

■ Forschungspolitik, Rohstoffverknappung und Klimawandel

- Das EEG und seine Wirkung auf Produktion und Forschung – Wie können Investitionen in Richtung erneuerbare Energien gelenkt werden?
- Anmerkungen zur weltweiten Verknappung fossiler und atomarer Rohstoffe
- Klimawandel – Fakten, Folgen, Risiken
- Podiumsdiskussion: Forschung im Wettlauf mit dem Klimawandel – Kann die deutsche Forschung international mithalten?

Das EEG und seine Wirkung auf Produktion und Forschung – Wie können Investitionen in Richtung erneuerbare Energien gelenkt werden?

Maike Schmidt
ZSW
maike.schmidt@zsw-bw.de

Dr. Ole Langniß
ZSW
ole.langniss@zsw-bw.de

Marlene Kratzat
ZSW
jetzt: DLR
marlene.kratzat@dlr.de

Dr. Ulrike Lehr
DLR
ulrike.lehr@dlr.de

Gerhard Stryi-Hipp
BSW-Solar
stryi-hipp@bsw-solar.de

Das EEG als Förderinstrument

Deutschland ist in der Technologieentwicklung zur Stromerzeugung aus erneuerbarer Energien und deren Nutzung weltweit führend. Dies gilt insbesondere für die jungen, dynamisch wachsenden und gerade vor dem Hintergrund des drohenden Klimawandels auch sehr zukunfts-trächtigen erneuerbaren Energien wie Windenergie, Photovoltaik und biogene Gase.

Auslöser und Motor der dynamischen, auch aus industriepolitischer Sicht überaus positiven Branchenentwicklung ist zweifelsohne das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) von 2000, das auf die Erfolge des Stromeinspeisungsgesetzes (StrEG) aufbauen konnte.

Der Erfolg dieses Förderinstruments basiert auf mehreren Faktoren:

- Das EEG verfolgt den Ansatz der kosten-deckenden Vergütung, das heißt die Vergütungssätze werden so bemessen, dass der Anlagenbetrieb unter Berücksichtigung einer angemessenen Rendite für den Betreiber rentabel ist. Auf diese Weise wird die für eine kontinuierliche Marktentwicklung so entscheidende verlässliche Nachfrage angeregt.
- Die gesetzlich garantierte Gewährung der Vergütung über einen Zeitraum von 20 Jahren in gleich bleibender Höhe führt, zusammen mit der Einspeise- bzw. Abnahme-garantie für den erzeugten Strom sowie der Vorrangregelung für EEG-Strom zu einer Minderung des Risikos für den Anlagenbetreiber.

- Die dadurch bedingte Stabilität der Inlandsnachfrage führt zu einer hohen Investitionssicherheit für die Hersteller von Anlagen und Komponenten. Insbesondere die strategische Planung auf Basis von langfristigen Absatzperspektiven profitiert von den verlässlichen Rahmenbedingungen, die das EEG aus seiner Eigenschaft als Gesetz schafft und deren Ausgestaltung dem Gesetzgeber hinsichtlich der Zielsetzung, den Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung zu forcieren, sehr gut gelungen ist.
- Doch die Regelungen des EEG stellen auch eine Herausforderung für die Hersteller dar. Durch die im EEG verankerte degressive Absenkung der Vergütungssätze für Neuanlagen werden Kostensenkungen erwartet, die mittel- und langfristig nicht allein über die Realisierung von Skaleneffekten beim Kapazitätsausbau erreicht werden können. Eine aktive Forschungs- und Entwicklungstätigkeit sowie die konsequente und zeitnahe Umsetzung der erzielten Ergebnisse in den Produktionsunternehmen sind hierfür unbedingt ebenfalls erforderlich.
- Ein weiterer Aspekt, der maßgeblich am Erfolg des EEG beteiligt ist, ist die Leistungsorientierung der Vergütung. Dadurch, dass nur die tatsächlich erzeugte und eingespeiste Kilowattstunde vergütet wird, legen die Anlagenbetreiber größten Wert auf qualitativ hochwertige, zuverlässige und hoch effiziente Anlagen. Dies wiederum gibt zusätzliche markt- bzw. nachfrageinduzierte Entwicklungsanreize für die einzelnen Technologien.

Insgesamt ist eine starke Verflechtung der Ursache- und Wirkungsbeziehung zu erkennen: Die Vergütungen ermöglichen den Anlagenbetreibern angemessene Produzentenrenten.

Die durch das EEG induzierte Nachfrage führt bei den Herstellern zu Erwartungen stabiler Umsätze, womit starke Anreize zur Reinvestition der Produzentenrenten in den Ausbau der Produktion und in Forschungs- und Entwicklung geschaffen werden. Die degressive Absenkung der Vergütung intendiert zusätzlich, möglichst schnell und effizient die Wettbewerbsfähigkeit des Stroms aus erneuerbaren Energien mit konventionell erzeugtem Strom zu erreichen. Der Markt soll nur so lange gestützt werden, bis er sich selbst tragen kann. Sobald andere Vermarktungswege attraktiver sind, können Anlagenbetreiber aus dem EEG ausscheiden.

Der Einfluss des EEG auf die industrielle Entwicklung und Forschung

Neben den energiewirtschaftlichen und klimapolitischen Effekten gibt das Erneuerbare-Energien-Gesetz maßgebliche Impulse für die Innovationstätigkeit und die Beschäftigung innerhalb des gesamten Wirtschaftszweigs der erneuerbaren Energien. Ergänzt durch weitere Maßnahmen aus den Bereichen Forschung und Entwicklung sowie Exportförderung bewirkte das EEG, dass sich eine international hoch wettbewerbsfähige Branche innerhalb kürzester Zeit etablieren und in wichtigen Schlüsselbereichen die Technologieführerschaft übernehmen konnte. Durch die rasante Entwicklung der Nachfrage nach Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wurden nicht nur die Anlagenhersteller und Systemanbieter, sondern auch die Hersteller von Komponenten und Zulieferbetriebe positiv beeinflusst und unterstützt. Besonders deutlich wird dies in den Sparten Windenergie und Photovoltaik.

Deutschland hat weltweit die höchste installierte Leistung im Windenergiebereich, wobei der Erfolg der Unternehmen über das Inland hinaus geht. In den 1990er Jahren konzentrierten sich deutsche Hersteller weitgehend auf den

boomenden heimischen Markt. Von dieser sicheren Basis konnten Hersteller und Zulieferer laut neuerer Untersuchungen des Deutschen Windenergieinstituts (DEWI) im Jahr 2006 eine Exportquote von 74 % erreichen, die durch einen deutlichen Anstieg zwischen 2004 und 2005 um 12,5 % gekennzeichnet war [1, 2] und allein im Jahr 2006 einen erneuten Anstieg um 2,8 % verzeichnen konnte [3]. Anfragen bei Anlagenherstellern bestätigen starke Zuwächse im Auslandsgeschäft. Bedingt durch den starken Zuwachs einiger europäischer Märkte, insbesondere in Frankreich, verzeichnete Nordex bereits einen Anstieg des Auslandsgeschäfts um 24 % für das Jahr 2006 [4]. 2006 belief sich der weltweite Umsatz deutscher Hersteller der Windenergiebranche auf rund 5.300 Mio. € [5]. Von besonderer Bedeutung ist die mit dieser Entwicklung einhergehende Stärkung des Forschungsstandorts Deutschland, was zum Beispiel in der Wahl des Standorts Rostock für das neue Forschungs- und Entwicklungszentrum des indischen Branchenschwergewichts Suzlon zum Ausdruck kommt.

Auch in der installierten, netzintegrierten Photovoltaik-Leistung hat Deutschland im Jahr 2005 Japan dank des EEG-bedingten rasanten Zubaus überholt. Die Photovoltaik-Industrie ist einer der am schnellsten wachsenden Industriebereiche weltweit und die Produktion der Komponenten für Photovoltaikanwendungen konnte seit Inkrafttreten des EEG enorme Zuwächse verbuchen. Die deutschen Branchenvertreter setzen sich dabei hinsichtlich ihres Expansionstempos teilweise deutlich von der ausländischen Konkurrenz ab. Das deutsche Unternehmen Q-Cells beispielsweise stieg bezüglich der hergestellten und abgesetzten Mengen im weltweiten Ranking der Photovoltaik-Unternehmen vom 11. Platz im Jahr 2002 auf den 2. Platz in 2006 und auf den 1. Platz in 2008 auf. Wenngleich ein großer Teil der in Deutschland installierten Anlagen derzeit immer noch aus ausländischer Produktion stammt, lag die Produktion von Solarmodulen 2006 in Deutschland bei 341 MW (Kapazität: 633 MW) im Vergleich zu 209 MW im Jahr 2004 [6].

Die Produktion von Solarzellen nahm in den vergangenen zwei Jahren ebenfalls erheblich zu.

Es wurden insgesamt 514 MW Solarzellen in Deutschland hergestellt, wovon etwa 34 % exportiert wurden [67].

Eine ähnlich dynamische Entwicklung weist auch die Biogasbranche auf, was insbesondere auf die gezielte Förderung der Nutzung nachwachsender Rohstoffe durch die Schaffung des NawaRo-Bonus (Nachwachsende Rohstoffe) im EEG 2004 zurückzuführen ist. Im Jahr 2006 wurden 335 MW [7] installiert. Dies entspricht im Vergleich zu 2004 einer Verfünf- bis Versechsfachung der installierten Biogasleistung.

Wirkungen des EEG auf Forschung und Entwicklung

Hier ist zunächst die für die deutsche Forschungslandschaft typische Verflechtung von öffentlichen Mitteln mit Forschungsausgaben der privaten Wirtschaft zu berücksichtigen. Es findet sowohl eine Mitfinanzierung öffentlicher Forschungseinrichtungen durch Drittmittel aus der Wirtschaft, als auch eine Förderung der privaten Forschung aus öffentlichen Geldern statt. Nach Angaben des Bundesverband Erneuerbare Energien (BEE) beliefen sich die bereitgestellten Forschungsmittel der EE-Branche im Jahr 2005 auf rund 390 Mio. € [8]. Der Verband erwartet, dass zwischen 2006 und 2012 insgesamt weitere 4,6 Mrd. € von der EE-Branche für Forschung und Entwicklung bereitgestellt werden. Diese Mittel erfuhren im Jahr 2004 eine zusätzliche Unterstützung durch die öffentliche Hand in Höhe von rund 2,3 Mrd. € [9].

Bei der Aufwendung öffentlicher Mittel für die Forschung und Entwicklung im Bereich der erneuerbaren Energien sind zwei Bereiche zu unterscheiden: die Projektförderung und die institutionelle Förderung. Die Projektförderung wird auf Antrag für zeitlich begrenzte Vorhaben konkreter Forschungsfelder gewährt und stellt somit die zielorientierte, kurz- bis mittelfristige Forschungsförderung dar. Im Rahmen der institutionellen Förderung werden einzelne Forschungseinrichtungen finanziert [9]. Die positiven Impulse aus dem EEG bzw. der dadurch ausgelösten Entwicklung für den Forschungsbereich zeigen auch die zahlreichen Neugründun-

gen von Kompetenzzentren wie beispielsweise das Deutsche Biomasseforschungszentrum (DBFZ) in Leipzig.

Von zunehmender Bedeutung wird laut Befragungen verschiedener Forschungsinstitute [10] jedoch die Verfügbarkeit von Wissenschaftlern und Ingenieuren. Bei diesem „Humankapital“ werden Industrie und Forschungseinrichtungen zunehmend zu Konkurrenten.

Strukturpolitik

Über die Erfolge in der Produktion und Forschung hinaus sind durch das EEG auch strukturpolitische Ziele realisiert worden. Die Zuwächse im Bereich der Wind- und der Photovoltaikindustrie fanden insbesondere in den norddeutschen und den ostdeutschen Regionen statt, wodurch diese eher strukturschwachen Teile der Republik einen erheblichen Entwicklungsimpuls erhalten haben. Aber auch die klassischen Maschinenbauregionen, wie zum Beispiel Baden-Württemberg, profitieren über die Zulieferungen und die Vorleistungsverflechtungen von dieser Entwicklung.

Welchen Einfluss hat das EEG auf die Entwicklung genommen?

Eine umfassende Umfrage bei den Unternehmen [11] zeigt, dass zum einen die garantierten Absatzmärkte, aber auch die langfristige Investitionssicherheit und die zuverlässige Unterstützung des Ausbaus erneuerbarer Energien bei den Unternehmen zu verstärkten Investitionen und Innovationstätigkeiten geführt haben besonders in der Wind- und der Photovoltaik-Branche.

Die Bedeutung des deutschen Markts für die Entwicklung ihres Unternehmens schätzten dabei 58 % der Befragten als sehr hoch ein, 30 % hielten sie für hoch und nur 4 % schätzten diese Bedeutung als gering ein. 80 % der Befragten stufen die Bedeutung des deutschen Markts als Testmarkt und als „Schaufenster“ für

innovative Produkte als sehr hoch oder hoch ein. Die überwältigende Mehrheit aller Befragten sieht im EEG das wesentliche Element ihrer vergangenen und zukünftigen Entwicklungschancen.

Deutschland als „Lead Market“ für erneuerbare Energietechnologien

Deutschland hat für eine Reihe von erneuerbaren Energietechnologiefeldern eine starke Ausgangsposition auf dem Weltmarkt [12]. Aus der Führungsrolle, die Deutschland im Bereich der Anwendung von erneuerbaren Technologien nicht zuletzt als Folge des EEG zufällt, kann eine zukünftige Position als so genannter „Lead Market“ hervorgehen. Unter einem Lead Market versteht man einen nationalen Markt, auf welchem frühzeitig – also vor den meisten Konkurrenten – innovative Technologien zur Erstanwendung kommen und schließlich eine flächendeckende Verbreitung finden. Das innovative Design wird so zum dominanten Design, das im weiteren Zeitablauf von anderen Ländern ohne größere Abänderung übernommen und so international zum Standard wird [13].

Auch wenn im Bereich der erneuerbaren Energien derartige Analysen erst am Anfang stehen, zeichnen sich günstige Bedingungen für einen deutschen „Lead Market erneuerbare Energien“ ab. Hierzu gehören einerseits Preisvorteile, die den deutschen Unternehmen gegenüber anderen Ländern entstehen und die sich durch den vorgegebenen Kostensenkungspfad der Degression der Vergütungssätze im EEG in Verbindung mit dem gestützten Marktwachstum ergeben. Andererseits steht hierfür die Tatsache, dass das EEG und seine enorme Wirkung weltweit auf Interesse stoßen und in vielen Ländern mittlerweile eine Förderung erneuerbarer Energien durch eine Einspeisevergütung analog zum EEG eingeführt wurde. Diese so genannte Politik-Diffusion scheint ein wesentliches Element für die Entstehung eines Lead Markets zu sein.

Da es sich beim Klimawandel um ein globales Problem handelt, welches auch globale Lösungs-

strategien verlangt, kann sich diese vielversprechende Entwicklung auf den weltweiten Märkten fortsetzen. Wie die oben erwähnten Exporterfolge zeigen, sind erste Anzeichen für eine derartige Entwicklung bereits vorhanden. Die Wirkung des EEG geht damit über die bloße Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien hinaus. Die Konstruktion des EEG, mittels kostendeckender Vergütung eine stabile Inlandsnachfrage mit resultierenden Investitionen in Produktionskapazitäten und Forschungsaktivitäten zu generieren, hat sich als sehr tragfähig erwiesen. Die Lenkung der Investitionsströme bleibt dabei dem Markt überlassen. Der gezielte Einsatz flankierender Maßnahmen verstärkt jedoch die Wirkung.

Literatur

- [1] Ender, C., Molly, J. P.: Ermittlung der deutschen Wertschöpfung im weltweiten Windenergiemarkt in 2004, DEWI Magazin Nr. 27, August 2005.
- [2] Ender, C., Molly, J. P.: Ermittlung der deutschen Wertschöpfung im weltweiten Windenergiemarkt in 2005, DEWI Magazin Nr. 29, August 2006.
- [3] Ender, C., Molly, J. P.: Ermittlung der deutschen Wertschöpfung im weltweiten Windenergiemarkt in 2006, DEWI Magazin Nr. 31, August 2007.
- [4] Nordex expandiert profitabel – Umsatz - plus 66 %/16,6 Mio. € EBIT, www.nordex-online.com/index.php?id=45&no_cache=1&L=0, Pressemitteilung, 20.03.2007.
- [5] Kratzat, M.; Lehr, U.; Nitsch, J.; Edler, D.; Lutz, C.: Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte 2006, Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), September 2007.
- [6] Große Pläne – Die deutsche Photovoltaikindustrie macht sich auf den Weg von der Import- zur Exportbranche, Photon, Januar 2007.

- [7] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU):
Erfahrungsbericht 2007 zum Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) gemäß § 20
EEG – BMU Entwurf – Kurzfassung,
5. 7. 2007.
- [8] Bundesverband Erneuerbare Energien
(BEE): Stellungnahme zur Arbeitsgruppe 3:
Forschung und Energieeffizienz,
Energiegipfel 2006, 26. 6. 2006.
- [9] Bernhardt, U.; Kunde, A.: Bundesbericht
Forschung 2006, Hrsg.: Bundesministerium
für Bildung und Forschung (BMBF),
2006.
- [10] Vgl. Krewitt, W.; Fuchs, G.; Schmidt, B.;
Lehr, U.; Weimer-Jehle, W.; Roloff, N.;
Wassermann, S. 2007, „Erfolgsfaktoren
des Innovationssystems Fotovoltaik – eine
agentbasierte Untersuchung“, in
Vorbereitung
- [11] Staiß, F.; Kratzat, M.; Nitsch, J.; Lehr, U.;
Edler, D.; Lutz, C.: Erneuerbare Energien:
Arbeitsplatzeffekte – Wirkungen des
Ausbaus erneuerbarer Energien auf den
deutschen Arbeitsmarkt, Forschungsvor-
haben im Auftrag des Bundesministeriums
für Umwelt, Naturschutz und Reaktor -
sicherheit (BMU), Juni 2006.
- [12] Eine ausführlichere Darstellung der
folgenden Argumente findet sich bei Lehr,
U.; Edler, D.; Kratzat, M.; Lutz, C. und
Nitsch, J. 2007, Renewable Energie and
Employment in Germany, Energy Policy,
accepted. Wir bedanken uns besonders
bei Dietmar Edler für seine Anregungen.
- [13] Eine Diskussion von Lead Markets im
Bereich der Umweltinnovationen findet
sich bei Jacob, Klaus, Marian Beise, Jürgen
Blazejczak, Dietmar Edler, Rüdiger Haum,
Martin Jänicke, Thomas Löw, Ulrich
Petschow, Klaus Rennings: Lead Markets
for Environmental Innovations. Heidelberg
[u. a.] ZEW Economic Studies Vol. 27,
Physica-Verl., Heidelberg, 2005.

Anmerkungen zur weltweiten Verknappung fossiler und atomarer Rohstoffe

Die Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien wird vor allem mit dem Klimaschutz begründet. Zunehmend tritt auch die Diskussion über Energieversorgungssicherheit in den Vordergrund. Die in den letzten Jahren rasant gestiegenen Preise für konventionelle Energierohstoffe sind ein eindeutiges Indiz für die beginnende Verknappung.

Die Internationale Energieagentur (IEA) in Paris gilt als wichtigste Institution für die Analyse der Energieversorgung und Beratung in der Energiepolitik. Doch die IEA geht trotz der bekannten Ressourcenverknappung in ihren Wachstumsprognosen von einem weiteren fast unbegrenzten Anstieg der Verfügbarkeit fossiler und atomarer Rohstoffe aus. Außerdem gibt sie die Wachstumsgeschwindigkeiten der erneuerbaren Energien immer noch weit unter den in den letzten Jahren realisierten Wachstumsraten an.

An den Energieszenarien der IEA sind also erhebliche Zweifel berechtigt. Es verdichten sich wissenschaftliche Erkenntnisse, dass die Verfügbarkeit der konventionellen Rohstoffe von der IEA überschätzt und andererseits die Möglichkeiten und Potenziale der erneuerbaren Energien völlig unterschätzt werden (Abb. 3). In den letzten Jahren zeigten sich vor allem beim Ölpreis starke Preissteigerungen, die von den meisten Ökonomen nicht korrekt vorausgesagt wurden. Die real eingetretenen Ölpreise lagen in den letzten Jahren immer deutlich über den Prognosen vom Anfang des Jahres.

Untersuchungen des Erdölgeologen-Netzwerkes ASPO (Association for the study of Peak Oil and Gas) oder der Energy Watch Group zeichnen ein völlig anderes Bild, als es die IEA und die Weltenergiekonzerne in ihren Szenarien aufzeigen. Die Analysen der Erdölgeologen beruhen auf

Hans-Josef Fell
Bundestagsabgeordneter
Bündnis90/Die Grünen
hans-josef.fell@
bundestag.de

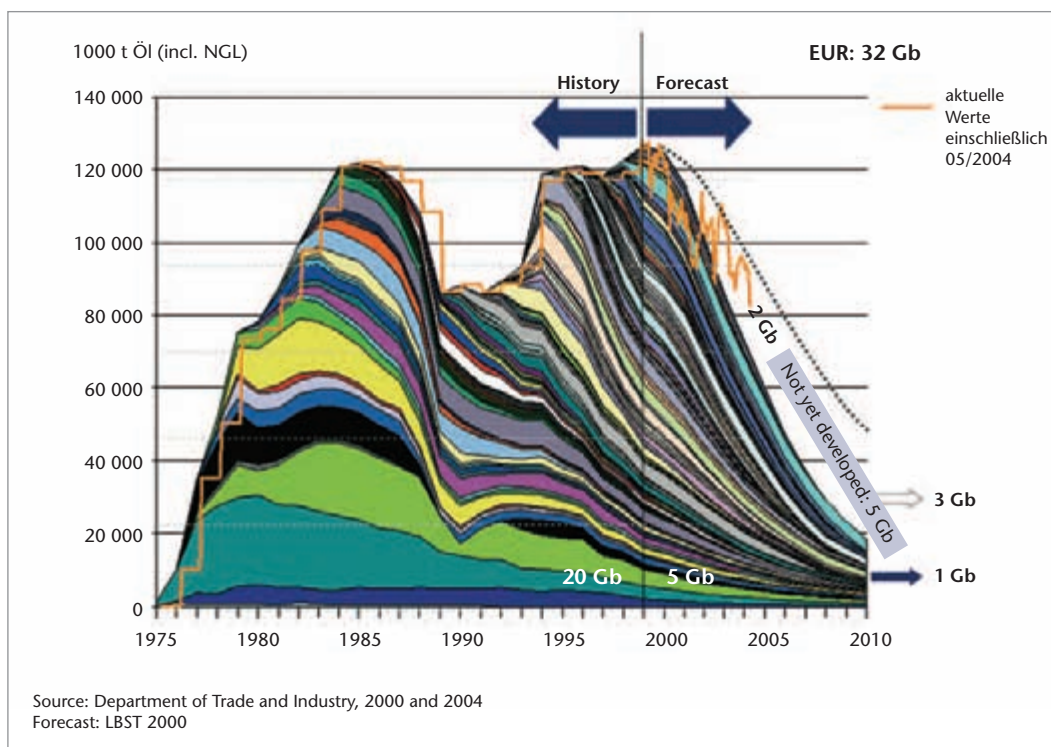


Abbildung 1
UK field by field
analysis: historische
Daten 1975–1999;
2000–2010
Voraussage

Abbildung 2
GB Erdölproduktion

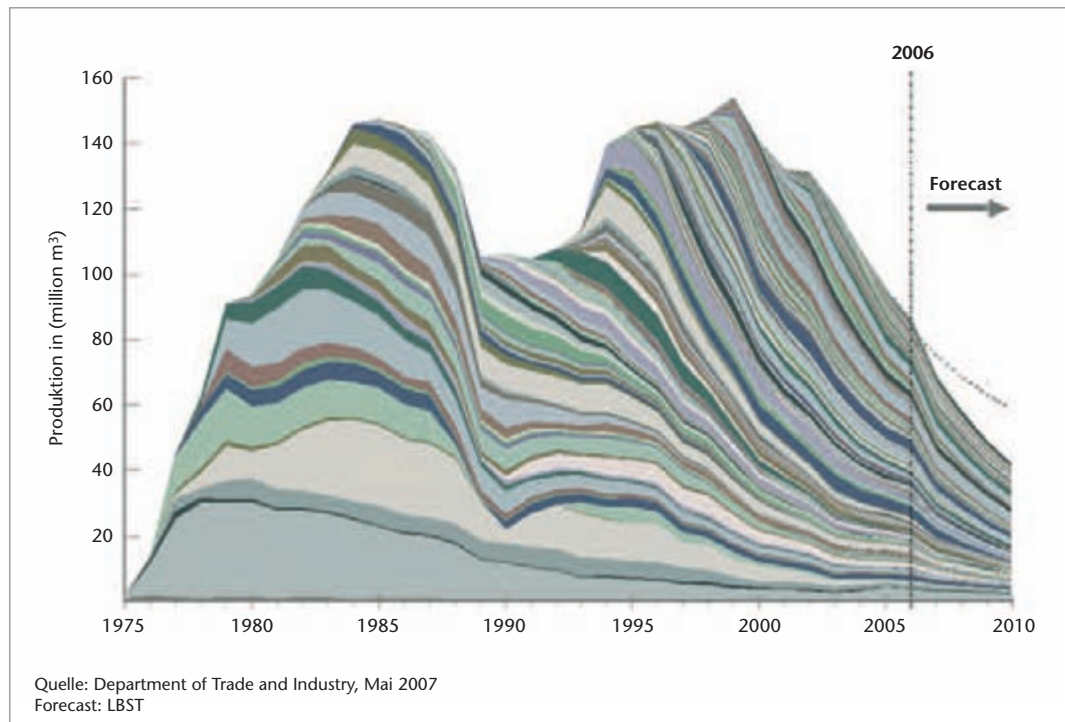
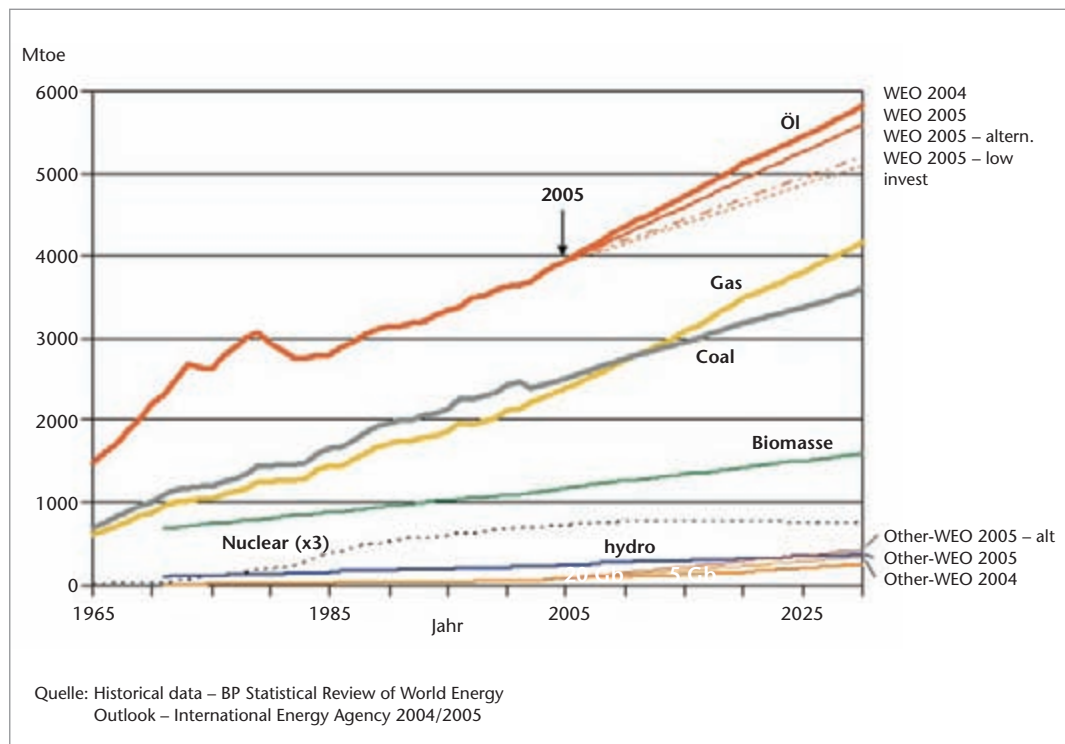


Abbildung 3
World Energy Outlook
2004/2005 – gesamte
Primärenergie-
versorgung



anderen wissenschaftlichen Methoden, als die der Energieunternehmen und der IEA. So konnten sie in verschiedenen Regionen, wie am Beispiel Großbritanniens dargestellt (Abb. 1), exakt den Verlauf der Erdölförderung voraus sagen.

Wie immer haben konventionelle Energiewirtschaft und Regierungen die Prognosen der ASPO, zum Beispiel über das Erreichen des britischen Erdölpeak für das Jahr 2000 nicht gesehen und sogar ignoriert. Der schnell eingetretene Rückgang der Erdölförderung ist seit

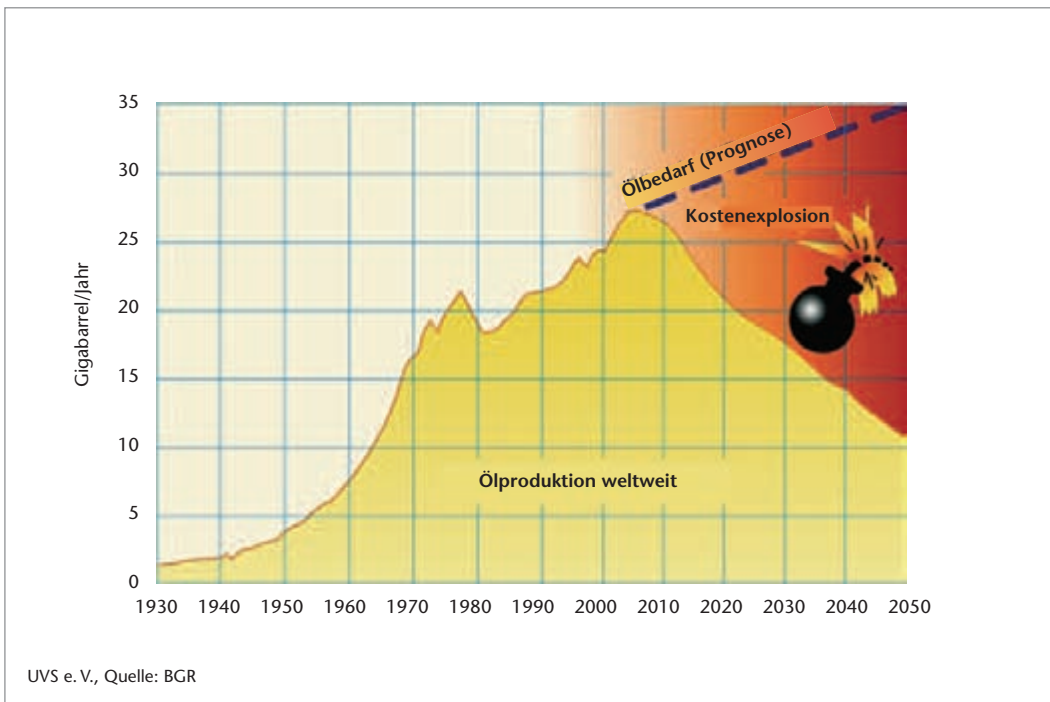


Abbildung 4
Kostenexplosion durch
versiegende Ölquellen
bei wachsendem
Weltenergiebedarf



Abbildung 5
Einzugsgebiete für
Bio-SNG-Anlagen
(Substitute Natural
Gas)

2000 aber exakt der vorausgesagten Prognose gefolgt (Abb. 2). Die ASPO prognostiziert das Erreichen des weltweiten Fördermaximums auf etwa 2010, die Energy Watch Group datierte den Peak of Oil sogar auf 2006. Die Vorstellungen der chinesischen Wirtschaft über das Wachstum der Erdölförderung werden nicht mehr erfüllbar sein. In der Folge werden die Erdölpreise drastisch steigen (Abb. 4).

Erdgas wird die Lücke nicht füllen können. Die Verfügbarkeit von Erdgas im europäischen Pipelineverbund wird unter der Annahme konstanter

russischer und nordafrikanischer Lieferungen im Jahre 2020 eine Versorgungslücke von etwa 20 % aufweisen. Auch flüssiges Erdgas wird keine Lösung bringen, vor allem da es deutlich ineffizienter ist als Pipelinegas. Andererseits könnte Biogas, eingespeist von tausenden Biogasanlagen entlang den europäischen Gaspipelines das europäische Erdgas ersetzen (Abb. 5).

Auch bei der Kohle sind bereits Preissteigerungen zu verzeichnen. Die Energy Watch Group hat aufgezeigt, dass auch bei der Kohle im kommenden Jahrzehnt mit Verfügbarkeitseng-

Abbildung 6
Weltkohle-Produktion:
Peak 2030

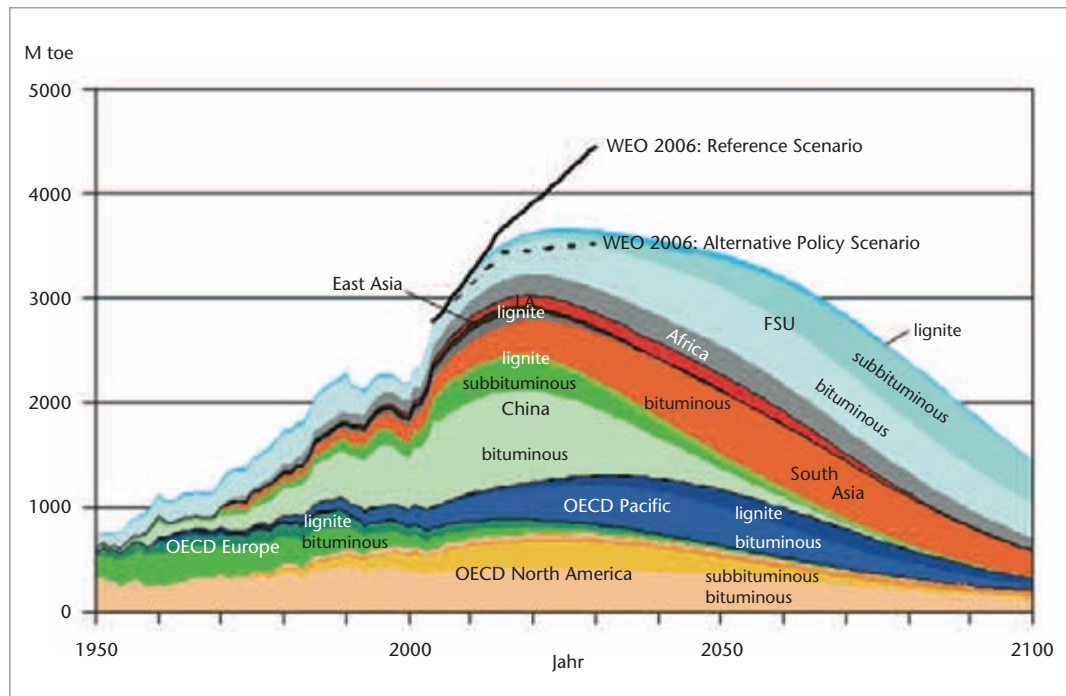
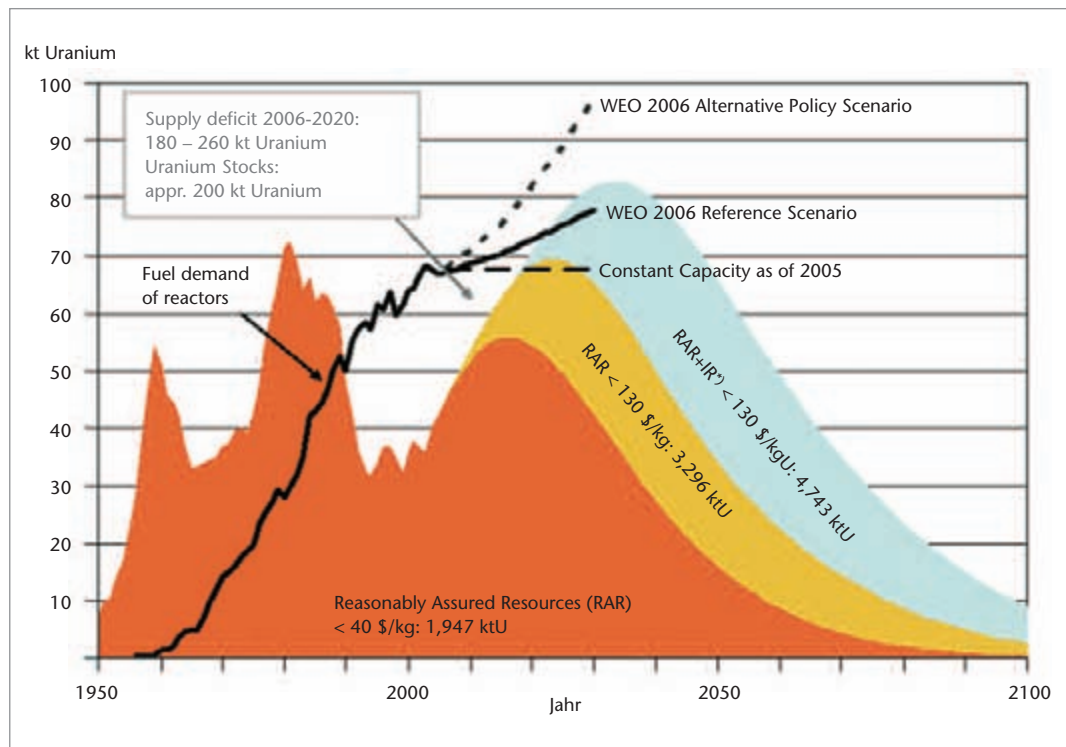


Abbildung 7
Uranproduktion



pässen im weltweiten Handel zu rechnen ist (Abb. 6). So genannte CO₂-freie Kohlekraftwerke (Carbon Capture and Storage, CCS), in denen das erzeugte CO₂ aufgefangen und gespeichert werden soll, verschlechtern aber den Wirkungsgrad der Kohleverstromung, sodass CCS-Technologien die Kohleverknappungen zusätzlich beschleunigen würden.

Besonders deutlich sind die jüngsten Preissteigerungen im weltweiten Uranhandel. Die Energy Watch Group konnte nachweisen, dass seit Anfang der 90er Jahre die Uranförderung etwa 40 % unter dem Verbrauch der etwa 440 Reaktoren der Welt liegt (Abb. 7). Im kommenden Jahrzehnt, wenn die Verarbeitung des russischen Waffenerurans in den Kernreaktoren aufgebraucht

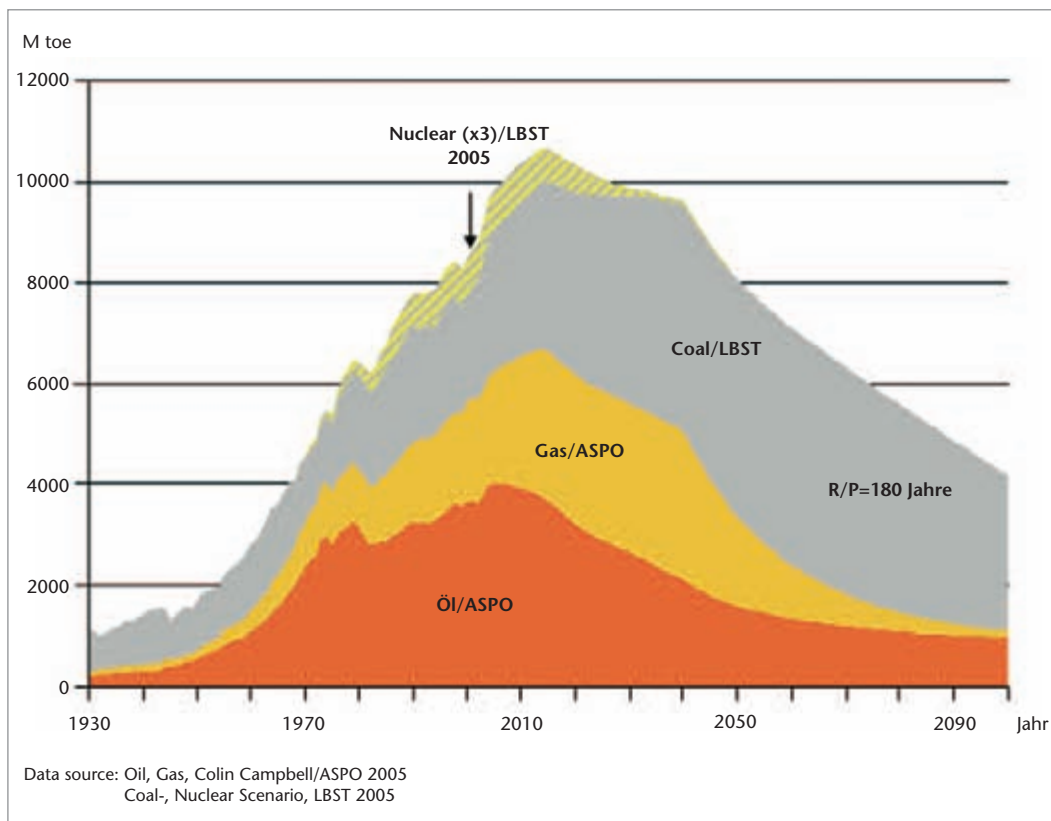


Abbildung 8
World Energy Scenario
für fossile und nukleare
Brennstoffe

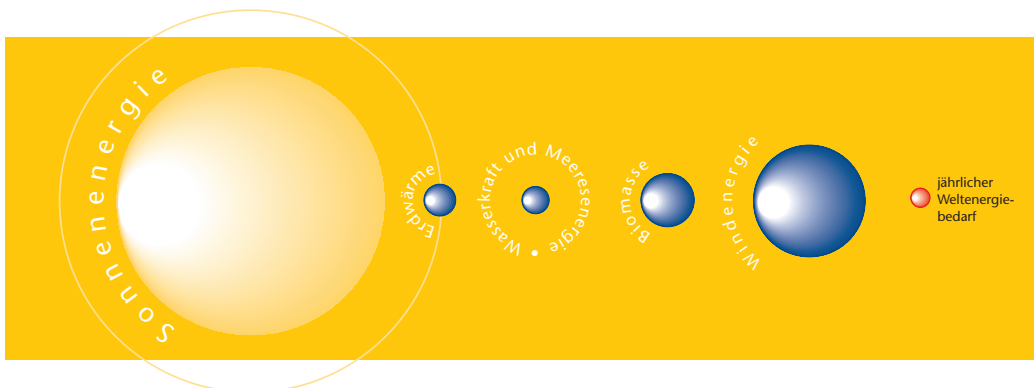


Abbildung 9
Potenziale erneuerbare
Energien und
Weltenergiebedarf
(pro Jahr)

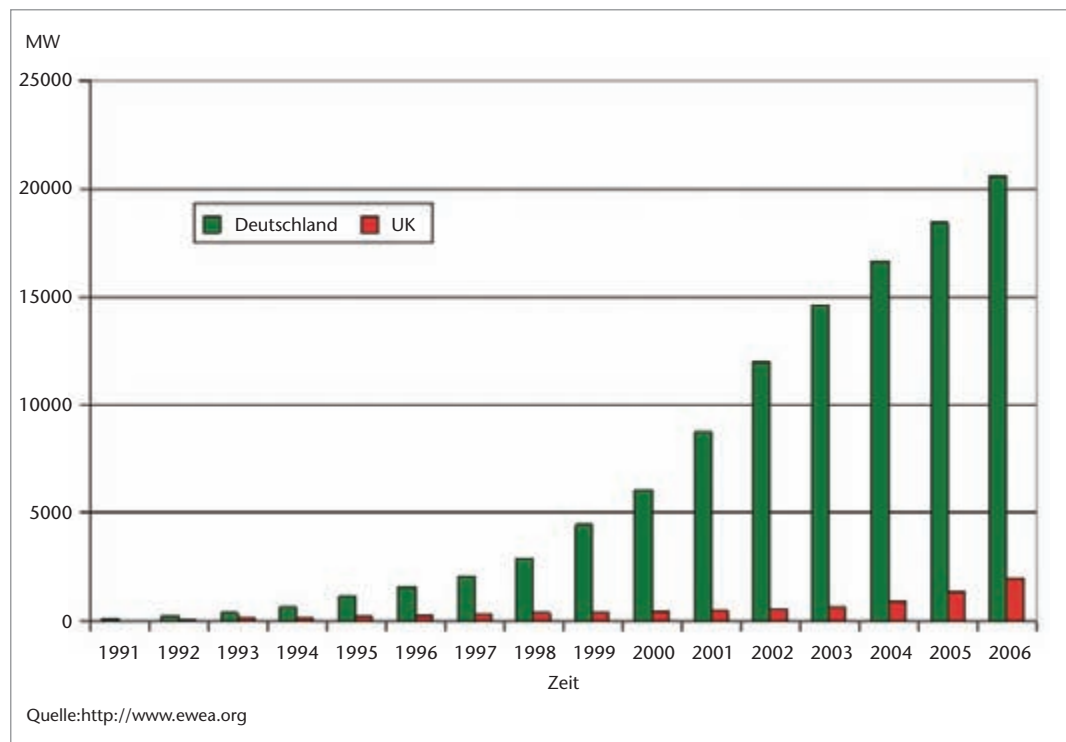
Quelle: FVS

sein wird, werden wahrscheinlich Uranengpässe für die Versorgung der bestehenden Reaktoren auftauchen. Die Nuklearenergie kann also keinen nennenswerten Beitrag leisten – weder für Klimaschutz, noch für Energieversorgungssicherheit. Ihre Deckung von aktuell etwa 2,5 % der Weltenergienachfrage ist marginal und wird wegen des sich abzeichnenden Uranmangels wohl nicht gesteigert werden. Schnelle Brüter als Technologie zur Streckung der Uranreserven sind weltweit – trotz massiver Unterstützung der letzten 50 Jahre – kommerziell nicht verfügbar.

Eine erste Abschätzung der Verfügbarkeit aller konventionellen Rohstoffe lässt einen deutlichen Rückgang ab dem kommenden Jahrzehnt erwarten (Abb. 8). Die Weltökonomie ist darauf nicht vorbereitet und wird deshalb größte ökonomische Probleme bekommen.

Der Forschungsverbund Sonnenenergie (FVS) hat längst in umfangreichen Analysen nachgewiesen, dass die Potenziale der erneuerbaren Energien ein viel Hundertfaches der aktuellen Weltenergienachfrage darstellen.

Abbildung 10
Ausbau der Wind-
energie: Vergleich
Deutschland
(Einspeisevergütung)
und Großbritannien
(Quoten- und
Zertifikatsregelung)



Um diese Potenziale für Energieversorgungssicherheit und Klimaschutz zu erschließen, sind umfangreiche politische Maßnahmen erforderlich. Diese Maßnahmen müssen konsequent weltweit umgesetzt werden, um schnelle Antworten auf Verknappung der Rohstoffe und Klimaveränderung geben zu können. Der Wissenschaftliche Beirat globale Umweltveränderungen der Bundesregierung (WBGU) hat in seinem Gutachten vom Februar 2007 nachgewiesen, dass die Ausbaugeschwindigkeiten der Stromerzeugung aus erneuerbare Energien so schnell sind, dass weltweit zwei Drittel der Stromerzeugung bis 2025 aus erneuerbaren Energien kommen könnte.

Entscheidendes Politikinstrument dafür ist eine funktionierende Einspeisevergütung. Der Vergleich des britischen mit dem deutschen Windkraftausbaus zeigt die Überlegenheit der Einspeisevergütung gegenüber den in Großbritannien bevorzugten Quoten- und Zertifikatsregelungen. Die Umsetzung der Vorschläge der EU-Kommission für die Einführung eines europaweiten Zertifikatshandels für erneuerbare Energien wäre damit sehr gefährlich für den weiteren Ausbau. Eine Umlegung des britischen Modells auf Europa wäre gleichzusetzen mit

einem drastischen Einbruch der Wachstumsrate für die Nutzungstechniken erneuerbarer Energien.

Dass fortlaufende positive Wachstumsraten aber keine Selbstläuferprozesse sind, zeigen die Markteinbrüche für neue Installationen für verschiedene erneuerbare Energien im deutschen Markt 2007 auf. Aufgrund von Versäumnissen und falschen Weichenstellungen der großen Koalition sind erhebliche Markteinbrüche bereits jetzt zu verzeichnen.

Ein schnelles Handeln für erneuerbare Energien entsprechend der oben dargestellten politischen Handlungsempfehlungen muss von der Bundesregierung, der EU und weltweit schnell umgesetzt werden. Andernfalls lassen sich die Probleme der Ressourcenverknappung und der Klimaveränderung nicht mehr rechtzeitig lösen.

Der Wissenschaftliche Beirat globale Umweltveränderungen (WBGU) empfahl im Feb. 2007 der Politik: Bis 2025 können zwei Drittel der globalen Stromerzeugung aus erneuerbare Energien kommen, unter günstigen politischen Voraussetzungen.



Video des gesamten Vortrages auf beigelegter DVD

Klimawandel – Fakten, Folgen, Risiken

Grundlagen des Klimawandels

Die Konzentrationen von Kohlendioxid, Methan und Stickoxiden in der Atmosphäre steigen rapide an. Dieser Anstieg ist vollständig auf anthropogene Emissionen zurückzuführen. Die Absorptionsspektren und damit die Treibhauswirkung dieser Moleküle sind aus grundlegenden physikalischen Berechnungen und Laborexperimenten bekannt. Die Aufnahme durch terrestrische Vegetation und die Ozeane verringert zwar die Menge des in der Atmosphäre verbleibenden CO₂ um etwa 46%. Die überwiegend positiven klimatischen Rückkopplungen verstärken aber den direkten Strahlungseffekt und führen zu einer „Klimasensitivität“ von 3±1 °C. Das ist die globale Erwärmung, welche aus einer Verdopplung der vorindustriellen Kohlendioxidkonzentration von 280 ppm auf 560 ppm resultiert. Diese Erkenntnisse sind unter Klimaforschern unbestritten, unabhängig von Modellsimulationen und basieren auf fundamentalen physikalischen Gleichungen. Sie sind der Grund weshalb eine vermehrte zukünftige Erwärmung eine sichere Folge von weiterem Treibhausgasausstoß ist.

Eine davon getrennt zu betrachtende Frage ist die, ob wir bereits heute das Klima verändert haben. Derzeit wird eine CO₂-Konzentration von 380 ppm gemessen; hinzu kommen die anderen anthropogenen Treibhausgase, so dass wir uns im Bereich von etwa 420 ppm CO₂-Äquivalenten befinden. Der im letzten Jahrhundert beobachtete Temperaturanstieg von global etwa 0,8 °C ist konsistent mit dieser atmosphärischen Zusammensetzung, insbesondere dem kühlenden Effekt der Verschmutzung durch Aerosole in der Atmosphäre, der den Treibhaus-effekt teilweise maskiert. Wenigstens seit 60 Jahren zeigt keiner der natürlichen Einflussfaktoren auf die globale Mitteltemperatur (Vulkane, Sonneneinstrahlung, kosmische Strahlung etc.) einen vergleichbaren konsistenten Trend. Werden neben den natürlichen Einflüssen auch die anthropogenen Treibhausgase berücksichtigt, dann können Klimamodelle die Entwicklung des letzten Jahrhunderts simulieren, ohne diese aber nicht. Im Rahmen der Temperaturschwankungen der letzten 1000 Jahre ist bereits diese vermeintlich geringe Erwärmung von 0,8 °C ungewöhnlich (Abb. 1).

Prof. Dr. Anders Levermann
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)
Anders.Levermann@pik-potsdam.de

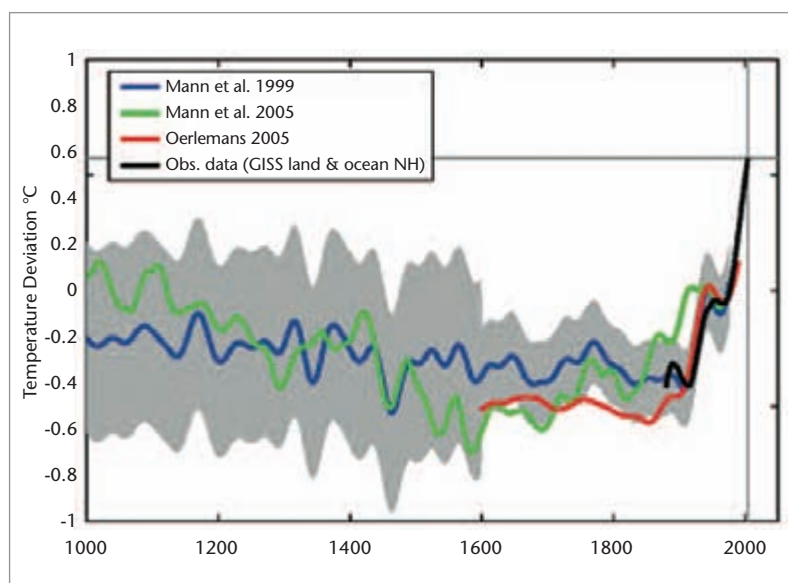
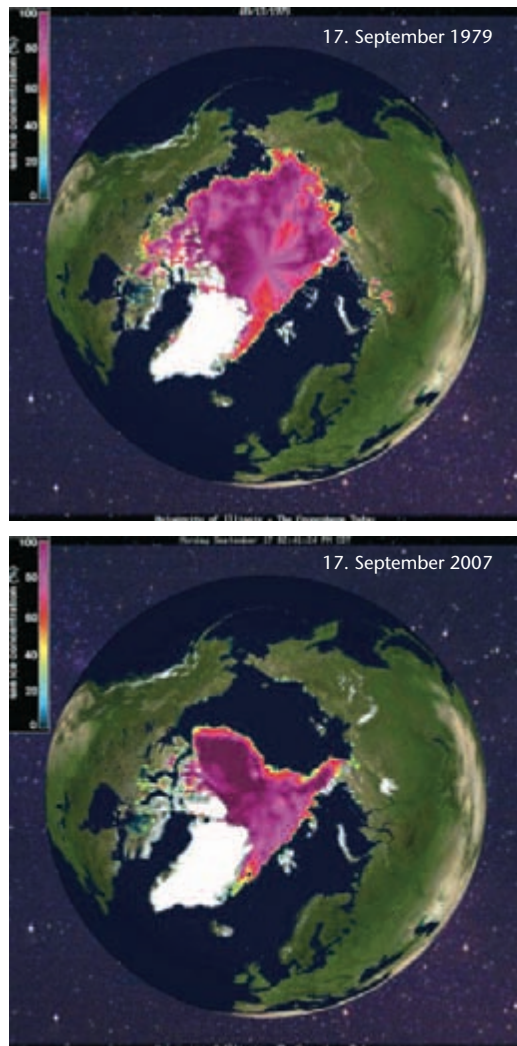


Abbildung 1
Temperaturschwankungen der Nordhemisphäre während des letzten Millenniums. Rekonstruktionen aus Baumringen (Mann et al. 99) werden mittlerweile gestützt von einer Reihe von anderen Methoden und Datensätzen. Der beobachtete Temperaturanstieg der letzten 100 Jahre (schwarze Kurve) kann weder durch natürliche Schwankungen noch durch Rekonstruktionsunsicherheiten (graue Schattierung) erklärt werden.

Abbildung 2
Satellitenaufnahmen
der minimalen
Meereisbedeckung im
arktischen Sommer,
1979 und 2007

Quelle: Cryosphere
Today, 2007



Bereits beobachtete Folgen

Obwohl sich das Erwärmungssignal der letzten 100 Jahre erst relativ gering aus dem Hintergrund von Unsicherheit und natürlichen Schwankungen abhebt, werden bereits heute Folgen des Klimawandels beobachtet. Zu diesen gehören ein globales Abschmelzen von Gebirgsgletschern und ein Anstieg des Meeresspiegel um 15 bis 20 cm während des letzten Jahrhunderts. Das arktische Meereis zeigt einen dramatischen Rückgang (*Abb. 2.*) aufgrund einer selbst verstärkenden Rückkopplung: Schmelzendes helles Eis bringt mehr dunkle Meeresoberfläche zum Vorschein. Dadurch wird mehr einfallende Sonnenstrahlung absorbiert statt reflektiert. Die resultierende Erwärmung verstärkt das Eisschmelzen (Eis-Albedo-Feedback).

Solche selbst verstärkenden Rückkopplungen spielen eine besondere Rolle im Klimasystem, da sie zu besonders drastischen Reaktionen einiger Teilsysteme auf bereits kleine Störungen führen können. Dieses ist insbesondere wichtig im Bezug auf mögliche zukünftige Risiken in einer sich erwärmenden Welt.

Projektionen für die Zukunft

Im Rahmen der Projektionen der Temperaturentwicklung für das nächste Jahrhundert, nehmen sich Schwankungen in der Vergangenheit, Rekonstruktionsunsicherheit und selbst der bereits beobachtete Anstieg relativ gering aus (*Abb. 3*). Das sogenannte „business as usual“ Szenario (rote Kurve), bei dem die Emissionen in ähnlicher Weise wie bisher ansteigen, zeigt im Mittel aller Modelle einen Anstieg von etwa 4°C im Vergleich zur vorindustriellen Zeit. Die Hauptunsicherheit in der zukünftigen Entwicklung resultiert nicht aus einer Modellunsicherheit (Schattierung in *Abb. 3*) sondern aus der Unsicherheit unseres sozio-ökonomischen und politischen Handelns (Unterschied zwischen den Kurven).

Im Jahre 1996 hat die EU das politische Ziel formuliert, dass, um „gefährlichen Klimawandel“ zu vermeiden, der globale Temperaturanstieg im Vergleich zu vorindustrieller Zeit unter 2°C gehalten werden muss. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen global die Treibhausgasemissionen bis 2050 um wenigstens 50 % im Bezug auf 1990 reduziert werden. Durch Unsicherheiten in unserem derzeitigen Verständnis des Klimasystems ist es möglich, dass auch eine 40 % Reduktion ausreicht, vielleicht werden aber auch 70 % benötigt. Da das Klimasystem auf Dauer nahezu kein Kohlendioxid aufnehmen kann, muss nach 2050 der Ausstoß praktisch gänzlich eingestellt werden. Keines der in *Abbildung 3* gezeigten Szenarien impliziert politische Vermeidungsstrategien. Die Projektionen legen nahe, dass diese nötig sind, um das 2°C-Ziel der EU zu erreichen und z. B. ein vollständiges Abschmelzen des grönländischen Eisschildes zu verhindern.

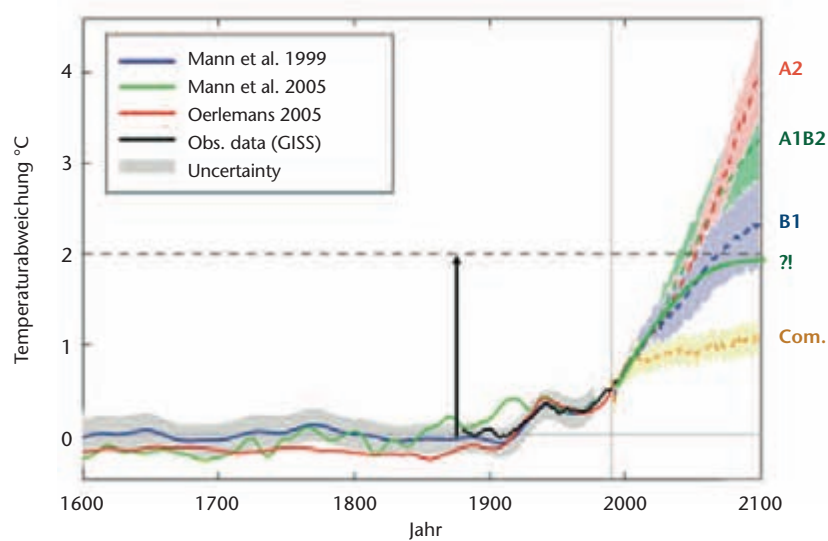


Abbildung 3
Projektionen der künftigen Temperaturentwicklung im 21. Jahrhundert (Quelle: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) und die Rekonstruktionen der nordhemisphärischen Temperatur-schwankung der letzten 400 Jahre aus Abbildung 1. Die Kurven zeigen drei unterschiedliche sozio-ökonomische Szenarien: Rot = „business as usual“-Szenario – die Emissionen steigen in mit heute vergleichbarer Weise an. Gelb = konstante CO₂-Konzentration ab dem Jahre 2000 zeigt den bereits verursachten aber noch nicht beobachteten Anstieg. Die Schattierung spiegelt die Unterschiede zwischen den Modellen wieder.

Risiken in einer wärmeren Welt – Was bedeutet gefährlicher Klimawandel?

Eine Reihe von möglichen Folgen des anthropogenen Klimawandels sind nicht im Vorhinein mit Sicherheit zu quantifizieren, möglicherweise nicht einmal zu identifizieren. Beobachtete Zeitreihen sind zu kurz für statistisch signifikante Aussagen und das wissenschaftliche Verständnis ist unvollständig. Obwohl sich diese Situation in der nahen Zukunft wahrscheinlich nicht grundlegend ändern wird, lassen sich bestimmte Risiken aufgrund von physikalischen Mechanismen schon heute aufzeigen. Aufgrund der Unsicherheiten ist es wichtig, Risiken nicht mit Projektionen oder gar Vorhersagen zu verwechseln.

Als ein Beispiel wird eine Zunahme von Extremereignissen erwartet, wie Hitzewellen, Dürren, Überschwemmungen und auch extreme Kälteperioden. Die Gründe hierfür liegen in der erhöhten Energie in einem wärmeren Klimasystem, in der Geschwindigkeit des anthropogenen Klimawandels und darin, dass eine wärmere Atmosphäre mehr Wasserdampf aufnehmen kann. Der Anstieg der tropischen Meeresoberflächentemperatur kann zudem zu einer Verstärkung der Hurricaneaktivität führen, konsistent mit den beobachteten Rekordjahren 2004 und 2005.

Eine Reihe von Risiken lassen sich als so genannte Tipping-points oder Kippprozesse des Klimasystems klassifizieren (Abb. 4). Hierbei handelt es sich um Prozesse, die einen Schwellenwert für eine akzeptable äußere Störung besitzen und die daher besonders empfindlich auf bereits kleine Klimaänderungen reagieren. Wird dieser Schwellenwert überschritten, so führt die Eigendynamik des Systems zu einer möglicherweise irreversiblen Zustandsänderung.

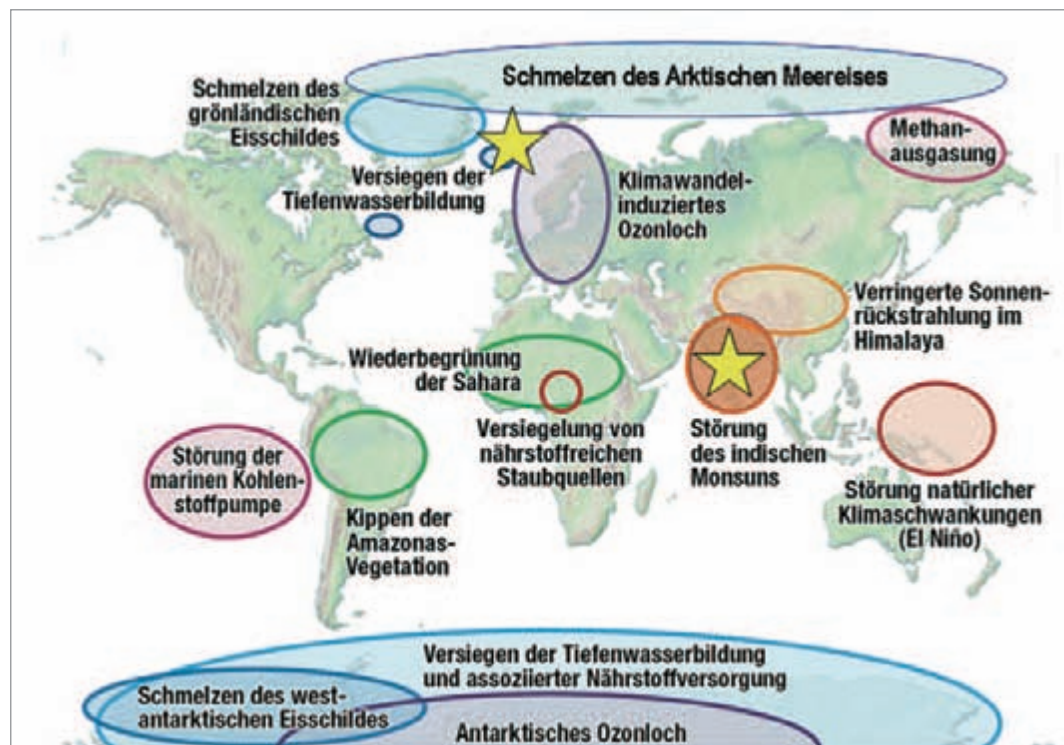
Tipping-points des Klimasystems stellen daher eine besondere Klasse von Risiken der Klimadynamik dar. So könnte möglicherweise auch ein Klimazustand ohne eine atlantische thermohaline Zirkulation stabil sein. Die Wahrscheinlichkeit für derartige Destabilisierungen sind zwar möglicherweise gering, die Auswirkungen wären aber drastisch.

Das Schmelzen des grönländischen Eisschildes ist ein möglicher Tipping-point. Das Eisschild wird durch Schnellfall in großer Höhe des bis zu 3500 m hohen Eises genährt. Durch langsames Abfließen des Eises in niedrigere und damit wärmere Höhen schmilzt es und verliert dadurch Masse. Ein Ungleichgewicht mit stärkerem Schmelzen im Vergleich zur Schneeakkumulation kann die Höhe des gesamten Eisschildes reduzieren und damit die Abschmelzgebiete vergrößern – ein selbst verstärkender und damit möglicherweise instabiler Prozess. Satellitenaufnahmen seit 1979 zeigen starke Schwankungen in der Ausdehnung der Abschmelzgebiete von

Abbildung 4
Die gegenwärtigen
Risikozonen (Tipping-
points) der Erde

Als Tipping-points wer-
den Prozesse bezeich-
net, die aufgrund von
selbstverstärkenden
Rückkopplungen einen
Schwellenwert besit-
zen. Wird dieser über-
schritten, reagiert das
System besonders
sensitiv auf bereits
kleine äußere Störun-
gen und entwickelt
eine Eigendynamik hin
zu einem anderen
Zustand.

Quelle: FAZ



Jahr zu Jahr. Im Mittel ist jedoch ein Abschmelzen von etwa 16 % zu erkennen. Viele Prozesse im Bezug auf Landeisdynamik sind nur unzureichend verstanden und werden in Modellen nicht berücksichtigt, so dass eine große Unsicherheit bestehen bleibt. Sicher ist aber, dass ein vollständiges Abschmelzen des Grönländischen Eisschildes den Meeresspiegel global um 7 m erhöht. Das westantarktische Eisschild ergäbe weitere 6 m, das ostantarktische zusätzlich etwa 50 m.

Ein weiterer möglicherweise instabiler Prozess ist die dichtegetriebene Ozeanzirkulation im Nordatlantik. Erwärmung oder verstärkter Süßwasser-eintrag in den Nordatlantik könnte die Dichte des Wassers dort so stark verringern, dass das Absinken, d. h. die Tiefenwasserbildung, zum Erliegen käme. In diesem Fall – so zeigt eine in Computersimulationen – würde sich das Klima auf der Erde rapide und drastisch ändern. Nordeuropa würde eine dramatische Abkühlung erfahren, während der Süden sich erwärmte. Der Meeresspiegel würde um bis zu einem Meter im Nordatlantik ansteigen, zusätzlich zum bereits beobachteten Anstieg durch Ausdehnung des sich erwärmenden Wassers und

zusätzlichem Wassereintrag durch Gletscherschmelzen. Die Auswirkungen für das atlantische Ökosystem und die Kohlendioxidaufnahme des Ozeans wären dramatisch.

Ein dynamisch sehr ähnlicher Mechanismus wie der, der für die mögliche Instabilität der Ozeanzirkulation verantwortlich ist, existiert als theoretische Möglichkeit für den indischen Monsun. Es könnte sein, dass nicht nur der jetzige Zustand mit funktionierendem Monsun stabil ist, sondern, dass eine Situation ohne Monsunregen ebenso persistent wäre. In einem konzeptionellen Modell wurde gezeigt, dass ein Übergang zwischen diesen beiden Zuständen, durch starke Luftverschmutzung herbeigeführt werden könnte.

Im Gegensatz zu Zukunftsprojektionen, müssen Tipping-points im Rahmen von Risikoabschätzung betrachtet werden. Die Wahrscheinlichkeit einer Destabilisierung dieser Kippprozesse ist häufig sehr gering, während die Konsequenzen dramatisch sind. Es ist eine gesellschaftliche, keine rein wissenschaftliche Aufgabe, abzuwägen, welche Risiken akzeptable sind und welche nicht.