

Eine Expertensicht auf wahrscheinliche und wünschenswerte Entwicklungen

Europäische Energiezukünfte

In der ersten europaweiten Delphi-Studie für den Energiesektor wurde neben der traditionellen Technology-Push-Perspektive auch die normative Social-Pull-Perspektive betont. Aus den Ergebnissen folgen neue Implikationen für die Energie- und Forschungspolitik.

Von Wolfram Jörß und Timon Wehnert

EurEnDel war die erste europaweite Delphi-Studie zu zukünftigen Entwicklungen im Energiesektor. Das Ziel des Projekts war es, zu verlässlichen Langfrist-Voraussagen über das Energiesystem Europas zu kommen. Auf dieser Basis sollen Vorschläge für zukünftige Bedarfe an Forschung und Entwicklung abgeleitet werden. Dabei müssen technologische Potenziale, aber auch gesellschaftliche Anforderungen an ein zukünftiges Energiesystem einbezogen werden. Den Kern der Studie bildete eine zweistufige Delphi-Umfrage.

Ein innovativer Methodenmix

Delphi ist eine bewährte Methode, um mit einem hohen Maß an Unsicherheit umzugehen und sehr komplexe Gegenstände zu adressieren. Jenseits der explorativen Voraussagen stimuliert Delphi Diskussionen innerhalb einer Expertengemeinschaft. Mit der Delphi-Methode werden gemeinsame Ansichten entwickelt, entweder in Form eines Konsenses über die wahrscheinlichsten Entwicklungen oder durch die Identifizierung von Dissens mit klar definierten Meinungen.

Die Methode tendiert dazu, Antworten im Mainstream zu entwickeln. Außenseitermeinungen und Systemstörungen werden leicht vernachlässigt. Auch mit einer sehr technologieorientierten Auswahl der teilnehmenden Experten werden soziale Entwicklungen und Bedürfnisse nicht angemessen berücksichtigt (Gordon 1994, Linstone/ Turroff 1974, Häder/ Häder 2000). Deshalb ist es wichtig, Delphi nicht auf den statistischen Mittelwert aller Antworten zu reduzieren. Die Robustheit der Vorhersagen kann gestärkt werden, indem man Delphi mit weiteren Methoden kombiniert.

Vor diesem Hintergrund kombiniert EurEnDel prospektive und normative Elemente. Gemäß der prospektiven Technology-Push-Perspektive lautet die Frage: Was sind wahrscheinliche Entwicklungen bei den Energietechnologien? Die normative So-

cial-Pull-Perspektive zielt auf normative gesellschaftliche Bedarfe: Welche Technologien brauchen wir, um unsere zukünftigen Bedürfnisse zu befriedigen? EurEnDel kombiniert beide Perspektiven sowohl im Delphi-Fragebogen selbst als auch durch die Anwendung zusätzlicher Methoden der Zukunftsforschung.

EurEnDel verfolgt das Konzept einer Mehrzahl von möglichen Zukünften und nutzt einen Korb von Instrumenten, um den klassischen Delphi-Ansatz anzupassen:

- Ein breiter Expertenmix. Die Teilnehmer an EurEnDel wurden so ausgewählt, dass sie einen breiten Blick auf Energiethemata haben und alle Beteiligten der Energiewirtschaft repräsentieren. Die Expertengruppe kann somit einerseits technologische Potenziale sowie andererseits gesellschaftliche Bedarfe an Energietechnologien beurteilen.
 - Blick auf Außenseitermeinungen und Widersprüche. Zusätzlich zur statistischen Analyse der quantitativen Daten berücksichtigte die Auswertung der Fragebögen explizit Minderheitenmeinungen und Widersprüche. Eine tief gehende Analyse aller Expertenkommentare, insgesamt mehr als 1.600, wurde durchgeführt.
 - Konfrontationen mit gesellschaftlichen Visionen. Es wurden insbesondere solche Experten ausgewählt, die die eingeschlagenen Pfade des täglichen Denkens verlassen. Auf der Basis von idealisierten Gesellschaftsvisionen wurden Skizzen von europäischen Energiezukünften im Fragebogen präsentiert. Die Experten sollten die Wichtigkeit von Energietechnologien für jede der drei Visionen bewerten. Die Visionen dienten als normative Elemente auf der Suche nach Technologien, die am besten geeignet sind, gesellschaftliche Bedarfe zu befriedigen.
 - Entwicklung von Szenarien. Um adäquat eine Mehrzahl von möglichen Zukünften beschreiben zu können, wurden aus den Delphi-Ergebnissen drei verschiedene Szenarien über die Energiezukunft Europas entwickelt. Dabei wurden die Korrelationen zwischen den Delphi-Fragen berücksichtigt. Die Ergebnisse zu einzelnen Technologien wurden zu konsistenten Bildern des europäischen Energiesystems kombiniert. Die Szenarien dienen auch dazu, die Robustheit von Energietechnologien unter verschiedenen Rahmenbedingungen zu testen (Velte et al. 2006).
- Es ist unmöglich, das komplette Energiesystem in 19 Delphi-Fragen abzudecken. Daher wurden ein oder zwei technologiebezogene Schlüsselfragen in jedem Feld gesucht, welches das Energiesystem beeinflusst. Mit einer Cross-Impact-Analyse wurden die Haupttreiber des zukünftigen Energiebedarfs in Europa identifiziert. Die Treiber, die einerseits den höchsten →

Einfluss auf das Energiesystem haben und andererseits von außen beeinflussbar sind, wurden dabei zur weiteren Erkundung in der Delphi-Umfrage ausgewählt. Der zweite Teil des Delphi-Fragebogens bezog sich auf die Entwicklung von gesellschaftlichen Visionen. Nach der Differenzierung genereller gesellschaftlicher Bedürfnisse wurden diese auf drei sozial getriebene Visionen der Energiezukunft Europas im Jahr 2030 herunter gebrochen (Wehnert et al. 2006).

Die zwei Teile des Fragebogens wurden in einer detaillierten statistischen Analyse der Umfragedaten miteinander verknüpft. Dabei wurden Unterschiede in den Antworten der Experten in Bezug auf deren jeweilige Expertise herausgearbeitet. Generelle Leitfragen waren: „Welche Technologien brauchen wir?“ und „Welche Technologien wird man leicht fördern können?“. Die Ergebnisse zu Marktpotenzialen und Zeithorizonten technologischer Entwicklungen wurden mit aktuellen Referenzstudien auf Basis quantitativer Modelle verglichen. Ferner wurden drei illustrative Szenarien für die Energiezukunft Europas entwickelt. Schließlich wurden Politikempfehlungen in Bezug auf die europäische Forschungspolitik entwickelt. Das Evaluationsschema für die betrachteten Technologien umfasste die in der Delphi-Umfrage bewertete Relevanz der Technologien, ihr Verhältnis zu gesellschaftlichen Bedürfnissen und ihre Robustheit in den Szenarien. In der Analyse wurden die von den teilnehmenden Experten identifizierten Trends und Bedarfe ohne Verzerrungen in Empfehlungen für die Forschungs- und Energiepolitik übersetzt.

Höchste Priorität: Energieeffizienz

Die erste und bedeutendste Botschaft von EurEnDel ist, dass Energieeffizienztechnologien das entscheidende Element für die Energiezukunft Europas darstellen. Die Teilnehmer von EurEnDel sind sehr eindeutig in ihrer Einschätzung, dass Technologien zur Reduktion des Energiebedarfs in höchstem Maße positive Auswirkungen haben. Sie sind daher unabhängig von der verfolgten sozialen Vision bevorzugt zu behandeln. Egal, ob unsere Gesellschaft in Zukunft eher nach ökonomischem Wohlstand und Wahlfreiheit, nach ökologischer Ausgewogenheit

oder nach sozialem Ausgleich strebt: Verbrauchsseitige Optionen zur Reduktion der Abhängigkeit Europas von Energiezufuhren stehen ganz oben auf der Prioritätenliste.

Zu den zwei effizienzbezogenen Technologiefragen des Delphi herrscht weitgehender Konsens unter den Teilnehmern (Abbildung 1). Eine Verdopplung der industriellen Energieeffizienz wird von 65 Prozent der Experten vor 2030 für wahrscheinlich gehalten. Sogar 75 Prozent der Antwortenden erwartet, dass vor 2030 die Hälfte aller neuen Gebäude in Europa Niedrigenergiehäuser sein werden. Lediglich ein bis zwei Prozent halten diese Entwicklungen für komplett unwahrscheinlich.

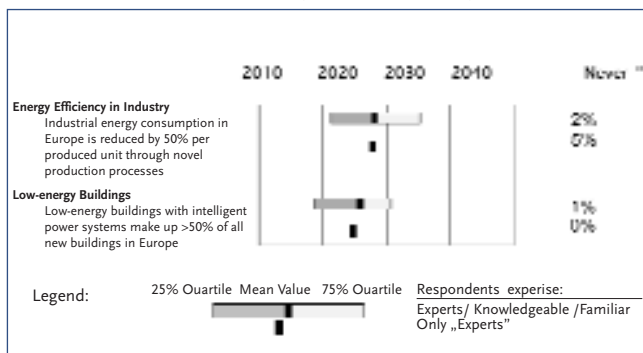
Trotz der großen gesellschaftlichen Nachfrage müssen die Unterstützungsmaßnahmen für Energieeffizienz intensiviert werden. Durch Forschung, finanzielle Anreize und Initiativen zur Stärkung der Akzeptanz bei Endnutzern kann einem Investitionsmangel entgangen werden. In den USA und Japan genießt dieses Forschungsfeld eine hohe Priorität. Auch hier brauchen marktbezogene Maßnahmen eine starke Unterstützung von Seiten der angewandten Forschung in Energieeffizienztechnologien.

Großes Potenzial: erneuerbare Energien

Die Teilnehmer der Umfrage halten einen hohen Anteil erneuerbarer Energien vom gesellschaftlichen Standpunkt aus für äußerst nützlich. Erneuerbare Energien kamen auf den zweiten Platz hinter nachfrageseitig orientierten Lösungen. Hintergrund der guten Bewertungen waren die positiven Auswirkungen auf die Umwelt, der Beitrag zur Versorgungssicherheit sowie ihre Potenziale für die regionale Entwicklung.

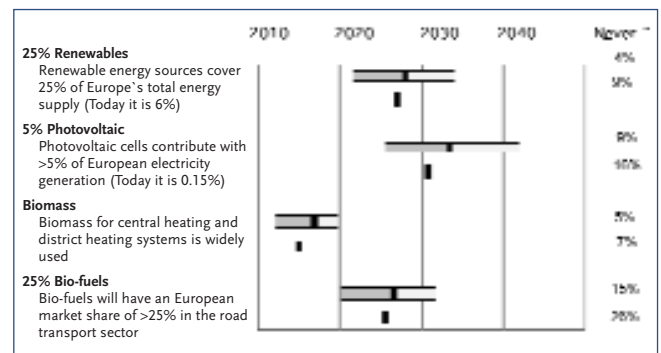
Die Mehrzahl der EurEnDel-Experten glaubt, dass 25 Prozent des gesamten europäischen Energiebedarfs vor 2030 durch erneuerbare Energiequellen gedeckt werden kann (Abbildung 2). Dieses Ziel wird jedoch nur in einer Kombination von angemessener Unterstützung für erneuerbare Energien mit starken Verbesserungen bei der Energieeffizienz für realistisch gehalten. Neben technischen und ökonomischen Hürden wird als Schlüsselfaktor für die Entwicklung einiger erneuerbarer Energien wie Wind und Biomasse die öffentliche Akzeptanz betont. Diese

Abbildung 1: Zeithorizonte für Energieeffizienztechnologien



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 2: Zeithorizonte für Technologien erneuerbarer Energien



Quelle: eigene Darstellung

steht in Bezug zu Änderungen von Landnutzung, reduziertem Komfort und Misstrauen gegenüber unbekanntem Technologien.

Biomasse hat das größte Potenzial, eine signifikante Rolle in der europäischen Energiezukunft zu spielen. Sowohl Technologien zur direkten energetischen Biomassenutzung als auch die Produktion von Biokraftstoffen bedürfen angewandter Forschung, um ihre Wettbewerbsfähigkeit kurz- und mittelfristig zu verbessern. Da die Ressourcen an Biomasse aber begrenzt sind, wird es einen Wettbewerb um die Landnutzung zur Biomasseproduktion für verschiedene energetische Zwecke geben.

Photovoltaik kann längerfristig eine signifikante Rolle in der europäischen Energiezukunft spielen. Ein Beitrag von fünf Prozent zur Energieversorgung Europas wird zwischen 2030 und 2040 für möglich gehalten. Ein so hoher Anteil setzt jedoch voraus, dass Photovoltaik wettbewerbsfähig wird. Dies wird in diesem Zeitrahmen nur als Resultat eines größeren technischen Durchbruchs für realistisch gehalten. Um ein solch ambitioniertes Ziel zu erreichen, werden Grundlagenforschung, angewandte Forschung und eine Markterweiterung durch angemessene ökonomische Anreize als notwendig erachtet.

Dezentrale Stromerzeugung und Energiespeicherung

Energiespeicherung ist nicht nur eins von vielen Elementen existierender Energiesysteme. Es ist eine Schlüsselkomponente zukünftiger Stromproduktion, die auf ungleichmäßig zur Verfügung stehenden erneuerbaren Energiequellen basiert. Ohne ein langfristiges Engagement auf diesem Feld ist es nicht möglich, einen hohen Anteil an erneuerbaren Energien zu erreichen. Energiespeichertechnologien sind jedoch nicht nur an Erneuerbare geknüpft. Sie gewinnen zunehmende Bedeutung in Verbindung mit der Entwicklung dezentraler Energiesysteme, mit Strategien zur Kappung von Spitzenlast und mit der Reduzierung des Schwankungsbereichs der Energiepreise. Sie sind deshalb ein grundlegendes Element gesellschaftlicher Visionen, die individuelle Wahlfreiheiten hochhalten. Die Ergebnisse des Delphi weisen aber deutlich auf einen Mangel an Investitionen in Forschung und Entwicklung für Energiespeicher hin. Die Teilnehmer der Umfrage unterstreichen einen hohen Bedarf für Grundlagen- und angewandte Forschung.

Wasserstoff hat das Potenzial, eine bedeutende Speicheroption zu werden. Es wird aber noch lange dauern, bis er in signifikantem Maße zum europäischen Energiesystem beitragen kann. Bis dahin müssen Alternativen weiter verfolgt werden. Die Bewertung einer Wasserstoffwirtschaft durch die Teilnehmer an EurEnDel hängt von der Wasserstoffquelle ab. Eine Wasserstoffwirtschaft als Selbstzweck ist vom ökonomischen und ökologischen Standpunkt aus schwierig zu rechtfertigen und weniger nützlich. Die vorherrschende Position ist, dass Wasserstoffproduktion aus erneuerbaren Energiequellen vor allem aus Umweltgründen zu bevorzugen ist. Andere Energiequellen können aber eine Brückenfunktion im Übergang zu einer auf Er-

„Energieeffizienztechnologien stellen das entscheidende Element für die Energiezukunft Europas dar.“

neuerbaren basierenden Wasserstoffwirtschaft haben. Zu diesem Zwecke muss ein langfristiger Wachstumspfad identifiziert werden, der Rahmenbedingungen für den hohen Bedarf an neuer Infrastruktur bei der Expansion einer Wasserstoffwirtschaft setzt.

Keine einfachen Lösungen: Verkehr

Das Wachstum des Energiebedarfs im Verkehr einzudämmen, wurde als eine der schwierigsten Herausforderungen für das Energiesystem Europas identifiziert. Die Analyse in EurEnDel zeigt auf, dass es keine einfache Lösung gibt, die diese Herausforderung bewältigen könnte. Die Anstrengungen müssen auf allen Ebenen intensiviert werden und alle verfügbaren Mittel einschließen. Neben Biotreibstoffen konzentrierte sich die EurEnDel-Umfrage mit Brennstoffzellen und Güterverkehr auf der Schiene auf zwei Lösungen, die eine bedeutende Rolle spielen können.

Brennstoffzellen sind gut positioniert, um eine bedeutende Rolle in zukünftigen Verkehrssystemen spielen zu können. Sie tragen sowohl zur Verbesserung der Energieeffizienz als auch zur Reduzierung lokaler Emissionen bei. Ein Marktanteil von 20 Prozent für Brennstoffzellenfahrzeuge wird von den Teilnehmern in den späten 2020ern erwartet. Dies wäre deutlich vor einer Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft. Die Nutzung von Übergangstreibstoffen wie zum Beispiel Erdgas wird ausschlaggebend in der Entwicklung von Brennstoffzellen für den Verkehr sein.

Wie auch für andere reife Technologien, sind regulative und fiskale Maßnahmen die bedeutendsten Mittel zur Unterstützung des Güterverkehrs auf der Schiene. Die Zukunft des Güterverkehrs auf der Schiene hängt so hauptsächlich von politischen Entscheidungen ab.

Eine große Mehrheit der Teilnehmer an EurEnDel erwartet keine Einführung von passiv sicheren Reaktortypen in Europa vor 2020. Über 20 Prozent der Antwortenden erwarten nicht, dass es jemals passiv sichere Spaltungsreaktoren geben wird. Trotz ihrer Bedeutung für Versorgungssicherheit und Kohlendioxid-Vermeidung wurde die Kernspaltung zudem sehr niedrig in Bezug auf ihre positiven Auswirkungen bewertet.

Ein relativ hoher Anteil der Experten zweifelt an der Machbarkeit von Abscheidung und Lagerung von Kohlendioxid. Als Gründe werden vor allem die hohen Kosten genannt. →

Breite Übereinstimmung herrscht aber in der Einschätzung, dass langfristige Verlässlichkeit und Sicherheit die wichtigsten Einflussfaktoren für die Entwicklung beider Technologien sind.

Eine wirtschaftliche Nutzung der Kernfusion liegt nach breitem Konsens weit jenseits des für EurEnDel angesetzten Zeithorizonts von 2030. Allein die technische Vorstufe zur eigentlichen Fusionstechnologie wird erst deutlich nach 2030 erwartet. Dabei bleiben hohe prinzipielle Zweifel wie bei den passiv sicheren Kernreaktoren.

Ein Vergleich der Ergebnisse des EurEnDel-Delphi mit zwei aktuellen auf EU-Ebene genutzten und auf quantitativen Modellen beruhenden Energieszenarien zeigt, dass die EurEnDel-Teilnehmer schnellere Technologieentwicklungen und höhere Marktanteile neuer Technologien erwarten (Mantzou et al. 2003, Zeka-Paschou 2003). Schon früher wurde bemängelt, dass ökonomische Modelle dazu tendieren, das Potenzial von neuen Technologien zu unterschätzen (Halal/ Kallmeyer 2004, Laitner 2004). Zusätzlich muss aber beachtet werden, dass die Szenarioannahmen der quantitativen Referenzstudien, im wesentlichen vorsichtiges „Business as Usual“, sicher nicht mit den Rahmenbedingungen korrespondieren, die den Erwartungen der EurEnDel-Experten zu Grunde liegen. Die Zeithorizonte für Technologieentwicklung des EurEnDel-Delphi sollten deshalb nicht als Selbstläufer interpretiert werden, sondern als zukünftig erreichbar, wenn die Rahmenbedingungen und Anreize entsprechend gesetzt werden. (Jörß/ Wehnert 2006).

Schlussfolgerungen

Aus der Analyse der Expertenmeinungen zur Energiezukunft Europas ergeben sich eine Reihe von Schlussfolgerungen für die europäischen, aber auch die nationalen Energie- und Forschungspolitiken:

- Energieeffizienz bedarf neben allen derzeit diskutierten marktbezogenen Maßnahmen einer starken technologischen Unterstützung aus der angewandten Forschung. Außerdem muss die Motivation und Akzeptanz der Endnutzer verstärkt Gegenstand von Forschung und Umsetzung werden.
- Soziale Akzeptanz ist ebenfalls ein Schlüsselthema für die massive Steigerung der Nutzung erneuerbare Energiequellen. Eine pro-aktive gesellschaftliche Thematisierung von Zielkonflikten kann letztendlich einen nachhaltigen Erfolg der Erneuerbaren nur stärken. Insbesondere in Bezug auf Biomasse steht es für die Forschungspolitik an, langfristige Nutzungsstrategien und -perspektiven zu entwickeln. Diese sollten die begrenzten Flächen berücksichtigen, um die verschiedenen energetische Biomassenutzungskonzepte, aber auch die nicht-energetische Nutzung konkurrieren.
- Energiespeicher sind nicht nur für den Erfolg der Erneuerbaren äußerst wichtige Technologien. Es sind erhebliche Zweifel angebracht, ob eine Wasserstoffwirtschaft rechtzeitig genügende Speicherkapazitäten zur Verfügung stellen kann. Es sind weiterhin verstärkt Forschungsbemühungen nach Alternativlösungen wie Batterien oder Schwungrädern

angezeigt. Auch die Weiterentwicklung von brennstoffzellengetriebenen Fahrzeugen zur Marktreife sollte sich nicht auf den Wasserstoffpfad beschränken, sondern auch auf alternative Treibstoffe setzen.

- Für einen Erfolg der Kohlendioxid-Abscheidung und -Speicherung dürfte neben der technologischen Beherrschung und Verbilligung der Kohlendioxid-Abscheidung vor allem auch die technologische Glaubwürdigkeit und Sicherheit der Kohlendioxid-Speicherung entscheidend sein. Dabei könnte dieser Branche ein vergleichbares Imageproblem wie der Nuklearbranche drohen.

Die optimistischen Erwartungen der EurEnDel-Experten im Hinblick auf den Erfolg neuer Technologien und die Marktanteile Erneuerbarer Energien sollten keinesfalls missverstanden werden. Die Erwartungen stehen als Aufforderung im Raum, mehr als „Business as Usual“ zu erreichen.

Literatur

- Gordon, T.: The Delphi Method, Project Futures Research Methodology. London 1994.
- Häder, M./ Häder, S.: Die Delphi-Technik in den Sozialwissenschaften. Wiesbaden 2000.
- Jörß, W./ Wehnert, T.: Quantitative Co-Assessment of the EurEnDel Delphi Results. IZT-Arbeitsbericht Nr. 22/2006. Berlin 2006.
- Laitner, J.: Exploring the Energy Impacts of Unanticipated but Emerging Technologies: Some Preliminary Insights. Washington 2004.
- Linstone, H./ Turroff, M.: The Delphi Method – Techniques and Applications. 1974.
- Mantzou, L./ Capros, P./ Kouvaritakis, N./ Zeka-Paschou, M./ Chesshire, J./ Guilmoit, J.: European Energy and Transport – Trends to 2030. Luxembourg 2003.
- Velte, D./ Araguas, J./ Nielsen, O./ Jörß, W./ Wehnert, T.: The EurEnDel Scenarios. IZT-Werkstattbericht Nr. 80. Berlin 2006.
- Wehnert, T./ Araguas, J./ Bernardini, O./ Jaworski, L./ Jörß, W./ Jørgensen, B./ Ninni, A./ Nielsen, O./ Oniszk-Popawska, A./ Velte, D.: European Energy Futures 2030. Heidelberg 2006.
- Zeka-Paschou, M.: With Climate Policies. Scenario used in the CAFA baseline stakeholder consultation 2003. Download: http://forum.europa.eu.int/Public/irc/env/cafe_baseline/library?l=/baseline_data/summary_tables&vm=detailed&sb=Title

■ AUTOREN + KONTAKT

Wolfram Jörß und **Timon Wehnert** sind Wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT).

IZT, Schopenhauerstr.26, 14129 Berlin.

Tel. 030/ 803088- 0,

www.izt.de



(c) 2010 Authors; licensee IÖW and oekom verlag. This is an article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial No Derivates License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.