

SCHWERPUNKT

Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung – Beiträge von TA und Energiesystemanalyse

Einführung in den Schwerpunkt

von Armin Grunwald und Witold-Roger Poganietz, ITAS

Seit einigen Jahren steht „Energie“ wieder in der ersten Reihe der öffentlich, politisch und wissenschaftlich diskutierten Themen. So wurde das Jahr 2010, angeregt und koordiniert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, in Deutschland als „Jahr der Energie“ begangen und durch vielfältige Aktivitäten mit Leben erfüllt. Das vorliegende Heft möchte sich in diese Aktionen einreihen und, dem Auftrag unserer Zeitschrift entsprechend, auf die speziellen Möglichkeiten der Technikfolgenabschätzung (TA) und Energiesystemanalyse eingehen, um so zur Bewältigung der anstehenden Herausforderungen beizutragen.

1 Motivation und Zielsetzung

Sämtliche menschliche Aktivitäten sind mit dem Einsatz von Energie verbunden. Die Verfügbarkeit von Energie und Energiedienstleistungen stellt für ein menschenwürdiges Leben, für die Funktions- und Existenzfähigkeit sowie für die Entwicklung einer Gesellschaft eine ähnlich grundlegende Voraussetzung dar wie die Verfügbarkeit von Trinkwasser und Nahrungsmitteln. In besonderem Maße gilt dies für die Produktions- und Konsummuster moderner Industriestaaten.

Der Energiesektor ist jedoch mit erheblichen Problemen und Herausforderungen kon-

frontiert: Zunächst ist der Zugang zu und die Nutzung von Energierohstoffen global gesehen sehr ungleich verteilt. Rund ein Viertel der Menschheit – vorwiegend in den ärmsten Staaten – hat keinen Zugang zu elektrischer Energie. Gleichzeitig können die mit der Bereitstellung von Energiedienstleistungen verbundenen Gewinnungs-, Wandlungs-, Nutzungs- und Entsorgungsprozesse erhebliche und zum Teil sehr langfristig wirksame Gefährdungen der natürlichen Lebensgrundlagen, der menschlichen Gesundheit und der wirtschaftlichen Entwicklungsfähigkeit z. B. durch Schadstoffemissionen oder Klimaveränderungen bewirken. Des Weiteren ist die Erschöpfung volkswirtschaftlich wesentlicher Energieträger absehbar – v. a. bei Erdöl. Insbesondere in den Industriestaaten wird die zukünftig wohl zunehmende Abhängigkeit von Erdöl- und Erdgaslieferungen aus häufig politisch instabilen Regionen und die daraus resultierenden Versorgungs- und Preisrisiken als problematisch angesehen. Angesichts des fortschreitenden globalen Bevölkerungswachstums, der zunehmenden Ressourcenbedarfe zur Sicherung der wirtschaftlichen Entwicklungserfordernisse der ärmeren Staaten sowie des starken Anstiegs des Energieverbrauchs in Ländern wie China und Indien wird der globale Energieverbrauch weiter steigen und werden sich damit die genannten Probleme weiter verschärfen, wenn nicht gegengesteuert wird.

Diese Problematik ist seit einigen Jahren – nach langer Zeit der Verdrängung – wieder in das allgemeine politische und gesellschaftliche Bewusstsein gelangt. Eine Fülle von Aktivitäten zur zukünftigen Energiepolitik, zum Bedarf an Energieforschung, zu nachhaltigen oder konsistenten Energieszenarien und zu Strategien, die heterogenen Anforderungen an Klima- und Umweltverträglichkeit, Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit, Sozialverträglichkeit und Zugangsgerechtigkeit simultan zu befriedigen, kennzeichnet die letzten Jahre. Gemeinsam ist allen daraus erwachsenen strategischen Programmen die Forderung nach einer systemischen Betrachtungsweise, nach frühzeitiger Technikfolgenabschätzung und nach sorgfältiger Berücksichtigung der Schnittstellen zur Gesellschaft.

Vor diesem Hintergrund sollen in diesem Schwerpunkt Beiträge von Technikfolgenabschätzung (TA) und Energiesystemanalyse¹ zu einer nachhaltigen Energieversorgung in den Blick genommen werden. Die systemischen Verflechtungen innerhalb des Systems der Energiebereitstellung, -umwandlung, -transport, -speicherung und -nutzung, die Verbindungen zu gesellschaftlichen Bereichen wie Mobilität und die Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz sind ein erster Grund, Technologie- und Innovationsentwicklung im Energiebereich systemanalytisch und durch prospektive Verfahren der Technikbewertung zu unterstützen. Ein zweiter Grund sind die oben genannten heterogenen und teils divergierenden Ansprüche an eine nachhaltige Energieversorgung, die Beurteilungen und Optimierungen auf der Ebene des Energiesystems und nicht einzelner Technologien erfordern. Ein dritter Grund ist die langfristige Festlegung, die mit Entscheidungen im Energiebereich vielfach verbunden ist – ob nun durch Investitionen in Kraftwerke und in Infrastrukturen oder auch im Hinblick auf gesellschaftliche „Kulturen“ im Umgang mit Energie.

Angeichts der thematischen und methodischen Fülle der Energiesystemanalyse kann in diesem Schwerpunkt kein Anspruch auf Vollständigkeit oder auch nur Repräsentativität erhoben werden. Das Ziel ist vielmehr, anlässlich des Jahres der Energie exemplarisch aufzuzeigen, mit welchen thematischen und methodischen Herausforderungen und auf welchen Betrachtungsebenen Technikfolgenabschätzung und Energiesystemanalyse Beiträge zu einer nachhaltigen Energieversorgung leisten können.

2 Energiebezogene TA und Energiesystemanalyse

Eine adäquate Versorgung mit nutzbarer Energie bildet eine wesentliche Basis für die Realisierung eines angemessenen Lebensstandards. Unter Berücksichtigung der heutigen und zukünftig zu erwartenden Randbedingungen (wie z. B. weltweit zunehmender Bevölkerung, stark zunehmenden Bedarfs an Energieressourcen insbes. in den beiden weltweit bevölkerungsstärksten Staaten China und Indien) kann das Problem

der bedarfsgerechten Versorgung mit nutzbarer Energie nicht nur aus technischer und ökonomischer Sicht gelöst werden. Vielmehr müssen weitergehende, bspw. gesellschaftliche, Sichtweisen beachtet werden, um nachhaltige Energiesysteme generieren zu können.

Die Energiesystemanalyse zielt in ihrer Forschung auf die Entwicklung von Konzepten, Energiesysteme² nachhaltig zu gestalten sowie Instrumente und Wege zu identifizieren, nachhaltige Energiesysteme zu realisieren (s. Möst, Fichtner 2009; Kleemann 2002).

Diese übergreifenden Zielsetzungen bedeuten, dass sich die Energiesystemanalyse weniger auf die technische Funktionsfähigkeit von Energietechnologien fokussiert, auch wenn diese als konstituierende Elemente von Energiesystemen anzusehen sind. Die technische Funktionsfähigkeit wird i. Allg. als notwendige Nebenbedingung für die Analyse angenommen. Dies schließt aber nicht aus, dass auf Basis von Analyseergebnisse Änderungen im Design der Technik oder bei der Nutzung von bestimmten Inputs vorgeschlagen werden, um diese nachhaltiger zu gestalten.

Im Vordergrund der Analysen stehen die Wechselbeziehungen zwischen Energietechnologien und natürlicher Umwelt, Wirtschaft oder Gesellschaft. In der wissenschaftlichen Praxis erfolgen dazu selbstverständlich Fokussierungen und Konkretisierungen. Beispielsweise geht es nicht allgemein um die Interdependenz zwischen Technik und Ökologie, sondern um Teilthemen wie etwa Treibhausgase. Ebenso wenig werden allgemein die gesellschaftlichen Implikationen bestimmter Energiekonzepte untersucht, sondern Teilaspekte wie Mobilität oder Akzeptanz bestimmter Technologien ins Zentrum der Analysen gestellt.

Zur Erreichung der übergeordneten Ziele muss die Energiesystemanalyse in einem ersten Analyseschritt ein adäquates Verständnis der Funktionsweise des untersuchten Energiesystems im Spannungsfeld mit korrespondierenden Systemen wie bspw. der natürlichen Umwelt erreichen. Die Kenntnis der Funktionsweisen ist notwendig, um darauf aufbauend eine rationale Entscheidungsbasis für eine gezielte Beeinflussung der Beziehungen innerhalb des

Energiesystems als auch zu anderen Systemen einschließlich problemlösungsgerechter Instrumente sowie für eine nachhaltige Ausgestaltung der jeweiligen Energiesysteme zur Verfügung stellen zu können.³ Entsprechend der zu untersuchenden Frage- und Problemstellung adressiert die Energiesystemanalyse unterschiedliche Entscheidungs- und Handlungsebenen: Dese reichen von Entscheidungsunterstützung auf der Ebene einzelner Energietechnologien (z. B. im Betrieb) bis hin zu Empfehlungen zur Förderung oder Nichtförderung bestimmter Technologien oder Technologiecluster auf gesamtwirtschaftlicher Ebene.

Konkretisiert man die Zielsetzung der Energiesystemanalyse, so geht es letztendlich darum, für unterschiedliche Entscheidungs- und Handlungsebenen Konzepte zu entwickeln, in Abhängigkeit von

- a) „technischen Entwicklungen in der Energietechnik selbst, aber auch in den „enabling technologies“ wie Materialforschung, Nanotechnologie etc.,
- b) gesellschaftlichen Faktoren wie demografischer Wandel, aufholende Entwicklung von Teilen der „Dritten Welt“, Forderung nach nachhaltiger Entwicklung (in Zusammenarbeit mit anderen Forschungsbereichen),
- c) den natürlichen Randbedingungen wie Erschöpfung der fossilen Energieträger und Klimawandel und
- d) den Innovationsbedingungen, d. h. den fördernden und hemmenden Faktoren für eine Umsetzung technischer Innovationen in den Märkten sowie politischen und energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen.“ (Grunwald 2009)

Die Relevanz der einzelnen Randbedingungen variiert in Abhängigkeit von der gewählten Entscheidungs- und Handlungsebene und damit vom zu untersuchenden Energiesystem. Letzteres wiederum hängt in einem problemorientierten Verständnis von Energiesystemanalyse von der Aufgabenstellung und deren Kontexten ab. Welche Fragen sollen letztendlich beantwortet werden, für welche Akteure mit welcher Problemwahrnehmung und welchen Handlungsmöglichkeiten sind sie gedacht, in welchem technischen, ökonomischen oder politischen Kontext

sollen die gewünschten Antworten der Energiesystemanalyse zur Problemlösung beitragen etc.⁴

Die Entscheidungs- und Handlungsebene und damit der Analyseraum werden somit i. Allg. durch von außen angetragenen Anforderungen bestimmt. Diese Anforderungen und damit die unterschiedlichen Ebenen lassen sich mit Hilfe von vier Strukturierungselementen charakterisieren:

- Definieren des technischen Systems
- Definieren von korrespondierenden Systemen
- Definieren des geographischen Raums
- Definieren des Zeithorizontes

Das *technische System* wird durch die Auswahl der energierelevanten Anlagen und Einrichtungen definiert und umschreibt damit das Energiesystem im engeren Sinne. Die (technischen) Systemgrenze wird durch den gewählten Lebensweg des jeweiligen Untersuchungsgegenstandes bestimmt; dabei kann es sich um eine oder mehrere Energietechnologien handeln. Der in Betracht zu ziehende Lebensweg umfasst je nach Entscheidungs- und Handlungsebene die Gewinnung von primären Energieträgern, die Energieumwandlung, -speicherung, -transport und/oder -nutzung. Beispielsweise kann das relevante Energiesystem eine bestimmte Energietechnologie, z. B. Lithium-Ionen Batterie, in einer spezifischen Phase, z. B. Energienutzung, umfassen. In der Ökobilanzierung als eine Möglichkeit der Analyse der Wirkungen von technischen Systemen auf die natürliche Umwelt wird i. Allg. angestrebt, den kompletten Lebenszyklus einer Technologie zu analysieren („cradle to grave“; Baumann, Tillman 2004). Die gesamtwirtschaftlichen Energiesystemmodelle erfassen i. Allg. „alle“, zumindest eine Vielzahl von Energietechnologien idealerweise über den gesamten Lebenszyklus (Möst, Fichtner 2009).

Traditionell werden technische Systeme durch die Auswahl der relevanten Energietechnologien definiert. Die Verbesserung etablierter Technologien aber auch die Entwicklung neuer Energietechnologien führte zu einem erhöhten Einsatz von sog. strategischen Metallen im Anlagenbau, so dass dieser Aspekt bei der Bestimmung der Systemgrenzen an Bedeutung zunimmt.⁵

Das Strukturierungselement *korrespondierende Systeme* erfasst Systeme, die zum Energiesystem in einer (einseitigen oder interdependenten) Beziehung stehen; dies kann die natürliche Umwelt, die Ökonomie oder auch die Gesellschaft im Allgemeinen sein. Je nach Entscheidungs- und Handlungsebene wird die Wechselbeziehung zwischen dem Energiesystem und einem oder mehreren korrespondierenden Systemen untersucht. So kann Bioenergie nicht nur aus dem Blickwinkel der technischen Machbarkeit betrachtet werden. Der Beitrag von Thrän et al. (in diesem Heft) verdeutlicht die Notwendigkeit der Berücksichtigung der Wechselbeziehungen von Bioenergie zur natürlichen Umwelt, zur Ökonomie und auch zur gesellschaftlichen Präferenz der Landnutzung, um ein nachhaltiges Energiesystem zu realisieren. Ebenso wird die CCS-Technologie als eine technische Möglichkeit, den Ausstoß an Kohlenstoffdioxid durch Kohlekraftwerke zu mindern, auch unter dem Aspekt der Akzeptanz durch die Gesellschaft und deren Wahrnehmung in der Politik analysiert (s. Fischer et al. in diesem Heft). Andere Beispiele für die Notwendigkeit die Relevanz von gesellschaftlichen Strukturen und Traditionen bei der Entwicklung von Energietechnologien oder auch Weiterentwicklung von gesamtwirtschaftlichen Energiesystemen zu nachhaltigen Strukturen zumindest zu prüfen, zeigen die Beiträge von Fleischer, Weil sowie Kopfmüller, Stelzer (beide in diesem Heft). Ziemann et al. (in diesem Heft) wiederum fokussieren auf die natürliche Umwelt als ein wesentliches korrespondierendes System.

Mit der Definition des zu untersuchenden Systems ist i. Allg. auch eine geographische Festlegung notwendig. Die konkrete Ausprägung des technischen Systems sowie der korrespondierenden Systeme wird durch den geographischen Raum geprägt, in dem diese agieren. Da einige Energietechnologien weltweit standardisiert sein mögen, so können sich die Wechselbeziehungen zwischen dem Energiesystem und den anderen Systemen in Abhängigkeit von dem jeweiligen Raum unterscheiden. So weisen ökonomische Systeme weltweit divergierende Funktionsweisen auf, wenn diese marktwirtschaftlich organisiert sind (Rheinkapitalismus

vs. anglo-amerikanischer Kapitalismus); analoges gilt auch für die natürliche Umwelt als auch für Gesellschaften.

Grundsätzlich gibt es keine Beschränkung bei der Auswahl der geographischen Grenze: So gibt es Untersuchungen die sich auf eine spezifische Region beschränken (s. Kopfmüller, Stelzer in diesem Heft). Andere Studien berücksichtigen den nationalen Rahmen (s. Fischer et al. oder auch Thrän et al. in diesem Heft) oder globale Kontexte (s. Ziemann et al. in diesem Heft.).

Das letzte Strukturierungselement „Zeithorizont“ bestimmt für die Entscheidungs- und Handlungsebene den zeitlichen Analysehorizont. Dieser kann sich von stündlicher (s. Möst et al.), jährlicher (s. Ziemann et al.) oder mehrjähriger Betrachtung (s. Kopfmüller, Stelzer) erstrecken (alles Beiträge in diesem Heft). In bestimmten Problemkontexten wird häufig auf eine explizite Periodeneinteilung verzichtet. In der Ökobilanzierung als Beispiel für eine techniknahe Systemanalyse wird i. Allg. (implizit) die Fiktion des steady-states genutzt; d. h. es wird angenommen, dass sich die Wechselbeziehungen innerhalb des Energiesystems als auch zur natürlichen Umwelt im Zeitablauf nicht grundsätzlich ändern (Baumann, Tillman 2004).

Mit der durch die Charakterisierung einhergehende Verortung der Entscheidungs- und Handlungsebene erfolgt vielfach eine – wenn auch implizite – Auswahl der möglichen Methoden und Instrumente zur Lösung der anstehenden Aufgaben. In den Beiträgen des Schwerpunktheftes werden die Vielfalt der möglichen Methoden und Instrumente verdeutlicht (s. insbes. Fischer et al., Fleischer, Weil sowie Ziemann et al. alle in diesem Heft). eine erste Systematisierung erfolgt z. B. durch Möst, Fichtner 2009, wobei hier der Schwerpunkt auf die modellgestützten Analysen liegt. Die in diesem Schwerpunktheft ausgewählten Beiträge können allerdings nur punktuell die möglichen Variationen des oben charakterisierten Analyseraums abdecken.

3 Überblick über die Beiträge

Eingeführt wird das Schwerpunktheft durch zwei forschungspolitisch-programmatisch ausgerichtete Beiträge. *Eberhard Umbach*, Vizepräsident

der Helmholtz-Gemeinschaft und Präsident des Karlsruher Institut für Technologie, thematisiert in seinem Beitrag – ausgehend vom laufenden Wissenschaftsjahr der Energie – auf die Herausforderungen an Politik, Wissenschaft und auch Gesellschaft die sich aus der Umgestaltung des nationalen Energiesystems hin zu einer erneuerbaren Energieträgerbasis. *Ernst Ulrich von Weizsäcker* stellt die gängige Forderung in Frage, dass Energie möglichst preiswert verfügbar sein müsse. Daran schließen sich drei Beiträge an, die das Management von Energiesystemen in unterschiedlichen Kontexten (Gesellschaft, Umwelt und/oder Ökonomie) und Aggregationsebenen in den Fokus der Betrachtungen stellen.

In den nächsten Jahren wird ein Anstieg des Anteils der Elektrizitätsbereitstellung aus dezentralen Anlagen, im Wesentlichen auf Basis erneuerbarer Energien und der Kraft-Wärme-Kopplung erwartet. *Möst et al.* diskutieren die damit verbundenen Herausforderungen an das Management des Energiesystems und mögliche Anforderungen an die Energiesystemanalyse, auf diese Situation zu reagieren.

Während typischerweise die nachhaltige Ausgestaltung gesamtwirtschaftliche Energiesysteme diskutiert werden, erfolgt durch *Stelzer et al.* ein Perspektivwechsel. Die Autoren untersuchen die Frage nach einem nachhaltigen Energiesystem für eine Megacity. Megacities sind auf Grund ihrer hohen Konzentration von Bevölkerung und Wirtschaftskraft Zentren starker Energienachfrage.

„Carbon Capture and Storage“ (CCS) werden durch die Europäische Union eine wichtige Rolle in einem CO₂-armen Energiesystem zugewiesen. Demgegenüber zeichnet sich in Deutschland eine veränderte Einschätzung ab. *Fischer et al.* analysieren in ihren Beitrag die geänderte Einschätzung in der nationalen Politik im Kontext von Wahrnehmungen von CCS durch die Gesellschaft. Die weiteren drei Beiträge sind im Kontext der prospektiven Technikbewertung zu sehen.

E-Mobilität und damit elektrischen Energiespeichern wird häufig eine verheißungsvolle Zukunft versprochen. *Fleischer und Weil* zeigen in ihrem Beitrag auf, dass viele Fragen ihrer konkreten technischen Ausgestaltung, der Kontexte,

in denen sie eingebettet sind, sowie der Potenziale und Folgen ihrer verbreiteten Anwendung noch unzureichend beantwortet sind.

Schlüsseltechnologien spielen eine entscheidende Rolle für die Zukunft der weltweiten Energieversorgung, doch ist ihr erfolgreicher Einsatz an die Verwendung nicht erneuerbarer Rohstoffe, insbesondere der Metalle gebunden. Viele dieser Metalle könnten jedoch in Zukunft nicht in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. *Ziemann et al.* zeigen in ihrem Beitrag die Potenziale eines Stoffstrommodells am Beispiel Lithiums zur Analyse der Verfügbarkeit von relevanten Metallen in der Energietechnologie auf.

Bioenergie ist der wichtigste erneuerbare Energieträger und soll künftig weiter ausgebaut werden. Dies kann nur nachhaltig erfolgen, wenn die mit der Bioenergie verbundenen Landnutzungsfragen umfassend berücksichtigt werden. Nachhaltigkeitsindikatoren stellen dafür einen Ausgangspunkt dar, müssen jedoch die Anforderungen vor Ort umfassend berücksichtigen. *Thrän et al.* diskutieren die Folgen für Forschung und Politik: Eine nachhaltige Landnutzung erfordert die Bereitstellung und Nutzung von räumlich aufgelösten Informationen, Analysen und Steuerungsinstrumenten – sowohl für die Landnutzung als auch für die Energieplanung.

4 Institutioneller Kontext

Zwei institutionelle Kontexte haben die Auswahl der Beiträge mit geprägt. Zum einen ist in diesem Jahr das Helmholtz-Programm „Technologie, Innovation und Gesellschaft“ angelaufen, das einen thematischen Schwerpunkt im Bereich der Energiesystemanalyse aufweist. Zum anderen besteht am Karlsruher Institut für Technologien (KIT) seit über zwei Jahren das KIT-Zentrum „Energie“, in dem – neben vielen technischen Entwicklungen – auch die Energiesystemanalyse einen wichtigen Platz einnimmt.

4.1 Das Helmholtz-Programm „Technologie, Innovation und Gesellschaft“

Aufgabe der Helmholtz-Gemeinschaft ist es, Lösungsbeiträge zu großen und drängenden

Fragen der Gesellschaft zu liefern. Naturwissenschaftlich-technische Exzellenz ist hierfür *notwendige* Erfolgsbedingung, in vielen Fällen aber keine *hinreichende* Bedingung. Denn darüber, ob und welche Technologien Beiträge zur Lösung gesellschaftlicher Probleme leisten, entscheiden auch *nicht-technische* Aspekte wie politische und ökonomische Rahmenbedingungen, Akzeptanz in der Bevölkerung oder ethische Fragen. Dem ganzheitlichen Ansatz der Helmholtz-Gemeinschaft entspricht es, auch diese nicht-technischen Aspekte systematisch und umfassend zu erforschen. Im Programm „Technologien, Innovation und Gesellschaft“ werden entsprechende Forschungsarbeiten aus Innovations- und Risikoforschung, Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse sowie Nachhaltigkeitsforschung durchgeführt und schwerpunktmäßig auf Themen aus den Bereichen „Schlüsseltechnologien“ und „Energie“ fokussiert. Ziel des Programms ist, zu verantwortlichen und zielgerichteten Innovationsprozessen beizutragen, und dabei insbesondere mit systemanalytischen Mitteln Wege zu einer nachhaltigen Energieversorgung zu entwickeln. Die Forschung ist auf folgende Fragestellungen ausgerichtet:

1. *Gesellschaftliche Erwartungen an Wissenschaft und Technik*: Hier befasst sich das Programm mit der Rolle wissenschaftlichen Wissens und seiner Unsicherheiten in gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen, mit der Operationalisierung des Leitbilds „nachhaltiger Entwicklung“ sowie mit dem Verhältnis von Wissenschaft und Medien.
2. *Schlüsseltechnologien und Innovationsprozesse*: Zu aktuellen Entwicklungen aus Nanotechnologie, Informations- und Kommunikationstechnik sowie den Neurowissenschaften werden Untersuchungen zu Innovationspotenzialen, Innovationspfaden und zu möglichen Risiken durchgeführt.
3. *Transformation von Energiesystemen*: Die Umsteuerung auf ein nachhaltigeres Energiesystem ist ein hoch komplexer Vorgang. Auf der Basis von Energiesystemmodellen und mittels MCDA-Techniken⁶ werden Maßnahmen und Strategien einschließlich der Einfüh-

rung innovativer Techniken untersucht und unter Nachhaltigkeitsaspekten bewertet.

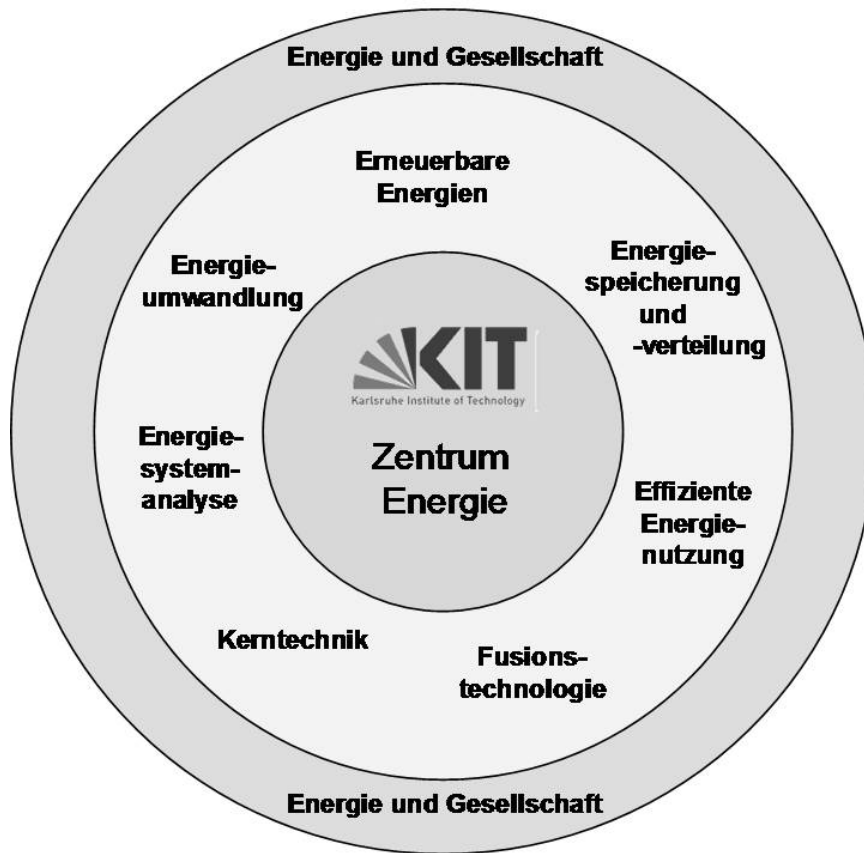
4. *Erneuerbare Energieträger*: In diesem Thema befasst sich das Programm mit dem gesamten Spektrum erneuerbarer Energieträger, angefangen mit der Ressourcensituation und den entsprechenden Potenzialen, mit den erforderlichen Konversionstechnologien sowie mit der Integration in das Energiebereitstellungssystem.
5. *Rationelle Energieumwandlung und -nutzung*: Energieeffizienz in der gesamten Kette der Energieprozesse von der Gewinnung von Primärenergieträgern über Umwandlung, Speicherung, Verteilung und Nutzung ist entscheidend für mehr Nachhaltigkeit. In diesem Thema werden ausgewählte Fragen aus Kraftwerkstechnik und der Nutzung untersucht.

4.2 Energiesystemanalyse im KIT-Zentrum Energie

Das KIT-Zentrum Energie (<http://www.forschung.kit.edu/147.php>) stellt sich den aktuellen Herausforderungen im Energiebereich durch Forschung und darauf aufbauende Beratung in der gesamten Bandbreite der relevanten Energiearten für industrielle, mobile und individuelle Anwendungen. Der Forschung kommt die Aufgabe zu, konsequent und vorurteilsfrei an allen Potenzialen zur Energiebereitstellung und -nutzung zu arbeiten und der Gesellschaft entsprechende Lösungen anzubieten. Das KIT-Zentrum Energie nutzt dabei alle verfügbaren wissenschaftlichen Kompetenzen, sowohl im technisch-naturwissenschaftlichen Feld wie auch in den Wirtschafts-, Geistes- und Sozialwissenschaften sowie der Rechtswissenschaft. Zahlreiche technische Kompetenzen, die für die Energieforschung genutzt werden, finden sich in anwendungsbezogenen Disziplinen wie dem Maschinenbau, der Kraftwerkstechnik, der Kraftstoffentwicklung, der Materialforschung, der Produktionstechnik, dem Bauingenieurwesen und der Architektur, in den IuK-Technologien aber auch in der physikalischen und chemischen Grundlagenforschung.

Diese teils von den Zielsetzungen, den betrachteten Feldern und den benötigten Kompe-

Abb. 1: Topics des KIT-Zentrums Energie



Quelle: Grunwald 2009

tenzen teils sehr unterschiedlichen Forschungsrichtungen wurden nach Forschungsthemen (*Topics*) eingeteilt (vgl. Abb. 1).

Im KIT-Zentrum Energie werden über die Forschung zu spezifischen Technologien und einzelnen Technologiefeldern hinaus auch Fragestellungen auf der Ebene von Gesamtsystemen bearbeitet. Die Fragestellungen im Topic Energiesystemanalyse umfassen übergreifende Systemaspekte aller Stufen der Energiekaskade, d. h. beispielsweise

- Betrachtung des Energiesystems als Ganzes und seiner Wechselwirkungen mit anderen Bereichen (z. B. Verkehr, Bauwirtschaft, Industrie/Rohstoffwirtschaft),
- Entwicklung von Modellen zur Abbildung von Energiesystemen und deren Koppelung an mesoskalige Modelle wie auch an makroökonomische Modelle,
- Untersuchung der Wechselwirkungen des Energiesystems mit technologischen und gesellschaftlichen „Megatrends“,
- Ausweitung der Bewertungsmethoden, um z. B. zusätzliche Sektoren wie Verkehr und Industrie in Hinblick auf die CO₂-Minderungsziele, auf die Minderung anderer Treibhausgase und die Schadstoffreduzierung einbeziehen zu können,
- Analyse und Bewertung intelligenter Konzepte zum Nachfragemanagement und ihrer Auswirkungen auf Systemstabilität, Versorgungssicherheit und Preise für Energieträger,
- Systemuntersuchungen und Nachhaltigkeitsbewertungen von einzelnen Technologien durch Life Cycle Assessment und Prozesskettenanalysen,
- Untersuchungen zu Ressourceneffizienz und Materialverfügbarkeit und

- Entwicklung konsistenter „Energiezukünfte“ unter Gesamtsystemaspekten.

5 Schlussbemerkung

Die Lösung der großen Herausforderungen im Energiebereich bedarf notwendigerweise vieler technischer Entwicklungsarbeiten, um neue Technologien effizient und wirtschaftlich verfügbar zu machen. Die Beiträge dieser Entwicklungen zu einer nachhaltigen Energieversorgung, mögliche Wechselwirkungen von Synergien bis zu Konkurrenzen, aber auch mögliche nicht intendierte Effekte, lassen sich jedoch nur auf übergeordneten Systemebenen analysieren und bewerten. Energiesystemanalyse und energiebezogene Technikfolgenabschätzung sind in diesem Kontext verstärkt gefragt, sowohl was die Breite ihrer Anwendungen als auch die methodische Weiterentwicklung betrifft. In diesem Heft geben wir einen Überblick anhand nach verschiedenen Kriterien ausgewählter Beispiele – nicht mehr, aber auch nicht weniger.

Anmerkungen

- 1) Im Folgenden wird nicht zwischen (energiebezogener) Technikfolgenabschätzung und Energiesystemanalyse unterschieden. Wenn im Folgenden von Energiesystemanalyse gesprochen wird, so ist immer auch die energiebezogene Technikfolgenabschätzung gemeint. Die Grenzen zwischen beiden Wissenschaftsdisziplinen sind im vorliegenden Kontext nicht eindeutig bestimmbar, wie auch dies durch die Beiträge in diesem Schwerpunktheft ersichtlich wird (s. Fleischer, Weil in diesem Heft).
- 2) Der Begriff des Energiesystems wird sehr unterschiedlich verstanden und in der Literatur genutzt. Wir verstehen unter Energiesystem ganz allgemein ein System, das die technischen Anlagen und Einrichtungen zur Gewinnung von primären Energieträgern, zur Energieumwandlung, -speicherung, -transport und/oder -nutzung umfasst (vgl. Kleemann 2002; Möst et al. in diesem Heft).
- 3) Siehe dazu auch Kleemann 2002.
- 4) Vgl. Decker, Ladikas 2004 für Technikfolgenabschätzung generell.

- 5) Siehe auch die Beiträge von Ziemann et al. und Fleischer, Weil in diesem Heft.
- 6) MCDA steht für „Multi-Criteria Decision Analysis“.

Literatur

Baumann H.; Tillman A.M., 2004: The Hitch Hikers' Guide to LCA. An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Application. Lund

Decker, M.; Ladikas, M. (Hg.), 2004: Bridges Between Science, Society and Policy. Technology Assessment – Methods and Impacts. Berlin

Grunwald, A., 2009: Energiesystemanalyse im KIT-Zentrum Energie. In: In: Möst, D.; Fichtner, W.; Grunwald, A. (Hg.): Energiesystemanalyse. Karlsruhe

Kleemann, M., 2002: Modellgestützte Energiesystemanalyse zur Unterstützung umwelt- und energiepolitischer Entscheidungen. In: Rebhahn, E. (Hg.): Energiehandbuch – Gewinnung, Wandlung und Nutzung von Energie. Berlin

Möst, D.; Fichtner, W., 2009: Einführung zur Energiesystemanalyse. In: Möst, D.; Fichtner, W.; Grunwald, A. (Hg.): Energiesystemanalyse. Karlsruhe

Kontakt

Dr. Witold-Roger Poganietz
 Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)
 Campus Nord
 Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
 Tel.: +49 (0) 72 47 / 82 - 81 80
 E-Mail: witold-roger.poganietz@kit.edu

« »