



EUROPÄISCHE AKADEMIE

zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen
Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH

Direktor: Professor Dr. Dr. h. c. Carl Friedrich Gethmann

Bert Droste-Franke · Holger Berg · Annette Kötter ·
Jörg Krüger · Karsten Mause · Johann-Christian Pielow ·
Ingo Romey · Thomas Zieseimer

Brennstoffzellen und Virtuelle Kraftwerke

Energie-, umwelt- und
technologiepolitische Aspekte
einer effizienten Hausenergieversorgung



Springer

Reihenherausgeber

Professor Dr. Dr. h.c. Carl Friedrich Gethmann
Europäische Akademie GmbH
Wilhelmstraße 56, 53474 Bad Neuenahr-Ahrweiler

Für die Autoren

Dr. Bert Droste-Franke
Europäische Akademie GmbH
Wilhelmstraße 56, 53474 Bad Neuenahr-Ahrweiler

Redaktion

Friederike Wütscher
Europäische Akademie GmbH
Wilhelmstraße 56, 53474 Bad Neuenahr-Ahrweiler

Dr. Franziska Mosthaf
Wortschleife
Augsburg

ISBN 978-3-540-85796-9

e-ISBN 978-3-540-85797-6

DOI 10.1007/978-3-540-85797-6

Ethics of Science and Technology Assessment ISSN 1860-4803

© 2009 Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Satz: Lambertz Druck Köln/Bornheim, www.lambertzdruck.de

Herstellung: le-tex publishing services oHG, Leipzig

Einbandgestaltung: eStudioCalamar S.L., F.Steinen-Broo, Girona, Spanien

Gedruckt auf säurefreiem Papier

9 8 7 6 5 4 3 2 1

springer.de

Geleitwort

Die Energieversorgung stellt einen wesentlichen Pfeiler für die Wirtschaftskraft hochentwickelter Gesellschaften dar. Gleichzeitig wird zunehmend deutlich, dass die Energieversorgung Beschränkungen unterliegt, die zum einen im Bereich der verfügbaren nichterneuerbaren Ressourcen und zum anderen in den Umweltauswirkungen begründet sind. Einen Teil der Lösung stellen technologische Innovationen dar, die sich an der Zukunftsfähigkeit ihres Einsatzes und vor allem im Vergleich zu anderen, teilweise schon etablierten Technologien, messen lassen müssen.

Die allgemeine Frage der Einflussmöglichkeiten von Innovationen auf die Zukunftsfähigkeit der Energieversorgung wurde bereits in Band 18 dieser Reihe mit dem Titel „Nachhaltige Entwicklung und Innovation im Energiebereich“ umfangreich diskutiert. Die vorliegende Studie widmet sich daran anknüpfend der detaillierten Untersuchung der Innovationen „Brennstoffzelle“ und „Virtuelles Kraftwerk“, die sich nach wie vor noch in einem frühen Entwicklungsstadium befinden, denen jedoch ein großes Zukunftspotenzial im Hinblick auf eine effizientere Energieversorgung, auch unter Verwendung erneuerbarer Energiequellen, zugeschrieben wird. Dabei konzentriert sie sich auf den Einsatz von Kleingeräten zur Hausenergieversorgung (Brennstoffzellen-Heizgeräte) und Möglichkeiten, diese zu koordinieren, um zentral und bedarfsgerecht Strom in ausreichenden Mengen abrufen zu können (Virtuelles Kraftwerk mit dezentralen Kleinanlagen).

Die Studie stellt die Ergebnisse der interdisziplinären Arbeit des Forschungsprojekts „Brennstoffzellen und Virtuelle Kraftwerke als Elemente einer nachhaltigen Entwicklung. Innovationsbarrieren und Umsetzungsstrategien“ dar, das von der Europäischen Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH durchgeführt und im Rahmen des „BMBF-Wettbewerb[s] für interdisziplinäre Nachwuchsgruppen im Rahmen der Innovations- und Technikanalyse“ gefördert wurde. Die zur Behandlung des Themenkomplexes notwendige fachliche Breite und fachübergreifende Integration konnte mit dem durch die Europäische Akademie realisierten Instrument der ‚interdisziplinären Projektgruppe‘ gewährleistet werden.

Ich danke den Mitgliedern der Projektgruppe, dass sie die Aufgabe der Studie, zum Teil mit großem persönlichen Einsatz, bewältigt haben. Im Gegensatz zu anderen Projektgruppen arbeiteten an dieser Studie Nach-

wuchswissenschaftler gleichberechtigt mit, was sich auch in der Struktur der Gruppe niederschlug. So besaß sie neben ihrem Vorsitzenden Professor Dr. Thomas Ziesemer (Maastricht University) wie andere Gruppen einen Projektkoordinator (Dr. Bert Droste-Franke (Europäische Akademie)), der in dieser Studie zusätzlich die Rolle des Nachwuchsgruppenleiters übernahm.

Dem Bundesministerium für Bildung und Forschung danke ich für die finanzielle Unterstützung des Projektes.

Die vorliegenden Ergebnisse sollen zum einen eine wissenschaftliche Grundlage zur politischen Diskussion über den Umgang mit den Innovationen Brennstoffzellen und Virtuellen Kraftwerken und zum anderen Hinweise auf konkrete Innovationshemmnisse und aus wissenschaftlicher Sicht adäquate Umsetzungsstrategien bieten. Ich wünsche diesem Buch eine dem Thema angemessene Aufmerksamkeit in Wissenschaft, Politik, Energiewirtschaft und interessierter Öffentlichkeit.

Bad Neuenahr-Ahrweiler
im September 2008

Carl Friedrich Gethmann

Vorwort

Brennstoffzellen als Heizgeräte und die koordinierte Steuerung vieler dezentraler Stromerzeugungsanlagen im Verbund (Virtuelles Kraftwerk) werden als vielversprechende Innovationen im Hinblick auf eine zukunftsfähige Energieversorgung gehandelt. Wie sind diese jedoch im Vergleich zu anderen herkömmlichen und innovativen Technologien einzuordnen, welche Hindernisse stellen sich einer adäquaten Umsetzung der Technologien in den Weg und wie können diese umgangen oder beseitigt werden?

Für die Beantwortung dieser Fragen hat die Europäische Akademie GmbH eine interdisziplinäre Forschungsgruppe zum Thema „Brennstoffzellen und Virtuelle Kraftwerke als Elemente einer nachhaltigen Entwicklung. Innovationsbarrieren und Umsetzungsstrategien“ eingesetzt, die aus Experten in den einschlägigen Bereichen Energietechnik, Umwelt-, Wirtschafts-, Rechts- und Politikwissenschaften zusammengesetzt war. Als Besonderheit dieses Projektes wurde Nachwuchswissenschaftlern die Möglichkeit gegeben, an der interdisziplinären Projektgruppe gleichberechtigt teilzunehmen.

Die Projektgruppe ging bei ihrer Arbeit zunächst von einzelnen disziplinären Beiträgen aus, die dann sukzessive in der Diskussion zwischen den Gruppenmitgliedern im Hinblick auf die fachübergreifende Gesamtfragestellung integriert und zu einer zusammenhängenden konsistenten Studie ausgearbeitet wurden. Die interdisziplinären Diskussionen und Arbeiten mit der ganzen Gruppe fanden vor allem während der jeweils ein- bis zweitägigen Arbeitstreffen statt, die in einem ein- bis zweimonatlichen Rhythmus angesetzt waren.

Sowohl das geplante Arbeitsprogramm als auch die Zwischenergebnisse der Studie wurden mit einem Kreis externer Experten intensiv diskutiert. Für wertvolle Beiträge und Hinweise in Bezug auf das Arbeitsprogramm dankt die Gruppe den Teilnehmern des Kick-off-Workshops: Rüdiger Barth (Universität Stuttgart), Dr. Martin Rumberg (TU Kaiserslautern), Alexander Dauensteiner (Vaillant GmbH), Gesine Arends (Robert Bosch GmbH), Dr. Jürgen Pawlik (Viessmann Werke GmbH & Co KG), Martin Hopfer (E.ON Energie AG), Dr. Oliver Franz (RWE Energy AG), Dr. Heinz Wenzl (TU Clausthal), Sabine Frenzel (Bundesnetzagentur) und Dr. Michael Brand (Institut für ZukunftsEnergieSysteme gGmbH). Alexander Dauensteiner und Dr. Jürgen Pawlik danken wir zusätzlich für die darüber hinaus gehenden detaillierten Auskünfte über Erfahrungen aus dem

Blickwinkel von Brennstoffzellenanbietern. Für die ausführliche Kritik der Zwischenergebnisse und wertvolle Empfehlungen im Hinblick auf die weitere Arbeit an dem Thema dankt die Gruppe den Teilnehmern der Zwischenpräsentation: Dr. Frank Koch (Kompetenz-Netzwerk Brennstoffzelle und Wasserstoff NRW), Tobias Barth (EWE AG), Dr. Martin Pehnt (ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH), Dr. Ines Omann (SERI Nachhaltigkeitsforschung und -kommunikations GmbH, Wien), Michael Kohlhaas (Finanzwissenschaftliches Forschungsinstitut an der Universität zu Köln), Professor Dr. Wilhelm Althammer (HHL – Leipzig Graduate School of Management), Dr. Olaf Däuper (Becker Büttner Held, Rechtsanwälte Wirtschaftsprüfer Steuerberater, Berlin), Professor Dr. Reinhard Madlener (E.ON Energy Research Center, RWTH Aachen) und Professor Gernot Klepper, Ph.D. (Institut für Weltwirtschaft an der Universität Kiel (ifw)).

Des Weiteren dankt die Gruppe Dr. Martin Pehnt und Gunnar Kaestle (TU Clausthal) für ihre Expertisen und kritische Durchsicht des technischen Teils der Studie, wodurch sie vor allem wesentlich zur Beschreibung der Brennstoffzellentechnik (3.1.2.1) und der direkten Konkurrenztechnologien (3.2.4) beitrugen.

Außerdem dankt die Gruppe Michael Nüchel (Bochum) und Jan A. Bolinger (Europäische Akademie GmbH), die die Studie zeitweise begleitet haben. Dank gebührt ebenfalls Dr. Stephan Lingner (Europäische Akademie GmbH) für die Leitung der Workshops, seine wertvollen Kommentare, interessante Diskussionen und das Einbringen seiner langjährigen Erfahrung mit interdisziplinären Projektgruppen.

Wesentlich zur Produktivität der Projektgruppe haben die gute Organisation und der effektive Service rund um die Sitzungen beigetragen. Zu danken ist dafür vor allem Margret Pauels (Europäische Akademie GmbH). Nicht zuletzt danken wir Friederike Wütscher (Europäische Akademie GmbH) für die Betreuung des Textes bis zur Druckreife sowie Franziska Mosthaf (Wortschleife Augsburg) für das Lektorat und Jörg-W. Höll (Lambertz Druck Köln) für den effizienten Satz des Buches.

Bad Neuenahr-Ahrweiler und Maastricht,
September 2008

Bert Droste-Franke
Thomas Ziesemer

Inhaltsübersicht

Abkürzungsverzeichnis	XVII
Zusammenfassung	XXV
Summary	XLVII
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Status quo und Ziele für die Entwicklung der Energieversorgung ..	2
1.3 Ziel, Aufbau und Vorgehen der Studie	6
2 Ökonomische Anforderungen an ein zukünftiges Energiesystem	11
2.1 Ziele für eine zukunftsfähige Entwicklung	11
2.2 Wohlfahrtsverluste durch Marktunvollkommenheiten	18
2.3 Die Bedeutung gerechter Verteilung und marktexterner sozialer Kosten im Energiebereich	29
2.4 Ableitung von Indikatoren für den Technologievergleich	34
3 Die Technologien Brennstoffzelle und Virtuelles Kraftwerk und ihre Bewertung im Hinblick auf eine zukunftsfähige Energieversorgung	43
3.1 Die Brennstoffzelle als dezentrales Energiesystem	43
3.2 Brennstoffzellen-Heizgeräte in der Hausenergieversorgung	53
3.3 Integration von Brennstoffzellen-Mikro-KWK-Anlagen in die bestehende Energieversorgung	75
3.4 Wirtschaftlichkeit von Brennstoffzellen-Heizgeräten in Virtuellen Kraftwerken	85
3.5 Bewertung von Brennstoffzellen und Virtuellen Kraftwerken im Vergleich zu konkurrierenden Technologien im Hinblick auf ihre Zukunftsfähigkeit	97
3.6 Schlussfolgerungen	128

4	Innovationsprozesse und ihre ökonomischen Rahmenbedingungen .	133
4.1	Innovationsprozesse	133
4.2	Instrumente zur Gestaltung der ökonomischen Rahmenbedingungen	152
4.3	Maßnahmen zur Beseitigung von Informationsmängeln	181
4.4	Schlussfolgerungen	187
5	Rechtliche Rahmenbedingungen	191
5.1	Produktzulassung	194
5.2	Einsatz im Wohn- oder Gewerbeobjekt	197
5.3	Mikro-KWK-Anlagen in der Wohnungswirtschaft	212
5.4	Anschluss-, Abnahme- und Vergütungsanspruch bezüglich der einzelnen Anlage	224
5.5	Zusammenschluss zu Virtuellen Kraftwerken	240
5.6	Weitere Fragen bei fortschreitender Dezentralisierung	263
5.7	Sonstige Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von Mikro-KWK	271
5.8	Schlussfolgerungen	275
6	Vorschläge für konsistente Strategien und Maßnahmen	279
6.1	Strategien zum Umgang mit Marktunvollkommenheiten bei der Brennstoffzelle	279
6.2	Strategien zur Beseitigung von Innovationsbarrieren	284
7	Empfehlungen	321
7.1	Sachlage	321
7.2	Normative Grundlagen	322
7.3	Konkrete Empfehlungen	324
	Literaturverzeichnis	333
	Glossar	351
	Index	361
	Autorenverzeichnis	377

Zusammenfassung

Hintergrund und Status quo

Aktuelle Diskussionen in Wissenschaft, Politik und Gesellschaft zu den Themenbereichen Klimawandel, Ressourcenverfügbarkeit, Umweltbelastungen und Versorgungssicherheit machen deutlich, welche neuen Anforderungen an eine zukünftige Energieversorgung gestellt werden. Allein die hohen Ziele hinsichtlich der Minderung von Treibhausgas-Emissionen, die Langfristigkeit von Investitionsentscheidungen in der Energiewirtschaft sowie der noch nicht geplante altersbedingte Neubau von Kraftwerken bis zum Jahre 2020 von etwa einem Drittel der derzeitigen elektrischen Gesamtleistung in Deutschland zeigen die Dringlichkeit der Umsetzung neuer Konzepte in diesem Bereich.

Eine effiziente Möglichkeit der Versorgung mit Strom und Wärme stellt die Verwendung von dezentralen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) dar. Die stationäre Brennstoffzellenanlage wird in diesem Zusammenhang als zukunftsweisend und besonders vielversprechend angesehen. Der Grund dafür besteht in dem attraktiven technischen Grundprinzip der umgekehrten Elektrolyse von Wasser. Im Falle des Betriebs mit reinem Wasserstoff und Sauerstoff aus der Luft entsteht dadurch, neben Strom und Wärme, als einziges harmloses Reaktionsprodukt Wasser.

Die Kopplung einzelner Anlagen zu einem Anlagenverbund verspricht zusätzlich eine bessere Abdeckung der Strom- und Wärmenachfrage als Einzelanlagen. So können unter anderem Spitzen in der Stromnachfrage im versorgten Objekt bedient werden, die von Einzelanlagen nicht abgedeckt werden können. Besonders große Vorteile erhofft man sich durch die zentrale Steuerbarkeit von dezentralen Anlagen im Verbund, die es ermöglichen würde, eine große Zahl von Kleinanlagen gemeinsam wie ein einzelnes Kraftwerk, ein sog. „Virtuelles Kraftwerk“, zu betreiben.

Trotz einer gewissen Reife in der Entwicklung der ersten Brennstoffzellenanlagen sind weltweit bisher lediglich wenige hundert Brennstoffzellen als Demonstrationsanlagen installiert worden. Ebenso ist der Zusammenschluss von Anlagen zu Virtuellen Kraftwerken, so dass diese analog einer Großanlage gemeinsam zentral gesteuert werden können, bisher nur vereinzelt über das Stadium von Pilot-Projekten mit wenigen Einzelanlagen hinausgekommen.

Ziel, Methode und Aufbau der Studie

Das Ziel der Studie besteht darin, aufbauend auf einer Bewertung der Technologien Brennstoffzelle und Virtuelles Kraftwerk im Hinblick auf ihren Beitrag zu einer zukunftsfähigen Energieversorgung, nicht rechtfertigbare Hemmnisse für Innovationen im Bereich der Brennstoffzellen-Heizgeräte und Virtuellen Kraftwerke aufzuzeigen und daraus Empfehlungen abzuleiten, wie diese adäquat beseitigt werden können.

Der Fokus der Studie liegt auf dem Einsatz von Kleinanlagen, die als Heizgeräte zur Hausenergieversorgung eingesetzt werden können. Da Brennstoffzellen im Bereich kleiner Anlagen, sog. Mikro-KWK-Anlagen, besonders große Möglichkeiten zugeschrieben werden und der Wärmebedarf von Haushalten und Kleinverbrauchern zwei Dritteln des gesamten stationären Wärmebedarfs entspricht, wird in diesem Bereich mit einem hohen Einsatzpotenzial gerechnet.

Obwohl bei der Öffnung der europäischen Energiemärkte mittlerweile große Fortschritte erzielt wurden und viele Entscheidungen auf Ebene der Europäischen Union gefällt werden, sind die grundlegenden Strukturen wie z.B. Steuersysteme, Förderprogramme und die Regelung des Energieausgleichs nach wie vor auf Ebene der einzelnen Mitgliedstaaten verankert. Deshalb beschränkt sich diese Studie hinsichtlich auftretender Hemmnisse auf die Betrachtung der Verhältnisse in Deutschland.

Zwar werden die Technologien ihre Marktreife erst in der Zukunft erreichen, jedoch muss in der Studie für die Analysen zunächst von den gegebenen Rahmenbedingungen ausgegangen werden. Diese werden dahingehend analysiert, wie sie angepasst werden müssten, um heute bestehende Hemmnisse zu beseitigen, so dass die Technologien optimal eingesetzt werden könnten. Damit werden unabhängig vom tatsächlichen Markteintritt von Brennstoffzellen-Heizgeräten Vorgaben erarbeitet, die für die Integration anderer, bereits am Markt befindlicher Mikro-KWK-Anlagen in die vorhandenen Netze bzw. in Virtuelle Kraftwerke herangezogen werden können. Diese Technologien werden als Wegbereiter für Brennstoffzellen-Heizgeräte angesehen. Bei den Untersuchungen wird vom Stand der Regelungen im Februar 2008 ausgegangen.

Um zu politikrelevanten Empfehlungen zu gelangen, müssen im untersuchten Bereich energietechnische, energiewirtschaftliche, umweltökonomische, politische und rechtliche Aspekte miteinander verwoben werden. Deswegen wurde als Methode zur Bearbeitung des Themas die interdisziplinäre Projektgruppe gewählt, in der die verschiedenen disziplinären Ausarbeitungen zwischen den Projektgruppenmitgliedern interdisziplinär diskutiert und zu einer konsistenten Gesamtstudie verknüpft wurden. Zusätzlich wurden in zwei Workshops zu Beginn und zur Mitte des Projekts das Arbeitsprogramm und Zwischenergebnisse mit Praktikern und Wissenschaftlern aus den relevanten Fachbereichen diskutiert sowie In-

terviews mit verschiedenen Herstellern von Brennstoffzellen-Heizgeräten durchgeführt.

Im ersten Teil der Studie werden normative Grundlagen zur Beurteilung von Technologien und Maßnahmen erarbeitet, bevor im zweiten Teil die Technologien beschrieben und bewertet werden und im dritten Teil ökonomische und rechtliche Rahmenbedingungen auf mögliche Hemmnisse hin analysiert werden. Darauf aufbauend erfolgt schlussendlich im vierten Teil die Ableitung von Strategien und Empfehlungen.

Normative Grundlagen

Zukunftsfähigkeit

Im Sinne der Zukunftsfähigkeit wird von der Energieversorgung gefordert, dass Sie die grundlegenden gesamtwirtschaftlichen Ziele der Gesellschaft bestmöglich unterstützt. Deswegen wird in der Studie zunächst von den zwei grundlegenden Zielen der Ökonomie ausgehend,

- der optimalen Zuordnung knapper Mittel zu vorgegebenen Zwecken (Effizienz) und
- der gerechten Verteilung vorhandener Mittel unter den betroffenen Individuen (Distribution),

eine operative Handlungsregel abgeleitet. Dazu werden zunächst die Konzepte zur Gewährleistung einer inter- und intragenerational gerechten Verteilung und intertemporaler Effizienz vorgestellt und in einem zweiten Schritt miteinander kombiniert. In der Summe ergibt sich die folgende Handlungsregel, die in vier Prioritäten unterteilt werden kann:

Priorität 1:

*Schutz vor inakzeptablen Schäden durch
Einhaltung kritischer Belastungsgrenzen*

Kritische Bestände sämtlicher als relevant zu erachtender gesellschaftlicher Vermögenskomponenten¹ dürfen nicht unterschritten werden.

Priorität 2:

Erhaltung des Gesamtwertes produzierten und natürlichen Kapitals

Unter der Bedingung der Einhaltung der Priorität 1 müssen sich angemessen bewertete Veränderungen sämtlicher als relevant zu erachtender gesellschaftlicher Vermögenskomponenten mindestens zu Null saldieren.

¹ Diese enthalten unter anderem auch natürliches Vermögen wie z.B. Ökosysteme. Die Bestände können prinzipiell in beliebigen Einheiten angegeben sein.

ren. Ist Priorität 1 nur mit einem negativen Saldo zu erreichen, so ist dieses vom Betrag her zu minimieren.²

Priorität 3:

Maximierung intertemporaler Wohlfahrt

Der Gegenwartswert³ des intertemporalen Nutzens muss unter der Bedingung der Einhaltung der Prioritäten 1 und 2 maximiert werden.

Priorität 4:

Gerechte Verteilung der Grundlagen in der Gegenwart

Die sich nach den Prioritäten 1 bis 3 ergebenden in der Gegenwart nutzbaren Grundlagen zur Bedürfnisbefriedigung müssen nach gesellschaftlich festgelegten Maßstäben innergesellschaftlich wie gesellschaftsübergreifend gerecht verteilt werden.

Marktunvollkommenheiten

Ein Wohlfahrtsmaximum ist gefunden, wenn ein sog. Pareto-Optimum erreicht ist, d.h. dass niemand besser gestellt werden kann, ohne dass jemand anderes schlechter gestellt werden muss. Sog. Marktunvollkommenheiten stellen Gründe dafür dar, dass ein solches Pareto-Optimum nicht erreicht wird und daher ungenutzte Möglichkeiten zur Wohlfahrtsverbesserung bestehen. Um die Wohlfahrt zu maximieren (Priorität 3) müssen Marktunvollkommenheiten also möglichst vermieden werden. Deswegen werden in der Studie Wettbewerbsverzerrungen durch Marktunvollkommenheiten, die im Bereich der betrachteten Technologien Brennstoffzelle und Virtuelle Kraftwerke relevant sind, näher untersucht. Sie entstehen in Bereichen, die geprägt sind durch

- Monopolmacht bzw. Marktmacht,
- Nicht oder schlecht geregelte Eigentumsrechte, bzw.
- Unsicherheit durch unvollständige Marktstrukturen.

Ein Monopol hat gegenüber starkem Wettbewerb drei wesentliche Nachteile: Der Preis der angebotenen Produkte ist höher, die produzierte und verkaufte Menge an Produkten ist kleiner und das Einkommen wird zu Firmen und ihren Eignern umverteilt. Technisch-ökonomische Gründe für

² Damit wird der Fall abgedeckt, dass die Aufwendungen zur Gewährleistung des Schutzes vor inakzeptablen Belastungen so hoch sind, dass eine Reduktion des Gesamtvermögens notwendig ist. Eine äquivalente Formulierung des Zusatzes ist: Ist Priorität 1 ohne negatives Saldo nicht zu erreichen, so ist das maximale Niveau des gesellschaftlichen Vermögens anzusteuern, für welches ein Saldo von Null eingehalten werden kann.

³ Bei der Verwendung des ‚Gegenwartswertes‘ des Nutzens werden die gegenwärtigen Preise als einheitlicher Maßstab verwendet und zukünftiger Nutzen entsprechend durch Diskontierung in heutigen Werten ausgedrückt.

das Entstehen von Monopolen stellen zu hohe feste Kosten in der Produktion eines Gutes und Kompatibilitäts- bzw. Netzwerkvorteile dar. Monopole können zusätzlich vom Staat eingesetzt werden. Zudem können verbundene Märkte dazu führen, dass ein Monopolist in einem Bereich zusätzlich auch in einem anderen Bereich zum Monopolisten werden kann. Daraus ergibt sich, dass Monopole vermieden werden können, indem Wettbewerb ermöglicht wird, überhöhte Gewinne besteuert werden, schlecht oder nicht begründbare bürokratische Vorschriften und staatliche Monopole aufgehoben werden, Genehmigungsverfahren beschleunigt werden, natürliche Monopole wie Schienen- und Leitungsnetze öffentlich ausgeschrieben werden, technologische Standards nur zurückhaltend vom Staat vorgegeben werden sowie der Missbrauch von Verbundvorteilen verboten und ggf. Firmenteile entflochten werden.

Nicht oder nur schlecht geregelte Eigentumsrechte sind vor allem im Umweltbereich (öffentliche Güter) und im Bereich von Innovationen zu beobachten. Im Umweltbereich führen fehlende Regelungen dazu, dass soziale Kosten nicht berücksichtigt werden und damit Wettbewerbsverzerrungen entstehen. Zudem werden Innovationsanreize falsch gesetzt. Bei ihrer Regelung muss mit Trittbrettfahrerverhalten, Auswirkungen von Monopolen und inadäquater Ausführung durch Staatsversagen gerechnet werden. Im Innovationsbereich können Eigentumsrechte durch Patente, Kopierschutz, eingetragene Marken etc. geschützt werden, sofern die Gefahr besteht, dass Informationen bezüglich neuer Erfindungen und Produkte an die Öffentlichkeit bzw. an Konkurrenten gelangen.

Unsicherheiten entstehen in der Wirtschaft vor allem in den Bereichen des Verlusts von Produktions- und Verkaufstätigkeit von Unternehmen, bei mittel- und langfristigen Geschäften und bei Forschungstätigkeit. Firmen können sich nur unvollständig gegen ihre eigenen Verluste versichern.⁴ Zeitlich weit in der Zukunft liegende Transaktionen können nur teilweise durch entsprechende Verträge versichert werden und diese sind häufig sehr teuer. Eine staatliche Forschungsförderung ermöglicht es, finanzielle Risiken einer möglichen Erfolglosigkeit bei Forschungsaktivitäten abzudecken.

Um Maßnahmen zur Regelung für die Beseitigung bzw. Abmilderung von Marktunvollkommenheiten zu implementieren, ist es erforderlich, dass umfangreiche ökonomische Analysen vorliegen, der politische Wille gegeben ist und eine effektive Umsetzung der Gesetze und Regelungen erfolgt. Dazu muss eine gute Zusammenarbeit von Politikern, Ökonomen, Juristen und technischen Disziplinen gewährleistet werden.

⁴ Privatanleger hingegen können sich durch Diversifikation ihrer Aktienpakete versichern, und für Firmenangestellte gibt es das Arbeitsrecht und die Arbeitslosenversicherung, die staatlich geregelt ist.

Indikatoren

Aufbauend auf den Ausarbeitungen zur operativen Handlungsregel und den Ausführungen zu Marktunvollkommenheiten werden Indikatoren für die Beurteilung von Energietechnologien abgeleitet. Dazu lassen sich, basierend auf vorhandenen Arbeiten aus dem Gebiet, Charakteristika von Energietechnologien nach drei zentralen Zielen darstellen und daraus detaillierte Indikatoren und Kriterien zu ihrer Bewertung ableiten:

- Gewährleistung der Ressourcenverfügbarkeit,
- Schutz der Umwelt, und
- gerechte Gestaltung des Systems der Energieversorgung.

Um die Ressourcenverfügbarkeit zu gewährleisten, sollten im Sinne der Erhaltung des Gesamtwertes des Kapitals zumindest die mit den Ressourcen verbundenen Nutzen, also deren Funktionen, für die Gesellschaft gewährleistet werden. Dazu muss jedoch auch die Möglichkeit bestehen, frühzeitig Ersatz für Ressourcen nutzen zu können, wenn diese zur Neige gehen. In diesem Sinne sollte die Dauer, für die eine Ressource noch sicher verfügbar ist, größer sein als die Zeit, die man zum Wechsel zu einer anderen Ressource benötigt. Eine Ressourcennutzung wird entsprechend als nachhaltig bzw. zukunftsfähig erachtet, wenn die statische Reichweite der Reserven⁵ konstant und größer als die Trägheit des Energiesystems ist, die auf etwa 60 Jahre geschätzt wird. Zusätzlich werden weitere Gründe berücksichtigt, die die Verfügbarkeit der Ressourcen einschränken können. Dazu gehören starke Preisänderungen, die eingesetzte Materialmenge in Bezug zu den verfügbaren Ressourcen und starke regionale Konzentrationen in der Liefer- und Wertschöpfungskette sowie in den Vorkommen.

Im Bereich des Schutzes der Umwelt sind gemäß den Prioritäten prinzipiell Effekte zu unterscheiden, die langfristige und kurzfristige Auswirkungen haben, sowie Effekte, die die Umwelt in kritischem Maße belasten können. Mit der Langfristigkeit von Investitionen und dem Ziel einen einmal erfolgreich eingeschlagenen Pfad der Energieversorgung auch langfristig zu nutzen, werden mit der Nutzung der Technologien unvermeidbare und fortlaufend entstehende Umwelteffekte an nachfolgende Generationen weitergegeben. Für kritische Effekte sollten Belastungsgrenzen eingehalten werden, die die Vermeidung inakzeptabler Schäden an der Umwelt gewährleisten. Für die Beurteilung der Technologien werden ihre Beiträge zu kritischen Belastungen (z.B. Emissionen von Treibhausgasen) und Schadenskosten herangezogen, die in der Umwelt entstehen, jedoch nicht vom Markt berücksichtigt werden und in diesem Sinne auch „externe Kosten“ genannt werden. Wichtige betrachtete Umweltschäden sind

⁵ Die statische Reichweite der Reserven errechnet sich aus dem Quotienten aus ökonomisch abbaubaren Reserven und deren Förderungsrate, die für die Zukunft hypothetisch als unverändert unterstellt wird.

Klimafolgen, Einflüsse auf die menschliche Gesundheit und Einflüsse auf Ökosysteme.

Da nur Einzeltechnologien bewertet werden sollen und damit keine kompletten Energiesysteme zur Beurteilung herangezogen werden können, erfolgt der Vergleich wichtiger Systemeigenschaften auf qualitativer Ebene. Berücksichtigt werden Aspekte der Versorgungssicherheit, Risikovermeidung und Optionsoffenheit des Systems.

Brennstoffzellen und Virtuelle Kraftwerke und ihre Bewertung in Bezug auf eine zukunftsfähige Energieversorgung

Status quo und Entwicklungspotenziale

Die Untersuchung der technischen Entwicklung der betrachteten Technologien ergab, dass sowohl Brennstoffzellengeräte als auch Virtuelle Kraftwerke in dem Sinne, wie sie in der Studie verstanden werden, technisch noch nicht ausgereift sind und dass zur Erreichung ihrer Marktfähigkeit weitere technische Entwicklungen notwendig sind.

Brennstoffzellengeräte stellen sich vor allem im Bereich kleiner elektrischer Leistungseinheiten von unter 5 kW_{el} als besonders vielversprechend heraus. Diese Geräte werden in der Hausenergieversorgung als Heizungsanlage eingesetzt und deswegen auch als Brennstoffzellen-Heizgeräte bezeichnet. Im Vergleich zu anderen kleinen Anlagen, mit denen gekoppelt Strom und Wärme produziert wird (Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (Mikro-KWK-Anlagen)) bieten sie vor allem einen deutlich höheren Ertrag an elektrischem Strom pro eingesetzter Brennstoffmenge, und dieser ist wertvoller als die entsprechende Menge Wärme, weil er vielfältiger einsetzbar ist. Der zur Messung der Energienutzung bestimmte sog. Jahresnutzungsgrad erreicht bis zu 30 Prozent. Das technische Entwicklungsziel ist es, etwa 40 Prozent des im Jahr eingesetzten Brennstoffes in Strom umwandeln zu können. Im Bereich der konkurrierenden Mikro-KWK-Anlagen wie herkömmlichen Motor-Blockheizkraftwerken, Stirlingmotoren und Dampfmaschinen werden maximal 10 bis 25 Prozent erreicht. Dabei wird geschätzt, dass die erreichbaren Gesamtnutzungsgrade von Brennstoffzellengeräten (Strom plus Wärme) in Zukunft bei etwa 85 Prozent liegen werden, womit sie sich voraussichtlich leicht unterhalb der Gesamtnutzungsgrade der direkten Konkurrenz anderer Mikro-KWK-Anlagen befinden werden.

Entwicklungsbedarf bei Brennstoffzellen-Heizgeräten besteht vor allem im Bereich der Lebensdauer, des Wirkungsgrades, des Nutzungsgrades, der Zuverlässigkeit und Komplexität der Geräte. Zusätzlich können die bei der Verwendung von Erdgas notwendigen, vor Ort durchgeführten Prozesse zur Generierung von Gas mit einem hohen Wasserstoffgehalt verbessert werden. Diese sind notwendig, damit das Gas in der Brennstoffzelle genutzt werden kann. Im Zuge künftiger Weiterentwicklungen in diesen Be-

reichen ist auch mit der Reduktion von Investitions- und Betriebskosten zu rechnen.

Mit der Bezeichnung „Virtuelles Kraftwerk“ werden sehr unterschiedliche Konzepte betitelt. In der Studie wird die folgende Definition für ein Virtuelles Kraftwerk zu Grunde gelegt:

Ein *Virtuelles Kraftwerk* ist ein Netzwerk, bestehend aus einer Anzahl von kleineren dezentralen Stromerzeugungsanlagen, die miteinander verbunden sind und in der Lage sind, zentrale dispoible Kraftwerksleistung zu ersetzen.

Im Gegensatz zu anderen Verständnissen von Virtuellen Kraftwerken, die auch teilweise schon erfolgreich umgesetzt worden sind, stellt die zentrale Steuerbarkeit der Anlagen ein wesentliches Element der Definition dar. Zudem werden Verbünde von kleinen Anlagen betrachtet, die z.B. die lokale Energieversorgung einer kompletten Siedlung oder eines Stadtteils übernehmen können. Dabei können zusätzlich zu Mikro-KWK-Anlagen auch andere Anlagen integriert werden. Der große Vorteil von Mikro-KWK-Anlagen besteht allerdings in ihrer guten Steuerbarkeit.

Bisher sind Virtuelle Kraftwerke dieser Art erst mit wenigen Einzelanlagen realisiert worden. Gedacht wird an die Kopplung mehrerer tausend Anlagen, mit denen man in Leistungsgrößen käme, die es ermöglichen, dass diese wie zentrale Kraftwerke am Regelle Energiemarkt teilnehmen. Um solche Größen zu erreichen, müssen vor allem im Bereich der technischen und konzeptionellen Entwicklungen der zentralen Steuerung Fortschritte erzielt werden, mit denen die unter Umständen immensen Datenmengen bewältigt werden können.

Technische Möglichkeiten und Energiewirtschaftliche Potenziale der Netzintegration

Da bei Brennstoffzellen-Heizgeräten wie auch bei allen anderen Mikro-KWK-Anlagen der erzeugte Strom zu jeder Zeit in einem festen Verhältnis zu der erzeugten Wärme steht, ergeben sich verschiedene Möglichkeiten, die Geräte auszulegen und zu betreiben. Beim Betrieb unterscheidet man die „stromgeführte“, „wärmegeführte“ und „extern geführte“⁶ Betriebsweise. Im Falle der strom- und wärmegeführten Fahrweise wird versucht, den jeweiligen Bedarf an Strom bzw. Wärme des versorgten Gebäudes möglichst gut abzudecken. Bei einer direkten Bewirtschaftung ohne Speicher wird das Gerät so gefahren, dass die Erzeugung zeitlich möglichst direkt dem Bedarf entspricht. Die Benutzung von Energiespeichern, übli-

⁶ Die „extern geführte“ Betriebsweise wird teilweise auch als „netzgeführte“ Betriebsweise bezeichnet.

cherweise Wärmespeicher, ermöglicht es, die Produktion zeitlich vom Bedarf und die Stromproduktion von der Wärmeproduktion abzukoppeln. Bei der extern geführten Betriebsweise wird von außen vorgegeben, wie die Anlage gefahren werden soll. Dazu können feste bzw. variable Fahrpläne für die Anlage, ein dezentrales Managementsystem oder eine direkte zentrale Steuerung eingesetzt werden. Um ihre Vorteile zu nutzen, müssen die in den Anlagen erzeugten Strom- und Wärmemengen möglichst vollständig genutzt werden. Dies führt dazu, dass es bei einer rein wärmegeführten Betriebsweise zu unregelmäßigen Stromeinspeisungen ins Stromnetz kommen kann und bei allen Betriebsweisen die Wärme im Objekt verwertet werden muss. Vor allem diese Wärme-Restriktion kann ein Hemmnis für den Betrieb der Anlage darstellen, das durch Wärmespeicher verringert werden kann.

Zur Netzintegration ist zu beachten, dass bei einer großen Menge von dezentralen Anlagen, die unregelmäßig einspeisen, negative Netzurückwirkungen auftreten können. Die Haltung der Spannungshöhe im erlaubten Bereich kann in Netzbereichen mit geringer Stromkapazität sogar schon bei wenigen dezentralen Einspeisern lokal gefährdet werden. Für die Integration der Geräte ist eine Überprüfung und eventuelle Ergänzung der derzeitigen Maßnahmen zum Schutz von Anlagen, Stromnetzen und Personen vor Fehlfunktionen, zur Haltung der Spannungshöhe und zur Gewährleistung der Spannungsqualität notwendig. Die Geräte sind im Moment vor allem auf die zentrale Stromproduktion ausgelegt. Durch die Verwendung von intelligenten Wechselrichtern an den dezentralen Anlagen kann die Integration erleichtert und das Netzmanagement wesentlich unterstützt werden. Neben der hohen Effizienz der Einzelanlagen, geringeren Netzverlusten durch verbrauchsnahe Stromerzeugung, verschiedene Steuervorteile und Förderungen über eine spezielle Vergütung der Strom-Einspeisung ins Netz durch das KWKG bzw. EEG ergeben sich wirtschaftliche Potenziale durch die Kopplung der Anlagen zu einem Virtuellen Kraftwerk. Diese beinhalten unter anderem Dienstleistungen für das Netzmanagement. Nutzen und damit potenzielle wirtschaftliche Erlöse ergeben sich vor allem in den Bereichen der Bereitstellung von Blindleistung und Regelenergie, der Vermeidung des Bezugs von Ausgleichsenergie, der Reduktion der Netzhöchstlast, der Bereitstellung von Spitzenlast, dem Stromverkauf am Spotmarkt und der prognostizierbaren bzw. bei gezielter Steuerung der Anlagen sogar bedarfsgerechten Einspeisung.

Wirtschaftliche Betrachtungen der verschiedenen Betriebsweisen von Brennstoffzellen-Heizgeräten zeigen, dass sich bei Ein- und Mehrfamilienhäusern eine zeitliche Mischung von extern geführter und wärmegeführter Betriebsweise anbietet und Strom dann extern angeboten werden sollte, wenn damit ein ausreichender Erlös erwirtschaftet werden kann. Eine stromgeführte Betriebsweise von Mikro-KWK-Anlagen kann bei speziellen Objekten dann sinnvoll sein, wenn der Erlös durch den Stromverkauf

meistens unterhalb des Preises liegt, zu dem der Strom bezogen wird. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Anlagen durch eine höhere Anzahl von Kaltstarts und schnellen Lastwechseln deutlich stärkeren Belastungen ausgesetzt sein können.

Unter Annahmen für die Investitionskosten in Höhe der erwarteten Kosten von 1.000 bis 2.000 Euro pro Kilowatt installierter elektrischer Leistung ergeben sich optimale Größen der Anlagen für Einfamilienhäuser von nur wenigen hundert Watt installierter elektrischer Leistung bei Eigenbetrieb und -nutzung der Anlage. In Mehrfamilienhäusern sind auch größere Leistungsklassen rentabel. Im Falle von Contracting können in allen Objekten größere Anlagen betrieben werden.

Bewertung der Technologien im Hinblick auf ihre Beiträge zur Zukunftsfähigkeit der Energieversorgung

Die Bewertung der betrachteten Technologien Brennstoffzelle und Virtuelles Kraftwerk auf ihre Zukunftsfähigkeit auf Basis von Daten zur technischen Entwicklung orientiert sich an den abgeleiteten Indikatoren und der entsprechenden Kategorisierung in Ressourcennutzung, Umwelteffekte und System-Aspekte. Als Grundlage dienen unter anderem Ergebnisse von Lebenszyklusanalysen, die die Produktion, den Betrieb und die Entsorgung bzw. Wiederverwertung sowie die Bereitstellung von Materialien und Brennstoffen umfassen. Einen Überblick über die Ergebnisse gibt Tabelle 1.

Tab. 1: Beurteilung der Zukunftsfähigkeit von Brennstoffzellen und Virtuellen Kraftwerken

	Indikator	Beurteilung^a
Ressourcennutzung	Statische Reichweite der Reserven – Höhe und Konstanz der „Zeit sicherer Praxis“	Reichweite kleiner als die Systemträgheit: Chrom, Kupfer, Mangan, Nickel, Zirkonoxid Abnehmende Reichweite: Yttrium, Mangan, Eisen, Bauxit, Platingruppenmetalle
	Zur Produktion der Anlagen benötigte Materialmenge	Kritisch bei großer Verbreitung der Technologien: Yttriumoxid, Zirkonoxid
	Menge der insgesamt verfügbaren Ressourcen	Statische Reichweite unter 100 Jahren: Nickel, Zirkonoxid
	Preisänderungen	2001 bis 2006 Preisanstiege > 300%: Nickel, Kupfer
	Regionale Konzentration der Reservenvorkommen	Zwei Länder > 70%: Platingruppenmetalle, Chrom, Lithium
	Regionale Konzentration von Lieferung und Wertschöpfung	Zwei Länder > 70%: Yttrium (China: 99%), Platin, Palladium (Russland: 44%), Zirkonoxid

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. 1: Beurteilung der Zukunftsfähigkeit von Brennstoffzellen und Virtuellen Kraftwerken

Fortsetzung von der vorherigen Seite

	Indikator	Beurteilung^a
Umwelteffekte	Treibhausgasemissionen und soziale externe Kosten durch den Klimawandel	Emissionen und Externe Kosten: bei Mikro-KWK auf Erdgasbasis niedriger als bei zentralen Kraftwerken, aber höher als bei Nutzung regenerativer Energien, innerhalb der Mikro-KWK schneiden Brennstoffzellen-Heizgeräte mit hohem elektrischem Nutzungsgrad am besten ab.
	Externe Kosten in den Bereichen Menschliche Gesundheit und Ökosysteme	Externe Kosten: bei Brennstoffzellen-Heizgeräten auf Erdgasbasis deutlich niedriger als bei anderen Mikro-KWK, Steinkohle-Kraftwerken, Braunkohle-Kraftwerken und Photovoltaik; ähnlich bei Erdgas-GuD-Kraftwerken; noch niedriger bei Laufwasser, Wind
Energieversorgungssystem	Versorgungssicherheit – gerechter und preiswerter Zugang	Ist nach der Markteinführung durch Verträge gestaltbar, Rahmenbedingungen sollten freien Netzanschluss und -zugang und wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen ermöglichen
	Versorgungssicherheit – Ausfälle und Qualität	Überarbeitung von Schutzkonzepten auf dezentrale Einspeisung erforderlich, gegenüber Photovoltaik und Wind sind durch Mikro-KWK-Anlagen wesentliche Beiträge zur Gewährleistung der Spannungshaltung und Spannungsqualität möglich (Blindleistung, Kurzschlussleistung, Regel- und Ausgleichsenergie)
	Versorgungssicherheit – Diversität	Hängt lediglich von der Gestaltung der Systeme und Rahmenbedingungen ab; die Diversität des derzeit vorwiegend zentral ausgerichteten Energiesystems erhöht sich
	Versorgungssicherheit – Mitbestimmung	Jeder hat prinzipiell die Möglichkeit, das System mitzugestalten und damit mitzubestimmen
	Risikovermeidung – technische Risiken	Es entstehen, auch bei Wasserstoffeinsatz, voraussichtlich keine erhöhten technischen Risiken
	Risikovermeidung – Umweltrisiken	Emissionen im lokalen Bereich wirkender Schadstoffe sind vergleichsweise gering und geringer als bei derzeit eingesetzten Brennwertkesseln
	Risikovermeidung – Kritische Belastungen	Richtig implementiert können die Technologien einen Beitrag zur Einhaltung kritischer Grenzen im Klimaschutz und Belastungsgrenzen für Konzentrationen und den Eintrag versauernder und eutrophierender Substanzen zum Schutze von Ökosystemen leisten
	Optionsoffenheit	Das System zentral gesteuerter Einzelanlagen besitzt die größtmögliche Modularität und Flexibilität, Mikro-KWK und insbesondere Brennstoffzellen stellen dabei eine Option dar

^a Materialien in Aufzählungen sind nach abnehmender Wichtigkeit sortiert

Im Bereich der Ressourcennutzung sind zwei Einflüsse der Nutzung von Brennstoffzellen zu unterscheiden. Zum einen werden energetische Ressourcen für den Betrieb der Anlagen genutzt und zum anderen werden Materialien für den Bau der Anlage eingesetzt. Mangels kurzfristig realisierbarer Alternativen wird in der Studie davon ausgegangen, dass Brennstoffzellengeräte zunächst weitgehend mit Erdgas oder Biogas in Erdgasqualität betrieben werden. Da die wesentlichen Konkurrenztechnologien auch mit Erdgas betrieben werden und auch der Einsatz anderer Brenngase in den Anlagen möglich ist, wird dieser Aspekt bei der Bewertung außen gelassen. In Brennstoffzellengeräten werden jedoch einige seltene Materialien verbaut, die in Bezug auf ihre Verfügbarkeit kritisch verfolgt werden müssen.

Im Bereich der Umwelteffekte werden Lebenszyklusanalysen herangezogen um die Technologien auf der Basis empfohlener Werte zur Berechnung externer Kosten zu bewerten. Im Ergebnis werden Mikro-KWK-Anlagen besser bewertet als zentrale Kondensationskraftwerke, aber schlechter als Anlagen zur Nutzung regenerativer Energien. Besonders deutlich wird dies im Hinblick auf ihren Beitrag zum Klimaschutz. Im Bereich der Schäden an menschlicher Gesundheit und Ökosystemen schneiden sie sogar besser ab als Photovoltaikanlagen, jedoch schlechter als Laufwasser- und Windkraftanlagen.

Hinsichtlich der System-Aspekte ergeben sich durch die Nutzung von Brennstoffzellen in Virtuellen Kraftwerken vielerlei Vorteile. Wenn einige Anpassungen des derzeit sehr auf zentrale Einspeisung ausgelegten Netzmanagements durchgeführt werden, können gerade zentral gesteuerte dezentrale Anlagen maßgeblich zum Netzmanagement beitragen. Zudem ist das System modular und dadurch sehr flexibel und beinhaltet keine größeren Risiken, auch nicht bei der Verwendung von Wasserstoff. Im Gegenteil helfen die Technologien sogar, Umweltbelastungen und damit teilweise auch Risiken einer Überlastung abzubauen.

Studien zum Potenzial von Mikro-KWK-Anlagen kommen zu einer maximal installierten Leistung von etwa 1 bis 7 GW und zu einer möglichen Deckung des Wärmebedarfs von Wohngebäuden in Deutschland von maximal 10 bis 25 Prozent sowie des deutschen Strombedarfs von maximal 10 bis 18 Prozent, je nach Annahmen für die sonstige Entwicklung der Energieversorgung bzw. der konkurrierenden Technologien. Weil der Wärmebedarf im Sommer deutlich geringer ist als im Winter und in den Übergangsmonaten, ist im Sommer mit einer deutlich geringeren Abdeckung zu rechnen. Sie wird auf durchschnittlich etwa 2 Prozent des deutschen Strombedarfs beziffert. Diese Zahlen zeigen auf, dass die Anlagen zwar einen gewissen Beitrag zur Energieversorgung leisten können, jedoch auf jeden Fall durch weitere Energieversorgungssysteme ergänzt werden müssen. Allerdings ist dabei zu beachten, dass diese Anlagen unter anderem besonders wertvollen Spitzenstrom bereitstellen können. Die beispielsweise im Jahr

2006 im besonders interessanten Markt für Minutenreserve ausgeschrieben 3,1 bis 3,4 GW_{el} Regelenergieleistung zeigen auf, dass in diesem Bereich bereits geringe Leistungsmengen relevant sind.

Bestehende ökonomische und rechtliche Rahmenbedingungen

Determinanten und Effekte von Innovationen

Basierend auf den vorhergehenden Untersuchungen wurden Innovationsprozesse genauer durchleuchtet. Innovationsprozesse werden in der Studie in drei Phasen eingeteilt, die Erfindungsphase (Invention), die Markteinführungsphase (Innovation im engeren Sinne) und die Marktdurchsetzungsphase (Diffusion). In allen drei Phasen des Prozesses können Hemmnisse bestehen.

Determinanten des Innovationsprozesses stellen zum einen makroökonomische Aspekte dar, die Preise der eingesetzten Produktionsfaktoren und damit die Produktionskosten beeinflussen. Als wichtig für die betrachteten Technologien werden neben energetischen Ressourcen und Materialien zur Produktion der Geräte vor allem die Kosten zur Ausbildung und Beschäftigung von Forschern und Entwicklern gesehen. Produktspezifische Aspekte umfassen Erwartungsbildung für Marktverhalten und Kosten, eventuelle Umweltexternalitäten und damit gegebenenfalls Auswirkungen von Umweltpolitik auf Absatz und Produktion, sozialer Druck, technologische Komplementaritäten und Netzwerke sowie Kuppelproduktion. Zudem sind sektorale Aspekte relevant. Im Falle der Energieversorgung führen monopolistische Strukturen zu einer geringeren Forschungstätigkeit, was durch öffentliche Forschungsförderung oder die Schaffung von mehr Wettbewerb kompensiert werden kann.

Auswirkungen von Innovationen im Energiebereich sind einerseits die Reduktion von Arbeitseinsatz, Energie und Umweltbelastung. Andererseits kann der geringere Energiebedarf zu niedrigeren Preisen führen, so dass die Energiepreise trotz knapper werdender Ressourcen aufgrund geringerer Nachfrage sinken⁷. Neben dem Effekt, dass der mit Einkommenssteigerungen aufgrund von Produktionsanstieg verbundene Konsumanstieg dazu führt, dass schneller neue Produkte gekauft werden, können auch die neuen Produkte zu einem erhöhten Energieverbrauch führen (z.B. mehr Computer, größere Fernseher). Des Weiteren sind negative Nebeneffekte wie etwa bei Kernenergienutzung das Proliferationsrisiko möglich. Auch Verteilungseffekte sind möglich, z.B. zu Gunsten besser ausgebildeter Arbeitnehmer. Produkte mit niedrigeren Fixkosten können außerdem zu einem erhöhten Wettbewerb führen. Brennstoffzellen und Virtuelle Kraft-

⁷ Bei Gaspreisen wirkt dieser Mechanismus nicht, da der Gaspreis an den Ölpreis gekoppelt ist.

werke sind solche Technologien, weswegen die großen Energieversorger in Deutschland große zentrale Kraftwerke bevorzugen.

Bestehende ökonomische Rahmenbedingungen

Die Rahmenbedingungen für Innovationen bestimmen sich zu einem Großteil aus der bereits bestehenden Umsetzung ökonomischer Instrumente. Eine effektive Gestaltung dieser Instrumente kann dazu beitragen, Marktunvollkommenheiten zu beseitigen und wirtschaftliche Anreize für die Markteinführung von Innovationen zu geben.

Als Versicherung gegen wissenschaftlich-technische Fehlschläge und damit zur Gewährleistung gesamtwirtschaftlich ausreichender Forschungs- und Entwicklungstätigkeit (F&E) werden für die Brennstoffzelle auf der Angebotsseite F&E-Subventionen eingesetzt. Diese sollten weitergeführt werden, solange Brennstoffzellen und Virtuelle Kraftwerke noch nicht ausgereift sind. Zur Berücksichtigung externer Effekte können in einem späteren Stadium zusätzlich nachfrageseitige Subventionen, z.B. in Form von Einspeisevergütungen, eingesetzt werden. Bei ihrer Ausgestaltung ist darauf zu achten, dass diese auf die richtige Zeitdauer ausgelegt sind und dabei nach Möglichkeit keine alternativen Innovationen unangemessen gehemmt werden.

Von zusätzlicher Bedeutung für die Durchsetzung von Innovationen am Markt ist die Standardsetzung und Normung im Bereich der Integration von Brennstoffzellen-Heizgeräten in die Hausenergieversorgung und das Stromnetz und im Bereich der Gestaltung Virtueller Kraftwerke. Entsprechende Normen bestehen bereits oder werden derzeit ausgearbeitet.

Zertifikate und Steuern stellen weitere Instrumente dar. Ein richtiger Einsatz dieser Instrumente kann Technologien gemäß ihrer Umweltfreundlichkeit fördern und damit die Erreichung kritischer Belastungen vermeiden und zur adäquaten Berücksichtigung externer Kosten am Markt führen. Dabei ist es wichtig, dass die Instrumente optimal ausgestaltet und aufeinander abgestimmt sind. Unter anderem ist dabei deren Zweck zu beachten, nämlich entweder die Erreichung von Umweltqualitätszielen zur Vermeidung zu hoher Belastungen oder die möglichst exakte Internalisierung entstehender bezifferbarer externer Umweltkosten. Zur Vermeidung von Hemmnissen für Mikro-KWK-Anlagen sind bei der derzeitigen Ausgestaltung einzelne Anpassungen, z.B. Möglichkeiten für die Einbeziehung kleiner Anlagen in den Emissionszertifikatehandel und die Implementierung von Anreizen zur Technikverbesserung und -neuentwicklung in der ‚Ökosteuern‘, sinnvoll.

Brennstoffzellen und Virtuelle Kraftwerke benötigen, sofern sie auf Erdgasbasis betrieben werden, sowohl einen Anschluss an das Gasnetz als auch die Möglichkeit, elektrischen Strom ins Netz einzuspeisen. Für die Gewährleistung freier Netzzugänge dürfen keine Technologien vom Netzbetreiber bevorzugt behandelt werden. Außerdem sollte die Abschöpfung von Monopolrenten vermieden werden.

Das Auftreten des Staates als Nachfrager innovativer Techniken wie auch staatliche Informationskampagnen werden als Mittel zur Technologieförderung für wenig sinnvoll erachtet. Jedoch können moralische Appelle an das Umweltbewusstsein und Aufklärung als Beitrag zur politischen Bildung als flankierende Maßnahmen positive Wirkungen haben.

Bestehende rechtliche Rahmenbedingungen

Die Prüfung der Auswirkungen rechtlicher Rahmenbedingungen auf die Einführung von Brennstoffzellen-Heizgeräten und Virtuellen Kraftwerken differenziert aufgrund der vielen betroffenen rechtlichen Aspekte unterschiedliche Ebenen. Sie umfasst Aspekte der Produktzulassung, des Einsatzes vor Ort, des Netzzugangs, der Stromeinspeisung, des Zusammenschlusses von Mikro-KWK-Anlagen zu Virtuellen Kraftwerken, des Contracting und des Steuerrechts.

Bei der Produktzulassung sind die wesentlichen Grundlagen für die Einführung kleinerer Brennstoffzellensysteme geschaffen worden. Es sind konkrete Produkthanforderungen und Sicherheitsprüfverfahren bekannt, deren Erfüllung vermutlich eine Produktzulassung gewährleisten werden. Auswirkungen auf die Markteinführung von Brennstoffzellen durch die unlängst verabschiedete EG-Richtlinie zur umweltgerechten Gestaltung energiebetriebener Produkte (Ökodesignrichtlinie) sind noch nicht abzusehen. Im deutschen Immissionsschutzrecht sind keine speziellen Regelungen für das Inverkehrbringen gerade von kleinen Brennstoffzellenanlagen getroffen worden.

Bezüglich des Einsatzes der Anlagen vor Ort sind Aspekte der Raumordnung, der Bauleitplanung, des Bauordnungsrechts, des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes, des kommunalen Anschluss- und Benutzungszwangs, des Immissionsschutzes, des Energieeinspargesetzes und des Mietrechts untersucht worden. In mietrechtlicher Hinsicht ist vor allem zu klären, inwiefern Investitions- und Betriebskosten für Mikro-KWK-Anlagen auf die Mieter umgelegt werden können. Auch eine Eigenversorgung von Mehrfamilienhäusern mit Strom aus Mikro-KWK-Anlagen wirft eine Reihe rechtspraktischer Probleme auf, die die finanziell ungünstigere Einspeisung ins öffentliche Netz nahe legen. Das Bundesbaugesetz enthält Ermächtigungen für die kommunale Bauleitplanung, die Nutzung erneuerbarer Energien in Bebauungsplänen vorzuschreiben. Mikro-KWK-Anlagen werden davon derzeit nicht erfasst.

Im Rahmen des Netzzugangs und der Stromeinspeisung sind einige Regelungen getroffen worden, die auch kleine KWK-Anlagen betreffen. Zu nennen sind vor allem das KWKG und das EEG. KWK-Anlagen haben so z.B. einen Anspruch auf vorrangigen Anschluss an das nächstgelegene Niederspannungsnetz. Alternativ ist ein Anschluss der Anlage über die Regelungen im Energiewirtschaftsgesetz (§§ 17 und 18 EnWG) möglich. Voraussetzung ist dazu u.a., dass die Anlagen die entsprechenden Mindestanfor-

derungen zur Vermeidung negativer Rückwirkungen auf das Leitungsnetz erfüllen. Diese sind von den Netzbetreibern vorzugeben und unterliegen der Aufsicht der Regulierungsbehörde. Die Kosten des Anschlusses trägt der Anlagenbetreiber. Die Vergütung des eingespeisten Stroms kann nach KWKG bzw. bei Verwendung regenerativ erzeugter Brennstoffe nach EEG erfolgen. Die Förderung des in den Anlagen erzeugten Stroms erfolgt nur soweit dieser in das Netz der öffentlichen Versorgung eingespeist wird (Netzspeiseerfordernis). Dieses Erfordernis wird vor allem im Zusammenhang mit der Förderung nach dem KWKG kritisiert und die Förderung soll nach dem vorliegenden Reformentwurf des KWKG auch auf die Eigenversorgung von Industrieunternehmen ausgeweitet werden, soweit diese in ein Objektnetz einspeisen. Die Eigenversorgung von Wohnungen und kleinen Gewerbebetrieben, die für Brennstoffzellen-Heizgeräte interessant wäre, bleibt jedoch weiterhin außen vor. Die Zulassung einer KWK-Anlage kann bei serienmäßiger Herstellung statt durch Sachverständigengutachten durch geeignete Unterlagen des Herstellers ersetzt werden. Bei weiterer Marktdurchdringung dezentraler Energieanlagen ist zudem zu klären, inwiefern die Mechanismen zur Verteilung von Stromkapazitäten und die Netzausbaupflichten der Verteilnetzbetreiber ausreichen.

Für den Zusammenschluss zu Virtuellen Kraftwerken sind unterschiedlichste Geschäftsmodelle denkbar. Als Beteiligte kommen praktisch alle Akteure auf dem Strommarkt in Betracht. Eine Feindifferenzierung aller Organisationsvarianten resp. Betreibermodelle konnte im Rahmen der Studie nicht erfolgen, weswegen die rechtlichen Betrachtungen in diesem Bereich eher grundsätzlicher Art sind und sich auf mögliche energiewirtschaftsrechtliche Grenzen sowie denkbare Auswirkungen des KWKG und EEG auf die Schaffung Virtueller Kraftwerke mit Mikro-KWK-Anlagen konzentrieren. Energiewirtschaftliche Grenzen bestehen vor allem aufgrund der bestehenden Vorgaben zur Entflechtung des Netzbetriebs (Unbundling). Sie lassen eine Steuerung einzelner Erzeugungsanlagen durch den Netzbetreiber höchstens in Ausnahmefällen zu und stehen insbesondere einer aktiven Anforderung von dezentral erzeugtem Strom im Wege. Auch eigene Erzeugungsanlagen sind nur in begrenztem Maße einsetzbar. Genehmigungserfordernisse ergeben sich nur bei räumlich eng zusammenhängenden Anlagen mit entsprechender Summenleistung. Eine Anzeigepflicht ist bereits bei der Belieferung von Endkunden gegeben. Wenn Virtuelle Kraftwerke den Anforderungen an den Großhandelsmarkt gerecht werden, können sie dort ihren Strom anbieten. Probleme ergeben sich vor allem für regelzonenübergreifende Virtuelle Kraftwerke. Nicht alle Nutzen Virtueller Kraftwerke können über öffentliche Märkte realisiert werden. Teilweise müssen direkte Vereinbarungen z.B. mit dem Netzbetreiber getroffen werden. Die Ausgestaltung der Anreizregulierung kann genutzt werden um Leistungen Virtueller Kraftwerke für das Netzmanagement adäquat zu vergüten. Entsprechende Geschäftsmodelle, mit denen möglichst

viele Wertschöpfungspotenziale abgeschöpft werden können, müssen noch entwickelt werden. Die KWK-Förderung ist prinzipiell für verschiedenste Vertragskonstellationen aufrecht zu erhalten bzw. anzupassen. Nach derzeitigem Stand enthalten das KWKG und EEG, u.a. mit dem Prioritätsgrundsatz für den Einsatz der Anlagen und der Höhe der Einspeisevergütung, allerdings verschiedene Komponenten, die dazu führen, dass Mikro-KWK-Anlagen primär als Einzelanlagen betrieben werden und damit als Hemmnis für die Umsetzung Virtueller Kraftwerke wirken. Weitere auf sinnvolle Änderungen zu überprüfende Aspekte stellen die derzeitigen Regelungen zum Netzzugang und zu den Netzzugangsentgelten dar.

Zusätzliche Rechtsfragen ergeben sich bei einer weiter voran schreitenden Dezentralisierung der Energieversorgung. Hier sind vor allem die Verteilung begrenzter Anschlusskapazitäten im Verteilnetz, die Regelung des Netzausbaus, die auf die zentrale Stromversorgung ausgerichtete Rollenverteilung zwischen Netzbetreibern und Stromerzeugern sowie die Interoperabilität von Elektrizitäts- und Kommunikationsnetzen zu nennen.

Angesichts des organisatorischen Aufwands und der umlagebezogenen Schwierigkeiten beim Einsatz von Mikro-KWK-Anlagen in Mehrfamilienhäusern bietet sich die Übernahme der Wärme- bzw. Stromversorgung durch einen Contractor an. Dies bedarf einer eigenen und detaillierten vertragsrechtlichen Ausgestaltung sowie der Ausräumung bereits angedeuteter (miet-)rechtlicher Unsicherheiten speziell hinsichtlich des Einsatzes der Mikro-KWK-Anlagen in Mietshäusern.

Im Bereich des steuerlichen Rahmens ist die Entwicklung der Stromsteuer und der Energiesteuer relevant. Eine Befreiung von der beim Bezug von Elektrizität anfallenden Stromsteuer kommt in Betracht, wenn Ein- und Ausspeisung des Stroms „in räumlichem Zusammenhang“ stehen. Die nähere Bestimmung dieses „räumlichen Zusammenhangs“ kommt zu unterschiedlichen Ergebnissen und erfordert derzeit eine Einzelfallprüfung. Als effiziente KWK-Anlagen mit einem Jahresnutzungsgrad von mehr als 70 Prozent sollten Brennstoffzellengeräte von der Energiesteuer befreit sein. Jedoch müssen für eine klare Regelung die Formulierungen im Energiesteuergesetz überarbeitet werden, da hier explizit nur Gasturbinen und Verbrennungsmotoren genannt werden. Unklarheiten dieser Art sind auch in anderen Regelungen, unter anderem in den Bauordnungen der Länder, zu finden.

Identifizierte Hemmnisse

Aus den Analysen in den einzelnen Bereichen der Studie wurden Hemmnisse identifiziert, die einem zukünftigen Einsatz der Technologien im Wege stehen können, sofern sie nicht zuvor beseitigt werden. Zusätzlich

kann die Beseitigung einiger dieser Hemmnisse den Einsatz bereits am Markt befindlicher Mikro-KWK-Anlagen erleichtern.

Sowohl im Bereich der Brennstoffzellen-Heizgeräte als auch im Bereich der Virtuellen Kraftwerke besteht noch erheblicher Entwicklungsbedarf, mit dem gewährleistet werden muss, dass die Geräte marktfähig sind. Um eine ausreichende Konkurrenzfähigkeit zu gewährleisten, ist neben der Verbesserung der Alltagstauglichkeit der Anlagen und der Verringerung der Kosten darauf zu achten, dass Materialien eingesetzt werden, die auch längerfristig zu akzeptablen Preisen verfügbar sind, die Energieeffizienz und damit die Umweltfreundlichkeit verbessert wird, Speichersysteme weiterentwickelt werden und auch kleine Anlagengrößen entwickelt werden.

Vor allem im Verbund lassen sich dezentrale Anlagen sehr gut ins vorhandene Verteilnetz integrieren. Aufgrund der Ausrichtung der Energiemärkte auf eine zentrale Energieversorgung entstehen allerdings u.a. im Bereich der Netzdienstleistungen einzelne Hemmnisse für dezentrale Anlagen, ihre Möglichkeiten und damit ihr Erlöspotenzial zu realisieren.

Mit Erdgas betriebene Brennstoffzellen-Heizgeräte und andere Mikro-KWK-Anlagen schneiden in der umweltseitigen Bewertung schlechter ab als Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien. Damit ergibt sich, bei steigenden Anforderungen an die Umweltfreundlichkeit von Energieversorgungssystemen, für erdgasbetriebene Mikro-KWK-Anlagen eine immer stärkere Konkurrenz durch die Nutzung erneuerbarer Energien und eventuell Hemmnisse für die Realisierung ihrer Potenziale.

Hemmnisse können durch nicht adäquate Forschungs- und Entwicklungsförderung im Bereich von Brennstoffzellen und Virtuellen Kraftwerken entstehen. Zudem entstehen Hemmnisse durch die vorhandene Umsetzung von Technologieförderungen und der derzeitigen Gestaltung von ‚Ökosteuern‘ sowie des Zertifikatehandels. Im Bereich des Netzzugangs und -anschlusses können Hemmnisse durch den Missbrauch von Marktmacht und durch fehlende Anreize für die Vergütung von Netzdienstleistungen zur Verbesserung der Versorgungsqualität entstehen. Mangelnde Information bei Verbrauchern und Handwerksbetrieben kann ein weiteres Hemmnis darstellen.

Hemmnisse durch rechtliche Regelungen ergeben sich unter anderem im bestehenden Mietrecht, durch hohen prozeduralen Aufwand und Unsicherheiten beim Contracting sowie im Bauplanungsrecht. Außerdem können sich die Umsetzung von KWKG und EEG, die Verteilungsmechanismen für Netzkapazitäten, kommunalpolitische Belange und bestehende Regelungen in einzelnen anderen Regelwerken, wie z.B. den Gesetzen zur Regelung der Strom- und Energiesteuer, problematisch auswirken.

Konkrete Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Aus den Ausarbeitungen der einzelnen Aspekte und den Strategien zur Beseitigung von Hemmnissen ergeben sich in der Studie 29 konkrete Empfehlungen für den weiteren Umgang mit den Technologien. Sie sind untergliedert in den Bereich der technischen Weiterentwicklung und Implementierung von Brennstoffzellen-Heizgeräten, der Netzintegration von dezentralen Anlagen und ihres Einsatzes in Virtuellen Kraftwerken sowie der Gestaltung von Rahmenbedingungen für Mikro-KWK-Anlagen bzw. Brennstoffzellen-Heizgeräte und deren Netzintegration bzw. die Entwicklung Virtueller Kraftwerke. Im Folgenden werden die Empfehlungen zusammenfassend dargestellt (ausführlich s. Abschnitt 7.3).

Technische Entwicklung der Brennstoffzellen-Technologie

Die technische Entwicklung sollte weiter fortgeführt werden. Nur so können technische Probleme bei Brennstoffzellen-Heizgeräten, vor allem in den Bereichen *Lebensdauer*, *Wirkungsgrad*, *Nutzungsgrad*, *Zuverlässigkeit* und *Komplexität der Geräte* gelöst werden. Dabei sollte die technische Entwicklung auch auf die *Kostenreduktion der Komponenten* abzielen. Die Marktfähigkeit ist, je nach Geschäftsmodell und Versorgungsobjekt, voraussichtlich bei Kosten von 1.000 bis 2.000 Euro pro installiertem Kilowatt elektrischer Leistung erreicht. Um auch bei geringerem Raumwärmebedarf einsetzbar zu sein, sollten auch *Anlagen mit Leistungen kleiner als 1 kW_{el}* entwickelt werden. Für einen langfristigen und weitverbreiteten Einsatz der Technologie sollte außerdem auf die Wiederverwertung bzw. den Ersatz einiger *seltener Materialien* hingearbeitet werden. Bei Massenproduktion werden sich voraussichtlich vor allem die Inhaltsstoffe der Elektroden von Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC) Yttriumoxid und Zirkonoxid als problematisch herausstellen. Einige andere der eingesetzten Materialien werden insgesamt nicht nachhaltig bewirtschaftet, bzw. zeigen eine starke regionale Konzentration in der Produktionskette bzw. in den Vorkommen oder große Preisanstiege (s.o. Tabelle 1).

Zur Unterstützung der technischen Entwicklung und der Markteinführung sollten *Normen und Standards* frühzeitig gesetzt werden. Sie sollten selbstregulativ nach dem bisherigen System weiter vorangetrieben werden. Da der Bereich der Forschung und Entwicklung von Technologien durch hohe Unsicherheiten in Bezug auf den Erfolg gekennzeichnet ist, sind dort *staatliche Förderungen* sinnvoll.

Integration von Brennstoffzellen-Heizgeräten in das Energiesystem

Zwar schneiden Brennstoffzellenheizgeräte und andere Mikro-KWK-Anlagen, die als Wegbereiter der Brennstoffzellenheizgeräte gesehen werden sollten, in Bezug auf *Umweltauswirkungen* schlechter ab als die direkte

Nutzung regenerativer Energien in Form von Windkraft- und Solar-Anlagen. Sie haben jedoch gerade bei der Stromproduktion den Vorteil, dass sie beliebig steuerbar sind und ihre Produktion nicht direkt von den Wetterbedingungen abhängig ist. Eine Betriebsweise der Anlagen, die sich an dem Wärmebedarf des Objekts orientiert und die in Zeiten hoher Vergütungen für den eingespeisten Strom nach externen Vorgaben gesteuert wird, stellt sich dabei als die beste Option heraus. Diese *externe Steuerung der Anlagen* erscheint vor allem dann sinnvoll, wenn eine Vielzahl von Anlagen in einem sog. „Virtuellen Kraftwerk“ koordiniert betrieben werden kann, um eine höhere Leistung gezielt abgerufen zu können. So eingesetzt können Mikro-KWK-Anlagen zum Teil *Grund- und Spitzenlast*, die derzeit in weniger effizienten Großkraftwerken bereitgestellt werden, ersetzen und damit den Einsatz regenerativer Energien mit fluktuierender Verfügbarkeit unterstützen. Auf diese Weise können auch negative Netzzrückwirkungen, die bei unkoordinierter Fahrweise zu Instabilitäten führen können, leicht vermieden werden. Die *Versorgungssicherheit im Verteilnetz* kann mit den Kleinstanlagen sogar verbessert werden.

Um eine solche Verknüpfung von Einzelanlagen zu ermöglichen sollte bereits frühzeitig die Entwicklung von externen Steuerungen und ihre Implementierung in die Geräte vorangetrieben werden. Im Bereich der Steuerungen und der Konzeptionen von Virtuellen Kraftwerken müssen vor allem Lösungen zur Koordination mehrerer hundert bzw. mehrerer tausend Anlagen bzw. zur Integration verschiedener Anlagentypen und dezentraler Energiesysteme noch entwickelt und erprobt werden. Durch Beteiligung am Netzmanagement kann mit solchen Anlagenverbänden ein *hoher Nutzen für die Netzstabilität bzw. Versorgungsqualität* im Verteilnetz erbracht werden.

Unterstützung der Realisierung von Nutzenpotenzialen Virtueller Kraftwerke

Die Realisierung des Nutzens für das Netzmanagement durch die Integration von Mikro-KWK-Anlagen setzt voraus, dass diese Option neben Netzausbauten auch von dem Netzbetreiber wahrgenommen wird. Ein wesentlicher Punkt in diesem Zusammenhang ist die entsprechende *Ausgestaltung der Qualitätsregulierung* im Bereich der Anreizregulierung. Zusätzlich sollte eine weitere *Flexibilisierung der Mechanismen im Bereich des Regel- und Ausgleichsenergiemarkts* vorgenommen werden, damit sich Märkte bilden können, durch die dezentrale Anlagen auch ohne Umweg über das Übertragungsnetz stärker zum Stromausgleich beitragen können. Zusätzlich sollte die Anforderung des Stromverkaufs an einen Dritten als Voraussetzung für den Erhalt der *KWK-Förderung* gestrichen werden, da sie bei einigen Geschäftsmodellen für Virtuelle Kraftwerke dazu führt, dass keine KWK-Förderung gewährt werden kann, obwohl KWK-Strom produziert und eingespeist wird. Außerdem wird die *Steuerbarkeit*

bei *Kleinanlagen* weder durch die derzeitigen Fördermechanismen noch durch die Verbände unterstützt. Um das gesamte Potenzial der Technologien nutzen zu können, sollte diese Unterstützung jedoch spätestens mittelfristig erfolgen.

Gestaltung ökonomischer Rahmenbedingungen

Für die Akzeptanz der Technologien ist es wichtig, dass ausreichend *Informationen* von Seiten der Hersteller, Anbieter, Verbände und Netzwerkorganisationen bereitgestellt werden. Neben Informationen für potenzielle Interessenten müssen diese auch entsprechende Schulungen des Handwerks beinhalten und sollten mit dem Zeitpunkt der tatsächlichen Markteinführung der Geräte abgestimmt werden. Zusätzlich ist es sinnvoll, die Investitionssicherheit der Kunden zu erhöhen indem *langfristige Vertragsoptionen* für den Bezug der Brennstoffe (z.B. Erdgas) angeboten werden. Da für die externe Steuerung der Geräte eine entsprechende Kommunikationsinfrastruktur erforderlich ist, kann es sich als sinnvoll herausstellen, *Komplettpakete* für die Versorgung mit Telefon, Internet, Strom und Wärme anzubieten. Bei einem starken Zusammenwachsen der Bereiche Telekommunikation, Internet und Energie sollte die Notwendigkeit der Verzahnung der verschiedenen Rechtsgebiete (z.B. in Bezug auf Sicherheitsstandards) vom Gesetzgeber überprüft werden.

Durch die derzeitige Regelung der Steuern, Abgaben und Subventionen sowie der verschiedenen Fördersysteme entsteht eine Reihe von *Marktverzerrungen*, die möglichst beseitigt werden sollten. Im Bereich des Emissionshandelssystems ist neben einer restriktiveren Vergabe der Zertifikate mittelfristig eine *Einbeziehung von Kleinanlagen* sinnvoll. Bereits kurzfristig sollten Möglichkeiten über die Instrumente Joint Implementation, Clean Development Mechanism und ‚weiße Zertifikate‘ besser nutzbar gemacht werden, was die Verringerung des bürokratischen Aufwands erfordert und durch die Möglichkeit der Durchführung von Projekten im eigenen Land unterstützt werden könnte. *Steuerregelungen* im Sinne der „Ökosteuer“ sollten sich nach Möglichkeit direkt an den emittierten Mengen orientieren, so dass Technologieinnovationen auch ohne Anpassung der Bemessungsgrundlagen berücksichtigt werden können. Die *Fördersysteme im Rahmen des KWKG und des EEG* sind anhand von Treibhausgas-Minderungszielen rechtfertigbar, bergen allerdings die Gefahr, dass sie Barrieren für andere alternative Technologien darstellen. Deswegen sollten sie in ihrer Höhe kontinuierlich überwacht und ggf. angepasst werden. Brennstoffzellen-Heizgeräte sollten, sobald ihr Entwicklungsstand es sinnvoll erscheinen lässt, auch explizit berücksichtigt werden. Bei neuen Förderprogrammen sollten ebenfalls andere zur Nutzung erneuerbarer Energien *komplementäre neue Technologien*, wie Stromspeichersysteme, adäquat berücksichtigt werden. Wettbewerbsverzerrungen in anderen Bereichen der Energiewirtschaft sollten zusätzlich beseitigt werden.

Gestaltung weiterer Rahmenbedingungen

Aufgrund fortbestehender Marktbeherrschungen in der Energiewirtschaft ist es wichtig, darauf zu achten, dass der *Netzanschluss und -zugang von Kleinanlagen diskriminierungsfrei* erfolgt. Außerdem sollten Anreize gegeben werden, beim Betrieb der Anlagen vom *Prioritätsprinzip* abzuweichen. Zusätzlich sollte über Änderungen der *Verteilungsmechanismen* bei unzureichenden Anschlusskapazitäten nachgedacht werden. Im Bereich der Bauplanung ist die *Reichweite kommunaler Kompetenzen* noch zu klären. Zusätzlich zur Nutzung regenerativer Energien sollte als Ergänzung zumindest eine Kombination mit KWK-Anlagen festgesetzt werden können. Außerdem sollte die adäquate Berücksichtigung der Brennstoffzellen als Technologie in den Gesetzestexten gewährleistet werden. Diese Technologie wird vor allem im KWKG, im Energiesteuergesetz und in den Landesbauordnungen nicht explizit erwähnt.

Für die *Umsetzung der Technologien in der Praxis* ist es sinnvoll zu klären, wie die Kostenbelastungen im Falle einer Änderung auf *Wärme-Contracting* bei laufenden Mietverhältnissen verteilt werden können. Die *Umstellung von reiner Wärmeproduktion auf Kraft-Wärme-Kopplung* führt zu Konflikten mit dem Mietrecht. Fraglich ist auch hier die Verteilung der Übernahme der Investitions- als auch der Betriebskosten sowie die Duldungspflicht bei laufenden Mietverhältnissen. Aufgrund des hohen administrativen Aufwandes für die direkte Versorgung der Hausbewohner mit Strom ist davon auszugehen, dass dieser für die Allgemeinstromversorgung des Gebäudes verwendet bzw. ins Netz eingespeist wird.

Autorenverzeichnis

Berg, Holger, Dipl.-Ing.; Studium der Chemietechnik an der Universität Dortmund mit den Schwerpunkten Anlagen- und Energieprozesstechnik. 2001 bis 2007 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut Technik der Energieversorgung und Energieanlagen (TEE) der Universität Duisburg-Essen: Projektarbeit/-leitung in den Bereichen dezentrale Energiesysteme und Kraft-Wärme-Kopplung, insb. im Bereich Brennstoffzellen im Rahmen des EU-Projektes Virtual Fuel Cell Power Plant.

Arbeitsgebiete: Energiemanagement, dezentrale Energieversorgung, thermodynamische Simulations- und Prozessrechnungen, Gesamtsystemanalysen und Strategieentwicklungen, Projektentwicklung und -management, Kosten- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen.

Droste-Franke, Bert, Dr.-Ing., Dipl.-Phys.; Studium der Physik mit Nebenfach Wirtschaftswissenschaften an den Universitäten Göttingen und Heidelberg, 2004 Promotion zum Thema „Quantifizierung von Umweltschäden als Beitrag zu Umweltökonomischen Gesamtrechnungen“ in den Ingenieurwissenschaften an der Universität Stuttgart. 1996 bis 2006 Stipendiat und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart: Projektarbeit/-leitung und Beratungstätigkeiten, u.a. für die Europäische Kommission, nationale Institutionen und die Weltbank Gruppe im Bereich Ermittlung von physischen Umweltschäden und Umweltschadenskosten durch wirtschaftliche Aktivitäten zur Politikberatung sowie Weiterentwicklung des integrierten Softwaretools „EcoSense“ und Integration von Modellen. Seit 2006 Projektkoordinator an der Europäischen Akademie GmbH.

Arbeitsgebiete: Umweltphysik; Umweltökonomie; Umweltschadensberechnung; Indikatoren für Umweltbelastung, Wohlfahrtsoptimierung und nachhaltige Entwicklung; Umweltökonomische Gesamtrechnungen.

Anschrift: Europäische Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH, Wilhelmstr. 56, 53474 Bad Neuenahr-Ahrweiler.

Kötter, Annette, Dipl.-Volksw.; Studium der Volkswirtschaftslehre an den Universitäten Münster und Sevilla mit den Schwerpunkten Energie- und Umweltökonomik sowie Internationale Wirtschaftsbeziehungen. Diplom

2006 mit Diplomarbeit über die Eignung des Europäischen Emissionshandelsystems zur Bekämpfung von Klimaschäden. 2005 studentische Hilfskraft am Institut für Ökonomische Bildung der Universität Münster, von Januar 2007 bis März 2008 wissenschaftliche Mitarbeiterin der Europäischen Akademie GmbH. Arbeitsgebiete: Energie- und Umweltökonomik.

Anschrift: Waldsaum 59, 45134 Essen.

Krüger, Jörg, Rechtsanwalt; Studium der Rechtswissenschaften an den Universitäten Gießen und Bochum, 2002 Erstes Juristisches Staatsexamen, anschließend Juristischer Vorbereitungsdienst (Referendariat) in Bochum, 2004 Zweites Juristisches Staatsexamen. 2004 bis 2005 in der Rechtsabteilung der RWE Energy AG in Dortmund beschäftigt. Seit 2006 Rechtsanwalt in Dortmund. Seit Ende 2006 Mitarbeiter des Instituts für Berg- und Energierecht der Ruhr-Universität Bochum.

Arbeitsschwerpunkte: Wirtschaftsverwaltungs- und Wirtschaftsverfassungsrecht, Wirtschaftsprivatrecht, Energie- und Infrastrukturrecht.

Anschrift: Hainallee 9, 44139 Dortmund.

Mause, Karsten, Dr. rer. pol., Dipl.-Pol.; Studium der Politikwissenschaft mit Nebenfach Volkswirtschaftslehre an der Universität Marburg, 2001 Abschluss zum Diplom-Politologen, 2001–2006 Promotionsstudium der Volkswirtschaftslehre und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachbereich Wirtschaftswissenschaften der Universität Marburg, 2006 Promotion zum Doktor der Wirtschaftswissenschaften, 2006–2008 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Europäischen Akademie GmbH. Seit Mai 2008 wissenschaftlicher Mitarbeiter im DFG-Sonderforschungsbereich „Staatlichkeit im Wandel“ (SFB 597) an der Universität Bremen.

Arbeitsgebiete: Empirische Analyse der Staatstätigkeit, Theorie und Empirie der Bildungspolitik, Public Choice/Ökonomische Analyse der Politik, Umweltökonomik.

Anschrift: Universität Bremen, Sonderforschungsbereich 597 „Staatlichkeit im Wandel“, Linzer Str. 9A, 28359 Bremen.

Pielow, Johann-Christian, Univ.-Professor Dr. iur.; Jurastudium in Münster, Lausanne und London, Referendariat in Köln und München, 2. Staatsexamen 1987. Wissenschaftliche Mitarbeit bei K. Stern (Köln) und P. J. Tettinger (Bochum); Promotion 1992. Habilitation 1998 mit einer rechts- und sektorvergleichenden Schrift zu „Grundstrukturen öffentlicher Versorgung“ (Mohr Siebeck, Tübingen 2001); Lehrbefugnis für Öffentliches Recht und Europarecht. Nach Lehrstuhlvertretungen in Bonn, Köln, München und Dresden seit 2003 Professor für Recht der Wirtschaft an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaft und Kooptation durch die Juristische Fakultät der Ruhr-Universität Bochum. Seit 2004 Geschäftsführender Direktor des Instituts für Berg- und Energierecht der Ruhr-Universität. Mitglied im Di-

rektorium des Instituts für Europäische Wirtschaft und des Centrums für ökonomische Bildung der Fakultät für Wirtschaftswissenschaft.

Internationale Forschungs- und Lehrkooperationen (Gastdozenten), u.a. im Rahmen des ERASMUS-/SOKRATES-Netzwerks „International Energy Law“ sowie mit spanischen und lateinamerikanischen Universitäten.

Forschungsschwerpunkte: Deutsches, europäisches und vergleichendes Wirtschaftsverfassungs- und Wirtschaftsverwaltungsrecht (insbes.: Öffentliche Daseinsvorsorge und netzgebundene Infrastrukturen; Berg- und Energierecht), Kommunal- und Umweltrecht, Staatsorganisationsrecht; Verfassungs- und Verwaltungsprozessrecht.

Anschrift: Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Wirtschaftswissenschaft, 44780 Bochum.

Romey, Ingo, Univ.-Professor, Dr.-Ing.; Studium der Technischen Chemie an der RWTH Aachen. 1970 Promotion zum Thema „Modifizierte Pressmassen“ an der RWTH Aachen, Lehrstuhl Chemische und physikalische Chemie. 1970 bis 1996 wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der Bergbau-Forschung GmbH (später DMT), u. a. als Leiter der Abteilung Verbrennungstechnik und Leiter der Abteilung International Technical Cooperation. 1996 Berufung an die Universität Duisburg-Essen als Inhaber des Lehrstuhls „Technik der Energieversorgung und Energieanlagen“ (TEE) mit den Schwerpunkten Energietechnik und Erneuerbare Energien. Gastprofessur in China. Vorsitzender der DVV Deutsche Vereinigung für Verbrennungsforschung. Experte der Europäischen Kommission. Projektleiter und Koordinator einer großen Anzahl von EU-Forschungsprojekten auf dem Gebiet der Energietechnik.

Anschrift: Universität Duisburg-Essen, TEE, Universitätsstr. 15, 45141 Essen.

Ziesemer, Thomas, Dr. rer. pol., Associate Professor of Economics an der Universität Maastricht. Studium der Volkswirtschaftslehre an den Universitäten Kiel (1974–1975) und Regensburg (1975–1978). Assistent am Institut für Volkswirtschaftslehre der Universität Regensburg 1982–1989. Promotion 1985 zum Thema „Economic Theory of Underdevelopment“. 1989–1994 Assistent Professor of International Economics, 1994–1996 Associate Professor of Microeconomics. November 1996 Habilitation an der FU Berlin über „Ursachen von Verschuldungskrisen“. Arbeitsgebiete: Entwicklungsländer, Wachstum, Internationale Wirtschaftsbeziehungen, Technologie, Umwelt, Migration.

Anschrift: Maastricht University, P.O. Box 616, Tongersestraat 53, NL 6200 MD Maastricht.



EUROPÄISCHE AKADEMIE

zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen
Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH

Direktor: Professor Dr. Dr.h.c. Carl Friedrich Gethmann

Die Europäische Akademie

Die Europäische Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH widmet sich der Untersuchung und Beurteilung wissenschaftlich-technischer Entwicklungen für das individuelle und soziale Leben des Menschen und seine natürliche Umwelt. Sie will zu einem rationalen Umgang der Gesellschaft mit den Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen beitragen. Diese Zielsetzung soll sich vor allem in konkreten Handlungsoptionen und -empfehlungen realisieren, die von ausgewiesenen Wissenschaftlern in interdisziplinären Projektgruppen erarbeitet und auf dem Stand der aktuellen fachlichen Debatten begründet werden. Die Ergebnisse richten sich an die Entscheidungsträger in der Politik, an die Wissenschaft und an die interessierte Öffentlichkeit.

Die Reihe

Die Reihe „Ethics of Science and Technology Assessment“ (Wissenschaftsethik und Technikfolgenbeurteilung) dient der Veröffentlichung von Ergebnissen aus der Arbeit der Europäischen Akademie und wird von ihrem Direktor herausgegeben. Neben den Schlussmemoranden der Projektgruppen werden darin auch Bände zu generellen Fragen der Wissenschaftsethik und Technikfolgenbeurteilung aufgenommen sowie andere monographische Studien publiziert.

Hinweis

Das Projekt „Brennstoffzellen und virtuelle Kraftwerke als Elemente einer nachhaltigen Entwicklung. Innovationsbarrieren und Umsetzungsstrategien“, aus dem diese Studie hervorgegangen ist, wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung über den „BMBF-Wettbewerb für interdisziplinäre Nachwuchsgruppen im Rahmen der Innovations- und Technikanalyse“ gefördert (Förderkennzeichen 16I1548). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

In der Reihe *Ethics of Science and Technology Assessment* (Wissenschaftsethik und Technikfolgenbeurteilung), Springer Verlag, sind bisher erschienen:

- Band 1: A. Grunwald (Hrsg.) Rationale Technikfolgenbeurteilung. Konzeption und methodische Grundlagen, 1998
- Band 2: A. Grunwald, S. Saupe (Hrsg.) Ethik in der Technikgestaltung. Praktische Relevanz und Legitimation, 1999
- Band 3: H. Harig, C. J. Langenbach (Hrsg.) Neue Materialien für innovative Produkte. Entwicklungstrends und gesellschaftliche Relevanz, 1999
- Band 4: J. Grin, A. Grunwald (eds) Vision Assessment. Shaping Technology for 21st Century Society, 1999
- Band 5: C. Streffer et al., Umweltstandards. Kombinierte Expositionen und ihre Auswirkungen auf den Menschen und seine natürliche Umwelt, 2000
- Band 6: K.-M. Nigge, Life Cycle Assessment of Natural Gas Vehicles. Development and Application of Site-Dependent Impact Indicators, 2000
- Band 7: C. R. Bartram et al., Humangenetische Diagnostik. Wissenschaftliche Grundlagen und gesellschaftliche Konsequenzen, 2000
- Band 8: J. P. Beckmann et al., Xenotransplantation von Zellen, Geweben oder Organen. Wissenschaftliche Grundlagen und ethisch-rechtliche Implikationen, 2000
- Band 9: G. Banse, C. J. Langenbach, P. Machleidt (eds) Towards the Information Society. The Case of Central and Eastern European Countries, 2000
- Band 10: P. Janich, M. Gutmann, K. Prieß (Hrsg.) Biodiversität. Wissenschaftliche Grundlagen und gesellschaftliche Relevanz, 2001
- Band 11: M. Decker (ed) Interdisciplinarity in Technology Assessment. Implementation and its Chances and Limits, 2001
- Band 12: C. J. Langenbach, O. Ulrich (Hrsg.) Elektronische Signaturen. Kulturelle Rahmenbedingungen einer technischen Entwicklung, 2002
- Band 13: F. Breyer, H. Kliemt, F. Thiele (eds) Rationing in Medicine. Ethical, Legal and Practical Aspects, 2002
- Band 14: T. Christaller et al. (Hrsg.) Robotik. Perspektiven für menschliches Handeln in der zukünftigen Gesellschaft, 2001
- Band 15: A. Grunwald, M. Gutmann, E. Neumann-Held (eds) On Human Nature. Anthropological, Biological, and Philosophical Foundations, 2002
- Band 16: M. Schröder et al. (Hrsg.) Klimavorhersage und Klimavorsorge, 2002
- Band 17: C. F. Gethmann, S. Lingner (Hrsg.) Integrative Modellierung zum Globalen Wandel, 2002
- Band 18: U. Steger et al., Nachhaltige Entwicklung und Innovation im Energiebereich, 2002
- Band 19: E. Ehlers, C. F. Gethmann (eds) Environmental Across Cultures, 2003
- Band 20: R. Chadwick et al., Functional Foods, 2003

- Band 21: D. Solter et al., *Embryo Research in Pluralistic Europe*, 2003
- Band 22: M. Decker, M. Ladikas (eds) *Bridges between Science, Society and Policy. Technology Assessment – Methods and Impacts*, 2004
- Band 23: C. Streffer et al., *Low Dose Exposures in the Environment. Dose-Effect Relations and Risk-Evaluation*, 2004
- Band 24: F. Thiele, R. A. Ashcroft (eds) *Bioethics in a Small World*, 2004
- Band 25: H.-R. Duncker, K. Prieß (eds) *On the Uniqueness of Humankind*, 2005
- Band 26: B. v. Maydell, K. Borchardt, K.-D. Henke, R. Leitner, R. Muffels, M. Quante, P.-L. Rauhala, G. Verschraegen, M. Żukowski, *Enabling Social Europe*, 2006
- Band 27: G. Schmid, H. Brune, H. Ernst, A. Grunwald, W. Grünwald, H. Hofmann, H. Krug, P. Janich, M. Mayor, W. Rathgeber, U. Simon, V. Vogel, D. Wyrwa, *Nanotechnology. Assessment and Perspectives*, 2006
- Band 28: M. Kloepfer, B. Griefahn, A. M. Kaniowski, G. Klepper, S. Lingner, G. Steinebach, H. B. Weyer, P. Wysk, *Leben mit Lärm? Risikobeurteilung und Regulation des Umgebungslärms im Verkehrsbereich*, 2006
- Band 29: R. Merkel, G. Boer, J. Fegert, T. Galert, D. Hartmann, B. Nuttin, S. Rosahl, *Intervening in the Brain. Changing Psyche and Society*, 2007
- Band 31: G. Hanekamp (ed) *Business Ethics of Innovation*, 2007
- Band 32: U. Steger, U. Büdenbender, E. Feess, D. Nelles, *Die Regulierung elektrischer Netze. Offene Fragen und Lösungsansätze*, 2008
- Band 33: G. de Haan, G. Kamp, A. Lerch, L. Martignon, G. Müller-Christ, H. G. Nutzinger, *Nachhaltigkeit und Gerechtigkeit. Grundlagen und schulpraktische Konsequenzen*, 2008
- Band 34: M. Engelhard, K. Hagen, M. Boysen (eds) *Genetic Engineering in Livestock. New Applications and Interdisciplinary Perspectives*, 2009
- Band 35: E. Reh binder, M. Engelhard, K. Hagen, R. B. Jørgensen, R. Pardo Avellaneda, A. Schnieke, F. Thiele, *Pharming. Promises and risks of biopharmaceuticals derived from genetically modified plants and animals*, 2009
- Band 36: B. Droste-Franke, H. Berg, A. Kötter, J. Krüger, K. Mause, J.-C. Pielow, I. Romey, T. Ziesemer, *Brennstoffzellen und Virtuelle Kraftwerke. Energie-, umwelt- und technologiepolitische Aspekte einer effizienten Hausenergieversorgung*, 2009

Außerhalb der Reihe sind ebenfalls im Springer Verlag erschienen:

Environmental Standards. Combined Exposures and Their Effect on Human Beings and Their Environment, 2003, Translation Band 5

Sustainable Development and Innovation in the Energy Sector, 2005, Translation Band 18

F. Breyer, W. van den Daele, M. Engelhard, G. Gubernatis, H. Kliemt, C. Kopetzki, H. J. Schlitt, J. Taupitz, *Organmangel. Ist der Tod auf der Warteliste unvermeidbar?* 2006