17%	27%	31%	18%	10%	19%	23%
<b>Zuverlässig</b>	35%	39%	33%	37%	29%	25%	38%	44%	40%	27%
<b>Weiß nicht/ kn</b>	2%	0%	2%	2%	6%	3%	1%	2%	3%	1%

## Anhang 3: Parameter für ausgewählte Kraftwerkstechnologien

Tabelle: Ermittelte Parameter für ausgewählte Kraftwerkstechnologien für das Jahr 2010 (eigene Berechnungen auf Basis von GEMIS)

Kraftwerkstechnologie <i>pp</i>	Äquivalente <i>i</i> in kg/kWh	Parameter		
		Direkt $D_{i,pp}$	Vorkette $VK_{i,pp}$ $K_{i,pp}$	
Gasturbine				
	SO <sub>2</sub> -Äquivalent	0,000192	0,000072	0,013269
	TOPP-Äquivalent	0,000355	0,000139	0,021520
	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	0,205615	0,030648	6,394286
Gas- und Dampfturbine (GuD)				
	SO <sub>2</sub> -Äquivalent	0,000159	0,000072	0,014354
	TOPP-Äquivalent	0,000308	0,000139	0,023223
	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	0,204117	0,030647	7,030857
Braunkohle				
	SO <sub>2</sub> -Äquivalent	0,000189	0,000006	0,021647
	TOPP-Äquivalent	0,000198	0,000007	0,034905
	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	0,420549	0,012379	10,893714
Steinkohle				
	SO <sub>2</sub> -Äquivalent	0,000236	0,000032	0,043777
	TOPP-Äquivalent	0,000230	0,000043	0,070937
	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	0,342683	0,048128	21,234286
Wind Onshore				
	SO <sub>2</sub> -Äquivalent	0,000000	0,000000	0,056570
	TOPP-Äquivalent	0,000000	0,000000	0,079891
	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	0,000000	0,000000	20,213371
Wind Offshore				
	SO <sub>2</sub> -Äquivalent	0,000000	0,000000	0,052299
	TOPP-Äquivalent	0,000000	0,000000	0,074974
	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	0,000000	0,000000	17,578286
Photovoltaik				
	SO <sub>2</sub> -Äquivalent	0,000000	0,000000	0,262597
	TOPP-Äquivalent	0,000000	0,000000	0,423009
	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	0,000000	0,000000	126,732571