



Fraunhofer Institut
Systemtechnik und
Innovationsforschung

Bericht zum FORUM HEMMNISABBAU

Zukünftige Optionen für die rationelle Energienutzung

am 25. und 26. Februar 2002 im Fraunhofer-Institut für System-
technik und Innovationsforschung, Karlsruhe

Dipl.-Volksw. Katrin Ostertag
Dipl.-Soz. Edelgard Gruber
Dr. rer. pol. Joachim Schleich

Veranstalter:

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung ISI,
gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
(BMWi)

Karlsruhe, Mai 2002

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen 0327223/3 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

Seite

1	Veranstaltungsrahmen.....	1
1.1	Ausgangslage und Zielsetzung.....	1
1.2	Programm 2002.....	2
1.3	Teilnehmer.....	4
2	Referate und Diskussion	5
2.1	Begrüßung.....	5
2.2	Einführung.....	7
2.2.1	Ergebnisse der ersten drei Hemmnis-Foren	7
2.2.2	Neue methodische Ansätze in der Hemmnisforschung	10
2.2.3	Neuere inhaltliche Tendenzen in der Hemmnisforschung: Analyse der Diffusion energieeffizienter Techniken	11
2.3	Themenblock 1: Vorhersehbare Hemmnisse bei Zukunfts- technologien	14
2.3.1	Innovations- und Diffusionshemmnisse am Beispiel der stationären Brennstoffzelle	14
2.3.2	Erfolgreiche Diffusion von Brennwertkesseln – Was kann man aus den Erfahrungen lernen?	19
2.3.3	Diskussion: Forschungs- und Handlungsbedarf zur Förderung der Diffusion energieeffizienter Techniken	22
2.3.4	Tolle Perspektiven – nüchterne Realität: Welche Politik für die Brennstoffzelle ist richtig?.....	23
2.3.5	Die 2000 Watt-Gesellschaft Mitte des 21. Jahrhun- derts: Muss sich der westliche Lebensstil langfristig ändern oder genügt der technische Fortschritt?	28

2.4	Themenblock 2: Kostendegression und Lerneffekte – Chancen und Hemmnisse	31
2.4.1	Lernkurven am Beispiel der Gebäudetechnik	31
2.4.2	Lerneffekte bei Wärmeschutzverglasung aus Herstellersicht	36
2.4.3	Diskussion: Forschungs- und Handlungsbedarf zu Lerneffekten im Bereich der Gebäudetechnik	40
2.4.4	Technologie- und energiepolitische Bedeutung von Lernkurven	41
2.4.5	Innovations- und Diffusionsprozesse in großen technischen Infrastruktursystemen – Beispiel KWK	45
2.4.6	Diskussion: Forschungs- und Handlungsbedarf zur energiepolitischen Bedeutung von Lernprozessen.....	50
2.5	Ausblick	54
3	Literaturhinweise	56
4	Adressen der Teilnehmer.....	58

1 Veranstaltungsrahmen

Das Seminar war die vierte Veranstaltung in der Reihe „FORUM Hemmnisabbau“, in der Vertreter aus Forschung, Praxis und Politik zum Thema Energieeffizienz zusammenkamen. Auf den über zwei halbe Tage laufenden Veranstaltungen wurden aktuelle Beiträge aus Forschung und Umsetzung geboten, und die moderierten Diskussionsrunden hatten zum Ziel, Strategien zum Hemmnisabbau sowie den Forschungs- und Handlungsbedarf zu identifizieren. Die Forumsreihe soll dazu anregen, spezifische und übergreifende Fragestellungen weiterzuverfolgen, zu vertiefen oder auszudehnen, neue Ansätze und Ansichten einzubeziehen und den Verständigungs-, Abstimmungs- und Austauschprozess zwischen Wissenschaft, Politik und Praxis fördern. An dieser Stelle sei vor allem dem BMBF und BMWi gedankt, die Finanzmittel für die Veranstaltungsreihe zur Verfügung gestellt haben. Das diesjährige Seminar war auch Teil der Veranstaltungsreihe „Nachdenken über die Zukunft“, die das Fraunhofer ISI anlässlich seines 30-jährigen Jubiläums durchführt.

1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Ausgangspunkt der Forumsreihe war, dass es in vielen Zielgruppen des Endenergieverbrauchs erhebliche rentable Energieeinsparpotenziale gibt, die aber nur zu einem geringen Teil ausgeschöpft werden. Trotz zahlreicher Hemmnisuntersuchungen und Maßnahmenvorschläge ist in der Umsetzung von Energiespar- und Klimaschutzmaßnahmen nach wie vor ein erhebliches Handlungsdefizit festzustellen. Eine Weiterverfolgung dieses Themenfeldes erscheint deshalb sinnvoll und notwendig, weil die rationelle Energieanwendung trotz ihrer zentralen Bedeutung für Innovationen, Exportorientierung der Wirtschaft und Klimaschutz eher ein Randthema in der politischen Praxis darstellt.

Hemmnisse und Strategien für eine umsetzungsorientierte Energiespar- und Klimaschutzpolitik werden von unterschiedlichen Forschungsrichtungen und Disziplinen untersucht. Die Experten-Seminare sollten wichtige Forschergruppen aus der Hemmnis- und Maßnahmenforschung zum Thema Energieeffizienz zusammenführen. Im Rahmen von Referaten sollten Vertreter wichtiger Forschungsansätze neuere Erkenntnisse darstellen. Davon ausgehend sollten einerseits der weitere Forschungsbedarf formuliert und andererseits Handlungsmöglichkeiten für unterschiedliche Interventionsbereiche einer zielgruppenbezogenen Energiespar- und Klimaschutzpolitik herausgearbeitet werden.

Neben Referenten aus dem wissenschaftlichen Bereich kamen Fachleute aus der Praxis und für die Umsetzung relevante Akteure zu Wort. So wurden theoretische Konzepte an praktischen Erfahrungen gespiegelt.

1.2 Programm 2002

Im Februar 2002 wurde das vierte Forum veranstaltet. Schwerpunkt waren zukünftige Optionen für die rationelle Energienutzung unter dem Gesichtspunkt einer verbesserten Diffusion neuer Techniken und der Erzielung von Lern- und Skaleneffekten.

Zukünftige Optionen für die rationelle Energienutzung

Karlsruhe
25./26.2.2002
Fraunhofer Institut ISI

FORUM Hemmnisabbau

REN



Fraunhofer Institut
Systemtechnik und
Innovationsforschung



Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie



Zum Thema

Zukünftige Optionen für die rationelle Energienutzung

In einer Welt des schnellen Wandels entstehen ständig neue Techniken und Methoden zur Senkung des Energiebedarfs. Damit entstehen auch Hemmnisse für die rationelle Energienutzung immer wieder neu – in der technischen Entwicklung, auf dem Weg bis zur Markteinführung wie auch in den Phasen danach.

Welche Herausforderungen ergeben sich daraus für Wirtschaft und Politik?

- ⇒ Wie kann man Hemmnissen neuer energieeffizienter Techniken vorausschauend und vorbeugend begegnen?
- ⇒ Wie können junge Techniken zur rationellen Energienutzung in die Wirtschaftlichkeit hineinwachsen?
- ⇒ Wie läßt sich REN aus innovations- und diffusionspolitischer Sicht besser fördern?

Am 25./26.2.2002 führt das Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung ISI gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) ein Seminar in Karlsruhe durch, auf dem Experten aus Forschung, Politik und Industrie den jetzigen Stand und die Entwicklungen zu diesem Thema beleuchten.

Ziel der Veranstaltung:

Die Beiträge und Diskussionen sollen das Verständnis der Hemmnisse in Lern- und Diffusionsprozessen bei jungen energieeffizienten Techniken vertiefen und konkrete Anforderungen an Forschung und Anwendung daraus ableiten.

Veranstaltungsrahmen:

Mit dieser Veranstaltung setzt das Fraunhofer ISI Seminarreihe „FORUM Hemmnisabbau“ fort, in der bereits in den Jahren 1997, 1998 und 2000 die Möglichkeiten des Hemmnisabbaus bei der rationellen Energieverwendung in Expertenrunden diskutiert wurden. Das Fraunhofer ISI forscht im Jahr 2002 seit 30 Jahren auf dem Gebiet der Energieeffizienz.

Programm

MONTAG 25. Februar 2002

- 13:00 **IMBISS**
- 13:30 **Begrüßung**
*Prof. Dr. Eberhard Jochem, Fraunhofer-ISI,
Dr. Helmut Lawitzka, BMWi*
- 13:45 **Stand der Hemmnisforschung – bisherige Ansätze und neuere Tendenzen**
*Edelgard Gruber, Dr. Joachim Schleich,
Katrin Ostertag, Fraunhofer ISI*
- 1. Themenblock: Vorhersehbare Hemmnisse bei Zukunftstechnologien**
- Moderation: Dr. Hans-Joachim Ziesing, DIW*
- 14:30 **Innovations- und Diffusionshemmnisse am Beispiel der stationären Brennstoffzelle**
Kai Klinder, Vaillant
- 15:00 **Erfolgreiche Diffusion von Brennkesseln – Was kann man aus den Erfahrungen lernen?**
Robert Franz, Viessmann
- 15:30 **Diskussion:** Forschungs- und Handlungsbedarf
- 16:00 **KAFFEPAUSE**
- 16:30 **Tolle Perspektiven – nüchterne Realität. Welche Politik für die Brennstoffzelle ist richtig?**
Jürgen Wengel, Fraunhofer ISI
- 17:00 **Die 2000-Watt-Gesellschaft Mitte des 21. Jahrhunderts: Muss sich der westliche Lebensstil langfristig ändern oder genügt der technische Fortschritt?**
Prof. Dr. Eberhard Jochem, Fraunhofer ISI
- 17:30 **Diskussion:** Forschungs- und Handlungsbedarf
- 18:30 Ende
- 20:00 **EINLADUNG ZUM GEMEINSAMEN ABENDESSEN IM HOTEL EDEN**
-

DIENSTAG 26. Februar 2002

2. Themenblock: Kostendegression und Lerneffekte – Chancen und Hemmnisse

- Moderation: Prof. Dr. Eberhard Jochem, Fraunhofer-ISI*
- 09:00 **Lernkurven am Beispiel der Gebäudetechnik**
Martin Jakob, CEPE
- 09:30 **Lerneffekte bei Wärmeschutzverglasung aus Herstellersicht**
Dr. Rolf Blessing, Interpane E & B
- 10:00 **Diskussion:** Forschungs- und Handlungsbedarf
- 10:30 **KAFFEPAUSE**
- 11:00 **Technologie- und energiepolitische Bedeutung von Lernkurven**
Prof. Dr. Clas-Otto Wene, IEA
- 11:30 **Innovations- und Diffusionsprozesse in großen technischen Infrastruktursystemen – Beispiel KWK**
Dr. Karl Matthias Weber, ARCS
- 12:00 **Diskussion:** Forschungs- und Handlungsbedarf
- 12:30 **Schlusswort, Ausblick**
Dr. Helmut Lawitzka, BMWi
- 13:00 **GEMEINSAMES MITTAGESSEN**
-

1.3 Teilnehmer

ARCS Austrian Research Centers: Karl Matthias Weber
 Berliner Energieagentur GmbH: Michael Geißler
 BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe, Büro Bonn: Johannes Lang
 BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:
 Wolfgang Müller
 BMWi Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie:
 Dr.-Ing. Helmut Lawitzka
 Bremer Energie-Institut: Dr. Klaus Dieter Clausnitzer
 CEPE Centre for Energy Policy and Economics, ETH Zürich: Martin Jakob
 DENA Deutsche Energie-Agentur GmbH: Felicitas Kraus
 DIW Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung: Dr. Hans-Joachim Ziesing
 DLR Deutsches Institut für Luft- und Raumfahrt: Michael Nast
 EnBW Energie Baden-Württemberg AG: Dr. Alois Kessler
 Energieagentur NRW: Gerd Marx
 Energiestiftung Schleswig-Holstein: Dr. Holger Krawinkel
 Forschungszentrum Jülich GmbH, PTJ: Dr. Claus Börner, Steffen Hebestreit
 Fraunhofer ISE, Institut für Solare Energiesysteme: Matthias Vetter
 HEA Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung e.V.: Hartmut Kämper
 HessenENERGIE Ges. für rationelle Energienutzung mbH: Rigobert Zimpfer
 IEA International Energy Agency: Prof. Dr. Clas-Otto Wene
 IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität
 Stuttgart: Markus Blesl, Ana Diaz Vasquez, Kai Sander, Christoph Weber
 Interpane Entwicklungs- und Beratungsgesellschaft mbH & Co: Dr. Rolf Blessing
 IWU Institut Wohnen und Umwelt: Dr. Witta Ebel
 IZES Institut für ZukunftsEnergieSysteme: Günther Frey
 Joh. Vaillant GmbH: Kai Klinder
 KEA GmbH: Dr. Reinhard Jank
 Niedersächsische Energie-Agentur GmbH: Uwe Pöppelmann
 RKW Rationalisierungs- und Innovationszentrum der Deutschen Wirtschaft e.V.:
 Ottmar Wandel
 UFZ Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH: Frank Gagelmann
 Viessmann Werke GmbH & Co: Robert Franz
 Fraunhofer ISI, Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung:
 Dr.-Ing. Harald Bradke, Edelgard Gruber, Prof. Dr.-Ing. Eberhard Jochem,
 Wilhelm Mannsbart, Carsten Nathani, Katrin Ostertag, Jürgen Reichert,
 Joachim Schleich, Michael Schön, Dr. Rainer Walz, Jürgen Wengel

Moderation Hans-Joachim Ziesing und Eberhard Jochem
Wissenschaftliche Leitung Katrin Ostertag

2 Referate und Diskussion

Im Folgenden werden die Referate aufgrund vorliegender Manuskripte, Kurzfassungen, Folien und der Protokollierung der Vorträge durch das Fraunhofer ISI zusammengefasst. Außerdem werden die wesentlichen Ergebnisse der Diskussion zu den Referaten wiedergegeben. Eine Auflistung der zitierten Literatur befindet sich am Ende des Kapitels. Wir möchten uns an dieser Stelle nochmals ganz herzlich bei den Referenten für ihre Beiträge und Unterstützung bedanken. Unser Dank geht außerdem an die Moderatoren, Herrn Ziesing und Herrn Jochem, sowie an alle Teilnehmer des Seminars für die konstruktive und vielschichtige Diskussion.

2.1 Begrüßung

*Prof. Dr.-Ing. Eberhard Jochem, Fraunhofer ISI,
Dr.-Ing. Helmut Lawitzka, BMWi*

Herr Jochem begrüßte die anwesenden Teilnehmerinnen und Teilnehmer beim vierten Treffen im Rahmen der Reihe „FORUM Hemmnisabbau bei der rationellen Energienutzung“ in Karlsruhe. Besonders erfreut zeigte er sich über die Teilnahme der anwesenden Vertreter von Unternehmen, die Anlagen und Komponenten zur rationellen Energienutzung (REN) herstellen.

Herr Jochem erinnerte zunächst noch einmal an den Ausgangspunkt der Seminarreihe, wonach viele REN-Techniken wirtschaftlich seien, sich aber wegen vielfältiger Hemmnisse am Markt nicht durchsetzen könnten. Die zunächst eher mechanistisch anmutende Vorstellung einzeln wirkender Hemmnisse, die es individuell abzubauen gilt, wurde abgelöst durch die Erkenntnis, dass viele Faktoren zu beachten sind, um die Hemmnisse wirklich zu verstehen. So gilt es beispielsweise neben Transaktionskosten gleichzeitig auch Motivationsfaktoren der Zielgruppen beziehungsweise außer den eingesparten Energiekosten auch positive Nebeneffekte zu berücksichtigen. Zu diesen positiven Nebeneffekten zählen aus einzelwirtschaftlicher Sicht z. B. Produktqualität, Wertsteigerung eines Gebäudes oder die verbesserte Bonität des Investors bei Implementierung von Effizienztechnologien. Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist insbesondere die durch Lern- und Skaleneffekte erzielbare Kostendynamik zu beachten. Herr Jochem betonte, dass die zum Teil schnell getroffene Einschätzung, eine neue Technik sei zu teuer, oftmals diese Kostendynamik nicht berücksichtige. Dieser Sachverhalt sollte im Rahmen dieses Hemmnis-Forums schwerpunktmäßig thematisiert werden.

Abschließend wies Prof. Jochem darauf hin, dass die methodischen Ansätze zur Analyse von Hemmnissen der rationellen Energienutzung komplexer und interdisziplinärer und der Datenbedarf größer würden. Im Gegenzug könnten dafür von Seiten der Wissenschaft präzisere Politikempfehlungen formuliert werden.

Herr Lawitzka hieß die Anwesenden auch im Namen des BMWi willkommen. Er betonte zunächst, dass rationelle Energienutzung bei der Forschungsförderung nicht nur technische, sondern auch wirtschaftliche und soziale Faktoren umfasse. In diesem Zusammenhang erinnerte er an einen Vergleich, den Herr Ziegler vom Bayerischen Zentrum für angewandte Energieforschung im Rahmen des dritten Hemmnisseminars vor zwei Jahren (vgl. Boede u. a. 2000, S. 20) zwischen REN-Technologien und Informationstechnologien (IT) zog:

REN	IT
<ul style="list-style-type: none"> • wichtig • vorhersagbar • kleine Schritte • Sparbuch (sichere Anlage) • Askese 	<ul style="list-style-type: none"> • cool • verblüffend und neu • gewaltige Sprünge • Aktie (venture capital) • Fun

Der Vergleich macht deutlich, warum der Stellenwert der rationellen Energienutzung im Forschungsbereich – mit Ausnahme der weniger bieder anmutenden Photovoltaik und Brennstoffzelle - nur geringes Interesse erwecken kann. Dieser Zustand entspreche allerdings nicht der Bedeutung, die REN langfristig einnehmen müsse, da gerade im REN-Bereich hohe Einsparpotenziale existierten.

Das komplexe Energieflussdiagramm Deutschlands gibt letztlich Auskunft darüber, wie viel Energie ungenutzt verloren geht. In den 70er Jahren waren das 70 %, 2010 werden es etwa 60 % sein, und erst 2050 wird man die Hälfte der eingesetzten Primärenergie tatsächlich nutzen können. Aus diesen Zusammenhängen zog Lawitzka drei Schlussfolgerungen:

1. Energie sollte für die Nutzer als knapp und teuer empfunden werden; außer einigen „Freaks“ sei nämlich niemand an bloßer Energieeinsparung oder Klimaschutz interessiert, sondern lediglich an den damit verbundenen Kosteneinsparungen.
2. Energieverbrauch sollte visualisiert, d. h. ins Bewusstsein gebracht werden, und die Konsequenzen des eigenen Verhaltens sollten verdeutlicht werden. Beispielsweise dürfte der Stromzähler nicht im dunklen Keller versteckt werden.
3. Der Energieverbrauch müsse über die gesamte Lebensdauer betrachtet werden; am Beispiel des energieautarken Solarhauses zeige sich, dass die Anfangsinvestitionen zwar höher sind als für ein Niedrigenergiehaus, dass sich diese aber in einigen Jahren (zumindest energetisch) amortisierten.

2.2 Einführung

Die folgenden drei Kurzreferate befassten sich mit dem Stand der Hemmnisforschung und neueren Tendenzen in diesem Feld. Dies schloss einen Rückblick auf die bisherigen Seminare in der Veranstaltungsreihe „Forum Hemmnisabbau“ sowie einen Überblick über neuere methodische und inhaltliche Entwicklungen ein.

2.2.1 Ergebnisse der ersten drei Hemmnis-Foren

Dipl.-Soz. Edelgard Gruber, Fraunhofer ISI

Frau Gruber erläuterte die Themen und einige wichtige Ergebnisse aus den Hemmnisabbau-Seminaren in den Jahren 1997, 1998 und 2000. Ausgangspunkt der Seminarreihe war die vielfach gewonnene und dargelegte Erkenntnis (z. B. IPCC-Berichterstattung, Enquête-Kommissionen zum Klimaschutz, Fachdialog zum 4. Energieforschungsprogramm des BMBF), dass hohe unausgeschöpfte REN-Potenziale vorliegen. Primäres Ziel war es, Forscher, Praktiker, Multiplikatoren, Politik- und Verwaltungsvertreter zusammenzubringen, um praktische Erfahrungen auszutauschen und den bestehenden Forschungs- und Handlungsbedarf zu formulieren.

Das *erste Seminar im Juni 1997* sollte einen Überblick über alle betroffenen Sektoren und Bereiche verschaffen, um den Stand der Forschung festzustellen und Querschnittsfragestellungen von genereller Bedeutung zu identifizieren (vgl. Frahm u. a. 1997). Die größten Potenziale und zugleich Hemmnisse wurden im Altbaubestand und dort speziell im Mietwohnbau gesehen: vor allem das Investor-Nutzer-Dilemma und der Kenntnismangel bei Eigentümern und Baufachleuten. Vorschläge zur Hemmnisüberwindung konzentrierten sich auf Motivationsoffensiven, Weiterbildung von Fachleuten und Einführung eines Energiepasses. Referiert und diskutiert wurden auch Beiträge der sozialpsychologischen Theorie (Anreizsysteme) und Erkenntnisse aus Umsetzungsstudien über Verhaltensdeterminanten (Aktionsforschung). Forschungsbedarf wurde vor allem bei der Analyse von Entscheidungsprozessen wichtiger Akteure, Handlungsbedarf hinsichtlich zielgruppengerechter Kommunikation, Berücksichtigung von Bedürfnissen und Lebensstilen und Vorgehen nach dem Prinzip des sozialen Marketing gesehen.

In ähnlicher Weise wurden als weitere Themenfelder Verwaltungsgebäude und Schulen, Energiedienstleistungen, die mittelständische Wirtschaft und Kraft-Wärme-Kopplung thematisiert. Neben vielen offenen Fragen und Forschungsaufgaben, die durch die Referate aufgeworfen wurden, ging es auch darum, zum einen Querschnittsfragestellungen aufzuzeigen, die Berührungspunkte zu allen Themenbereichen aufweisen und daher von genereller Bedeutung sind. Dazu gehörten z. B. Gründe für Handlungsbereitschaft, Handlungsentscheidung, Handlungsplanung und

Handlungsdurchführung im Bereich Energiesparen. Sie sind zentrale Faktoren zur Beeinflussung des Verhaltens und für Ansätze zur Verhaltensänderung. Ferner spielen Lernprozesse innerhalb und zwischen sozialen Einheiten eine Rolle, die zu energiesparendem Verhalten und zur Ausschöpfung rentabler Energieeffizienzpotenziale führen. Noch wenig erforscht sind Diffusionsprozesse bei der Verbreitung von Technologien, Informationen, Denkweisen oder sozialen Innovationen im Bereich der rationellen Energienutzung. Erkenntnisse hierüber sind wichtig für mögliche Förderinstrumente zur Implementierung sozialer Innovationen. Schließlich erörterten die Teilnehmer als Forschungsbedarf noch die Kommunikation zwischen individuellen und sozialen Akteuren, Netzwerke und Bedingungen für die Entstehung erfolgreicher Netze sowie Möglichkeiten zur Strukturverbesserung, Optimierung und Bündelung von politischen Instrumenten.

Außerdem wurde ein Fazit zum akteursbezogenen Handlungsbedarf gezogen, das die weiteren konkreten Bemühungen zur Hemmnisanalyse und -überwindung sowie zur Umsetzung erfolgversprechender Maßnahmen fördern soll. Das Spektrum der betroffenen Akteure reicht von Unternehmen und Verbänden bis zu Politik, Verwaltung und Forschung.

Das *zweite Seminar im September 1998* hatte die Hemmnisüberwindung im Wohn- und Verwaltungsbau zum Inhalt (vgl. Böde u. a. 1999). Hier wurden einige im ersten Seminar angerissene Themen vertieft: Energiedienstleistungen mit Erfahrungsberichten aus Sicht einer Wohnbaugesellschaft und eines Anbieters von Wärmekomplettservice sowie auf der Ebene kleiner Gemeinden, Ergebnisse aus der Umweltkommunikationsforschung (z. B. Aufgreifen von Mentalitätsmustern, Steigerung der Attraktivität von REN, Gruppenverhalten, Rolle der Medien), staatliche Instrumente (z. B. Energiesparverordnung, Energiepass, Energieverbrauchskennzeichnung) und Initiativen der Wirtschaft (z. B. Beratung durch Schornsteinfeger).

Ein weiterer Schwerpunkt war der Bürobereich. Auch hier sind es weniger technische Hemmnisse und fehlende Wirtschaftlichkeit als vielmehr fehlendes Augenmerk und fehlende Verantwortlichkeiten für den Energieverbrauch. Darum wurden auf dem Forum vor allem praktische Erfahrungen mit Maßnahmen vorgestellt und diskutiert.

Auch aus dem zweiten Seminar resultierten zahlreiche Vorschläge für Forschungs- und Handlungsschwerpunkte: Untersuchung der Handlungsbereitschaft kleinerer Kommunen, Wohnbaugesellschaften und Eigentümer zur Inanspruchnahme von Contracting-Leistungen, interdisziplinäre Analyse der Rolle der persönlichen Kommunikation in verschiedenen Zielgruppen als Basis für ein effizientes Maßnahmenbündel, „Best-Practice“-Projekte, wissenschaftliche Projektbegleitung bei Demonstrationsvorhaben, technologische Lösungen für die vielen „passiven und indifferenten“ Energienutzer, intensive Analyse des Energieberatungsinstruments, Prüfung des Instruments eines Energiepasses mit Ist-Zustand und Verbesserungs-

hinweisen, stärkere Durchsetzung der Energieverbrauchskennzeichnung im Handel sowie auch diesmal wieder die systematische Erforschung von „Veränderungspaketen“ der vorhandenen Verhaltens- und Entscheidungsmuster einzelner Zielgruppen.

Das *dritte Seminar im März 2000* war der Verbesserung der Energieeffizienz in der Industrie gewidmet (vgl. Böde u. a. 2000). Besonderes Augenmerk wurde dabei auf neue energiepolitische und –wirtschaftliche Instrumente und Dienstleistungen gelenkt. Hintergrund war die Beobachtung, dass infolge der Liberalisierung des Strommarktes der zuvor stärkste Anreiz für die rationelle Energienutzung, die Energiekostenminderung, an Bedeutung verloren hatte und statt dessen das Aushandeln neuer Verträge, um Energiekosten zu senken, die Aufmerksamkeit der Energieabnehmer vorrangig beanspruchte. Vor diesem Hintergrund sollte das Experten-Forum der Frage nachgehen, worin die Motivation zur Erhöhung der Energieeffizienz bei Unternehmen liegt, die auf diesem Gebiet aktiv und erfolgreich sind, und wie man mit traditionellen und innovativen Instrumenten an diese Anreizfelder anknüpfen könnte. Die Beiträge und Diskussionen sollten für ein besseres Verständnis der Hemmnisse von Unternehmen für die rationelle Energienutzung sorgen. Gleichzeitig wurden Maßnahmen vorgestellt und diskutiert, um das Thema Energieeffizienz in Forschung und Anwendung voranzutreiben.

Zunächst wurden drei verschiedene Sichtweisen einander gegenübergestellt:

- Aus Forschersicht können Faktoren wie Energiepreise, Energiesteuer, sichtbarer Klimawandel, aber auch das Kyoto-Ziel und später zunehmend der Emissionshandel die Unternehmen zur REN motivieren.
- Ein bei REN erfolgreicher industrieller Umweltbeauftragter berichtete, dass neben den ökonomischen Zielen auch engagierte Einzelpersonen, Anerkennung für Mitarbeit und Erfolge sowie eine geeignete Kommunikation von Zielen und Möglichkeiten im Unternehmen für den Gesamterfolg ausschlaggebend waren.
- Der Repräsentant einer REN-Interessenvertretung hielt die strategische Vermittlung des REN-Themas entsprechend dem Auslöser für die Beschäftigung mit REN für eine zentrale Maßnahme.

Ein Schwerpunkt dieses Seminars lag auch auf dem Forschungsbedarf für REN in der Industrie. Aus Industriesicht hat REN ein eher „biederes“ Image; der Stellenwert entspricht nicht ihrer Bedeutung. Es wird weniger Bedarf an der Entwicklung grundsätzlich neuer Techniken gesehen, sondern an konsequenter Anwendung vorhandenen Techniken, wobei die Forschung dazu beitragen muss, REN-Techniken kostengünstiger zu machen.

Ein dritter Themenschwerpunkt war wiederum den Erfahrungen mit Maßnahmen gewidmet. Vorgestellt wurde ein Benchmarking-Verfahren mit Energiekennzahlen für die deutsche Maschinenbau-Industrie, das „Energie-Modell Schweiz“, bei dem

ein moderierter Erfahrungsaustausch unter Betrieben mit Energieeffizienz-Zielen und deren Überprüfung durchgeführt wird, und das Labelling-Instrument am Beispiel von Elektromotoren als Selbstverpflichtung europäischer Hersteller. Das Seminar wurde mit Vorschlägen für innovative Maßnahmen abgeschlossen, z. B. Vergabe von Auszeichnungen für gute Forschungsideen, eine neue Kultur des Emissionshandels („Zertifikate-DAX“) und Förderung des ideellen Wettbewerbs zwischen den Unternehmen. Die Teilnehmer erwarteten auch Innovations sprünge im Energiedienstleistungsbereich, die zur REN in der Industrie beitragen können.

2.2.2 Neue methodische Ansätze in der Hemmnisforschung

Dr. rer. pol. Joachim Schleich, Fraunhofer ISI

Herr Schleich stellte zunächst die traditionelle Vorgehensweise bei der empirischen Untersuchung von Hemmnissen der rationellen Energienutzung dar. Demnach wird die Frage, warum REN-Maßnahmen, die zumindest auf den ersten Blick auch kosteneffizient erscheinen, nicht realisiert werden, fast ausschließlich anhand von Fallstudien analysiert. Hypothesen werden in der Regel auf Basis der ökonomischen Theorie (Neoklassik, Transaktionskostentheorie, Informationsökonomik), Organisationstheorie, Psychologie oder Soziologie gebildet und dann anhand strukturierter Interviews empirisch überprüft. Diese Fallstudien werden entweder branchenspezifisch (z. B. Brauereien, Maschinenbau, öffentliche Verwaltung) oder an bestimmten Technologien (z. B. Elektromotoren) durchgeführt. Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Fallstudien werden dann Politikempfehlungen formuliert. Vorteile dieser Vorgehensweise bestehen vor allem darin, dass Fallstudien sehr gut geeignet sind, das Verständnis über Prozesse und Strukturen in einem Unternehmen zu verstehen, insbesondere dann, wenn die Zusammenhänge komplex sind. Die wesentliche Kritik an Fallstudien besteht in der geringen statistischen Signifikanz. Da es sich bei Fallstudien naturgemäß um wenige untersuchte Einheiten handelt, sind Verallgemeinerungen – auch im Hinblick auf Politikempfehlungen – in der Regel nur bedingt möglich.

Eine alternative Vorgehensweise besteht darin, die empirische Relevanz von Hemmnissen durch statistisch-ökonometrische Methoden zu untersuchen. Voraussetzung dafür ist allerdings eine hinreichend große Datenbasis. Solche Untersuchungen liegen im Haushaltsbereich für England und Irland (Brechling/Smith 1992, Scott 1998), im Unternehmensbereich für die USA im Rahmen des Green Lights Programms sowie den Niederlanden für ausgewählte Industriebranchen vor (DeCario 1998, De Groot et al. 2001). Herr Schleich stellte neuere Forschungsergebnisse auf Basis der „Kleinverbrauchsstudie“ (Geiger/Gruber/Megele 1998) vor. Diese branchenspezifischen Schätzungen zeigen, dass zum einen nicht alle, aber viele der in Fallstudien identifizierten Hemmnisse auch statistisch relevant sind und dass zum

anderen sich die bedeutenden Hemmnisse von Branche zu Branche unterscheiden. Herr Schleich betonte, dass derartige ökonomische Untersuchungen eine breitere statistische Basis als Fallstudien lieferten, allerdings keine Tiefenanalysen erlaubten. Auch seien die Datenanforderungen und damit die Kosten der Untersuchungen vergleichsweise hoch.

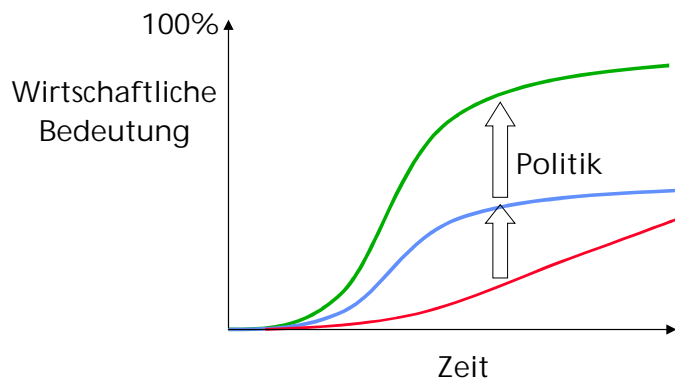
2.2.3 Neuere inhaltliche Tendenzen in der Hemmnisforschung: Analyse der Diffusion energieeffizienter Techniken

Katrin Ostertag, Fraunhofer ISI

Gemäß dem heutigen Stand der Diskussion ist die Existenz von Hemmnissen für energieeffiziente Techniken nunmehr ein allgemein akzeptierter Fakt. Das damit erreichte Ende des „Daseinskampfs“ der Hemmnisforschung hat in den letzten Jahren zur Entwicklung einer großen thematischen Vielfalt in diesem Forschungsbereich beigetragen. Beispielhaft erwähnt seien hier das Thema Transaktionskosten, der Komplex von Institutionen, Kultur und Verhalten oder auch internationale Aspekte. Großen Raum hat insbesondere auch die Analyse von Diffusions- und Innovationsprozessen energieeffizienter Techniken eingenommen – ein Thema, dem der IPCC schon im Jahr 2000 einen eigenen Bericht gewidmet hat (IPCC 2000). Das diesjährige Seminar in der Veranstaltungsreihe FORUM Hemmnisabbau stellt dieses Thema in den Mittelpunkt. Die folgenden Überlegungen geben eine kleine Einführung in die Themen des Forums Hemmnisabbau 2002.

Gegenstand der Diffusionsforschung ist die Entwicklung der wirtschaftlichen Bedeutung einer Technik über die Zeit (Abbildung 1). Die wirtschaftliche Bedeutung kann am Anteil des Produktionsvolumens gemessen werden, das mit der neuen Technik produziert wird. Für eine neue Heiztechnologie würde dies beispielsweise bedeuten, den Anteil des Raumwärmebedarfs zu messen, der mit der neuen Technologie gedeckt wird. Handelt es sich um eine neue Antriebstechnik, wie z. B. die mobile Brennstoffzelle, kann die wirtschaftliche Bedeutung am Anteil des Transportvolumens (Personenkilometer) gemessen werden, der mit mobilen Brennstoffzellen bestritten wird. Die Abbildung von Diffusionsverläufen über die Zeit ergibt typischerweise eine s-förmige Kurve, die zunächst flach, dann steil, dann wieder flach verläuft, bis sie ein Sättigungsniveau erreicht und schließlich wieder abfällt, wenn eine Technik überholt ist. Das heißt, die wirtschaftliche Bedeutung steigt zunächst langsam, dann schnell, dann wieder langsam, bevor sie letztlich abnimmt. Eine Diffusionsförderung durch die Politik würde bedeuten, den erwarteten Diffusionspfad nach oben zu verschieben.

Abbildung 1: Typische Diffusionsverläufe



Bezüglich der tatsächlich beobachteten oder erwarteten Diffusionsverläufe lassen sich zwei analytische Blickwinkel unterscheiden. *Positive* Analysen suchen nach Faktoren, die den Verlauf erklären. Erklärungsfaktoren sind z. B. die Breite des Einsatzbereichs (technische Restriktion) oder die Ähnlichkeit bzw. Divergenz von Nutzungsmustern unter Anwendern. Sie bieten potenzielle Ansatzpunkte für Politikintervention. *Normative* Analysen bewerten den Diffusionsverlauf im Hinblick darauf, ob er sich zu langsam oder zu schnell vollzieht oder ob die Sättigung zu früh eintritt. Aus diesem Ansatz leitet sich das Konzept von „Diffusionsversagen“ als „neuer“ Form von Marktversagen ab, das eine „neue“ Rechtfertigung für Politikintervention liefert.

Als Grundlage normativer Analysen werden Kriterien benötigt, die es ermöglichen, den Diffusionsverlauf zu beurteilen und z. B. übermäßig lange Verzögerungen oder die schnelle Ausbreitung einer Technik zu identifizieren. Zu diesem Zweck werden oft Quervergleiche zwischen Ländern angestellt. Dieser Ansatz hat jedoch den Schwachpunkt, dass bei unterschiedlichen Verläufen unklar ist, welcher davon der optimale ist, denn: schneller ist nicht immer besser. Ein zweiter Ansatz besteht darin, die Funktionsfähigkeit der Diffusionsmechanismen zu prüfen. Der Fokus liegt dabei auf Mechanismen, die für energieeffiziente und Standard-Technologien unterschiedlich funktionieren¹. Dazu zählt die Generierung von Information durch die Übernahme einer Technik. Die Diffusionsforschung geht davon aus, dass bei neuen Techniken die tatsächliche und die wahrgenommene Vorteilhaftigkeit oder Wirtschaftlichkeit zunächst voneinander abweichen. Diese Divergenz wird durch die Kommunikation zwischen aktuellen und künftigen Anwendern über Erfahrungen mit der Technik (z. B. Anschaffungskosten, Betriebskosten, Leistungsmerkmale, Wartungsfreundlichkeit) im Zeitverlauf abgebaut. Dabei kann es jedoch zu Problemen kommen, wie am Beispiel hocheffizienter Elektromotoren deutlich wird. Ihr Betriebskostenvorteil bleibt verborgen, da keine Stromverbrauchsmessung am Gerät stattfindet. Andere Vorteile, wie z. B. längere Lebensdauer, sind erst spät

¹ Zum Folgenden siehe auch Ostertag 2002.

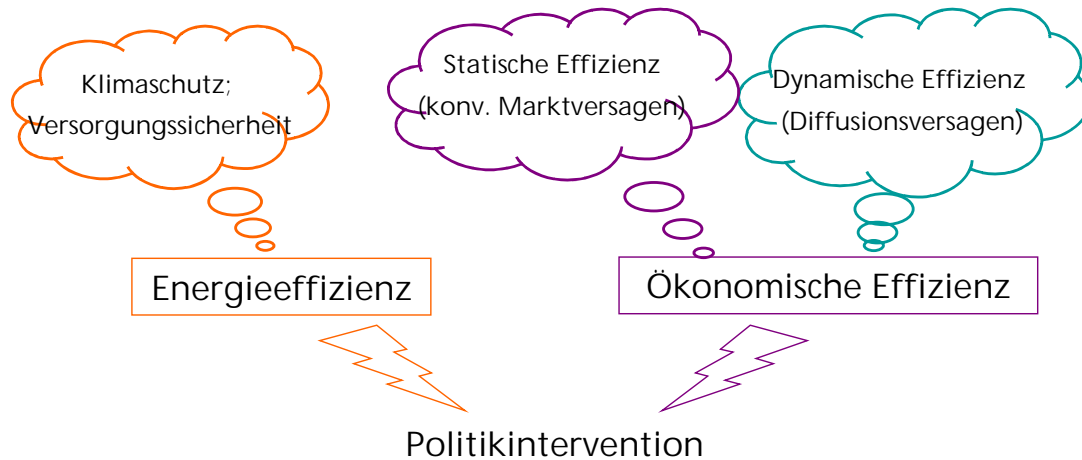
erfahrbar. Diese Störung führt dazu, dass sich die tatsächlichen und wahrgenommenen Vorteile lange nicht angleichen.

Ein weiterer wichtiger Diffusionsmechanismus ist das Lernen während der Benutzung. Ausgehend von der Kommunikation zwischen Anwendern und Herstellern kommt es zu weiteren Verbesserungen an der Technik, die ihre Vorteilhaftigkeit objektiv erhöhen. Doch auch hier kann es zu Störung kommen. Das Beispiel hocheffizienter Elektromotoren zeigt, dass die hohen Stromkosten von Standardmotoren - aus dem gleichen Grund wie oben erwähnt – verborgen bleiben. Deshalb erfolgt keine Kritik an Herstellern, der Druck der Anwender zur Weiterentwicklung der Produkte fällt weg. Sind ein oder mehrere Diffusionsmechanismen gestört, ist dies ein Zeichen dafür, dass die Diffusion suboptimal ist, also zu schleppend verläuft.

Aus der Diffusionsanalyse ergibt sich eine neue zusätzliche Begründung für Politikintervention. Die dominierenden Gründe und Ziele für die Förderung der rationalen Energienutzung liegen bisher, vereinfachend gesagt, zum einen in der Gewährleistung der Versorgungssicherheit und im Klima- und Umweltschutz. In diesem Zusammenhang ist Energieeffizienz ein Politikziel per se (Abbildung 2). Zum anderen gilt die Politikintervention der Korrektur von konventionellem Marktversagen. Dies rechtfertigt Politikintervention auch dann, wenn es keinen Klimawandel gäbe und ist damit das dominierende Argument für politische Maßnahmen im Kontext der Debatte um „No-regret“-Potenziale. Energieeffizienz ist hier nur ein Nebeneffekt; das eigentliche Ziel besteht in der Gewährleistung der ökonomischen Effizienz und zwar aus statischer Sicht (u. a. optimale Allokation). Typische Maßnahmen haben eine Korrektur negativer externer Effekte und eine Korrektur von Informationsasymmetrien – beispielsweise durch Labels – zum Ziel.

Die Diffusionsanalyse dagegen verweist zusätzlich auf die Notwendigkeit der Korrektur von Diffusionsversagen durch die Politik. Diese dient wiederum dem Ziel der Gewährleistung der ökonomischen Effizienz, allerdings hier in dynamischer Hinsicht, d. h. Ziel der Politikintervention sollten optimal funktionierende Diffusionsmechanismen sein. Als Ansatzpunkte einer solchen Politikintervention bieten sich solche Faktoren an, die Diffusionsprozesse erklären.

Abbildung 2: Diffusionsversagen als Rechtfertigung von Politikintervention



2.3 Themenblock 1: Vorhersehbare Hemmnisse bei Zukunftstechnologien

Am Anfang des Seminars standen zwei Vorträge aus Unternehmenssicht, die sich mit den tatsächlichen Diffusionsverläufen bei Brennwertkesseln einerseits und den erwarteten Diffusionsverläufen bei Brennstoffzellen andererseits befassen. Beide Vorträge gingen auf die Bestimmungsgründe der Diffusion im jeweiligen Fall ein. Der Vergleich der beiden Technologien kann Einsichten darüber liefern, wie die Diffusion von Brennstoffzellen auf Basis der Erfahrungen mit Brennwertkesseln vorausschauend gesteuert werden kann – ein Aspekt, der auch in der Diskussion im Anschluss an den zweiten Vortrag aufgegriffen wurde. Der dritte Vortrag nahm eine stärker politikorientierte Perspektive ein und diskutierte die Abstimmung des politischen Instrumentenmixes auf die unterschiedlichen Diffusionsphasen. Der Vortrag von Herrn Jochem beschloss den ersten Themenblock mit einer Erweiterung der Analyse auf langfristige Zeithorizonte. Die Diskussion zum dritten und vierten Vortrag ist jeweils im direkten Anschluß an die Vorträge dokumentiert.

2.3.1 Innovations- und Diffusionshemmnisse am Beispiel der stationären Brennstoffzelle

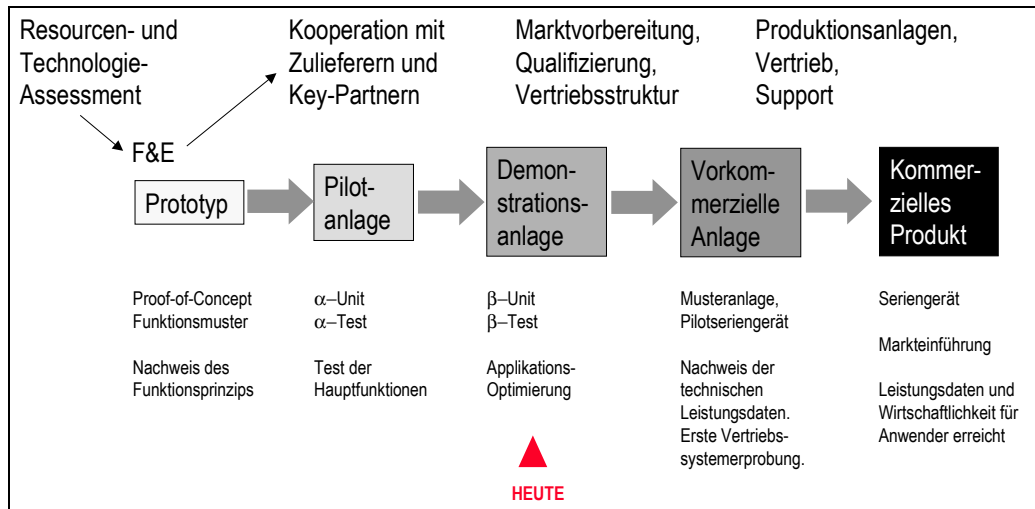
Kai Klinder, Vaillant

Herr Klinder betonte zunächst, dass es bei der Brennstoffzelle darum gehe, ein komplexes Produkt auf einem volatilen Markt unterzubringen. Es sei wichtig, nicht nur die Hardware, sondern auch die produktspezifischen Dienstleistung zu betrachten. Außerdem komme es bei der Markteinführung darauf an, alle Partner, die am

Markt agieren, frühzeitig mit einzubeziehen. Bei der stationären Brennstoffzelle sei das Ziel, den traditionellen Heizkessel durch eine Brennstoffzelle in KWK zu ersetzen. Dabei können die existierenden alten Warmwasserspeicher zusammen mit dem Brennwertkessel als Zusatzheizung weiterverwendet werden. Nach Auffassung von Herrn Klinder treten bei der Markteinführung die folgenden zehn Hemmnisse auf:

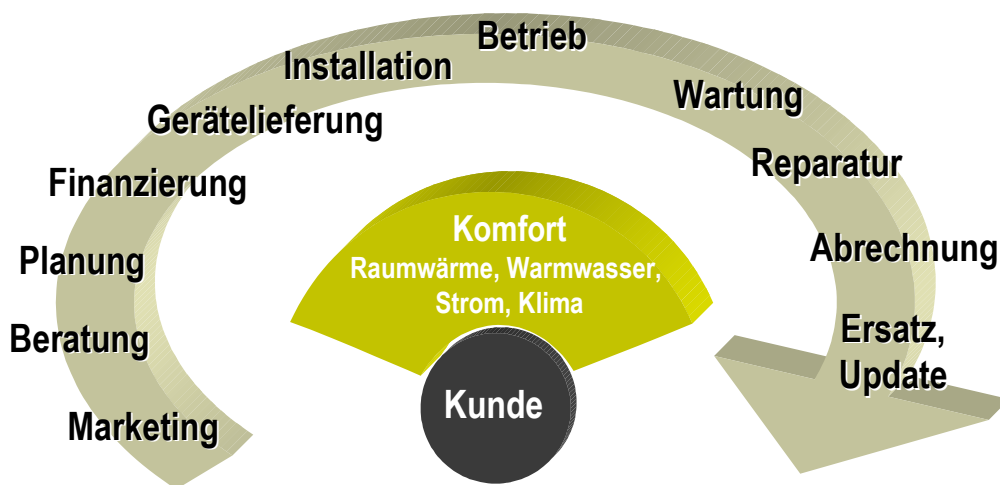
1. *Die zerstörerische Ungeduld der Controller:* Innovative Ideen können schon im Keim erstickt werden. Zweckmäßig ist es, mit dem Hemmnisabbau bereits bei der F&E-Tätigkeit zu beginnen. F&E-Tätigkeit findet dabei auf drei Ebenen statt und besteht a) aus Produktpflege im Tagesgeschäft, b) aus Projektneuentwicklung (ca. eineinhalb Jahre) und c) völliger Neuentwicklung (Kreativitätsrunden initiieren revolutionäre neue Ansätze). Der Controller lässt langfristige Projekte, die zu Neuentwicklungen führen, eigentlich nicht zu. Argumente für solche Langzeitprojekte sind Wünsche des Kunden (z. B. hoher Wirkungsgrad, Geräuschlosigkeit, keine Emissionen), Kosteneinsparung und Energiedienstleistung als neues Geschäftsfeld, das zudem noch Arbeitsplätze schafft.
2. *Entwicklung ohne Kundenorientierung* kann dazu führen, dass viel Geld in die Entwicklung fließt, das Produkt aber keine Käufer findet. Dieses Hemmnis lässt sich durch einen definierten Entwicklungs- und Markteinführungsprozess überwinden. Dabei werden auf Basis von Kundenwünschen (über Bedarfserhebung etc.) technische Anforderungen formuliert und Produkte definiert. Parallel dazu müssen Grundlagenforschung und Machbarkeitsstudien laufen.
3. *Unsachliche Information der Öffentlichkeit („Medien-Hype“):* Dadurch wird eine übersteigerte Erwartungshaltung induziert. Bei der Brennstoffzelle wird der Eindruck erweckt, dass die Technik fertig ist („Brennstoffzelle im Einkaufswagen“). Das ist ein falsches Signal. Erste Praxistests sind noch keine Markteinführung. Abhilfe kann durch Ressourcen- und Technologie-Assessment geschaffen werden. In der gesamten Kette von FTE&D stehen wir heute erst bei der Demonstrationsanlage (Abbildung 3). In der nächsten Phase sind 400 vor-kommerzielle Testanlagen geplant (zum Stückpreis von 50.000 DM). Erst danach kann man hoffen, das kommerzielle Stadium zu erreichen. Um Markteinführung handelt es sich erst, wenn das kommerzielle Produkt fertig ist. Im März 2001 wurde das erste Brennstoffzellen-Heizgerät im Glaskastenlabor unter Echtbetrieb auf einer Messe vorgestellt.

Abbildung 3: Phasen einer Produktentwicklung



4. *Mangelnde Zusammenarbeit mit Akteuren:* Ein neues Miteinander muss gelernt werden, z. B. Energieversorger mit Handwerkern, Elektriker mit Heizungsbauern (wollen sich gegenseitig das Geschäft wegnehmen, müssen aber künftig noch häufiger gemeinsam in den Keller gehen), Betreiber und Steuerbehörden (zu viele Steuern zu berücksichtigen). Die Politik sollte hier moderierend helfen. Ziel muss es sein, die Synergie aller Beteiligten zu nutzen. Schließlich sollen beim Brennstoffzellen-Heizgerät im Sinne eines „Micro-Contracting“ alle Dienstleistungen inbegriffen sein (Abbildung 4).

Abbildung 4: Micro-Contracting als Energiedienstleistung der Zukunft



5. *Mangelnde Qualifikation*: Es ist schwierig für die Produktentwicklung, qualifizierte Ingenieure zu finden, auch qualifizierte Planer, Architekten und ausgebildete Handwerker sind selten. Defizite bestehen allerdings auch auf der Marketingseite. Nicht alle Marktteilnehmer sind informiert. Diverse Projekte zur Abhilfe wurden begonnen. Die Politik und die Betroffenen sind gefordert, diese und weitere Projekte zügig umzusetzen.
6. *Verfahrensschwächen bei Technologie- und Projektförderung*: Antrags- und Genehmigungsverfahren sind sehr zeitintensiv; Planungsunsicherheiten existieren; Höhe und Dauer der Förderung sind oft ungewiss; das bei der Förderung oft angewendete „Gießkannenprinzip“ ist ineffizient, da zwar viele in den Genuss der Förderung kommen, für das einzelne Unternehmen die Förderung aber zu gering ist.
7. *Schwächen bei der Mittelstandsförderung*: Die gegenwärtige Forschungsförderung konzentriert sich zu stark auf den Brennstoffzellen-Stack und die Membran-Elektroden-Einheit². Die Stärken der deutschen Industrie bei hochwertigen Peripherie-Komponenten werden kaum erkannt und noch zu wenig gefördert. Defizite bestehen insbesondere noch bei Prozessoren, Sensorik, Regelungstechnik, Recycling, Pumpen, Lüftern, Optimierung der Entschwefelung etc. Die Politik müsste hier motivierend und moderierend eingreifen.
8. *Hohe Anfangskosten bei der Markteinführung*: Vergleichsrechnungen sowohl aus privater wie auch aus kommerzieller Betreibersicht zeigen, daß die Investitions-Schallmauer für Anwendungen von unter 5 kW³ im Bereich um 3.000 DM/kW für z. B. ein 5 kW-Gerät liegen. Das schließt auch die Kosten für den Spitzenlast-Wärmeerzeuger mit z. B. 25 kW thermisch ein. Betrachtet man die extrem hohen Kosten der heute noch in Einzelfertigung hergestellten Brennstoffzellen und Reformertypen, so mag man zweifeln, ob eine solche Kostensenkung gelingen kann. Jedoch haben fast alle technologischen Errungenschaften der letzten Jahrzehnte gezeigt, daß die Kostenentwicklung dem Erfahrungsgesetz nach Henderson folgt: Mit jeder Verdopplung der im Zeitablauf kumulierten Produktionsmenge fallen die realen Stückkosten potentiell um 20 bis 30%. Geht man von heute noch 100.000 DM für jedes kW_{el} für ein komplett einsatzfähiges Brennstoffzellen-Heizgerät aus und eher pessimistisch von einer Lernrate von nur 20 %, so kann man erwarten, dass bei Überschreiten der 100.000 Einheiten (kumuliert wohlgermerkt) der Zielkorridor erreicht werden kann (Abbildung 5). Es müsste z. B. ein „100.000-Keller-Programm“ analog

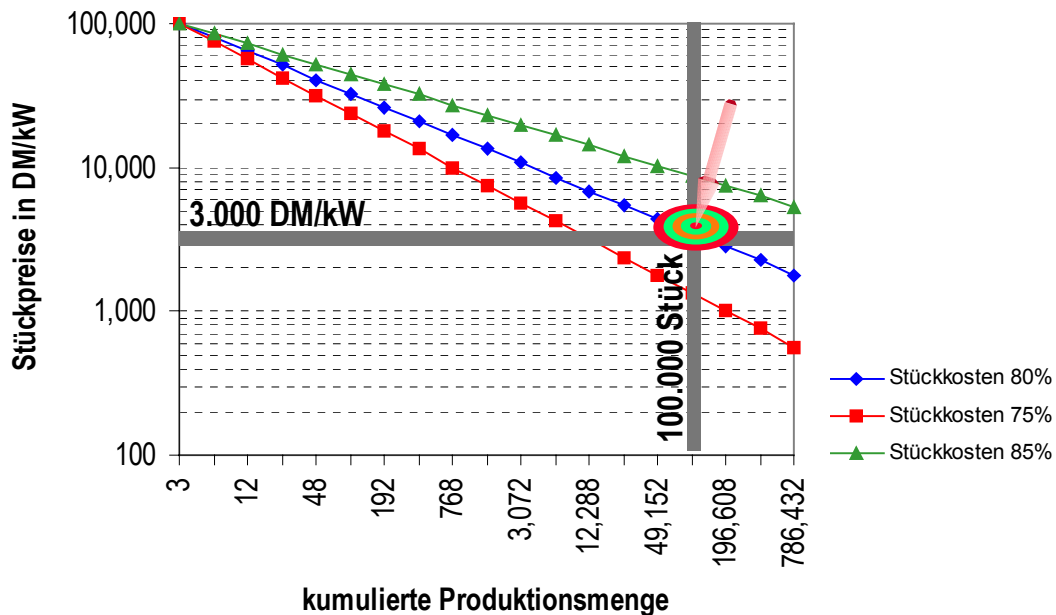
² = membrane electrode assembly (MEA).

³ Dies entspricht dem Bereich von Ein-, Zwei- und kleineren Mehrfamilienhäusern oder Kleingewerbebetrieben.

zum 100.000-Dächer-Programm für Photovoltaik-Anlagen aufgelegt werden. Ziel eines solchen Programms wäre es, die kumulierte Produktionsmenge auf 100.000 Geräte zu erhöhen und damit eine Kostendegression auf 3.000 DM/kW zu erreichen.

9. *Rahmenbedingungen*: Die technischen Anschlussbedingungen sind geregelt, könnten aber vereinfacht werden. Dagegen sind die Regelungen bei Netzentgeltberechnung und Rückspeisevergütung kompliziert. Gerade für Mikro-Erzeuger sind extrem einfache Lösungen und Rechenvorschriften erforderlich (so wird z.B. das KWK-Gesetz als zu kompliziert angesehen).
10. *Rechtliche Rahmenbedingungen für Mikro-KWK* sind für normale Anwender kaum durchschaubar. Zum Beispiel darf der Eigentümer über Nebenkostenabrechnung keinen Gewinn machen. Weitere problematische Aspekte sind der Eigentumsvorbehalt der Anlagen im Wohnhaus und die Vielzahl an Steuern, die von unterschiedlichen Stellen erhoben werden (u. a. Mehrwertsteuer, Umsatzsteuer, Stromsteuer, Konzessionsabgabe). Durch §3-Genehmigung wird ein Eigentümer praktisch auf eine Ebene mit z. B. EON als Strom- und Netzbetreiber gestellt.

Abbildung 5: Lernkurve der Brennstoffzellen-Produktion

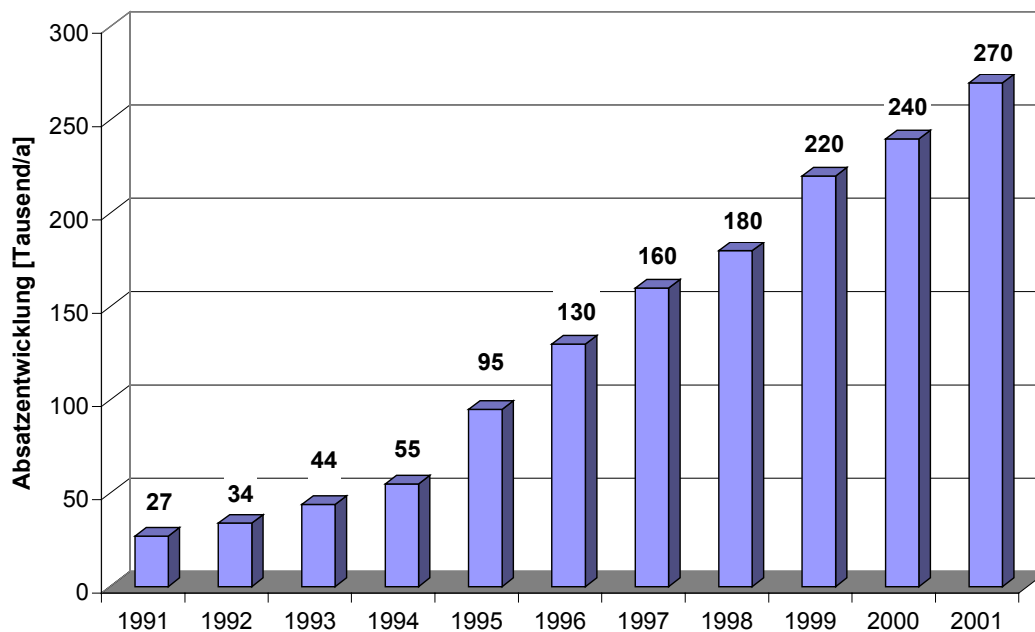


2.3.2 Erfolgreiche Diffusion von Brennwertkesseln – Was kann man aus den Erfahrungen lernen?

Robert Franz, Viessmann

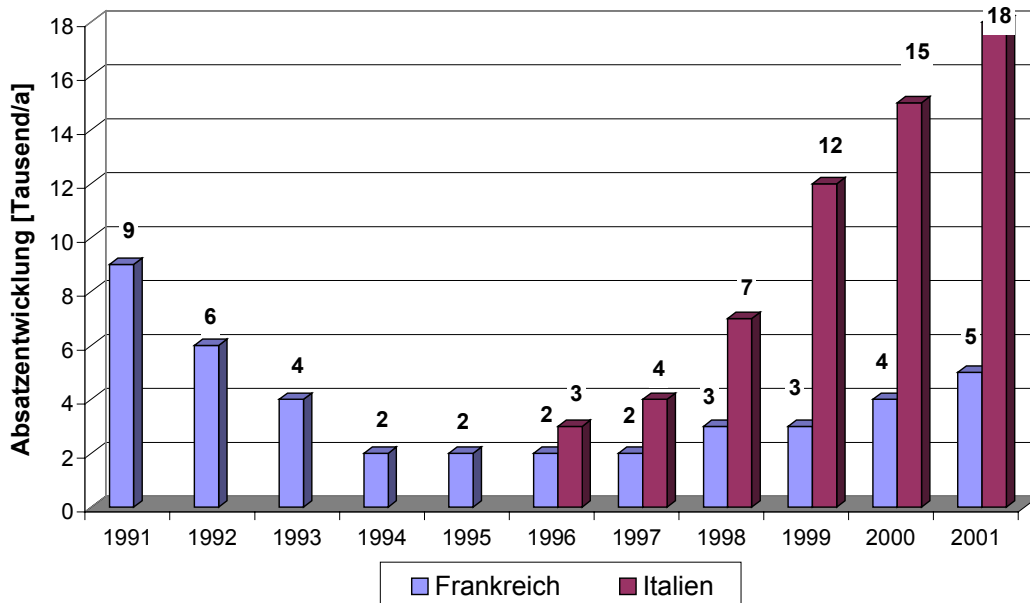
Herr Franz erläuterte, dass nach anfänglich eher schleppendem Start der Markt für Gas-Brennwertkessel seit Mitte der 90er Jahre in Deutschland eine stürmische Entwicklung erfahren hat. So stieg der Absatz von Brennwertkesseln in Deutschland von 27.000 (1991) auf 270.000 (2001) in Form einer S-Kurve an (Abbildung 6). Auch in Frankreich kam es 1991 zur Markteinführung von Gas-Brennwertkesseln, allerdings waren dies vorwiegend holländische Geräte. Aufgrund technischer Probleme und mangelnden Service war der Markt im Jahr 1994 mit nur rund 2.000 abgesetzten Geräten praktisch zusammengebrochen. Von diesem Einbruch hat sich der Markt dort seither nicht wieder völlig erholt. Auch in Italien entwickelte sich der Absatz von 3.000 (1995) auf 18.000 Geräte im Jahr 2001 eher schwach (Abbildung 7).

Abbildung 6: Marktentwicklung von Gas-Brennwertgeräten in Deutschland



Die Viessmann-Werke, die mittlerweile einen Marktanteil von gut 30 % haben, mussten zunächst ein völlig neues Gerät entwickeln: Die Öl- und Gas-*Stand*heizkessel wurden durch *Wand*geräte abgelöst. Nachfolgend werden die wichtigsten Bestimmungsfaktoren für diese rasante Marktentwicklung in Deutschland, die in Europa ihresgleichen sucht, skizziert.

Abbildung 7: Marktentwicklung von Gas-Brennwertgeräten in Nachbarländern



Vertrauen in verlässliche und umweltfreundliche Technik: Anfangs wurden auch in Deutschland holländische Geräte eingeführt, die im Betrieb aber zu zahlreichen Problemen und Totalausfällen der Anlagen führten. Grund war ihre mangelhafte Anpassung an „typisch deutsche“ Betriebsbedingungen. Dazu zählen:

- stark schwankende Heizwasservolumenströme durch in der Heizanlagenverordnung vorgeschriebene Thermostatventile. Dies führte zu Sied- und Sauerstofferosion auf der Heizwasserseite sowie zu Spannungsrissebildung;
- regional und zeitlich unterschiedliche Gasqualitäten (z. B. höherer Schwefelgehalt in Deutschland). Dies führte zur Kondensatkorrosion auf der Abgasseite wegen Aufkonzentration des Kondensats sowie Zusetzens der Wärmetauscherflächen durch Korrosionsprodukte.
- zu geringe Wasserinhalte und zu kleine Modulationsbereiche. Dies führte zu Taktbetrieb und Nutzungsgradeinbußen.

Zudem geriet der Brennwertkessel als Stromfresser in die Kritik. Diesen Problemen wurde durch Änderungen in der Konstruktion (u. a. Werkstoffwahl, Vergrößerung der Modulationsbereiche, strömungstechnische Verbesserung der Wasserräume) begegnet und somit die Technologie an die Betriebsbedingungen auf dem deutschen Markt angepaßt. Durch die Einführung der für die hiesigen Verhältnisse geeigneten Gerätetechnik durch die Industrie gelang es, das nötige Vertrauen wieder herzustellen, so dass der Brennwertkessel heute eine anerkannte und bewährte Technik bei Neubauten und Modernisierungen darstellt. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Heizungsbauer, denen der Kunde vertraut und die letztendlich die Technik auswählen. Ohne die Akzeptanz der Heizungsbauer wäre die Entwicklung auf dem Markt für Brennwertkessel nicht denkbar gewesen.

Marktbarrieren in Richtlinien und Verordnungen: Anfänglich technisch bedingte Vorbehalte gegenüber der Brennwerttechnik bezogen sich im Wesentlichen auf Werkstoffe und Ausführungen der Abgas-/Zuluftsysteme und die Einleitung von Kondensaten in das öffentliche Abwassernetz. Von Seiten der kommunalen Abwasserentsorger gab es vor allem Bedenken, dass die Rohre angegriffen werden könnten. Diese Vorbehalte konnten jahrelang nicht entkräftet werden; allein schon der Begriff der „Neutralisation“ des Kondensats wirkte als Signal für Umweltbelastung. Erst durch umfangreiche Studien im Auftrag der Gasversorger (DVGW⁴) und der Gerätehersteller wurde schließlich die Unbedenklichkeit nachgewiesen. Es erfolgte auch eine rechtliche Verbesserung: Kondensatneutralisation ist jetzt bei Gasbetrieb erst ab einer Wärmeleistung von 200 kW erforderlich (bei Heizöl ab 25 kW). Die zum Teil berechtigten Bedenken auf Seiten der Schornsteinfeger bestanden vor allem hinsichtlich der Korrosion an Alu-Abgassystemen. Diese wurden aber inzwischen durch Kunststoff-Systeme ersetzt. Um dem Problem der mangelnden Temperaturbeständigkeit zu begegnen, wurden Absicherungen in die Gerätetechnik integriert. Auch die Gefahr der Verstopfung von Abgas- und Zuluftleitungen konnte gebannt werden: Die Geräte schalten jetzt rechtzeitig ab.

Konzertierte Schulungs- und Werbeaktionen von Gasversorgern, Industrie und Handwerk: Veröffentlichungen in den Medien, Fachaufsätze und Aufklärungsarbeit in Seminaren und Schulungen wurde von den Marktpartnern gemeinsam getragen. Dieser gemeinsame Auftritt hat wesentlich dazu beigetragen, Gas-Brennwerttechnik innerhalb kurzer Zeit im Markt bekannt zu machen. Gemeinsame Aktionen gab es nicht nur zwischen Herstellern und Gaswirtschaft, sondern auch mit Handwerkern und Schornsteinfegern. Mit entscheidend für den Markterfolg der Brennwertkessel war auch die Anstoßförderung des Bundes und einzelner Energieversorger Mitte der 90er Jahre.

Vorteile der Brennwerttechnik: Die Tatsache, dass Brennwertkessel weniger Energieeinsatz erfordern als andere Kessel, war für den Erfolg am Markt weniger entscheidend. Die anderen Vorteile sprechen für sich. Ein Brennwertkessel braucht keine Mindestkesselwassertemperatur und Mindestabgastemperatur und keine Maßnahmen zur Kondensatvermeidung. Die flexiblen Aufstellmöglichkeiten erlauben die Installation in der Wohntage selbst (Aufstellung innerhalb der isolierten Gebäudehülle möglich) oder im Dachgeschoss. Der Einsatz im Altbau ist unproblematisch; er ist auch bei Systemen mit hohen Systemtemperaturen möglich und sinnvoll (bei Modernisierung sind 85 % der eingesetzten Gaskessel Brennwertkessel); man braucht keine großflächige Verteilung wie bei der Niedertemperaturheizung. Gute Erfahrungen mit Betriebssicherheit und Betriebsverhalten haben Handwerker und letztendlich auch die Endverbraucher überzeugt.

⁴ Deutsche Vereinigung des Gas und Wasserfaches e.V.

2.3.3 Diskussion: Forschungs- und Handlungsbedarf zur Förderung der Diffusion energieeffizienter Techniken

Die wichtigsten Gesichtspunkte, die in der Diskussion nach den Referaten von Herrn Klinder und Herrn Franz angesprochen wurden, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Anteil der Gas-Brennwerttechnik am Gesamtmarkt in Deutschland sollte von heute rund 30 % am Gesamtmarkt (80 % am Markt für Gasgeräte) weiter erhöht werden, allerdings sind 65 % Gesamtmarktanteil wie in den Niederlanden vorerst nicht erreichbar, da der Gas-Anschlussgrad in Deutschland deutlich unter dem der Niederlande liegt, wo Gas praktisch der alleinige Energieträger ist. Es ist zu erwarten, dass der bevorstehende Generationenwechsel im traditionell konservativen Handwerk diesen Prozess beschleunigt.
- Handlungs- und Forschungsbedarf ergeben sich aus Sicht der Hersteller vor allem aus den zukünftigen Entwicklungen eines rückläufigen Wärmebedarfs, eines zunehmenden Strombedarfs und eines abnehmenden Pro-Kopf-Wasserverbrauchs.
- Aus Sicht des BMWi hat sich die Art der Forschungsförderung für Brennwerttechnik bewährt. Die Förderung sollte nicht aus Dauersubventionen bestehen, sondern nur aus einer Anschubförderung, die gegebenenfalls durch flankierende Maßnahmen zu ergänzen ist. Als die Forschungsförderung noch im BMBF angesiedelt war, gab es größere Spielräume als jetzt im BMWi. Prinzipiell scheint auf Seiten der Politik die Gefahr zu bestehen, dass man dazu neigt, sich auf bestimmte Technologien a priori zu konzentrieren. Dabei gerät bisweilen die Funktion der Wirtschaft als Innovator außer Acht. Auch die Hersteller haben kein Interesse daran, langfristig von Dauersubventionen abhängig zu sein. Vielmehr sollen Anschubförderungen dazu dienen, die Technik so wirtschaftlich und wettbewerbsfähig zu machen, dass sie letztendlich auch exportiert werden kann.
- Die Forderung nach einem „100.000-Keller“-Programm für stationäre Brennstoffzellen kommt zum jetzigen Zeitpunkt nicht zu früh, da realistisch mit einer politischen „Inkubationszeit“ von etwa fünf Jahren zu rechnen ist, bis ein solches Programm aufgelegt wäre. Bis dahin wird zum einen die Technik ausgereift sein, und zum anderen kann das Marktumfeld vorbereitet werden. Diese Vorbereitungen sind zeitaufwendig, da sehr viele Akteure betroffen sind und zum Teil ein Generationenwechsel abgewartet werden muss, bis Neuerungen tatsächlich Akzeptanz finden.
- Im Zusammenhang mit der Einführung der Brennstoffzelle wird noch einmal die Wichtigkeit betont, die Handwerker frühzeitig auf diese neue Technik vorzubereiten, die Diskussion in den Fachverbänden zu entfachen, Eigeninitiativen zu wecken und zu stärken, Schulungen zu konzipieren und durchzuführen. Auch Planer und Architekten müssen zeitpunktgerecht einbezogen werden. Weitere strategische Partner sind – ähnlich wie bei der Unterstützung der Gas-Brenn-

werttechnik durch die Gaswirtschaft – bereits heute zumindest in Teilen der Stromwirtschaft zu finden: EON plant im Rahmen von Energiedienstleistungsangeboten Brennstoffzellen-Heizgeräte in Zusammenarbeit mit dem Handwerk anzubieten.

2.3.4 Tolle Perspektiven – nüchterne Realität: Welche Politik für die Brennstoffzelle ist richtig?

Jürgen Wengel, Fraunhofer ISI

Jürgen Wengels Vortrag befasste sich mit der Bedeutung der Brennstoffzellentechnologie, wobei folgende Leitfragen Ausgangspunkt seiner Erläuterungen darstellten:

- Was hemmt, was fördert den Einsatz der Brennstoffzelle?
- Welche Rolle spielt die Brennstoffzelle für den Industriestandort Deutschland?
- Wie könnte eine Politik für die Brennstoffzelle aussehen und wo sollte sie ansetzen?

Die Delphi-Experten⁵, 1997 anhand von neun Thesen zur Brennstoffzelle befragt, vermuteten den breiten Einsatz in der Energieversorgung und auf der Straße ungefähr im Jahr 2015. Dabei billigten sie dieser Technologie sowohl hohe Bedeutung für die wirtschaftliche Entwicklung als auch in Bezug auf die Lösung von Umweltproblemen zu (Abbildung 8).

Wie die Verbreitung und damit die Folgen der Einführung von *mobilen* Brennstoffzellen aussehen, hängt von verschiedenen Faktoren ab (Abbildung 9). Entscheidend sind die Entwicklungen bei konkurrierenden Technologien, wie z.B. dem „Drei-Liter-Auto“, und die Fortschritte in der Brennstoffzellenentwicklung (insbesondere Kostensenkungen). Hier könnten Synergien zwischen der Entwicklung stationärer und mobiler Brennstoffzellen entstehen. Darüber hinaus ist der Aufbau einer Infrastruktur für neue Kraftstoffe, wie z.B. Wasserstoff, von großer Bedeutung für die Einführungsdynamik der Technologie im Verkehrsbereich. Schließlich sind auch die politischen Rahmenbedingungen mit entscheidend.

⁵ Siehe Cuhls, K.; Blind, K.; Grupp, H. (1998).

Abbildung 8: Delphi – Bedeutung der Brennstoffzellentechnologie

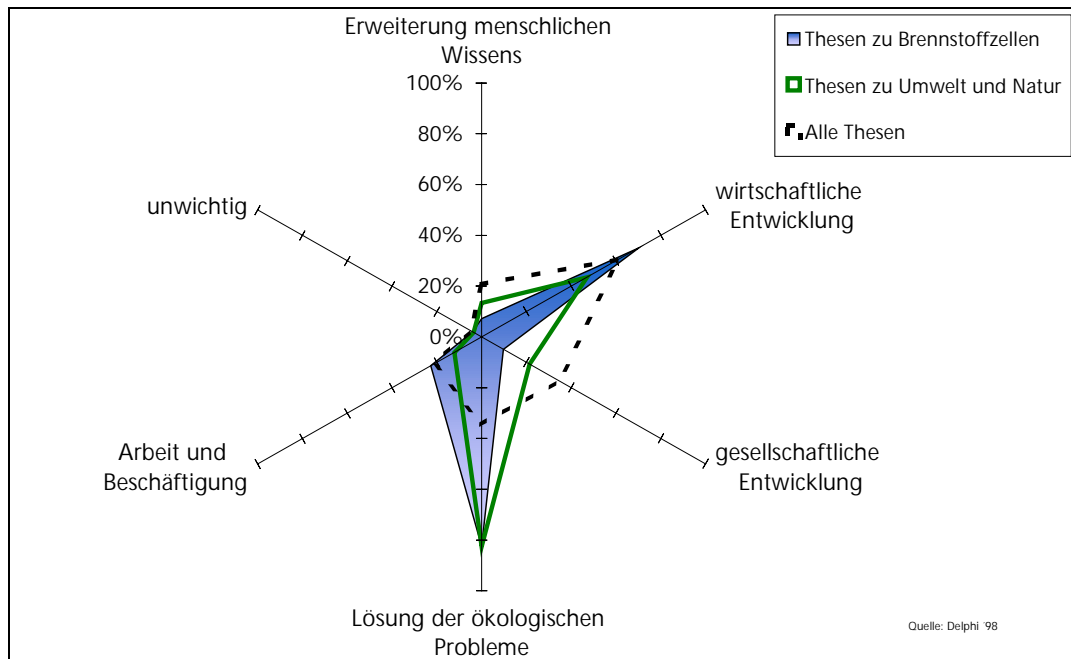
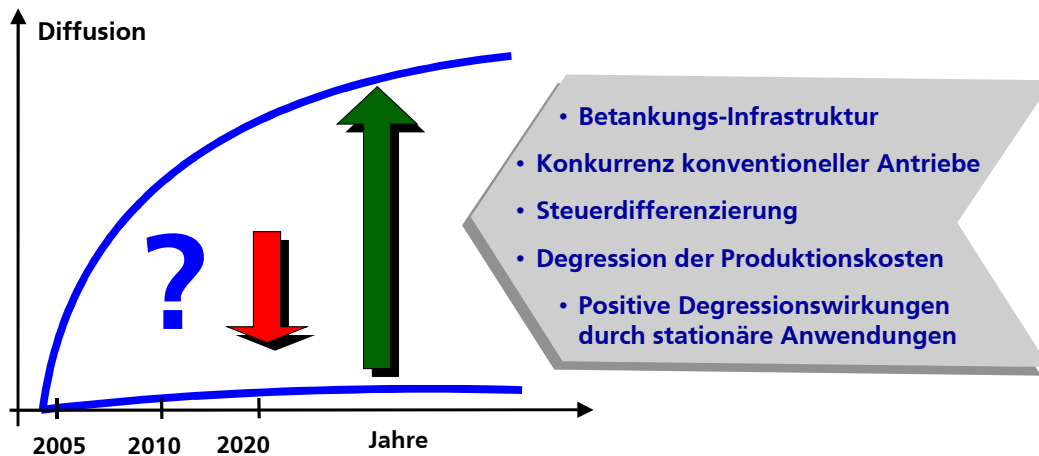


Abbildung 9: Wichtige Determinanten für die Diffusion der Brennstoffzelle



Quelle: Wengel, Schirrmeister 2000

Die mögliche Nutzung der Brennstoffzelle als Kernelement zukünftiger Kraftfahrzeugantriebe hat wegen der wirtschaftlichen Bedeutung des Automobilsektors in Deutschland in der Öffentlichkeit große Aufmerksamkeit erregt. Sie bedeutete in der Tat erhebliche technologische Veränderungen für die Automobilhersteller, Zulieferer und Ausrüster. Prinzipiell ist eine Verschiebung von mechanischen hin zu elektrotechnischen und elektrochemischen Komponenten zu erwarten. Bei stationären Anwendungen ist der technologische Umbruch vielleicht nicht ganz so

groß. Da die Wirtschaftlichkeitsschwelle niedriger liegt, ist sogar mit einer Pilotfunktion stationärer Brennstoffzellensysteme für den praktischen Einsatz zu rechnen.

Tendenziell passt aber das für die Brennstoffzelle geforderte technologische Know-how gut zu den ökonomischen und technischen Stärken Deutschlands. Die automobilspezifische Fertigungskompetenz, die Versorgungsstrukturen im Energiebereich, die vorhandene Forschungsinfrastruktur in brennstoffzellenrelevanten Wissenschafts- und Technikbereichen und die Verankerung wichtiger Treiber der Brennstoffzellentechnologie wie DaimlerChrysler in Deutschland sind gute Voraussetzungen, um die Chancen der Brennstoffzellentechnik zu ergreifen. Allerdings sollte man sich dabei – vor allem als Unternehmer – nicht zu sehr von visionären Vorstellungen leiten lassen, denn auch denjenigen, der zu früh kommt, bestraft der Markt. Die Brennstoffzelle kommt langsam. Dementsprechend werden sich die Strukturen schleichend anpassen. Insbesondere geht es nicht darum, dramatische Strukturveränderungen, mit denen die betroffenen Unternehmen überfordert wären, zu begleiten. Eine Industriepolitik alter Prägung auf der Basis einer dauerhaften Subventionierung ist für die Brennstoffzelle deshalb nicht anzustreben.

Vielmehr geht es um den Einsatz innovations- und technologiepolitischer Maßnahmen. Für ihre Gestaltung kann das Konzept der Leadmärkte einen guten Hintergrund bieten. Leadmärkte sind für Standortentscheidungen von Unternehmen, insbesondere für ihre Innovationsaktivitäten, von großer Bedeutung⁶. Deshalb stellt sich die Frage, ob in Deutschland ein Leadmarkt für Brennstoffzellen entstehen kann. Tabelle 1 stellt Für und Wider der deutschen Rahmenbedingungen für eine Rolle als Leadmarkt in den drei Anwendungsbereichen mobil, stationär und portabel gegenüber. Nach unseren ersten Einschätzungen kann die Bundesrepublik ein Leadmarkt für mobile Anwendungen sein, wobei eventuell eine gemeinsame Betrachtung mehrerer europäischer Länder sinnvoll erscheint. Im stationären Einsatzbereich der Wärme- und Energieversorgung hat die Entwicklung zum Leadmarkt möglicherweise sogar schon begonnen. Für mobile Geräte erscheint die Bundesrepublik dagegen als Pilot- und Leadmarkt zumindest auf den ersten Blick weniger geeignet.

Da es sich bei der Brennstoffzellentechnologie um eine Systeminnovation handelt, muss auch die Politik entsprechend systemisch angelegt sein. Sie sollte die langfristigen ökologischen Potenziale und ökonomischen Chancen durch eine Technologieführerschaft auf den Weltmärkten sowie den momentanen Entwicklungsstand der Technik berücksichtigen. Die denkbaren technologiepolitischen Instrumente lassen sich in eher angebotsorientierte versus eher nachfrageorientierte Instrumente einteilen und sie können verschiedenen Phasen des Innovationszyklus – von der Grundlagenforschung bis hin zur industriellen Anwendung – zugeordnet werden.

⁶ Gerybadze, A.; Meyer-Krahmer, F.; Reger, G. (1997).

Die Instrumente, die sich derzeit besonders zur Förderung der Brennstoffzelle eignen, umfassen beispielsweise Verbundprojekte, Demonstrations- und Modellvorhaben und Studien zum Stand der Forschung, Internationale Vergleiche etc. (Abbildung 10). Diese Art der Forschungsförderung müsste politikbereichsübergreifend mit der Infrastrukturentwicklung und der Gesetzgebung abgestimmt werden. Der Einsatz von Diffusionsanreizen im Sinne von Steuervorteilen, Prämien etc. wäre zum jetzigen Zeitpunkt noch verfrüht.

Tabelle 1: Deutschland als Leadmarkt für Brennstoffzellen

Anwendung	Fördernde Aspekte	Hemmnisse
Mobil	<ul style="list-style-type: none"> • saisonale Umweltprobleme in Ballungsräumen • innovationsbereite Verbraucher und Hersteller • gute, anpassungsfähige Infrastruktur • hohe Flexibilität/Kompetenz des Kfz-Handwerks • günstige Kfz-Nachfragestruktur (High-end) 	<ul style="list-style-type: none"> • kein unmittelbarer Umweltdruck • starke Konkurrenztechnologien • Marktgröße (kritische Masse nur im Europa-Maßstab erreichbar)
Stationär	<ul style="list-style-type: none"> • Breitenwirksame Fördermaßnahmen (zum Beispiel Einspeisungsvergütungen) • Investitionsbereitschaft der Verbraucher für Umwelt und Werterhalt von Immobilien • gute Hersteller- und Handwerker-Infrastruktur • tendenziell günstiger Kraft-Wärme-Mix • Sanierungsbedarf dezentraler Heizungsanlagen 	<ul style="list-style-type: none"> • liberalisierter Markt: Kraftwerksüberkapazitäten und große Anbieter (kurzfristig hemmend, langfristig evtl. positiv wegen Dezentralisierungsmöglichkeiten) • dichtes, stabiles und relativ kostengünstiges Stromnetz
Portabel	<ul style="list-style-type: none"> • strenge Umweltvorschriften (zum Beispiel Rücknahmepflicht) • Nischenmärkte mit attraktiven Kostenschwellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Mehrzahl der Endgeräte nicht in Deutschland/Europa produziert

Abbildung 10: Technologiepolitischer Instrumentenkasten und Brennstoffzellen



Diskussion

In der anschließenden Diskussion wurden folgende Aspekte herausgearbeitet:

- Entgegen den ursprünglichen Prognosen ist damit zu rechnen, dass die stationäre Brennstoffzelle vor der mobilen Brennstoffzelle die Marktreife erlangen wird.
- Für den Durchbruch der mobilen Brennstoffzelle wäre es zunächst notwendig, Konvergenz bei der Energieträgerwahl zu erzielen. Über den „richtigen“ Ansatz kann heute allerdings noch nicht entschieden werden. Der Diesel/Benzin-Reformer hätte den Vorteil, auf die bestehende Betankungsinfrastruktur zurückgreifen zu können, bei dem Reformer besteht allerdings noch Forschungsbedarf.
- Bei der Suche nach dem „richtigen“ Ansatz für die mobile Brennstoffzelle ist ein starker Interessenskonflikt zwischen der Automobilindustrie und der Mineralölwirtschaft festzustellen. Die Investitionen in die Verteilung sind so groß, dass die Mineralölwirtschaft unbedingt Diesel/Benzin bevorzugt. Dafür hat die Automobilindustrie allerdings keine Lösung, da „reforming on board“ mit Diesel/Benzin technisch schwierig und entsprechend teuer ist. Wasserstoff hingegen kann sich die Mineralölwirtschaft nur sehr langfristig vorstellen. Im Gegensatz dazu ist bei der stationären Technik ganz klar, dass Gas als Energieträger fungiert, wenigstens in der Übergangsphase, bis Wasserstoff regenerativ erzeugt wird. Demnach stellt zumindest die stationäre Brennstoffzelle trotz mancher Anlaufschwierigkeiten und notwendiger Grundlagenforschung bei einigen Komponenten keine „Luftblase“ dar, die irgendwann platzen wird.
- Gegen den Einwand, ob es sich bei den ganzen Brennstoffzellenaktivitäten nicht um eine bloße Modeerscheinung handle, wurde eingebracht, dass die Ernsthaftigkeit der Bemühungen groß sei, was beispielsweise am hohen Personaleinsatz deutlich wird. Handlungsdruck entsteht vor allem durch den kalifornischen

Clean Air Act. Alle Automobilhersteller sehen zudem die langfristige Verfügbarkeit von Erdöl – und damit das Beharren auf Verbrennungstechnik - kritisch.

- Die Kommunikationsstrategien zum Thema Brennstoffzelle in der Öffentlichkeit sollten überdacht werden. Zu optimistische Prognosen können, wenn sie nicht eingehalten werden, zu einem Hemmschuh für die Technologie werden.

2.3.5 Die 2000 Watt-Gesellschaft Mitte des 21. Jahrhunderts: Muss sich der westliche Lebensstil langfristig ändern oder genügt der technische Fortschritt?

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Jochem, Fraunhofer ISI und CEPE, ETH Zürich

Die Zielsetzungen der Klimapolitik mit den Jahren 2005 oder 2010 (Kyoto) und die sich daran festbeißenenden Diskussionen, wie und wo diese zu erreichen seien, täuschen schnell darüber hinweg, dass die Ressource Atmosphäre in einer atemberaubenden Geschwindigkeit von ca. 4 bis 5 ppm Erhöhung der Treibhausgaskonzentration pro Jahr aufgepumpt wird. Würde dieser Trend anhalten, so wäre die Grenzkonzentration von maximal 500 ppm CO₂-Äquivalenten bereits in drei bis vier Jahrzehnten erreicht, welche die Biologen allenfalls für Ende dieses Jahrhunderts als klimatologisch für verträglich halten, soll sich die Umstrukturierung der borealen Wälder nicht selbst zu einer CO₂-Quelle entwickeln. Es geht also letztlich nicht um den Streit der fünfprozentigen Senkung der Treibhausgasemissionen der heutigen Industriestaaten bis zum Jahre 2010, wie sie im Protokoll von Kyoto vorgesehen ist, es geht vielmehr um

- eine Reduktion der Treibhausgasemissionen der heutigen Industrieländer um 80 % bis Mitte dieses Jahrhunderts und um mindestens 90 % bis Ende des Jahrhunderts und
- eine möglichst vor 2020 zu erreichende Stagnation der globalen Treibhausgasemissionen und eine Rückführung dieser Mengen um 50 % bis zum Ende dieses Jahrhunderts, während die Weltbevölkerung sich noch einmal verdoppelt und das globale Bruttoinlandsprodukt sich etwa verzehnfacht bis vervierzehnfacht.

Diese Perspektive kann nur mit einer technologischen und organisatorisch-unternehmerischen ganzheitlichen Strategie ohne Katastrophen-Vision zu Ende gedacht werden: Es geht nicht nur um technologische Ressourcen-Effizienz, sondern auch um die effiziente Nutzung von Kapital und menschlichem Wissen, Kreativität und die Entwicklung weiser Lebensstile. Gerade weil all dies mehrere Dekaden zur Veränderung braucht, müssen heute die Weichen gestellt werden. Hierüber berichtete das Referat in den technologischen Facetten der Energie- und Materialeffizienz, der Nutzungsintensivierung und der Ausschöpfung rentabler Effizienzpotentiale durch neue Unternehmensformen. Als Beispiele wurden kurz erläutert:

- (1) Die Ausschöpfung theoretischer und technischer Potenziale der verbesserten Energieanwendung und -nutzung in den kommenden Dekaden durch

- erheblich *verbesserte Wirkungsgrade bei den beiden Umwandlungsstufen* Primär-/Endenergie und Endenergie-/Nutzenergie, häufig mit neuen Technologien.
 - erheblich *verminderten Nutzenergiebedarf pro Energiedienstleistung*
 - *die räumliche Figuration* von neuen Industrie- und anderen Siedlungsgebieten *nach Exergiegesichtspunkten* sowie eine bessere Durchmischung von Siedlungsfunktionen zur Vermeidung von motorisierter Mobilität.
- (2) Die Ausschöpfung vieler Potenziale *erhöhter Materialeffizienz*, die indirekt zu wesentlich geringerem Energieverbrauch bei Produktion und Konsum führen würden, darunter
- verstärktes Recycling und Wiederverwendung von energieintensiven Werkstoffen und erhöhte Materialeffizienz durch Schäumen von Metallen und Kunststoffen sowie durch verbesserte Konstruktionen oder Werkstoffeigenschaften mit der Wirkung deutlich verminderter Primärmaterialnachfrage je Werkstoffdienstleistung
 - Nutzungsintensivierung von langlebigen Investitions- und Gebrauchsgütern durch Maschinen- und Geräte-Leasing, Car-Sharing und andere produktbegleitende Dienstleistungen.

Diese langfristige Perspektive bedeutet in hohem Maße technologische Basisinnovationen und auch unternehmerische Innovationen, wie sie oben angedeutet wurden. Diese Innovationen müssen auch möglichst kosteneffizient und kapitalsparend sein (z. B. das Dünnbandgießen, das ganze Walzwerke der Stahlherstellung erübrigt), um sich schnell ökonomisch durchsetzen zu können.

Es stellt sich die Frage, ob diese technologischen Effizienz-Strategien ausreichen würden, um die Energieanwendung global in klimaverträglichen Bahnen halten zu können. Aus Vorsorgegesichtspunkten wäre zu prüfen, inwieweit eine Suffizienzpolitik mit dazu beitragen könnte, die Zielerreichung abzusichern. Nach der Analyse von der grundsätzlichen Disponiertheit heutiger gesellschaftlicher Gruppen scheint der Schluss nahe zu liegen, dass eine Suffizienzstrategie mit Lebensstiländerungen quantitativ nicht so groß ausfallen dürfte, wie die Effizienzstrategie; aber dennoch mag diese Strategie eine in mehrfacher Hinsicht unterstützende Funktion für die Zielerreichung einer nachhaltigen Energieanwendung sein. Als Fazit lässt sich festhalten, dass die 2000 Watt-Gesellschaft nicht nur ökologisch notwendig, sondern auch möglich ist. Das Erreichen einer solchen Gesellschaft wird aber nicht durch Suffizienzstrategien möglich sein, sondern vor allem durch Innovationen.

Diskussion

Die sich anschließende Diskussion konzentrierte sich auf folgende Gesichtspunkte:

- Ein Beispiel für die angesprochenen Effizienzstrategien ist die Kreislaufwirtschaft. So werden für die Herstellung neuen Aluminiums (Primäraluminium)

11–13 kWh/kg benötigt, beim Sekundäraluminium über die Verwendung von recykliertem Aluminium hingegen nur 2–2,5 kWh/kg. Man müsste also den Schwund minimieren und bei Baumaterial auf Recycling achten.

- Der aufgezeigte Weg über technologische Basisinnovationen ist zwar eine wünschenswerte Entwicklung, jedoch kein autonomer Prozess. Fraglich ist auch, ob die langfristigen Umweltziele, d. h. eine Reduktion der Treibhausgasemissionen der heutigen Industrieländer um 80 % bis ca. 2050 ohne eine Suffizienzstrategie erreichbar sind. Als notwendige Voraussetzung für eine Änderung der Lebensstile wird zunächst die gesellschaftliche Akzeptanz von Umweltzielen gesehen. Diese kann nur über das Schaffen von Problembewusstsein gelingen. Auch dabei wird der Politik eine entscheidende Rolle zugewiesen. Instrumentenbündel sind notwendig, um ein anderes Verhalten hervorzurufen, z. B. die Akzeptanz eines kleineren Autos. Betrachtet man die derzeitige Schärfe und Wahl an Instrumenten, scheinen zumindest Zweifel angebracht, ob Probleme im politischen Raum adäquat wahrgenommen werden.
- Kampagnen, z. B. von der DEnA, werden als adäquates Mittel zur Bewusstseinsbildung angesehen. Erfolgreiche Kampagnen lassen sich dadurch charakterisieren, dass sie – wie bei der Stand-by-Kampagne der Energiestiftung Schleswig-Holstein – gezielt bestimmte Lebensstil-Gruppen auf angepasste Weise ansprechen, der Absender von Informationen glaubwürdig ist und dass der Verbraucher im Mittelpunkt steht. In diesem Kontext bilden sich im Ausland auch neue unternehmerische Konzepte heraus: In Norwegen, Dänemark oder Großbritannien gibt es statt Energieagenturen, die eher Ausdruck eines korporativen Ansatzes sind, Energieeffizienz-Trusts.
- Vor dem Hintergrund, dass sich Bewusstseinsänderungen auch als Folge von Katastrophen ergeben können, könnte eine nicht unwahrscheinliche politische und ökonomische Katastrophe im Nahen Osten zu einem radikalen Umdenken im Verkehrsbereich führen.
- Dass Politik Innovationen indirekt über eine Veränderung des Bewusstseins oder direkt durch Regulierung beschleunigen kann, zeigen auch Beispiele aus Nachbarländern. In den Niederlanden konnte der Absatz von Effizienzklasse-A-Geräten von 30 auf 75 % gesteigert werden. In Österreich ist für öffentliche Liegenschaften nachzuweisen, dass eine Maßnahme ohne Einbindung von Energiedienstleistungen oder Contracting wirtschaftlicher zu realisieren ist als eine Lösung ohne solche Angebote. In Deutschland plant der Nachhaltigkeitsrat zwei Initiativen: zum einen soll Contracting in öffentlichen Liegenschaften Standard werden; zum anderen sollen im Bereich Altbaumodernisierung in jedem Bundesland Demonstrationsprojekte angesiedelt werden, die eine Reduzierung des Energieverbrauchs auf 40 kWh/m² („4-Liter-Haus“) aufzeigen.

2.4 Themenblock 2: Kostendegression und Lerneffekte – Chancen und Hemmnisse

In energiewirtschaftlichen Analysen mit ihren oft langfristigen Betrachtungshorizonten ist der Einbezug der Dynamik der Technik und vor allem auch der Kosten von entscheidender Bedeutung. Methodisch wird diese Dynamik oft mittels Lern- oder Erfahrungskurven beschrieben, wobei ein funktionaler Zusammenhang zwischen den Kosten und den produzierten Mengen auf einer empirischen Basis hergestellt wird. Im Bereich der Energiewirtschaft wurde diese Methode bisher vor allem für energietechnische Anlagen auf der Angebotsseite angewendet, nicht aber für nachfrageseitige energieeffiziente Techniken. Insbesondere Untersuchungen zu Techniken, die den Nutzenergiebedarf bestimmen, sind bisher die Ausnahme. In den ersten beiden Referaten des zweiten Themenblocks sollte dieses Defizit durch zwei Beiträge zu Lerneffekten im Bereich der Gebäudetechnik gemindert werden. Die letzten beiden Beiträge nehmen eine stärker systemische Perspektive ein und leiten daraus insbesondere auch Empfehlungen für die nationale und internationale Energie- und Forschungspolitik ab.

2.4.1 Lernkurven am Beispiel der Gebäudetechnik

Martin Jakob, CEPE

Herr Jakob beschrieb zunächst die vergangene Entwicklung der technischen Kennwerte sowie der Kosten im Bereich von Wärmeschutzfenstern und Wärmedämmung beim Gebäudebestand und im Neubau. Diese Gegenüberstellung zeigte eine Verbesserung der U-Werte bei Fensterglas und eine Zunahme der Dämmstärke bei Fassaden über die letzten Jahrzehnte. Gleichzeitig gingen trotz dieser dämmtechnischen Verbesserungen die spezifischen Kosten von Wärmeschutzfenstern und Fassadendämmung nominal und real zurück.

Der Rückgang der Kosten läßt sich zum einen durch Skaleneffekte erklären. Steigende Stückzahlen bei häufig gleichbleibenden Fixkosten führen zu sinkenden Stückkosten. Hinzu kommen weitere kostensenkende Effekte, die mit dem Anstieg der Produktionsmenge einhergehen, wie z. B. der Übergang zum Mehrschichtbetrieb, die Erhöhung der Taktzahlen und ein höherer Grad der Automation. Die Kostensenkung läßt sich zum anderen durch Lerneffekte erklären. Durch zunehmende Übung und Erfahrung beim Ausführen einzelner Arbeitsschritte sowie die Nutzung besserer Produktionsmethoden und –mittel sinken insbesondere die variablen Kosten.

Bei der Prognose zukünftiger Kosten einer Technologie geht es nun darum, zunächst die Lern- und Skaleneffekte und ihre Kostenwirksamkeit in der Vergangenheit empirisch zu quantifizieren und daraus Abschätzungen für den Kostenre-

duktionsverlauf in der Zukunft abzuleiten. Im Mittelpunkt steht dabei der Zusammenhang zwischen kumulierter Produktionsmenge und den Stückkosten einer Technologie. Bei der empirischen Messung lassen sich Lern- und Skaleneffekte nicht trennen. Man spricht deswegen von der „Fortschrittsrate“, die beide Effekte bündelt. Sie misst die prozentuale Preis- bzw. Kostensenkung, wenn sich die kumulierte Produktionsmenge verdoppelt⁷. Bisherige Schätzungen von Fortschrittsraten auf der Energieangebotsseite, z. B. für moderne Kohlekraftwerke oder für PV-Module, liegen typischerweise in einer Spanne von 0,8 – 0,95. Die nun von Herrn Jakob vorgelegten Schätzungen der Fortschrittsraten bei den bereits breit im Markt eingeführten Techniken betragen:

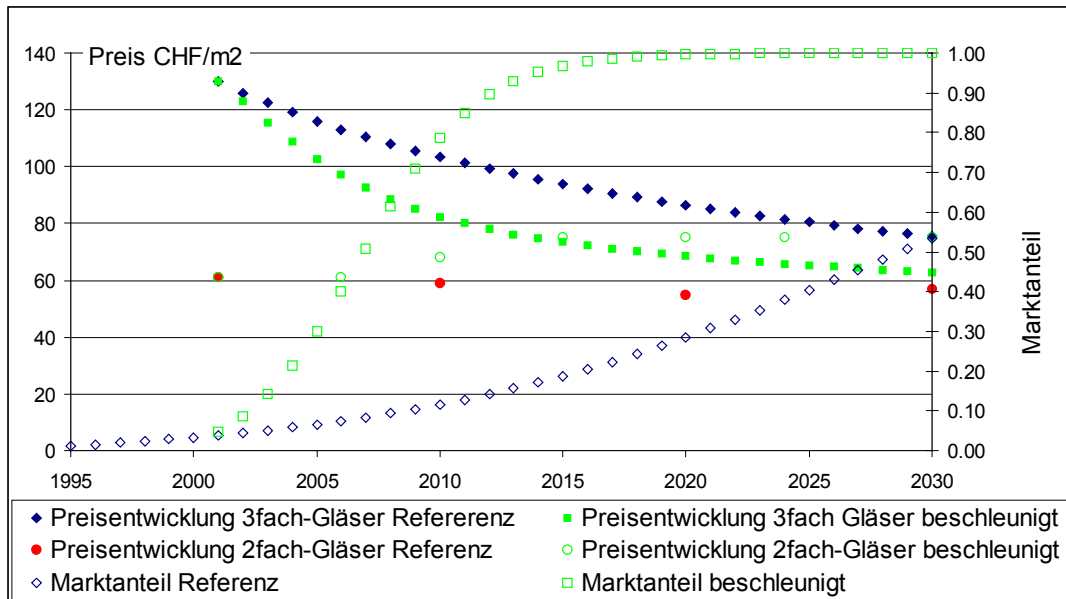
- für Zweifach-Isolierverglasung (1970 bis 2000) 0,85 – 0,9
- für Dreifach-Isolierverglasung (ca. Mitte der 1990er Jahre): 0,85 – 0,9

Für die Prognose zukünftiger Fortschrittsraten ist zu beachten, dass Lerneffekte im Zeitablauf geringer werden, unter anderem weil bei Techniken, die schon lange am Markt sind, die Verdopplungsrate langsamer erreicht wird. Abbildung 11 zeigt die geschätzte künftige Preisentwicklung für Zweifach- und Dreifachverglasung bis 2030 für einen Referenzfall und für das Szenario einer beschleunigten Entwicklung. Eine schnellere Degression kann erreicht werden, wenn die Zunahme des Marktanteils von Dreifachverglasung z. B. durch politische Fördermaßnahmen beschleunigt wird. Die Vergleichskosten von Zweifachverglasung würden in diesem Szenario gegenüber dem Referenzfall etwas ansteigen, weil hier dann wegen niedrigerer kumulierter Produktionsmengen geringere Lerneffekte auftreten.

Die Prognose von Fortschrittsraten kann verfeinert werden, wenn man die Analyse auf die Komponentenebene herunterbricht. Abbildung 12 zeigt dies am Beispiel von Kompaktfassaden. Aufgrund der bisherigen Entwicklung ist für die Entwicklung der Totalkosten mit einer höheren Fortschrittsrate zu rechnen als allein für die Dämmstoffe. Ursächlich dafür ist die Kumulation von Lerneffekten über mehrere Arbeitsschritte. Die Grenzkosten (welche auf der Differenz zwischen der Referenz und einer effizienteren Investition beruhen) entwickeln sich aus Gründen der Arithmetik noch dynamischer als mit den oben aufgeführten Fortschrittsraten, wie folgendes Rechenbeispiel verdeutlicht: Bei einer Kostendifferenz zwischen Referenz- und Effizienztechnologie von z. B. 60 CHF/m² und einer Abnahme der Totalkosten von 10 % für die Referenzkosten und von 15 % für die effizientere Variante reduziert sich die Differenz auf 45 CHF/m², was einer Abnahme um 25 % entspricht.

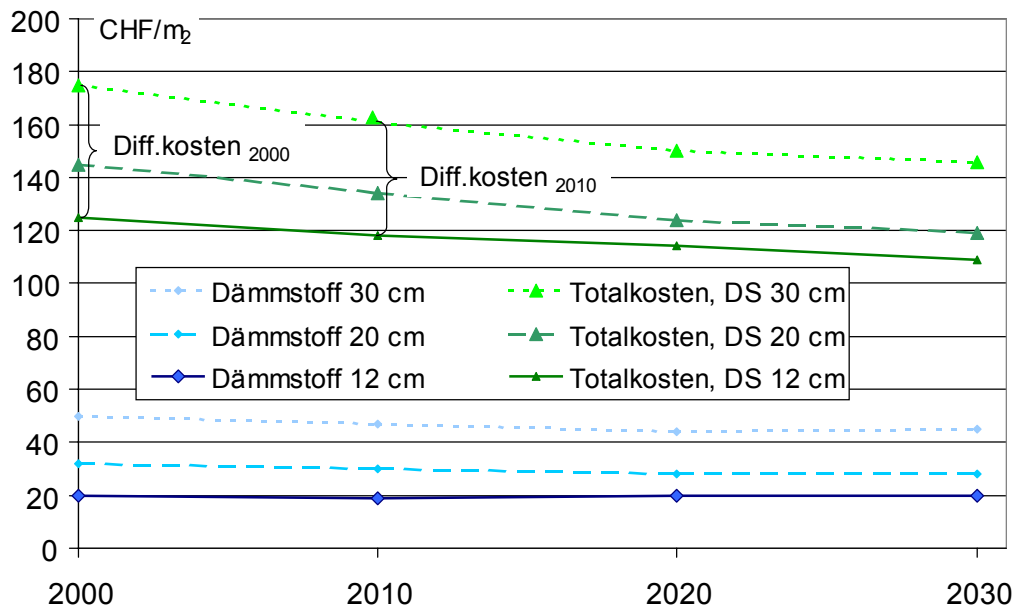
⁷ siehe auch OECD, IEA 2000 zur mathematischen Definition.

Abbildung 11: Künftige Preisentwicklung für Zweifach- und Dreifachverglasung – Referenzfall beschleunigte Entwicklung



Quelle: Erhebungen und Berechnungen CEPE

Abbildung 12: Künftige Entwicklung der Differenzinvestitionskosten bei Kompaktfassaden



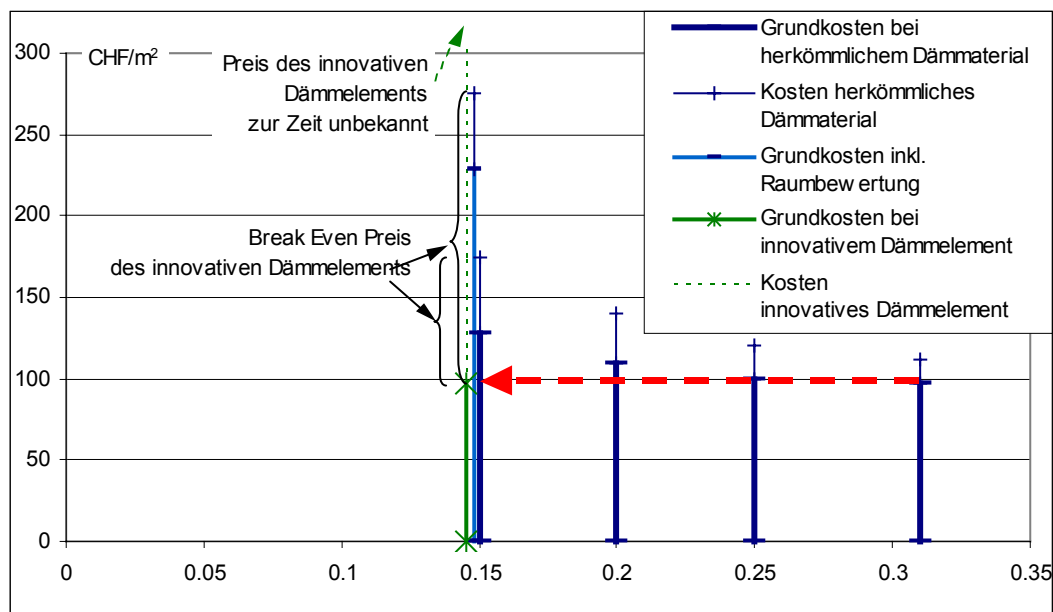
Quelle: Erhebungen und Berechnungen CEPE

Auf dieser Komponentenebene lassen sich auch die Möglichkeiten der Kostendegression darstellen, die von neuen Hochleistungsdämmstoffen zu erwarten sind. Sie bewirken, dass bei gleicher Dämmstärke der Dämmeffekt steigt. Da die Total-

kosten mit der Dämmstärke nach oben gehen⁸, ermöglicht das Konstanthalten der Dämmstärke bei gleichzeitig höherer Dämmwirkung quasi eine Verschiebung der Grundkosten nach links, was in Abbildung 13 durch den waagrechten Pfeil angedeutet ist. Dies bedeutet auch, dass der innovative Dämmstoff teurer sein darf, dies umso mehr, wenn der Raumbedarf bei höheren Dämmstärken bewertet wird (etwa bei beschränkter Baugrundfläche). Ähnliche sprunghafte Möglichkeiten zur Kostendegression könnten in weiteren neuen Materialien (Vakuumtechnik, Beschichtungen) und Konzepten (z. B. zunehmende Serienfertigung durch Präfabrikation von Bauelementen, planerische Aspekte) liegen.

Im Hinblick auf Modelle, die ihre Prognosen von Energiesystemkosten und Technikportfolios auf heutige Grenzkosten stützen, bedeuten die dargestellten Ergebnisse, dass solche Modelle zu einer Unterschätzung der kosteneffizienten Potenziale führen. Setzt man dagegen dynamisch prognostizierte Grenzkosten an, verschiebt sich die Wirtschaftlichkeitsschwelle der betrachteten Technologien (siehe Abbildung 14). Der Nutzen von Politikmassnahmen zur beschleunigten Einführung energieeffizienter Bauelemente liegt demnach nicht nur in der höheren Ausschöpfung der sich nahe der Wirtschaftlichkeit befindenden Investitionen, sondern auch in der Verschiebung der Wirtschaftlichkeitsschwelle.

Abbildung 13: Kosten bei Kompaktfassaden und der Einfluß neuer Dämmstoffe mit höherer Dämmwirkung bei gleicher Dämmstärke



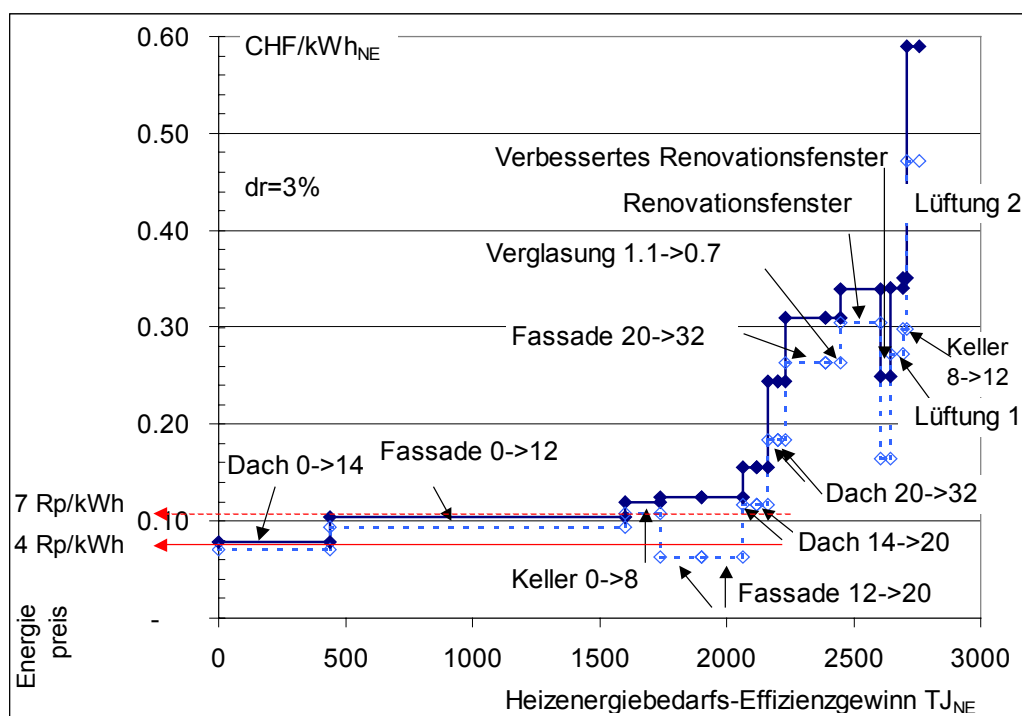
Quelle: Erhebungen und Berechnungen CEPE

⁸ Ursachen liegen neben den höheren Dämmstoffmengen auch in höheren Kosten für Montage und Anschlüsse.

Aus Sicht eines Investors, der zum jetzigen Zeitpunkt investieren will, sind die Schlußfolgerungen aus der Kostendynamisierung wenig relevant. Für ihn zählen jedoch bedeutsame Zusatznutzen aus dem verbesserten Wärmeschutz, der sich idealerweise aus einer Kombination von Wärmedämmung, wärmetechnisch hochwertigen Fenstern und einer Komfort-Lüftung zusammensetzt. Zu den Zusatznutzen zählt beispielsweise der gesteigerte Wohnkomfort durch besseren Lärmschutz und eine bessere Raumluftqualität, da durch „Komfort-Lüftungen“ ein regelmäßiger Luftwechsel auch bei geschlossenen Fenstern erreicht wird. Die Vorteile gelten insbesondere für Wohnlagen an stark befahrenen Strassen, oder für bestimmte Bevölkerungsgruppen, wie z. B. Asthmatiker und Allergiker. Ein weiterer Vorteil der Komfort-Lüftung liegt darin, dass sie die Risiken reduziert, die im Altbaubereich durch den Einbau dichter Fenster bei gleichzeitig hoher Feuchtigkeit entstehen.

Durch den geringeren Einfluß des Energiepreises auf die Nebenkosten verbessert sich außerdem die Vermietbarkeit, und das Leerstandrisiko bei steigenden Energiepreisen sinkt. Banken würdigen dies teilweise durch ein besseres Rating und niedrigere Bauzinsen. Ein weiterer Vorteil ausgeprägten Wärmeschutzes ist der kühlende Effekt im Sommer, der das Raumklima in heißen Wetterperioden entscheidend verbessert. Im Ergebnis trägt die wärmetechnische Sanierung zur Werterhaltung bzw. -steigerung des Gebäudes bei.

Abbildung 14: 10-Jahres-Grenzkostenkurve des EFH-Bestandes in der Bauperiode 1900 bis 1960



Quelle: Jakob, Jochem, Christen 2002

In Untersuchungen des CEPE wurden die indirekten Nutzen (Co-Benefits) ansatzweise quantifiziert. Sie variieren je nach Fall und Investition zwischen Null und einigen Rappen je zusätzlich eingesparter kWh⁹. Je nach Fall und Wohnsituation können somit die Zusatzkosten durch die eingesparten Wärmemengen zzgl. der indirekten Nutzen aufgewogen werden.

Im Fazit bedeutet dies, dass selbst bei statischen Kostenschätzungen die energie-wirtschaftlichen Grenzkosten der Erneuerung in ihrem unteren Bereich nur den vermiedenen Grenzkosten entsprechen. Dieser Bereich entspricht etwa einem Drittel des technischen Potenzials (2010). Bezieht man den privaten Zusatznutzen und vermiedene externe Kosten der Energienutzung und des Klimawandels mit ein, sind sogar mehr als zwei Drittel des realisierbaren technischen Potenzials kosteneffizient¹⁰.

2.4.2 Lerneffekte bei Wärmeschutzverglasung aus Herstellersicht

Dr. Rolf Blessing, Interpane E & B

Herr Blessing erläuterte zum Einstieg die physikalischen Grundlagen der Wärmeschutzverglasung (s. Abbildung 15). Eine wesentliche Erkenntnis für die Technikentwicklung war, dass bei Zweifach-Isolierglasscheiben nur rund ein Drittel der Wärmeverluste durch Konvektion und Wärmeleitung entstehen, während rund zwei Drittel durch die *Wärmestrahlung* verursacht werden. Ziel muß deshalb eine Verringerung der Emissivität der Fenster sein. Dies wird durch Beschichtungen erreicht. Besonders gut eignen sich Metallbeschichtungen, die allerdings die Transparenz beeinträchtigen können.

Erste Beschichtungsversuche arbeiteten mit Gold. Wegen des hohen Kostenaufwands ging man jedoch zu Silberbeschichtungen über. Die Beschichtungen eliminieren die Strahlungsverluste praktisch gänzlich. Zusätzlich wurden die Konvektionsverluste durch eine Gasfüllung mit Argon reduziert. Heute wird dafür vor allem Xenon eingesetzt, aber auch Crypton ist geeignet und insbesondere eher verfügbar. Durch die Kombination dieser technischen Ansätze konnten die k-Werte von 3,0 W/m²K im Jahr 1960 auf 0,4–0,6 W/m²K im Jahr 1995 verbessert werden.

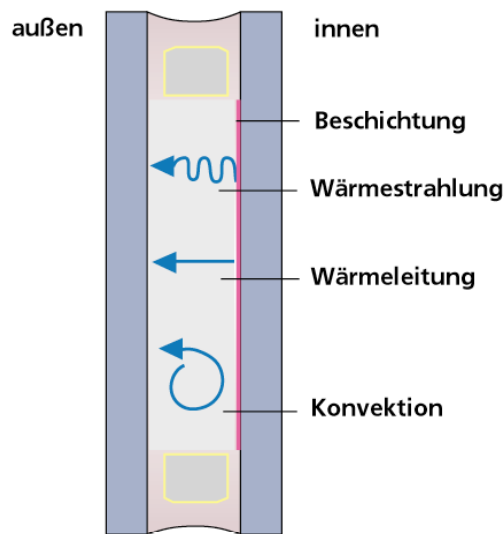
Das Marktvolumen beschichteter Wärmeschutzverglasungen war jedoch zunächst gering und belief sich 1992 auf nur ca. 5 Mio. m². Im Unterschied zu den Nachbarstaaten Schweiz und Österreich blieb der Anteil beschichteter Wärmeschutzvergla-

⁹ Im einzelnen wurden folgende Werte geschätzt: 0,20 bis 1,20 CHF/m²a infolge wärmerer Außenhülle; bis 7,20 CHF/m²a durch Lärmschutz, bis 1.- CHF/m²a durch reinere Raumluft.

¹⁰ Dabei werden vermiedene externe Kosten der Energienutzung von 2 bis 5,5 Rp/kWh und vermiedene Kosten des Klimawandels von wenigsten 5 Rp/kWh angenommen.

sungen am deutschen Isolierglasmarkt bis zum Jahr 1994 unterhalb 10 %¹¹. Im Vorgriff auf die 1995 angekündigte Wärmeschutzverordnung begann in diesem Jahr ein Anstieg der Wärmeschutzglasanteile und erreichte nach mehrmaligen, jährlichen Wachstumsraten von ca. 100 % bereits nach wenigen Jahren eine Quote von über 90 %. Im Jahr 2000 lag das Marktvolumen für beschichtete Wärmeschutzverglasungen damit bei ca. 30 Mio. m².

Abbildung 15: Physikalische Grundlagen für beschichtetes Warmglas



Auf Herstellerseite ist es trotz dieses sprunghaften Anstiegs der Nachfrage nicht zu Lieferengpässen gekommen. Vielmehr hat sich die Anlagentechnologie der wachsenden Nachfrage flexibel angepasst. Die mittlere Jahreskapazität pro Beschichtungsanlage hat sich vervielfacht, wie die folgenden Zahlen belegen:

1991:	0,3 Mio m ² (pro Anlage und Jahr)	1995:	6,0 Mio. m ²
1993:	5,5 Mio m ²	2000:	8,0 Mio. m ² .

Dahinter steht ein Wechsel in der Produktionsweise. Ursprünglich wurden die Scheiben vertikal verarbeitet. In einem Plasmaverfahren fuhr die Anlage die 6m x 3,21m großen Scheiben ab. Durch diesen Batch-Betrieb und die limitierten Möglichkeiten zur Erhöhung der Taktzeiten war die Kapazität begrenzt. Infolge des Übergangs zur horizontalen Beschichtung, bei der das Glas unter der Anlage durchgeführt wird, konnte ein quasi kontinuierlicher Betrieb erreicht und die Anlagenkapazität deutlich erhöht werden. Die neuen Anlagen waren teurer und außerdem in der Anfangsphase noch nicht verfügbar. Für den raschen Anlagenwechsel bei Bauzeiten von 8 bis 9 Monaten war die WSV entscheidend, da dadurch Investitionssicherheit geschaffen wurde.

¹¹ In der Schweiz betrug der Anteil zum gleichen Zeitpunkt schon über 50 %.

Interpane produziert heute ca. 13 Mio. m² pro Jahr aus drei Anlagen. Die Entwicklung der Produktionsmengen bei Interpane seit Anfang der 90er Jahre ist in Abbildung 16 zu sehen. Darin wird auch deutlich, dass sich bei ständig ansteigenden Mengen die Herstellkosten stark verringert haben. Dies wird vor allem auf den Übergang zu der produktiveren Beschichtungsweise sowie auf Skaleneffekte zurückgeführt. Die gesunkenen Herstellkosten haben sich für die Kunden in niedrigeren Preisen niedergeschlagen (Abbildung 17). Die Preise von beschichteten Isolierglas sind um fast 50 % zurückgegangen. Tatsächlich ist es so, dass Wärmeschutzgläser höchster Performance im Jahr 2002 am Markt billiger verfügbar sind als unbeschichtete Isoliergläser im Jahr 1994. Dass im gleichen Zeitraum die Preise für unbeschichtete Gläser anstieg, ist damit zu erklären, dass es sich dabei heute quasi nur noch um Sondergläser handelt. Die direkte Vergleichbarkeit der Preise über die Zeit ist in dieser Produktgruppe deshalb stark eingeschränkt.

Mit der Verbreitung beschichteter Wärmeschutzgläser sind große Energieeinsparungen für die Gebäudeheizung verbunden. Geht man von einer durchschnittlichen Verbesserung der k-Werte von 3,0 W/m²K auf 1,1 W/m²K aus – ein Wert, der bereits Mitte der 80er Jahre erreicht wurde – so ergeben sich gemäß der unten stehenden Rechnung in Öläquivalenten ausgedrückt jährliche Einsparungen von 6,8 Mio. Hektolitern Heizöl.

k-Wert Verbesserung:	0,1 W/m ² K
Heizenergieeinsparung/m ² :	1,2 l/m ² a
Glasfläche/a:	3 x 10 ⁷ m ²
Δ k (beschichtet / unbeschichtet):	(3,0 – 1,1) W/m ² K = 1,9 W/m ² K
Heizenergieeinsparung/aD:	6,8 x 10⁸ l/a

Trotz dieser insgesamt erfolgreichen und erfreulichen Entwicklung war und ist allerdings auch mit Hemmnissen zu kämpfen. Auf technischer Seite bremsen die starren Abstandshalter den Produktivitätsfortschritt. Kostenungünstig sind außerdem Kundenwünsche nach anderen als rechteckigen Fensterformen. Gravierender als diese produktionstechnischen Probleme sind jedoch Hinderungseffekte, die durch Regulierungen entstehen. Eine konkrete Schwierigkeit bestand in der Vergangenheit bezüglich des Übergangs von der alten deutschen Regelung der Produktkennzeichnung zum EU-weiten CE-Zeichen. Die Vorgaben der neuen Kennzeichnungspflichten waren zunächst nicht erfüllbar, so dass eine eigentlich vorhandene Technik deshalb nicht zum Einsatz kam. Ein besonderes Kennzeichnungsproblem liegt in der Ermittlung der g-Werte¹² und in der zunehmenden Fertigung auf Kundenwunsch, bei der es keine Artikel-Nummern mehr gibt. Das Kennzeichnungsproblem könnte sich in Zukunft noch verschärfen, da der Trend zu klima-

¹² Gesamtenergie-Durchlasswert von Materialien in Bezug auf die einstrahlende Gesamtenergiemenge

empfindlichen (u. a. verdunkelbaren) Gläsern geht. Hier sind die Charakterisierungsmethoden noch völlig unklar.

Abbildung 16: Entwicklung der Mengen (oben) und der Herstellkosten¹³ (unten) für iplus-Gläser bzw. LowE-Gläser

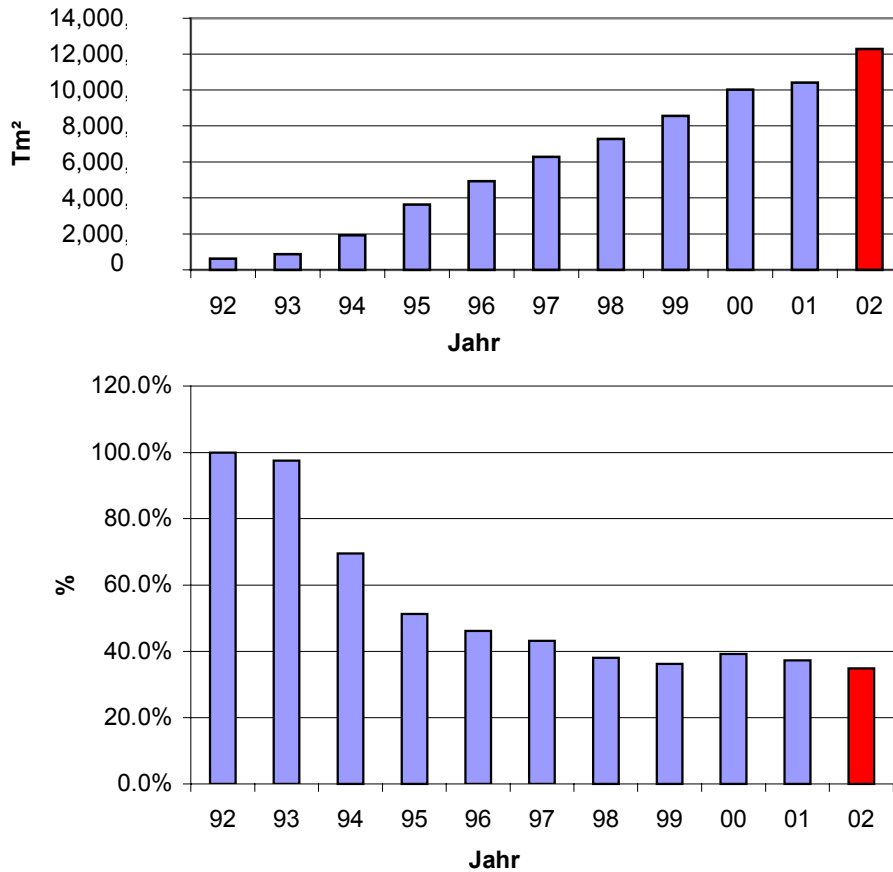
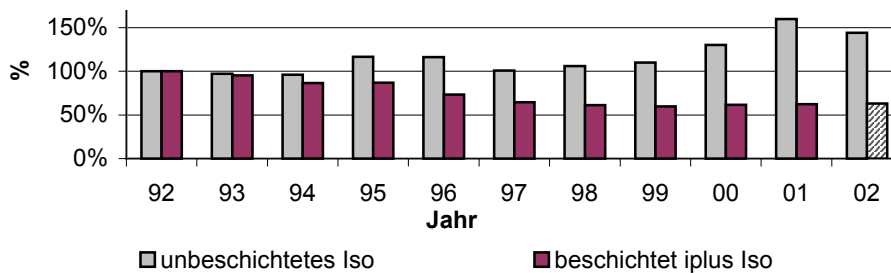


Abbildung 17: Verkaufspreise beschichteter und unbeschichteter Isoliergläser¹⁴



¹³ ohne Kosten für das Glas

¹⁴ Man beachte, dass der Preisvergleich gegenüber 1992 (=100 %) erfolgt. Ein absoluter Preisvorteil für beschichtetes gegenüber unbeschichtetem Isolierglas lässt sich aus dieser Graphik *nicht* ableiten.

2.4.3 Diskussion: Forschungs- und Handlungsbedarf zu Lerneffekten im Bereich der Gebäudetechnik

In der Diskussion der beiden vorangegangenen Vorträge wurden folgende Aspekte herausgearbeitet:

- Technische Entwicklung bei Wärmeschutzverglasung:
 - Es besteht Einigkeit, dass die wärmetechnische Entwicklung bei Scheiben weitgehend ausgereizt ist. Jetzt bildet der Rahmen die Schwachstelle. Die derzeitige technische Entwicklung arbeitet an seiner Verbesserung. Welche Lösung sich jedoch durchsetzen wird, ist noch unklar.
 - Auf Komponentenebene sind derzeit insbesondere Abstandhalter aus wärmetechnischer Sicht unbefriedigend. Die energetisch ungünstigste Variante ist gleichzeitig die verbreitetste. Das liegt unter anderem daran, dass Abstandhalter nicht nur unter wärmetechnischen Anforderungen ausgewählt werden. Ideale Materialien sind noch nicht verfügbar. Thermisch und isolierglastechnisch optimale Lösungen sind derzeit noch zu teuer. Die Mehrkosten lägen bei 1,5–2 €/m². Dagegen liegt der Gewinn derzeit nur bei 1 €/m². Gemessen an den erzielbaren Energiekosteneinsparungen durch optimale Abstandhalter müsste allerdings auch die Zahlungsbereitschaft der Kunden für solche weiter thermisch verbesserten Fenster höher sein.
- Energiepolitische Implikationen für den Bereich Wärmeschutzverglasung:
 - Spekulationen, wie die Entwicklung auf dem Markt für Wärmeschutzglas ohne die WSV oder beim Einsatz alternativer Politikinstrumente wie z. B. der Ökosteuer oder Investitionszulagen verlaufen wäre, sind schwer zu fundieren. Wichtig ist ein differenzierter Diskurs über verschiedenen Politikinstrumente in konkreten Kontexten.
 - Aus einem Ländervergleich lässt sich aber dennoch festhalten, dass sich Wärmeschutzglas vor allem in Ländern mit hohen Wärmeschutzstandards durchgesetzt hat. Dies gilt trotz internationalen Wettbewerbs und internationaler Herstellerunternehmen, wie z. B. Pilkington, deren Erfolg auf dem deutschen Markt kaum Effekte auf die Erschließung des Marktes in Großbritannien oder Frankreich hatte. Die Fortschritte in anderen Ländern sind geringer. Eine Ausnahme bildet jedoch Osteuropa, speziell Polen. Dort entwickelt sich der Markt auch ohne WSV sehr dynamisch.
 - Zur Frage, ob eine Ökosteuer die gleiche Signalwirkung gehabt hätte, ist aus Herstellersicht im Nachhinein keine Antwort möglich. Zentral ist die Verlässlichkeit der Förderung bzw. der Rahmenbedingungen. Es wird auf die erheb-

lichen Probleme verwiesen, die durch die Diskontinuität der Förderpolitik im Solarmarkt insbesondere für Kollektorhersteller und Zulieferer entstanden sind.

- Von der politischen Zielsetzung her sollte der Einsatz von Wärmeschutzglas im Altbau Priorität haben. Denn hier wurden bis Anfang der 90er Jahre noch viele Objekte mit Fenstern saniert, die einen sehr schlechten k-Wert (ca. $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$) aufweisen.
- Herausforderungen für die Forschung zu Lernkurven:
 - Für die Dynamisierung der Kosten fehlen Zeitreihen für die Produktion einzelner Komponenten und angemessene Preisindizes. Die Bestimmung der Fortschrittsrate reagiert sehr sensitiv auf die Anfangspreise und -mengen. Da diese oft unbekannt sind, behilft man sich hier mit der Berechnung verschiedener Szenarien, auf die sich dann Annahmen stützen lassen.
 - Prognosen von Lernraten sind nur dann möglich, wenn man die Produktionstechnik kennt. Nach einem Techniksprung, z. B. von Batch- auf Continubetrieb, ist mit einem Absinken der Fortschrittsrate zu rechnen. Hier gibt es aber Ausnahmen. So hat man in der Chemieindustrie trotz Continubetrieb auch weiterhin hohe Fortschrittsraten beobachtet.
 - Ob Lernkurven künftig auch als unternehmensstrategisches Instrument eine Rolle spielen könnten oder sollten, ist fraglich. Aus der Erfahrung von Interpane ist es für Hersteller ausreichend, Kostenkalkulationen über drei Jahre im Voraus anzustellen. Dabei lassen sich Skalierungseffekte und der Effekt größerer Produktionsmengen auf die Lohnkosten berücksichtigen.

2.4.4 Technologie- und energiepolitische Bedeutung von Lernkurven

Prof. Dr. Clas-Otto Wene, IEA

Über ihre Forschungs- und Entwicklungsausgaben unterstützen die Mitgliedsregierungen der IEA die Entwicklung neuer Energietechnologien. Diese Anstrengungen haben zu energieeffizienteren, saubereren Technologien geführt. Viele dieser Technologien sind jedoch bisher für die breite kommerzielle Anwendung noch zu teuer. Für diese Technologien verschiebt sich der Schwerpunkt der politischen Förderprogramme weg von öffentlichen F&E-Zuschüssen hin zu Maßnahmen der Markteinführung. Gemäß neuerer Fallstudien in IEA-Mitgliedsländern fließen mindestens ebenso viele oder sogar mehr öffentliche Gelder in Markteinführungsprogramme für spezielle Technologien als in entsprechende F&E-Vorhaben. Die Verschiebung

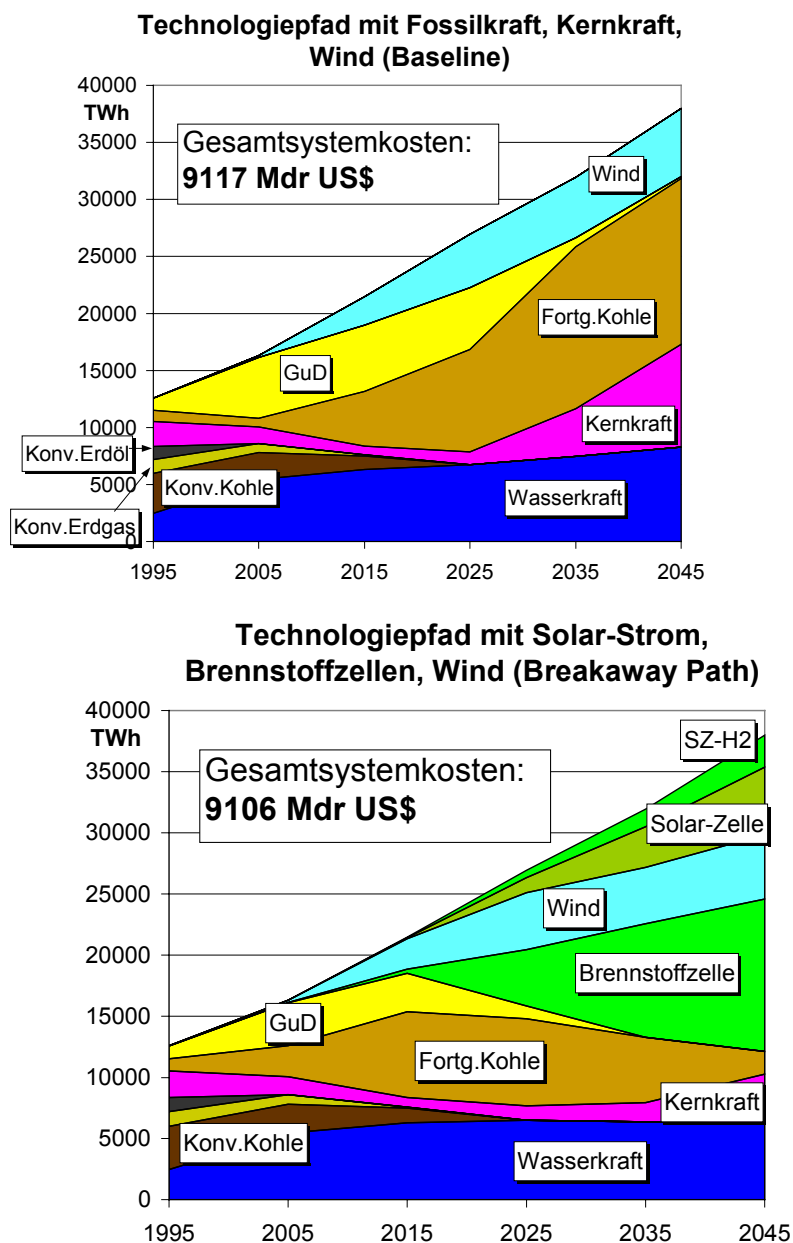
des Förderschwerpunkts wirft deshalb Fragen bezüglich der Effizienz solcher öffentlich geförderter Markteinführungsprogramme auf.

Erfahrungs- und Lernkurven zeigen, dass Investitionen in die Markteinführung junger Technologien deren Preise senken können und sie damit gegenüber vorhandenen kosteneffizienten Technologien wettbewerbsfähig machen. Welche Höhe an öffentlicher Förderung für die Markteinführung gesellschaftlich und energiepolitisch vertretbar ist, kann anhand von Energiesystemmodellen, die Lernkurven beinhalten, ermittelt werden. Allerdings ist die Abbildung von Lernkurven in einer optimierenden Umgebung mathematisch schwierig und erfordert hohe Rechenkapazitäten. Berechnungen mit dem Optimierungsmodell GENIE haben zu erstaunlichen Ergebnissen geführt: Bei gleichen Rahmenbedingungen liefert das Modell *zwei* optimale Lösungen für die zukünftige weltweite Stromversorgung, deren Gesamtkosten ungefähr gleich hoch sind, die sich jedoch im Technologiemix erheblich unterscheiden (Abbildung 18).

Zwei Aspekte erklären, wie diese Unterschiede zustande kommen. Zum einen treten in beiden Lösungen unterschiedlich starke Kostendegressionseffekte auf. Die erste Lösung (Referenzfall) setzt vor allem auf konventionelle Technologien und auf Neuentwicklungen wie z. B. die superkritische Kohle, die auf alte Systeme „aufgepfropft“ werden. Die Fortschrittsraten und Kostendegressionseffekte alter und aufgepfropfter Technologien sind verhältnismäßig gering. Dagegen kommen in der zweiten Lösung, dem „Break-away“-Pfad, verstärkt neue Technologien im Bereich erneuerbarer Energiequellen zum Einsatz, die sehr hohe Fortschrittsraten und damit eine starke Kostendegression aufweisen. Zum anderen unterscheidet sich der zeitliche Verlauf der Systemkosten. Über zwei Jahrzehnte liegen die jährlichen Kosten des Break-away-Pfades über denen des Referenzfalls. Das heißt, hier werden erheblich Lerninvestitionen getätigt. Diese zahlen sich später aus, so dass in der zweiten Hälfte des betrachteten Zeitraums die jährlichen Kosten des Break-away-Pfades deutlich unter dem Referenzniveau liegen.

Angesichts solcher Ergebnisse stellt sich die Frage welche Rolle staatlichen Maßnahmen zur Markteinführung einer Technologie zukommt und welche Maßstäbe für ihre Ausgestaltung gelten. Aus der Analyse von Erfahrungskurven ergeben sich zwei Kriterien für die Beurteilung, ob öffentlichen Gelder als Subventionen oder als Lerninvestitionen zu werten sind: (1) Sie sollten technologische Lerneffekte erzeugen, das heißt zu Kostensenkungen und der Verbesserung der Funktionsweise der Technologie führen; (2) Sie sollten eine Hebelwirkung auf private Lerninvestitionen ausüben.

Abbildung 18: Zwei Technologiepfade für globale elektrische Energiesysteme



Quelle: OECD, IEA 2000

Unter diesem Blickwinkel lassen sich Markteinführungsprogramme anhand von zwei Länderstudien – Deutschland und Japan – diskutieren. Für die Förderung solarthermischer Anlagen in deutschen Schwimmbädern gilt, dass sie zu erheblichen Kostenreduktionen und hohen Lernraten (30 % zwischen 1975 und 1993)¹⁵ geführt hat (Lawitzka 1992, 2000). Dies ist unter anderem durch den Technologie-

¹⁵ Dies entspricht einer Fortschrittsrate von 70 %. Zum Zusammenhang zwischen Lern- und Fortschrittsraten siehe IEA, OECD 2000, S. 64.

wechsel von Kollektoren auf Absorber zu erklären. Die Förderpolitik im Bereich Windenergie hat zu Lernraten von nur 18 % geführt. Betrachtet man die *Windturbinen* für sich, ergeben sich sogar nur 6 %. Dies läßt sich u. a. damit erklären, dass sie eine „aufgefropfte“ Technologie darstellen. Größere Verbesserungen wurden aber bei der Jahresnutzungsdauer erreicht, die von 13 auf 30 % gesteigert wurde. Das Verhältnis privater und öffentlicher Lerninvestitionen beläuft sich auf ca. 2:1. Begrenzt man die Analyse der Lerneffekte auf 1990 bis 2000 stellt sich die Frage, ob in diesem Zeitraum eine Überförderung der Windenergie vorlag. Die öffentliche Förderung (Stromeinspeisegesetz, 100/250-MW-Programm) erreicht in diesem Zeitraum ebenso wie die Lerninvestitionen Spitzenwerte. Die Lernrate fiel auf nur noch 6 % ab, wobei sich für die jüngste Vergangenheit eine Stagnation der Kostendegression oder sogar ein Kostenanstieg beobachten lassen.

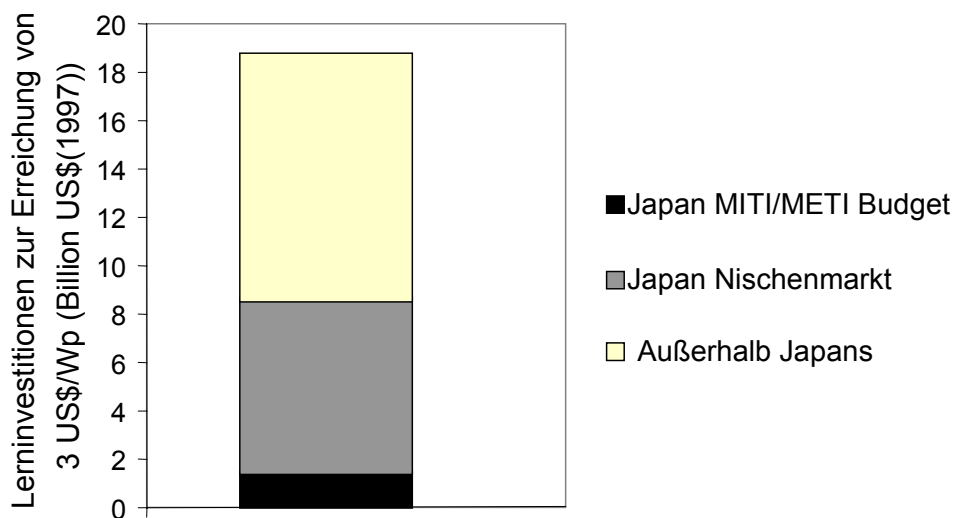
Japan bietet ein gutes Beispiel für Lerneffekte durch Förderung der Markteinführung von PV-Anlagen. Ausgehend von Anfangskosten von rund 30 US\$/Wp wurde bereits heute ein Preisniveau von nur noch 6–7 US\$/Wp und damit einen sehr guten Lerneffekt erreicht. Dieser Erfolg erklärt sich zum einen aus den hohen Preisen für zentral erzeugten Strom, die die Preiskonkurrenz für PV-Strom im Vergleich zu Europa abschwächen. Zum anderen ist Japan aber auch ein sehr gutes Beispiel für die Nutzung von Nischenmärkten als Auslöser privater Lerninvestitionen. Nischenmärkte zeichnen sich durch eine im Vergleich zur Allgemeinheit höhere Zahlungsbereitschaft für die betrachtete Technologie aus. Das heißt, dass hier bereits durch geringere öffentliche Zuschüsse Anreize für private Investitionen entstehen. Für Japan ist das Potenzial von Nischenmärkten für PV sehr hoch. Das Verhältnis zwischen privaten und öffentlichen Lerninvestitionen kann hier 5:1 erreichen. Die hohe private Bereitschaft zu Investitionen in PV erklärt sich zum einen aus den hohen Strompreisen sowie Einspeisevergütungen, zum anderen aus der hohen Neubaurate.

Damit PV-Strom in Japan tatsächlich wettbewerbsfähig wird, müssen die Kosten weiter sinken, nämlich auf schätzungsweise 3 US\$/Wp. Selbst bei voller Nutzung der Nischenmärkte kann Japan allein das dafür notwendige kumulierte Produktionsvolumen nicht in der beabsichtigten Zeit (bis 2007) erreichen. Lerninvestitionen in den übrigen Teilen der Welt müssen ebenfalls einen Beitrag zur Kostendegression leisten. Dies ist möglich, da Lernen global stattfindet. Bei der Planung der japanischen Förderpolitik wird davon ausgegangen, dass die Zuwachsraten bei PV in der übrigen Welt konstant bei 15 % bleiben (Abbildung 19).

Die Lernkurvenanalyse einer angemessenen Förderpolitik für PV hat in Japan praktischen Eingang in die Förderpolitik gefunden, indem Fördervolumina und -zeiträume kürzlich an die geschätzten notwendigen Lerninvestitionen angepasst wurden. Die Analyse von Lernkurven kann also wichtige politikrelevante Entscheidungsunterstützung bieten. Einige wichtige Fragen sind jedoch noch offen, z. B.:

- Wie hängen lokale Markteinführung und globales Lernen zusammen?
- Welche Rolle können Nischenmärkte spielen und wie lässt sich ihre Kapazität bestimmen?
- Wie lassen sich F&E und Markteinführung besser koordinieren?
- Wann tritt eine Überstimulierung der Märkte ein und wie lässt sie sich verhindern?
- Wie lässt sich die Leckage des Lernens von originären Lerneffekten unterscheiden und für die Prognose von Lernraten nutzen?

Abbildung 19: Lerninvestitionen in PV-Systeme im Wohnungssektor



Quelle: OECD/IEA 2000 (Szenario „Historical Growth“)

2.4.5 Innovations- und Diffusionsprozesse in großen technischen Infrastruktursystemen – Beispiel KWK

Dr. K. Matthias Weber, ARC Seibersdorf research

Neuere Arbeiten aus der sozialwissenschaftlichen Technik- und Innovationsforschung verweisen auf die Notwendigkeit, den Blick stärker auf die dynamischen Prozesse zu lenken, die der Verbreitung neuer Technologien in großen technischen Systemen zugrunde liegen. Aus dieser Perspektive sind Hemmnisse bzw. Erfolgsfaktoren um die über den Zeitablauf wirkenden wechselseitigen Abhängigkeiten und Verzögerungs- bzw. Verstärkungsmechanismen zu ergänzen. Diese können eine eigene Dynamik entwickeln und beispielsweise Pfadabhängigkeiten begründen.

Wenn wir von Verzögerungs- bzw. Verstärkungsmechanismen reden, beziehen sich diese auf die Technologien, aber ebenso auf notwendige Kontextveränderungen.

Zur Überwindung von Hemmnissen und Verzögerungsmechanismen sind deshalb Lerneffekte nicht nur auf der technologischen, sondern auch auf der institutionellen, strukturellen und politischen Ebene erforderlich. Am Beispiel der Innovations- und Diffusionsprozesse bei Kraft-Wärme-Kopplung während der 80er und 90er Jahre in Großbritannien, Deutschland und den Niederlanden werden die Unterschiede im Umgang mit dieser Herausforderung herausgearbeitet und verglichen (Weber 2002, Weber 1999).

Die Entwicklung und heutige Bedeutung von KWK in den drei Ländern ist sehr unterschiedlich. Vergleicht man ihren Anteil an der elektrischen Kapazität Anfang der 80er Jahre und Ende der 90er Jahre, ergibt sich für die drei Länder folgendes Bild:

Tabelle 2: Entwicklung der KWK-Kapazität im Ländervergleich

	Anfang der 80er Jahre		Ende der 90er Jahre	
UK	gering	(ca. 4 %)	gering – mittel	(6 %)
D	mittel – hoch	(18 %)	mittel – hoch	(18 %)
NL	mittel	(10 %)	hoch	(> 30 %)

Quelle: Weber 2002

Diese Unterschiede lassen sich nicht allein durch technische Faktoren erklären. Vielmehr haben Unterschiede in Innovations-, Informations- und Politiknetzwerken, letztere vor allem im Hinblick auf die politische Gestaltung der Liberalisierung der Elektrizitätswirtschaft, eine Rolle gespielt. Dies schlägt sich in einer unterschiedlichen Nutzung oder Beeinflussung der dynamischen Mechanismen der Verbreitung von KWK nieder. Tabelle 3 gibt einen Überblick über solche Mechanismen und gewichtet ihre Rolle in den einzelnen Ländern. Zu den Mechanismen, die durchgehend von grosser Bedeutung waren, zählen:

- *Informationen über Erfolge und Misserfolge:* Die bremsende Wirkung von Misserfolgen ist nicht zu unterschätzen. Ein fehlgeschlagenes KWK-Projekt führte oft zum zeitweiligen Versiegen des lokalen Marktes. In Großbritannien galt nach schlechten Erfahrungen mit Ansätzen der Fernwärmeversorgung in den 60er und 70er Jahren die KWK als „verbrannte Erde“.
- *Politiklernen:* Der Lernprozess betrifft die Gestaltung des Regulierungsrahmens im Energiemarkt. Wichtig waren durchweg Erfahrungen mit der KWK-Anwendung in lokalen Nischen sowie ökonomische und umweltbezogene Informationen, die national oder international im Lauf der Jahre zusammengetragen werden konnten. Diese Sichtweise versteht Politik als integralen Bestandteil des betrachteten Systems, d. h. die Politik beteiligt sich an einem kollektiven Lernprozess.

- *Economies of scale and scope*: KWK birgt große Potenziale für economies of scope, setzt aber die horizontale Integration von Versorgungsdienstleistungen, wie Wärme und Strom, voraus. In Deutschland waren dafür von Anfang an günstige Strukturen vorhanden, nämlich im Rahmen der kommunalen Energieversorgung. In Großbritannien mussten sich solche integrierten Energiedienstleister erst etablieren, haben dann aber für die Entwicklung von KWK eine große Rolle gespielt.
- *Lernen von good practices*: Die Reputation von KWK hat sich durch die Verbreitung positiver Erfahrungen deutlich verbessert. Dieser Mechanismus bedarf in der Regel einer Institution, die Informationen über good practices sammelt, aufbereitet und verteilt. In Deutschland wird diese Rolle häufig von Wirtschaftsverbänden wahrgenommen, während in Großbritannien und den Niederlanden dafür eigene Einrichtungen geschaffen wurden.
- *Balance von Verlässlichkeit und Flexibilität der Randbedingungen*: Damit wird der Zeithorizont, mit dem in der Wirtschaft und Forschung geplant wird, beeinflusst. In der Phase des Übergangs zur Liberalisierung in Deutschland im Jahr 1998 traten hier große Verunsicherungen auf, sogar das Aus für die KWK wurde befürchtet trotz des vergleichsweise hohen Anteils an der Gesamtkapazität und den bis dato sich sukzessive verbessernden Randbedingungen für KWK.

Tabelle 3: Dynamische Mechanismen und Hemmnisse bei der KWK

	UK	D	NL
Informationen über Erfolge und Misserfolge	+	+	+
Lernen in Experimenten und Pilotprojekten	o	++	+
Packaging	+	o	+
Design Standards	--	+	-
Herausbildung von Trägerorganisationen	-	+	++
Lernen über neue Rahmenbedingungen	+	o	+
Politiklernen	+	+	+
Konsenslösungen und gemeinsame Leitbilder	-	+	++
Technologische Interdependenzen	++	+	o
Economies of scale and scope	+	+	+
Organisatorische Interdependenzen	+	+	o
Lernen von good practices	+	+	+
Raum für Experimente und Variation	-	++	+
Verlässlichkeit vs. Flexibilität von Randbedingungen	+	+	+

-- no impact - little impact o moderate impact + high impact ++ very high impact

Quelle: Weber 2002

Mechanismen, die speziell in Deutschland eine große oder sehr große Rolle gespielt haben, sind weiterhin:

- *Lernen in Experimenten und Pilotprojekten*: Dieser Mechanismus nutzt den Erfahrungsaustausch zwischen Technologieanbietern und Vorreitern unter den Nutzern. Er kann als Ansatzpunkt für Technologiepolitik genutzt werden.
- *Design-Standards und Packaging*: In Deutschland spielte z. B. der VDI für die Etablierung von Design-Standards für Blockheizkraftwerke eine maßgebliche Rolle. Durch diese Festlegungen wurden zum einen Skaleneffekte durch Standardisierung ermöglicht, zum anderen wurde aber auch die Akzeptanz unter den Planern und Technikern erhöht. Man kann hier vom Überwinden eines „kritischen Schwellenwertes“ durch die Etablierung von Design-Standards sprechen, durch die quasi über Nacht eine breite Akzeptanz der Technologie erreicht und damit große Impulse ausgelöst werden konnte. Im Vergleich zu Großbritannien und den Niederlanden ist die große Bedeutung dieses Mechanismus für Deutschland besonders auffällig. Das Packaging, das in den anderen Ländern zu Standardisierungseffekten auf der Ebene von einzelnen Systemanbietern von BHKW geführt hat, fällt in Deutschland dagegen in der Bedeutung zurück.
- *Herausbildung von Trägerorganisationen*: In Deutschland wurden für die Innovation und Diffusion von KWK im wesentlichen bestehende dezentrale institutionelle Strukturen, vor allem Wirtschaftsverbände als Bindeglied zwischen verschiedenen Akteuren genutzt. In den Niederlanden konnte dieser Mechanismus noch stärker zu Gunsten von KWK mobilisiert werden, indem eine Trägerorganisation – das Projektbüro Kraft-Wärme-Kopplung „PWK“ – eigens für die Aufgaben der KWK-Förderung (z. B. Funktion als „Netzwerkknoten“ zur Stärkung der Netzwerke, Kommunikationsplattform, Informationsbüro etc.) etabliert wurde.
- *Konsenslösungen und gemeinsame Leitbilder* begünstigen die zügige Einführung von KWK. Durch übereinstimmende Sichtweisen über die Technologie und die zukünftige Entwicklung wird die Einigung zwischen den Beteiligten erleichtert. In den Niederlanden wurde der Konsensfindung großer Wert beigemessen. In Deutschland fand die Konsensbildung nur innerhalb derjenigen Wirtschaftsbranchen statt, die von der Nutzung der KWK profitieren konnten, d. h. bei den Kommunen und den energieintensiven Industrien, aber natürlich auch bei den neu entstehenden Energiedienstleistern. Ein breiter Konsens über eine geeignete Strategie zum Ausbau der KWK konnte nicht erzielt werden. In Großbritannien setzte sich die nationale Energiepolitik mit ihrer Ausrichtung auf Liberalisierung und Privatisierung aufgrund ihrer traditionell starken Position durch, ohne zuvor einen Konsens herzustellen. Dies hat die Verbreitung von KWK jedoch nachträglich behindert.
- *Technologische und organisatorische Interdependenzen* wirken in der Regel strukturbewahrend. Vor allem Großbritannien vor der Liberalisierung kann als Beleg hierfür dienen. Gelingt es jedoch, solche Interdependenzen für die neue

Technologie zu etablieren, kann die bewusste Schaffung von Interdependenzen für die Beschleunigung des Innovations- und Diffusionsprozesses genutzt werden, wie vor allem das Beispiel der Niederlande zeigt.

- *Raum für Experimente und Variation:* Durch die föderale Struktur in Deutschland entstanden viele regionale Unterschiede in der Umsetzung des Regulierungsrahmens. Dadurch wurden verschiedenartige Nischenmärkte und Raum für vielfältige Erfahrungen geschaffen, von denen andere Regionen wiederum profitieren konnten.

Ein Mechanismus, der in Deutschland nur zum Teil seine Wirkung entfaltet hat und damit eher zum Verzögerungsmechanismus wurde, ist das *Lernen über neue Rahmenbedingungen*. Die Liberalisierung hat neue Anreizmechanismen geschaffen und Möglichkeiten des KWK-Einsatzes verändert. Erst wenn diese Auswirkungen für KWK erkannt werden und in die Gestaltung der Liberalisierung einfließen, kann sich diese Technologie verbreiten. Ein kritischer Schritt in diese Richtung war und ist die Einigung auf verlässliche Regeln für die Vergütung von KWK-Strom unabhängiger Produzenten. Andererseits hat die großzügigere Interpretation von Regulierungen in einzelnen Bundesländern auch Nischen geschaffen, anhand derer man über die Wirkung von Rahmenbedingungen und den Einsatz der Technologie einiges lernen konnte, was dann später auch in anderen Bundesländern umgesetzt wurde.

Die Analyse von Innovations- und Diffusionshemmnissen für neue Technologien im Bereich der Energieversorgung hat dazu beigetragen, unser Verständnis politischen Handlungsbedarfs und politischer Handlungsmöglichkeiten in diesem Feld zu verbessern. Der Gedanke, dem Innovations- und Diffusionsprozess eine Richtung geben zu wollen, entstammt allerdings nicht originär der Diffusionsforschung, sondern den Arbeiten über Umweltinnovationen. Die Anerkennung der Komplexität von Innovations- und Diffusionsprozessen bringt aber ein besseres Verständnis der Möglichkeiten und der Grenzen der politischen Steuerung und Richtunggebung bei Innovationen mit sich.

Aus der Diskussion der Verzögerungs- und Verstärkungsmechanismen lässt sich festhalten, dass die Gestaltungsmöglichkeiten der Politik zwei Ebenen besitzen, nämlich die eher akteursnahe netzwerk- und technologiebezogene Ebene und die Ebene struktureller Faktoren, auf der die Regulierung des Kontexts, nämlich des Energiesystems, angesiedelt ist. Der Innovations- und Diffusionsprozess einer Technologie, hier KWK, hängt vom Zusammenspiel dieser beiden Ebenen ab. In den drei betrachteten Ländern wurden unterschiedliche dynamische Mechanismen in Gang gesetzt und diese zwei Ebenen unterschiedlich stark beeinflusst. In Großbritannien wurde die Diffusion der KWK vor allem durch eine entsprechende Setzung der Rahmenbedingungen bei der Liberalisierung bestimmt (Tabelle 4). Die bescheidenen politischen Ziele im Hinblick auf KWK (5000 MW Leistung bis zum

Jahr 2000) wurden mit dieser Strategie zwar nur knapp verfehlt, aber das vorhandene Potenzial wurde auch bei weitem nicht ausgeschöpft.

Tabelle 4: Politische Strategien für KWK

Technologie- und netzwerk-bezogene Faktoren	Strukturelle Faktoren	
	Große Bedeutung	Geringe Bedeutung
Große Bedeutung	<i>“Co-evolutionary strategy”</i> KWK in den Niederlanden	<i>“Network-driven strategy”</i> KWK in Deutschland
Geringe Bedeutung	<i>“Strategy of structural change”</i> KWK in Großbritannien	<i>“Passive strategy”</i>

Quelle: in Anlehnung an Weber, Hoogma (1998)

Der Ausbau der KWK stand angesichts der ideologisierten Debatte über die Vor- und Nachteile der Liberalisierung auch gar nicht im Vordergrund der Debatte. In Deutschland erhielt die KWK bei der Ausgestaltung der Liberalisierung zunächst eine nur geringe Priorität; die Politik konzentrierte sich eher auf die Ebene der technologischen und netzwerkbezogenen Faktoren. Erst in den letzten Jahren seit der Liberalisierung im Elektrizitätsbereich wird zunehmend die Frage nach der Rolle der Rahmenbedingungen gestellt. Die rasante Entwicklung von KWK in den Niederlanden läßt sich damit erklären, dass verschiedene Maßnahmenebenen parallel verfolgt wurden, d. h. technologiepolitische Maßnahmen, neben Begleitmaßnahmen informatorischer Art und einer KWK-freundlichen Ausgestaltung des Regulierungsrahmens. Beide Systemebenen wurden im Sinne einer „ko-evolutionären“ Strategie zum Gegenstand von Veränderungsprozessen. Die turbulente Phase der Liberalisierung wurde so für KWK genutzt. Die Kombination struktureller und organisatorischer Maßnahmen mit geeigneten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, der gezielten technologiepolitischen Unterstützung und mit Begleitmaßnahmen informatorischer Art im Sinne eines „Transition Management“ hat sich bewährt.

2.4.6 Diskussion: Forschungs- und Handlungsbedarf zur energiepolitischen Bedeutung von Lernprozessen

In der Diskussion der beiden vorangegangenen Vorträge wurden folgende Aspekte herausgearbeitet:

- Forschungsbedarf bei der Optimierung von Energiesystemen auf der Basis von Lernkurven:

In der Frage der *Datenbeschaffung* für die Abschätzung von Erfahrungskurven hat es sich bewährt, auf Preisdaten statt auf Kosten zurückzugreifen, da diese

Daten leichter erhältlich sind. Diese Methodik basiert auf den Arbeiten der Boston Consulting Group, denen zufolge sich Kosten und Preise im Gleichgewicht parallel entwickeln. Allerdings kann es in Ungleichgewichtssituationen zu Preis-Kosten-Zyklen kommen, die dazu führen, dass die Preise nicht in dem Maße sinken wie die Kosten – ein Phänomen, das vom Windenergiemarkt bekannt ist. Die Verwendung von Preis- anstelle von Kostendaten erfordert daher eine gewisse Erfahrung.

Kostenunterschiede zwischen Szenarien mit konventionellen und neuen Technologien: In den Szenarien der Enquête-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ werden bei gleicher Emissionsminderung sehr große Kostenunterschiede ausgewiesen. Insbesondere fällt auf, dass die Kosten der Szenarien, in denen neue Technologien zum Einsatz kommen, sehr hoch sind. Die Frage, ob die Gründe dafür in der systematischen Überschätzung der zukünftigen Kosten in diesen Szenarien liegen, wurde bejaht. Gleichzeitig ist jedoch zu berücksichtigen, dass Lerninvestitionen einem Risiko unterliegen; Fortschreibungen von Erfahrungskurven für die Zukunft können sich als falsch erweisen. Mit dem GENIE-Modell wurden deshalb auch stochastische Berechnungen angestellt, bei denen die Lernrate als unsicher modelliert wurde. Übersteigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Lernrate bei PV mindestens 20 % beträgt, den Wert von 25 %, werden Lerninvestitionen empfohlen.

Ein weiterer Grund für überhöhte Kostenschätzungen bei Szenarien mit neuen Technologien kann darin liegen, dass in den Studien der Enquête-Kommission nur Deutschland betrachtet wird, so dass sich globales Lernen nicht endogen abbilden läßt. Dies stellt eine Schwachstelle dar, denn die Prognose von Lernraten braucht eine globale Analyse. Ein weiterer entscheidender Parameter, der die Höhe der notwendigen Lerninvestitionen und damit die Geschwindigkeit der Kostendegression und die Gesamtkosten des Systems beeinflusst, ist die angenommene Zuwachsrate. Werden niedrige Zuwachsraten angenommen, treibt dies die Kosten von Szenarien mit neuen Technologien in die Höhe.

Technologiepfade für Techniken der rationellen Energienutzung: Die Fundierung von Energiesystemmodellen mit Lernkurven ist bisher nur im Bereich der Stromerzeugung gelungen. Es wäre wünschenswert, auch für die Abschätzung der zukünftigen Kosten von Energieeffizienztechnologien mit Erfahrungskurven zu arbeiten, da sonst Verzerrungen zwischen den Technologiepfaden zu Lasten der rationellen Energienutzung entstehen. Diese Aufgabe steht auf der Agenda der Forschung. Die vorangegangenen Vorträge zu Lerneffekten im Bereich der Gebäudetechnik zeigen, dass Lerneffekte messbar sind. Auch bei energieeffizienten Kühltürmen hat man schon Kostendegression festgestellt. Die Modellierung erweist sich allerdings bisher noch als schwierig. Neben den REN-Techno-

logien sollte auch die Konzeption von Nischenmärkten noch stärker erforscht werden.

- Weitere Dimensionen der Herausforderung an die Modellierung:

Agenten-basierte Ansätze: Um Hemmnisse besser in Modellen erfassen zu können, müsste die Akteursebene stärker berücksichtigt werden. Bisher greift man für diese Fragestellung meist auf Fallstudien zurück. Notwendig wäre aber ergänzend eine stärker quantitative Analyse. Agenten-basierte Ansätze, wie sie bereits aus anderen Themenfeldern – z. B. der evolutorischen Ökonomie oder der Sozialpsychologie – bekannt sind, könnten hier Möglichkeiten eröffnen. Ihre spezielle Stärke liegt in der Kapazität, heterogene Akteure abzubilden. Ihre quantitative Präzision ist aber den Energiesystemmodellen weit unterlegen. Sie liefern eher Ergebnisse in „stilisierter“ Form als empirisch belastbare Aussagen zu quantitativen Größenordnungen.

Abbildung von Interdependenzen: Bei der Modellbildung von Innovationssystemen im Bereich erneuerbarer Energien und energieeffizienter Technologien muss der Fokus von der bisherigen Abbildung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen verstärkt auf die Abbildung von Interdependenzen verschoben werden. Ein solcher Paradigmenwechsel ist in der Innovationsforschung allgemein zu beobachten.

- Empfehlungen für die Energiepolitik:

Kohärenz der Politik: Um Kostendegressionseffekte durch globales technologisches Lernen zu erreichen, ist die Kohärenz der Politik zwischen den marktführenden Ländern auf großen Technologiegebieten ein Muss. Nur so können Zuwachsraten erreicht werden, die eine genügend rasche Kostendegression erwarten lassen. Sind hingegen die Zuwachsraten zu gering und ist damit die Kostendegression zu langsam, können die notwendigen Lerninvestitionen einen prohibitiv großen Umfang annehmen.

Rolle von Institutionen und organisatorischem Lernen: Die Forderung, dass die gezielte Förderung von Lerneffekten andere, nämlich politik- und lobbyferne Institutionen braucht, stieß auf Ablehnung. Institutionen spielen in den einzelnen Ländern bei den Lern- und Diffusionsprozessen sehr unterschiedliche Rollen. Beispielsweise haben wissenschaftliche Institutionen im deutschen eher expertenhörigen System eine stärkere Position als im britischen System, das mehr auf Bargaining-Prozessen beruht. Zumindest sollten keine zusätzlichen Institutionen geschaffen werden, sondern eventueller Änderungsbedarf sollte durch organisatorisches Lernen befriedigt werden.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich organisatorisches Lernen im Gegensatz zu technologischem Lernen nicht global, sondern eher länderspezifisch oder sogar bundesländerspezifisch vollzieht. Erst allmählich findet auch EU-weites organisatorisches Lernen statt. Die Rolle organisatorischen Lernens für die Ausbreitung einer Technologie ist der des technologischen Lernens ebenbürtig, auch wenn es sich nicht mathematisieren und deshalb nicht in Modellen abbilden lässt.

Welcher Technologiepfad wird kommen? Die Modellierungsergebnisse weisen mehrere mögliche Technologiepfade aus, die sich teilweise erheblich unterscheiden. Die Frage, welcher der Technologiepfade die wahrscheinliche Entwicklung darstellt, verkehrt sich angesichts der Handlungsmöglichkeiten der Politik in die Frage der Wahl. Bei einem Laissez-Faire-Politikstil wird sich eher die Referenzentwicklung einstellen, während die Erreichung anderer Pfade gezielte Lerninvestitionen mit staatlichem Anstoß voraussetzt. Metaphorisch gesprochen, kann man sich die verschiedenen Technologieoptionen als eine Landschaft mit Tälern und Bergen vorstellen. Die Politik muß entscheiden, an welcher Stelle sie eine Kugel fallen lässt, je nachdem in welches Tal die Kugel rollen soll.

Effizienz der nationalen KWK-Politiken im Vergleich: Aus den Darstellungen der politischen Initiativen zur Förderung von KWK in Großbritannien, den Niederlanden und Deutschland entsteht der Eindruck, dass Großbritannien zwar nur relativ bescheidene KWK-Anteile erreicht, aber auch nur wenig Förderung investiert hat und somit durchaus effizient gewesen sein könnte. Die Niederlande haben sehr hohe KWK-Quoten erreicht, hierfür aber auch ein hohes Maß an Förderaktivitäten unternommen – somit kann auch ihre Politik als effizient betrachtet werden. Für Deutschland entsteht jedoch der Eindruck, dass trotz hoher Anstrengungen keine Erhöhung der KWK-Quote erreicht werden konnte, was die Effizienz der politischen Bemühungen in Frage stellt.

Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass das deutsche korporatistische System dem massiven Widerstand, unter anderem der Stromwirtschaft, großen politischen Einfluss ermöglicht hat. Auch in Großbritannien hatten die Stromerzeuger bis 1983 sehr großen Einfluss und haben KWK bis dahin völlig blockiert. Nach der Liberalisierung hat sich das Beziehungsmuster zwischen politischem System und Stromwirtschaft dort jedoch stark gewandelt. Die Stromwirtschaft gab ihre Opposition auf und reagierte schließlich in einem Zeitraum von 2–3 Jahren mit einer Refokussierung ihrer Aktivitätsbereiche. In Deutschland hat die Liberalisierung bislang nicht zu einer Änderung in der Beziehung zwischen Politik und Elektrizitätswirtschaft geführt. Das eher halbherzig Betreiben der KWK-Förderung von Seiten der Politik hat – im Gegensatz zu einem kompletten Rückzug – die politische Kontaktfläche aufrechterhalten, und die Politik blieb weiterhin Lobbyziel. In Großbritannien hat sich die Politik dagegen aufgrund ihrer Passivität weitgehend dem Lobbyismus entzogen. Hier ist es die Regulierungsbe-

hörde, in deren Umfeld nun die Auseinandersetzungen über die Ausgestaltung der liberalisierten Rahmenbedingungen ablaufen.

2.5 **Ausblick**

Dr.-Ing. Helmut Lawitzka, BMWi

Vor dem Hintergrund der teilweise hohen Erwartungen, die in den Vorträgen und vor allem in der Diskussion an die Politik formuliert wurden, warb Herr Lawitzka vorab um Verständnis für die Lage der öffentlichen Hand mit folgendem Zitat von Cicero (106–43 v. Chr.):

„Der Staatshaushalt muss ausgeglichen sein,
die Staatskasse wieder aufgefüllt werden.
Die öffentlichen Schulden müssen
verringert werden.

Die Arroganz der Bürokratie muß gemäßigt
und kontrolliert werden.
Die Entwicklungshilfe muß reduziert werden,
wenn der Staat nicht bankrott gehen soll.

Die Leute sollen wieder lernen zu arbeiten,
statt auf öffentliche Rechnung zu leben.“

Die Rolle der Veranstaltungsreihe FORUM Hemmnisabbau stellte Herr Lawitzka in Zusammenhang mit drei Stufen, die jedes Problem in der gesellschaftlichen Wahrnehmung und politischen Diskussion durchläuft: Zunächst wird es lächerlich gemacht, dann wird es bekämpft und schließlich gilt es als selbstverständlich. Den kürzlich in der *ZEIT* erschienenen Bericht über Energieeinsparpotenziale bei elektrischen Antrieben im Haushaltsbereich anlässlich einer Studie, die das BMWi finanziert hat (Langgassner 2001, BINE-Projekt-Info 12/01), wertete Herr Lawitzka als ein Beispiel dafür, dass das Thema Energieeffizienzpotenziale, und speziell effiziente Antriebe, nun diese dritte Stufe erreicht hat. Er erinnert daran, dass bereits auf dem Seminar im FORUM Hemmnisabbau im Jahr 2000 die Potenziale hocheffizienter Elektromotoren Thema gewesen waren. Herr Lawitzka appellierte an die Teilnehmer, auch weiterhin Beiträge dafür zu leisten, dass Probleme das Stadium der dritten Stufe erreichen und als solche anerkannt – und schließlich behandelt werden. Als Ermunterung dazu zeigt er abschließend die untenstehende Karikatur.

GIB NIE AUF!



3 Literaturhinweise

- Böde, U.; Gruber, E.; Jochem, E. (1999): Hemmnisabbau bei der rationellen Energieverwendung: Wohn- und Verwaltungsgebäude: Bericht zum Expertenforum 21.–22. September 1998 im BMBF, Bonn. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Böde, U., Gruber E. und Jochem, E. (2000): Bericht zum Experten-Forum „Hemmnisabbau bei der rationellen Energieverwendung – Industrie“ 27.–28. März 2000. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Brechling, V.; Smith, S. (1992): The pattern of energy efficiency measures amongst domestic households in the UK. Commentary No.31. London: Institute for Fiscal Studies.
- Cuhls, K.; Blind, K.; Grupp, H. (Hrsg.) (1998): Zukunft nachgefragt – Studie zur globalen Entwicklung von Wissenschaft und Technik. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- DeCanio, S. J. (1998), The efficiency products: bureaucratic and organisational barriers to profitable energy saving investments. *Energy Policy* 26, No. 5, S. 441-454.
- De Groot, H.L.F. , Verhoef, E. T., und Nijkamp P. (2001): Energy savings by firms: decision-making, barriers and policies. *Energy Economics* 23, S. 717-740.
- Frahm, Th.; Gruber, E.; Ostertag, K. et al. (1997): Verhaltens- und Hemmnisforschung im Bereich Energie – Stand und Perspektiven : Bericht zum Experten-Seminar 9.–10. Juni 1997 im BMBF, Bonn. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Geiger, B.; Gruber, E.; Megele, W. (1999): Energieverbrauch und Einsparung in Gewerbe, Handel und Dienstleistung. Heidelberg: Physica (Reihe „Technik, Wirtschaft und Politik“, Bd. 36).
- Gerybadze, A.; Meyer-Krahmer, F.; Reger, G. (1997): Globales Management von Forschung und Innovation. Stuttgart.
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2000): Methodological and technological issues in technology transfer. A special report of IPCC Working Group III. Cambridge: University Press.
- Jakob, M.; Jochem, E.; und Christen, K. (2002): Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienzinvestitionen in Wohngebäuden. Centre for Energy Policy and Economics (CEPE) und HBT, ETH Zürich, im Auftrag des Bundesamts für Energie, Bern (erscheint September 2002).

- Langgassner, W. (2001): Energieeffizienz elektrischer Antriebe in Haushaltsgeräten. Herrsching: Energie- und Management (IFE-Schriftenreihe, Bd. 45).
- Lawitzka, H. (1992): Lernkurven von sogenannten Technologiefamilien als Strategieinstrument von Forschung und Entwicklung. Statusbericht: Selektive Schichten in der Solartechnik. BMBF-Statusseminar, 18.–19. März 1992. Physik-Zentrum Bad Honnef. Bonn, Berlin (BMBF).
- Lawitzka, H. (2000): Use of experience curves within Germany's R&D Programme. In: Wene, C.-O.; Voß, A.; Fried, T. (Hrsg.): Experience curves for policy making. The case of energy technologies. Proceedings of the IEA International Workshop at Stuttgart, 10–11 May 1999. Stuttgart (IER). (Forschungsberichte des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Bd. 67) S. 257-268.
- OECD, IEA (2000): Experience curves for energy technology policy. Paris (OECD).
- Ostertag, K. (2002): "No-regret" potentials in energy conservation. An analysis of their relevance, size and determinants. Doctoral Thesis, Strasbourg, Université Louis Pasteur (Buchveröffentlichung voraussichtlich Ende 2002).
- Scott, S. (1997): Household energy efficiency in Ireland: A replication study of ownership of energy saving items. *Energy Economics* 19, S. 187-208.
- Weber, K. M.; Hoogma, R. (1998): Beyond National and Technological Styles of Innovation Diffusion: A Dynamic Perspective on Cases from the Energy and Transport Sectors. *Technology Analysis & Strategic Management*, 19(4), S. 545-565.
- Weber, K. M. (1999): Innovation Diffusion and Political Control of Energy Technologies. A comparison of combined heat and power generation in the UK and Germany, Heidelberg: Physica.
- Weber, K. M. (2002): Innovation networks and the transformation of large socio-technical Systems. The case of combined heat and power technology. Aus: Pyka, A.; Küppers, G. (Hrsg.): Self-organising innovation networks. Theory and policy. Cheltenham: Edward Elgar (im Erscheinen).
- Wengel, J.; Schirrmeister, E. (2000): Innovationsprozess vom Verbrennungsmotor zur Brennstoffzelle. Chancen und Risiken für die baden-württembergische Industrie. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

4 Adressen der Teilnehmer

Referenten und Moderatoren

Dr. Rolf Blessing

Interpane Entwicklungs- und Beratungsgesellschaft mbH & Co
Postfach 11 50
37697 Lauenförde
Tel. 05273 / 809–400, Fax 05273 / 809–401
E-Mail kerstin.desch@eub.interpane.net (Sekr.)

Robert Franz

Viessmann Werke GmbH & Co
Viessmannstr. 1
35107 Allendorf (Eder)
Tel. 06452 / 70–27 42, Fax 06452 / 70–57 42
E-Mail Frz@viessmann.com

Edelgard Gruber

Fraunhofer ISI, Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe
Tel. 0721 / 68 09–159, Fax 0721 / 68 09–272
E-Mail Edelgard.Gruber@isi.fhg.de

Martin Jakob

CEPE ETH Zentrum, WEC
8092 Zürich, SCHWEIZ
Tel. 0041 (1) 63 20 653, Fax 0041 (1) 63 21 622
E-Mail martin.jakob@cepe.mavt.ethz.ch

Prof. Dr. Eberhard Jochem

Fraunhofer ISI, Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe
Tel. 0721 / 68 09–169, Fax 0721 / 68 09–280
E-Mail Eberhard.Jochem@isi.fhg.de

Kai Klinder

Joh. Vaillant GmbH
Berghauser Str. 40
42859 Remscheid
Tel. 02191 / 18–22 17, Fax 02191 / 18–23 49
E-Mail Kai.Klinder@vaillant.de

Dr.-Ing. Helmut Lawitzka

BMWi Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

Villemombler Straße 76

53123 Bonn

Tel. 0228 / 615–31 63, Fax 0228 / 615–31 81

E-Mail lawitzka@bmwi.bund.de

Katrin Ostertag

Fraunhofer ISI, Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung

Breslauer Str. 48

76139 Karlsruhe

Tel. 0721 / 68 09–116, Fax 0721 / 68 09–272

E-Mail Katrin.Ostertag@isi.fhg.de

Joachim Schleich

Fraunhofer ISI, Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung

Breslauer Str. 48

76139 Karlsruhe

Tel. 0721 / 68 09–203, Fax 0721 / 68 09–272

E-Mail Joachim.Schleich@isi.fhg.de

Karl Matthias Weber

ARCS Austrian Research Centers

2444 Seibersdorf, ÖSTERREICH

Tel. 0043 (0) 50 550–3865, Fax 0043 (0) 50 550–3888

E-Mail matthias.weber@arcs.ac.at

Prof. Dr. Clas-Otto Wene

IEA International Energy Agency

9, rue de la Fédération

75739 Paris Cedex 15, FRANKREICH

Tel. 0033 1 / 40 57 66 22, Fax 0033 1 / 40 57 67 59

E-Mail Clas-Otto.WENE@iea.org

Jürgen Wengel

Fraunhofer ISI, Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung

Breslauer Str. 48

76139 Karlsruhe

Tel. 0721 / 68 09–307, Fax 0721 / 68 09–131

E-Mail Juergen.Wengel@isi.fhg.de

Dr. Hans-Joachim Ziesing

DIW

Königin-Luise-Str. 5

14195 Berlin

Tel. 030 / 897 89–683, Fax 030 / 897 89–200

E-Mail hziesing@diw-berlin.de

Teilnehmer

Markus **Blesl**

IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung,
Universität Stuttgart
Heßbrühlstr. 49a
70565 Stuttgart
Tel. 0711 / 780 61–35, Fax 0711 / 780 39 53
E-Mail mb@ier.uni-stuttgart.de

Dr. Claus **Börner**

Forschungszentrum Jülich GmbH, Projektträger Jülich PTJ
52425 Jülich
Tel. 02461 / 61–38 16, Fax 02461 / 61–31 31

Dr.-Ing. Harald **Bradke**

Fraunhofer ISI, Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe
Tel. 0721 / 68 09–153, Fax 0721 / 68 09–272
E-Mail Harald.Bradke@isi.fhg.de

Dr. Klaus Dieter **Clausnitzer**

bremer energie institut
Fahrenheitstr. 8
28359 Bremen
Tel. 0421 / 20 143–12, Fax 0421 / 21 99 86
E-Mail clausnitzer@bei.uni-bremen.de

Ana **Diaz Vasquez**

IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung,
Universität Stuttgart
Heßbrühlstr. 49a
70565 Stuttgart
Tel. 0711 / 780 61–41, Fax 0711 / 780 39 53
E-Mail dv@ier.uni-stuttgart.de

Dr. Witta **Ebel**

IWU Institut Wohnen und Umwelt
Annastraße 15
64285 Darmstadt
Tel. 06151 / 29 04 56, Fax
E-Mail w.ebel@iwu.de

Günther Frey

IZES Institut für ZukunftsEnergieSysteme
Altenkessler Str. 17 / Gebäude A1
66115 Saarbrücken
Tel. 0681 / 97 62–858, Fax 0681 / 97 62–175
E-Mail frey@izes.de

Frank Gagelmann

UFZ Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Permoserstr. 15
04318 Leipzig
Tel. 0341 / 235–2600, Fax 0341 / 235–2791
E-Mail gagel@alok.ufz.de

Michael Geißler

Berliner Energieagentur G.m.b.H.
Rudolfstr. 9
10245 Berlin
Tel. 030 / 29 33 30–11, Fax 030 / 29 33 30–99
E-Mail office@berliner-e-agentur.de

Steffen Hebestreit

Forschungszentrum Jülich GmbH, Projektträger Jülich PTJ,
ERG 3 / Bereich 43
52425 Jülich
Tel. 02461 / 61–28 69, Fax 02461 / 61–31 31
E-Mail st.hebestreit@fz-juelich.de

Dr. Reinhard Jank

KEA GmbH
Griesbachstr. 10
76185 Karlsruhe
Tel. 0721 / 98471–11, Fax 0721 / 98471–20
E-Mail reinhard.jank@kea-bw.de

Hartmut Kämper

Fachverband für Energie-Marketing und -Anwendung (HEA) e. V. beim VDEW
Am Hauptbahnhof 12
60329 Frankfurt a. M.
Tel. 069 / 256 19 116, Fax 069 / 23 27 21
E-Mail kaemper@hea.de

Dr. Alois Kessler
EnBW Energie Baden-Württemberg AG
Durlacher Allee 93
76131 Karlsruhe
Tel. 0721 / 63 17 884, Fax
E-Mail a.kessler@enbw.com

Felicitas Kraus
dena Deutsche Energie-Agentur GmbH
Chausseestr. 128a
10115 Berlin
Tel. 030 / 726 16 56–61, Fax 030 / 726 16 56–99
E-Mail Kraus@deutsche-energie-agentur.de

Dr. Holger Krawinkel
Energienstiftung Schleswig-Holstein
Dänische Str. 3-9
24103 Kiel
Tel. 0431/ 98 05–600, Fax 0431 / 98 05–699
E-Mail s.rother@essh.de

Johannes Lang
BINE Informationsdienst, Fachinformationszentrum Karlsruhe Büro Bonn
Mechenstr. 57
53129 Bonn
Tel. 0228 / 92 379–12, Fax 0228 / 92 379–29
E-Mail Johannes.Lang@fiz-karlsruhe.de

Wilhelm Mannsbart
Fraunhofer ISI, Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe
Tel. 0721 / 68 09–162, Fax 0721 / 68 09–272
E-Mail Wilhelm.Mannsbart@isi.fhg.de

Gerd Marx
Energieagentur NRW
Morianstr. 32
42103 Wuppertal
Tel. 0202 / 245 52–35, Fax 0202 / 245 52–30
E-Mail gerd.marx@ea-nrw.de

Wolfgang Müller

BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Postfach 12 06 29
53048 Bonn
Tel. 01888 / 305–42 57, Fax 01888 / 305–23 49
E-Mail mueller.wolfgang@bmu.de

Michael Nast

DLR Deutsches Institut für Luft- und Raumfahrt
Pfaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart
Tel. 0711 / 6862–424, Fax 0711 / 6862–783
E-Mail Michael.Nast@dlr.de

Carsten Nathani

Fraunhofer ISI, Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe
Tel. 0721 / 6809–113, Fax 0721 / 68 91 52
E-Mail Carsten.Nathani@isi.fhg.de

Uwe Pöppelmann

Niedersächsische Energie-Agentur GmbH
Rühmkorffstr. 1
30163 Hannover
Tel. 0511 / 965 29–23, Fax 0511 / 965 29–98
E-Mail up@nds.energie-agentur.de

Jürgen Reichert

Fraunhofer ISI, Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe
Tel. 0721 / 68 09–157, Fax 0721 / 68 09–272
E-Mail Juergen.Reichert@isi.fhg.de

Kai Sander

IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung,
Universität Stuttgart
Heßbrühlstr. 49a
70565 Stuttgart
Tel. 0711 / 780 61–32, Fax 0711 / 780 39 53
E-Mail ks@ier.uni-stuttgart.de

Michael Schön

Fraunhofer ISI, Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe
Tel. 0721 / 68 09–118, Fax 0721 / 68 91 52
E-Mail Michael.Schoen@isi.fhg.de

Matthias Vetter

Fraunhofer ISE, Institut für Solare Energiesysteme
Heidenhofstr. 2
79110 Freiburg
Tel. 0761 / 45 88–5600, Fax 0761 / 45 88–90 00
E-Mail vetter@ise.fhg.de

Dr. Rainer Walz

Fraunhofer ISI, Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe
Tel. 0721 / 6809–236, Fax 0721 / 68 91 52
E-Mail Rainer.Walz@isi.fhg.de

Ottmar Wandel

RKW Rationalisierungs- und Innovationszentrum der Deutschen Wirtschaft e.V.
Düsseldorfer Str. 40
65760 Eschborn
Tel. 06196 / 495–365, Fax 06196 / 495–394
E-Mail wandel@rkw.de

Christoph Weber

IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung,
Universität Stuttgart
Heßbrühlstr. 49a
70565 Stuttgart
Tel. 0711 / 780 61–51, Fax 0711 / 780 39 53
E-Mail cw@ier.uni-stuttgart.de

Rigobert Zimpfer

hessenENERGIE Gesellschaft für rationelle Energienutzung mbH
Mainzer Str. 98-102
65189 Wiesbaden
Tel. 0611 / 74623–14, Fax 0611 / 71 82 24
E-Mail zimpfer@hessenENERGIE.de