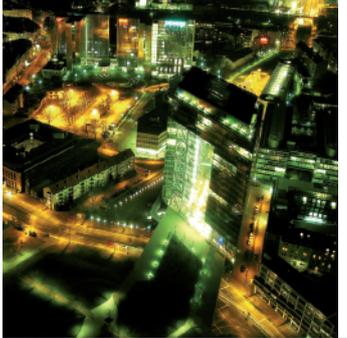


**D. Möst  
W. Fichtner  
A. Grunwald  
(Hrsg.)**



**Workshop**

# **Energie- systemanalyse**



**Karlsruhe, 27. November 2008  
am KIT Zentrum Energie**





D. Möst / W. Fichtner / A. Grunwald (Hrsg.)

## **Energiesystemanalyse**

Tagungsband des Workshops „Energiesystemanalyse“  
vom 27. November 2008 am KIT Zentrum Energie, Karlsruhe



# Energiesystemanalyse

Tagungsband des Workshops „Energiesystemanalyse“  
vom 27. November 2008 am KIT Zentrum Energie, Karlsruhe

D. Möst  
W. Fichtner  
A. Grunwald  
(Hrsg.)



---

universitätsverlag karlsruhe

## Impressum

Universitätsverlag Karlsruhe  
c/o Universitätsbibliothek  
Straße am Forum 2  
D-76131 Karlsruhe  
[www.uvka.de](http://www.uvka.de)



Dieses Werk ist unter folgender Creative Commons-Lizenz  
lizenziert: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/>

Universitätsverlag Karlsruhe 2009  
Print on Demand

ISBN: 978-3-86644-389-1

# Vorwort

Die vielfältigen, teilweise konträren Anforderungen hinsichtlich Klimaschutz, Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit im Energiebereich verdeutlichen, dass die Sicherung einer entsprechend nachhaltigeren Energieversorgung zu den größten globalen Herausforderungen der Zukunft gehört. Interdisziplinäre Arbeiten können Wege zu einer ressourcenschonenden, effizienten und sicheren Energieversorgung ebnen. Zu lösende energiesystemanalytische Fragestellungen zeigen sich dabei entlang der gesamten energetischen Wertschöpfungskette - von der Energiebereitstellung über den Energietransport und die Energieverteilung bis zur Energienachfrage. Hierbei sollte die gesamte Bandbreite technologischer und institutioneller Optionen berücksichtigt werden, zumal sich Fragen nach einer nachhaltigen Energieversorgung nicht nur in Industrienationen, sondern - mit teilweise völlig anderen Anforderungen - auch in Schwellen- und Entwicklungsländern stellen.

Im Zentrum Energie des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) werden über die Forschung zu spezifischen Technologien und einzelnen Technologiefeldern hinaus auch Fragestellungen auf der Ebene von Gesamtsystemen bearbeitet. Das Ziel ist es, auf diese Weise einen langfristigen und möglichst gut objektivierbaren Rahmen zu erarbeiten und weiterzuentwickeln, der als Orientierung für die thematische Weiterentwicklung im KIT-Zentrum und darüber hinaus als Beitrag zur gesellschaftlichen Meinungsbildung dienen soll. In diesem Zusammenhang sind entscheidungsunterstützenden Methoden und Modellen für alle Marktteilnehmer (Energieversorgungsunternehmen, Nachfrager, Intermediäre und Regulierungsinstanzen) von Bedeutung. Zur Entscheidungsunterstützung für politische Entscheidungsträger und Energieversorgungsunternehmen bei Fragen der künftigen Energiesystemgestaltung wird seit Beginn der siebziger Jahre – im Gefolge der beiden Ölpreiskrisen und später vor dem Hintergrund umweltpolitischer Anforderungen – national wie international eine Vielzahl an Energiemodellen entwickelt und eingesetzt. Je nach Untersuchungsgegenstand werden dabei unterschiedliche methodische Ansätze vorangetrieben.

In diesem Buch wird ein Überblick über Methoden der Energiesystemanalyse gegeben, die am KIT weiterentwickelt und angewendet werden. Aufgrund der durch den Begriff "Gesamtsysteme" vorgegebenen thematischen Bandbreite ist es erforderlich, das gesamte Spektrum der im KIT-Zentrum Energie vertretenen Kompetenz zu versammeln, um entsprechende übergreifende Systemanalysen zu erstellen. Im Rahmen eines eintägigen Workshops am KIT wurden die unterschiedlichen Beiträge im November 2008

vorgelegt und diskutiert. Ziel dieses Tagungsbandes ist eine Bestandsaufnahme und Kompetenzdokumentation im Bereich der Energiesystemanalyse, die als Basis zur Ableitung von Entwicklungsperspektiven, Forschungsbedarf und zukünftigen Themenfeldern dienen soll und deswegen einem breiten Publikum zur Verfügung gestellt wird.

Karlsruhe, Mai 2009

*Dominik Möst, Wolf Fichtner und Armin Grunwald*





# Inhaltsverzeichnis

## Energiesystemanalyse

<i>Armin Grunwald, Dominik Möst, Wolf Fichtner</i> Energiesystemanalyse im KIT-Zentrum Energie .....	1
<i>Dominik Möst, Wolf Fichtner</i> Einführung zur Energiesystemanalyse .....	11
<i>Armin Grunwald</i> Energiezukünfte vergleichend bewerten – aber wie? .....	33
<i>Christian Dieckhoff</i> Modelle und Szenarien – Die wissenschaftliche Praxis der Energiesystemanalyse .....	49
<i>Dogan Keles, Dominik Möst, Wolf Fichtner</i> Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2050 – Ein Überblick über ausgewählte Szenarien .....	61
<i>Tobias Jäger, Susanne Schmidt, Ute Karl</i> Ein System Dynamics Modell des deutschen Strommarkts – Modellentwicklung und Anwendung in der Unternehmenspraxis .....	79
<i>Jürgen Kopfmüller, Volker Stelzer</i> Energieszenarien für Megacities – Konzept und erste Ergebnisse des HGF-Verbundprojekts „Risk Habitat Megacity“ .....	99
<i>Heidi Gerbracht, Robert Kunze, Dominik Möst, Wolf Fichtner</i> Optimierung urbaner Energiesysteme .....	117
<i>Massimo Genoese, Dominik Möst, Wolf Fichtner</i> Agentenbasierte Simulation zur Messung von Marktmacht – Eine Analyse für den deutschen Strommarkt .....	139

*Enrique Kremers, Pablo Viejo*

Untersuchung des Einsatzes von agentenbasierten Modellen zur Simulation  
dezentraler Energiesysteme am Beispiel von Guadeloupe..... 169

*Christoph Nolden, Dominik Möst, Wolf Fichtner*

Zur Analyse der Auswirkungen brennstoffabhängiger Benchmarks auf Strom-  
gestehungskosten und Investitionsentscheidungen in der Elektrizitätswirtschaft.... 183

*Anne Held, Heike Krause, Mario Ragwitz*

Kostenpotenzialkurven für Onshore-Windstromerzeugung in der EU basierend  
auf einem geografischen Informationssystem..... 195

*Gunnar Kappler, Stefan Kälber, Ludwig Leible*

Stroh und Waldrestholz – Ergebnisse einer Standortanalyse für das bioliq®-  
Konzept..... 211

*Witold-Roger Poganietz*

Consequential LCA – eine notwendige Weiterentwicklung des LCA? Eine  
Diskussion am Beispiel des lignozellulosebasiertem Bioethanols..... 223

Autorenverzeichnis ..... 241

# Energiezukünfte vergleichend bewerten – aber wie?

Armin Grunwald

*Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Deutschland*

*E-Mail: grunwald@itas.fzk.de, Telefon: +49(0)7247/82-2500*

## 1 Energiezukünfte in Energiepolitik und Energieforschung

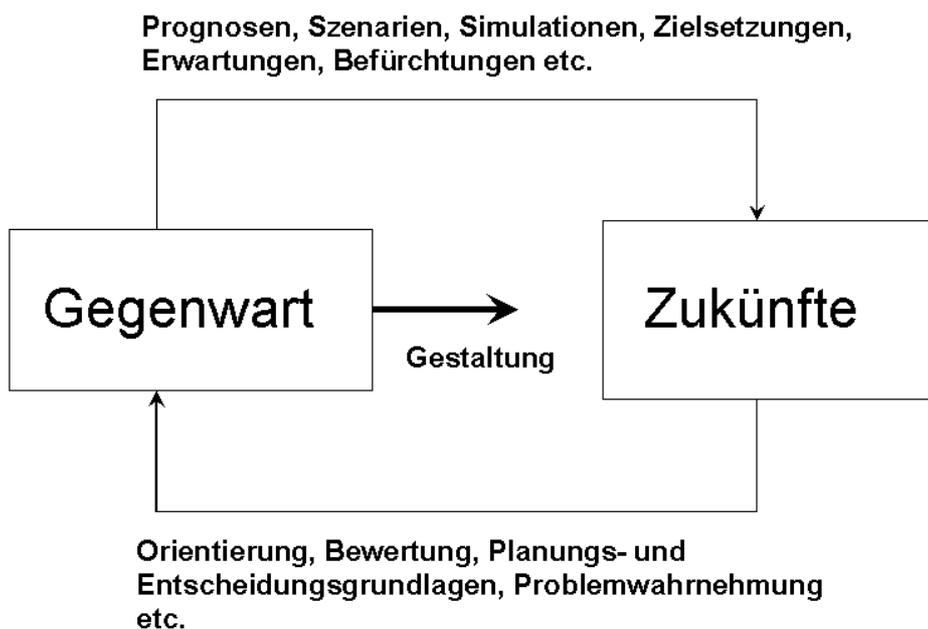
Entscheidungen in Energiepolitik und Energieforschung im Hinblick auf Technologien und Infrastrukturen für Energiebereitstellung und Energieumwandlung erfolgen im Hinblick auf teils weit entfernte Zukünfte.<sup>1</sup> Aussagen über die allmähliche Erschöpfung fossiler Energieträger, über Aussichten auf die Konkurrenzfähigkeit erneuerbarer Energieträger, die Formulierung von Klimazielen durch CO<sub>2</sub>-Vermeidung, die Sicherung der wirtschaftlichen Versorgung mit angesichts geopolitischer Verschiebungen, Potentiale und Risiken der Wasserstoffwirtschaft, langfristige Überlegungen zur Rolle der Fusionstechnologie etc. – alle diese für Energiepolitik und die Ausrichtung der Energieforschung zentralen Aspekte bestehen im Kern aus teils weit reichenden Annahmen über zukünftige Entwicklungen – sie sind 'Zukünfte' auf deren Basis Entscheidungen getroffen werden. Zusammen mit Vorstellungen darüber, welche Beiträge spezifische Technologien (z.B. neue Reaktorlinien in der Kernenergie, die Geothermie oder die CCS-Technologie) in der näheren oder entfernteren Zukunft zu einer sicheren, wirtschaftlichen und umweltverträglichen Energieversorgung leisten können, werden 'Energiezukünfte' gebildet. Diese orientieren *heutige* Energieforschung und *heutige* Energiepolitik. Energiezukünfte können *normative* Szenarien sein, die z.B. bestimmten erneuerbaren Energieträgern im Jahr 2050 einen konkreten Anteil an der Gesamtenergieversorgung zuweisen und die daraus Konsequenzen ableiten, was heute getan werden müsse, um dies zu realisieren (Nitsch/Rösch 2002). Sie umfassen auch explorative Szenarien, welche 'mögliche' Zukünfte untersuchen und herauszufinden trachten, welche politischen oder technischen Maßnahmen in möglichst unterschiedlichen Zukünften positive Beiträge leisten können. Energiezukünfte stellen aber auch energierelevante Prognosen oder Simulationen dar, die die Entwicklung des

---

<sup>1</sup> In diesem Beitrag wird durchgängig der Plural 'Zukünfte' verwendet. Dies ist programmatisch gemeint und wird im Laufe des Beitrags erläutert.

Energiesystems oder der Energienachfrage betreffen (vgl. Abb. 2 für einige Beispiele von Energiezukünften).

Energiezukünfte sind *notwendig*, um rationale Entscheidungen treffen zu können. Rein normativ, d.h. auf der Basis von Zielsetzungen und anerkannten Werten, sind Fragen der Energiepolitik oder der Ausrichtung der Energieforschung nicht entscheidbar. Sie bedürfen orientierender Zukunftsaussagen, z.B. über die Entwicklung des zukünftigen Energiebedarfs, über die zukünftige Verfügbarkeit neuer Technologien und ihrer Zeitrahmen oder über die zeitliche Reichweite von bisherigen Energieträgern. Es ist eine der Hauptaufgaben der Energiesystemanalyse, derartige Zukunftsaussagen, z.B. in Form von Szenarien oder Prognosen, wissenschaftlich und systematisch zu generieren, um hierdurch Entscheidungen in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft zu unterstützen (Dominik Möst in diesem Band).



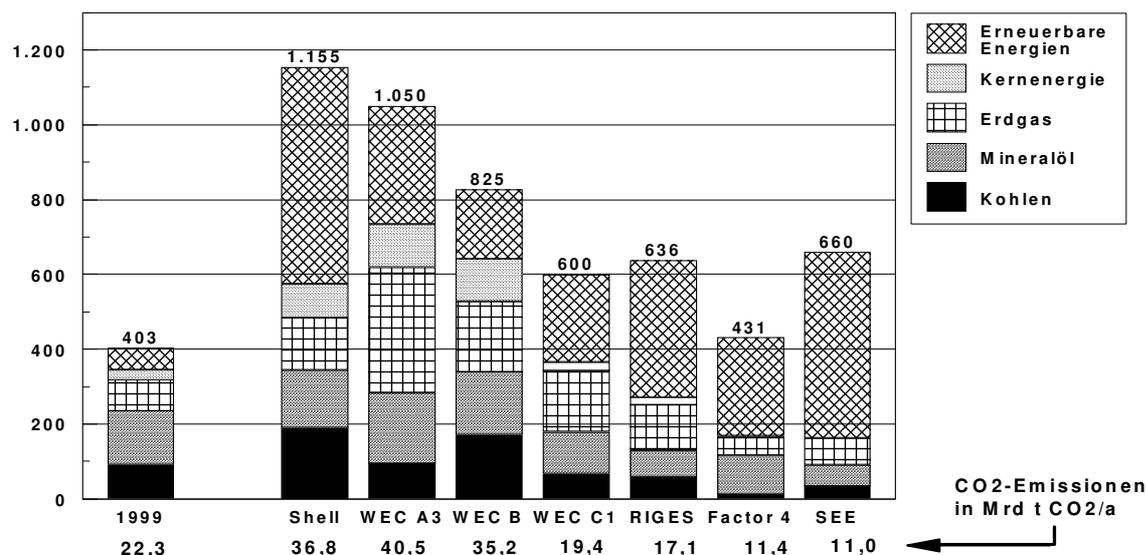
**Abb. 1:** Der entscheidungstheoretische Kreisgang (nach Grunwald 2008, Kap. 10)

Diese Unterstützung gegenwärtig anstehender Entscheidungen durch Zukunftsüberlegungen stellt einen generellen Modus der Entscheidungsvorbereitung in modernen Gesellschaften dar (Luhmann 1997). Prospektives Folgenwissen, Prognosen technischer Fortschritte, Erwartungen und Befürchtungen, aber auch Ziele werden in 'Zukünften' (z.B. in Form von Szenarien) gebündelt, die der Orientierung *heute* anstehender Entscheidungen dienen (vgl. Abb. 1). Ausgehend von *gegenwärtigen*

Problemlagen und Diagnosen wird auf dem Umweg über *Zukunftsdebatten* Orientierung *für heute* gesucht.

Damit dies gelingen kann, darf der entscheidungstheoretische Kreisgang kein *Circulus vitiosus*, kein Leerlauf der Erkenntnis sein, sondern muss gegenüber der Situation *vor* dem Kreisgang einen orientierenden Mehrwert erkennen lassen. Die Erfüllung dieser Forderung führt jedoch auf einige Probleme (generell hierzu vgl. Grunwald 2008, Kap. 10), von denen im Folgenden die erkenntnistheoretische Frage der 'Objektivierbarkeit' bzw. der 'Qualität' der Energiezukünfte angesprochen werden soll.

Denn ein Grundproblem der Zukunftsbilder ist ihr zwangsläufig hohes Maß an involviertem Nichtwissen. Vielfach sind Zukunftsvorstellungen oder Anteile von ihnen mangels Wissen einfach 'gesetzt', z.B. über die zukünftige Rolle der Kernenergie, über Trends hin zu einer eher dezentralen oder zu einer Renaissance zentraler Energieversorgungssysteme oder über die zukünftige Verfügbarkeit von neuen Energieträgern (z.B. Wasserstoff). Energiezukünfte sind unsicher, teils normativ geprägt und häufig umstritten. Vielfach werden Energiezukünfte instrumentalisiert, um spezifische Ziele zu erreichen und politische oder wirtschaftliche Interessen durchzusetzen. Konstruktionen von Zukunft scheinen damit der Ideologie oder der Beliebigkeit ausgesetzt zu sein. Vertreter gesellschaftlicher Positionen, substantieller Werte und spezifischer Interessen scheinen einfach die ihnen passenden Zukunftsbilder zu produzieren, um diese dann in Auseinandersetzungen zur Durchsetzung ihrer partikularen Positionen zu nutzen (Brown et al. 2000). Zukünfte sind zentrale Austragungsfelder der Konflikte einer pluralistischen Gesellschaft. So werden z.B. im Energiebereich seit Jahren inkompatible und divergierende Energiezukünfte gehandelt (vgl. die Beispiele in Abb. 2), ohne dass klar ist, welche Zukünfte wie weit durch Wissen abgesichert sind, wo die Konsensbereiche liegen und wo wenig oder gar nicht gesicherte Annahmen über Randbedingungen und gesellschaftliche Entwicklungen die Zukünfte determinieren. Wenn jedoch Energiezukünfte zur Orientierung von rational begründeten Entscheidungen *heute* beitragen sollen, dürfen sie nicht beliebig oder ideologisch sein. Anderenfalls würde es sich im entscheidungstheoretischen Kreisgang (Abb. 1) bloß um einen Selbstbetrug handeln.



**Abb. 2:** Szenarien des Weltenergieverbrauchs für das Jahr 2050 und Vergleich mit dem derzeitigen Verbrauch: Shell-Szenario „Nachhaltige Entwicklung“; WEC = Szenarien der Weltenergiekonferenzen 1995 und 1998; RIGES = „Renewable Intensive Global Energy Scenario“; Faktor 4 - Szenario Wuppertal-Institut; SEE = Szenario „Solar Energy Economy“ (Quelle: Nitsch/Rösch 2002, S. 305)

Für Entscheider in Energiepolitik und Energieforschung, die nach Orientierung über Energiezukunft suchen, stellt sich angesichts der 'Contested Futures' (Brown et al. 2000) jedenfalls eine spezifische Aufgabe: vor der eigentlichen Entscheidung, z.B. im Hinblick auf die Modernisierung des Kraftwerkparcs oder eine Neufassung des EEG, müssen sie sich angesichts der Vielzahl der angebotenen und konkurrierenden Energiezukunft entscheiden, welche Energiezukunft sie ihrer Entscheidung zugrunde legen wollen – welcher Energiezukunft sie 'trauen' wollen. Energiepolitische Entscheidungen sind danach zweistufig: auf der ersten Stufe wird über die Energiezukunft befunden, die sodann den Rahmen für die eigentliche Entscheidung auf der zweiten Stufe abgibt.

Für die Entscheidung auf der ersten Stufe über die Energiezukunft, denen 'vertraut' wird und in deren Rahmen die Entscheidung dann auf der zweiten Stufe als sinnvoll erwiesen werden muss, ist es erforderlich, das 'Angebot' an Energiezukunft (eine ganze Reihe finden sich in diesem Band) zu analysieren und zu bewerten. Hieraus ergeben sich die zentralen Fragestellungen dieses Beitrages: wie ist es möglich, Zukünfte (vor allem Energiezukunft) auf ihren 'Objektivitätsgehalt' oder auf ihre 'Objektivierbarkeit' hin zu untersuchen? Können Zukünfte auf 'Rationalität' hin bewertet und verglichen werden? Kann wissenschaftlich, d.h. mit guten Gründen nachvollziehbar, ein 'Objektivitätsgefälle' zwischen konkurrierenden Zukünften bestimmt werden? Wo liegen die Grenzen derartiger Analysen von (Energie-)Zukünften? Wie weit ist es möglich, Einseitigkeiten, ideologische Vorannahmen, Interessen und Prämissen aufzudecken und angesichts

kontroverser und umstrittener Zukünfte zu einer rationalen Beurteilung der 'Qualität' dieser Zukünfte zu kommen, um gesellschaftliche Orientierung zu ermöglichen? Um diesen Fragen zumindest ein Stück weit nachgehen zu können, ist zunächst eine grundsätzliche Überlegung zum Konstruktcharakter von Zukünften erforderlich (Kap. 2). Sodann wird die Frage nach bisherigen Vergleichen von Zukünften gestellt (Kap. 3), um aus der Kritik daran ein erkenntnistheoretisch motiviertes Gegenkonzept für Vergleiche wenigstens zu skizzieren (Kap. 4). Am Schluss wird auf eine anlaufende Aktivität am KIT aufmerksam gemacht, die genau diese Frage weiter verfolgen wird.

## 2 Zukünfte als Konstruktionen

Wenn Energiezukünfte untereinander verglichen oder an externen Anforderungen gemessen werden sollen, ist es zunächst erforderlich zu reflektieren, um welchen Typ von Gegenständen es sich bei Zukünften generell und Energiezukünften im Besonderen handelt. Zukunft 'gibt' es nicht als empirischen Untersuchungsgegenstand, jedenfalls wenn unter 'Zukunft' etwas verstanden wird, was in einer zukünftigen Gegenwart einmal gegenwärtig sein wird. Alles, was zukünftige Gegenwarten betrifft, ist nicht empirisch zugänglich, sondern befindet sich in unseren Gedanken, in den Debatten, in Texten oder in Diagrammen. Empirisch zugänglich sind nur die Bilder, die wir uns auf verschiedenste Weise von der Zukunft machen, nicht aber die Zukunft, wie sie einmal Gegenwart sein wird, selbst.<sup>2</sup>

Zukunft kann aufgrund des unlösbaren Bezuges auf die sprachlichen Mittel, mit denen wir über Zukunft reden, immer nur das sein, von dem jeweils 'heute' *erwartet wird*, dass es sich ereignen wird oder kann (Grunwald 2007). Wenn wir über den Energiemix im Jahre 2050 reden, reden wir nicht darüber wie dieser Energiemix dann 'wirklich' sein wird, sondern darüber, wie wir ihn uns *heute vorstellen*, und diese Vorstellungen gehen teils weit auseinander (vgl. Abb. 2). Zukünfte sind damit *etwas je Gegenwärtiges* und verändern sich mit den Veränderungen der jeweiligen Gegenwarten. Als Beispiel: die Energiezukünfte der 60er Jahre für das Jahr 2000 sahen anders aus als die Energiezukünfte nach den beiden Ölkrisen der 70er Jahre. Energiezukünfte für Deutschland sahen nach dem Ausstiegsbeschluss aus der Kernenergie anders aus als

---

<sup>2</sup> Aus diesem Grund wird in diesem Beitrag von Zukünften im Plural gesprochen. Der Plural drückt aus, dass uns 'die' Zukunft nicht zugänglich ist, sondern dass wir uns nur viele und unterschiedliche Bilder von ihr, eben 'Zukünfte' machen können.

vorher. *Zukunft ist also nichts außerhalb der Gegenwart, sondern ein spezifischer Teil der jeweiligen Gegenwart* (Grunwald 2007).<sup>3</sup>

Wir machen futurische Aussagen und Prognosen, simulieren zeitliche Entwicklungen und bilden Szenarien, formulieren Erwartungen und Befürchtungen, setzen Ziele und denken über Pläne zu ihrer Realisierung nach. Dies alles geschieht im Medium der Sprache (Kamlah 1973) und damit je *gegenwärtig*. Auch Prognostiker und Modellierer können nicht aus der Gegenwart ausbrechen, sondern machen ihre Prognosen und Simulation immer auf der Basis *gegenwärtigen* Wissens und *gegenwärtiger* Relevanzeinschätzungen (Grunwald 2000, Kap. 3.3.3). Das Vorliegen zukünftiger Sachverhalte oder Verläufe lässt sich aus gegenwärtigem Wissen weder *logisch ableiten* (Goodman 1954) noch *empirisch erforschen*. Daher können wir über *mögliche* Zukünfte reden, über alternative Möglichkeiten, wie wir uns die zukünftige Gegenwart vorstellen, und darüber, mit welcher Berechtigung wir etwas in der Zukunft erwarten dürfen. Dies sind immer *gegenwärtige Zukünfte* und keine zukünftigen Gegenwarten (Picht 1971; Bechmann 1994).

Zukünfte 'gibt' es nicht von sich aus, und sie entstehen nicht von selbst. Sondern Zukünfte werden 'gemacht' und sprachlich, oder sprachlich explizierbar, z.B. im Falle von mathematischen Formeln oder Diagrammen, *konstruiert*, auf mehr oder weniger komplexe Weise. Das Entwerfen von Zukünften ist ein Handeln unter Zwecken, vor allem zur Schaffung von Orientierung im Sinne des entscheidungstheoretischen Kreisgangs (Abb. 1), und vor dem Hintergrund spezifischer Randbedingungen. Zukünfte, seien dies Prognosen, Szenarien, Pläne, Programme, spekulative Befürchtungen oder Erwartungen werden 'verfertigt' unter Verwendung einer ganzen Reihe von Zutaten wie Wissensbeständen, Werturteilen oder Annahmen. Dieser Konstruktcharakter von Zukünften, ihr Charakter als Resultate eines Konstruktionsprozesses trifft besonders sichtbar auf *Szenarien* zu. Die gängige Rede von einem 'scenario-building' verdeutlicht diesen Konstruktionsprozess (vgl. einschlägige Beispiele in diesem Band).

Konstruktionen von Zukunft erfolgen nach Maßgabe verfügbaren Wissens, aber auch unter der Bezugnahme auf Relevanzeinschätzungen, Werturteile und Interessen, oft im Rahmen von Aufträgen durch Entscheider in Politik und Wirtschaft.<sup>4</sup> Der Konstruktcharakter von Zukünften kann daher von Vertretern gesellschaftlicher

---

<sup>3</sup> Aus diesem Grund ist es auch möglich, von 'vergangenen Zukünften' zu reden, etwa wenn Historiker sich mit den Zukunftsprojektionen in früheren Zeiten befassen.

<sup>4</sup> Vgl. den Beitrag von Christian Dieckhoff in diesem Band für einen Ansatz zur Erforschung des 'Konstruktionsprozesses' von Energiezukünften.

Positionen, substantieller Werte und spezifischer Interessen genutzt werden, um die ihren Interessen entsprechenden Zukunftsbilder zu produzieren und diese in Auseinandersetzungen zur Durchsetzung ihrer partikularen Positionen einzusetzen (Brown et al. 2000).<sup>5</sup> Hier stellt sich die Frage, ob und inwieweit der Vereinnahmung und Instrumentalisierung von Energiezukünften entgegengearbeitet werden kann, indem mit Mitteln wissenschaftlicher Rationalität Energiezukünfte unter Objektivierbarkeitsstandards vergleichend bewertet werden, um Einseitigkeiten, Schief lagen und krude Instrumentalisierungen aufdecken zu können.

### 3 Zum Vergleich von Energiezukünften

Energiebereitstellung und -versorgung dürfte dasjenige Feld sein, in dem die zahlreichsten und ambitioniertesten Zukünfte erstellt worden sind, zum großen Teil mit einem ganz erheblichen Aufwand. Energiezukünfte gibt es zuhauf (vgl. die Beispiele in Abb. 2), begonnen bei den globalen Energieszenarien der großen Institutionen und Organisationen im Energiebereich bis hin zu hoch differenzierten und kleinteiligen technologie-, branchen- oder regionalspezifischen Zukünften. Aufgrund der hohen Investitionskosten von Energieinfrastruktur und -bereitstellungstechnologien und der in der Regel langen Betriebsdauern einmal in Betrieb genommener Großanlagen wird durch Entscheidungen im Energiebereich die Zukunft auf lange Sicht 'festgelegt' oder wenigstens stark beeinflusst. Die langen Zeiträume bis zur Marktreife neuer Energietechnologien und bis zum Aufbau neuer Infrastrukturen führen ebenfalls zu einem hohen Bedarf an Energiezukünften, damit entsprechend langfristig geplant werden kann. Schließlich führt die zentrale Bedeutung von Energie für die Funktionsfähigkeit moderner Volkswirtschaften zu erheblichen politischen Vorsorgenotwendigkeiten, die ebenfalls der Orientierung durch Zukünfte bedürfen.

Vergleichende Analysen zu Energiezukünften hat es durchaus gegeben, so z.B. im Rahmen des IKARUS-Projekts (Markewitz/Stein 2003; zu Energiezukünften vgl. <http://docserv. bis.uni-oldenburg.de/publikationen/dissertation/schent99/kap3.pdf>) sowie im Rahmen von Modellexperimenten (vgl. MEX 1999 – 2005). Für diese Vergleiche wurden gemeinsame Ausgangsparameter und Daten definiert, um eine vergleichbare Ausgangsbasis zu erhalten (MEX 2005, S. 3f.). Die Vergleiche selbst wurden häufig auf der Basis von Kosten/Nutzen-Analysen erstellt oder erfolgten im Hinblick auf die

---

<sup>5</sup> Häufig konstruieren insbesondere Entscheider über Technik und davon Betroffene ihre Sichten auf die Zukunft mit der betreffenden Technik in unterschiedlicher Weise (Bechmann 2007).

*Ergebnisse, Aussagen und Implikationen* der jeweiligen Zukünfte (z.B. über Sensitivitätsanalysen). Auf diese Weise kann sicher vieles über Gemeinsamkeiten und Unterschiede der simulierten Zukünfte gelernt werden. Hieraus ist jedoch bislang kein systematisches Instrumentarium vergleichender Bewertung entstanden, das den in Kap. 1 genannten Anforderungen genügen könnte. Generell kann in (mindestens) vier Richtungen systematisch nach beurteilenden Kriterien für Vergleiche gesucht werden:

1. *strukturorientiert* durch Analyse der Architektur und der internen Komposition der Energiezukünfte, also z.B. durch die Analyse der Struktur der zugrunde liegenden Modells, der mathematischen Erfassung und der Programmierung,
2. *output-orientiert* durch einen Vergleich ihrer Aussagen und Ergebnisse, also z.B. durch einen Vergleich der Zukünfte, die sich durch Simulation ergeben, oder von qualitativen oder quantitativen Szenarien,
3. *input-orientiert* durch die Analyse der Wissens- (und Nichtwissens-)strukturen der unterschiedlichen Zukünfte, also der enthaltenen Wissensbestandteile und der Prämissen und Annahmen sowie ihrer Zusammenfügung in der betreffenden Zukunft.
4. *kontextorientiert*: durch die Analyse der Randbedingungen und Kontexte der verschiedenen spezifischen Energiezukünfte, die die Konstruktion beeinflussen (z.B. Vorgaben des Auftraggebers, Elemente eines 'prädeliberativen Einverständnisses' über die jeweilige Problemlage etc.).

Insofern es in diesem Beitrag um die Möglichkeit und das Vorgehen einer vergleichenden Bewertung von Energiezukünften unter Aspekten ihrer diskursiven 'Vertrauenswürdigkeit' gehen soll, scheidet die output-orientierte Richtung aus, denn die Qualität des Outputs hängt von den verwendeten Inputs und der Art ihrer Verwendung ab. Ein argumentativ gerechtfertigtes Vertrauen in Zukünfte muss daher (a) im Hinblick auf die argumentative Qualität der *Inputs* in die Zukünfte geprüft werden, und es muss (b) die *Komposition* der Inputs, z.B. im Hinblick auf Konsistenzfragen von Szenarien und die Einbettung in den *Kontext* beachtet werden.

Damit ist vor dem Hintergrund des Konstruktcharakters der Energiezukünfte (Kap. 2) für ihre 'Qualität' nicht das entscheidend, was für die Zukunft vorausgesagt wird, sondern das, was heute in die Konzipierung dieser Zukünfte hineingesteckt wird. In einer Analogie zum Backen eines Kuchens kommt es sowohl auf die Qualität der 'Zutaten' als auch auf die Qualität im Zusammenfügen der 'Zutaten' an. In dieser Analogie wird aber

auch ein fundamentaler Unterschied zwischen dem Anfertigen einer Energiezukunft und dem Backen eines Kuchens deutlich: das Ergebnis des Kuchenbackens kann empirisch auf seine Qualität getestet werden (durch Essen), während das Ergebnis der Zukunftskonstruktion keiner empirischen Prüfung unterzogen werden kann. Dass verschiedene Modelle unter vergleichbaren Annahmen ähnliche Zukünfte produzieren (vgl. MEX 1999 – 2005), ist nur eingeschränkt eine gute Botschaft: sie könnten z.B. in bestimmten Annahmen sämtlich einem spezifischen Zeitgeist unterliegen. Eine Qualitätsprüfung von Energiezukünften kann daher nur an den Ingredienzien und an ihrer Komposition ansetzen, also am Prozess und den Zutaten der Zubereitung.

#### 4 Diskursive Prüfung von Zukunftsaussagen

Rationale Entscheidungen in Energiepolitik und Energieforschung bedürfen zur Orientierung rationaler, d.h. begründeter und nicht beliebiger Energiezukünfte. Es ist also ein Verfahren der Bewertung von Energiezukünften gefragt, in dem ihre 'Rationalität', also ihre inter- und transsubjektive argumentative Qualität analysiert und letztlich geprüft werden könnte. Über die Qualität wissenschaftlicher Ergebnisse und Thesen, d.h. über die argumentative Geltung von Aussagen und die Berechtigung von Aufforderungen wird nach üblichem Verständnis *diskursiv* entschieden (z.B. Gethmann 1979; Habermas 1988). Ein Diskurs, der zwischen Opponenten und Proponenten unter Einhaltung von Diskursregeln erfolgt, ist das Verfahren, in dem auch die Qualität von Energiezukünften beurteilt und in dem zwischen konkurrierenden Zukünften entschieden werden müsste, nach Maßgabe ihrer größeren 'argumentativen Härte' und Haltbarkeit in diesem Diskurs. Die größere 'argumentative Härte' ist nicht gleichbedeutend mit der, wie dies oft verstanden wird, späteren Eintrittswahrscheinlichkeit. Was *mit Geltung* gesagt werden kann, sind nicht Behauptungen über das Eintreffen von Zukünften, sondern nur die *Erwartbarkeit* ihres Eintreffens auf der Basis des gegenwärtigen Wissens und gegenwärtiger Relevanzeinschätzungen (Lorenzen 1987; Knapp 1978).

Wenn, wie in Kap. 3 erläutert, für die argumentative Qualität nicht der Gehalt der Zukunftsaussage entscheidend ist, sondern das, was in ihre Konstruktion hineingelegt wurde, stellt sich die Frage, welche Ingredienzien in die Gestaltung von Zukünften, insbesondere Energiezukünften investiert werden. Zukünfte sind in Bezug auf ihre Wissensstruktur zunächst opake Konstrukte aus den unterschiedlichsten Bestandteilen: wissenschaftliches Wissen unterschiedlicher Quelle und Geltung, lebensweltliches Wissen, ad hoc Annahmen, Relevanzeinschätzungen, ceteris paribus-Bedingungen etc.

Nicht durch Wissen gestützte Anteile werden durch mehr oder weniger gut begründbare Annahmen und evaluative Bedingungen ergänzt oder kompensiert. In der Analyse, welche Geltung Zukunftsaussagen zukommt bzw. wie die Qualität von Zukünften zu bewerten sei und wie diese bestimmt wird, müssen Proponenten einer Position (z.B. die Promotoren einer spezifischen Energiezukunft) mit ihren eigenen Ansprüchen und den Argumenten von Opponenten (z.B. Vertretern anderer Energiezukünfte) konfrontiert werden (Gethmann 1979; Habermas 1988). Dazu muss eine Abstufung der Wissensbestandteile, die in die jeweilige Zukunftsaussage eingeflossen sind, und der jeweiligen Prämissen nach Geltungsaspekten vorgenommen werden. Dies entspricht einer *Dekonstruktion* der zu analysierenden Zukünfte, einer Zerlegung in ihre sprachlichen und epistemologisch relevanten Bestandteile. In einer groben Annäherung kann zunächst folgende Abstufung der Wissens- und Nichtwissensbestandteile vorgenommen werden:

- *gegenwärtiges Wissen*, das nach anerkannten (z.B. disziplinären) Kriterien *als* Wissen erwiesen ist (z.B. je nach Fragestellung aus Geologie, Wirtschaftswissenschaften, Technikwissenschaften, .....);
- *Einschätzungen* zukünftiger Entwicklungen, die kein gegenwärtiges Wissen darstellen, sich aber durch gegenwärtiges Wissen begründen lassen (z.B. demografischer Wandel, Energiebedarf ....);
- *ceteris-paribus Bedingungen*, indem bestimmte Kontinuitäten, ein 'business as usual' in bestimmten Hinsichten oder die Abwesenheit disruptiver Veränderungen als Rahmen für die prospektiven Aussagen angenommen werden;
- *ad-hoc Annahmen*, die nicht durch Wissen begründet sind, sondern die 'gesetzt' werden (wie z.B. die auch zukünftige Gültigkeit des deutschen Kernenergieausstiegs, das Nichteintreten eines katastrophalen Kometeneinschlags auf der Erde ...).

Für den Vergleich von Zukunftsaussagen unter Geltungsaspekten ist demnach die Qualität des enthaltenen Wissens, der Einschätzungen und der ad-hoc- und der ceteris-paribus-Annahmen und ihrer Zusammenstellung zu hinterfragen, genauso wie die diskursive Haltbarkeit der oben genannten Relevanzentscheidungen und der Anteile des Nichtwissens, insofern es sich um ein 'gewusstes' Nichtwissen handelt.

Diese Feststellung hat weit reichende Konsequenzen. Wer Geltung beanspruchend über zukünftige Entwicklungen redet, muss – soweit wie vom Opponenten gefordert, denn eine Vollständigkeit ist grundsätzlich nicht erreichbar – die Voraussetzungen

angeben, die als Bedingungen für eine begründbare Zukunftsaussage angenommen werden müssen. Ein Diskurs um Qualitäts- und Geltungsfragen von Zukunftsaussagen wird dadurch zu einem Diskurs über die – jeweils gegenwärtig gemachten – Wissensbestandteile und Voraussetzungen, aber auch über ihre methodische Zusammenfügung z.B. in einem Modell, die zu der Zukunftsaussage geführt haben. Ein Streit über die Qualität von Energiezukünften bezieht sich daher nicht auf die vorausgesagten Ereignisse in einer zukünftigen Gegenwart, sondern auf die Gründe, die auf der Basis gegenwärtigen Wissens und gegenwärtiger Relevanzbeurteilungen für die jeweiligen Zukünfte in Anschlag gebracht werden können und zwischen denen diskursiv abgewogen werden muss.

Ein Diskurs über den 'Objektivitätsgehalt' von Zukunftsaussagen wird dadurch zu einem Diskurs über die – jeweils gegenwärtig gemachten – Voraussetzungen, die zu der Zukunftsaussage geführt haben. Der ‚Objektivitätsgrad‘ von Zukunftsaussagen hängt nicht davon ab, ob die vorausgesagten Ereignisse zukünftig eintreffen (denn das ist im Vorhinein nicht 'messbar'), sondern liegt an den *gegenwärtig* angeführten Argumenten. Auf diese Weise wird zumindest programmatisch ein Weg aufgezeigt, der in Kap. 1 befürchteten Beliebigkeit der Energiezukünfte bzw. ihrem vielfach vermuteten Ideologiegehalt mit wissenschaftlichen Mitteln entgegen zu treten. In einer erkenntnistheoretischen 'Dekonstruktion' dieser Zukünfte geht es darum, über ihren erkenntnistheoretischen Status und ihre argumentative Belastbarkeit etwas zu erfahren, sie letztlich daraufhin zu prüfen, in welchem Maße und bis zu welcher Grenze eine spezifische Energiezukunft wissenschaftsbasiert ist.

Eine derartige Dekonstruktion führt vermutlich nicht zu einer digitalen Sortierung der Energiezukünfte in objektive und subjektive, in neutrale und ideologische oder in wertende und wertfreie Zukünfte. Dazu dürfte der Anteil des Nichtwissens vielfach deutlich zu hoch sein, und damit auch der Anteil wertender Ingredienzien. Aber was zumindest erwartbar ist, ist die Schaffung von *Transparenz* in Bezug auf Energiezukünfte: in Bezug auf die Wissensbestände und deren Grenzen, in Bezug auf involvierte Unsicherheiten, die in einer solchen Dekonstruktion expliziert werden müssten, während sie sonst im Dunkeln bleiben können, und in Bezug auf die Aufdeckung der involvierten Werte, Normen und auch Interessen.<sup>6</sup> Diese in einer 'unbarmherzigen' erkenntnistheoretischen Dekonstruktion zu erwartenden Leistungen

---

<sup>6</sup> In Forschungsprojekten sind häufig nicht einmal die Eingangsdaten umfassend beschrieben, geschweige denn dass die 'Rezeptur' der Erstellung der Zukünfte transparent erläutert wird. Besser ist die Situation immerhin in Dissertationen.

sind es, die die Mühe einer solchen Anstrengung rechtfertigen, auch in Ansehung der Unsicherheiten, wie weit man damit zur Ermöglichung rationaler Entscheidungen auf der ersten Stufe, der Stufe der Entscheidung zwischen konkurrierenden Zukünften im Supermarkt der Energiezukünfte, wirklich kommt.

## 5 Energiesystemanalyse und objektivierbare Zukünfte

Im Rahmen der Shared Research Group (SRG) "Objektivierbarkeit von Zukunftsannahmen am Beispiel der Energiezukünfte", die zurzeit am KIT in Kooperation zwischen Forschungszentrum (Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, ITAS) und Universität (Institut für Philosophie) eingerichtet wird, soll das skizzierte Programm der Entwicklung eines Instrumentariums zur vergleichenden Bewertung von Energiezukünften ein Stück weit realisiert werden. Die Ansiedlung der SRG am Institut für Philosophie und die damit erkennbare Heranziehung wissenschafts- und erkenntnistheoretischer Analyseverfahren zur Bewertung von Energiezukünften stellt einen innovativen Zugang zu diesem Feld dar.

Die Aufgabe der SRG besteht darin, verschiedene (kontroverse) Energiezukünfte genau auf ihre *heute* gemachten Voraussetzungen hin zu prüfen, diese Voraussetzungen zu klassifizieren, ein begriffliches Gerüst und konzeptionelles Vorgehen für 'Objektivitätsanalysen' aufzubauen und dies auf Energiezukünfte anzuwenden. Auf diese Weise kann es gelingen, differenzierte Vorstellungen von Energiezukünften in Relation zu den jeweils unterstellten Voraussetzungen zu erzeugen. Konsensbereiche im Hinblick auf Energiezukünfte können genauso identifiziert werden wie verbleibende Dissense und die Gründe, die zu den Dissensen führen. Damit ist zwar noch kein Orientierungsproblem gelöst, aber die kognitive und normative Basis bereitet, um Handlungsalternativen in Energie- und Energieforschungspolitik rationaler in Bezug auf die Energiezukünfte, relativ zu denen sie sich positionieren, beurteilen zu können. Die SRG wird zur Erreichung dieser Ziele Forschung auf zwei Ebenen durchführen:

- auf der wissenschafts- und wissenstheoretischen Ebene geht es langfristig, also über die Förderperiode der SRG hinaus, um den Aufbau einer Theorie des Zukunftswissens. Aufgaben sind die Klassifizierung von Zukünften und ihrer Bestandteile, die Untersuchung von Geltungs- und Objektivitätsfragen und die Identifizierung von verschiedenen Voraussetzungstypen, sowohl in Bezug auf die

verwendeten 'Zutaten' in der Verfertigung der Zukünfte als auch mit Blick auf das Verfahren der 'Verfertigung', z.B. in der Modellbildung.

- auf der Ebene konkreter Energiezukünfte geht es um die Analyse spezifischer Szenarien und Modelle im Energiebereich. Dabei wird das generelle begriffliche und analytische Instrumentarium erprobt und zum Aufbau einer Typologie von Energiezukünften nach Qualitäts- und 'Objektivitätsaspekten' genutzt. Schließlich geht es um die Analyse der relevanten Kontroversen, Werte, Interessen und ad hoc Annahmen, die den Hintergrund divergierender Energiezukünfte bilden.

Beide Ebenen werden in enger Wechselwirkung miteinander bearbeitet. In Bezug auf die räumliche Dimension der betrachteten Energiezukünfte wird es zunächst darum gehen, vorhandene Energiezukünfte auf der nationalen und europäischen Ebene zu betrachten, bevor eine Erweiterung auf die globale Ebene stattfinden kann.

In methodischer Hinsicht kann in gewisser Weise auf Verfahren der Wissenschaftstheorie (Janich 2001) und der Argumentationstheorie (Habermas 1973) zurückgegriffen werden, z.B. auf die rationale Rekonstruktion und die Diskursanalyse. Ihre Anwendung auf Zukünfte bedarf jedoch einer eigenen methodischen Weiterentwicklung. Ein Ziel der SRG ist daher auch, ein Analyseinstrument zur Beurteilung von Zukünften aufzubauen, das im weiteren Verlauf in weiteren Technikfeldern eingesetzt werden kann.

## Literatur

- Bechmann, G. (1994): Frühwarnung – die Achillesferse der TA? In: Grunwald, A., Sax, H. (Hg.): Technikbeurteilung in der Raumfahrt. Anforderungen, Methoden, Wirkungen. Berlin, S. 88-100
- Bechmann, G. (2007): Die Beschreibung der Zukunft als Chance oder Risiko? Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 16, S. 24-31
- Brown, N., Rappert, B., Webster, A. (Hg.) (2000): Contested Futures. A sociology of prospective techno-science. Burlington/Ashgate
- Gethmann, C. F. (1979): Proto-Logik. Untersuchungen zur formalen Pragmatik von Begründungsdiskursen. Frankfurt
- Goodman, N. (1988): Tatsache Fiktion Voraussage. Frankfurt. Ersterscheinung: Fact Fiction Forecast (1954)

- Grunwald, A. (2000): Handeln und Planen. Philosophische Planungstheorie als handlungstheoretische Rekonstruktion. München
- Grunwald, A. (2007): Orientierungsbedarf, Zukunftswissen und Naturalismus. Das Beispiel der „technischen Verbesserung“ des Menschen. Deutsche Zeitschrift für Philosophie 55(2007)6, S. 949-965
- Grunwald, A. (2008): Auf dem Weg in eine nanotechnologische Zukunft. Philosophisch-ethische Fragen. Freiburg
- Habermas, J. (1973): Wahrheitstheorien. In: Fahrenbach, H. (Hg.): Wirklichkeit und Reflexion. Walther Schulz zum sechzigsten Geburtstag. Pfullingen, S. 211-265
- Habermas, J. (1988): Theorie des kommunikativen Handelns. Frankfurt
- Heinloth, K. (2003): Die Energiefrage. Bedarf und Potentiale, Risiken und Kosten. Vieweg
- Janich, P. (2001): Logisch-pragmatische Propädeutik. Vehbrück
- Kamlah, W. (1973): Philosophische Anthropologie. Sprachkritische Grundlegung und Ethik. Mannheim
- Knapp, H.-G. (1978): Logik der Prognose. Freiburg/München
- Lorenzen, P. (1987): Lehrbuch der konstruktiven Wissenschaftstheorie. Mannheim
- Luhmann, N. (1997): Die Gesellschaft der Gesellschaft. Frankfurt
- Markewitz, P., Stein, G. (Hg.): Das IKARUS-Projekt. Energietechnische Perspektiven für Deutschland. Jülich 2003
- MEX I (1999): Modellexperiment - Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland (Hrsg.): Energiemodelle zum Klimaschutz in Deutschland - Strukturelle und gesamtwirtschaftliche Auswirkungen aus nationaler Perspektive. Heidelberg
- MEX II (2002): Modellexperiment - Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland (Hrsg.): Energiemodelle zum Kernenergieausstieg in Deutschland - Effekte und Wirkungen eines Verzichts auf Strom aus Kernkraftwerken. Heidelberg
- MEX III (2004a): Modellexperiment - Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland (Hrsg.): Energiemodelle zum Klimaschutz in liberalisierten Energiemärkten - Die Rolle erneuerbarer Energieträger. Münster
- MEX IV (2004b): Modellexperiment - Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland (Hrsg.): Energiemodelle zum Klimaschutz in liberalisierten Energiemärkten - Der Beitrag der deutschen Energiewirtschaft. Münster: Lit-Verlag, 2004.

MEX V (2005): Modellexperiment - Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland (Hrsg.): Ansätze zur Modellierung von Innovation in der Energiewirtschaft. Berlin

Nitsch, J., Rösch, C. (2002): Perspektiven für die Nutzung regenerativer Energien. In: Grunwald, A., Coenen, R., Nitsch, J., Sydow, A., Wiedemann, P. (Hg.): Forschungswerkstatt Nachhaltigkeit. Berlin, S. 297 – 319

Picht, G. (1971): Prognose Utopie Planung. Stuttgart