Themen 2009

Forschen für globale Märkte erneuerbarer Energien

FVEE ForschungsVerbund Erneuerbare Energien
Renewable Energy Research Association

Agentur für Erneuerbare Energien
Kooperationspartner

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Förderer und Schirmherrschaft

Bundesministerium für Bildung und Forschung
Schirmherrschaft

Titelbild:
Die Titelgrafik zeigt das Exportvolumen der deutschen Erneuerbare-Energien-Branche in Milliarden Euro (Quelle: Branchenangaben • Grafik von AEE)

FVEE · AEE Themen 2009

Forschen für globale Märkte erneuerbarer Energien

Jahrestagung des
ForschungsVerbunds Erneuerbare Energien
in Kooperation mit der
Agentur für Erneuerbare Energien

24.–25. November 2009
Umweltforum Berlin

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

Diese Publikation wurde durch das BMU gefördert

Inhalt • Themen 2009

Grußworte

4 Grußwort des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Thomas Rachel, Parlamentarischer Staatssekretär • BMBF

7 Grußwort des Bundesumweltministeriums
Joachim Nick-Leptin • BMU/Referat Forschung und Entwicklung Erneuerbarer Energien

Erneuerbare Energien und Transformation des globalen Energiesystems

10 Megatrends, Herausforderungen und Strategien
Prof. Dr. Frithjof Staiß • ZSW
Prof. Dr. Jürgen Schmid • Fraunhofer IWES Kassel

18 Bedeutung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in verschiedenen globalen Energieszenarien
Dr. Wolfram Krewitt (†) • DLR
Dr. Joachim Nitsch • DLR
Kristina Nienhaus • DLR

24 Internationale Energiepolitik
Dr. Robert Klinke • Auswärtiges Amt

Forschen für globale Märkte – Internationaler Erfahrungsaustausch

30 Grußwort der Internationalen Agentur für Erneuerbare Energien (IRENA)
Hélène Pelosse • Internationale Agentur für Erneuerbare Energien (IRENA)

33 Der globale Forschungsmarkt für erneuerbare Energien: Wettbewerb und Technologiepartnerschaften
Prof. Dr. Eicke R. Weber • Fraunhofer ISE
Gerhard Stryi-Hipp • Fraunhofer ISE

39 Die energie- und forschungspolitischen Rahmenbedingungen für erneuerbare Energien in Deutschland
Jörg Mayer • Agentur für Erneuerbare Energien

44 TREE – Transfer Renewable Energy & Efficiency – das Wissenstransferprojekt der Renewables Academy
Berthold Breid • Renewables Academy AG (RENAC)

48 Der CERINA-Plan – eine Alternative zum Kyoto-Instrument
Dr. Norbert Allnoch • Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR)

Forschen für globale Märkte – Technologiepartnerschaften für erneuerbare Energien

52 Strategie der Bundesregierung zur Internationalisierung von Wissenschaft und Forschung
Karl Wollin • Bundesministerium für Bildung und Forschung

55 Auf in neue Märkte! – Exportinitiative Erneuerbare Energien
Juliane Hinsch • Geschäftsstelle der Exportinitiative Erneuerbare Energien im BMWi

57 Solares Bauen – klimagerechtes Bauen in anderen Klimaten
Prof. Dr. Andreas Holm • Fraunhofer IBP
Dr. Michael Krause • Fraunhofer IBP
Sebastian Herkel • Fraunhofer ISE
Dr. Peter Schossig • Fraunhofer ISE
Prof. Dr. Christian Schweigler • ZAE Bayern
Dr. Norbert Henze • Fraunhofer IWES

61 Konzentrierende solare Kollektoren für Prozesswärme und Stromerzeugung
Anna Heimsath • Fraunhofer ISE
Werner Platzer • Fraunhofer ISE
Stefan Heß • Fraunhofer ISE
Dirk Krüger • DLR
Markus Eck • DLR

66 Forschung für geothermische Stromerzeugung – In Situ Labor Groß Schönebeck
Dr. Ernst Huenges • Helmholtz Zentrum Potsdam/Deutsches GeoForschungsZentrum

69 Speicherung von Bioenergie und erneuerbarem Strom im Erdgasnetz
Dr. Michael Specht • ZSW
Frank Baumgart • ZSW
Bastian Feigl • ZSW
Volkmar Frick • ZSW
Bernd Stürmer • ZSW
Dr. Ulrich Zuberbühler • ZSW
Dr. Michael Sterner • Fraunhofer IWES
Gregor Waldstein • Solar Fuel Technology GmbH & Co. KG

79 Solarthermische Kraftwerke – Exportschlager ohne Heimatmarkt
Prof. Dr. Robert Pitz-Paal • DLR
Dr. Henner Gladen • Solar Millennium AG
Dr. Werner Platzer • Fraunhofer ISE

85 Konzentrierende Photovoltaik (CPV) für Länder mit hoher direkter Einstrahlung
Dr. Andreas W. Bett • Fraunhofer ISE
Dr. Bruno Burger • Fraunhofer ISE
Joachim Jaus • Fraunhofer ISE
Tobias Fellmeth • Fraunhofer ISE
Dr. Oliver Stalter • Fraunhofer ISE
Dr. Matthias Vetter • Fraunhofer ISE
Hans-Dieter Mohring • ZSW
Dr. Andreas Gombert • Concentrix Solar GmbH
Hansjörg Lerchenmüller • Concentrix Solar GmbH

90 Anforderungen bei der Integration von Windenergie in die Netze verschiedener Länder
Dr. Kurt Rohrig • Fraunhofer IWES
Dr. Bernhard Lange • Fraunhofer IWES
Reinhard Mackensen • Fraunhofer IWES

94 Netzferne Stromversorgung und weltweite Elektrifizierung
Dr. Philipp Strauß • Fraunhofer IWES
Markus Landau • Fraunhofer IWES
Michel Vandenbergh • Fraunhofer IWES
Georg Bopp • Fraunhofer ISE
Brisa Ortiz • Fraunhofer ISE
Dr. Matthias Vetter • Fraunhofer ISE
Guido Glania • Alliance for Rural Electrification
Michael Wollny • SMA Solar Technology AG

Strategische Forschungsziele

104 Künftige Mobilität auf Basis erneuerbarer Energien
Dr. Günther Ebert • Fraunhofer ISE
Prof. Werner Tillmetz • ZSW
Dr. Michael Specht • ZSW
Dr. Michael Sterner • Fraunhofer IWES
Dr. Bernd Krautkremer • Fraunhofer IWES
Dr. Thomas Pregger • DLR
Dr. Wilhelm Kuckshinrichs • Jülich

111 Integration der erneuerbaren Energien in die Strom- und Wärmeversorgung
Prof. Dr. Jürgen Schmid • Fraunhofer IWES
Dr. Bernhard Lange • Fraunhofer IWES
Dr. David Nestle • Fraunhofer IWES
Dr. Kurt Rohrig • Fraunhofer IWES
Dr. Michael Sterner • Fraunhofer IWES
Dr. Philipp Strauß • Fraunhofer IWES
Uwe Krengel • Fraunhofer IWES

116 Neue strategische Herausforderungen an Forschung und Entwicklung für erneuerbare Energien
Björn Klusmann • Bundesverband Erneuerbare Energie (BEE)

122 Forschen für globale Märkte – Strategische Ansätze des Bundesumweltministerium
Joachim Nick-Leptin • Bundesumweltministerium

127 Spannungsfeld von Technologietransfer und Schutz geistigen Eigentums
Dr. Winfried Hoffmann • Präsident EPIA und Chief Technology Officer of Applied Materials GmbH & Co. KG
Jana Lewerenz • Sekretariat für Zukunftsforschung
Thomas Pellkofer • Applied Materials GmbH & Co. KG

133 Innovationsstrukturen in Deutschland für technologische Spitzenstellung – das Solarvalley Mitteldeutschland
Dr. Hubert A. Aulich • Solarvalley Mitteldeutschland und PV Crystalox Solar PLC
Dr. Peter Frey • Solar Valley GmbH

Podiumsdiskussion

139 Sind die deutsche Forschung für erneuerbare Energien und die deutsche Wirtschaft fit für den internationalen Wettbewerb?

Danksagung

148 Zuwendungsgeber und Sponsoren

Verzeichnisse

150 Standorte der FVEE-Mitgliedsinsitute

151 Anschriften der FVEE-Mitgliedsinsitute

152 Impressum

Grußwort des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Thomas Rachel
Parlamentarischer Staatssekretär
Thomas.Rachel@bmbf.bund.de

Sehr geehrte Damen und Herren,

„Das Prinzip der Nachhaltigkeit prägt unsere Politik. Wir wollen gute Lebensbedingungen für kommende Generationen. Der Klimaschutz ist weltweit die herausragende umweltpolitische Herausforderung unserer Zeit. Er ist Vorsorge für eine langfristig tragfähige wirtschaftliche und ökologische Entwicklung. Wir sehen Klimaschutz zugleich als Wettbewerbsmotor für neue Technologien." So steht es im Koalitionsvertrag von CDU, CSU und FDP.

Das Motto Ihrer Jahrestagung: „Forschen für globale Märkte erneuerbarer Energien" knüpft an diese strategischen Eckpunkte aus dem Koalitionsvertrag an. Einerseits geht es um das Öffnen und Nutzen von Exportchancen für unsere Wirtschaft. Andererseits geht es darum, durch die weltweite Verbreitung umwelt- und klimaschonender Energietechnologien drängende globale Energie- und Klimaprobleme zu lösen und verantwortlich für die Zukunft zu handeln. Ich freue mich, dass der Forschungs-Verbund Erneuerbare Energien diese hochaktuellen Fragen mit seiner Jahrestagung aufgreift.

Die neue Bundesregierung misst der Energiepolitik eine außerordentlich hohe Bedeutung zu. Denn die Frage, wie wir unseren Energiebedarf in Zukunft umweltverträglich, klimaschonend und nachhaltig decken, ist eine der größten globalen Herausforderungen unserer Zeit. Wir wollen daher den Weg in das Zeitalter der regenerativen Energie bereiten und die Technologieführerschaft bei den erneuerbaren Energien ausbauen. Der Weg hierhin führt über die Forschung. Nur durch eine exzellente Energieforschung werden wir in der Lage sein, unsere starke internationale Wettbewerbsposition zu halten. Und nur durch Forschung werden wir erreichen, dass die erneuerbaren Energien so kostengünstige Lösungen bieten, dass sie bei den strategischen Entscheidungen zu Energieversorgung und Klimaschutz eine noch stärkere Rolle erhalten. Wir werden daher ein neues Energieforschungsprogramm mit Schwerpunkten in der Energieeffizienzforschung, den Speichertechnologien, intelligenten Netztechnik und bei Biokraftstoffen der zweiten Generation entwickeln.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat gemeinsam mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gerne die Schirmherrschaft über die Jahrestagung des ForschungsVerbunds übernommen. Auch in der neuen Bundesregierung sind die Zuständigkeiten für die Energiepolitik und die Energieforschungspolitik auf mehrere Schultern verteilt. Das BMBF und das BMU haben ihre Forschungsförderung für erneuerbare Energien bereits in der vergangenen Legislaturperiode erfolgreich miteinander abgestimmt. Dass nun zwei Bundesministerien gemeinsam die Schirmherrschaft für die Jahrestagung übernommen haben, zeigt, dass auch in Zukunft eine gute Abstimmung und enge Koordinierung zwischen den Ressorts stattfinden wird. Dies ist in meinen Augen unabdingbar, um die im Koalitionsvertrag vereinbarten energiepolitischen Ziele umzusetzen.

Klimaschutz bezahlbar machen

Der Klimawandel schreitet unaufhaltsam voran. Um ihn in einem beherrschbaren Rahmen zu halten, müssen wir den Trend bei der Emissionsentwicklung umkehren.

In wenigen Tagen beginnt die Weltklimakonferenz in Kopenhagen. Wir müssen dafür sorgen, dass dieser Klimagipfel ein Erfolg wird. Ein Scheitern können wir uns nicht leisten. Wir brauchen ein rechtsverbindliches internationales Klimaschutzabkommen für die Zeit nach 2012, einen Anschlussvertrag an das Kyoto-Abkommen. Die Weltklimakonferenz in Kopenhagen muss genutzt werden, um die Vorbereitungen dafür zu treffen, dass im Laufe des Jahres 2010 ein langfristiges Klimaschutzabkommen geschlossen

werden kann. Die Bundesregierung wird sich mit aller Kraft dafür einsetzen, dass in Kopenhagen alle Kernpunkte sowie Form und Struktur des neuen Klimaschutzabkommens entschieden werden. Darüber bestand auch auf der Kabinettsklausur in Meseberg Einigkeit. Und deswegen wird die Bundeskanzlerin selbst an der Klimakonferenz in Kopenhagen teilnehmen. Sie wird sich auf dem Gipfel persönlich dafür einzusetzen, dass maximale Anstrengungen auf dem Weg zu einem verbindlichen Klimaschutz-Abkommen unternommen werden.

Klimaschutzmaßnahmen kosten Geld. Dies darf die Staaten aber nicht vom Klimaschutz abhalten. Denn jede heute unterlassene Maßnahme zum Klimaschutz wird uns in der Zukunft ein Vielfaches kosten. Ein zentrales Ziel der Bundesregierung ist daher, Klimaschutz bezahlbar zu machen: für Industriestaaten, aber auch für Entwicklungsländer. Wir benötigen kostengünstige und effektive Technologien, die erneuerbare Energien zur CO_2-Reduzierung einsetzen.

Hier liegt eine große Aufgabe für die Forschung. Zum einen gilt es, die heutigen Technologien weiterzuentwickeln und ihre Investitionskosten zu senken. Zum anderen müssen wir aus neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen ganz neue technologische Ansätze entwickeln, die uns als Sprunginnovationen viel effizientere Lösungen für unsere Energie- und Klimaprobleme ermöglichen.

Hier ist die langfristig angelegte Grundlagenforschung besonders gefragt. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung wird mit seinem Förderkonzept „Grundlagenforschung Energie 2020+“ weiterhin diesen Teil der Energieforschung besonders unterstützen. So sieht es die Zuständigkeitsverteilung der Ressorts in der Energieforschungsförderung vor.

Spitzenstellung in der Forschung erhalten

Deutschland hat in der Forschung und in der Produktion von erneuerbaren Energietechnologien und Technologien zur effizienten Energieumwandlung und -nutzung international eine Spitzenstellung. Die kontinuierliche, zielstrebige Förderung von Forschung und Entwicklung, begleitet von praktischer Erprobung seit den achtziger Jahren, hat ihre Früchte getragen. Aber: Andere Staaten haben das Potenzial der erneuerbaren Energien und die Marktchancen genau so erkannt wie wir und investieren erheblich in Produktion und Forschung, insbesondere in der Photovoltaik- und in der Windkrafttechnologie.

Wenn Deutschland in diesem Wettbewerb technologisch seine Spitzenstellung behalten will, muss unsere Forschung herausragend sein. Wir müssen unsere Technologien weiterentwickeln und durch geschicktes Zusammenspiel der Akteure in Forschung, Industrie, Infrastruktur und Nachwuchsförderung Innovationen fördern.

Forschung und Innovation verlangen ein Zusammenwirken: Die Exzellenz der einzelnen Akteure ist eine wichtige Voraussetzung, aber nicht alles.

Das BMBF fördert darum neben der Entwicklung einzelner Technologien durch Sonderprogramme wie den Spitzenclusterwettbewerb erfolgreiche und aussichtsreiche Technologieregionen als „Team“: Spitzenforschung, regionale Innovations- und Infrastrukturförderung, Wirtschaft und Bildungsinstitutionen entwickeln Gesamtkonzepte, um die Wettbewerbsfähigkeit einer Region für die Zukunft weiter auszubauen. Im Spitzencluster „Solarvalley Mitteldeutschland“ wird beispielhaft an dem Ziel gearbeitet, die Kosten der Photovoltaik so weit zu senken, dass die sogenannte Netzparität erreicht wird. Für die Photovoltaik gilt es, die Kostenmauer zu überwinden und damit die Photovoltaikanwendung zu beschleunigen.

Wir werden auch künftig die Hochtechnologieförderung mit regionalen Stärken und Initiativen bündeln. Die zweite Runde des Spitzencluster-Wettbewerbs ist deshalb auf den Weg gebracht worden. Die Bewertungsrunde läuft bereits.

Forschung international vernetzen

Forschen für globale Märkte, wie es auf dieser Tagung für die erneuerbaren Energien präsentiert und diskutiert werden soll, heißt vor allem international zu kooperieren, und zwar in mehrfacher Hinsicht:

Der Austausch von Wissenschaftlern und die Zusammenarbeit mit den besten Forschungszentren der Welt ist Voraussetzung dafür, dass wir unsere exzellente Position in der Forschung behalten. Nur als attraktiver, international vernetzter Wissenschaftsstandort werden wir in der Lage sein, weiterhin Spitzentechnologie zu entwickeln und weltweit anzubieten.

Die Internationalisierung der Ausbildung unseres wissenschaftlichen Nachwuchses und die Förderung der Mobilität der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind in diesem Zusammenhang unverzichtbar.

Die Zielländer unserer umweltfreundlichen Energietechnologieprodukte sind vielfach Entwicklungsländer. Der Technologieexport allein reicht aber nicht aus. Wir müssen durch strategisch vorbereitete Kooperation den Weg für umweltschonende Energieversorgungs- und -nutzungskonzepte ebnen. Dazu gehören der Aufbau von Knowhow, Fachinstitutionen und die Ausbildung von Experten.

Kurz: Die Zusammenarbeit mit den Entwicklungsländern in Bildung, Forschung und Entwicklung muss gestärkt werden, um diesen Aufbau zu ermöglichen.

Dies sind Bestandteile der Strategie der Bundesregierung zur Internationalisierung von Wissenschaft und Forschung, die Anfang vergangenen Jahres verabschiedet wurde und auch in dieser Legislaturperiode fortgeführt werden soll.

Das Wissenschaftsjahr 2010 – Die Zukunft der Energie

Nicht zuletzt müssen wir die zukunftsentscheidende Bedeutung des Themas Energie und die zentrale Rolle der Forschung bei der Lösungssuche der Öffentlichkeit noch stärker als bisher nahe bringen.

Das BMBF hat deshalb das kommende Wissenschaftsjahr 2010 unter das Motto „Die Zukunft der Energie“ gestellt. Gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft will das BMBF so die Bürger ansprechen und begeistern, eine öffentliche Diskussion anstoßen und die Bedeutung von Forschung und Wissenschaft für eine gesicherte, umweltverträgliche und bezahlbare künftige Energieversorgung vermitteln. Vor allem die Jugend soll durch das „Wissenschaftsjahr Energie“ für das Thema Energie und Energieforschung und damit für naturwissenschaftlich-technische Berufe begeistert werden. Wir wünschen uns, dass sich möglichst viele Forschungseinrichtungen, Hochschulen und Unternehmen am Wissenschaftsjahr Energie beteiligen werden: mit eigenen Projekten, durch die Beteiligung an der Forschungsbörse, Ausstellungen, Diskussionsplattformen und dem für Ende September 2010 geplanten bundesweiten „Tag der Energie“, der zu einem Blick hinter die Kulissen und in die Zukunftswerkstätten der Energieforschung einlädt.

Zunächst aber wünsche ich Ihnen allen auf der Jahrestagung des Forschungsverbundes einen lebhaften Informations- und Meinungsaustausch und viele gute Ideen für das Erschließen globaler Märkte.

Grußwort des Bundesumweltministeriums

Ladies and Gentlemen,

On behalf of the German Environment Ministry, I would like to welcome you to this international exchange of experience on the occasion of the annual meeting of the Renewable Energy Research Association.
Our Parliamentary State Secretary, Ursula Heinen-Esser, had to change her plans for tonight on rather short notice. So, she asked me to apologise for this and to take over this welcome address for her. I would also like to convey the best wishes of Federal Environment Minister Norbert Röttgen.

"Global climate protection is the pre-eminent environmental policy challenge of our time." This is one of the key statements in the Coalition Agreement of the new government. It clearly shows that climate protection will remain at the top of the German environmental policy agenda in the years to come.

In a few weeks, the eyes of the global community will be on the Copenhagen conference. People expect the countries of the world to take responsibility. Our goal is to reach a consensus on all core issues in Copenhagen. In 2010 this outcome must be translated into a detailed, internationally binding agreement.

Despite the difficulties that objectively exist, we are optimistic that a breakthrough will be achieved at the Copenhagen summit. Germany has always been a driving force in climate protection. It will continue to play this role. We stand by our climate policy goals. We are committed to the target of limiting global warming to a maximum of 2 degrees, and the target of cutting greenhouse gas emissions by 80 to 95% by 2050. By 2020, we want to achieve a 40% emissions reduction in Germany compared to 1990.

Climate policy is essentially energy policy. Two aspects are particularly important:
1. We need to expand renewable energy.
2. We need to use energy more efficiently.

Next year, the German government will present a new energy concept. Among other things, this concept will outline
- the intended development of the energy mix
- and perspectives for integrating a steadily growing share of renewable energy in the overall energy supply system.

Our goal is for renewable energy to provide the main share of energy supply. In a dynamic energy mix, they will gradually replace conventional energy sources.

Chancellor Angela Merkel reaffirmed this in her recent policy statement: "We want to pursue the path towards the age of renewable energy". The most important instrument in this policy will be the Renewable Energy Sources Act, the EEG. The new government remains committed to the EEG – this has also been laid down in the Coalition Agreement. We are delighted that feed-in tariffs for renewables have been put in place in many countries. The EEG has become a major German export good. A number of countries have used it as a model for a successful policy to facilitate the market introduction of renewable energy.

Germany is an international leader in many renewable energy technologies. There are various reasons for this. But a decisive reason is that Germany has top research institutes and excellent scientists in the area of renewable energy. Thanks to their expertise – thanks to your expertise – renewable energy made in Germany are in great demand throughout the world.

Joachim Nick-Leptin
BMU • Referat Forschung und Entwicklung Erneuerbarer Energien
joachim.nick-leptin@bmu.bund.de

It goes without saying that financial framework conditions have an important impact on research. Decisive impetus was already provided during the last legislative period. With the High Tech Strategy, R&D funds were stepped up considerably. This also benefitted support offered by the Federal Environment Ministry for renewable energy research. We will continue this policy. Our aim is to focus research funding on sectors that are particularly relevant for society. These include climate protection and energy.

Successful research is vital for reaching our ambitious energy policy objectives. The research institutes united in the Renewable Energy Research Association can make a major contribution to reaching these objectives. I am very pleased about the great interest in this meeting, and I am delighted to see so many young participants here. The students of today will be the researchers of tomorrow. Your ideas are needed. Germany will only be able to maintain the current standard of living if we defend our position as technology leader. This means that we need scientists and engineers.

I welcome very much that the Renewable Energy Research Association is addressing international cooperation at this meeting. Climate change does not stop at borders. We are all affected. And we can only cope with this enormous challenge if we work together.

I am therefore delighted to see so many representatives of embassies here tonight. I wish you all fruitful and informative discussions and every success for the conference.

Erneuerbare Energien und Transformation des globalen Energiesystems

- Megatrends, Herausforderungen und Strategien
- Bedeutung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in verschiedenen globalen Energieszenarien
- Internationale Energiepolitik

Megatrends, Herausforderungen und Strategien

Prof. Dr. Frithjof Staiß
ZSW
frithjof.staiss@zsw-bw.de

Prof. Dr. Jürgen Schmid
Fraunhofer IWES Kassel
jschmid@iset.uni-kassel.de

Zusammenfassung

Megatrends wie globales Bevölkerungswachstum, die Entstehung von Industriegesellschaften in den Entwicklungs- und Schwellenländern und die steigende Mobilität von Menschen, Gütern und Wissen sind wesentliche Determinanten des zukünftigen Energiebedarfs. Dem steht als bedeutendste Restriktion die Belastbarkeit ökologischer Systeme gegenüber.

Um künftig die Balance zwischen Wachstum und Nachhaltigkeit zu finden, ist ein Paradigmenwechsel unerlässlich. Mit der Transformation des Energiesystems und den entstehenden globalen Märkten für erneuerbare Energien sind vielfältige neue Herausforderungen verbunden, denen sich auch Wissenschaft und Forschungspolitik stellen müssen, um die technologische Spitzenposition Deutschlands im internationalen Wettbewerb zu erhalten.

Einleitung

Unsere Welt verändert sich mit zunehmender Geschwindigkeit. Quasi im Zeitraffer vollzieht sich die Industrialisierung in einigen Teilen der Welt und verschiebt die Marktgewichte von West nach Ost und von Nord nach Süd. Wirtschaftswachstum und die Entstehung einer globalen Mittelschicht bei zunehmender Verstädterung sowie das anhaltende Bevölkerungswachstum in den Entwicklungsländern gehen mit einer stark wachsenden Nachfrage nach Grundstoffen wie Stahl, Zement oder Glas, aber auch nach Investitionsgütern und langlebigen Konsumgütern einher. Andererseits kommt es in den westlichen Gesellschaften aufgrund der Alterung und Schrumpfung der Bevölkerung, der zunehmenden Ausrichtung des Konsums auf nachhaltige Produkte und vor allem durch den Übergang von Produktions- in Dienstleistungs- und Wissensgesellschaften zu gegenläufigen Effekten.

Insgesamt wird dennoch die Entwicklung bei den heutigen Strukturen der Energieversorgung per Saldo zu einem starken Anstieg des Energiebedarfs führen: bereits in den nächsten zwanzig Jahren um etwa 40 % [1]. Die Frage stellt sich daher, wie lange eine solche Entwicklung durchgehalten werden kann, zumal eine Trendumkehr der Basisdaten noch nicht absehbar ist. Schon allein die Verfügbarkeit und Preise von nicht erneuerbaren Energien und geopolitische Risiken erfordern eine Entkopplung von wirtschaftlicher Entwicklung und Energiebedarf. Es geht darum, die Differenz zwischen Energieeinsatz und den letztlich benötigten Energiedienstleistungen Kraft, Wärme, Licht und Kommunikation möglichst klein zu halten. Vor allem erfordert dies die begrenzte Belastbarkeit ökologischer Systeme.

Herausforderungen durch den Klimawandel

Die bereits mit der Klimarahmenkonvention aus dem Jahr 1992 vereinbarte „Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau, ... auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird“ [2] konkretisiert sich inzwischen in der Forderung, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter auf maximal 2 ° Celsius zu begrenzen.

Die G8-Staaten haben bei ihrem Gipfel im italienischen L’Aquila im Juli 2009 anerkannt, das dafür bis zum Jahr 2050 mindestens eine Halbierung der globalen Treibhausgasemissionen bzw. in den Industrieländern eine Reduktion um 80 % gegenüber 1990 notwendig ist [3]. Dass sich auch die internationale Staatengemeinschaft darauf verständigt, scheint bei allen politischen Schwierigkeiten nicht eine Frage des „ob“, sondern eine Frage des „wann“ und des

„wie“ zu sein, insbesondere in Bezug auf eine faire Lasten- und Chancenteilung zwischen Industrie- und Entwicklungsländern. Denn das Faktische des fortschreitenden Klimawandels wird den Handlungsdruck sukzessive erhöhen und Entscheidungen letztlich erzwingen.

Aber es geht nicht nur um die Risiken des Nichthandelns. Zunehmend werden die Chancen erkannt, die mit einem Umbau des globalen Energiesystems verbunden sind. Ein Paradigmenwechsel wird auch im World Energy Outlook 2009 der Internationalen Energie Agentur (IEA) deutlich erkennbar [1]. Denn anders als in früheren Berichten steht nicht mehr im Vordergrund, was getan werden müsste, um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren, sondern was geschieht, wenn wir nicht entschlossen handeln. An die Stelle der als „not sustainable“ eingestuften business-as-usual-Entwicklung tritt ein Leitszenario, mit dem die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre auf 450 ppm erreicht wird, was der „2° Celsius-Marge“ entspricht. Wie die Untersuchung des Fraunhofer IWES in *Abbildung 1* zeigt, ist es technisch-strukturell sogar möglich, bereits 2050 eine vollständig CO_2-freie Energieversorgung zu erreichen. Dafür ist eine konsequente Ausnutzung der Energieeinspar- (vor allem im Wärmemarkt und Verkehr) und -effizienzpotenziale (z. B. Kraft-Wärme-Kopplung) erforderlich, die dazu führt, dass der Energiebedarf nicht weiter steigt. Parallel dazu werden die fossilen Energieträger und die Kernenergie sukzessive durch einen breiten Mix aus erneuerbaren Energien ersetzt.

Der Wert eines solchen Szenarios liegt vor allem im Aufzeigen des theoretisch Machbaren. Aber wie realistisch ist dies aus heutiger Sicht? Können die erneuerbaren Energien die ihnen im IEA-Szenario zugedachte Rolle einnehmen und bis 2030 etwa 40 % des Welt-Energiebedarfs decken? Denn heute sind es nur 18 % und davon entfällt ein nicht unerheblicher Anteil auf die nicht nachhaltige Nutzung von Brennholz in Entwicklungsländern. Welches sind die Schlüsseltechnologien und welche Chancen bieten sie aus deutscher Sicht?

Entwicklungstrend: erneuerbare Energien

Praktisch alle Weltenergieszenarien gehen davon aus, dass vor allem die regenerative Stromerzeugung ausgebaut werden muss. Denn der Stromverbrauch in Industrie und Haushalten steigt und es kommen neue Stromanwendungen wie

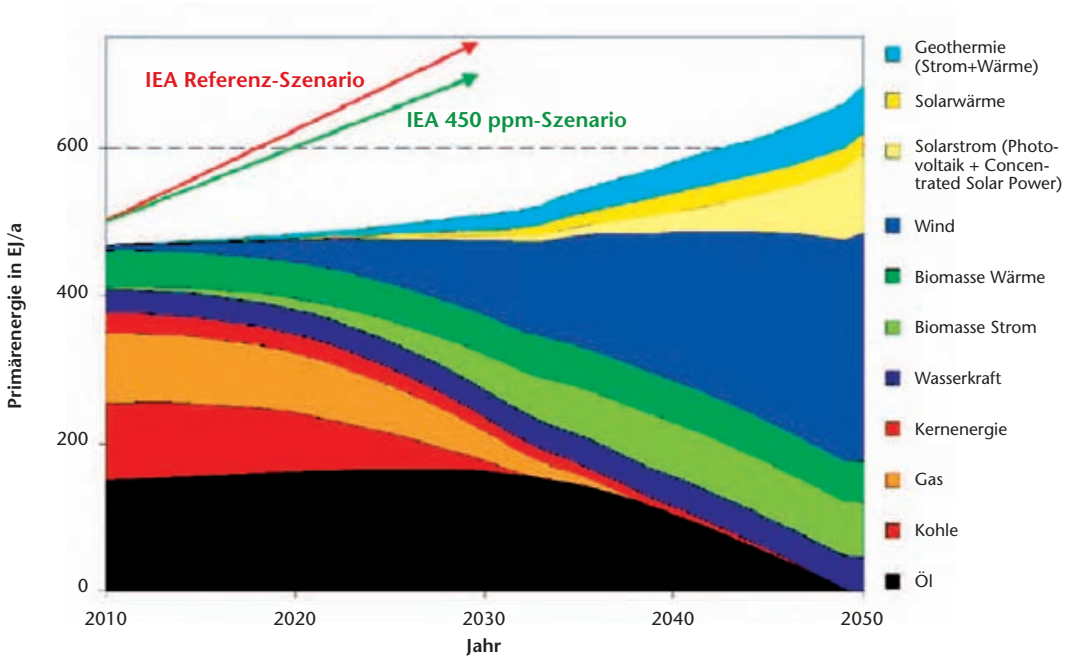


Abbildung 1
Null-Emissions-Szenario des Fraunhofer IWES bis 2050 im Vergleich zu den Szenarien der Internationalen Energie Agentur

die Elektromobilität hinzu. Außerdem ist die Stromversorgung schon heute für über 40 % der globalen CO_2-Emissionen verantwortlich und aufgrund der eingesetzten Energieträger (Kohle) und der schlechten Kraftwerkswirkungsgrade mit hohen spezifischen CO_2-Emissionsfaktoren behaftet.

Ziel des 450 ppm-Szenarios der IEA ist es deshalb, die spezifischen CO_2-Emissionen der Stromerzeugung von 603 gCO_2/kWh (2007) bereits bis 2030 auf 283 gCO_2/kWh mehr als zu halbieren. Dabei sollen in diesem Szenario die Kernenergie sowie die Einführung von CO_2-Abscheidungs- und -Speichertechnologien (Carbon Capture and Storage, CCS) eine Rolle spielen. Die weitaus größte Bedeutung kommt jedoch den erneuerbaren Energien zu, deren Kapazität sich auf annähernd 2.000 GW vervielfacht. Insgesamt steigt ihr Anteil an der Stromerzeugung von 18 % auf 37 %, wobei sie nicht nur vollständig die Zunahme des Stromverbrauchs abdecken, sondern schon vor 2030 in erheblichem Umfang konventionelle Energieträger substituieren.

Das 10 %-Kriterium für Schlüsseltechnologien

Weil der Ausbau der Stromerzeugung aus Wasserkraft und der klassischen Verbrennung von Biomasse nur noch begrenzt möglich ist, müssen vor allem Wind, Photovoltaik, solarthermische Kraftwerke, Geothermie, Meeresenergien und neue Verfahren der Biomassekonversion die Entwicklung tragen. Die Frage lautet deshalb, ob diese Technologien tatsächlich dazu in der Lage sind. Sucht man empirisch eine Antwort, so kann die These vom „10 %-Kriterium“ aufgestellt werden. Gemeint ist damit, dass sich eine Technologie dann zu einer Schlüsseltechnologie entwickeln kann, wenn ein bestimmter Anteil am Marktvolumen überschritten wird.

Das 10 %-Kriterium wird heute bereits von der Windenergienutzung erfüllt, denn weltweit werden auf diese Weise rund 10 % des Strombedarfswachstums gedeckt. Der Windmarkt wächst dabei seit zehn Jahren mit durchschnittlich 30 % pro Jahr und damit fünfzehn Mal so schnell wie der gesamte Stromverbrauch. Sehr gut absehbar ist, dass bereits im Jahr 2013 mit rund 340 GW Windleistung fast dreimal so viel Leistung installiert sein wird wie 2008 [4] und bei einer Fortsetzung des Trends im Jahr 2020 rund 10 % der globalen Stromerzeugung aus Wind gedeckt werden können.

Mit einem gewissen Zeitversatz ist dies auch für die Photovoltaik zu erwarten, obwohl sie sich heute mit einer installierten Leistung von 16 GW (2008, [5]) weltweit noch im Promille-Maßstab bewegt und aufgrund der noch notwendigen finanziellen Förderung im netzgekoppelten Betrieb nur in wenigen Ländern wie Deutschland, Spanien oder Japan nennenswert genutzt wird. In Deutschland wird 2009 voraussichtlich die 1 %-Marke an der gesamten Stromerzeugung überschritten. Ihre Wachstumspotenziale wurden bisher aber häufig stark unterschätzt, denn die vermeintlich teure Technologie hat in den letzten Jahren Kostensenkungen erfahren, die niemand in dieser Geschwindigkeit erwartet hat. So kann schon heute Solarstrom an einstrahlungsreichen Standorten für etwa 10 ct/kWh produziert werden, mit weiterhin sinkender Tendenz. Die Photovoltaik steht damit an der Schwelle zur breiten Markteinführung und die Branche hat in den letzten zehn Jahren gezeigt, dass sie hohe Wachstumsraten darstellen kann.

So geht die European Photovoltaic Industry Association in ihren Szenarien davon aus, dass es bereits bis 2020 allein in Europa möglich ist, weit mehr als hundert Gigawatt Photovoltaik-Leistung zu errichten [6]. Die Erwartungen der IEA liegen zwar mit einer weltweit installierten Leistung von etwa 130 GW deutlich niedriger [7], allerdings ist darauf hinzuweisen, dass hier von einer sehr konservativen Entwicklung der Stromgestehungskosten ausgegangen wird, die einen wichtigen Faktor für die Geschwindigkeit der Markdurchdringung darstellen und die aufgrund der aktuellen Dynamik bereits als überholt gelten müssen. Dennoch folgt auch aus dem IEA-Szenario, dass die Photovoltaik noch vor dem Jahr 2030 in der Lage ist, etwa 10 % der weltweiten Zunahme des Stromverbrauchs zu decken.

Andere Technologien wie Solarthermische Kraftwerke, welche derzeit mit zahlreichen Projekten

im Mittelmeerraum in den Markt kommen, die effiziente Konversion von Biomasse mit neuartigen Verfahren (z. B. die thermochemische Vergasung von fester Biomasse), Geothermie und Meeresenergien können den beiden exemplarisch skizzierten Entwicklungen folgen. Analog gilt dies für zahlreiche weitere Anwendungsbereiche der erneuerbaren Energien, wie etwa das solare Bauen und die solare Prozesswärme- und Kältebereitstellung, verschiedene Technologien zur Energiespeicherung, regenerative Kraftstoffe, Elektromobilität, Brennstoffzellen und den regenerativen Wasserstoff, so dass die Realisierung einer CO_2-freien Energieversorgung auf der Basis erneuerbarer Energien aus heutiger Sicht sowohl technisch als auch ökonomisch darstellbar ist.

Die Dynamik der Märkte erneuerbarer Energien

Die Globalisierung lässt sich bereits in verschiedenen Sektoren deutlich ablesen. *Abbildung 2* zeigt dazu die Entwicklung der Märkte für Windenergieanlagen anhand der installierten Leistung für die Jahre 1990, 1995, 2000 und 2008. Deutlich erkennbar ist die Dynamik in Europa in den 90er Jahren, während seit dem Jahr 2000 auch große Märkte in Asien und in Nordamerika entstehen.

Das zweite Beispiel zeigt die Produktionskapazitäten für Solarzellen und Module, die innerhalb von nur drei Jahren vor allem in China und Taiwan außerordentlich stark erweitert wurden *(Abbildung 3)*.

Im Zuge der Globalisierung der erneuerbaren Energien entstehen ganz neue Produktions- und Anbieterstrukturen. Im Unterschied zur Chronologie der Windenergienutzung in Europa, die zunächst über regionale und nationale Märkte in den Export führte und eine Vielzahl von Herstellern oftmals aus kleinen Unternehmen hervorbrachte, werden künftig auch große multinationale Unternehmen das Geschehen mitbestimmen. Denn sie verfügen über die finanziellen und organisatorischen Voraussetzungen, die für die Erschließung anspruchsvoller Technologien und die Realisierung zunehmend größer werdender Projekte erforderlich sind. Beispiele hierfür sind Offshore-Wind-Parks, solarthermische Kraftwerke und verschiedene Bereitstellungspfade regenerativer Kraftstoffe. Dabei können sie zahlreiche Wettbewerbsvorteile nutzen, die sich u. a. aus ihrer vergleichsweise hohen Mobilität und internationalen Vernetzung ergeben.

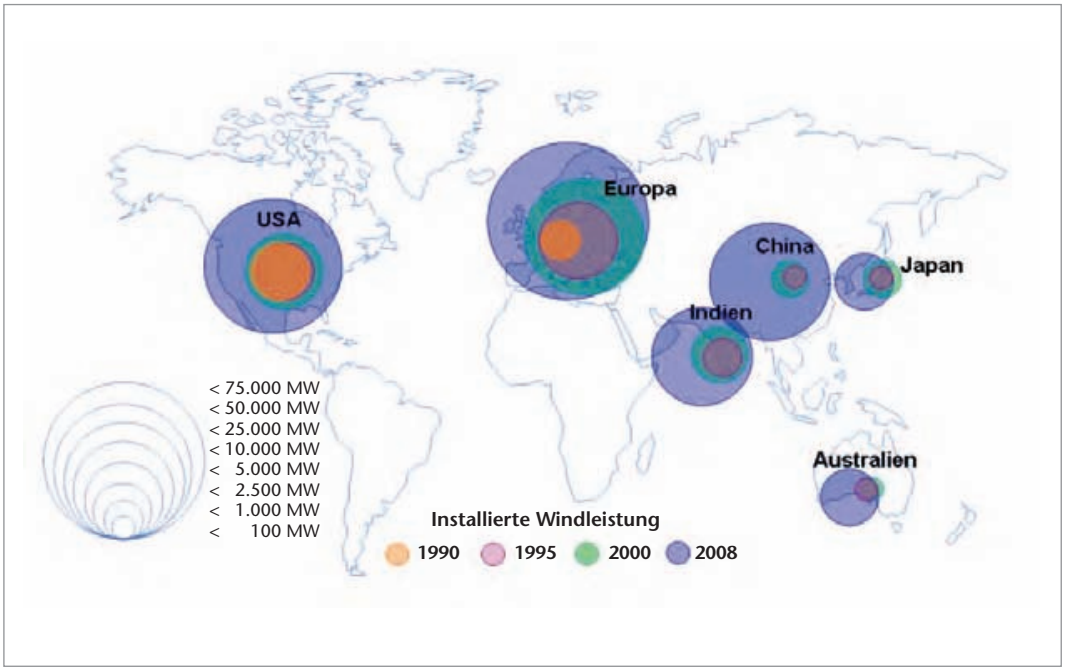


Abbildung 2
Entwicklung der installierten Windleistung 1990-2008 [8], [9]

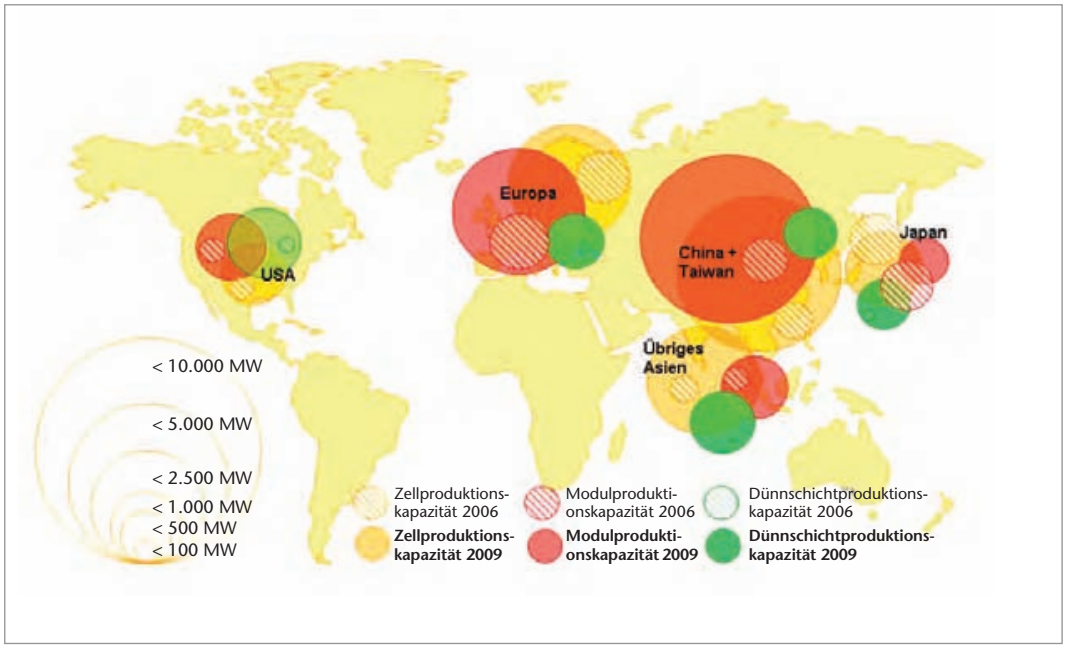


Abbildung 3
Produktionskapazitäten für Photovoltaik-Module und -zellen in den Jahren 2006 und 2009 [10], [11]

Deutschland als Technologieführer

Was bedeutet eine solche Entwicklung für den Wirtschaftsstandort Deutschland? Die weithin anerkannte Vorreiterrolle Deutschlands beim Ausbau der erneuerbaren Energien und die Technologieführerschaft in vielen zentralen Bereichen ist das Resultat eines sehr fruchtbaren Zusammenspiels von Politik, Wissenschaft und Wirtschaft über nunmehr zwei Jahrzehnte hinweg.

Die energiepolitischen Rahmenbedingungen gaben ausreichend Planungssicherheit und erlaubten es der Industrie nicht nur in die Produktion, sondern auch in die Weiterentwicklung der Anlagen zu investieren, um sie leistungsfähiger und kostengünstiger zu machen. So reduzierte sich beispielsweise die Einspeisevergütung (als Indiz für die Stromgestehungskosten) für Strom aus Windenergie seit Inkrafttreten des Stromeinspeisungsgesetzes 1991 um mehr als 60 % [12]. Ähnlich hoch war die Kostenreduktion für Solarstrom seit Einführung der sog. kostendeckenden Vergütung Mitte der 1990er Jahre [13].

Während die Wissenschaft in den meisten Fällen technologischer Impulsgeber war, wirkten Förderinstrumente wie das 100.000 Dächerprogramm und das Erneuerbare-Energien-Gesetz als Innovationsbeschleuniger, denn aufgrund der vorhandenen Märkte konnten Forschungsergebnisse rasch aus dem Labor in die Produktion überführt wurden.

In der Folge hat sich eine florierende Branche der erneuerbaren Energien entwickelt, die international wettbewerbsfähig ist und heute ungefähr 300.000 Menschen beschäftigt – etwa doppelt so viele wie 2004. Ein gutes Beispiel ist die deutsche Windindustrie, die 2008 bei einem Umsatz von 8,5 Mrd. Euro eine Exportquote von 82 % erreicht hat [14]. Und weltweit wird fast jeder dritte Euro für Erneuerbare in Windenergietechnik „made in Germany“ investiert. Davon profitieren nicht nur die Hersteller von Anlagen, sondern viele Zulieferer aus allen Teilen der Wirtschaft. Dies gilt insbesondere für den Maschinen- und Anlagenbau, der auch bei der Ausrüstung von Photovoltaik-Fabriken weltweit sehr stark ist.

Die Zielländer der erneuerbaren Energien werden künftig sehr viel stärker als bisher eigene Industrien aufbauen. Sie profitieren dabei vielfach von deutschem Know-how, auf das sie aufsetzen können. Damit besteht aber die Gefahr, dass sich die Lieferströme umkehren, wie dies aktuell beim Import chinesischer Photovoltaikmodule zu beobachten ist, wobei die Kostenvorteile vor allem auf die erhebliche staatliche Förderung des Baus von Solarfabriken zurückzuführen sind.

Obwohl solche Entwicklungen auch in Zukunft nicht auszuschließen sind, dürfte einen Subventionswettlauf auf Dauer kein Land gewinnen können. Im zunehmenden internationalen Wettbewerb wird es für die deutsche Branche deshalb entscheidend sein, sich über die technische Leistungsfähigkeit zu differenzieren, um standortbedingte Nachteile wie das höhere Lohnniveau auszugleichen. Dafür sind die Unternehmen in erster Linie selbst verantwortlich, besonders in jenen Anwendungsbereichen, für die ein hinreichend großer Markt besteht. Dies soll aber nicht als Pauschalierung für ganze Technologiebereiche missverstanden werden, denn auch in der Windenergie, der Photovoltaik, der Solarthermie, der Wasserkraft und dem gesamten Bereich der Bioenergien ist das Ende der Technologieentwicklung längst noch nicht erreicht.

Förderung der Forschung und Entwicklung für Erneuerbare

Aufgabe des Staates ist es, nicht nur die Grundlagen-, sondern auch die angewandte Forschung zu fördern, damit neue Technologien, Verfahren und Strategien für die künftige Energieversorgung erschlossen werden. Der Übergang zur industriefinanzierten Forschung ist dabei fließend und sollte im Technologielebenszyklus in der Phase zwischen Demonstration und Markteinführung erfolgen.

Die öffentliche Forschungsförderung sollte ihren Schwerpunkt in Technologiebereichen setzen, die mittelfristig (in etwa 3 bis 5 Jahren) oder langfristig (in mehr als 10 Jahren) für den Markt relevant sind. In welchem Umfang dies geschehen sollte, hängt vor allem davon ab, wie groß das Potenzial von Technologien für die gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung ist. Zweifellos gilt dies für die erneuerbaren Energien in sehr hohem Maße, denn die Transformation der globalen Energieversorgung ist eine zentrale Aufgabe der Menschheit im 21. Jahrhundert. Deshalb wird auch der internationale Wettbewerb um die besten Technologien sehr schnell zunehmen. Dies betrifft die Wirtschaft ebenso wie die Forschung. Vor allem multinationale Unternehmen sind dabei in der Lage, sich Forschungs- und Entwicklungsleistungen jederzeit „bei den weltweit Besten" einzukaufen. Dem müssen sich Wissenschaft und Forschungspolitik in Deutschland stellen.

Betrachtet man die Forschungsausgaben des Bundes über einen längeren Zeitraum, so zeigt

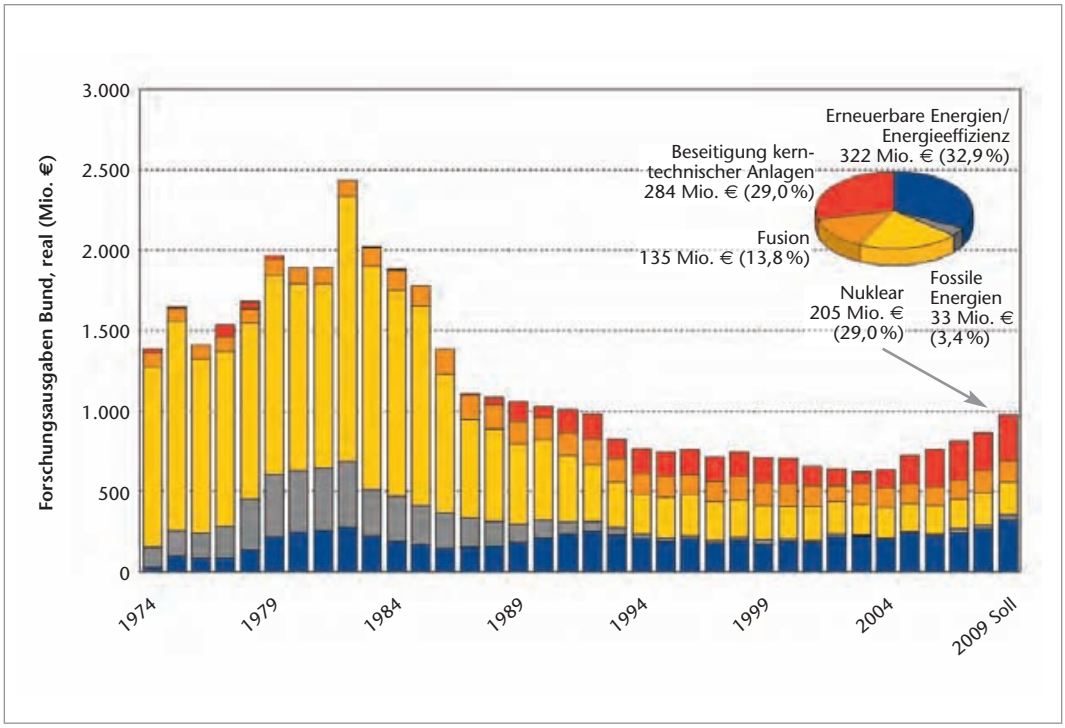


Abbildung 4
Höhe und Struktur der Energieforschungsausgaben des Bundes 1974 bis 2009 [16]

sich, dass sich die Ausgaben als Anteil am Bruttoinlandsprodukt seit den 1980er Jahren immer im Bereich von gut 2 % und knapp unter 3 % bewegt haben [15]. Mit aktuell etwa 2,5 % bleibt Deutschland aber hinter anderen Industrienationen wie Japan (2005: 3,3 %) oder den USA (2005: 2,6 %) zurück, wobei vor allem bei den USA zu berücksichtigen ist, dass das Bruttoinlandsprodukt fast viermal so groß ist.

Abbildung 4 zeigt, dass die Energieforschungsausgaben Mitte der 1980er Jahre in Deutschland deutlich über dem heutigen Niveau lagen [16]. Seither ist es zwar zu einer Mittelverschiebung gekommen, der Anteil der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz beträgt aber auch in den Planzahlen für 2009 nur knapp ein Drittel. Angesichts des Stellenwertes der Erneuerbaren für die weltweite Energieversorgung und der technologischen Herausforderungen und aufgrund des zu erwartenden Wachstums der weltweiten Forschungsaktivitäten muss Deutschland sehr viel mehr tun, um seine technologische Spitzenstellung in diesem Bereich zu behaupten. Dabei müssen auch die Zielmärkte im Auge behalten und Technologien weiter entwickelt werden, für die in Deutschland keine oder nur geringe Nutzungspotenziale bestehen (z. B. die Hochtemperatur-Solarthermie, spezielle Verfahren der Bioenergienutzung oder die Nutzung von Meeresenergien). Gleichzeitig brauchen wir mehr Technologiepartnerschaften mit außereuropäischen Industrieländern und mit Schwellen- und Entwicklungsländern.

Positive Trends sind durchaus zu beobachten, die sich primär in Sonderprogrammen wie „Organische Photovoltaik", „BioEnergie 2021" oder „Lithium Ionen Batterie LIB 2015" ausdrücken oder im Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität, im Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NIP) und im Spitzencluster-Wettbewerb. Auch die Verdoppelung des Forschungsbudgets beim Bundesumweltministerium für die erneuerbaren Energien seit 2004 trägt hierzu bei.

Allerdings muss diese Entwicklung weiter beschleunigt und verstetigt werden: Der ForschungsVerbund Erneuerbare Energien empfiehlt eine jährliche Steigerung der öffentlichen Forschungsförderung im Bereich der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz von jährlich 20 Prozent, damit sich die Forschungsausgaben am Ende der aktuellen Legislaturperiode auf etwa 550 Mio. Euro verdoppeln [17].

„Wir führen Deutschland in Bildung, Wissenschaft und Forschung an die Weltspitze …" und „Wir gehen den Weg in das Zeitalter der regenerativen Energien" sind herausgehobene Ziele in der Präambel des Koalitionsvertrages der neuen Bundesregierung [18]. Daran wird sie sich messen lassen müssen. Die technologische Basis dafür ist vorhanden. Dies zeigt nicht zuletzt das breite Leistungsspektrum der Jahrestagung 2009 des ForschungsVerbunds Erneuerbare Energien „Forschen für globale Märkte erneuerbarer Energien".

Literatur

[1] International Energy Agency (IEA): World Energy Outlookk 2009. IEA, Paris 2009.

[2] Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen.

[3] G8 Summit 2009: Chair's Summary, L'Aquila, Italy, 10 July 2009.

[4] BTM Consult ApS: World Market Update 2008 (Forecast 2009-2013). Ringkøbing, Denmark 2009 (www.btm.dk).

[5] Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21): Renewables Global Status Report: 2009 Update. REN21 Secretariat, Paris 2009 (www.ren21.net).

[6] European Photovoltaic Industry Association (EPIA): SET FOR 2020. EPIA, 2009 (www.epia.org).

[7] International Energy Agency: Energy Technology Perspectives 2008 - Scenarios and Strategies to 2050. International Energy Agency, Paris 2008.

[8] Earth Policy Institute: Cumulative Installed Wind Power Capacity by Selected Country and World, 1980-2007, (www.earth-policy.org).

[9] European Wind Energy Association (EWEA): Wind energy development in the EU 1998 to 2009 (www.ewea.org).

[10] Sonne Wind & Wärme (Hrsg.): Weltkarte der PV-Industrie – 124 Produktionsstandorte in 31 Ländern, in: Sonne Wind & Wärme, 2/2006, S. 38-39.

[11] Sonne Wind & Wärme (Hrsg.): Weltkarte der PV-Industrie – Zell-, Modul- und Dünnschichtfertigung – 355 Hersteller in 42 Ländern, in: Sonne Wind & Wärme, 16/2009, S. 93-94.

[12] Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichtes 2007 gemäß § 20 EEG-Forschungsbericht. Projektleitung: Prof. Dr. Frithjof Staiß, Maike Schmidt, Dr. Frank Musiol, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW). Stuttgart November 2007 (www.bmu.de).

[13] Das Aachener Modell der kostendeckenden Einspeisevergütung (www.aachen-hat-energie.de).

[14] Bundesverband Windenergie e. V.: Mit Windenergie aus der Konjunkturflaute. Pressemitteilung vom 21. April 2009.

[15] Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): Bundesbericht Forschung und Innovation 20082008. Berlin 2008.

[16] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Innovation durch Forschung – Jahresbericht 2008 zur Forschungsförderung im Bereich der erneuerbaren Energien. Berlin 2009.

[17] ForschungsVerbund Erneuerbare Energien: Verdopplung der Forschungsförderung für erneuerbare Energien und Energieeffizienz im Koalitionsvertrag verankern. Presseinformation, Berlin, 16.10.2009.

[18] Wachstum, Bildung, Zusammenhalt. Der Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und FDP. 17. Legislaturperiode, Oktober 2009.

Bedeutung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in verschiedenen globalen Energieszenarien

DLR
Dr. Wolfram Krewitt (†)

Dr. Joachim Nitsch
jo.nitsch@t-online.de

Kristina Nienhaus
kristina.nienhaus@dlr.de

Bilanziert man, welche Fortschritte die globale Energieversorgung im letzten Jahrzehnt in Richtung einer nachhaltigeren Entwicklung gemacht hat, so fällt das Ergebnis ernüchternd aus. Nach wie vor sind die Nachhaltigkeitsdefizite der Energieversorgung unübersehbar: Die durch sie ausgelöste globale Klimaerwärmung; das extrem starke Gefälle des Energieverbrauchs zwischen Industrie- und Entwicklungsländern, die sich abzeichnende Verknappung und Verteuerung von Erdöl und Erdgas, die weiterhin bestehende nukleare Gefährdung. Diese Defizite haben sich in den letzten zehn Jahren nicht verringert, da die Nachfrage nach Energie sowohl wegen unzulänglicher Effizienzanstrengungen in den „Hochverbrauchsländern" (Industrieländern) als auch wegen des rapiden Wachstums vieler Schwellenländer rasant wächst. Obwohl auch erneuerbare Energien wachsen, können sie derzeit mit diesem Wachstum (noch) nicht mithalten und können daher ihre Deckungsanteile nicht erhöhen.

Eine große Anzahl von Energieszenarien, die mögliche Zukunftsentwicklungen des globalen Energiesystems beschreiben, zeigen andererseits eindeutig, dass nur ein wesentlich effizienterer Umgang mit Energie, verknüpft mit einem massiven Ausbau von erneuerbare Energien einen umfassenden Lösungsbeitrag zu obigen Problemen leisten kann. Zahlreiche Studien kommen zu dem Ergebnis, dass dieses Ziel technologisch erreicht werden kann und dass der Weg dorthin auch aus volkswirtschaftlicher Sicht notwendig ist, wenn Volkswirtschaften weiterhin über eine stabile und erschwingliche Energieversorgung verfügen wollen. So wird auf globaler Ebene erwartet, dass von den erneuerbaren Energien bis 2050 Energiemengen in der Größe des gesamten derzeitigen Weltenergieverbrauchs bereitgestellt werden können *(Abbildung 1)*.

Ältere Szenarien (Beispiele: Shell, WBGU, IEA 2003) gingen noch generell von einer deutlich steigenden Energienachfrage aus und erwarteten damit auch beträchtliche Beiträge der erneuerbare Energien. Auch die Beiträge fossiler und nuklearer Energien sollen noch erheblich steigen. Die wachsende Dringlichkeit, Treibhausgase drastisch zu reduzieren in Verbindung mit knapper werdenden fossilen Energien zwang jedoch in den letzten Jahren zu einer konsequenteren Berücksichtigung von globalen Effizienzpotenzialen.

Heutige Szenarien gehen daher, auch in Referenz- bzw. Baseline-Fällen, von geringeren Verbrauchszuwächsen aus (Beispiele: IEA 2008, WETO 2006). Der prognostizierte Anstieg des globalen Energieverbrauchs bis 2050 liegt dann bei nur noch auf 700 – 900 EJ/a. Eine besonders systematische Ermittlung von Effizienzpotenzialen wurde im Szenario „Energy-(R)evolution" durchgeführt. Gelingt die rechtzeitige Mobilisierung dieser Potenziale, kann der globale Primärenergieverbrauch, nach Durchlaufen eines Maximums um 2020 mit knapp 550 EJ/a, bis 2050 wieder auf das heutige Niveau um 500 EJ/a zurückgeführt werden. Mit dem gleichzeitigem Ausbau der erneuerbare Energien auf rund 270 EJ/a (2007 lag ihr Beitrag bei 64 EJ/a) gelingt eine Reduktion der CO_2-Emissionen bis 2050 auf 10 Gt CO_2/a, wodurch die maximale CO_2-Konzentration bei 450 ppm stabilisiert werden kann („2 °-Ziel").

Gelingt die mögliche Effizienzsteigerung nicht in diesem Ausmaß, muss die höhere Nachfrage zusätzlich gedeckt werden. Im Beispiel des BLUE-MAP-Szenario der IEA sind dies:

- Beitrag der erneuerbare Energien von 230 EJ/a,
- Kernenergie 90 EJ/a (derzeit 30 EJ/a)
- fossile Energien 350 EJ/a (derzeit 412 EJ/a).

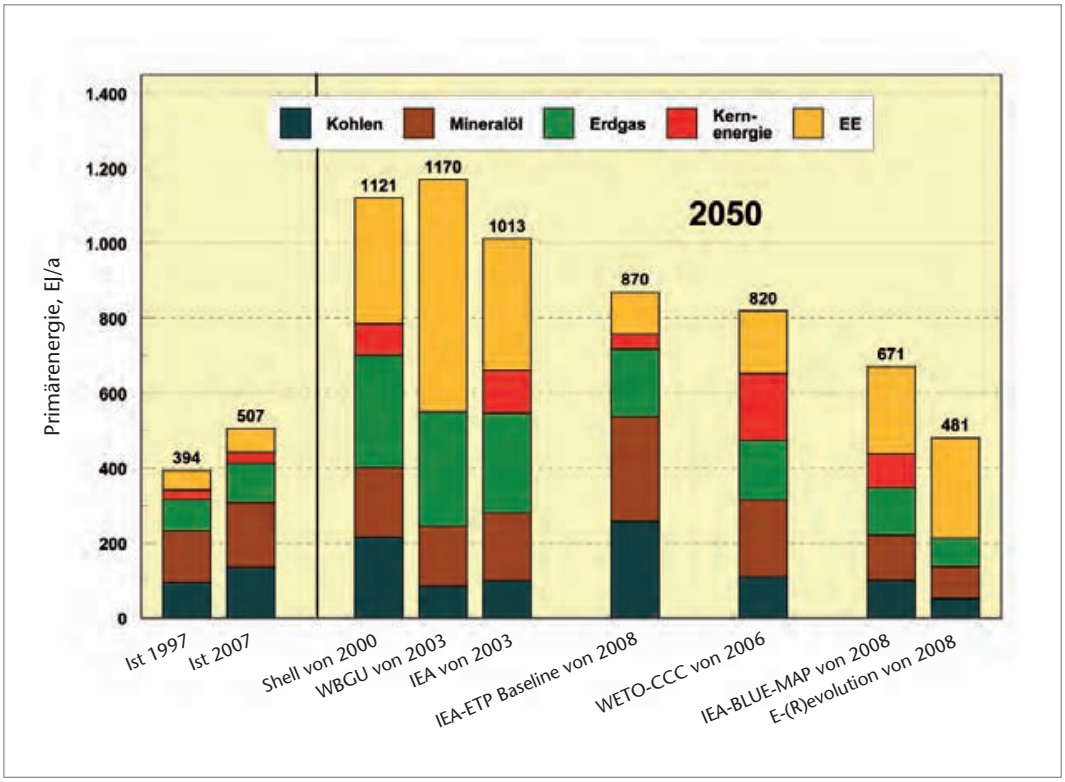


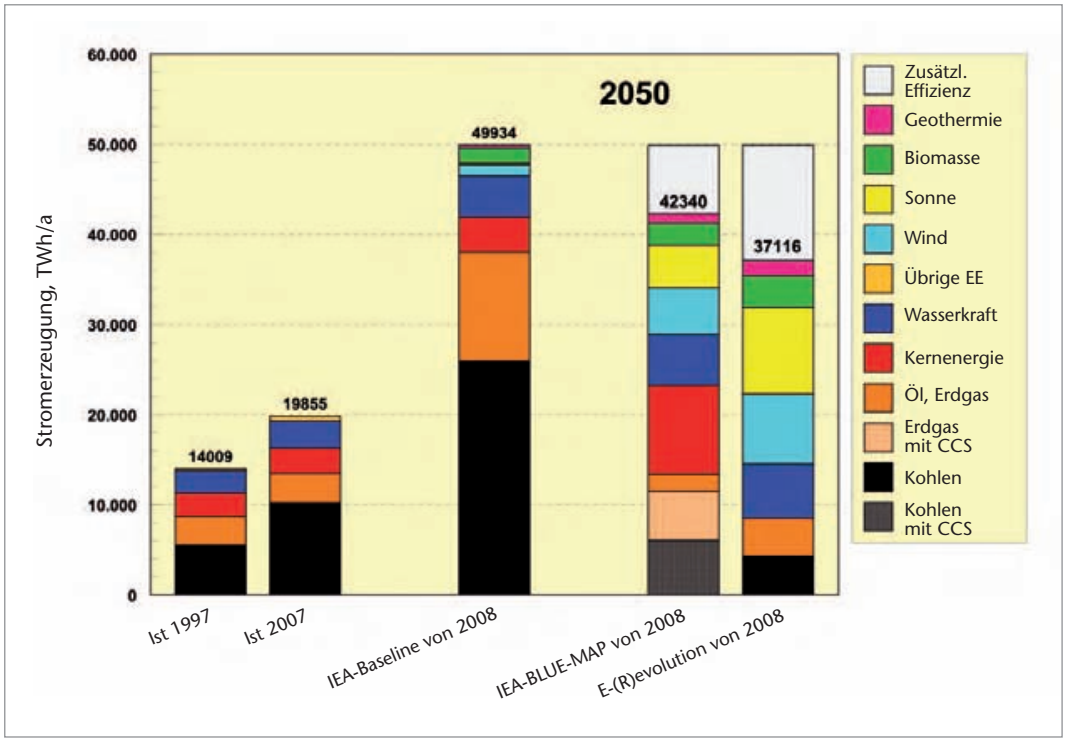
Abbildung 1
Globale Energieversorgung 2050 in ausgewählten Szenarien

Um das Klimaschutzziel von 450 ppm zu erreichen, wird dabei die Rückhaltung und unterirdische Speicherung von CO_2 in erheblichem Umfang angenommen. Geht man von sehr unzulänglichen Effizienzerfolgen aus, wird selbst bei starker Ausweitung des Beitrags nuklearer und fossiler Energieträger das 450 ppm-Ziel verfehlt. So ermöglicht z. B. das WETO-CCC-Szenario nur eine Stabilisierung der CO_2-Konzentration bei 550 ppm. Eine sehr deutliche Effizienzsteigerung bei Umwandlung und Nutzung von Energie in allen Weltregionen ist also unerlässlich, wenn der Klimawandel in erträglichen Grenzen gehalten werden soll. An zweiter Stelle hinsichtlich des Treibhausgasminderungspotenzials bis 2050 stehen die erneuerbare Energien, aber auch Szenarien, die parallel noch auf die Kernenergie und die CCS-Technologie setzen.

Die Nutzungspotenziale der bereits heute verfügbaren „Solartechnologien" sind ausreichend groß zur Deckung einer Nachfrage wie für den Fall des Szenarios „Energy (R)evolution", das eine Steigerung auf das 4,2-fache des heutigen Beitrags vorsieht. Nach rund 30-jähriger systematischer Forschung, Entwicklung und Markteinführung stehen die jeweiligen Technologien bereits in großer Vielfalt und in hervorragender Qualität zur Verfügung. Der aktuelle Stand in der Forschung und der Markteinführung erlaubt zudem die Aussage, dass zukünftig noch weitere beachtliche technologische Fortschritte zu erwarten sind. Auf Grund dessen und infolge der weiteren rasanten Marktentwicklung sinken die Kosten weiterhin deutlich bei gleichzeitig technischer Weiterentwicklung der Anlagen. Modellrechnungen, die obige Tatbestände in dynamischer Form berücksichtigen, zeigen, dass spätestens nach 2020 Nutzenergien aus erneuerbaren Energien kostengünstiger sein werden, als solche aus fossilen Primärenergieträgern.

Wegen der hohen Wachstumsdynamik und der großen volkswirtschaftlichen Bedeutung ist der Stromsektor von besonderem Interesse, *(Abbildung 2)*. Der Beitrag der erneuerbaren Energien beläuft sich weltweit derzeit auf 18 % mit einem dominierenden Beitrag der Wasserkraft. Wegen des rasanten Wachstums der Stromnachfrage in den letzten 10 Jahren ist allerdings ihr Anteil um einen Prozentpunkt gesunken. In der „Baseline"-Entwicklung der IEA steigt die Stromnachfrage gegenüber 2007 bis 2050 noch um das 2,5-fache. Selbst bei erheblichen Effizienzerfolgen zwischen 7000 und 12000 TWh/a

Abbildung 2
Struktur der Stromversorgung im Jahr 2050 in zwei 450 ppm-Szenarien



eingesparter Stromnachfrage gegenüber der „Baseline"-Entwicklung dürfte die Stromnachfrage noch um das 1,8 – 2-fache über dem heutigen Niveau liegen, wie in den beiden 450 ppm-Szenarien gezeigt *(Abbildung 2)*. Dieses Wachstum verlangt äußerste Anstrengungen bei der Mobilisierung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Im Energy-(R)evolution-Szenario steigt ihr Beitrag von derzeit 3600 TWh/a bis 2050 auf rund 29000 TWh/a, was dann einem Anteil von 77 % entspricht. Im BLUE-MAP-Szenario steigt er auf rund 19000 TWh/a (45 %). Da der zusätzliche Beitrag der Wasserkraft – und auch der Biomasse – begrenzt sind, tragen vor allem die Wind- und die Solarenergie dieses Wachstum. Geringere Steigerungsraten dieser Technologien im BLUE-MAP-Szenario zwingen zu einem erheblichen Ausbau der Kernenergie auf knapp 10000 TWh/a (derzeit 2800 TWh/a). Fossile Energieträger werden in diesem Szenario sogar in ähnlichem Umfang wie derzeit eingesetzt. Für nahezu 85 % dieser Energiemengen, entsprechend insgesamt 11500 TWh/a Strom, wird im BLUE-MAP-Szenario vom Einsatz von CCS-Kraftwerken ausgegangen.

Windenergie stellt derzeit weltweit 121 GW Leistung bereit. Bis 2050 wird im Energy-(R)evolution-Szenario von einer Ausweitung auf 2700 GW ausgegangen, wofür das jährliche Marktvolumen von derzeit 27 GW/a „nur" noch um das 5-fache steigen muss. Parallel sinken die mittleren Stromkosten um weitere 40 %. Im Vergleich dazu beträgt der erforderliche Leistungszuwachs bei der Photovoltaik das 180-fache (derzeit 16 GW), das jährliche Marktvolumen muss dazu um das 35-fache auf rund 170 GW/a wachsen. Die Stromkosten sinken parallel im Durchschnitt auf circa ein Viertel der heutigen Höhe. Erst am Anfang steht die Marktausweitung solarthermischer Kraftwerke. Ihr Leistungsbeitrag beläuft sich im Energy-(R)evolution-Szenario in 2050 auf rund 800 GW, was dann einem Marktvolumen von ca. 40 GW/a entspricht, die Stromgestehungskosten dürften gegenüber den aktuellen Kraftwerken noch um rund 60 % sinken.

Die im Energy-(R)evolution-Szenario unterstellte Marktentwicklung zeigt, dass die erneuerbaren Energien im Laufe der nächsten 40 Jahre fossile Kraftwerke nahezu völlig vom Markt verdrängen *(Abbildung 3)*. Derzeit werden jährlich rund 220 GW/a Kraftwerksleistung neu installiert, wovon gut 65 GW/a von erneuerbare Energien stammen (davon 28 GW/a Wasserkraft; 27 GW/a Windenergie). Obige Technologien, ergänzt um Biomasse, Erdwärme und längerfristig auch

Wellenenergie u. a. führen zu einem stetigen Wachsen des Marktvolumens auf rund 260 GW/a in 2030 und 430 GW/a in 2050. Ingesamt steigt also die weltweit jährlich zu installierende Leistung, einerseits wegen der wachsenden Stromnachfrage, andererseits aber auch wegen der bei erneuerbare Energien deutlich geringeren Volllaststundenzahlen, um etwa das Doppelte.

Ähnliche Wachstumstendenzen, die hier nicht näher erläutert werden können, müssen auch im Wärmemarkt eingeleitet werden, wobei insbesondere im Solarkollektormarkt noch beträchtliche Zuwächse erforderlich sind.

Aus den so abgeleiteten Marktvolumina können in Verbindung mit der angenommenen Kostenentwicklung der Einzeltechnologien die zu erwartenden Investitionsvolumina eines wachsenden globalen erneuerbare Energien-Marktes abgeleitet werden *(Abbildung 4)*. Bereits heute werden jährlich rund 170 Mrd. €/a in erneuerbare Energien-Technologien investiert. Davon stammen allerdings 65 Mrd. €/a von der (großen) Wasserkraft, weitere 30 Mrd. €/a trägt die Windindustrie bei. Bis 2030 wird im Energy-(R)evolution-Szenario, bei etwa gleichbleibenden Investitionen für Wasserkraft, das jährliche Investitionsvolumen auf knapp 600 Mrd. €/a steigen und bis 2050 auf knapp 900 Mrd. €/a. Den weitaus größten Anteil von 55% werden dann die solaren Technologien bewirken, gefolgt von der Windenergie. Das beträchtliche Wachstum des Investitionsvolumens der erneuerbare Energien um das gut 5-fache kennzeichnet die Abkehr von der heutigen energierohstoffabhängigen Energieversorgung mit völlig ungewissen Preisentwicklungen.

Bei der Windenergie, der Photovoltaik und der Nutzung von Biomasse ist diese Entwicklung bereits in vollem Gang. Solarthermische Kraftwerke erfahren in Südeuropa, Nordafrika und den USA soeben ihre „Wiedergeburt". Weitere Technologien, wie die Stromerzeugung aus Tiefengeothermie und aus Wellenenergie stehen in den „Startlöchern".

Bei den Wärmebereitstellungstechnologien muss die Marktdynamik für die bereits vorhandenen Technologien durch geeignete Förderinstrumente verstärkt werden. Die Vielfalt der zu nutzen - den Energiequellen, der hohe technologische Anspruch an effiziente und kostengünstige Systeme und der überwiegend dezentrale Charakter von erneuerbare Energien-Technologien

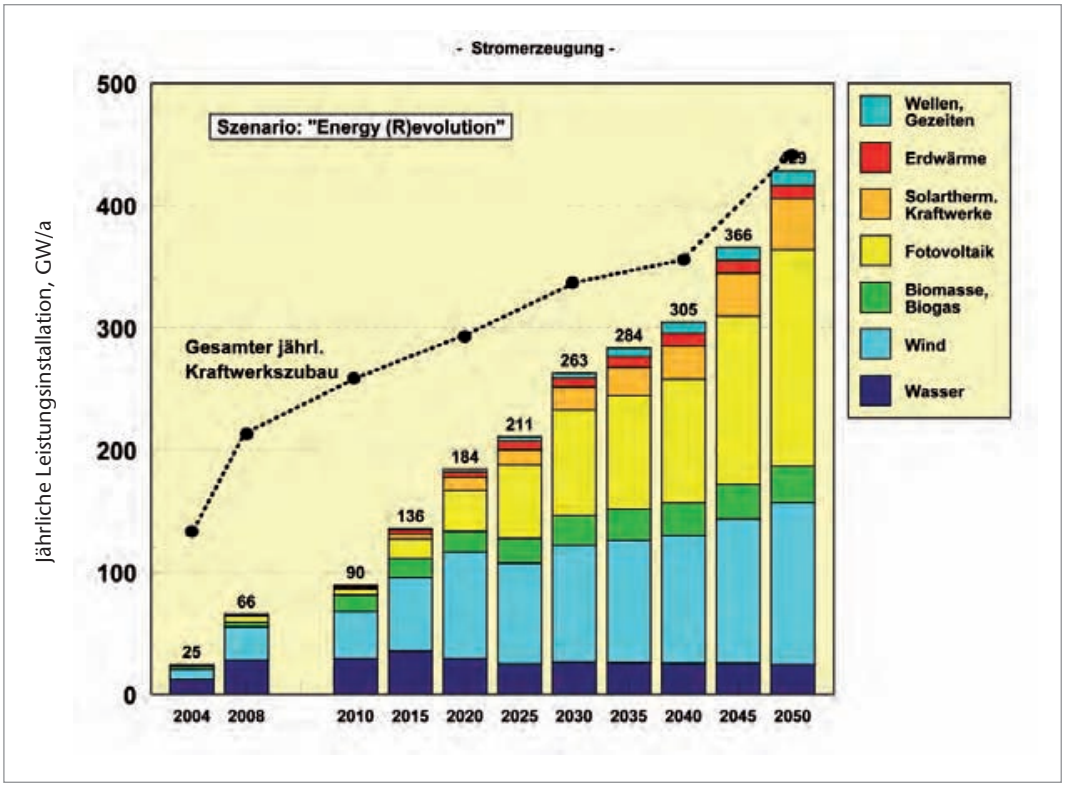
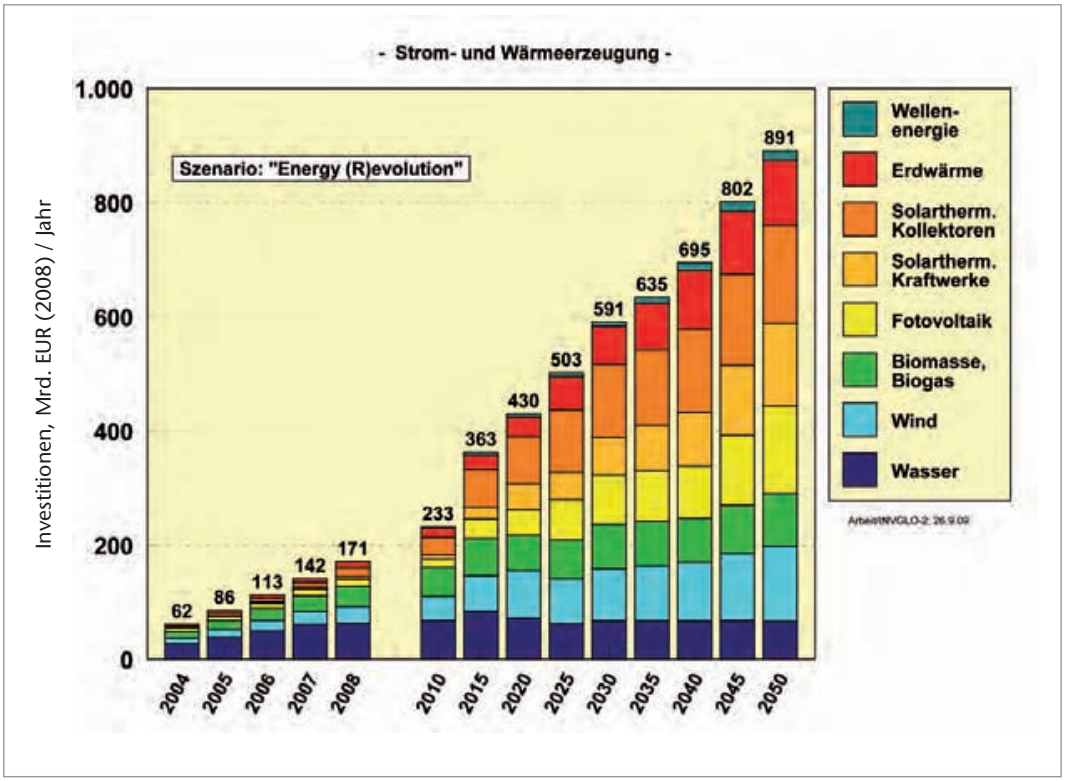


Abbildung 3
Jährliche Leistungsinstallation von EE im Stromsektor

Abbildung 4
Globale EE-Investitionen für Strom und Wärme nach Energiearten



lassen eine große Branchen- und Unternehmensvielfalt entstehen, die von der Großserienfertigung mit globalen Verflechtungen bis zu regionalen und handwerklichen Strukturen reicht. Diese Eigenschaften in Verbindung mit einer hohen gesellschaftlichen Akzeptanz führen zu einem breit gestreuten Engagement und erleichtern auch die Kapitalbeschaffung.

Zudem wird die Nutzung der heimischen erneuerbare Energien im Verbund mit einer rationelleren Energienutzung zahlreiche Länder weniger abhängig von Energieimporten machen. Diese Kombination von klimapolitischen und volkswirtschaftlichen Vorteilen verschafft einem verstärkten erneuerbare Energien-Ausbau (in Kombination mit einer verbesserten Nutzungseffizienz) typische Merkmale einer „win-win"-Strategie. Dies alles zusammen genommen sollte geeignet sein, eine stabile energiepolitische Unterstützung zu gewährleisten und dauerhafte Wachstumsimpulse zu erzeugen.

Deutschland liegt in Entwicklung, Marktwachstum und energiepolitischer Unterstützung von erneuerbare Energien an der Spitze der Industrieländer. Im deutschen Inlandsmarkt werden derzeit (2008) Investitionen von etwa 12 Mrd. €/a getätigt. Wegen der guten Ausgangsbedingungen für deutsche Unternehmen (der heutige Auslandsumsatz liegt derzeit bei ca. 8 Mrd. €/a, womit etwa 20 % des Weltmarktvolumens abgedeckt werden), dürften bis 2030 Auslandsmärkte in einer Größenordnung von 60 – 80 Mrd. €/a entstehen. Bis 2050 sind bei einer Entwicklung gemäß dem Energy-(R)evolution-Szenario Umsätze der deutschen Erneuerbare-Energien-Branche zwischen 80 und 100 Mrd. €/a möglich, was dann einem mittleren Anteil am Weltmarkt von 12 bis 15 % entspricht.

Aus der breiten Anwendung einer großen Zahl neuer Energietechnologien entstehen enorme Impulse für neue Wirtschaftsfelder und Arbeitsplätze. Bis 2030 kann die Zahl der Bruttoarbeitsplätze der Erneuerbare-Energien-Branche so auf 500.000 bis 600.000 anwachsen. Eine ähnliche Größenordnung ist für den verstärkten Einsatz von Technologien einer verbesserten Energieeffizienz zu erwarten.

Um diese Ziele zu erreichen, bedarf es allerdings permanenter und eher noch steigender Anstrengungen der deutschen erneuerbare Energien-Industrie, aber auch der sie flankierenden Energiepolitik, die jetzige gute Ausgangsposi-

tion auf dem erneuerbare Energien-Weltmarkt zu halten und zu stabilisieren. Wird in einem eher pessimistischen Szenario von einem Nachlassen dieser Bemühungen ausgegangen, so kommen die zukünftig zu erwartenden Umsätze der deutschen erneuerbare Energien-Branche auch bei deutlich wachsenden Weltmärkten nicht über 40 Mrd. €/a hinaus.

Ein wirksamer Klimaschutz und in Verbindung damit eine weitgehend auf erneuerbare Energien aufbauende globale Energieversorgung werden verstärkt auf internationalen Partnerschaften aufgebaut sein müssen. Dies kommt der Liberalisierung und Globalisierung der Energiemärkte entgegen und bietet zahlreiche Chancen für konstruktive politische Kooperationen. Die weltweit sehr großen Potenziale von erneuerbare Energien können nur mittels internationaler Verbundlösungen in ausreichendem Maße für eine globale, nachhaltige Energiebedarfsdeckung mobilisiert werden. Solche internationale „Solaren Energiepartnerschaften“ haben eminente geopolitische Vorteile. Sie sind eine ideale Möglichkeit, wirtschaftliche Ungleichgewichte zwischen Nord und Süd zu mindern und weltweite Märkte für zukunftsfähige Energietechnologien entstehen zu lassen, ohne Konflikte um knappe Ressourcen befürchten zu müssen. So ist beispielhaft die Erschließung der großen Solar- und Windpotenziale im Mittelmeerraum unter dem Gesichtspunkt einer wirtschaftlichen Entwicklung und politischen Stabilisierung dieser Region und seiner Beziehungen zu Europa für die globale Energiepolitik von nicht zu unterschätzender Bedeutung.

Es fehlt nicht an Lösungsansätzen für die drängenden Probleme der Energieversorgung und des Klimaschutzes. Erforderlich ist es aber, die bisher erfolgreichen Bemühungen rasch und umfassend auszubauen und den bisher erst in wenigen Ländern eingeschlagenen Weg auf möglichst viele Länder auszudehnen und beherzt weiter zu beschreiten. Nationale Egoismen sollten dabei hintan gestellt werden. Die Europäische Union, die sich beim Voranbringen des Klimaschutzes mit Recht in einer Führungsrolle sieht, kann hier beispielgebend tätig werden und würde dabei ökonomisch und politisch erfolgreich sein.

Internationale Energiepolitik

Dr. Robert Klinke
Auswärtiges Amt
Referatsleiter
„Internationale Energiepolitik“
410-RL@diplo.de

Sehr geehrte Damen und Herren,

ich möchte zunächst dem Forschungsverbund Erneuerbare Energien recht herzlich für die Einladung zu dieser Jahrestagung danken.

Ich denke, die meisten von Ihnen nehmen in ihrer täglichen Arbeit vor allem das Bundeswirtschaftsministerium, das Bundesumweltministerium und das Bundesminiterium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung als Repräsentanten der Energiepolitik der Bundesregierung wahr. Aber es ist klar: Energiepolitik ist längst kein nationales Fachthema mehr. Es ist ein hoch aktuelles Thema, das zwischen Staaten bilateral, aber auch in multilateralen Foren heiß diskutiert wird. Die internationale Politik nimmt sich des Themas zunehmend an; hängt doch das wirtschaftliche Wohlergehen der Menschheit entscheidend davon ab. Zudem ist es ein Politikfeld, in dem ein einzelner Staat allein wenig bewirken kann. Nur eine koordinierte internationale Anstrengung wird zum Erfolg führen. Das Auswärtige Amt fördert deshalb intensiv den internationalen energiepolitischen Dialog in enger Abstimmung mit den anderen Ressorts der Bundesregierung.

Denn eines ist klar: Unsere nationale Strategie für eine sichere und klimaverträgliche Energieversorgung kann nur tragfähig sein, wenn wir sie mit unseren internationalen Partnern koordinieren. Sowohl im Energie- als auch im Klimabereich können wir nicht im Alleingang handeln. CO_2-Emissionen verändern das Klima weltweit, egal, ob sie aus einem Auto in Deutschland oder einem Kohlekraftwerk in China stammen. Der deutsche Ölverbrauch beeinflusst den Weltmarktpreis über die Ölmärkte und damit auch den Verbrauch in anderen Weltregionen. Deutsche Investitionen in erneuerbare Energien und Fortschritte in der Forschung können die Preise für Anlagen senken – wir erleben es zur Zeit bei der Photovoltaik – und so weltweit weitere Investitionen in nachhaltige Energie nach sich ziehen. Erfolge und Misserfolge in der Energieforschung heute werden das weltweite Energiesystem von morgen entscheidend prägen.

Wir müssen in der Energiepolitik zunehmend global denken und global handeln. Dabei dürfen wir natürlich auch die eng mit der Energiefrage verbundenen Entwicklungsfragen nicht aus dem Auge verlieren. Weltweit sind immer noch 1,6 Mrd. Menschen ohne Strom. Sie warten auf Möglichkeiten zur dezentralen und preiswerten Energieversorgung. Um gerechte Entwicklungschancen aufzuzeigen, müssen wir den Zugang zu Energiereserven transparent gestalten und neue Wege in der Energieversorgung einschlagen, die nicht zu einer Bedrohung unserer gemeinsamen Lebensgrundlagen führen. Dabei gilt es vor allem, die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und damit den Ausstoß von Treibhausgasen deutlich zu reduzieren.

National wie international stehen wir also vor einer dreifachen Herausforderung. Wir müssen
1. eine Klimakatastrophe abwenden,
2. die Energieversorgung sichern und
3. Entwicklungschancen offen halten.

Wenn wir vor dieser dreifachen Herausforderung nicht bestehen, werden die Folgen für die internationale Gemeinschaft und auch die deutschen außenpolitischen Interessen fatal sein. Wenn wir es dagegen schaffen, die richtigen Antworten auf diese drei Herausforderungen zu finden, hilft dies auch unserem außenpolitischen Ziel einer stabilen und friedlichen Weltordnung. Deshalb ist der weltweite Erfolg der erneuerbaren Energien so wichtig für unsere Außenpolitik. Erneuerbare Energien sind die einzige Antwort auf alle drei Fragen gleichzeitig. Es gibt einige Energietechnologien, die eine Teilantwort auf eine oder zwei der drei Herausforderungen geben. Der Charme von erneuerbaren Energien ist, dass ihr Durchbruch gleichzeitig die Klimakatastrophe verhindern, eine langfristig sichere Energieversorgung schaffen und allen Menschen Entwicklungschancen eröffnen wird.

Aus dieser Überlegung heraus ist es für eine verantwortliche Außenpolitik eine Selbstverständlichkeit, den Durchbruch dieser Technologien mit ihren Mitteln zu unterstützen und zu befördern.

Nachdem Kohle und Öl die erste und zweite industrielle Revolution eingeleitet haben, wird der Durchbruch von erneuerbaren Energien die Initialzündung einer regelrechten dritten industriellen Revolution sein. Deutschland ist einen großen Schritt gegangen, um diese Revolution zu beginnen. Nun müssen wir dafür sorgen, dass uns andere Staaten auf diesem Weg folgen. Denn allein wird Deutschland die Energiewende nicht schaffen. Dies sehe ich als eine zentrale Aufgabe unserer Außenpolitik. Wir müssen unseren Partnern weltweit die Vorteile eines Umstiegs auf erneuerbare Energien erklären, wir müssen ihnen Wege aufzeigen, wie sie diesen Umstieg bewerkstelligen können. Und wir müssen ihnen die Hand reichen, um diesen Weg gemeinsam zu gehen.

Gerade wir Deutsche sind hier für viele Staaten weltweit besonders glaubwürdige Partner: und zwar wegen der Erfolge unserer bisherigen Politik und wegen unserer führenden Stellung in der Forschung.

Wie erfolgreich unsere Förderung in Deutschland ist, zeigt eine Studie der Internationalen Energieagentur (IEA). Sie bescheinigt Deutschland und weiteren Staaten, darunter Dänemark, Spanien und Portugal, erneuerbare Energien am effektivsten zu fördern. Auch die IEA stellt fest, dass die durch Einspeisesysteme mit fester Vergütung geschaffene Verlässlichkeit der Rahmenbedingungen ein stärkerer Anreiz für Investitionen ist als die alleinige Höhe der Tarife.

In der Tat sind die guten Erfahrungen, die wir mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz gewonnen haben, eines unserer gewichtigsten Argumente. Über 40 Staaten weltweit haben bis heute dieses Gesetz nachempfunden oder sich daran orientiert, um die erneuerbaren Energien zu fördern. Unzählige weitere Staaten sind interessiert an der Übernahme des Gesetzes. Das EEG ist ein Erfolgsmodell „Made in Germany“ und damit auch ein Glücksfall für unsere Außenpolitik. Hier können wir anderen Staaten aktiv unsere Erfahrungen anbieten. Auch Vorzeigeprojekte in Deutschland – ich denke hier etwa an den zweitgrößten Solarpark der Welt in Lieberose und das Solarturmkraftwerk in Jülich, die beide vor Kurzem eröffnet wurden – machen uns zu einem weithin sichtbaren Vorkämpfer erneuerbarer Energien.

Unsere führende Rolle bei erneuerbaren Energien ist gleichzeitig eine Chance und eine Verpflichtung. Sie ist eine große Chance für die deutsche Wirtschaft, für Technologien erneuerbarer Energien „Made in Germany“. Sie ist aber auch eine große Verpflichtung. Wenn wir uns nicht auf der internationalen Bühne für erneuerbare Energien stark machen, wer dann? Deshalb setzen wir unseren guten Ruf ein, um weltweit für erneuerbare Energien zu werben.

IRENA, Solarplan Mittelmeer und Desertec

Der wahrscheinlich bisher größte Erfolg dieser Politik ist die Gründung von IRENA, der neuen internationalen Organisation für erneuerbare Energien, am 26. Januar 2009 in Bonn. Die Idee für IRENA ist in Deutschland entstanden, und Deutschland war die treibende Kraft im IRENA-Gründungsprozess. IRENA wird weltweit den erneuerbaren Energien eine Stimme geben und die Regierungen dabei beraten, wie sie die Energieversorgung ihrer Länder am schnellsten auf erneuerbare Energien umstellen können. IRENA, die es ohne das deutsche Engagement wohl nicht geben würde, hat heute bereits über 130 Mitgliedsstaaten und wird im globalen Institutionengefüge den erneuerbaren Energien den Weg ebnen. Auch Deutschland behält in der IRENA weiterhin eine gewichtige Rolle: Vom IRENA-Innovationszentrum in Bonn sollen wichtige Impulse für Weiterentwicklungen bei den rneuerbaren Energien ausgehen.

IRENA wird weltweit den Ausbau erneuerbarer Energien voranbringen. Als Europäer haben wir ein besonderes Interesse, Erneuerbare gerade in unserer Region und unserer Nachbarschaft voranzubringen. So bestehen etwa im Mittelmeerraum große Chancen für die Energiegewinnung aus erneuerbaren Quellen. Im Rahmen der Union für das Mittelmeer arbeiten wir daher gemeinsam mit unseren Partnern am „Solarplan“, dem Solarenergieprogramm für den Mittelmeerraum. Damit wollen wir in erster Linie die Potenziale erneuerbarer Energien rund um das Mittelmeer erschließen.

Wir begleiten intensiv auch das neue Konsortium der „Desertec Industrial Initiative“.

Dieses Konsortium kann unserem Solarenergieprogramm neue Expertise und Umsetzungschancen eröffnen. Im Rahmen der deutschen Außenpolitik wollen wir mithelfen, die Instrumente und den Rahmen zu schaffen, in dem dieses Konsortium Erfolg haben kann.

Um nur ein Beispiel zu nennen: Um erneuerbaren Energien in Nordafrika den richtigen Boden zu bereiten, finanziert das Auswärtige Amt zur Zeit das von der DLR umgesetzte Programm „UniSolar", das den Ausbau von Solarenergie in Nordafrika unterstützt.

Was wir für den „Solarplan Mittelmeer" und – abhängig von noch zu erstellenden Machbarkeitsstudien – auch Desertec im nächsten Schritt brauchen, sind Anlagen und Netze. Die direkte Investition sehe ich nicht als Aufgabe des Staates. Für uns geht es darum, die politischen Rahmenbedingungen zu schaffen, damit die vorhandenen Potenziale wirtschaftlicher Zusammenarbeit konsequent genutzt werden. Wir arbeiten dafür, notwendige Investitionen abzusichern und sinnvolle Spielregeln dafür aufzustellen, wie diese Investitionen zum besten aller Beteiligten wirken können.

Energiestrategische Partnerschaften

Neben diesen spezifischen Initiativen arbeitet das Auswärtige Amt daran, Fragen von Klimaschutz und Energiepolitik in alle Bereiche der Außen- und Sicherheitspolitik, Außenwirtschaftspolitik und Entwicklungspolitik zu integrieren. Diplomatie ist heute auch Energie- und Klima-Diplomatie.

Zum einen werden wir uns zukünftig verstärkt mit Governance-Fragen auseinandersetzen. Wir wollen einen internationalen Rahmen für Energiebeziehungen schaffen, der Verlässlichkeit und dadurch mehr Sicherheit gewährleistet. Finanzierung und Produktion, Handel und Anteil von Gas, Öl und erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch werden maßgeblich über das Netz aus Institutionen und Regeln beeinflusst.

Zum anderen bauen wir auf strategische Partnerschaften mit einzelnen Ländern. Auch hier kann die Politik der Wirtschaft Türen öffnen und umgekehrt. Dabei nutzen wir die Chancen zum bilateralen Dialog in allen Fragen der Energiebeziehungen, etwa der gemeinsamen Forschung oder dem Austausch von best practices. Auch in unseren strategischen Partnerschaften spielt der Dialog zum Thema erneuerbare Energien eine tragende Rolle.

Mit der „Transatlantischen Klimabrücke„ haben wir bereits ein Forum für den energie- und klimapolitischen Dialog mit den USA eingerichtet. Wir wollen diesen Dialog in den nächsten Monaten weiter intensivieren, insbesondere im Bereich der Energieforschung. Nicht nur mit dem Westen, auch mit dem Norden und dem Süden haben wir Energiepartnerschaften aufgebaut – ich möchte hier die Energiepartnerschaften mit Norwegen und Nigeria hervorheben; mit Angola ist eine Energiepartnerschaft zur Zeit in Planung.

Auch im europäischen Kontext setzen wir uns dafür ein, Energiefragen in unseren Außenbeziehungen stärker zu gewichten. So wird Russland ein entscheidender strategischer Partner in unseren Energieaußenbeziehungen bleiben. Ich bin überzeugt, dass wir Russland mit einer breit angelegten Modernisierungspartnerschaft noch stärker in die europäischen Wirtschaftsstrukturen integrieren können. Auch damit erhöhen wir entscheidend die europäische Energiesicherheit.

Die Rolle der Energieforschung

Welche Rolle spielt die Energieforschung für diese Bemühungen des Auswätigen Amtes? Man kann für ein Produkt noch so viel Werbung machen – Erfolg wird das Produkt nur dann haben, wenn die Qualität stimmt. Deutschland genießt aufgrund der bisherigen Erfolge bei Erneuerbaren in Forschung, Energiewirtschaft und Politik eine große Glaubwürdigkeit. Wir dürfen uns aber nicht auf diesen Lorbeeren ausruhen. Unsere Glaubwürdigkeit müssen wir täglich neu ausfüllen, und zwar dadurch, dass wir weiter voranschreiten. Wir wollen den Anteil der erneuerbaren Energien an der Energieversorgung weiter kontinuierlich erhöhen. Wir wollen die Stromnetze ausbauen, um auch angesichts einer stärkeren Einbeziehung von erneuerbaren Energien und dezentralen Kraftwerksstrukturen die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Wir

wollen unsere Energieeffizienz erhöhen. Wir wollen bessere Lösungen zur Energiespeicherung finden und anwenden, um erneuerbare Energien besser ins Netz integrieren zu können. Wir brauchen flexibler regelbare fossile Kraftwerke, Energiespeicher und besseres Lastmanagement.

Bei all diesen Aufgaben spielt Energieforschung eine entscheidende Rolle. Denn sie definiert die Machbarkeit, die Sicherheit und die Kosten dieser Maßnahmen und damit auch ihre nationale und weltweite politische Durchsetzbarkeit. Wir müssen bei der Energieforschung und bei Erneuerbare-Energien-Technologien an der Weltspitze bleiben, um als Werber für erneuerbare Energien glaubwürdig zu bleiben.

Partner, die unserem Beispiel gefolgt sind, erhoffen sich von Deutschland auch Unterstützung bei drängenden Themen wie der Netzintegration erneuerbarer Energien. Je mehr die deutsche Forschung uns in die Lage versetzt, dass wir diese leisten können, desto glaubwürdiger wird wiederum unser Anliegen.

Die deutsche Energieforschung und die deutsche Energieaußenpolitik stehen also in einem symbiotischen Verhältnis: Beide können voneinander profitieren. Herausragende Leistungen in der nationalen Energieforschung, funktionierende internationale Forschungskooperationen und vorzeigbare Ergebnisse in der Erneuerbare-Energien-Forschung sind äußerst starke Argumente für den politischen Dialog mit unseren Partnern. Das zunehmende politische Interesse an Fragen der Energieversorgung und der erneuerbaren Energien wiederum kann und wird bessere Rahmenbedingungen und neue Chancen für Forschungskooperationen eröffnen.

Auch die internationale Forschungskooperation ist ein Bereich, der in der Außenpolitik immer stärkeres Gewicht erlangt. Zum einen liegt das natürlich daran, dass ein großer Teil des Wissens in der Welt nicht in Deutschland generiert wird. Sich mit den Wissensstandorten in der Welt zu vernetzen, liegt in unserem Interesse, um dieses Wissen auch für uns nutzbar zu machen. Zum anderen lassen sich die großen Herausforderungen, vor denen die Welt steht, nur gemeinsam lösen.

Deshalb unterstützt das Auswärtige Amt die internationale Forschungskooperation mit Nachdruck. Dafür möchte ich nur zwei Beispiele nennen.

Rund 20 deutsche Auslandsvertretungen an Standorten mit hohem Innovationspotential sind mit Wissenschaftsreferenten besetzt. Dazu zählen Moskau und Washington ebenso wie Peking, Tokio oder Brasilia. Sie halten Kontakt zu den Forschungsministerien und -institutionen ihrer Empfangsländer, informieren sich regelmäßig über die neuesten Entwicklungen in diesen Ländern und berichten darüber. Sie unterstützen aber auch die Wissenschaftspolitiker, in der Forschung tätige Unternehmen, Wissenschaftler und Forscher aus Deutschland bei ihrer Arbeit im Ausland. Das Auswärtige Amt möchte das Netz der Wissenschaftsreferenten im nächsten Jahr noch verstärken.

Zweitens hat das Auswärtige Amt in diesem Jahr die Schaffung von „Deutschen Wissenschafts- und Innovationshäusern„ angestoßen. Eine ganze Reihe deutscher Forschungs- und Wissenschaftsorganisationen ist im Ausland tätig. Sie haben ausgezeichnete Projekte, bieten sehr gute Stipendien und tragen zum guten Ruf Deutschlands bei. Aber ihr Beitrag zu unserem guten Ruf könnte noch viel stärker sein, wenn sie unter einem Dach, gemeinschaftlich und abgestimmt auftreten würden. An fünf Pilotstandorten – São Paulo, Moskau, Tokyo, New Delhi und New York – haben wir deshalb mit dem Aufbau der Wissenschafts- und Innovationshäusern begonnen. Die Organisationen sollen unter deren Dach gemeinsam auftreten und ihre Dienstleistungen koordiniert anbieten. Nach der Pilotphase, die noch rund zwei Jahre dauern wird, wollen wir weitere wichtige Standorte einbeziehen. Wir würden uns über ein Interesse und eine Beteiligung des Forschungsverbunds an den Deutschen Wissenschafts- und Innovationshäusern sehr freuen.

Wie Sie sehen, können Diplomaten und Energieforscher sich wechselseitig in ihrer Arbeit sehr unterstützen. In diesem Sinne hoffe ich, dass diese Veranstaltung dazu beiträgt, den Dialog zwischen Diplomatie und Energieforschung zu stärken und weitere Möglichkeiten der Zusammenarbeit zu eröffnen.

Forschen für globale Märkte – Internationaler Erfahrungsaustausch

- Grußwort der Internationalen Agentur für Erneuerbare Energien (IRENA)
- Der globale Forschungsmarkt für erneuerbare Energien: Wettbewerb und Technologiepartnerschaften
- Die energie- und forschungspolitischen Rahmenbedingungen für erneuerbare Energien in Deutschland
- TREE – Transfer Renewable Energy & Efficiency – das Wissenstransferprojekt der Renewables Academy
- Der CERINA-Plan – eine Alternative zum Kyoto-Instrument

Grußwort der Internationalen Agentur für Erneuerbare Energien (IRENA)

Hélène Pelosse
Internationale Agentur für Erneuerbare Energien (IRENA)
Vereinigte Arabische Emirate
helene.pelosse@irena.org

Sehr geehrte Damen und Herren,

erlauben Sie mir zunächst, dem ForschungsVerbund Erneuerbare Energien für die Ausrichtung dieser Tagung und die herzliche Einladung zu danken. Ich freue mich, heute mit Ihnen über Forschungsentwicklungen und Technologien rund um erneuerbare Energien diskutieren zu können.
2009 markiert zu Recht einen Wendepunkt in der Entwicklung und Ausbreitung von erneuerbaren Energien. 52 Jahre nach der Gründung der Internationalen Atomenergieorganisation und 36 Jahre nach der Gründung der Internationalen Energieagentur wurde im Januar 2009 die Internationale Agentur für Erneuerbare Energien (IRENA) in Bonn gegründet. IRENA, die erste internationale Organisation die sich ausschließlich auf die Förderung von Erneuerbaren konzentriert, soll eine weltweit vernehmbare Stimme der erneuerbaren Energien werden.

Es ist mir ein Vergnügen, heute als erste Interim-Generalsekretärin der IRENA zu Ihnen zu sprechen. Erlauben Sie mir, dass ich einige Worte über die noch recht junge Organisation verliere.

Standorte und Mitglieder

Im Juni 2009 wählten die Mitglieder von IRENA die Vereinigten Arabischen Emirate als Sitz des IRENA-Sekretariats. Des Weiteren wird in Bonn ein Technologie- und Innovationszentrum entstehen und Wien wird ein Liaison-Office zu Internationalen Organisationen beherbergen.

Das vorläufige Hauptquartier in Abu Dhabi wird schon in naher Zukunft nach Masdar City verlegt – der ersten nahezu CO_2-freien Stadt, die ihren Energiebedarf vollständig aus erneuerbaren Energien decken wird. Die Tatsache, dass sich das sechstgrößte ölproduzierende Land der Welt zu erneuerbaren Energien bekennt, zeigt, dass wir ein globales Übereinkommen über die Notwendigkeit der Energiewende erreicht haben – weg von einer kohlenstoffbasierten, das Klima negativ beeinflussenden Energieversorgung, zu einer nachhaltigen und sauberen Energiegewinnung.

Heute Morgen ist die EU-Kommission als 138. Mitglied der IRENA beigetreten. Die in einer solch kurzen Zeit erreichte hohe Mitgliederzahl zeigt, wie wichtig den Mitgliedsstaaten das Thema erneuerbare Energien inzwischen geworden ist. Sie sind ein Muss für Entwicklungs-, Schwellen- und Industrieländer; gleichermaßen für rohstoffarme wie rohstoffreiche Staaten. Durch erneuerbare Energien können die Abhängigkeiten von fossilen Energieträgern verringert, und die vielerorts gesteckten Klimaschutzziele erreicht werden. Erneuerbare Energien sind ein „Muss“ um den Klimawandel einzudämmen.

Aufgaben der IRENA

Die Ausbreitung und das Wachstum von erneuerbaren Energien waren in den letzten Jahren beträchtlich. So erreichten die weltweiten Investitionen in saubere Energietechniken 2008 beachtliche 120 Milliarden US-Dollar.[1] Von 2004 bis 2008 wurden beispielsweise die Kapazitäten von Solarenergie auf mehr als 16 Gigawatt versechsfacht und die von Windenergie um 250 Prozent auf 121 Gigawatt gesteigert. Außerdem haben zahlreiche Staaten inzwischen die notwendigen politischen Rahmenbedingungen geschaffen, die der Förderung von erneuerbaren Energien dienen wie zum Beispiel Einspeisegesetze.[2]

1 Siehe Global Status Report 2009, Seite 14.
2 Global Status Report 2009, Seite 8.

Trotz der teils guten Entwicklung bei der weltweiten Anwendung von erneuerbaren Energien bestehen heute immer noch gravierende Hindernisse in der Verbreitung der sauberen Energieträger. Dazu zählen lange Genehmigungsverfahren, Einfuhrzölle und technische Barrieren, unsichere Finanzierungen von erneuerbare Energien-Projekten, zentralisierte Infrastrukturen und ungenügendes Bewusstsein über die Anwendungsmöglichkeiten von erneuerbaren Energien.

IRENA wird dazu beitragen, diese Hindernisse abzubauen. Um die Ausbreitung und die nachhaltige Nutzung von erneuerbaren Energien weltweit zu fördern, wird IRENA ihren Mitgliedern mit praktischer Hilfestellung zur Hand gehen. Hierzu zählen die Bereitstellung aller relevanten Informationen zum Thema erneuerbare Energien, inklusive Potenzial- und Szenarioanalysen, Best-Practice-Beispielen und effektiven Finanzmechanismen. Die Agentur wird aber auch Capacity Building, Ausbildung, Workshops und Politikberatung anbieten, Wissens- und Technologietransfer ermöglichen, sowie Hilfestellung bei der Verbesserung der politischen Rahmenbedingungen leisten.

Erste Aktivitäten

Derzeit befindet sich IRENA im Aufbauprozess. Wir sind unermüdlich dabei, qualifiziertes Personal zu akquirieren und die organisatorische und strukturelle Infrastruktur im Hauptquartier zu vervollständigen. Trotz dieser Aufbauarbeiten hat die Agentur bereits erste Aktivitäten gestartet. So hat sie zum Beispiel unter der Leitung des DLR eine Arbeitsgruppe eingerichtet, die sich mit den Potenzialen und Szenarien von erneuerbaren Energien beschäftigt und u. a. eine globale Bestandsaufnahme von allen erneuerbaren Energiepotenzialen anfertigen soll. Des Weiteren sollen Szenarien entwickelt werden, die aufzeigen, wie ein Wechsel vom derzeitigen Energieversorgungssystem zu einem auf erneuerbaren Energien basierenden Energiesystem realisiert werden kann.

Der plötzliche Tod des Projektleiters Wolfram Krewitt war für uns ein Schock. Ich möchte die Gelegenheit dazu nutzen, seinen Kolleginnen und Kollegen und insbesondere seiner Familie und seinen Freunden mein tiefes Mitgefühl auszusprechen.

Als weitere Aktivität berät IRENA das Königreich Tonga hinsichtlich der Elektrifizierung seiner äußeren Inseln mit erneuerbaren Energien.

IRENA hat zudem Workshops zu den Themen Capacity Building und Knowledge Mangement durchgeführt. Dabei wurden bewährte Methoden analysiert sowie Bedürfnisse und Wissenslücken identifiziert.

Ein weiteres Augenmerk galt dem Dialog mit einer Vielzahl von Stakeholdern sowie anderen internationalen Organisationen im Energiebereich (z. B. UNIDO, IEA, UNFCCC, IPCC), NGOs und Netzwerken im Erneuerbaren-Sektor, um mögliche Kooperationen und Partnerschaften auszuloten.

Am 15. Dezember wird IRENA zusammen mit Ren 21, EREC/Greenpeace und der IEA auf der UNFCCC Conference of the Parties in Kopenhagen ein Side-Event veranstalten. Dabei werden IRENA und die Partner unter der Überschrift „Renewable Energy – Our Chance to Mitigate Climate Change“ Erneuerbare-Energien-Szenarien vorstellen und zeigen, wie erneuerbare Energien dazu beitragen können CO_2-Reduktionsziele einzuhalten und die Energieversorgung zu sichern.

Aktivitäten im Forschungsbereich

In Zukunft wird IRENA ein verstärktes Augenmerk auf den Forschungsbereich legen. Angesichts des weltweit zunehmenden Warenaustausch und der stark steigenden Motorisierung wird IRENA insbesondere die Forschung über elektrische Antriebssysteme im Verkehrssektor vorantreiben. Im Allgemeinen wird IRENA darauf drängen, die Produktionskosten von erneuerbaren Energien sukzessiv zu senken, damit diese auf dem Markt so schnell wie möglich konkurrenzfähig werden und nicht weiter auf Subventionen angewiesen sind.

Weiterhin großer Forschungsbedarf besteht vor allem im Bereich der Technologien, die noch nicht wettbewerbsfähig oder marktreif sind. Diese Lücke müssen wir zügig schließen.

Zur Unterstützung unserer Arbeit streben wir langfristig an, dass IRENA von einem Wissenschaftlichen Beirat beraten wird. Wir arbeiten daran, Netzwerke mit den führenden Forschungsinstitutionen zu etablieren. Auch alle hier anwesenden Forschungsinstitute sind herzlich aufrufen, mit uns zusammenzuarbeiten. Um den Nachwuchs in diesem Bereich zu fördern, wird IRENA jenseits von E-Learning-Programmen auch Stipendien für Akademiker anbieten, die ihre Arbeit den erneuerbaren Energien widmen.

IRENA wird seine Aktivitäten im Forschungsbereich ausweiten, in dem sie sich aktiv an der Ausrichtung der weiteren Forschung beteiligen wird. Als globales Sprachrohr für erneuerbare Energien wird IRENA die neuesten Forschungserkenntnisse verbreiten, bei den relevanten Stakeholdern einbringen sowie seine weiteren Aktivitäten darauf aufbauen.

IRENA möchte mittels der Potenzialstudie zu erneuerbaren Energien jedem Land die Möglichkeit geben, seinen eigenen vielversprechendsten, erneuerbaren Technologiemix zu ermitteln. Somit soll jedes Land in die Lage versetzt werden, eine „technologische Roadmap" auf dem Weg hin zu mehr erneuerbarer Energie zu erstellen.

Es ist mein persönliches Anliegen, den Ärmsten der Armen zu helfen. IRENA soll daher die Entwicklung einer günstigen PV Anwendung einleiten. Heutzutage gibt es Solar Home Systems (SHS) ab 300 $. Unser Ziel ist es, diese Kosten in naher Zukunft um 50 % zu reduzieren, diese SHS in Serie zu produzieren und adäquate Vertriebskanäle zu finden. Hierzu gibt es einen Wettbewerb vom Fraunhofer ISE in Freiburg.

Es freut mich, dass sich das Konferenzprogramm mit der Erforschung und Weiterentwicklung der „Renewables"-Technologien auseinandersetzt. Das Plenum, zusammengesetzt aus Akteuren von Politik, exzellenten Forschungseinrichtungen und dem Privatsektor, vereint hoch qualifizierte Experten, Investoren und Entscheidungsträger. Ich bin sicher, dass nur das effektive Zusammenspiel dieser Akteure die Entwicklungen voranbringen und zur Lösung der globalen Klima- und Energieversorgungsprobleme beitragen kann. Wir müssen erreichen, dass die internationalen Forschungskooperationen ausgebaut werden, damit sich die von Prof. Staiß in der Einladung erwähnte Chance ergeben kann, „Technologien für einen globalen Maßstab weiterzuentwickeln und regional anzupassen". IRENA wird sich gern an diesen Anstrengungen beteiligen und ruft alle Beteiligten zur engen Zusammenarbeit auf.

Lassen Sie mich zum Abschluss noch einen Appell „in eigener Sache" an alle hier Anwesenden loswerden: Ich rufe all jene – besonders aber Frauen – auf, die sich den Zielen von IRENA verpflichtet fühlen und Interesse an einer Beschäftigung bei IRENA haben, ihre Bewerbungen an das Sekretariat in Abu Dhabi zu senden. Es ist mein erklärtes Ziel bei IRENA mindestens 50 Prozent Frauen zu beschäftigen.

Ich danke den Organisatoren für die Möglichkeit, dass ich diese Worte an Sie richten durfte. Ich wünsche Ihnen noch eine erfolgreiche Konferenz.

Der globale Forschungsmarkt für erneuerbare Energien: Wettbewerb und Technologiepartnerschaften

Prof. Dr. Eicke R. Weber
Fraunhofer ISE
eicke.weber@ise.fraunhofer.de

Gerhard Stryi-Hipp
Fraunhofer ISE
gerhard.stryi-hipp@ise.fraunhofer.de

Die Menschheit steht vor einer doppelten globalen Herausforderung, durch die beginnende Verknappung fossiler Brennstoffe sowie durch die Gefährdung der Lebensgrundlagen der Menschheit aufgrund des CO_2-Anstiegs in der Atmosphäre auf Werte, wie sie unser Planet seit einer Millionen Jahre nicht erlebt hat.

Dieser Herausforderung kann heute noch begegnet werden, aber das „window of opportunity" zur Vermeidung drastischer, negativer Effekte auf die Volkswirtschaften der Welt durch raschen Anstieg der Energiepreise sowie die Folgen unstabilen Klimas mit Trockenheiten und Stürmen noch nicht erlebter Heftigkeit wird wohl nur noch 10-15 Jahre offen sein. Daher ist rasches und entschiedenes Handeln das Gebot der Stunde.

Während sich die Welt bei der gescheiterten COP-15-Klimakonferenz in Kopenhagen 2009 noch vergeblich darauf konzentrierte, eine Einigung auf die Werte der anzustrebenden Reduktion der nationalen CO_2-Emissionen zu erzielen, erscheint eine andere, positive Zielsetzung politisch leichter durchsetzbar und daher schließlich effektiver. Diese Neuorientierung der globalen Klimapolitik könnte sich auf zwei Ziele konzentrieren:

- Erhöhung des Anteils regenerativer Energien am nationalen und globalen Energiemix.
- Erhöhung der Energieeffizienz, wie sie z. B. durch das Verhältnis von Energieverbrauch zu nationaler Wertschöpfung ausgedrückt werden kann.

Während CO_2-Reduktionsziele in Ländern wie den USA oder Schwellenländern wie China und Indien nur schwer durchsetzbar sind, sind derartige, positive Ziele unmittelbar verständlich und tragen sogar zur Schaffung von Arbeitsplätzen in technologisch anspruchsvollen Branchen bei. Das europäische 20-20-20-Szenario enthält bereits das Ziel von 20 % regenerativer Energie am Endenergieverbrauch bis 2020, das sicherlich bis 2050 auf ein 80-100 %-Ziel fortgeschrieben werden sollte.

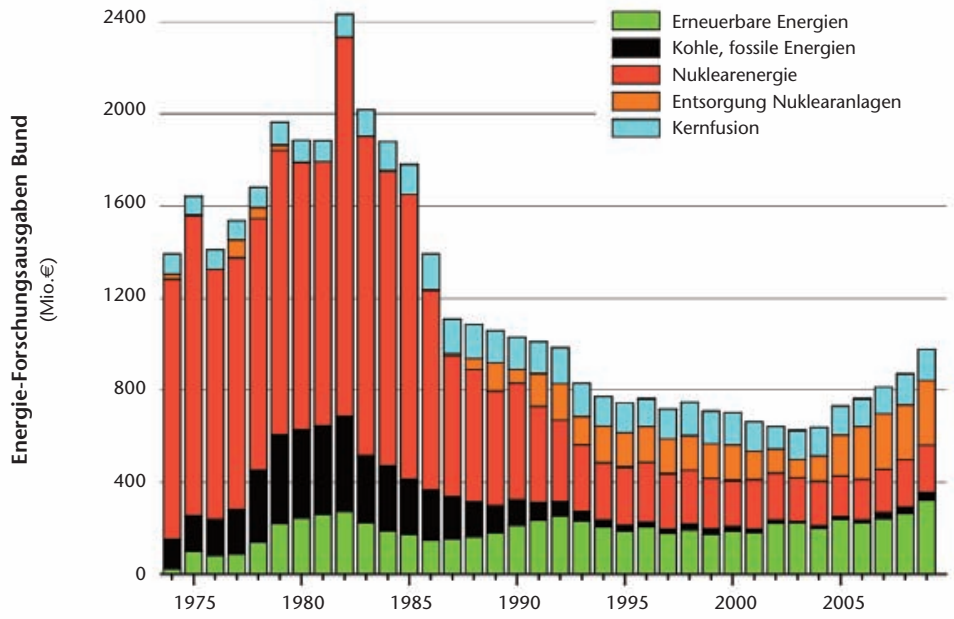
Zum Thema Energieeffizienz gibt es noch keine ausformulierten Zielsetzungen, aber diese lassen sich leicht auf der Basis der augenblicklichen Werte der Energieintensität (kWh/k€ Bruttoinlandprodukt) formulieren. Ziel dieser Berechnungen muss es sein, ein globales Modell zu formulieren, das die Erreichung auch der CO_2-Ziele ermöglicht. Im IPCC-07 Bericht wird gezeigt, dass zur Vermeidung einer globalen Erwärmung von mehr als 2 °C das der Welt noch zur Verfügung stehende CO_2-Emissionsbudget 750 Gt beträgt, das ist nicht viel angesichts der augenblicklichen jährlichen Emission von ca. 30-35 Gt.

Eine rasche Erhöhung des Anteils regenerativer Energien am Energiemix sowie Verbesserungen der Energieeffizienz erfordern energische Forschung und Entwicklung auf diesen technologierelevanten Feldern. Hier besteht noch erheblicher Forschungsbedarf, sowohl national in Deutschland als auch global.

Abbildung 1 zeigt die deutschen Energieforschungsausgaben in den letzten 35 Jahren. Das Maximum betrug 2,4 Mrd. € im Jahre 1982, im Wesentlichen Ausgaben für Kernspaltungsforschung sowie Forschung für Kohle und andere fossile Energieträger.
Die heutigen Energieforschungsausgaben betragen nur ca. 1/3 dieses Spitzenbetrags, und auch davon sind nur weitere 1/3, magere ca. 200 Mio. €, direkt den regenerativen Energien zuzuordnen.

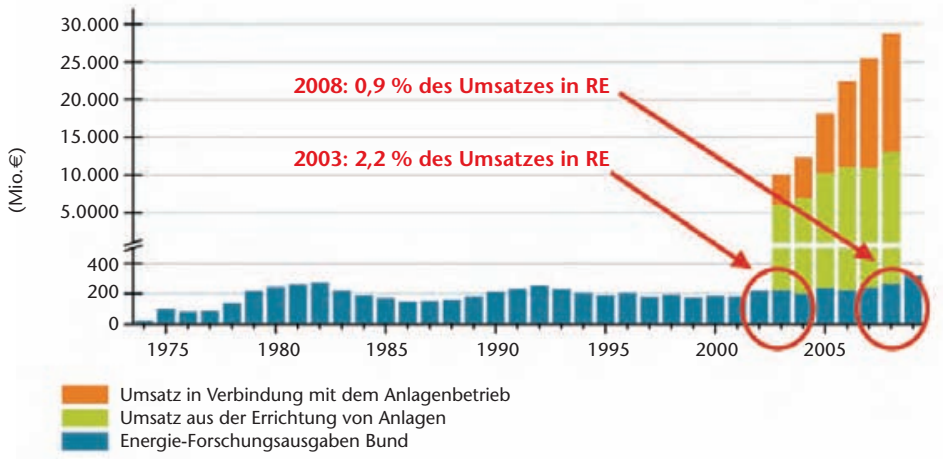
Abbildung 2 zeigt, dass diese Zahl in den letzten 30 Jahren in etwa konstant blieb, noch 2003 entsprach dies ca. 2,2 % des Branchenumsatzes,

Abbildung 1
Energie- und Forschungsausgaben des Bundes



2009: Energie-Forschung: 979 Mio. €, davon Kernspaltung: 205 Mio. € + 284 Mio. € (Beseitigung) (50 %)
Kernfusion: 135 Mio. € (14 %)
Regenerative Energien: 323 Mio. € (33 %)

Abbildung 2
Forschungsausgaben des Bundes und Umsatz mit erneuerbaren Energien



aber 2008 nur noch 0,9 %. Für 2009 ist eine Verbesserung auf über 300 Mio. € sichtbar, besonders auch durch Investitionen in offshore Wind. Die Nachhaltigkeit des gerade 2009 erhöhten Forschungsbudgets für regenerative Energien muss allerdings noch gezeigt werden.

Es lässt sich also feststellen, dass sich die oben geschilderten globalen Herausforderungen noch nicht in langfristig erhöhten Budgetansätzen für die erforderliche Forschung zur Entwicklung neuer, effizienterer und kostengünstigerer Energietechnologien niedergeschlagen hat. Das erstaunliche Wachstum dieser Branche, das ganz wesentlich durch die finanziell attraktiven Einspeisetarife für regenerative Energien im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) stimuliert wurde, führte sogar zu einem deutlich abnehmenden Prozentsatz der öffentlichen Forschungsausgaben als Anteil am Branchenumsatz.

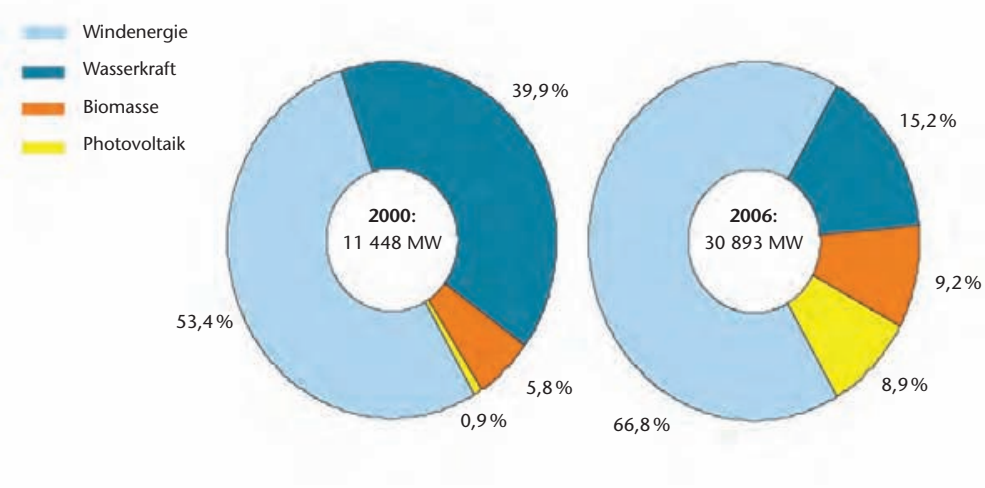


Abbildung 3
Forschungsausgaben des Bundes und Umsatz mit Erneuerbaren Energien

Abbildung 3 zeigt, dass unter den rasch steigenden Leistungsmengen der regenerativen Energien, die sich in Deutschland von 2000 bis 2006 auf 30 GW verdreifachten, die Photovoltaik besonders rasch wuchs, von 0,9 % Anteil an den regenerativen Energien 2000 auf bereits 8,9 % 2006. Dies ist nicht erstaunlich wenn man bedenkt dass die Photovoltaik eine Halbleitertechnologie ist, die ähnlich wie die Entwicklung der Mikroelektronik in den letzten 50 Jahren eine kontinuierliche Leistungssteigerung bei gleichzeitiger Preisreduktion kennt.

Die Lernkurve der Photovoltaik in den letzten 25 Jahren *(Abbildung 4)* zeigt eine kontinuierliche Reduktion der Preise um ca. 20 % für jede Verdoppelung der installierten Menge. In den letzten Jahren gab es eine Sonderentwicklung in der Photovoltaik. In den Jahren 2003 bis 2008 war die globale Nachfrage nach PV-Modulen so stark, dass sich die Systemanbieter praktisch die zu bedienenden Kunden aussuchen konnten. Trotz erheblicher Rationalisierungsgewinne bei den Herstellerfirmen blieben die Preise konstant, die rasch steigenden Profite wurde weitgehend angelegt, um den erforderlichen und auch politisch erwünschten, schnellen Kapazitätsaufbau zu finanzieren. Die Wirtschaftskrise der letzten

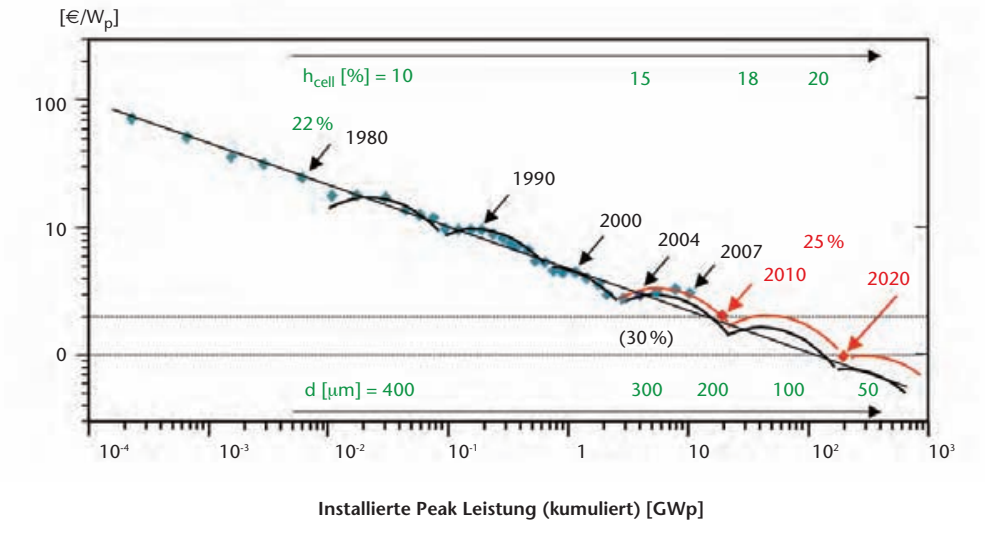


Abbildung 4
Preis-Lernkurve von PV-Modulen aus kristallinem Silizium

18 Monate resultierte in einer deutlichen Abkühlung des Marktes, und es ist interessant, festzustellen, dass durch deutliche Preissenkungen 2009 nun die extrapolierte Lernkurve der letzten 30 Jahre wieder erreicht wurde.

Die Fortführung und sogar eine Beschleunigung entlang dieser Lernkurve ist möglich, aber sie erfordert auch weitere, mit dem Branchenumsatz steigende Ausgaben für anwendungsnahe Forschung und Entwicklung. Parallel dazu sind natürlich auch die Ausgaben für grundlegende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu steigern, da jederzeit unerwartete Durchbrüche möglich sind, z. B. auf dem Gebiet der organischern Solarzellen.

Im Prinzip sollte Forschung für alle Arten der regenerativen Energien sowie auch der Energieeffizienz in Gebäuden, Verkehr und Produktion gefördert werden. Einige Gebiete haben allerdings besondere Aufmerksamkeit verdient, wie die Photovoltaik, solarthermische Energiekonversion, die Windenergie, die energetische Optimierung von Gebäuden, die elektrische Mobilität und damit zum Teil eng verbunden die Entwicklung elektrischer Speicher. Damit einher zu gehen hat die Entwicklung neuer, intelligenter Energieverteilungsnetze, in denen bidirektionale Stromeinspeisung sowie Speicherung ermöglicht wird.

Die Photovoltaik hat das Potenzial, auf lange Sicht einen sehr wesentlichen Teil der Stromerzeugung regenerativ und mit vernachlässigbaren Betriebskosten zu leisten. Zur Erreichung dieses Ziels sind kostengünstigere Produktionsmethoden erforderlich, bei kontinuierlich zu verbessernden Konversionseffizienzen. Mit Systempreisen unter 3 €/Wp ist diese Technologie bereits mit anderen regenerativen Energien wie der konzentrierenden Solarthermie oder dem offshore Wind konkurrenzfähig.

Im Augenblick bietet Dünnschichttechnologie, besonders die Cadmium-Tellurid (CdTe)-Technologie, wie sie von First Solar und anderen angeboten wird, einen Kostenvorteil, Modulkosten von weniger als 1 €/Wp werden genannt. Dieser Kostenvorteil muss allerdings durch deutliche Nachteile in der Konversionsefffizienz erkauft werden: während PV Module aus kristallinem Silizium heute zwischen 16 und 21 % Effizienz zeigen, erreichen Dünnschichtmodule nur zwischen 8 % und 11 %, also etwa halb so viel. Für Großanlagen auf billig erworbenen Flächen sind Dünnschichtanlagen von Vorteil. Wenn die Fläche begrenzt ist, wie z. B. bei Aufdachanlagen, wird hingegen eine gute Effizienz wichtig. Zur Zeit gibt es einen heftigen Preiskampf. Besonders die Hersteller von Solarzellen aus kristallinem Silizium in Deutschland müssen die Preise der Dünnschichttechnologie als Ziel ernst nehmen.

Der heute noch bestehende Vorsprung deutscher und europäischer Technologien in diesen Ländern ist in großer Gefahr, und auch aus diesem Grund ist eine rasch steigende Aufstockung der F&E-Ausgaben auf diesem Gebiet unerlässlich.

Die dritte, wesentliche PV-Technologie, konzentrierende PV, die höchsteffiziente Solarzellen mit bis zu 41 % Konversionseffizienz durch bis zu 500-fache Konzentration einsetzt, befindet sich noch im Anfangsstadium, hat aber das Potenzial, in sonnenreichen Gegenden einen interessanten Marktanteil zu erringen.

Die Solarthermietechnik stellt Warmwasser ohne Umweg über eine Stromerzeugung bereit. Hier gibt es weiteres Verbesserungspotenzial in der Herstellung von den besonders in kühleren Klimazonen erforderlichen Vakuumkollektoren sowie auch der Betriebsführung.

Zur Stromerzeugung in sonnenreichen Gegenden wird konzentrierende Solarthermie zunehmend eingesetzt. Diese Technologie ist besonders in Verbindung mit Wärmespeicherung interessant, da geschmolzene Salzlösungen es erlauben, tagsüber gespeicherte Wärme auch nachts zur Stromerzeugung zu verwenden. In neuesten Entwicklungen wird auch an einer Kombination dieser Technik mit konzentrierender PV gearbeitet.

Die Nutzung von onshore Wind zählt zu den preisgünstigsten Arten der regenerativen Erzeugung von Strom. Allerdings ist die Zahl und Verfügbarkeit guter Standorte limitiert, so dass dort wesentlicher Zuwachs durch Repowering bestehender Anlagen mit größeren Rotoren möglich

ist. Ein ganz anderes Bild bietet offshore Windenergie, hier stehen wir noch vor großen technologischen Herausforderungen die intensive Forschung erfordern, z. B. an größeren Systemen in den 20 MW Bereich hinein sowie auf dem Feld der Korrosionsfestigkeit.

Die energetische Optimierung bestehender Gebäude sowie die Entwicklung zukunftsweisender Konzepte von Neubauten, bis hin zum Projekt Masdar City, einer vollkommen energieautarken Stadt, bietet enormes Potenzial zur Erhöhung der Energieeffizienz, da mehr als ein Drittel unseres Endenergieverbrauchs in die Gebäude fließt. Besondere Herausforderungen stellt die Altbausanierung dar, bei der es neben der Entwicklung entsprechender Technologien auch auf die Unterstützung durch geeignete Markteinführungshilfen ankommt. Diese sollten es erlauben, die kurzfristig anfallenden Kosten auf die langen Jahre des energetischen Nutzens geeignet zu verteilen.

Erhöhung des Einsatzes regenerativer Energien im Transportsektor führt zu dem Feld der elektrischen Mobilität. Angeführt von Entwicklungen in Japan und China und unterstützt von wesentlichen öffentlichen Förderprogrammen beginnt auch die deutsche Automobilindustrie, sich dieser Herausforderung zu stellen. Es ist noch offen, wie und wann sich die Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie im Transportsektor durchsetzt. Die Leistung von Batteriesystemen reicht bereits aus, um Plug-in Hybrids mit limitierter elektrischer Reichweite und einen Verbrennungsmotor zur Reichweitenerweiterung anzutreiben. Mit verbesserter Batterietechnologie werden auch rein elektrische Fahrzeuge eine ausreichende Reichweite bieten. Hier besteht noch großer Forschungsbedarf sowohl bei den Batterien selbst als auch bei dem zu den Systemen gehörenden Energiemanagement.

Schließlich sollte auch die erforderliche Umstellung des herkömmlichen, unidirektionalen Stromnetzes auf ein bidirektionales Netz mit lokal verteilter Intelligenz erwähnt werden. In diesem zukünftigen Netz stellen sich Abnehmer auf die zeitlich fluktuierenden Stromkosten ein und schalten wesentliche Verbraucher besonders zu Zeiten des günstigsten Preises an, wenn z. B. ausreichend Windkraft eingespeist wird. Gleichzeitig sind Abnehmer auch potenzielle Einspeiser von Leistung aus Wind- und Solaranlagen oder aus den Batterien der Elektroautos, die ja nur dann gefüllt sein müssen, wenn der Kunde auch wirklich fahren möchte. Das Stromnetz der Zukunft braucht auch Übertragungstechniken für lange Reichweiten in Form von Hochspannungsgleichstromübertragung, die sonnenreiche Gegenden im Süden mit wind- und wasserreichen Gegenden im Norden und den Kunden verbindet.

- Das Budget der Erneuerbare Energienforschung macht unter den IEA-Staaten 2008 nur 13 % aus.
- Im internationalen Vergleich hat Deutschland den höchsten Anteil des Energieforschungsbudgets, doch liegt dieser trotzdem nur bei 33 %, Kernenergieforschung (inkl. Fusion, Abfall): 64 %.
- Deutschland hat nur 5 % der Energieforschungsausgaben der IEA-Länder, Japan 28 %, USA 31 %.
- Bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt gibt Deutschland 0,20 EUR pro 1000 EUR BIP aus (USA 0,25 EUR, Japan 0,72 EUR).

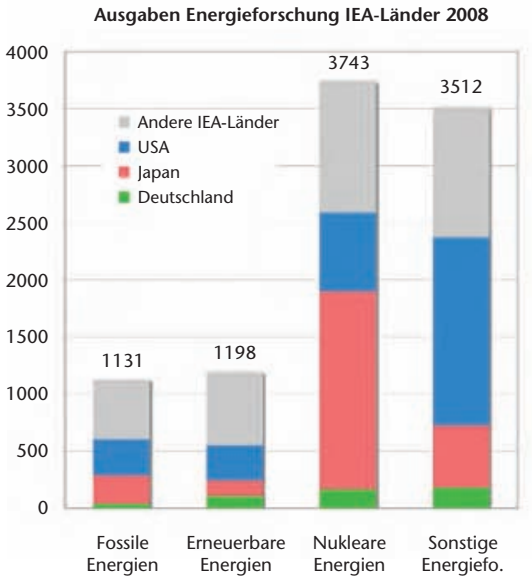


Abbildung 5
Energieforschungsbudgets weltweit

Diese knappe Skizze eines Energiesystems der Zukunft zeigte an vielen Stellen den noch bestehenden, erheblichen Forschungsbedarf. Zur rechtzeitigen Erreichung der Klimaziele ist es unerlässlich, Technologiekompetenzen weltweit verstärkt zu entwickeln. Dies kann allerdings nur mit deutlich ansteigenden Mitteln zur Förderung dieses Forschungsfeldes erfolgreich sein.

Abbildung 5 zeigt, dass in allen Ländern der Internationalen Energieagentur (IEA) die Forschung an regenerativen Energien nur 13 % des Energieforschungsbudgets ausmacht. Bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt BIP steht Deutschland mit 0,20 € Forschungsausgaben pro 1.000 € BIP noch hinter den USA (0,25 €) und weit hinter Japan (0,72 €). In den USA wurden die Aufwendungen für PV-Forschung allein von 135 $ Millionen 2008 auf 260 $ Millionen 2009 fast verdoppelt, und soll 2010 320 $ Millionen betragen, plus etwa 800 $ Millionen für 46 staatliche Energy Frontier Centers in den nächsten 5 Jahren, von denen sich 11 auf die PV konzentrieren sollen.

In Europa wurden bereits enge Technologiepartnerschaften durch europäische Programme wie Crystal Clear im Bereich der Silizium-PV-Technologie angestoßen. Leider wurde die Chance verpasst, ein Knowledge und Innovation Center (KIC) im Rahmen des European Instituts of Technology zum Thema regenerative Energien zu bilden. Dennoch kann erwartet werden, dass es weitere entsprechende Programme spätestens im 8. EU-Rahmenprogramm geben wird. Auch die transatlantische Technologie-Partnerschaft wird verstärkt werden. Die Fraunhofer-Gesellschaft hat bereits ein sich sehr schnell entwickelndes Center for Sustainable Energie Systems (CSE) am MIT in Boston gegründet, und Bundesforschungsministerin Schavan unterzeichnete einen ersten transatlantischen Vertrag zur technologischen Zusammenarbeit, besonders auch auf den Gebieten der regenerativen Energien.

Es ist eindeutig, dass die Herausforderung an die Menschheit global ist und daher Technologiekompetenzen auch global gebündelt werden müssen. Die Länder, die diesen Prozess am effektivsten angehen, und Deutschland gehörte eindeutig zu den Spitzenreitern, werden daraus großen volkswirtschaftlichen Gewinn ziehen. Auf der anderen Seite wird durch das erwachende Interesse besonders auch in Asien der Wettbewerb schärfer werden, und wenn Deutschland sich diesem Wettbewerb nicht mit den gebührenden Anstrengungen auf dem Feld der Forschung und Entwicklung stellt, ist nicht auszuschließen, dass wir unsere Technologieführerschaft verlieren, wie das in der Vergangenheit bei anderen Schlüsseltechnologien wie der Mikroelektronik zu beobachten war.

Die energie- und forschungspolitischen Rahmenbedingungen für erneuerbare Energien in Deutschland

Jörg Mayer
Agentur für Erneuerbare Energien
j.mayer@unendlich-viel-energie.de

Deutschland betreibt seit über 20 Jahren den Ausbau erneuerbarer Energien, unterstützt durch politische Förderinstrumente. Wie lässt sich erklären, dass die Instrumente in diesem Zeitraum konsequent beibehalten und fortentwickelt wurden, um auf diese Weise eine verlässliche Basis für die erfolgreiche Entwicklung erneuerbarer Energien zu legen?

Gründe für die Förderung erneuerbarer Energien in Deutschland

Deutschland ist in hohem Maße abhängig von Energieimporten. Fast drei Viertel der gesamten verbrauchten Energie müssen aus dem Ausland eingeführt werden. Hierbei steigt die Abhängigkeit von wenigen Lieferländern wie z. B. Russland weiter an. Damit nimmt auch das Risiko politischer Abhängigkeiten aufgrund der wachsenden Bedeutung von Energie zu. Eine Verringerung der Importabhängigkeit ist daher wichtiges Ziel deutscher Energiepolitik. Mit einem Anteil von ca. 10 % an erneuerbarer Energie im deutschen Energiemix (2008) hat Deutschland zwar einen erfolgreichen Zwischenstand erreicht, da erneuerbare Energie überwiegend heimisch produziert wird. Allerdings ist der noch hohe 90 %ige fossile Anteil ein Ansporn, die Verlagerung der Energieproduktion auf erneuerbare Energieträger weiter zu beschleunigen.

Ein weiterer Grund für die Förderung erneuerbarer Energien ist die Unfähigkeit des freien Marktes, die hohen Folgekosten des Klimawandels in heutige Energiepreise einzurechnen. Die Kosten für Umwelt- und Gesundheitsschäden, die Abfallentsorgung aus Atom- und Kohlekraftwerken sowie die Kosten für Sicherheitsmaßnahmen und Konflikte um energetische Rohstoffe sind noch nicht im angemessenen Maße in unseren Energiepreisen enthalten. Eine Förderung erneuerbarer Energien, die einen Großteil der beschriebenen Folgekosten erst gar nicht

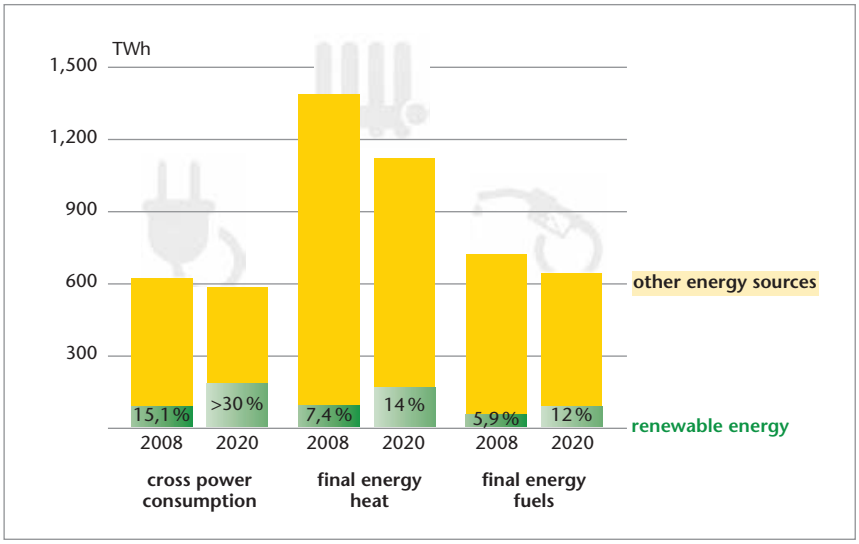


Abbildung 1
Deutsche Ausbauziele für erneuerbare Energien bis 2020.

Quelle: Bundesumweltministerium (2009)

entstehen lassen, vermeidet daher finanzielle Aufwendungen künftiger Generationen.

Die Europäische Union hat verbindliche Ziele für den Ausbau erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2020 festgelegt. Zusammen müssen die Mitgliedsstaaten 20 % der Energieversorgung aus erneuerbaren Energien erreichen. Mit 18 % liegt Deutschland leicht unter dem Durchschnitt. Der deutsche Wert setzt sich aus mindestens 30 % Anteil an der Stromversorgung, 14 % an der Wärmeversorgung und 12 % an der Kraftstoffversorgung zusammen.

Der Hauptgrund für die Förderung erneuerbarer Energien in Deutschland ist allerdings der wirtschaftlich-technologische Faktor. Mit der Einführung des Stromeinspeisegesetzes im Jahr 1990 und der Weiterentwicklung zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das im April 2000 in Kraft trat, etablierte sich sukzessive eine neue und leistungsstarke Industrie. Indem sich Technologien der erneuerbaren Energien am Markt behaupten konnten, stellten sich Skaleneffekte und Effizienzsteigerungen ein. Durch die öffentliche Förderung konnten sich deutsche Unternehmen einen technologischen Vorsprung erarbeiten, der im Hinblick auf künftige Klimaschutzvereinbarungen immer wichtiger wird. Im Jahr 2008 erzielten die deutschen Unternehmen einen Umsatz durch Errichtung und Betrieb von Anlagen in Höhe von fast 29 Mrd. Euro, daneben resultierten 12 Mrd. Euro aus dem Export.

Die so entwickelten Innovationen sind fortan weltweit verfügbar, sei es zur Vermeidung von CO_2 oder zur Autonomisierung der Energieversorgung selbst kleinster Einheiten in Entwicklungsländern.

Während marktnahe Technologien durch Anreizsysteme wie eine Strom-Einspeisevergütung, durch Prämienmodelle oder durch Kraftstoff-Quoten gefördert werden, bedürfen marktfernere Technologien einer Grundlagenforschung, die hauptsächlich durch wissenschaftliche Institute und Universitäten geleistet werden.

Entwicklung der Forschungsförderung

Seit dem Jahr 1973 erstellt die deutsche Bundesregierung Energieforschungsprogramme. Das derzeit gültige fünfte Energieforschungsprogramm trägt den Titel „Innovation und neue Technologien“. Es umfasste zunächst den Zeitraum von 2005 bis 2008 und wurde dann bis 31.12.2010 verlängert.

In der ersten Periode bis 2008 enthielt das Programm ein Förderbudget für Grundlagenforschung in Höhe von 1,7 Mrd. Euro. Obwohl die Förderung erneuerbarer Energien sowie Energieeffizienz bis zum Jahr 2008 – auf niedrigem Niveau – anwuchs, wird der Großteil der deutschen Forschungsgelder immer noch für nukleare Technologien, inkl. Rückbau der Anlagen und Fusionsforschung ausgegeben.

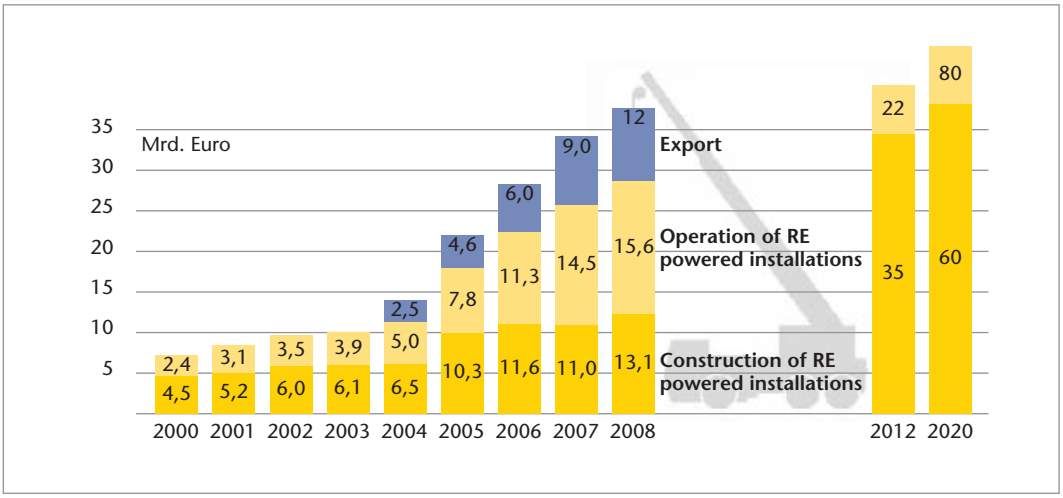


Abbildung 2
Umsatz der Erneuerbaren-Energien-Branche in Deutschland

Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien

Die vier für Energiefragen zuständigen Bundesministerien – das Forschungs-, Umwelt-, Wirtschafts- und Landwirtschaftsministerium – gaben im Jahr 2008 zusammen 161,2 Mio. Euro für institutionelle Förderung und konkrete Projektförderung erneuerbarer Energien aus. Die Gelder werden für folgende Ziele eingesetzt:

1. Reduzierung von Kosten durch Effizienzsteigerungen und Skaleneffekte durch Optimierung des Produktionsprozesses und durch Verbesserung des Produktlebenszyklus.
2. Entwicklung neuer Technologien
3. Ein nachhaltiger Ausbau erneuerbarer Energien durch die Erforschung ökologischer und sozialer Effekte

Im Rahmen der Projektförderungen gewinnen Technologien zur Systemintegration und die Windenergie stark an Bedeutung. Hatte die Photovoltaik in der Förderperiode von 2005 bis 2008 noch einen budgetären Anteil von 44,1 %, ging dieser in den im Jahr 2008 genehmigten Projektförderungen auf 26,3% zurück. Demgegenüber stieg der Bereich der Systemintegration von fast 0 auf inzwischen 18,7 %, der Bereich der Windenergie – getrieben von der Offshore-Windenergie – von 21 % auf 26,6%. Diese Entwicklung zeigt, dass die Bewältigung großer Energiemengen, die damit verbundene Speicherung sowie die intelligente Verbrauchssteuerung von Energie zunehmend wichtiger werden.

Umgekehrt wird Grundlagenforschung umso geringer staatlich gefördert, je wettbewerbsfähiger die Technologien am Markt werden. In dieser Phase werden die Marktanreizinstrumente zu Technologie- und Innovationstreibern. Als eines der erfolgreichsten Fördermodelle weltweit hat sich hierbei das EEG erwiesen, das eingespeisten Strom aus erneuerbaren Energien über 20 Jahre mit festen Tarifen vergütet.

Funktionsweise der Einspeisevergütung

Das deutsche EEG trat am 1. April 2000 in Kraft und ist hauptverantwortlich dafür, dass der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung in dieser Zeit von gut 6 % auf etwa 16 % im Jahr 2009 anstieg. Es folgt dem Prinzip der garantierten, kostendeckenden Vergütung und muss daher kontinuierlich überprüft und weiterentwickelt werden. Nach einer zehnjährigen Lernperiode zwischen 1990 und 2000 mit dem Stromeinspeisegesetz – dem Vorläufergesetz des EEG wurden folgende fünf Kernelemente des EEG definiert, die heute noch Bestand haben:

- **Vorrang für EEG-Strom:** Jede Anlage zur Erzeugung von erneuerbarem Strom muss von den Netzbetreibern ans Stromnetz angeschlossen werden. Jede KWh Strom darf ins Netz eingespeist werden und wird an die Verbraucher durchgeleitet.
- **Feste Vergütung:** Jede KWh Erneuerbaren-Energie-Stroms erhält einen garantierten Vergütungssatz, der die Amortisation der Anlageninvestition kalkulierbar macht.
- **Lange Laufzeit:** Die Vergütung erfolgt über 20 Jahre, was den Investoren eine hohe Ertragssicherheit bietet. Während dieser Zeit können die Betreiber frei die EEG-Vergütung verlassen oder wieder betreten, je nachdem, ob sich am freien Markt höhere Preise erzielen lassen.
- **Technologiespezifische Förderung:** Jede Technologie bietet unterschiedliche Vorteile, die sich nicht nur in heutigen wirtschaftlichen Einheiten bemessen. Dazu zählen die technologische Reife, die Zukunftspotenziale, die Standorteignung sowie Landschafts- und Naturschutzfragen. Daher ist es Prinzip, jede Technologie (PV, Wind, Biomasse, …) mit eigenen, unterschiedlich hohen Vergütungssätzen zu ihrer spezifischen Kostendeckung zu fördern.
- **Degression:** Um Lerneffekte zu beschleunigen und Mitnahmeeffekte zu vermeiden, ist eine jährliche Absenkung der Anfangsvergütung festgelegt. Durch diesen Innovationsdruck nähern sich alle Technologien sukzessive ihrer Netzparität, d. h. einem Preisniveau, das dem „aus der Steckdose“ entspricht.

Entscheidend für den Erfolg des EEG war und ist weiterhin die Unabhängigkeit von der aktuellen Haushaltspolitik der Regierung. Da sich die Einspeisevergütung vollständig durch ein Umlagesystem zwischen Produzenten, Netzbetreibern

und Verbrauchern finanziert, gibt es kein „EEG-Budget", das zur Jongliermasse bei haushaltspolitischen Entscheidungen werden kann. Dieser Umstand verleiht Investoren einmal mehr die nötige Finanzierungssicherheit bei der Entwicklung größerer Projekte. Diese Unabhängigkeit muss auch weiterhin Bestand haben.

Kosten und Nutzen des EEG

Natürlich ist das EEG auch mit Mehrkosten für die Gesellschaft verbunden, kompensiert es doch die Differenz zwischen dem niedrigeren Marktpreis für konventionelle Energien und den Kosten für erneuerbare Energien. Rechnet man die gesamte EEG-Umlage für das Jahr 2008 in Höhe von 4,5 Mrd. Euro auf die einzelne KWh Strom um, so musste der Verbraucher 1,1 Cent mehr bezahlen, also etwa 5 % des durchschnittlichen Verbraucherstrompreises. Auf einen deutschen Privathaushalt bezogen, entstanden so Mehrkosten in Höhe von ca. 3 Euro monatlich.

Im Gegenzug konnte die Förderung erneuerbarer Energien einen beispielhaften Aufschwung der Industrie bewirken. Neben der bereits genannten 40 Mrd. Euro Umsätze durch Investitionen, Betrieb und Exporte, schuf die Branche bisher 280.000 Arbeitsplätze. Die Wirkungsgrade der Anlagen steigerten sich erheblich. So gewinnen moderne Windräder dank innovativer Technik, größerer Rotorblattdurchmesser und Nabenhöhen heute etwa 50mal mehr Strom als Windräder im Jahr 1990.

Der CO_2-Ausstoß, der durch erneuerbare Energien im Jahr 2008 vermieden werden konnte, beläuft sich allein im Stromsektor auf etwa 72 Mio. Tonnen. Rechnet man die vermiedenen CO_2-Emissionen des Wärme- und Kraftstoffsektors hinzu, konnten der Atmosphäre ca. 110 Mio. Tonnen erspart werden. Kein anderes Instrument des Klimaschutzes kann ähnlich hohe CO_2-Einspareffekte vorweisen wie die Förderung erneuerbarer Energien. Zwar sind die spezifischen Einsparkosten pro Tonne CO_2 noch unterschiedlich hoch und teilweise teurer als andere Maßnahmen. Aber das Entwicklungs- und Kostensenkungspotenzial der Technologien ist groß – die prognostizierte Nachfrage in den Weltmärkten immens.

Die deutsche Forschungsförderung geht in ihrer Logik zwar beispielhaft voran: Weniger ausgereifte Technologien werden durch Grundlagenforschung entwickelt, marktnahe Technologien

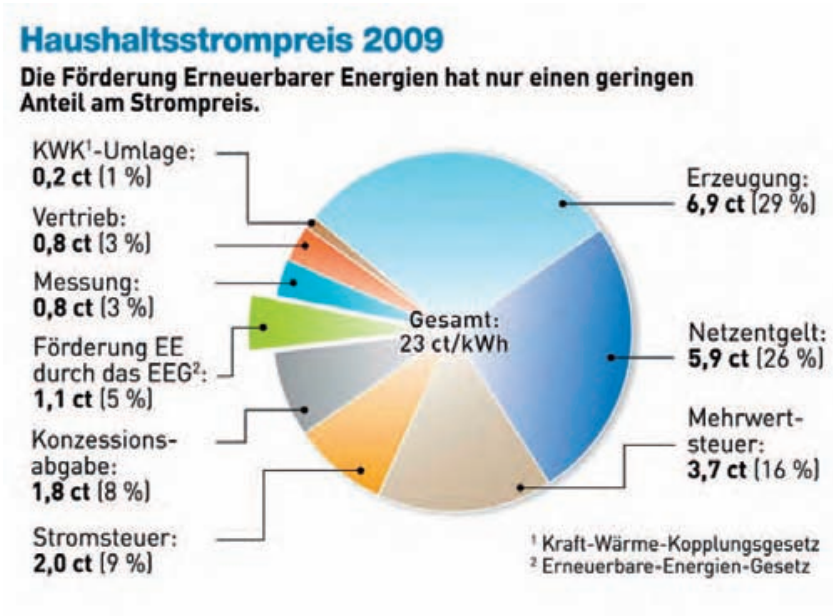


Abbildung 5
Zusammensetzung des durchschnittlichen deutschen Verbraucherstrompreises 2008
Quelle: BDEW (2009)

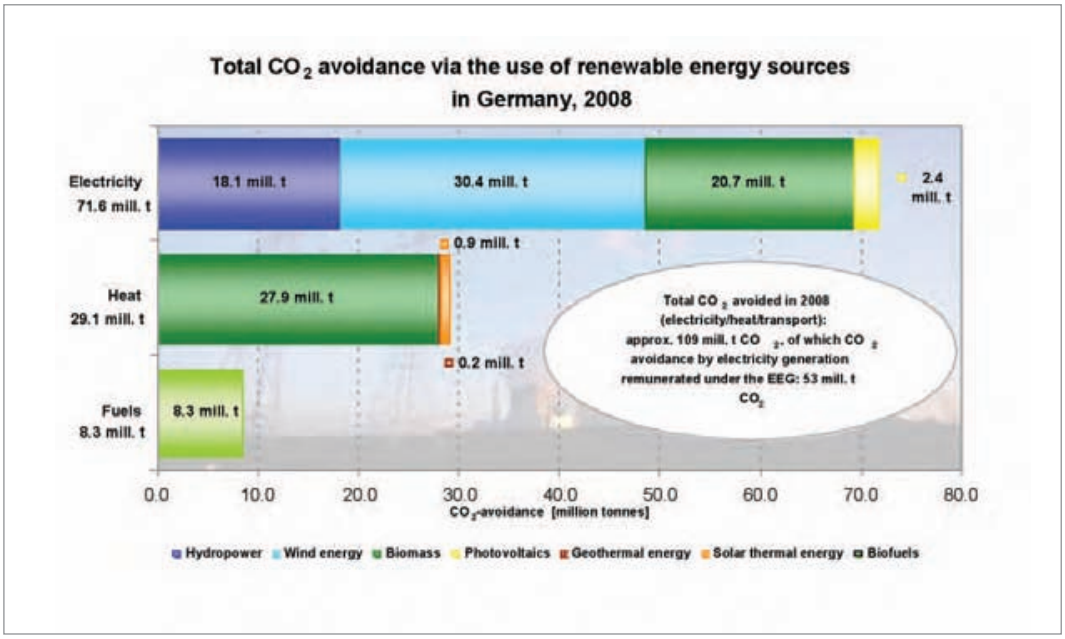


Abbildung 6
CO_2-Vermeidung durch erneuerbare Energien in Deutschland im Jahr 2008

Quelle: Broschüre des Bundesumweltministeriums „Renewable energy sources in figures – national and international development" (2009)

werden mit Anreizen in den Markt gebracht und dort Innovationszyklen ausgesetzt. Zwei Schwachpunkte sind aber zu benennen: Die Grundlagenforschung erfährt mit zuletzt 161 Mio. Euro nicht die finanzielle Aufmerksamkeit, wie in den USA oder Japan, die großzügiger in ihre Forschungskapazitäten im Bereich erneuerbare Energien investieren. Zum anderen müssen in den Bereichen der Wärme und der Kraftstoffe noch effektivere Forschungsanreize entwickelt werden, um angesichts ihres potenziell großen Beitrags zum Klimaschutz schnellere Erfolge zu erzielen.

TREE – Transfer Renewable Energy & Efficiency – das Wissenstransfer-projekt der Renewables Academy

Berthold Breid
Renewables Academy AG (RENAC)
Schönhauser Allee 10-11
10119 Berlin
www.renac.de
breid@renac.de

Weltweit legen immer mehr Regierungen ehrgeizige Zahlen zum Ausbau erneuerbarer Energien vor. Die Diversifizierung des Energiemixes durch eine Erhöhung des Anteils regenerativer Energieträger ist nicht nur entscheidend für die Senkung von CO_2-Emissionen, sondern birgt insbesondere auch für zahlreiche Entwicklungs- und Schwellenländer die Chance zur Erschließung neuer wirtschaftlicher Potenziale, denn oft verfügen gerade diese Länder über besonders große natürliche Ressourcen. Bei stetig wachsender Energienachfrage können regenerative Energien die Sicherstellung der Energieversorgung und eine Stabilisierung der Stromnetze gewährleisten. In subventionierten Energie-märkten erlauben sinkende Energieimporte den Staatsetats einen höheren finanziellen Spielraum.

Schwierigkeiten bei der praktischen Umsetzung der Ausbauziele bestehen u. a. darin, dass für die erfolgreiche und vor allen Dingen zügige Entwicklung des Erneuerbaren-Energien-Sektors Fachkenntnisse bei einer Vielzahl von Beteiligten gefragt sind.

Ministerien müssen Gesetze und Verordnungen ausarbeiten, Entscheider aus dem Privatsektor sind gefragt bei der Finanzierung von Anlagen, der Berechnung der Wirtschaftlichkeit und der Steuerung komplexer Projekt-abläufe und Ingenieure und Techniker sind bei der technischen Anlagenplanung, -installation und -wartung gefordert. Fehlendes Know-how bei einem der Beteiligten kann schnell zu einem Engpass in der Wertschöpfungskette führen.

Das von der Renewables Academy initiierte TREE Projekt (Transfer Renewable Energy & Efficiency) realisiert einen internationalen Wissenstransfer, bei dem alle Schlüsselakteure einbezogen werden. Durch Capacity Building in einem mehrstufigen Seminarangebot wird politischen und wirtschaftlichen Entscheidungsträgern und Ingenieuren aus Entwicklungs-, Schwellen- und Transformationsländern das nötige Know-how vermittelt, um Technologien der erneuerbaren Energien schnell und nachhaltig implementieren zu können. Die Erfahrungen, die in Deutschland in den letzten 20 Jahren bei der Schaffung geeigneter politischer Rahmenbedingungen und wirtschaftlicher Anreizmechanismen, bei der Erschließung von Finanzierungsmöglichkeiten, beim Aufbau unternehmerischer Kompetenz und bei der Handhabung der Technologien gemacht wurden, sollen an andere Länder weiter gegeben werden.

TREE wird im Rahmen der Internationalen Klimaschutzinitiative durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages gefördert. Einnahmen aus der Veräußerung von CO_2-Zertifikaten des Emissionshandels werden in nationale und internationale Klimaschutzmaßnahmen investiert.

In 2008 und 2009 wurden insgesamt 170 Projekte in Entwicklungs-, Schwellen- und Transformationsländern angeschoben. Mit diesen Projekten, zu denen auch TREE gehört, sollen vorhandene Potenziale zur Emissionsminderung kostengünstig erschlossen und die technologische Umsetzbarkeit innovativer Modellprojekte für den Klimaschutz demonstriert werden. Die Steigerung der Energieeffizienz, der Ausbau Erneuerbarer Energien sowie der Know-how Transfer werden gezielt gefördert.

Für die Teilnahme an den TREE-Seminaren zu Solar-, Wind-, Bioenergie sowie Energieeffizienztechnologien vergibt die RENAC Seminarstipendien. Wichtiges Auswahlkriterium ist, dass die Bewerber die neu gewonnenen Kenntnisse in

ihrer alltäglichen Arbeit möglichst unmittelbar umsetzen und breitflächig weitergeben können. Aber auch andere Faktoren wie Motivation, Qualifikation oder Englischkenntnisse spielen eine Rolle.

Um die Prinzipien einer sauberen Energieversorgung auch nachhaltig zu lehren, ist das hinter TREE stehende Bildungskonzept mehrdimensional aufgebaut. In einwöchigen Einführungsseminaren in Berlin lernt jede Zielgruppe die für sie nötigen Aspekte der Technologien: politische und wirtschaftliche Entscheidungsträger erfahren nach einer Einführung in die Technologie mehr zur Ausgestaltung der Rahmenbedingungen, zu Projektfinanzierung und -management sowie zu Wirtschaftlichkeit, Markterschließung, rechtlichen und versicherungstechnischen Zusammenhängen der erneuerbaren Energien. Bei den Ingenieuren liegen die Schwerpunkte auf Planung, Installation, Wartung und Qualitätsmanagement der Anlagen. In darauf aufbauenden Vertiefungsseminaren können einzelne Schwerpunkte intensiviert werden. Einige Kurse werden auch direkt in den Ländern vor Ort durchgeführt.

An die Präsenzseminare schließt sich eine E-Learning-Phase an. In Zusammenarbeit mit der Berliner Beuth Hochschule für Technik hat die RENAC ein Online Lehrportal eingerichtet, über das die Teilnehmer vertiefende Seminare belegen können. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, sich über Online-Beratungsangebote durch die jeweiligen Dozenten Ratschläge und Hinweise für praktische Projekte einzuholen. Ergänzt werden die Lernangebote durch weitere Maßnahmen, wie z. B. einer Publikationsreihe für Ministeriumsangestellte über rechtliche Aspekte der Erneuerbaren Energien oder eine mobile Ausstellung, welche die Technologien noch besser erfahrbar macht.

Gestartet wurde TREE im November 2008. Im ersten Jahr kamen die insgesamt 560 Teilnehmer aus 14 Ländern in Südamerika, Afrika und Asien. In diesem Jahr können zusätzlich die Staaten, welche das IRENA (Internationale Agentur für Erneuerbare Energien) Statut unterzeichnet haben, sowie die Staaten der MENA-Region teilnehmen, insgesamt fast 100 Länder.

Teilnehmer der Decision Maker Kurse machen sich mit den Anforderungen an die politische Rahmengesetzgebung vertraut.

Im Trainingscenter der RENAC steht umfangreiches Equipment der Technologien Solarthermie, Photovoltaik, Windkraft und Energieeffizienz für Praxisübungen bereit.

In den Photovoltaik-Kursen wird auch die praktische Installation geübt.

Der fachliche Schwerpunkt liegt in diesem Jahr bei der Qualifizierung von Projektentwicklern der Industrie und Dienstleistern der Privatwirtschaft, denn wenn Voraussetzungen für Investments geschaffen und neue Arbeitsfelder in im Bereich der Energieeffizienz und der erneuerbaren Energien aufgebaut werden, führt das auch zur Stärkung der Wirtschaftskraft eines Landes. Da geeignete politische Rahmenbedingungen dafür eine Voraussetzung sind, stehen parallel dazu Kurse für politische Entscheidungsträger und Vertreter aus Fachgremien im Bereich der Legislative im Fokus.

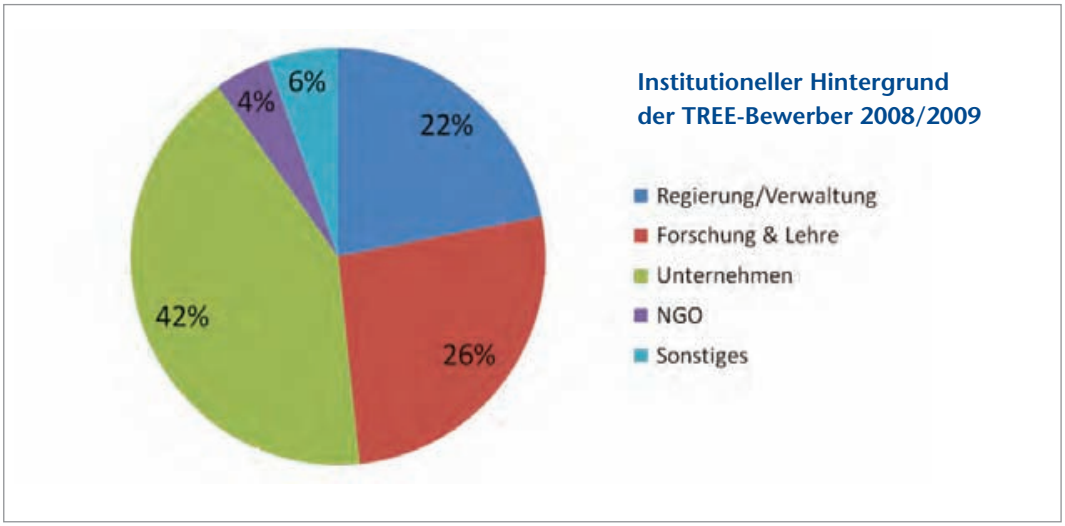
TREE 2009: Länder und Teilnehmeranzahl

Land	Bewerber	Teilnehmer Gesamt	Ingenieure	Entscheidungsträger	Vertiefungsseminare	Regionale CSP-Seminare
Argentinien	5	3	1	2	0	
Brasilien	72	24	8	13	3	
Chile	62	100	13	4	10	83
China	106	13	4	6	3	
Indien	66	22	8	9	5	
Indonesien	59	19	3	8	8	
Jordanien	56	80	8	13	1	62
Malaysia	82	26	9	8	9	
Mexiko	68	21	8	7	6	
Namibia	47	54	9	13	0	42
Peru	35	88	2	10	2	81
Philipinen	42	18	6	8	4	
Südafrika	57	70	18	8	2	47
Thailand	77	20	10	7	3	
Gesamt	834	558	107	116	56	315*

Teilnehmer gesamt Seminare in Berlin und regionale CSP-Seminare: 558

Teilnehmer der CSP-Seminare finden keine Berücksichtigung in „Bewerber"-Kategorie und haben teilweise auch an den Ingenieurs- und Entscheidungsträgerseminaren teilgenommen.

Institutioneller Hintergrund der TREE-Bewerber 2008/ 2009



Die Weiterbildung im Rahmen von TREE unterstützt die Teilnehmer beim Aufbau eigener Kapazitäten in den teilnehmenden Ländern. Entscheidend dafür ist nicht nur der Wissenstransfer, sondern auch die Initiierung eines internationalen Dialogs.

In den TREE-Seminaren in Berlin begegnen sich Teilnehmer von verschiedenen Kontinenten und haben die Möglichkeit zum Erfahrungsaustausch. Über die TREE-Community können sie miteinander in Verbindung bleiben, über aktuelle Problemstellungen oder Projekte reden und so letztendlich mit Unterstützung eines weltweiten Netzwerkes den Ausbau der Erneuerbaren Energien im jeweils eigenen Land weiter voran treiben.

Das Projekt wird durch das BMU gefördert:

Weitere Informationen:
www.tree-project.de
www.renac.de

Tabellen
Seminare

Überblicksseminare für politische Entscheidungsträger

Kurzbeschreibung: Teilnehmer an diesen Kursen erhalten einen umfassenden Einblick in die wichtigsten Technologien, deren Funktionsweisen und Einsatzmöglichkeiten. Es werden Strategien für die Entwicklung geeigneter Rahmenbedingungen aufgezeigt und Finanzierungsinstrumente erläutert. Die Teilnehmer werden in die Lage versetzt, in ihren Ländern entscheidende Impulse für den Einsatz von RE- und EE-Technologien zu geben.

Themen
- RE (netzgekoppelt) und EE: Technologien, Rahmenbedingungen, Finanzierung
- Ländliche Elektrifizierung: Technologien, Rahmenbedingungen, Finanzierung

Anzahl Seminare: 4
Dauer: 5 Tage
Ort: Berlin

Technologiespezifische Vertiefungsseminare für politische Entscheidungsträger

Kurzbeschreibung: In diesen Seminaren wird der Lebenszyklus von RE- und EE-Anwendungen in den einzelnen Projektphasen und aus Sichtweise der unterschiedlichen Beteiligten wie Finanzierern, Projektentwicklern, Juristen und Betreibern beleuchtet und bestehende Systeme verglichen und analysiert. Die Teilnehmer erhalten Fachwissen zu Technik, Kosten, Finanzierung, Rechtsaspekten, Qualitätssicherung und erforderlichen Rahmenbedingungen.

Themen
- Photovoltaik netzgekoppelt
- Photovoltaik Inselsysteme (inkl. Anwendungsbeispiele in der Wasserwirtschaft)
- Biogas und Biokraftstoffe
- Windenergie (große und kleine Windenergie)
- Solarthermie (große und kleine Solarthermie)
- Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, im Gebäudesektor und im Wassersektor
- Hybridsysteme

Anzahl Seminare: 7
Dauer: 5 Tage
Ort: Berlin

CSP – Seminare für Ingenieure und Entscheidungsträger aus Politik und Wirtschaft

Kurzbeschreibung: Die Teilnehmer erwerben Kenntnisse über die derzeit verfügbaren CSP-Technologien, den aktuellen Stand der Technik sowie die Anwendungsmöglichkeiten. Sie entwickeln ein Verständnis für die wichtigsten Umsetzungsschritte sowie die zentralen Erfolgsfaktoren eines CSP-Projekts.

Themen
- Voraussetzungen, Technologien, Projektmanagement, Kosten, Finanzierung, lokale Wertschöpfung, Netzanbindung und Betrieb von solarthermischen Kraftwerken

Anzahl Seminare: 3
Dauer: 3 Tage
Ort: Abu Dhabi, Mexiko, Indien

Seminare für Finanzierer und Projektentwickler

Kurzbeschreibung: Die Seminare haben das Ziel, Investitionen in RE- und EE-Projekte durch Schulungen von Finanzierern und Projektentwicklern zu fördern. Es werden wirtschaftliche Betrachtungen unterschiedlicher Technologien und unter verschiedenen Einsatzbedingungen dargestellt und Wirtschaftlichkeitsberechnungen sowie Finanzierungsmechanismen und Beispiele vorgestellt.

Themen
- Finanzierung von RE und EE mit technischer Einführung, Kostenrechnungen, Finanzierungsbeispielen

Anzahl Seminare: 4
Dauer: 2 Tage
Ort: Malaysia, Abu Dhabi, Südafrika, Mexiko

Der CERINA-Plan – eine Alternative zum Kyoto-Instrument

Dr. Norbert Allnoch
allnoch@iwr.de
Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR)
Soester Str. 13
48155 Münster
Tel. ++49-251-23946-0
info@cerina.org

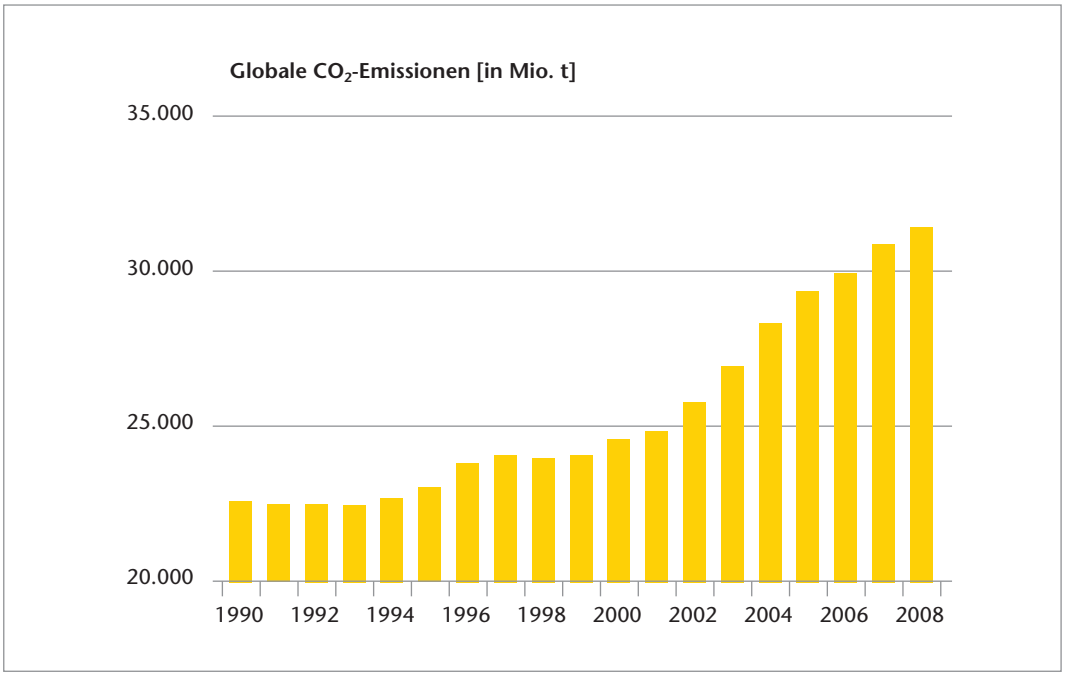
1. Einleitung

Die internationalen Verhandlungen über ein Nachfolgeabkommen für das 2012 auslaufende Kyoto-Protokoll sind weitgehend festgefahren und eine Einigung in Kopenhagen ist derzeit nicht in Sicht. Im Kern basiert das Kyoto-Instrument auf einem Begrenzungsansatz für den CO_2-Ausstoß einzelner Länder, auf deren Höhe sich die Staatengemeinschaft im Idealfall einigt. Nachfolgend wird mit dem CERINA-Plan (CO_2-Emissions and Renewable Investment Action Plan) ein alternatives Instrument vorgestellt, bei dem nicht die Begrenzung, sondern Investitionen die Basis des Modellansatzes bilden.

2. Weltweite CO_2-Emissonen – Der Status quo

Die globalen Kohlendioxid-Emissionen stiegen im Jahr 2008 auf den neuen Rekordwert von 31,5 Milliarden Tonnen und liegen damit um 40 Prozent über denen des Jahres 1990 (IWR 2009). Das Ziel des Kyoto-Protokolls bestand darin, die Emissionen in den Kyoto-Ländern bis 2012 um 5,2 Prozent gegenüber dem Basisjahr 1990 zu senken (UNFCCC 1998). Mit der wirtschaftlichen Entwicklung in zahlreichen Schwellenländern sind die Emissionen weltweit jedoch deutlich gestiegen. Im Ergebnis wird erkennbar, dass der Kyoto-Begrenzungsmechanismus nicht funktioniert. Eine Ursache ist darin zu sehen, dass die politischen Akteure in den Verhandlungen keine wirtschaftlichen Einschränkungen für ihre Länder in Verbindung mit dem Klimaschutz akzeptieren wollen oder können. Widerstände im eigenen Land gegen Obergrenzen und den Emissionshandel mit angedrohten Standortver-

Weltweite CO_2-Emissonen



lagerungen führen angesichts des globalen Standortwettbewerbs auch zu Misstrauen unter den politischen Akteuren. Die Folge ist eine geringe Bereitschaft zur Selbstverpflichtung. Aufgrund dieser Zusammenhänge wird es in Kopenhagen voraussichtlich kein neues Klimaschutzabkommen geben. Selbst im Falle von Vereinbarungen zwischen den Ländern bleibt die Frage offen, ob und in welchem Zeitraum die CO_2-Reduktionen tatsächlich umgesetzt werden und welche Sanktionen eintreten, wenn die Ziele nicht erreicht werden. Diese ungelöste Problematik zeigt schon das Beispiel des Kyoto-Protokolls.

3. Der Cerina-Plan – ein alternativer Investitionsansatz

Der IWR-Ansatz setzt auf Investitionen statt auf Begrenzung. Das Grundprinzip des CERINA-Plans basiert auf der direkten Kopplung von CO_2-Emissionen der einzelnen Länder an Investitionen in erneuerbare Energien. Je höher die CO_2-Emissionen eines Landes sind, desto höher die anzuschiebenden Investitionen in regenerative Energietechniken. Jedes Land emittiert CO_2, daher ist jedes Land prinzipiell verpflichtet Verantwortung zu übernehmen und seinen anteiligen Beitrag zu leisten. Der jährliche globale CO_2-Anstieg (in Mio. t) ist bekannt, so dass rückwärts gerechnet die notwendigen Investitionen in erneuerbare Energieerzeugungsanlagen (Strom, Wärme, Treibstoffe) ermittelt werden können, die nötig sind, um zumindest den globalen CO_2-Anstieg zu kompensieren und damit zu bremsen.

Die weltweiten Investitionen in regenerative Energieanlagen beliefen sich im Jahr 2008 auf 120 Mrd. €. Zur Stabilisierung des CO_2-Ausstoßes müssten die Investitionen nach IWR-Berechnungen auf jährlich mindestens 500 Mrd. € und damit vervierfacht werden.

Der entscheidende Schritt im CERINA-Plan ist die Aufteilung der Investitionen auf die verschiedenen Länder, die durch die Menge der CO_2-Emissionen in jedem Land bestimmt werden. Je mehr CO_2 ein Land emittiert, umso höher sind die notwendigen Investitionen im Land. Mit insgesamt 31,5 Milliarden Tonnen an weltweiten CO_2-Emissionen und erforderlichen 500 Milliarden Euro Investitionen pro Jahr für erneuerbare Energien ergibt sich ein theoretischer CO_2-Verrechnungspreis von 16 € pro Tonne. Für jedes Land können die landesspezifischen Investitionen in regenerative Energietechniken in Abhängigkeit vom landesspezifischen CO_2-Ausstoß bestimmt werden. Das IWR hat die anzuschiebenden Investitionen in regenerative Anlagentechniken basierend auf dem individuellen CO_2-Ausstoß für insgesamt 65 Länder berechnet.

Beispiel-Rechnungen

Dem CERINA-Plan zufolge müsste China, mit dem aktuell höchsten CO_2-Ausstoß der Welt von 6,8 Mrd. t (2008), jährliche Investitionen in regenerative Energietechniken in Höhe von 109 Mrd. Euro für die Errichtung von Windkraft-, Solar-, oder Wasserkraft- sowie Biomasseanlagen mittels politischer Rahmenbedingungen anschieben. In Indien – mit einem Ausstoß von 1,4 Mrd. t CO_2 – beläuft sich die Investitionshöhe auf 22,5 Mrd. Euro, in Deutschland mit 860 Mio. t noch auf 13,7 Mrd. Euro. Auch kleinere Länder mit einem geringen Ausstoß werden im CERINA-Plan berücksichtigt. Ungarn etwa mit einem Ausstoß von 60 Mio. t (2008) müsste jährlich Investitionen in Höhe von 1 Mrd. Euro organisieren, Neuseeland 600 Mio. Euro jährlich.

4. Ausblick

In Kopenhagen wird es voraussichtlich kein verbindliches Klimaschutzabkommen geben. Der CERINA-Plan bietet als Alternative zum Kyoto-Instrument die Chance, ein transparentes, überprüfbares und klares System zur Emissionsminderung zu etablieren.

Der Vorteil des CERINA-Modellansatzes liegt darin, dass durch den direkten Kopplungsmechanismus jedes Land zwei Handlungsoptionen hat, um seine Verpflichtungen zu erfüllen: entweder die Emissionen einzudämmen oder die Investitionen in erneuerbare Energien zu steigern. Länder mit niedrigeren Emissionswerten leisten danach einen geringeren Beitrag als Länder mit höheren Emissionen. Jedes Land hat

die Möglichkeit, die für sich geeignete Lösung zu wählen. Am Ende führt der steigende Anteil erneuerbarer Energien oder die Senkung von CO_2-Emissionen durch Einsparungen bzw. Effizienzsteigerungen im Ergebnis zu einer Reduzierung der globalen Emissionen.

Weitere Informationen und Kontaktmöglichkeiten:

www.cerina.org
www.iwr.de
www.renewable-energy-industry.com

Bibliographie

IWR (2009): Monatsreport „Regenerative Energiewirtschaft“. Ausgabe 08/2009, Münster. (Online: www.iwrpressedienst.de/iwr/monats-report0809)

UNEP (2009): Global Trends in Sustainable Energy Investment. Analysis of Trends and Issues in the Financing of Renewable Energy and Energy Efficiency. Nairobi. (Online: www.unep.org/pdf/Global_trends_report_2009.pdf)

UNFCCC (1998): Das Kyoto Protokoll zum Rahmenabkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bonn. (Online: http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpger.pdf)

Forschen für globale Märkte – Technologiepartnerschaften für erneuerbare Energien

- Strategie der Bundesregierung zur Internationalisierung von Wissenschaft und Forschung
- Auf in neue Märkte! – Exportinitiative Erneuerbare Energien
- Solares Bauen – klimagerechtes Bauen in anderen Klimaten
- Konzentrierende solare Kollektoren für Prozesswärme und Stromerzeugung
- Forschung für geothermische Stromerzeugung – In Situ Labor Groß Schönebeck
- Speicherung von Bioenergie und erneuerbarem Strom im Erdgasnetz
- Solarthermische Kraftwerke – Exportschlager ohne Heimatmarkt
- Konzentrierende Photovoltaik (CPV) für Länder mit hoher direkter Einstrahlung
- Anforderungen bei der Integration von Windenergie in die Netze verschiedener Länder
- Netzferne Stromversorgung und weltweite Elektrifizierung

Strategie der Bundesregierung zur Internationalisierung von Wissenschaft und Forschung

Karl Wollin
Leiter des Referates „Grundlagenforschung Energie“
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Heinemannstraße 2
53175 Bonn
0228-99 57-3540
karl.wollin@bmbf.bund.de

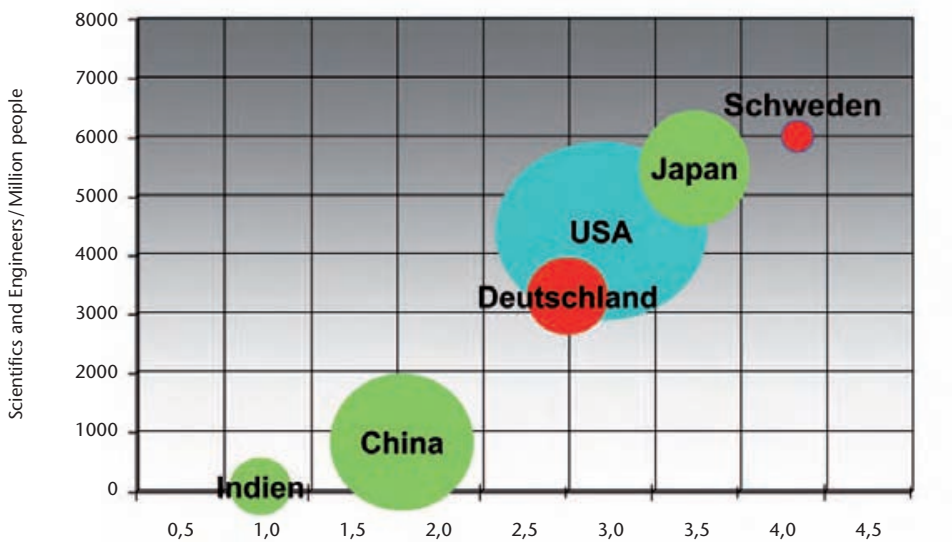
Der Prozess der Globalisierung bietet neben den Chancen auch große Herausforderungen: Deutschland muss seine internationale technologische Wettbewerbsfähigkeit erhalten; gleichzeitig trägt es Mitverantwortung für den Erhalt globaler Stabilität und nachhaltiger Lebensbedingungen. Für beide Aufgaben sind Wissenschaft und Forschung essenziell.

Deutschland und die Europäische Union haben sich zum Ziel gesetzt, bis 2010 3 % des Bruttoinlandsproduktes in Forschung und Entwicklung zu investieren. Nur wenn wir konsequent am 3 %-Ziel arbeiten, können wir in einer Welt mit immer mehr Wettbewerbern konkurrenzfähig bleiben. Zusätzlich zu den USA und Japan entwickeln sich China, Indien und Korea sowie weitere ehemalige Entwicklungs- und Schwellenländer zu neuen Partnern und Wettbewerbern.

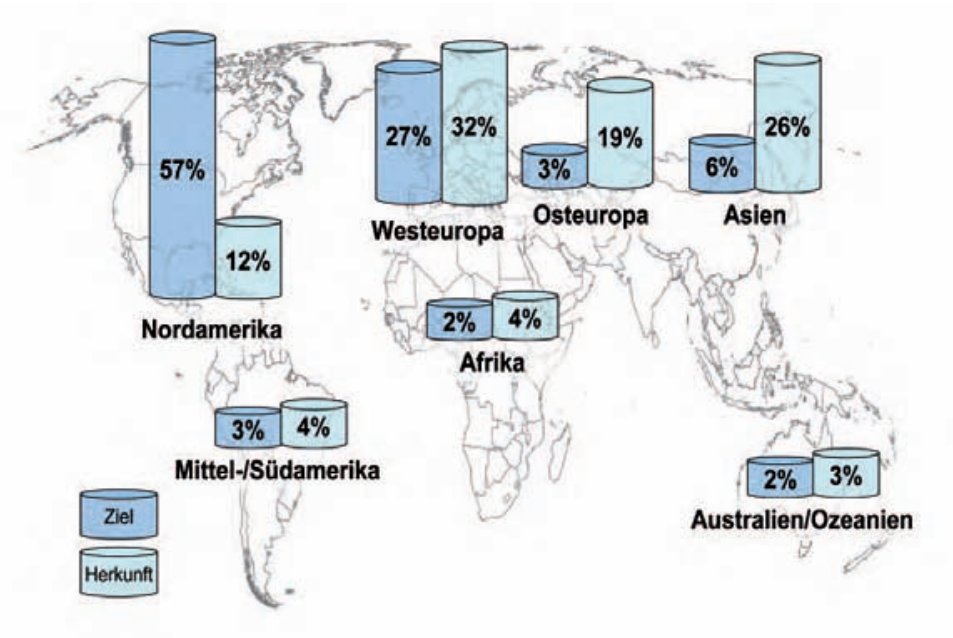
Vor diesem Hintergrund hat die Bundesregierung ihre Strategie zur Internationalisierung von Wissenschaft und Forschung formuliert, die im Februar 2008 verabschiedet wurde und auch unter der jetzigen Regierung fortgeführt wird. Die Strategie verfolgt vier Hauptziele:

- Die Forschungszusammenarbeit mit den weltweit Besten stärken.
- Innovationspotenziale international erschließen:
  Dazu gehört, dass sich deutsche Unternehmen die führenden internationalen Hightech-Standorte und F&E-Zentren als Partner sichern.
- Die Zusammenarbeit mit den Entwicklungsländern in Bildung, Forschung und Entwicklung nachhaltig stärken.

Abbildung
Die führenden Länder in FuE, 2007



Die Größe des Kreises spiegelt den Anteil an den weltweiten FuE-Ausgaben wider
Quelle: Batelle, R&D-Magazine, 2009 Global R&D Funding Forecast



Quelle: ZEW (2006): Umfrage unter Forschern / Edler (2007): Internationalisierung der deutschen Forschungs- und Wissenschaftslandschaft

Abbildung
Internationale Mobilität von Wissenschaftlern und Forschern aus und nach Deutschland

- Mit dem deutschen Forschungs- und Innovationspotenzial international Verantwortung übernehmen und zur Lösung globaler Herausforderungen beitragen.

Die Deckung des weltweit steigenden Energiebedarfs durch eine nachhaltige, Umwelt und Klima schonende und bezahlbare Energieversorgung gehört in diesem Zusammenhang zu den wichtigsten Aufgabenfeldern. Deutschland hat in der Forschung und in der Produktion von Technologien für erneuerbare Energien und effiziente Energienutzung international eine Spitzenstellung. Ziel einer international orientierten Forschung muss es sein, dazu beizutragen, diese Spitzenposition auszubauen und dem Einsatz solcher Technologien weltweit den Weg zu bereiten.

Aber: Andere Staaten haben das Potenzial der erneuerbaren Energien und die Marktchancen genau so erkannt wie wir und investieren erheblich in Produktion und Forschung, insbesondere in der Photovoltaik- und in der Windkrafttechnologie. Wenn Deutschland in diesem Wettbewerb bestehen will, müssen wir durch Forschung besser sein als andere, unsere Technologien weiterentwickeln und in der Förderung von Forschung und wissenschaftlichem Nachwuchs, Industrie und Infrastruktur strategisch vorgehen.

„Forschen für globale Märkte“, wie es die Jahrestagung 2009 des FVEE thematisiert hat, heißt vor allem auch: international kooperieren, und zwar in mehrfacher Hinsicht:

Der Wissenschaftleraustausch und die Zusammenarbeit mit den besten Forschungszentren der Welt sind Voraussetzung dafür, dass wir unsere exzellente Position in der Forschung behalten. Nur als attraktiver, international vernetzter Wissenschaftsstandort werden wir in der Lage sein, weiterhin Spitzentechnologie zu entwickeln und weltweit anzubieten.

Die Internationalisierung der Ausbildung unseres wissenschaftlichen Nachwuchses und die Förderung der Mobilität der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind in diesem Zusammenhang unverzichtbar.

Um dies zu unterstützen, sollen die Möglichkeiten für internationale Forschungskooperation verbessert, international ausgerichtete Forschungsinfrastrukturen weiter ausgebaut und die Präsenz deutscher Universitäten und Forschungseinrichtungen im Ausland verstärkt

werden. Hierfür bietet sich die Nutzung von Synergien mit Maßnahmen und Förderinstrumenten der Europäischen Union an.

Die Zielländer unserer umweltfreundlichen Energietechnologieprodukte sind vielfach Entwicklungsländer. Der Technologieexport allein reicht nicht aus. Wir müssen durch strategisch vorbereitete Kooperation den Weg für umweltschonende Energieversorgungs- und -nutzungskonzepte ebnen. Dazu gehören der Aufbau von Know-how, Fachinstitutionen und die Ausbildung von Experten. Dies gelingt nur, wenn die Zusammenarbeit mit den Entwicklungsländern in Bildung, Forschung und Entwicklung gestärkt wird. Die wissenschaftlich-technologische und die entwicklungspolitische Zusammenarbeit müssen dazu einander ergänzen. Wichtige Aufgaben in diesem Zusammenhang sind die Initiierung eines internationalen Bildungs- und Forschungsdialogs, die Unterstützung auch der geistes- und sozialwissenschaftlichen Forschung sowie die Weiterentwicklung europäischer und multilateraler Instrumente.

Auf in neue Märkte! – Exportinitiative Erneuerbare Energien

Juliane Hinsch
Leiterin der Geschäftsstelle der Exportinitiative Erneuerbare Energien im Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
Scharnhorststraße 34–37
10115 Berlin
030-18 615-6400
eee@bmwi.bund.de

Weltweit steigt die Relevanz erneuerbarer Energien für die Energieversorgung. Deutsche Unternehmen der Branche besitzen im internationalen Wettbewerb eine führende Position, ihre Technologien werden im Ausland sehr geschätzt und nachgefragt.

Um mit Hilfe der Verbreitung deutscher Technologien einen aktiven Beitrag zum globalen Klimaschutz zu leisten und um deutsche Unternehmen bei der Positionierung auf internationalen Märkten zu unterstützen, wurde die Exportinitiative Erneuerbare Energien aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages 2003 ins Leben gerufen.

Seitdem wird die Initiative vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gesteuert, koordiniert und finanziert. Unterstützt wird es dabei durch die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), den Deutschen Industrie- und Handelskammertag (DIHK) und dem dazugehörigen Auslandshandelskammernetz (AHKn), die Germany Trade and Invest (GTAI) und die Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).

Mit einem breiten Angebot von Maßnahmen, das speziell auf die Bedürfnisse von kleinen und mittelständischen Unternehmen ausgerichtet ist, unterstützt die Exportinitiative die deutsche Erneuerbare-Energien-Branche bei der Erschließung neuer Absatzmärkte im Ausland:

1. Marktinformationen

Auf Veranstaltungen in Deutschland zu ausgewählten Zielländern haben Unternehmer die Möglichkeit, sich über potenzielle Absatzmärkte zu informieren.

Darüber hinaus bieten zahlreiche Publikationen kompakte Branchenprofile sowie umfangreiche Länder- und Marktanalysen. Ein wöchentlich erscheinender Newsletter berichtet über aktuelle Branchennachrichten und Trends in den Zielmärkten.

2. Geschäftsanbahnung

Um deutsche Unternehmen bei der Kontaktanbahnung weltweit zu unterstützen, bietet die Exportinitiative das so genannte AHK-Geschäftsreiseprogramm an. Es beinhaltet individuelle Reisen für deutsche Unternehmer zu potenziellen Kooperationspartnern sowie eine zentrale Präsentationsveranstaltung im Zielland.

Mit dem Einkäufer- oder Multiplikatorenprogramm organisiert die Exportinitiative Reisen für ausländische potenzielle Kunden bzw. Entscheidungsträger aus Wirtschaft und Politik des Ziellands nach Deutschland. Diese können sich so vor Ort über deutsche Technologien informieren und gegebenenfalls. direkt Geschäfte mit deutschen Anbietern von Produkten abschließen.

3. Programm für Entwicklungsländer

Mit der Bereitstellung von Marktinformationen und der Kontaktanbahnung zu lokalen Experten, Geschäftspartnern und Entscheidungsträgern vor Ort unterstützt das Projektentwicklungsprogramm (PEP) deutsche Unternehmen dabei, sich in Entwicklungsländern zu positionieren. Zusätzlich fördert das Programm durch den Transfer von Wissen und Technologie den Aufbau lokaler privatwirtschaftlicher Strukturen in diesen Ländern.

4. Marketingunterstützung

Die Exportinitiative bietet Unterstützung für ein erfolgreiches Auslandsmarketing. Dazu gehören Gemeinschaftsstände auf Messen im Ausland sowie die Darstellung von deutschen Unternehmen auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien im Internet oder in mehrsprachigen Marketing- und Ausstellungsmaterialien unter dem Image-Label „renewables – Made in Germany“. Zudem unterstützt die Exportinitiative die öffentlichkeitswirksame Installation von Solaranlagen an repräsentativen Institutionen als Leuchtturmprojekte im Ausland. Auf dem virtuellen Marktplatz **www.renewablesb2b.com** können Unternehmen schnell und einfach Kontakte in die ganze Welt knüpfen und ihre Produkte vermarkten.

Die wirtschaftliche Dynamik von Unternehmen, die die Angebote der Exportinitiative wahrnehmen, entwickelt sich besonders positiv. Sie können viel Zeit und Kosten beim Markteintritt sparen.

Weitere Informationen über die Angebote der Exportinitiative und aktuelle Veranstaltungstermine finden Sie unter **www.exportinitiative.bmwi.de**.

Solares Bauen – klimagerechtes Bauen in anderen Klimaten

Wenn die klimatischen Bedingungen in einer Region permanent oder temporär von dem von den Nutzern als komfortabel empfundenen Bereich abweichen, muss das Innenraumklima durch entsprechende Maßnahmen so konditioniert werden, dass angenehme Verhältnisse herrschen. Die Aufgabe klimagerechten Bauens besteht darin, mit rein baulichen Mitteln ganzjährig mit einem minimalen Einsatz fossiler Energieträger und einem maximalen Anteil regenerativer Energien komfortable Innenverhältnisse herzustellen.

Moderne Entwürfe missachten häufig die klimagerechten Grundprinzipien und versuchen im Anschluss die Konsequenzen bauphysikalisch falscher Entscheidungen durch hochtechnische Anlagen (mit meist hohen fossilen Energieverbräuchen und teils unbehaglich empfundenen Klimaanlagen) zu kompensieren. In vielen Ländern werden Gebäude nach westlichem Vorbild entworfen und gebaut, obwohl diese z. T. bereits in ihren Ursprungsländern mit bauphysikalischen Problemen behaftet sind. An Standorten mit wärmerem Außenklima steigt der Energieverbrauch eines bereits unter europäischen oder amerikanischen Verhältnissen ungünstigen Gebäudes nochmals deutlich an, weil ein Großteil der Energie für die Gebäudekühlung aufgewendet werden muss. Dabei stellt vor allem in Ländern des Sonnengürtels die Verwendung von solarthermischen Kälteerzeugungs- und Klimatisierungsverfahren eine viel versprechende Alternative zu elektrisch betriebenen Kältemaschinen dar. Durch klimagerechtes Bauen, das die Kriterien des sommerlichen Wärmeschutzes erfüllt, kann ein angenehmeres Innenklima sichergestellt und viel Energie gespart werden.

Leider werden Architekturentwürfe unkritisch von einem Klimagebiet in ein anderes Klimagebiet übertragen, auch wenn sie dort völlig unpassend sind. Für diese Verstöße gegen die Prinzipien des klimagerechten Bauens, sind historische und gesellschaftliche Gründe maßgeblich verantwortlich:

- Historisch wurde die unangebrachte Übertragung zunächst von den Kolonialmächten oktroyiert. Diese hatten Überseegebiete in Besitz genommen und den Koloniallandbewohnern – gegen deren Willen – den Baustil ihrer Herkunftsheimat aufgezwungen. Beispielsweise ist die in den Niederlanden richtige und dem dortigen Klima angepasste Bauweise absolut unangebracht für die damalige holländische Kolonie Indonesien .
- Heute werden von den Schwellenländern aus Fortschrittsgläubigkeit und bauphysikalischer Unkenntnis technische Anlagen hergestellt und in Gebäude eingebaut, die nicht in das örtliche Klima passen. Ähnliches gilt für die unkritische Übernahme von europäischen Baunormen. Regeln, die zum Beispiel in Europa richtig sind, treffen nicht unbedingt auch in China oder Taiwan zu. Heimische Architekturen, die über Jahrhunderte hinweg in den jeweiligen Klimagebieten organisch gewachsen waren, werden von den eigenen Architekten gering geschätzt bzw. missachtet. Diese wollen „fortschrittlich“ sein und imitieren als modern geltende Entwürfe (z. B. Glas-Stahl-Fassaden nach amerikanischem Muster).

Grundsätze klimagerechten Bauens

In Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen in einer Region muss das Innenraumklima eines Gebäudes so eingestellt werden, dass für die Nutzer angenehme Verhältnisse herrschen. Je nachdem, ob es außen zu kalt oder zu warm ist, sind andere Komfortkriterien maßgeblich und unterschiedliche Maßnahmen

Fraunhofer IBP
Prof. Dr. Andreas Holm
holm@hoki.ibp.fraunhofer.de

Dr. Michael Krause
(Vortragender)
michael.krause@ibp.fraunhofer.de

Fraunhofer ISE
Sebastian Herkel
sebastian.herkel@ise.fraunhofer.de

Dr. Peter Schossig
schossig@ise.fraunhofer.de

ZAE Bayern
Prof. Dr. Christian Schweigler
schweigler@muc.zae-bayern.de

Fraunhofer IWES
Dr. Norbert Henze
nhenze@iset.uni-kassel.de

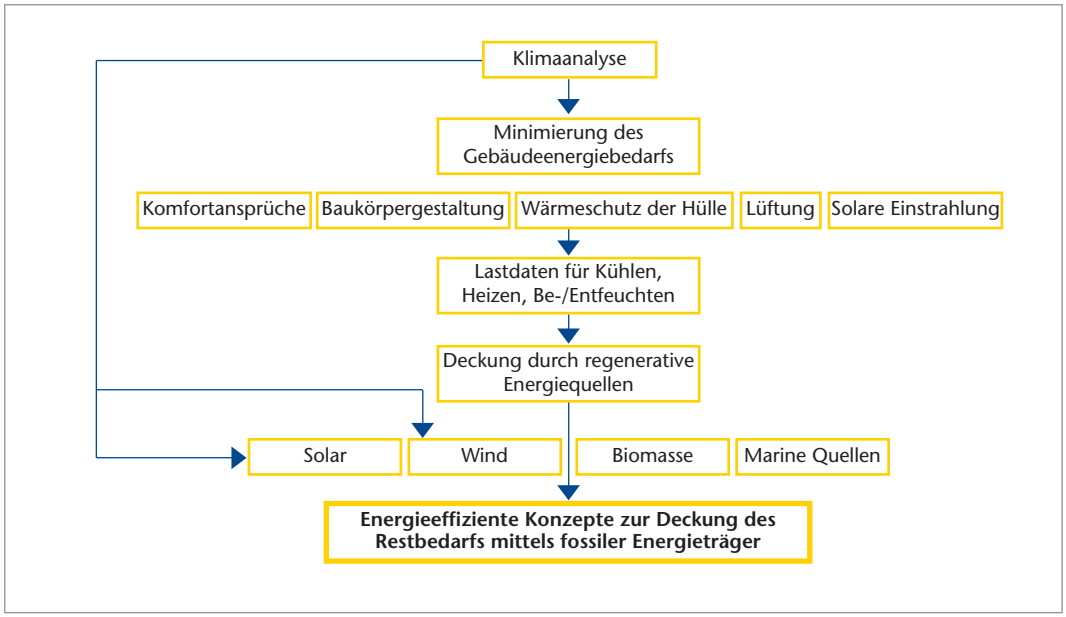


Abbildung 1
Vorgehensweise zur Minimierung des Energiebedarfs zur Konditionierung des Gebäudeinnenklimas

zur Konditionierung erforderlich. *Abbildung 1* zeigt das stufenweise Vorgehen zur Minimierung des Energiebedarfs. Die schrittweise Optimierung erlaubt eine einfachere Bewertung und Gewichtung der einzelnen Maßnahmen sowie eine einfache Kosten-Nutzen-Analyse.

Um das Projektziel eines minimalen Einsatzes fossiler Energieträger und einer möglichst großen Nutzung regenerativer Energien zu erreichen, ist die folgende Vorgehensweise zu empfehlen:

Zunächst erfolgt eine Analyse der klimatischen und durch die geplante Nutzung bedingten Verhältnisse vor Ort. Angepasst an diese Randbedingungen sollen die technischen Einrichtungen der Gebäude so ausgelegt werden, dass für eine Konditionierung des Innenraums sowie die dort anfallenden weiteren Bedarfe möglichst wenig Energie aufgewendet werden muss. Während bei der Planung der Gebäude eine für das Klima spezifisch optimierte Lösung zu erarbeiten ist, kann jedoch bei den nutzungsbedingten Energiebedarfen zum Teil auf die gleichen Einsparmöglichkeiten zurückgegriffen werden, die beispielsweise in Europa verwendet werden. Auf der Grundlage der auf den erarbeiteten Konzepte und unter Berücksichtigung der Bedarfszahlen vergleichbarer Objekte werden die zu erwartenden Gesamtenergiebedarfe ermittelt.

In einem weiteren Schritt werden die am Projektstandort verfügbaren regenerativen Energiequellen analysiert und deren Eignung sowie Wirtschaftlichkeit für dieses Projekt beurteilt. Im Ergebnis wird eine Empfehlung geeigneter Anlagen und Systeme sowie eine rechnerische Abschätzung des regenerativ abdeckbaren Anteils am Gesamtenergiebedarf erstellt.

Der eventuell verbleibende Energieanteil wird über geeignete konventionelle Verfahren abgedeckt, wobei auf eine ökologisch sinnvolle und wirtschaftliche Kombination mit den regenerativen Systemen geachtet wird. Daraus ergeben sich ein optimales oder mehrere gleichwertige Gesamtkonzepte für die Energieversorgung.

1. Schritt: Klimafaktoren und Klimaverhältnisse

Für die energetische und bauphysikalische Machbarkeit eines Projektes ist eine genaue Analyse der klimatischen Randbedingungen vor Ort unerlässlich. Maßgebliche Einflussfaktoren des Außenklimas bezüglich des Energiebedarfs eines Gebäudes sind:

- Temperatur und relative Feuchte der Außenluft
- Strahlungsintensitäten.
- Wind und Niederschlag können von Bedeutung sein, wenn eine Verbesserung des Raumklimas mit Hilfe von Außenluft oder Verdunstungskühlung erzielt werden soll.

Für eine zweckmäßige Planung und Bauausführung ist es notwendig, die aus den örtlichen klimatischen Gegebenheiten zu berücksichtigen. Ebenfalls zu analysieren sind die Einflüsse auf den Komfort für die Nutzer, die Sicherheit der Bauwerke sowie der vorzeitigen Alterung von Baumaterialien.

2. Schritt: Energetische Optimierung der Gebäude

Die wichtigsten Einstellungen und bauphysikalischen Einflüsse sind in *Abbildung 2* dargestellt.

Dementsprechend sollte für einen klimagerechten Gebäudeentwurf zum Beispiel für einen Standort in den Vereinigten Arabischen Emiraten, wo aufgrund der klimatischen Verhältnisse kein Heiz-, jedoch Kühlbedarf besteht, auf folgende Maßnahmen geachtet werden:

- günstiges Verhältnis von Außenfläche und Gebäudevolumen (also möglichst mehrgeschossige, größere Einheiten)
- Orientierung der Gebäude vorzugsweise in Ost-WestRichtung, da hier (wegen der sehr hoch stehenden Sonne) der geringste unerwünschte Strahlungseintrag erzielt wird.
- Fensterflächen gering halten, Doppel- bis Dreifachverglasung verwenden, Fenster in Ost- und Westrichtung wegen der starken Einstrahlung vermeiden.
- Vorzugsweise automatische Verschattung, niedrige SHGC-Werte (Solar Heat Gain Coefficient) der Fenster mindern die Aufheizung durch die Sonne
- eine gute Wärmedämmung insbesondere der Dachflächen
- möglichst helle Farbgebungen der Außenoberfläche, damit die Sonnenstrahlung mehr reflektiert und weniger absorbiert wird
- geringe Luftwechsel in den heißen Perioden, um das Gebäude nicht unnötig aufzuheizen, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Möglichkeiten von Nachtlüftungen ausschöpfen (Achtung bei hohen Luftfeuchten)
- nach Möglichkeit die Gebäude städtebaulich so anordnen, dass nur schmalen Gassen entstehen und sich die Gebäude gegenseitiger Schatten bieten

3. Schritt: Effiziente Gebäudekonditionierung und haustechnische Anlagen

Entsprechend den Projektzielen sollen regenerative Energien einen möglichst hohen Deckungsbeitrag zum Energieverbrauch liefern. Die in Frage kommenden natürlichen, beziehungsweise erneuerbaren Energiequellen sind zu betrachten und ihre Verfügbarkeit und das jeweilige mögliche Potenzial zur Energieversorgung nach technisch-wirtschaftlichen Kriterien zu bewerten.

Wie bereits einleitend festgestellt, sollte die Abdeckung des zur Kälteerzeugung nötigen Energiebedarfs so weit wie möglich aus regenerativen Energiequellen erfolgen. Aufgrund des oft vorhandenen hohen solaren Potenzials ist zuerst die Möglichkeit der Nutzung von Solarenergie zur Gebäude- und Freiraumkonditionierung zu untersuchen. Photovoltaikanlagen zur direkten Umwandlung von Sonnenstrahlung in Energie sind in Ländern des Sonnengürtels aufgrund des hohen Strahlungsangebot sinnvoll

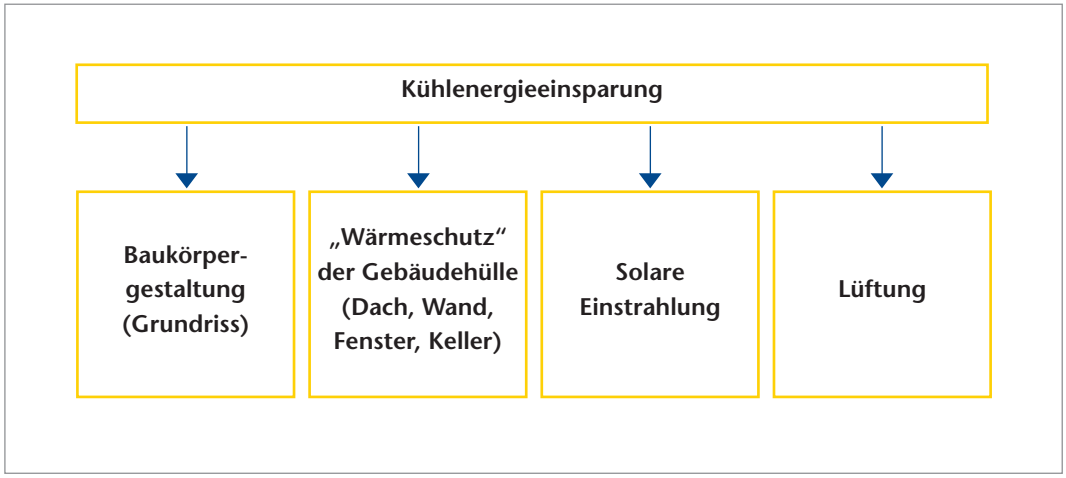


Abbildung 2
Bauphysikalische Einflüsse und Einstellmöglichkeiten für die Kühlenergie eines Gebäudes

einsetzbar. Die jährliche Gesamteinstrahlung zum Beispiel in Dubai liegt bei 2000 kWh/a m². Damit ist mit Standardmodulen ein Ertrag von 100 MWh im Jahr auf einer Grundfläche von etwa 500 m² möglich. Problematisch bzw. limitierend für die Nutzung vor Ort ist lediglich die Verschmutzung durch Sand und Staub.

Zur Erzeugung von Kälte sowie zur Frischluftkonditionierung unter Einsatz von (solarer) Wärme existieren eine Vielzahl unterschiedlicher thermisch angetriebener Verfahren. Zu unterscheiden sind hier grundsätzlich zwei Arten:

- geschlossene Systeme, die Kälte für die Komfortklimatisierung in Form von Kaltwasser bereitstellen
- offene Verfahren, die zur Konditionierung von Frischluft Verwendung finden

Welche dieser Verfahren für eine jeweilige Anwendung geeignet sind, hängt neben dem Gebäudeentwurf, der Gebäudenutzung und den Komfortanforderungen, insbesondere von den klimatischen Gegebenheiten (Einstrahlung, Außentemperatur, Außenluftfeuchte) am Standort ab. Hohe Einstrahlungen führen zu hohen Systemauslastungen, hohe Außentemperaturen und Luftfeuchten wirken sich jedoch aufgrund der erforderlichen Rückkühlung limitierend auf die Leistungsfähigkeit der Systeme aus.

Fazit

Klimagerechtes Bauen beruht im Kern darauf, dass die herrschenden Klimaparameter konsequent schon beim Entwurf eines Bauwerkes beachtet werden.

Der Energiebedarf für die Konditionierung des Raumklimas durch einfache bauliche Maßnahmen signifikant gesenkt werden kann. Untersuchungen zeigen, dass das Einsparpotenzial für den Energiebedarf der Gebäude bei bis zu 75 % liegt. Dafür ist bereits in der Planung eine Berücksichtigung der verschiedenen Maßnahmen erforderlich:

- klimagerechte Auslegung der Gebäude
- Verwendung neuer energiesparender Technologien
- Kombination aus hocheffizienten Anlagen für die Strom- und Kälteversorgung

Insbesondere die baulichen Maßnahmen sind nur in einem geringen Maß nachträglich veränderbar. Auch die Auslegung und Kombination der Anlagentechnik erfordert eine umfassende Planung, da bereits Über- oder Unterdimensionierungen zu einem deutlichen Anstieg des Primärenergiebedarfs oder zu einer mangelnden Konditionierung der Innenräume führt. Daher gilt: Zuerst klimagerecht bauen, dann bauwerksgerecht klimatisieren!

Konzentrierende solare Kollektoren für Prozesswärme und Stromerzeugung

Konzentrierende solarthermische Kollektoren für globale Märkte

Konzentrierende Kollektoren eignen sich besonders für die Erzeugung von Prozesswärme und Strom in Klimazonen der Erde mit hohem solarem Direktstrahlungspotenzial. Der sogenannte Sonnengürtel der Erde erstreckt sich links und rechts vom Äquator und schließt Südeuropa, Nordafrika und die großen Wüsten unseres Planeten mit ein.

Kollektoren im Temperaturbereich von ca. 250 °– 450 ° eignen sich für den Einsatz in solarthermischen Kraftwerken, wie sie zum Beispiel auch für das Desertec Projekt geplant sind. Bisher wird in Parabolrinnenkraftwerken vorwiegend Thermoöl als Wärmeträgermedium eingesetzt. Eine zukünftige Alternative ist die Direktverdampfung von Wasser für Parabolrinnen und lineare Fresnel-Kollektoren, einem kostengünstigen und umweltfreundlichen Wärmeträgermedium. Kleinere konzentrierende Kollektoren, die Prozesswärme bei Temperaturen zwischen 150 °C und 300 °C erzeugen, eignen sich für die solare Kühlung sowie für gekoppelte Wärme- und Stromerzeugung. Hiermit kann die direkte Versorgung von Industriebetrieben mit Wärme/Kälte und Strom erfolgen. Das ist besonders interessant in Regionen mit instabilen Stromnetzen oder in netzfernen Gebieten. Allein in Indien beträgt die nicht netzgebundene Stromerzeugung im Leistungsbereich unter 1 MW_{el} 12 % des gesamten Strombedarfs.

In Europa entfallen ca. 27 % des gesamten Endenergiebedarfs auf industrielle Prozesswärme. Dabei fallen ca. 30 % dieses Bedarfs bei

Fraunhofer ISE
Anna Heimsath
anna.heimsath@ise.fraunhofer.de

Werner Platzer
werner.platzer@ise.fraunhofer.de

Stefan Heß
stefan.hess@ise.fraunhofer.de

DLR
Dirk Krüger
dirk.Krueger@dlr.de

Markus Eck
markus.Eck@dlr.de

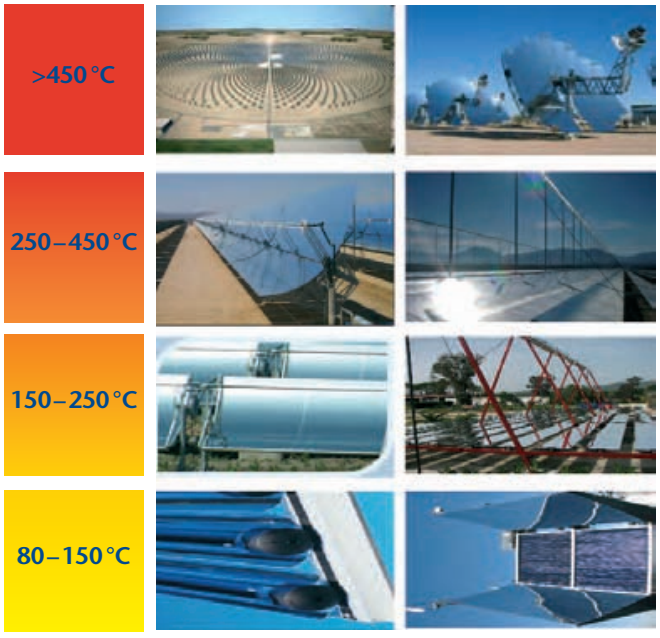


Abbildung 1
Übersicht konzentrierende Kollektoren, Anwendungen und korrespondierende Arbeitstemperaturen

Abbildung 2
Zweites Testmuster des RefleC-Kollektors bei Vermessung der Wirkungsgradlinie am Fraunhofer ISE (um 90° gegen Uhrzeigersinn gedreht).

Temperaturen unter 100 °C und noch ca. weitere 27 % im Bereich zwischen 100 und 400 °C an [1].

Ein Großteil der Prozesswärme lässt sich solar erzeugen. Prozesse mit hohem Potenzial für die Integration von Niedertemperatur-Prozesswärme bis 150 °C und Mitteltemperatur-Prozesswärme bis 400 ° finden sich beispielsweise in der Lebensmittel- und der Textilindustrie, aber auch in Wäschereien, in der Metall- und der Papierindustrie.

Stationäre Kollektoren zur Erzeugung von Niedertemperatur-Prozesswärme

Ein Ansatz zur Erschließung des enormen Potenzials im Bereich der Niedertemperatur-Prozesswärme ist die Entwicklung von niedrig konzentrierenden, stationären (nicht der Sonne nachgeführten) Kollektoren. Diese haben gegenüber fokussierenden Kollektoren den Vorteil, dass auch ein großer Anteil der diffusen Solarstrahlung für die Energiewandlung genutzt werden kann. Im Vergleich zu Standard-Flachkollektoren weisen sie in der Regel deutlich niedrigere Wärmeverluste auf. Damit eignen sich diese Kollektoren für den Temperaturbereich zwischen 80 °C und 150 °C [2].
Beispielhaft für ein solches Kollektorkonzept zeigt *Abbildung 2* den sog. RefleC-Kollektor, der im Rahmen eines vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Projekts von der Firma Wagner & Co. Solartechnik in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ISE entwickelt wird.

Auf der Technik von Standard-Flachkollektoren aufbauend werden folgende Ziele verfolgt:

- Reduktion der Wärmeverluste durch den Einsatz einer zweiten transparenten Kollektorabdeckung und der konzentrierenden Reflektoren
- Verglichen mit Vakuumröhrenkollektoren geringere Kosten und besseres Entleerungsverhalten im Stagnationsfall
- Anpassung der maximalen Kollektorleistung an das Lastprofil der zu unterstützenden Anwendung (über die Form der Reflektoren)

Simulationsergebnisse lassen in Würzburg für die in *Abbildung 2* dargestellte Variante bei einer konstanten Eintrittstemperatur von 120 °C gegenüber einem zweifach abgedeckten Flachkollektor auf einen um 40 % erhöhten Jahresenergieertrag schließen, der sich durch den Einsatz der Reflektoren ergibt.

Direktverdampfung für Kraftwerke

Bei der Stromerzeugung in solarthermischen Kraftwerken wird der Systemwirkungsgrad maßgeblich durch die obere Prozesstemperatur bestimmt. Aktuell wird in Parabolrinnen-Feldern ein synthetisches Wärmeträgeröl eingesetzt, das bis ca. 400 °C thermisch stabil ist. Eine weitere Anhebung der Prozesstemperatur und damit des Systemwirkungsgrades ist mit diesem Ansatz nicht möglich.

Wird dagegen Wasser in den Kollektorfeldern direkt verdampft und überhitzt, so kann die obere Prozesstemperatur deutlich gesteigert werden. Die direkte Verdampfung des Wassers im Kollektorfeld ist aufgrund der auftretenden Zweiphasenströmung und des großen Dichteunterschiedes zwischen Wasser und Dampf, verfahrenstechnisch deutlich anspruchsvoller als die aktuelle Technologie. Die grundsätzliche Beherrschbarkeit der solaren Direktverdampfung, wurde an der so genannten DISS-Test-Anlage auf der Plataforma Solar de Almería (PSA) in mittlerweile mehr als 10.000 Betriebsstunden erfolgreich demonstriert.

Aktuelle Entwicklungsziele bestehen darin, Kernkomponenten des Kollektorfeldes soweit zu verbessern, dass sie bei Temperaturen bis 500 °C und Drücken bis ca. 130 bar einsetzbar sind.

Die Forschungsanstrengungen konzentrieren sich dabei auf

- das Absorberrohr, bei dem insbesondere die Temperaturstabilität der selektiven Beschichtung erhöht werden muss,
- die flexiblen Rohrverbindungen, die bei den deutlich höheren Prozessdrücken beweglich bleiben müssen, und
- das Speichersystem, bei dem wirtschaftliche Lösungsansätze für die Speicherung der latenten Verdampfungswärme erarbeitet werden.

Die Entwicklungsarbeiten haben inzwischen einen Reifegrad erreicht, der deutsche und spanische Konsortien ermutigt hat, erste Demonstrationsanlagen zu realisieren. Anfang 2009 nahm die Firma Novatec-Biosol in der Nähe von Murcia (Spanien) das erste solarthermische Kraftwerk mit solarer Direktverdampfung in Betrieb. Das Kraftwerk hat eine elektrische Leistung von 1,2 MW und verwendet lineare Fresnelkollektoren *(Abbildung 3)*.

Industrielle Prozesswärme und Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

Wasserdampf wird in Industriebetrieben und Hotels oftmals zur thermischen Versorgung verschiedener Verbraucher verwendet.

Abbildung 3
Kollektorfeld des ersten solarthermischen Kraftwerkes mit solarer Direktverdampfung in der Nähe von Murcia
(Foto: Novatec-Biosol)

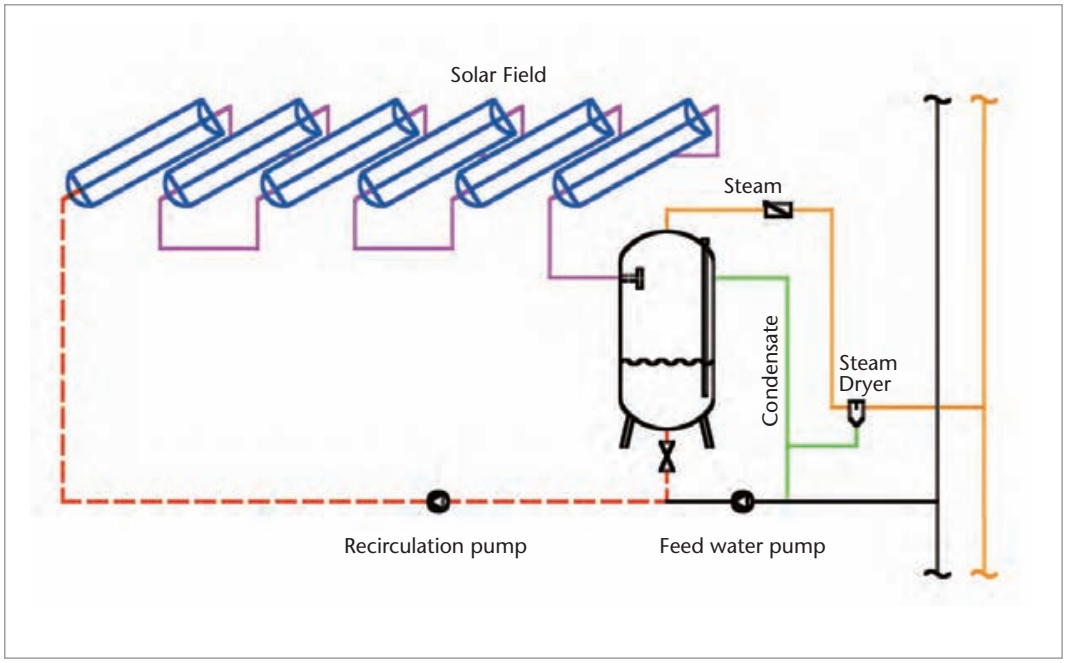


Abbildung 4
Wasser-Dampfkreislauf für die direkte solare Prozessdampf-erzeugung

Ein wesentlicher Vorteil sind kleine Wärmeübertragerflächen und schnelles Aufheizen der angeschlossenen Prozesse. Solarkollektoren können Dampf dafür bereitstellen, jedoch gibt es bisher nur wenige realisierte Anlagen, die dieses umsetzen. Dabei wurde der Dampf indirekt erzeugt, im Solarfeld wurde Öl oder Druckwasser erhitzt und in einen Dampferzeuger oder in eine Entspannung geführt. Durch eine direkte Verdampfung im Solarfeld können allerdings der Wirkungsgrad erhöht und möglicherweise die Anlagenkosten gesenkt werden [3].

Die Direktverdampfung wird derzeit im Projekt „Pilotanlage zur solaren Prozesswärmeerzeugung mit Parabolrinnenkollektoren“ demonstriert. Hierzu wurden mit Unterstützung des BMU 100 m² Kollektoren des Typs PTC1800 der Firma Solitem auf dem Dach einer Produktionshalle der Firma Alanod aufgestellt [4]. Das Solarfeld wird im Rezirkulationsmodus betrieben, d. h., nur ein Teil des Wassers wird verdampft. Das Wasser/Dampf-Gemisch wird in eine Dampftrommel geführt und dort getrennt. Der Sattdampf wird der Dampfschiene der Produktion zugeführt, sobald ein Druck über 4 bar (abs) entsprechend einer Temperatur von 143 °C erreicht ist. Das Wasser der Dampftrommel wird wieder in das Solarfeld gepumpt (rezirkuliert). Die verdampfte Wassermenge wird dem Solarfeld aus der Kondensatleitung wieder zugeführt (*Abbildung 4*).

Die kombinierte Erzeugung von Strom und Wärme wurde am Fraunhofer ISE im BMU geförderten Projekt „Medifres“ ausführlich untersucht. Fallstudien haben gezeigt, dass sich unter günstigen Bedingungen in strahlungsreichen Ländern schon heute der Ersatz von Dieselgeneratoren durch solare Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung lohnt. Eine Vernetzung von Firmen und Forschungsinstituten zum Thema „Medium and Small Scale CSP“ wird über die Homepage **www.mss-csp.info** ermöglicht.

Zusammenfassung und Ausblick

Konzentrierende Kollektoren können einen wichtigen Beitrag leisten zur zukünftigen solaren Wärme- und Stromversorgung. Konzentrierende Kollektoren unterstützen die Industrie dabei, von fossilen Energieträgern unabhängiger zu werden.

Dezentrale Kraft-Wärme-Kältekopplung kann eine interessante zukünftige Option sein. Um diese Technologien global zu etablieren sind

weitere Demonstrationsprojekte notwendig sowie Forschung und Entwicklung im Bereich kleiner Wärmekraftmaschinen, Systemintegration und an Zielmärkte angepasste Kollektorentwicklung, um die konzentrierenden Kollektoren in Zukunft als einen wichtigen Baustein zu entwickeln.

Literatur

[1] Werner S. (2007): "The European Heat Market", ECOHEATCOOL – Work Package 1. Final Report, IEE ALTENER Project, Euroheat & Power, Belgium

[2] Weiß, W. et al. (2008): "Process Heat Collectors", IEA Task 33/IV: Solar Heat for Industrial Processes. AEE INTEC, Gleisdorf. www.iea-shc.org/task33/publications/index.html

[3] Krüger, Dirk; Hennecke, Klaus; Hirsch, Tobias; Eck, Markus: Demonstration solarer Prozessdampferzeugung. 10. Kölner Sonnenkolloqium, Köln, 21.6.2007

[4] Hennecke, Klaus; Hirsch, Tobias; Krüger, Dirk; Lokurlu, Ahmet; Walder, Markus: The P3 Demonstration Plant: Direct Steam Generation for Process Heat Applications. In: Proceedings of the 14th International SolarPACES Symposium, Las Vegas, USA, 3.–7. März 2008

[5] Platzer, Werner (2009), „Solarthermische Kraftwerke für den mittleren Leistungsbereich – Machbarkeitsstudie unter Einbeziehung neuer Kraftwerkskomponenten und Versorgungsstrategien", Endbericht MEDIFRES, Freiburg, Oktober 2009

Forschung für geothermische Stromerzeugung – In Situ Labor Groß Schönebeck

Dr. Ernst Huenges
Helmholtz Zentrum Potsdam/Deutsches GeoForschungsZentrum
huenges@gfz-potsdam.de

Geothermische Wärme kann in Deutschland aus tieferen Lagerstätten ab 400 m (Tiefengeothermie) für größere Wärmenetze und für die Stromerzeugung bereitgestellt werden – auch Kombinationen sind möglich.

Die Technologien zur Nutzung der Tiefengeothermie erfordern in der Regel jeweils mindestens eine Förder- und eine Schluckbohrung, die bedarfsgerecht Wasser mit ausreichender Temperatur aus einer tiefen Erdwärmelagerstätte erschließen. Der Thermalwasser-Kreislauf wird über Tage geschlossen, die Energie in der Regel mit einem Wärmeüberträger an den jeweiligen Abnehmer weitergegeben und das ausgekühlte Wasser über die Schluckbohrung in die Lagerstätte zurückgeführt *(Abbildung 1)*.

Bei den in Deutschland verfügbaren geothermischen Ressourcen handelt es sich zum kleineren Teil um heiße Tiefenwässer (Hydrothermale Systeme) und zum weitaus überwiegenden Teil um die in den Tiefengesteinen gespeicherte Wärme (Petrothermale Systeme).

Hydrothermale Systeme sind tiefe Wasser führende Schichten (Aquifere) mit von Natur aus ausreichender hydraulischer Leitfähigkeit (Permeabilität). Entscheidend für den wirtschaftlichen Betrieb hydrothermaler Systeme ist neben der Temperatur des Aquifers die zu erzielende Förderrate. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen wird hier oft eine Heißwasserproduktion von mindestens 100 m³/h gefordert. Während eine bestimmte Temperatur bei einer entsprechen-

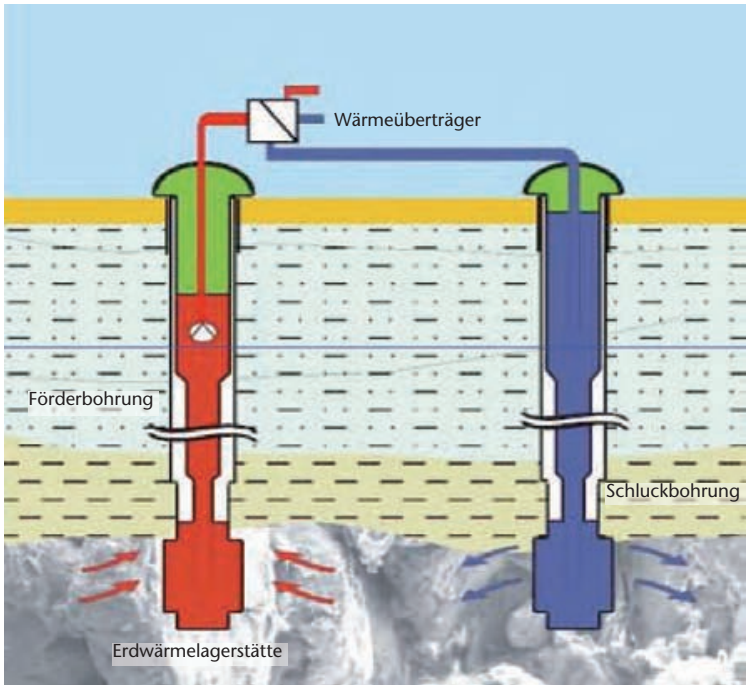


Abbildung 1
Erschließung einer geothermischen Lagerstätte

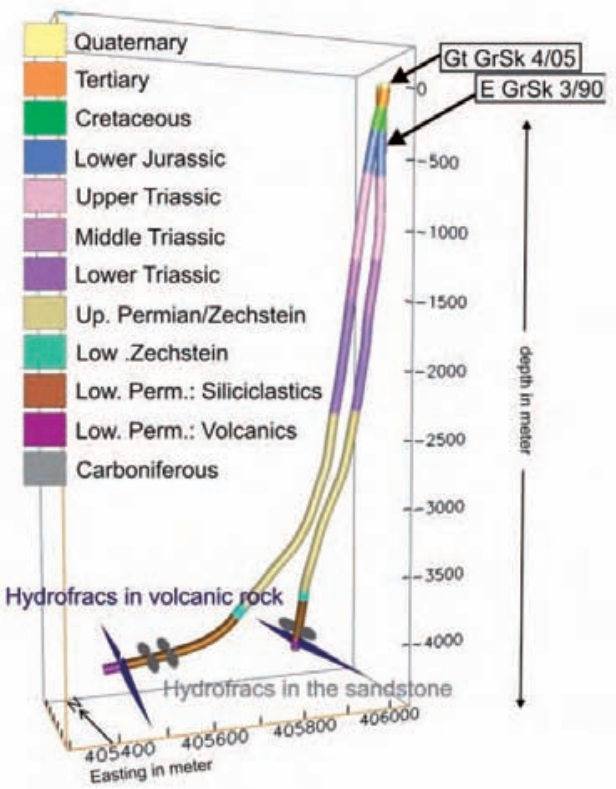


Abbildung 2
EGS-Projekt Groß Schönebeck mit Verlauf beider Bohrungen und erzeugten Risssystemen im Speicherbereich

den Bohrtiefe immer zu erreichen ist, schränkt die zweite Bedingung die Zahl möglicher Standorte erheblich ein.

Die Erschließung solcher Heißwasseraquifere birgt vor allem ein Fündigkeitsrisiko. Denn während Reservoirtiefe und -temperatur noch relativ genau vorausgesagt werden können, liegt das größere Risiko in einer zu niedrigen Aquifer-Durchlässigkeit und damit in einer zu geringen Thermalwasser-Produktion.

Bei petrothermalen Systemen wird geothermische Energie aus tiefen Gesteinsschichten unabhängig von hydraulischen Eigenschaften des Erdwärmeleiters gewonnen. Während die Temperaturverteilung in der Erdkruste durch die Natur vorgegeben ist, können bei petrothermalen Systemen die Zuflussbedingungen zur Bohrung durch ingenieurtechnische Behandlungen, so genannte Engineered-Geothermal-Systems (EGS)-Technologien, verbessert werden. *Abbildung 2* zeigt das Ergebnis einer solchen Behandlung am Beispiel des in situ Geothermielabors Groß Schönebeck.
Im besonderen Fall kann eine solche Behandlung zur Erzeugung eines künstlichen Wärmetauschers in der Tiefe führen, aus dem dann mit Oberflächenwasser die Tiefenwärme entzogen wird. Petrothermale Systeme können so die Wirtschaftlichkeit der geothermalen Energiegewinnung erhöhen. Mit Hydraulic-Fracturing oder Säurebehandlung sind beispielsweise Methoden verfügbar, mit denen künstlich eine höhere hydraulische Leitfähigkeit auch in gering permeablen Gesteinen hergestellt werden kann. In Deutschland sind etwa 95 % des geothermischen Potenzials nur mit dieser Technologie erschließbar. Alle dazu notwendigen Systemkomponenten sind verfügbar, es gibt allerdings erst wenige Projekte, in denen diese Technologie zur Erschließung der tiefengeothermischen Wärmequelle umgesetzt worden ist.

Die Erschließung von Tiefenerdwärme durch Bohrungen sowie die anschließende Energiebereitstellung ist im Wesentlichen an zwei Bedingungen geknüpft: Zum einen sollte die Temperatur möglichst deutlich über 40 °C für Wärme bzw. über 100 °C für die Stromerzeugung liegen.

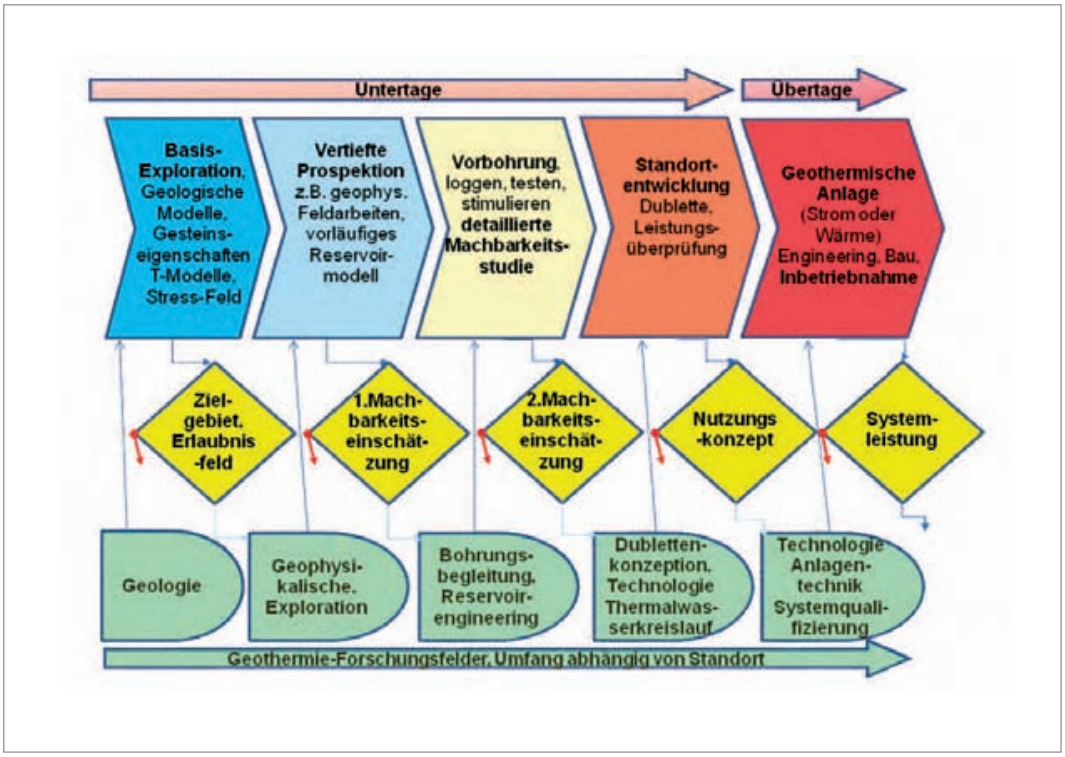


Abbildung 3
Projektablauf, Entscheidungspunkte und Forschungsbedarf für ein tiefengeothermisches Projekt

Zum anderen muss je Bohrung bzw. Bohrlochdublette eine ausreichende Fließrate erzielt werden können.

Diese und weitere Randbedingungen, die in der Regel erst im Verlaufe einer Projektentwicklung belegt werden können, führen dazu, dass auf dem Weg bis zur geothermischen Energiebereitstellung eine Reihe von Entscheidungen zu treffen sind. In *Abbildung 3* werden anhand von Stichworten dieser Weg und die Entscheidungspunkte dargestellt. Die roten Pfeile können Ausstiegspunkte aus dem Projekt bedeuten. Es besteht noch erheblicher Forschungsbedarf, der durch grün hinterlegte Felder den entsprechenden Projektphasen zugeordnet ist.

Systeme zur Wärmeversorgung vieler oder größerer Verbraucher, z. B. zur Einspeisung in größere Wärmenetze bis zu 40 MW (Gewerbe, Wohnungen), nutzen Tiefengeothermie durch Bohrungen bis in ca. 2-3 km Tiefe und speisen die Wärme in Heiznetze ein. Sie haben zurzeit in Deutschland eine Gesamtkapazität von etwa 150 MW und stehen unmittelbar vor einer breiteren Markteinführung. Der Ausbau von Niedertemperatur-Wärmenetzen würde die Markteinführung wesentlich beschleunigen. Im Vergleich zu kleineren Anlagen mit oberflächennaher Geothermie eignen sich diese Systeme meist besser für eine enge Bebauung.

Zur Bereitstellung von elektrischem Strom wird Heißwasser aus Bohrungen bis in ca. 4-5 km Tiefe gefördert. In der Regel benötigt man in Deutschland untertage eine ingenieurtechnische Behandlung der geothermischen Lagerstätte, um die erforderliche Fließrate für eine wirtschaftliche Nutzung zu erreichen. Übertage wird die Wärme der geförderten Heißwässer über Sekundärkreisläufe (ORC oder Kalina) in Strom umgewandelt. Die ersten in Deutschland ans Netz gegangenen Anlagen dieser Art mit etwa 7 MW elektrisch installierter Leistung belegen die prinzipielle Machbarkeit dieser Form der Stromerzeugung.

Speicherung von Bioenergie und erneuerbarem Strom im Erdgasnetz

1. Speicherung erneuerbarer Energien für Fluktuationsausgleich, Versorgungssicherheit und Netzstabilität

Ziel eines zukünftigen Energiesystems ist eine nachhaltige Vollversorgung aus erneuerbaren Ressourcen. Dabei sollen die Endenergien Strom, Wärme und Kraftstoff jederzeit ohne Nutzungsbeschränkungen zur Verfügung stehen. Viele erneuerbare Energien (EE) wie z. B. Windkraft und Solarenergie fallen jedoch fluktuierend an. Die Lösung liegt in der Energiespeicherung. So kann auch zu Zeiten mit einem geringen Angebot an EE (z. B. Windflaute) die Nachfrage gedeckt werden.

Vorgestellt wird ein neuer Lösungsansatz zur saisonalen Speicherung von EE. Speichermedium ist Erdgassubstitut (**S**ubstitute **N**atural **G**as, SNG), das sich über die Konversionspfade „Biogas-to-SNG", „BioSyngas-to-SNG" und das neue Konzept „Wind-to-SNG" erzeugen lässt.

Die Erzeugung von Erdgassubstitut („Biomethan", „Bioerdgas") aus Biogas ist Stand der Technik. Herstellungsverfahren aus „Bio-Synthesegas" über den Weg der Biomassevergasung befinden sich in der Demonstrationsphase. Neu ist der Verfahrensweg, aus CO_2 und H_2 Erdgassubstitut zu erzeugen. Fluktuierend anfallende Elektrizität aus erneuerbaren Energiequellen (z. B. aus Windkraft) dient im „Wind-to-SNG-Konzept" zur elektrolytischen Erzeugung von Wasserstoff, der mit CO_2 (z. B. aus Biogas) oder mit CO/CO_2-Gemischen (z. B. aus dem Produktgas der thermochemischen Konversion von Biomasse) in einem Synthesereaktor zu Methan konvertiert und als Erdgassubstitut in das Erdgasnetz eingespeist wird.

In der vorhandenen Erdgas-Infrastruktur wird der erneuerbar hergestellte, chemische Energieträger Methan effizient gespeichert, verteilt und zur bedarfsgerechten Nutzung bereitgestellt. Die bidirektionale Konvertierbarkeit Strom/Gas ermöglicht eine Energiespeicherung und Stromnetzstabilisierung, indem bei Stromüberschuss negative Regelenergie durch Einspeisung von Erdgassubstitut bzw. bei Strombedarf positive Regelenergie durch Rückverstromung von Erdgassubstitut bereitgestellt wird.

2. Energiespeicherung: Schlüsselkomponente in einem nachhaltigen Energiesystem

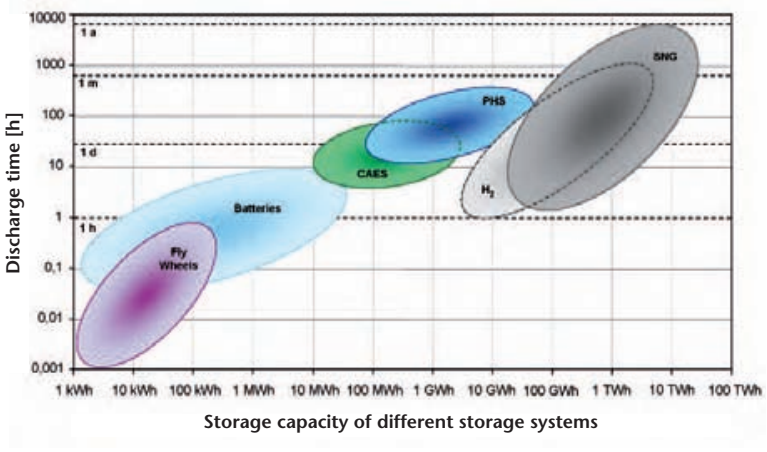
Von den EE lässt sich Biomasse am einfachsten speichern, da diese als Brennstoff materiell vorliegt. Sie ist saisonal lagerfähig, steht bei Bedarf zur Wärme-, Strom- und Kraftstoffproduktion zur Verfügung und eignet sich damit ideal für die Grundlastsicherung. Biomasse deckt derzeit ca. 10 % des Weltenergiebedarfs, der Beitrag am Weltenergieverbrauch kann jedoch auf maximal ca. 20 % anwachsen.
Ebenfalls grundlastfähig sind Geothermie und Laufwasserkraft, die aber nur begrenzt zur Verfügung stehen. Die großen Potenziale der EE bilden die quasi nicht limitierte Solarstrahlung, aber auch die Windenergie, die jedoch beide stark fluktuierend anfallen, nur begrenzt regelbar sind und daher der Speicherung bedürfen.

Nur mit ausreichender Energiespeicherung wird eine gesicherte Vollversorgung mit EE gelingen. Die Potenziale und die möglichen Einsatzbereiche der verschiedenen Speicher werden durch die erforderliche Speicherkapazität und Speicherdauer sowie die Umwandlungsverluste und die Kosten bestimmt.
Erst durch die Erweiterung der Stromnetze, den Zusammenschluss verschiedener Stromerzeuger

ZSW
Dr. Michael Specht
michael.specht@zsw-bw.de
Frank Baumgart
frank.baumgart@zsw-bw.de
Bastian Feigl
bastian.feigl@zsw-bw.de
Volkmar Frick
volkmar.frick@zsw-bw.de
Bernd Stürmer
bernd.stuermer@zsw-bw.de
Dr. Ulrich Zuberbühler
ulrich.zuberbuehler@zsw-bw.de

Fraunhofer IWES
Dr. Michael Sterner
msterner@iset.uni-kassel.de

Solar Fuel Technology GmbH & Co. KG
Gregor Waldstein
Hofhaymer Allee 42
A-5020 Salzburg
waldstein@solar-fuel.com



CAES: Compressed Air Energy Storage (Druckluftspeicherkraftwerk)
PHS: Pumped Hydro Storage (Pumpspeicherwerk)
H_2, SNG: Die Untertage-Ausspeicherung beinhaltet die Rückverstromung in GuD-Kraftwerken (Gas- und Dampf)

Abbildung 1
Entladungszeit und Speicherkapazität verschiedener Stromspeichersysteme

im Verbund mit Verbrauchern und neuen Speicherkonzepten sowie durch geschicktes Erzeugungs-, Last- und Speichermanagement entsteht ein Energiesystem, das die Vollversorgung mit EE jederzeit gewährleisten kann.

2.1 Optionen zur Speicherung von erneuerbaren Energien

EE werden zu großen Teilen als Strom in eine transportfähige Form konvertiert. Strom lässt sich allerdings nur bedingt direkt speichern (z. B. Kondensator). Stromspeichertechnologien nutzen deshalb folgende Energieformen:

- elektrische Energie (Superkondensatoren)
- potenzielle Energie (Wasserkraft, Pumpspeicherwerke)
- mechanische Energie (Druckluftspeicher, Schwungradspeicher)
- elektrochemische Energie (Batterien)
- chemische Energie (Brennstoffe)

Das Einsatzgebiet von **Pumpspeicherwerken** ist in der Regel die Stromspeicherung über mehrere Stunden bis hin zu Tagen. Solche Wasserkraftwerke dienen in der Energiewirtschaft seit Jahrzehnten als bevorzugtes Speichermedium, um Stromüberschüsse zwischenzuspeichern und bei Bedarf (Spitzenlastabdeckung) wieder ins Stromnetz einzuspeisen. Da deren vorhandene Kapazität und Ausbaupotenzial durch die geografischen Gegebenheiten und ökologischen Randbedingungen in Deutschland sehr stark eingeschränkt sind, werden sie nur in einem begrenzten Umfang zur zukünftigen Integration der EE ins Stromnetz beitragen können.

Druckluftspeicher arbeiten in mit Pumpspeicherwerken vergleichbaren Leistungsbereichen. Weltweit sind jedoch erst zwei Anlagen in Betrieb.

Die Speicherung in **Schwungradspeichern** oder **Superkondensatoren** ist insbesondere hinsichtlich Dauer und Kapazität begrenzt. Daher besteht deren primäre Aufgabe in der kurzfristigen (<< 1 h) Bereitstellung von Leistung zum Ausgleich von Schwankungen.

Eine mittelfristige (< 1 Tag) Leistungsreserve stellen **stationäre und mobile Batterien** dar, deren Anwendung allerdings durch die stark eingeschränkte Energie- und Leistungsdichte sowie durch die Lebensdauer begrenzt wird. Die Integration mobiler Batterien zukünftiger Elektrofahrzeuge in das Stromnetz ermöglicht als so genanntes „Vehicle-to-Grid"-Konzept sowohl das Laden der Fahrzeugbatterien (Energiespeicherung), als auch die gezielte Rückspeisung der Energie in das Stromnetz. Dadurch entsteht ein großer „virtueller Batteriespeicher". Die Nutzung wird jedoch durch die zeitliche Verfügbarkeit der Fahrzeuge und die vom Fahrzeughalter bereitgestellte Kapazität beschränkt. Zudem muss eine intelligente Steuerung der Lade- und Entladevorgänge erfolgen („Smart-Grid").

Für eine Langzeitspeicherung und den saisonalen Ausgleich von EE kommen derzeit nur **chemische Sekundärenergieträger** wie Wasserstoff und kohlenstoffbasierte Brennstoffe (z. B. Erdgassubstitut) in Betracht, die sich aus verschiedenen EE herstellen lassen. Die Ausspeicherleistungen bei der Untertage-Gasspeicherung inklusive Verstromung reichen bis in den 10-GW-Bereich bei Zyklenzeiten von Tagen bis Monaten *(siehe Abbildung 1)*. Sie stellen somit die einzige absehbare Option dar, EE mit einer Kapazität im Bereich von TWh saisonal zu speichern und bei Bedarf zurück zu verstromen. Darüber hinaus können chemische Sekundärenergieträger in anderen Anwendungsbereichen eingesetzt werden, etwa im Verkehr.

2.2 Speicherkapazitäten im heutigen Energiesystem und beim Ausbau der Elektromobilität

Im heutigen Energiesystem wird die Vorhaltung von Energie durch die Lagerung fossiler Brennstoffe gelöst (Kohle, Erdöl und Erdgas). Die Bevorratung liegt hier typischerweise in einem Bereich, der dem Verbrauch von mehreren Monaten entspricht. Dies gilt jedoch nicht für Strom. Angebot und Nachfrage müssen sich stets genau die Waage halten. Bei einer überwiegenden Versorgung mit EE stellt sich die prinzipielle Frage, welche Speicher an die Stelle der Bevorratung fossiler Brennstoffe treten können.

Die aufgeführten Zahlen in *Tabelle 1* verdeutlichen die Problematik bei der Stromspeicherung: Erzeugung und Verbrauch müssen zeitgleich erfolgen. Die heute vorhandene Stromspeicherkapazität beläuft sich auf nur 0,04 TWh, d. h., die vorhandenen Speicher könnten rein rechnerisch den kompletten Strombedarf Deutschlands nur für weniger als eine Stunde decken.

Werden Batterien von Elektrofahrzeugen bidirektional in das Netz integriert und mit einem intelligenten Energiemanagement verknüpft, ist sowohl das Laden als auch das Entnehmen von Energie möglich (Vehicle-to-Grid). Batterien haben dabei den Vorteil einer sehr schnellen Ansprechzeit und können somit flexibel zu- und abgeschaltet werden. Dadurch bieten diese mobilen Energiespeicher die Möglichkeit, Systemdienstleistungen zur Stabilisierung der Netze zu übernehmen, wie z. B. die Bereitstellung von Regelenergie oder den Lastausgleich. Zu Starklastzeiten steht diese Energie durch Entladung der Traktionsbatterien zur Verfügung, während sie zu Schwachlastzeiten wieder aufgeladen werden. Dies führt zu einer Glättung der Stromlastkurve und entlastet die Energieerzeugung sowie – bedingt durch die räumliche Verteilung der Speicher – auch die Netze.
Unter der Annahme, dass 40 Mio. Fahrzeuge alle gleichzeitig am Stromnetz angeschlossen sind und jedes Fahrzeug 10 kWh einspeist, beträgt die Speicherreichweite ca. 6 Stunden und übertrifft damit die bisher in Form von Pumpspeicherwerken installierte Kapazität um ein Mehrfaches *(Tabelle 2)*.

Durch die Einbindung von Traktionsbatterien kann die Elektromobilität damit zur Stromspeicherung und Stromnetzstabilisierung beitragen. Elektrofahrzeuge können somit zukünftig vor allem als Kurzzeitspeicher zur Unterstützung des Netzbetriebs und Überbrückung kurzfristiger Schwankungen eingesetzt werden.
Eine mehrtägige oder sogar saisonale Stromspeicherung ist jedoch im bestehenden System

		Strom	Erdgas	Flüssigkraftstoffe[1]
Verbrauch	[TWh/a]	615	930	707
durchschnittliche Leistung	[GW]	70	106[2]	81
Speicherkapazität	[TWh]	0,04[3]	217[4]	250[5]
rechnerische Speicherreichweite[6]	[h]	0,6	2000	3100

1) Benzin, Diesel, Kerosin
2) jahreszeitlich stark schwankend
3) Pumpspeicherwerke
4) 47 Untertage-Gasspeicher (zzgl. 79 TWh in Bau / Planung) [1]
5) Bevorratung an Benzin, Diesel, Kerosin und Heizöl EL
6) bezogen auf die durchschnittliche Leistung

Tabelle 1
Energieverbrauch und -speicherkapazitäten in Deutschland (2008)

		1 Mio. Elektrofahrzeuge	40 Mio. Elektrofahrzeuge
Verbrauch[2]	[TWh/a]	1,9	76
Anteil am Stromverbrauch	[%]	0,3	12
Speicherkapazität[3]	[TWh]	0,01	0,4
rechnerische Speicherreichweite[4]	[h]	0,15	6

1) Bezugsjahr 2008
2) 0,16 kWh/km; 12.000 km/a
3) verfügbare Speicherkapazität pro Fahrzeug: 10 kWh
4) bezogen auf die durchschnittliche Leistung von 70 GW (vgl. Tab. 1)

Tabelle 2
Energieverbrauch und -speicherkapazitäten durch Elektrofahrzeuge in Deutschland[1]

selbst unter der Annahme einer vollständigen Umstellung des PKW-Bestands auf Elektrofahrzeuge nicht möglich.

Nach heutigem Kenntnisstand ist für die saisonale Speicherung von Energie die Erzeugung von Sekundärenergieträgern eine notwendige Voraussetzung. Flüssige und gasförmige Brennstoffe lassen sich im Gegensatz zu Strom direkt und in großem Umfang speichern. Im Kraftstoffmarkt werden Benzin und Diesel über Monate bevorratet. Die Gasspeicherkapazitäten in Deutschland sind um den Faktor 5000 höher als die Kapazitäten der Pumpspeicherwerke *(Tabelle 1)*. Da sich Erdgas in modernen Kraftwerken mit einem Wirkungsgrad von nahezu 60 % verstromen lässt, liegt es nahe, die Gas - speicherkapazität für die Speicherung von EE zu nutzen.

2.3 Erfordernisse an die Kapazität saisonaler Speicher

Eine prinzipielle Frage ist, welche Speicherleistung und welche Speicherkapazität des deutschen Stromnetzes bei 100 %-Vollversorgung durch EE erforderlich sind, um beispielsweise längere Windflauten zu überbrücken.
Grundlastfähige EE zur Stromerzeugung sind Bioenergie, Geothermie, Laufwasserkraft und ca. 10 % der installierten Windkraftleistung. Von diesen insgesamt ca. 18 GW prognostizierter Leistung im Jahr 2050 entfallen auf Bioenergie 5 GW, Geothermie 4 GW, Laufwasserkraft 3 GW und den grundlastfähigen Anteil der Windenergie 6 GW, berechnet nach [2]. Bei einer durchschnittlichen Last von 70 GW (siehe *Tabelle 1*) verbleibt eine Speicherkapazität von nahezu 20 TWh, wenn die verbleibende Leistung von ca. 50 GW über einen Zeitraum von ca. 2 Wochen abgerufen wird. Zur Stromspeicherung stehen in Deutschland z. Zt. jedoch nur 0,04 TWh in Form von Pumpspeicherwerken zur Verfügung. Bei einer Vollversorgung durch erneuerbaren Strom ist also ein Ausbau der Speicherkapazitäten um das ca. 500-fache notwendig!

Für die erforderlichen Kapazitäten von ca. 20 TWh in Deutschland kommen nur chemische Energieträger infrage, die z. B. in Kavernen als Gas untertage gespeichert werden können. Beim Vergleich eines Kavernenspeichers mit Wasserstoff als chemischem Speichermedium ergibt sich die ca. 10- bis 100-fache, bei regenerativ erzeugtem Erdgassubstitut sogar die ca. 30- bis 300-fache Speicherkapazität gegenüber der Druckluftvariante (abhängig vom Speicherdruck). Ein Vergleich mit den existierenden und den in Planung befindlichen Erdgasspeichern zeigt, dass diese Speicherkapazitäten heute in der bestehenden Infrastruktur bereits Realität sind *(Tabelle 1)*. Rein rechnerisch lassen sich aus 217 TWh von in Kavernen lagerndem Erdgas mit Gas-und-Dampf-Kraftwerken zeitlich flexibel 130 TWh Strom erzeugen. Andere Speichertechnologien mit einer Kapazität in einer Größenordnung von > 10 TWh sind nicht in Sicht.

Bei der Speicherung von EE in Untertagespeichern bahnt sich jedoch ein Konflikt an: Die Technologien Druckluftspeicher und Gasspeicher (Erdgas, Erdgassubstitut oder Wasserstoff) können zumindest regional mit der so genannten „Speicher“-Technologie CCS (Carbon Capture and Storage) konkurrieren, bei der es sich um eine Entsorgung von CO_2 handelt und nicht um eine Energiespeicherung. Sollte es bei der Verstromung fossiler Energieträger in erheblichen Umfang zu einer Deponierung von CO_2 in ausgebeuteten unterirdischen Erdgaslagerstätten kommen, so stehen entsprechende Reservoire zur saisonalen Speicherung von EE nicht mehr zur Verfügung.

3. Lösungsansatz: Erdgassubstitut (SNG) als Speichermedium für erneuerbare Energien

Der regenerative Energieträger SNG lässt sich über verschiedene Pfade herstellen.
Primärressourcen sind

- „nasse“ Biomasse für die anaerobe Vergärung (Biogas-to-SNG)
- „trockene“ Biomasse für die thermochemische Vergasung (BioSyngas-to-SNG)
- regenerativ erzeugter Strom zur elektrolytischen Erzeugung von Wasserstoff in Kombination mit Kohlen(di)oxid aus diversen biogenen und nicht-biogenen Quellen (Wind-to-SNG)
- Kombinationen der genannten Verfahren

Die einzelnen Pfade werden nachfolgend erläutert.

3.1 Biogas-to-SNG

Bei der anaeroben Fermentation von Biomasse wird ein Rohbiogas mit den Majorkomponenten CH_4 (50 – 70 Vol.%) und CO_2 (30 – 50 Vol.%) gewonnen. Weiterhin sind Wasserdampf, die Minorkomponenten H_2S, NH_3 sowie je nach Art der Vorentschwefelung auch N_2 und O_2 enthalten. Eine Aufbereitung des Rohbiogases zu SNG erfolgt durch Abtrennen von Wasser, der Minorkomponenten und der Majorkomponente CO_2, bis die für die Einspeisung notwendige Qualität (Austauschgasqualität) bezüglich der Maximalkonzentrationen der Gasbestandteile und der brenntechnischen Eigenschaften erreicht ist. CO_2 wird in bestehenden Anlagen durch Druckwechseladsorption oder verschiedene Wäschersysteme entfernt. Die bei der Aufbereitung anfallenden Restgase werden meist in einem Brenner zur Wärmeerzeugung für den Fermenter oder in einem Gasmotor zur gekoppelten Strom-/ Wärmeerzeugung verwertet.

3.2 BioSyngas-to-SNG

Werden feste Brennstoffe nicht verbrannt sondern vergast, erhält man ein Brenngas, das vielseitig genutzt werden kann. Der Brennstoff reagiert mit Luft, Sauerstoff und/oder Wasserdampf und es entsteht das gewünschte Rohgas, dessen Zusammensetzung von dem Vergasungsverfahren, den Prozessbedingungen sowie von den Einsatzstoffen abhängig ist. Idealerweise ist das Gas nicht durch die Inertkomponente Stickstoff (Vergasung mit Luft) verdünnt. Majorkomponenten sind H_2, CO, CO_2, H_2O und (je nach Vergasungstemperatur) CH_4. Minorkomponenten wie Schwefelverbindungen, Ammoniak, Teere und Staubfrachten müssen aus dem Gas entfernt werden.

Für die Erzeugung von SNG über die Biomassevergasung bietet das am ZSW entwickelte AER-Verfahren (Absorption Enhanced Reforming) wegen seines hohen H_2-Gehalts von > 60 Vol.% sehr gute Voraussetzungen für eine nachgeschaltete Methanisierung. Bei dieser Reaktion werden CO und CO_2 durch den im Gas vorhandenen Wasserstoff zu Methan konvertiert *(Gleichung 1 – 3)*. Dies erfordert ein definiertes $H_2/CO/CO_2$-Verhältnis, sofern auf eine Gaskonditionierung/Gastrennung verzichtet werden soll. Das AER-Produktgas eignet sich aufgrund der einstellbaren Stöchiometrie [3], seiner Bestandteile und des bereits vorhandenen CH_4-Anteils ideal zur SNG-Erzeugung, da nach weitgehend quantitativem Reaktionsumsatz und nach Abtrennung des Reaktionswassers weitere Prozessschritte entfallen. Werden Synthesegase aus der Vergasung mit nicht angepasstem H_2-Gehalt verwendet, so ist eine nachgeschaltete CO_2-Abtrennung zwingend erforderlich.

3.3 Wind-to-SNG

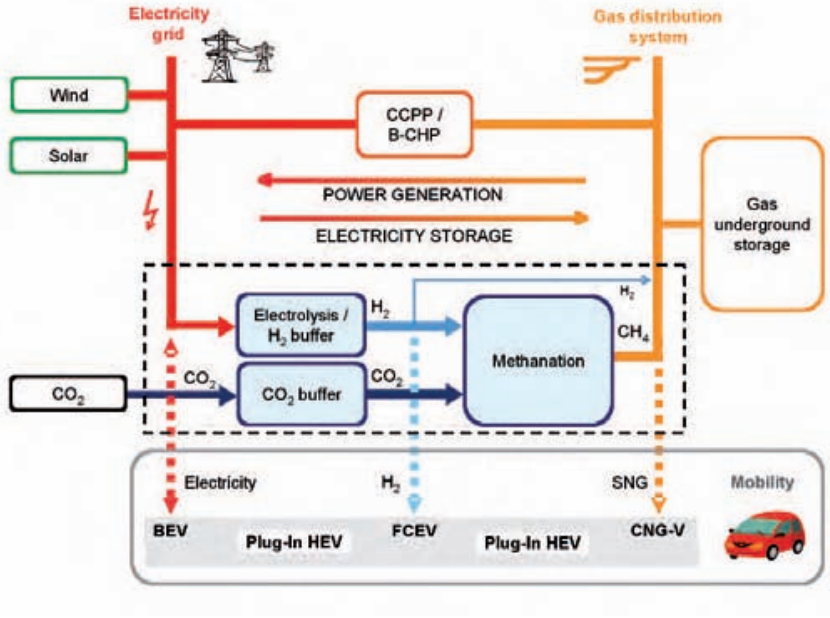
Das Thema „Herstellung C-basierter Brennstoffe aus CO_2 und H_2" wird am ZSW seit Ende der 80er Jahre mit der Zielsetzung bearbeitet, EE zu speichern [4 – 6]. Neue Aspekte beim Wind-to-SNG-Konzept sind die Nutzung bestehender Gasnetz-Infrastrukturen für die Speicherung und Verstromung des erzeugten Brennstoffs sowie insbesondere die Verwendung von Windstrom, dessen weiterer Ausbau zurzeit durch die Aufnahmekapazität der Stromnetze begrenzt wird. Es kann aber auch Solarstrom bzw. jeder andere erneuerbare Strom für den Prozess eingesetzt werden.

Das Grundprinzip des Wind-to-SNG-Konzepts ist die bidirektionale Verknüpfung der existierenden Infrastruktureinheiten Stromnetz und Gasnetz mit dem Ziel, ein neuartiges Last- und Erzeugungsmanagement zu etablieren, das die Aufnahme hoher Anteile fluktuierender Stromerzeugung aus EE ins Energiesystem ermöglicht. Bislang besteht die Verknüpfung nur durch Stromerzeugung aus Erdgas (Gas-to-Power),

Methanisierungsreaktionen			
$3\ H_2 + CO$	$\rightarrow CH_4 + H_2O(g)$	ΔH_R = -206 kJ/mol	(Gleichung 1)
$4\ H_2 + CO_2$	$\rightarrow CH_4 + 2\ H_2O(g)$	ΔH_R = -165 kJ/mol	(Gleichung 2)
CO-Shift-Reaktion			
$H_2O(g) + CO$	$\rightarrow H_2 + CO_2$	ΔH_R = -41 kJ/mol	(Gleichung 3)

Gleichung 1 bis 3

Abbildung 2
Wind-to-SNG-Konzept zur bidirektionalen Kopplung von Strom- und Gasnetz mit Anbindung an den Verbrauchssektor Mobilität



CCPP: Combined Cycle Power Plant
B-CHP: Block-Type Combined Heat and Power Station
BEV: Battery Electric Vehicle
FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle
CNG-V: Compressed Natural Gas Vehicle
Plug-In HEV: Plug-In Hybrid Electric Vehicle; Especial: Plug-In Electric Drive Motor Vehicles/Range-Extended Electric Vehicle

nicht jedoch in umgekehrter Richtung (Power-to-Gas). Grundlage des neuen Konzeptes ist, aus Gründen der Netzstabilität nicht einspeisbare bzw. preiswert verfügbare Elektrizität (z. B. bei hohem Windstromaufkommen) in Form von Erdgassubstitut zu speichern. Ein wesentliches Ziel ist, die Einspeisung von Windstrom plan- und regelbar zu gestalten. Das Prinzip ist in *Abbildung 2* dargestellt.

Das Konzept sieht vor, „überschüssigen" Strom aus fluktuierenden Quellen mittels Elektrolyse zunächst zu Wasserstoff und in einer anschließenden Synthesestufe mit CO_2 (und/oder CO) zu Erdgassubstitut umzusetzen. Der energetische Wirkungsgrad beläuft sich hierbei auf > 60 % (kWh_{SNG}/kWh_{el}).

Eine Wind-to-SNG-Anlage kann überschüssigen Windstrom über das Anfahren der Elektrolyse aufnehmen und als SNG im Erdgasnetz zwischenspeichern. Durch gezieltes Drosseln oder Abschalten der Elektrolyse kann in Zeiten schwächeren Windstromangebots bzw. höherer Stromnachfrage die Elektrolyseleistung gesenkt werden. Um zu jeder Zeit – auch bei Windflaute – Stromerzeugungsleistung zur Verfügung stellen zu können, ist eine Kombination der Wind-to-SNG-Anlage mit einem Gas- oder Blockheiz-Kraftwerk eine geeignete Konzeption, wobei die Verstromung nicht notwendigerweise am Standort der Wind-to-SNG-Anlage erfolgen muss.

Das Wind-to-SNG-Konzept lässt sich hervorragend in das bestehende Energiesystem integrieren. Ein besonderer Vorteil gegenüber anderen Optionen ist die Nutzung des Erdgasnetzes mit seiner hohen Speicher- und Transportkapazität. Während eine Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) auf Leistungen < 7 GW beschränkt ist, beträgt diese bei einer Gaspipeline bis zu 70 GW.
Hohe Windkrafterträge können als „Wind-SNG" sowohl saisonal gespeichert, als auch mit hohen Energieübertragungsleistungen über große Entfernungen transportiert werden. Für die Verstromung bieten sich Gaskraftwerke mit elektrischen Wirkungsgraden von bis zu 60 % an. Mit steigendem Anteil EE im Stromnetz benötigt Deutschland den Zubau dieser hocheffizienten Kraftwerke, um schnell auf Lastschwankungen reagieren zu können. Im Gegensatz zu Atom-

und Kohlekraftwerken lassen sich Gaskraftwerke schnell und problemlos regeln.

Hervorzuheben ist zudem die besondere Flexibilität hinsichtlich der Nutzungsoptionen der gespeicherten Energie, denn SNG kann nicht nur rückverstromt, sondern auch im Wärme- oder Kraftstoffmarkt eingesetzt werden. Letzteres ist vor dem Hintergrund des geplanten steigenden Anteils von regenerativen Kraftstoffen im Verkehrsbereich von besonderem Interesse.

Das Wind-to-SNG-Konzept weist verschiedene Schnittstellen zum Mobilitätsbereich auf („Wind-to-Tank" in *Abbildung 2*), da drei regenerative Energieträger für Fahrzeuge bereitgestellt werden können:

- (gespeicherter) Strom für batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)
- H_2 für Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV)
- SNG für Erdgasfahrzeuge (CNG-V)

Die chemischen Energieträger H_2 und SNG eignen sich darüber hinaus für Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge (Plug-In HEV), mit denen kurze Fahrdistanzen rein elektrisch zurückgelegt werden können – erst bei längeren Fahrdistanzen kommen H_2 bzw. SNG durch Verstromung in einem „Range Extender" zum Einsatz.

Wasserstoff aus der Elektrolyse von Wind-to-SNG-Anlagen kann einerseits über H_2-Netze verteilt und für die Mobilität bereitgestellt werden. Andererseits ist eine Bereitstellung von Wasserstoff durch dezentrale Erzeugung an Tankstellen durch Reformieren von SNG unter Nutzung existierender Infrastruktur möglich, ohne dass eine großflächige Verteilungsinfrastruktur für Wasserstoff erforderlich wird.

3.4 Biogas/Wind-to-SNG

Die Bereitstellung des für die Methanisierung benötigten Kohlendioxids kann aus verschiedenen Quellen erfolgen (CO_2-Abtrennung bei Verstromung fossiler Energieträger, Kalk-/Zementherstellung, Prozesse der chemischen Industrie, etc.). Als „Off-Gas" entsteht CO_2 bei der Aufbereitung von Biogas zu „Bio-Methan" (CO_2-Abtrennung). Da dieses biogene CO_2 nicht mit klimarelevanten Emissionen belastet ist, eignet es sich besonders als Edukt für die Methanisierung *(Abbildung 3.1)*. Alternativ kann CO_2 aus Biogas auch ohne vorherige Abtrennung direkt genutzt werden, indem das Biogas direkt einer Methanisierungseinheit zugeführt wird *(Abbildung 3.2)*. Eine optimale Kombination ist die Kopplung Windpark/Biogas-/Wind-to-SNG-Anlage an Stellen, an denen Stromnetzengpässe den weiteren Windkraftzubau verzögern

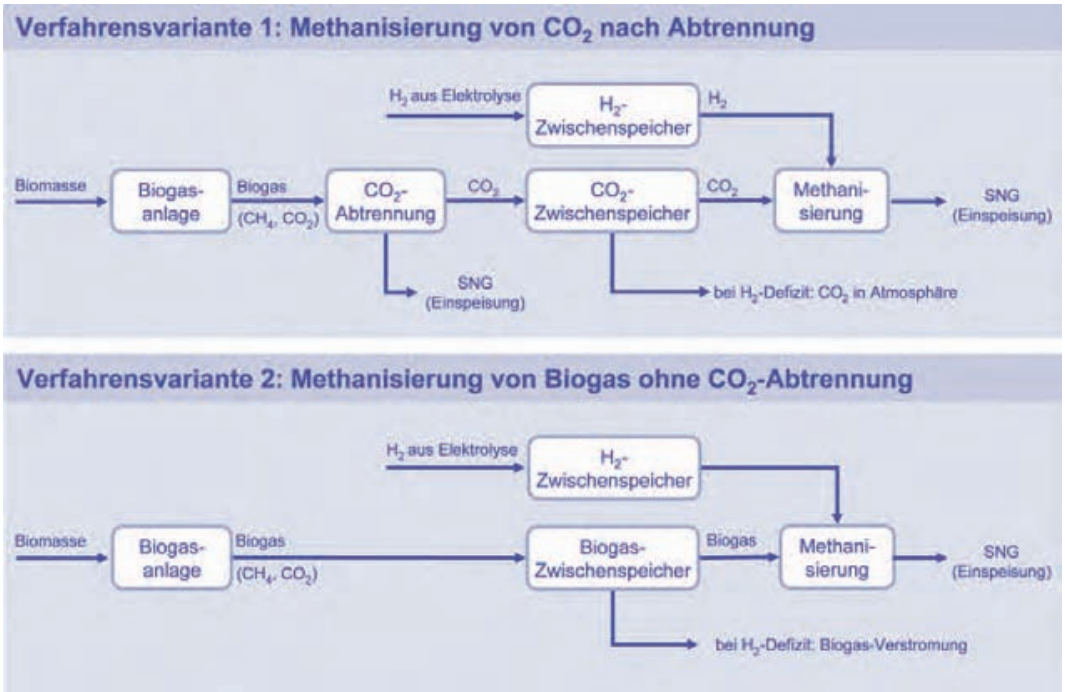


Abbildung 3
Steigerung des Methanertrags von Biogasanlagen durch H_2-Zugabe und anschließende Methanisierung

Abbildung 4
Containerintegrierte Wind-to-SNG-Anlage mit Elektrolysestack [1] und Methanisierungsapparatur [2]

(z. B. im Küstenbereich mit hohem Zubau an Offshore-Windkraft).

In einer ersten technischen Realisierungsstufe ist der Aufbau einer 10 MW-Wind-to-SNG-Anlage in Kopplung mit einer Biogasanlage geplant, in der das Biogas ohne CO_2-Abtrennung durch Zudosierung von H_2 zu SNG methanisiert wird. Ziel für die Inbetriebnahme ist das Jahr 2012.

3.5 BioSyngas/Wind-to-SNG

In einer weiteren Ausführung sollen auch biogene Gase aus der thermochemischen Vergasung verwendet werden, deren Stöchiometrie nicht auf die nachfolgende SNG-Erzeugung adaptiert ist. Die Zugabe von H_2 zum Vergasungsgas ermöglicht eine nahezu vollständige Konversion des biogenen Kohlenstoffs zu Brennstoffkohlenstoff. Hierdurch lassen sich biogene Ressourcen bezüglich des Brennstoffertrags wesentlich effizienter nutzen. Ein weiterer Aspekt ist die Verwendung des bei der Elektrolyse anfallenden Sauerstoffs für die Biomassevergasung.

4. Experimentelle Ergebnisse

Am ZSW wurden verschiedene Festbettreaktoren zur SNG-Erzeugung bis zu einer Leistungsklasse von 50 kW aufgebaut und getestet. Durch die Exothermie der Methanisierung und die Qualitätsanforderungen an die Gasbeschaffenheit zur Einspeisung in das Gasnetz (H_2 < 5 Vol.%, CO_2 < 6 Vol.%) ergeben sich besondere Anforderungen an die Reaktionsführung und das Reaktorkonzept. Diesen wird Rechnung getragen durch die Reaktorgeometrie, das Reaktorkühlkonzept und eingestellte Aktivitätsprofile der Katalysatorschüttbetten.

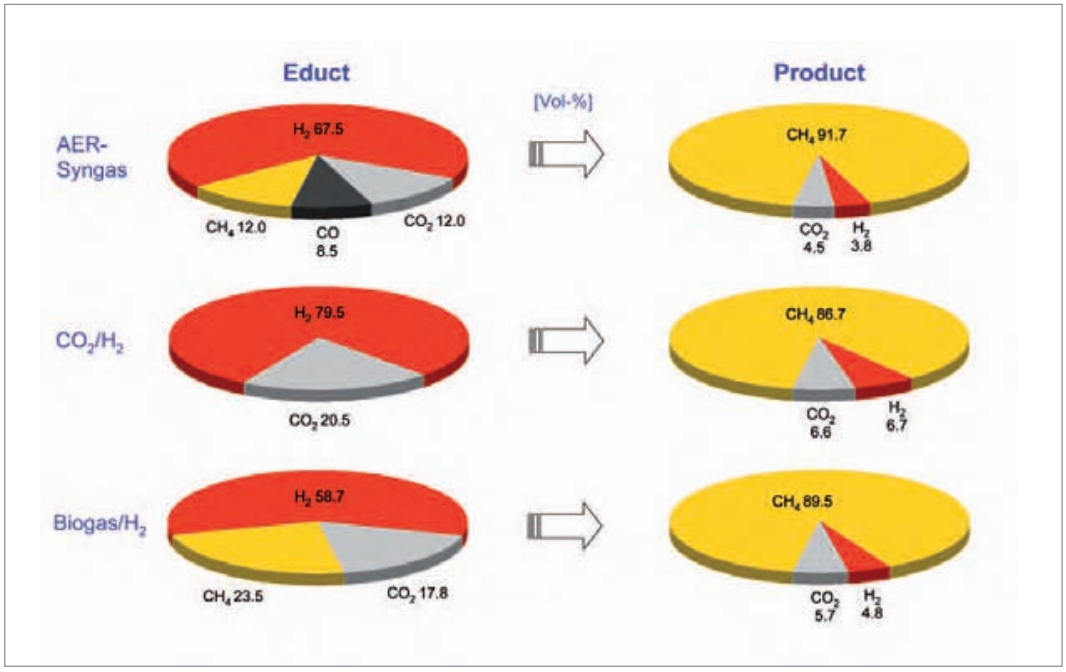


Abbildung 5
Gaszusammensetzung der Edukt- und Produktgase bei der Methanisierung

Reaktorsystem: Festbett; Ni-basierter Katalysator; T = 250 – 550 °C; p_{abs} = 8 bar; Raumgeschwindigkeit = 5000 1/h); Reaktionspfade: AER-Syngas → SNG; CO_2/H_2 → SNG; Biogas/H_2 → SNG

Ziel ist ein möglichst hoher Umsatzgrad in einem einstufigen Reaktorsystem ohne die Erfordernis einer nachgeschalteten Gaskonditionierung. Alternativ werden Reaktorkonzepte mit Zwischenkondensation/Wasserabtrennung untersucht.

Eine vollständige Wind-to-SNG-Anlage in der Leistungsklasse 30 kW wurde im Auftrag der Firma Solar Fuel Technology containerintegriert aufgebaut. Sie beinhaltet Elektrolyse, Methanisierung, Steuer- und Regelelektronik inklusive eines Betankungsmoduls für Erdgasfahrzeuge *(Abbildung 4)*. Die Anlage wird zur Untersuchung von Lastprofilen für die Netzregelung eingesetzt. Nach Abschluss der Testphase wird die Wind-to-SNG-Anlage an einer Biogasanlage betrieben. Das Biogas soll hierbei direkt (ohne vorherige CO_2-Abtrennung) nach Verfahrensvariante 2 in *Abbildung 3* methanisiert werden.

Die Ergebnisse der SNG-Erzeugung aus den Eduktgasen „AER-Syngas“, „CO_2/H_2“ und „Biogas/H_2“ sind in *Abbildung 5* dargestellt. Der Reaktor wurde in allen drei Fällen mit vergleichbaren Betriebsparametern betrieben. Nach einfachem Reaktordurchgang werden für die Eduktgase „AER-Syngas“ und „Biogas/H_2“ die Grenzkonzentrationen bzgl. H_2 und CO_2 im erzeugten SNG nach Trocknung ohne weitere Gaskonditionierung unterschritten. Für das Eduktgas „CO_2/H_2“ sind diese Grenzkonzentrationen geringfügig zu hoch, können aber durch Reduktion der Gasbelastung und/oder Druckerhöhung eingehalten werden.

Die grundsätzliche Eignung des Wind-to-SNG-Konzeptes zur Energiespeicherung und Netzregelung wurde nachgewiesen. Mit einem gegenüber der Fischer-Tropsch- bzw. Methanol-Synthese deutlich reduzierten verfahrenstechnischen Aufwand lässt sich SNG auch in dezentraler Anwendung herstellen, über das Erdgasnetz verteilen, speichern und bedarfsgerecht nutzen.

5. Fazit

Die verschiedenen Methoden der SNG-Herstellung aus EE und die Nutzungsoptionen in unterschiedlichen Verbrauchssektoren bieten die Chance für ein Zusammenwachsen der Energiesektoren Stromnetz, Gasnetz und Mobilität. Strom und SNG sind bidirektional ineinander umwandelbar und verfügen über eine voll ausgebaute Infrastruktur mit saisonaler Gasspeicherkapazität. Zudem lässt sich aus beiden Energieträgern dezentral H_2 erzeugen, ohne auf ein großflächiges H_2-Verteilsystem mit hohen Infrastrukturkosten angewiesen zu sein. Das vorgestellte Konzept zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Die SNG-Erzeugung ermöglicht die saisonale Speicherung erneuerbarer Energie. Während sich die Speicherkapazität des Stromnetzes heute auf nur ca. 0,04 TWh beläuft – mit einer Speicherreichweite von unter einer Stunde –, beträgt die Speicherkapazität des Gasnetzes in Deutschland über 200 TWh mit Speicherreichweiten im Bereich von Monaten.
- Zur Stabilisierung des Stromnetzes kann durch das Wind-to-SNG-Konzept positive und negative Regelenergie bereitgestellt werden (SNG-Verstromung sowie Ab- bzw. Zuregelung der Elektrolyse).
- Durch den Ausbau der Windenergie (insbesondere Offshore) werden zukünftig immer häufiger hohe Windkraftleistungen zur Verfügung stehen, die nicht vollständig vom Stromnetz, aber in Form von SNG im vorhandenen Gasnetz aufgenommen werden können.
- Die SNG-Erzeugung aus CO_2 und H_2 unterliegt im Gegensatz zu Bio-SNG keiner Flächenlimitierung durch den Anbau von Biomasse.
- SNG kann aus verschiedenen EE hergestellt werden (Biomasse, Wind-/Solarstrom, etc.).
- Durch die Kombination der Ressourcen Biomasse und Strom aus EE lässt sich Biomasse-Kohlenstoff nahezu vollständig in Kraftstoff-Kohlenstoff überführen, so dass die Reichweite biomassestämmiger Kraftstoffe bedeutend erhöht wird (z. B. „Verdopplung“ des Methanertrags einer Biogasanlage).

Literatur

[1] R. Sedlacek, Erdöl Erdgas Kohle 125, Nr. 11, S. 412 (2009)

[2] M. Sterner, N. Gerhardt, Y-M. Saint-Drenan, A. von Oehsen, P. Hochloff, M. Kocmajewski, P. Lindner, M. Jentsch, C. Pape, S. Bofinger, K. Rohrig, Studie für Schluchseewerk AG, Fraunhofer IWES, Kassel, www.schluchseewerk.de/105.0.html (2010)

[3] J. Brellochs, T. Marquard-Möllenstedt, M. Specht, U. Zuberbühler, S. Koppatz, C. Pfeifer, H. Hofbauer, Int. Conf. on Poly-Generation Strategies, Wien, 1-4 Sept. (2009)

[4] A. Bandi, M. Specht in „Landolt-Börnstein", Energy Technologies, Subvolume C: Renewable Energy, VIII/3C, p. 414 (2006)

[5] M. Specht, U. Zuberbühler, A. Bandi, Nova Acta Leopoldina NF 91, Nr. 339, S. 239 (2004)

[6] M. Specht, A. Bandi, K. Schaber, T. Weimer in „CO_2 Fixation & Efficient Utilization of Energy", Y. Tamaura, K. Okazaki, M. Tsuji, S. Hirai (Eds.), Tokyo Institute of Technology, Research Center for Carbon Recycling & Utilization, Tokyo, Japan, p. 165 (1993)

Solarthermische Kraftwerke – Exportschlager ohne Heimatmarkt

Prof. Dr. Robert Pitz-Paal
DLR
robert.pitz-paal@dlr.de

Dr. Henner Gladen
Solar Millennium AG
gladen@SolarMillennium.de

Dr. Werner Platzer
Fraunhofer ISE
werner.platzer@ise.fraunhofer.de

Solarthermische Kraftwerke nutzen nur den direkten Teil der Solarstrahlung und sind daher in Deutschland kaum einsetzbar. Trotzdem gehören deutsche Firmen und Forschungseinrichtungen weltweit zu den Technologieführern. Dies gelingt nur durch geeignete internationale Partnerschaften. In diesem Beitrag wir erläutert, welche wichtigen internationalen Netzwerke es in diesem Umfeld gibt. An Beispielen wird veranschaulicht wie sich deutsche Technologien und Forschungsergebnisse im internationalen Markt positionieren lassen.

1. Einleitung

Parabolrinnenkollektoren, die mittels Hochtemperaturwärme in einem konventionellen Kraftwerk Strom erzeugen, stehen seit mehr als 20 Jahren in der kalifornischen Mojave Wüste. Lange fand ihre Erfolgsgeschichte keine Nachahmer. Doch die globale Herausforderung durch Klimawandel und Ölpreisschock haben die Vorteile dieser Technik wieder wachgerufen und führten seit einigen Jahren zu einem regelrechten Bauboom, zunächst angeregt durch ein Stromeinspeisegesetz in Spanien. Inzwischen wird jedoch im gesamten Sonnengürtel der Welt gebaut.

Zwei unterschiedliche Systeme zur großtechnischen solarthermischen Stromerzeugung in sonnenreichen Ländern sind heute verfügbar:

- **Linien-fokussierende Systeme**, die die konzentrierte Strahlung in ihrer Brennlinie auf ein selektiv beschichtetes Absorberrohr richten und damit Temperaturen bis zu 400 °C im dort zirkulierenden Wärmeträger erzielen.
- **Punkt-fokussierende Systeme**, bei denen dreidimensional gekrümmte, der Sonne nachgeführte Einzelspiegeln (Heliostaten) die Solarstrahlung auf einen Wärmetauscher (Receiver) ausrichten, der sich auf der Spitze eines Turms befindet. Dabei können höhere Temperaturen als in den linienfokussierenden Systemen erzielt werden.

Beide Techniken zielen darauf ab, die in konventionellen Kraftwerken durch fossile Energieträger erzeugte Wärme ganz oder teilweise zu ersetzen. Ihr Charme besteht darin, dass sich die erzeugte Hochtemperaturwärme (im Vergleich zum Strom) sehr kostengünstig und effizient zwischenspeichern lässt, um damit den Betrieb bei Wolken-

1977	Initiierung des SSPS (IEA) and CESA Projects (Spanien)
1979	Sieben Länder sind am Aufbau von SSPS in Almería beteiligt (DLR für D)
1985	Zusammenführung von CESA und SSPS Anlagen zum Testzentrum PSA
1981	Erste solarthermische Stromerzeugung in Europa
1987	Spanisch Deutscher Kooperationsvertrag auf der Basis 50:50 (DLR/CIEMAT)
1990	PSA qualifiziert sich als Europäische Großanlage
1994	Erste gemeinsame EU Projekte (DLR/CIEMAT)
1998	Wechsel des Kooperationsmodells zur projektbezogenen Kooperation
2004	Beginn der Zusammenarbeit DLR/ Fraunhofer auf Gebiet der Fresnelkollektoren
2006	25jähriges Bestehen der PSA
2007	Erste kommerzielle Stromerzeugung in Spanien

SSPS = Small Solar Power System
CESA = Central Electro-Solar de Almeria (Sonnenturm)

Tabelle 1
Historischer Abriss der deutsch-spanischen Kooperation auf der PSA

Abbildung 1
Testzentrum Plataforma Solar in Almería (Spanien)

durchgängen oder nach Sonnenuntergang fortzusetzen. Sind geringe Mengen (<15 %) an fossiler Zufeuerung im Kraftwerk möglich, lässt sich mit diesem Konzept Strom nach Bedarf mit hoher Zuverlässigkeit bereitstellen, um damit fossile Kraftwerkskapazitäten vollständig zu ersetzen.

2. Internationale Kooperation als Basis für die Technologieentwicklung

Die Entwicklung dieser Technik wurde bereits Ende der Siebziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts durch die Internationale Energieagentur (IEA) initiiert (*Tabelle 1*).

Deutschland nahm bereits damals eine führende Rolle ein, als das DLR mit der Projektkoordination des Aufbaus der Demonstrationsanlage SSPS im spanischen Almería beauftragt wurde. Nachdem 1981 der Nachweis der ersten solarthermischen Stromerzeugung in Europa gelungen war, wurde die Anlage als Testzentrum unter dem Namen „Plataforma Solar de Almería (PSA)“ (*Abbildung 1*) partnerschaftlich von der spanischen CIEMAT und vom DLR weiterbetrieben.

Die PSA entwickelte sich als das europäische Testzentrum, in dem wesentliche kommerzielle Systeme, die später im Markt Eingang fanden, entwickelt und erprobt wurden. Davon profitierten insbesondere spanische und deutsche Unternehmen. Als sich Ende der 1990er Jahre noch kein konkreter Markteinstieg der Technologie in Europa abzeichnete, musste die deutsche Seite aufgrund rückläufiger Förderung ihren Einfluss reduzieren und hat seitdem eine Gastrolle auf der PSA. Anfang 2000 vermehrten sich die Anzeichen für einen Markteintritt der Technologie in Spanien und die Entwicklungsarbeiten wurden wieder intensiviert. Andere deutsche Forschungspartner z. B. das Fraunhofer ISE beteiligen sich seit 2004 an diesen Aktivitäten. Das 2004 verabschiedete spanische Einspeisegesetzt führte zum Bau kommerzieller solarthermischer Anlagen in Spanien, die erstmalig 2007 Strom ins Netz einspeisten.

Um die Kosten weiter zu senken, sind jedoch weitere Forschung und Entwicklungsaktivitäten auf diesem Gebiet notwendig. Da diese fast immer an eine sehr große und teuere Testinfrastruktur gekoppelt sind, bündelten im Jahr 2003 vier europäische Großforschungseinrichtungen ihre Kompetenzen und Infrastruktur zum sogenannten „Sollab Verbund“, dem neben DLR und CIEMAT auch die französische CNRS und das Schweizer Paul Scherer Institut (gemeinsam mit der ETH Zürich) angehören. Damit konnte auch für deutsche Unternehmen ein noch besserer Zugang zur Testinfrastruktur ermöglicht werden.

Wesentlich für die Verbreitung dieser Technik in weitere Länder des Sonnengürtels war darüber hinaus die SolarPACES Kooperation der IEA, die auf den frühen Aktivitäten in Almería aufbauten

Abbildung 2
SolarPACES Netzwerk der Internationalen Energieagentur (IEA) mit heute 16 Mitgliedsländern

und der heute 16 Mitgliedsländer angehören (*Abbildung 2*). In diesem Netzwerk, in dem das DLR wesentlich Koordinationsaktivitäten wahrnimmt, konnten neue Märkte insbesondere in USA, Ägypten, Algerien, Australien, Italien, Israel, UAE und Südafrika erschlossen werden, die inzwischen zum Großteil auch von deutschen Unternehmen beliefert werden.

3. Marksituation und die Rolle der deutschen Industrie

Weltweit werden heutzutage etwa 0,6 GW an solarthermischen Kraftwerken betrieben, während sich etwa die gleiche Kapazität zurzeit im Bau befindet, der größte Teil davon in Spanien und den USA. Weitere Projekte in der Größenordnung von 6 – 8 GW befinden sich weltweit in der Entwicklung (*Abbildung 3*).

Dabei sind insbesondere deutsche und spanische Hersteller dominant. Neben der Projektentwicklung und der schlüsselfertigen Lieferung von Solarfeldern und Kraftwerksblöcken sind deutsche Unternehmen führend bei der Herstellung von Schlüsselkomponenten wie Spiegel, Absorberrohren und Dampfturbinen. Darüber hinaus treten große deutsche Energieversorger als Investoren und mittelfristig vermutlich auch als Betreiber von solarthermischen Kraftwerken auf.

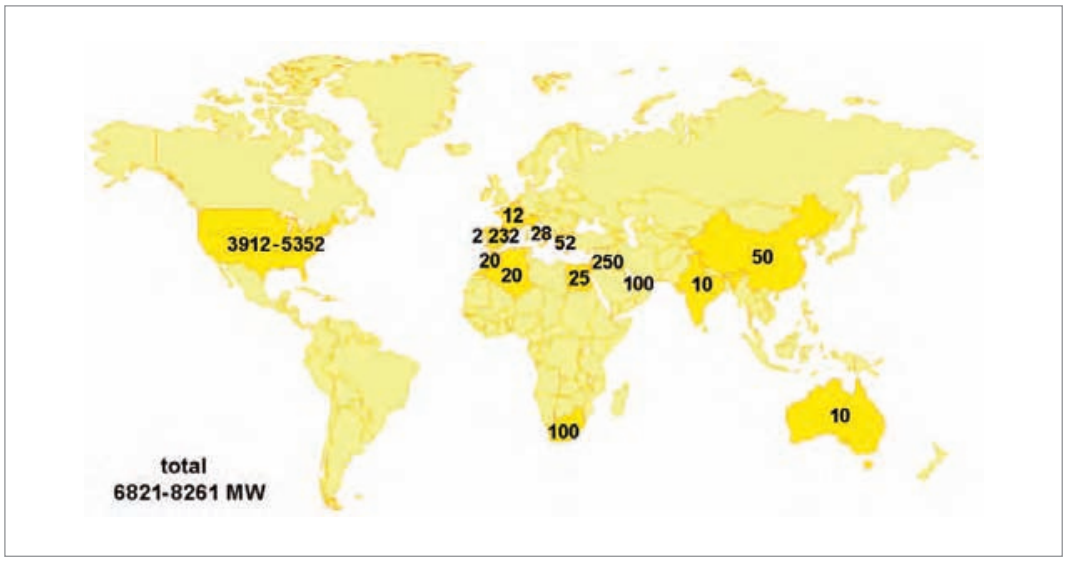


Abbildung 3
Solarthermische Kraftwerkskapazitäten in fortgeschrittenem Planungsstadium

4. Wettbewerbsvorteile durch Forschung und Entwicklung

Da solarthermische Kraftwerke in Deutschland keinen Heimatmarkt haben, konkurriert die Industrie auf internationalen Märkten. Ihr Schlüssel zum Erfolg liegt in der Lieferung überlegener hochtechnologischer Komponenten und in der Fähigkeit, Systemlösungen aus einer Hand anzubieten. Dabei werden alle technischen und finanziellen Risiken abgedeckt. Die deutschen Großunternehmen aus der Energiebranche sind dafür gut aufgestellt.

Entscheidend bleibt, dass sie Spitzentechnologie liefern und damit Wettbewerbern technologisch immer einen Schritt voraus sind. Hier kommen die deutsche Forschungslandschaft und insbesondere der ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE) ins Spiel, der Technologieentwicklung vorbereiten und die industrielle Umsetzung begleiten kann. Im Folgenden werden dazu vier Beispiele aufgeführt.

4.1 Direktverdampfung

Die Technologie der solaren Dampferzeugung, bei der das Thermöl in einem Parabolrinnenkollektor durch Wasser, bzw. Dampf ersetzt wird, wurde seit Mitte der 1990er Jahre maßgeblich vom DLR in Kooperation mit deutschen und spanischen Partnern entwickelt. Sie erspart Investitionen in das teuere Spezialöl und die entsprechenden Wärmeübertrager, ermöglicht höhere Prozesstemperaturen und damit bessere Systemwirkungsgrade.

An der DISS-Versuchsanlage (Direkt Solar Steam) auf der PSA wurden dabei Verfahren als technisch sicher beherrschbar identifiziert sowie umfangreiche Komponententests durchgeführt sowie Simulationsmodelle und Regelungskonzepte entwickelt und validiert. Außerdem haben jüngste Untersuchungen die wirtschaftliche Relevanz dieser Technologie bestätigt.

Als nächster Schritt vor der Markteinführung steht die Demonstration des Gesamtsystems mit mehreren parallelen Verdampfersträngen im kraftwerksrelevanten Maßstab (ca. 5 MW_e) bevor. Dafür ist geplant, mit deutschen Industriepartnern im Umfeld des geplanten ANDASOL III Kraftwerks in Südspanien (*Abbildung 4*) eine entsprechende Pilotanlage zu realisieren, das aus einem Kollektorfeld von etwa 2 – 3 Kollektorsträngen besteht. Dieses Kollektorfeld muss einerseits kontinuierlich betrieben werden, um die Langzeitstabilität der Komponenten und die Alltagstauglichkeit des Systems bewerten und demonstrieren zu können. Andererseits wird es so flexibel gestaltet werden, dass es die Untersuchung verschiedener Betriebsstrategien erlaubt. Ein neuartiges Wärmespeichersystem soll zudem in einer Größenordnung von 5 – 15 MWh in diese Testanlage integriert und einem längeren Betrieb im Kraftwerk unterworfen werden, um die Machbarkeit im realen Betrieb zu demonstrieren. Bei der Demonstrationsanlage eines Fresnelkollektors mit Beteiligung von DLR und Fraunhofer ISE auf der PSA wurde die Direktverdampfung eingesetzt und in den letzten beiden Jahren erfolgreich erprobt.

4.2 Komponentenentwicklung und -qualifizierung

Für die Parabolrinnen- und die Fresneltechnologie sind hochtemperaturstabile effiziente Receiversysteme eine Schlüsselkomponente, die von verschiedenen Kollektorfirmen weltweit benötigt werden.

Abbildung 4
50 MWe Andasol Kraftwerke in der Nähe von Guadix (Spanien)

Die Firma Schott CSP Solar entwickelte mit Unterstützung des Fraunhofer ISE und des DLR den Vakuumreceiver PTR-70. Mit Hilfe dieser Technologie erreicht man minimale Wärmeverluste der mit Wärmeträgerfluid durchströmten Absorberrohre. Bei einer Betriebstemperatur von 380 °C wird in den neuesten Schichten ein Emissionsgrad von unter 7 % erreicht. Das Problem der Wasserstoffdiffusion aus dem Thermoöl ist durch Barriereschichten und Gettermaterialien gelöst worden. Neben

Receivern für Thermoöl werden auch Rohre mit verstärktem Stahlwänden für die Direktverdampfung angeboten.

Parabolspiegel und Kollektorkonstruktion für den SKAL-ET Kollektor wurden von der deutschen Firma Flagsol entwickelt. Die gebogenen Spezialspiegel bestehen aus mit Silber beschichtetem Weißglas, das eine Dicke von 4 bis 5 mm hat. Die Spiegel sind 2 bis 2,8 Quadratmeter groß. Außerdem liefert das Unternehmen die Steuerung für das Solarfeld, eine Schlüsselkomponente zum Betrieb der Gesamtanlage. Bei dem linearen Fresnelkollektor werden ebenfalls hochtemperaturstabile Absorberrohre eingesetzt, die an Luft bis 450 °C stabil sind. Auch die Sekundärkonzentratoren aus frontseitig beschichteten Borosilikatspiegeln des Fraunhofer ISE können erhöhte Temperaturbelastungen aushalten.

Wichtig ist bei den konzentrierenden Primärspiegeln sowohl bei Parabolrinne und Fresnel als auch bei Turmheliostaten die optimierte Fokussierung der Sonne auf die jeweilige Receiverstruktur. Mit hochentwickelten Methoden zur Charakterisierung und Qualifizierung der Spiegelkomponenten tragen beide FVEE-Institute zur Qualitätssicherung beim Kraftwerksbau bei. Wichtige Bestandteile sind die Sicherstellung der Spiegelform, der spektralen Reflektivität sowie der Langlebigkeit der Komponenten. Die Fragestellung der Vermessung und insbesondere der Leistungsabnahme kompletter Kollektorfelder erfordert noch die Weiterentwicklung der bisher vorhandenen Methoden. Eine Standardisierung der Methodik wird weltweit im Rahmen des IEA SolarPaces Programmes vorangetrieben.

4.3 Betriebsoptimierung durch Prognosen

Das im CSP-FoSyS-Projekt entwickelte System soll zur Vorhersage der Stromproduktion eines einzelnen Kraftwerks dienen. Zur Zeit ist ein solches integriertes System nicht erhältlich. Daher agieren CSP-Kraftwerke heute nur beschränkt auf dem day-ahead und intra-day Elektrizitätsmarkt wodurch ihnen wesentliche ökonomischen Vorteile entgehen.

Im Projekt werden drei Anwendungsfälle für ein solches Vorhersagesystem unterschieden:

1. Die Teilnahme auf dem spanischen Elektrizitätsmarkt
2. Der Antrag für die Lizenz zum Netzzugang
3. Die Optimierung des Kraftwerksbetriebs mit den Aspekten Wartung, Solarfeldsteuerung, Produktionsplanung und Sicherheit

Der aus dem Projekt resultierende Prototyp soll in das Parabolrinnenkraftwerk Andasol 3 integriert werden. Der Prototyp soll jedoch modular aufgebaut werden, so dass nur ein Teil, das Kraftwerksmodell, auf die Technologie eines Parabolrinnenkraftwerks spezialisiert ist. Somit kann ein aus dem Prototyp entstehendes Produkt bei allen konzentrierenden Technologien, welche die Direktstrahlung als Energiequelle nutzen, verwendet werden. Dafür muss nur die Kraftwerksmodellierung an andere Technologien angepasst werden.

Auch die gesetzlichen Rahmenbedingungen die in dieser Studie analysiert werden, hängen im Wesentlichen nicht von der gewählten Technologie ab. Das bedeutet, dass in nahezu allen Fällen dieselben gesetzlichen Rahmenbedingungen sowohl von Parabolrinnentechnologie als auch den anderen konzentrierenden Technologien verwendet werden können.

4.4 UniSolar

Aktuell wird der massive Ausbau von solarthermischen Kraftwerkskapazitäten in den Staaten Nordafrikas intensiv diskutiert. Hier sei als Stichwort das maßgeblich vom DLR mitentwickelte DESERTEC Konzept genannt. Dieser Kraftwerksausbau zielt darauf ab, in Nordafrika in solarthermischen Kraftwerken kostengünstig Strom zu produzieren und diesen über Hochspannungsgleichstrom-Leitungen nach Europa und insbesondere Deutschland zu transportieren. Mittelfristig ist geplant, dass so 15 % des europäischen Strombedarfs aus diesen Quellen stammt. Um diesen massiven Ausbau realisieren zu können, müssen frühzeitig politische, technische, ökonomische und sozialpolitische Weichenstellungen erfolgen. Die Umsetzung des DESERTEC Konzepts unterstützt somit auch die im Rahmen der Union für das Mittelmeer intensivierte Zusammenarbeit zwischen den EU-Mitgliedstaaten und den Ländern des

südlichen Mittelmeerraums. Das vom Auswärtigen Amt geförderte UniSolar basiert auf diesem Konzept und kann als erster Schritt in die praktische Umsetzung angesehen werden.

Ziel des Projektes ist die technologische Zusammenarbeit und gezielte Unterstützung derjenigen Länder in Nordafrika, die gerade mit der Implementierung von ersten solarthermischen Kraftwerken begonnen haben. Dabei sollen technische Optimierungsmöglichkeiten bei der Inbetriebnahme und beim Betrieb gezielt genutzt werden und zu einer Effizienzsteigerung des solaren Kraftwerksteils und der gesamten Stromerzeugung beitragen. Die lokalen Kapazitäten sollen durch Bildungsmaßnahmen, Schulungen, Workshops und Technologie-Transfer ausgebaut und eine zielgerichtete Kooperation mit der deutschen Industrie ermöglicht werden. Die Verbreitung der Technologie soll durch entsprechend geschulte und unterstützte lokale Ansprechpartner und deren Vernetzung untereinander gewährleistet werden. Sie können Projektentwicklungen als auch Technologieentwicklungen in den Zielländern kompetent begleiten und unterstützen. Durch diese Maßnahmen soll die nachhaltige Implementierung von Solarkraftwerken gefördert und durch Multiplikator-Effekte beschleunigt werden.

Zielgruppen für den Ausbau der Kapazitäten und die Verbreitung der Technologie sind auf nordafrikanischer Seite Forschungseinrichtungen, Universitäten, Industrieunternehmen, Fachkräfte, Ingenieurbüros, Entscheider und Energieversorger in Ägypten, Algerien, Tunesien und Marokko. Weitere Staaten in Afrika sollen im Projektverlauf aufgenommen werden.

Auch im Rahmen des vom BMU geförderten TREE-Projektes („Transfer Renewable Energy & Efficiency“) bietet die Renewable Academy Berlin mit Unterstützung des Fraunhofer ISE weltweit Workshops für Entscheidungsträger und Ingenieure mit dem Thema Solarthermische Kraftwerke an.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Eine technologisch führende Rolle ist Voraussetzung dafür, um erfolgreich am rasch wachsenden Markt der solarthermischen Kraftwerke partizipieren zu können.

Ein fehlender Heimatmarkt setzt global operierende Unternehmen und eine international gut vernetzte Forschung sowie Zugang zu Testeinrichtungen im Sonnegürtel voraus. Beides ist zurzeit noch gegeben, allerdings können rasch wachsende Forschungsbudgets, insbesondere in den USA, China und den Golfstaaten, mittelfristig zu einer Marktverschiebung führen. Dem wachsenden Umsatz der Unternehmen und ihren eigenen Forschungsaufwendungen müssen daher entsprechende angepasste öffentliche Forschung und Entwicklung Budgets hinzugefügt werden, um die führende Rolle in Deutschland halten zu können.

Konzentrierende Photovoltaik (CPV) für Länder mit hoher direkter Einstrahlung

1. Einleitung

Ziel aller Forschungsarbeiten im Bereich der Photovoltaik (PV) ist letztlich, die Kosten für PV-erzeugte Energie zu senken und so eine nachhaltige Energieversorgung bereit zu stellen.

Der heutige Markt wird durch Si-Module dominiert. Technologien auf Dünnschichtbasis (a-Si, CIGS, CdTe) haben in den letzten beiden Jahren die industrielle Massenfertigung erreicht.

Die Konzentrator-Photovoltaik ist ein alternativer technologischer Ansatz, um die Kosten je PV-generierte kWh zu reduzieren. Die zu Grunde liegende Idee ist einfach zu verstehen: Diese Technologie reduziert den Bedarf an vergleichsweise teurer Solarzellenfläche dadurch, dass das Sonnenlicht mittels eines preiswerten optischen Konzentrators gebündelt wird. Im Fokus des Lichtbündels sitzt dann eine kleine Zelle, welche die hohe Strahlungsdichte effizient wandelt. Um das Sonnenlicht ausreichend hoch konzentrieren zu können, muss das System dem Lauf der Sonne nachgeführt werden. Daher eignen sich Konzentratorsysteme vor allem für Länder mit einer hohen direkten Einstrahlung.

Konzentratorsysteme werden bevorzugt als PV-Kraftwerke im kW-MW Leistungsbereich betrieben. Das Interesse an dieser Technologie ist in den letzten Jahren stark gewachsen, weil die Kosten reduziert werden konnten und hohe Systemwirkungsgrade von über 25 % im Feld erreicht wurden [1].

2. Die technologische Basis der Konzentrator-Photovoltaik

Konzentrator-Photovoltaik ist dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Komponenten, wie Zelle, Kühlung, Konzentratoroptik und Nachführung, in starker Wechselbeziehung stehen und somit in der Gesamtheit optimiert werden müssen. Die Konzentrator-Photovoltaik muss also als ein integrativer technologischer Ansatz verstanden werden. So ist es beispielsweise möglich, die Anforderungen an die Nachführgenauigkeit der Mechanik zu senken, wenn der optische Konzentrator z. B. durch den Einsatz einer zweiten Stufe entsprechend gestaltet wird. Dies kann wiederum eine erhöhte Komplexität beim Montageprozess zur Folge haben. Dieses Beispiel zeigt die Verkettung der Technologien und die Komplexität bei der Entwicklung eines Konzentratorsystems. Daher gibt es nicht „das“ Konzentratorsystem, sondern jedes System muss individuell entwickelt und analysiert werden. Als Folge gibt es eine Vielzahl von möglichen System-Realisierungen.

Die wahre Bewertung eines Konzentratorsystems zeigt sich letztlich erst in der Anwendung und wird durch die Kosten pro erzeugter Kilowattstunde (€/kWh) angegeben. Diese Bewertungsgröße ist natürlich von den Einstrahlungsverhältnissen und damit vom Standort abhängig.

Die Vielfalt der Konzentratorsystem-Ansätze lässt sich am besten verdeutlichen, wenn der Konzentrationsfaktor herangezogen wird. Der Konzentrationsfaktor heutiger Systeme reicht von 2 bis 1000. In *Abbildung 1* sind zwei Beispiele von Systemkonzepten gezeigt: Links das niedrig-konzentriende ARCHIMEDES-System, das am ZSW in Stuttgart entwickelt wurde. Es nutzt Si-Konzentratorzellen und hat eine einachsige Nachführung. Rechts das hoch-konzentrierende

Fraunhofer ISE
Dr. Andreas W. Bett
Andreas.bett@ise.fraunhofer.de
Dr. Bruno Burger
bruno.burger@ise.fraunhofer.de
Joachim Jaus
joachim.jaus@ise.fraunhofer.de
Tobias Fellmeth
tobias.fellmeth@ise.fraunhofer.de
Dr. Oliver Stalter
olivier.stalter@ise.fraunhofer.de
Dr. Matthias Vetter
matthias.vetter@ise.fraunhofer.de

ZSW
Hans-Dieter Mohring
hans-dieter.mohring@zsw-bw.de

Concentrix Solar GmbH
Bötzinger Str. 31
79111 Freiburg
Dr. Andreas Gombert
andreas.gombert@concentrix-solar.de
Hansjörg Lerchenmüller
lerchenmueller@concentrix-solar.de

Abbildung 1
Links: niedrig-konzentrierendes ARCHIMEDES-System (ZSW)

Rechts: hoch-konzentrierendes FLATCON-System (Fraunhofer ISE/Concentrix Solar)

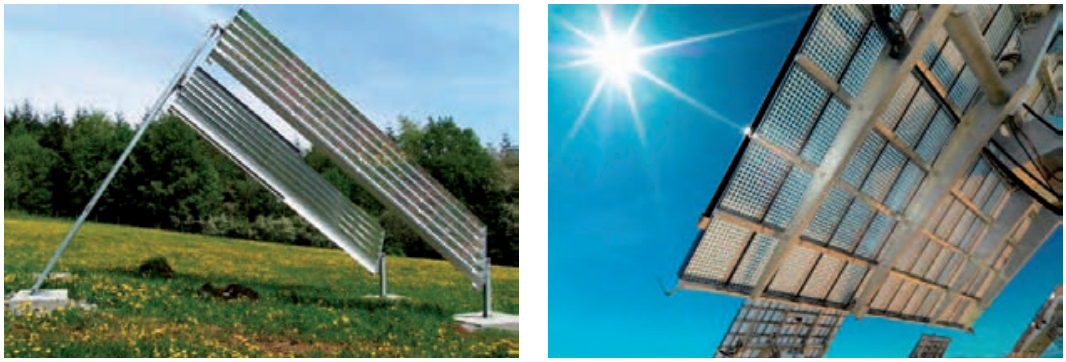


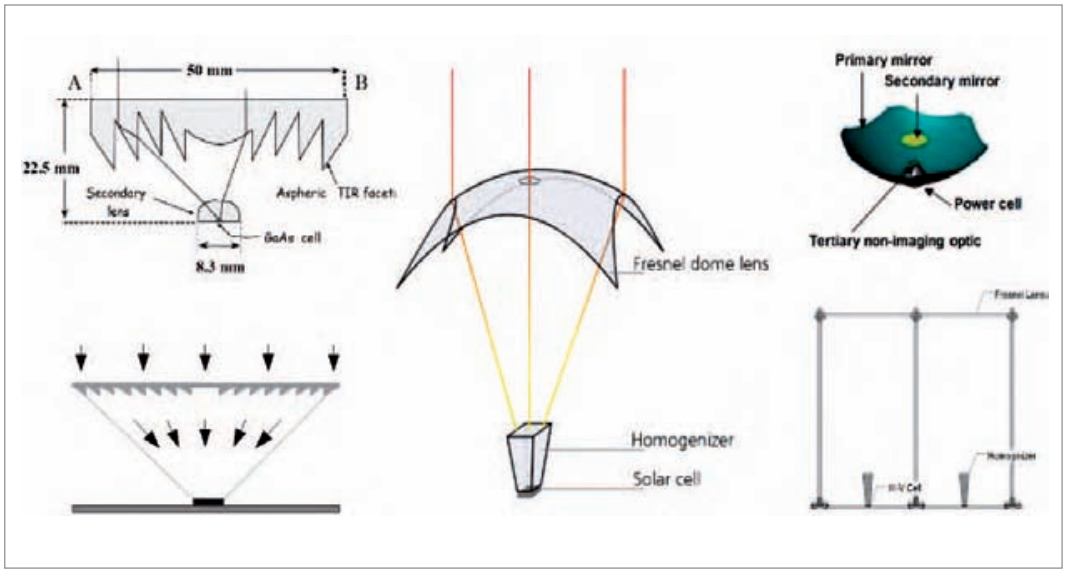
Abbildung 2
Beispiele für optische Konzentratoren:

Links oben: asphärische TIR (total internal reflection) Linse in Kombination mit einer Sekundärlinse direkt auf der Zelle

Links unten: Fresnellinse

Mitte: Fresnel-Dom Linse in Kombination mit einem Strahlhomogenisierer.

Rechts oben: Eine Cassegrain-Optik, wo das Licht über einen Parabolspiegel auf einen kleine Sekundärspiegel und dann auf die Zelle gelenkt wird.



FLATCON-System, das am Fraunhofer ISE in Freiburg entwickelt und von der Firma Concentrix Solar, Freiburg zur Marktreife gebracht wurde. Dieses System nutzt III-V-Halbleiter Mehrfachsolarzellen, hat eine zweiachsige Nachführung und einen Konzentrationsfaktor von 380.

Im folgenden Abschnitt werden die Hauptkomponenten eines Konzentratorsystems kurz diskutiert:

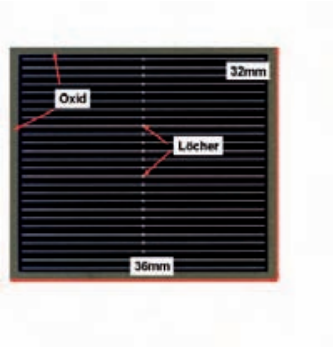
Der optische Konzentrator

Als optische Konzentratoren werden entweder Linsen oder Spiegel eingesetzt. Oftmals wird noch eine zweite optische Stufe genutzt, die meist direkt auf die Solarzelle montiert wird. Fresnel-Linsen werden häufig anstelle massiver Linsen eingesetzt. Sie benötigen weniger Material und können kostengünstiger hergestellt werden. Beim Einsatz von Linsen müssen Abbildungsfehler und hier im Besonderen die chromatische Aberration bei der Systemauslegung berücksichtigt werden. Hier bieten Spiegelsysteme Vorteile. Die Herausforderung für die Spiegel besteht darin, hochreflektive Schichten mit Langzeitgarantie kostengünstig zu produzieren. *Abbildung 2* zeigt schematisch verschiedene Konzepte für die optische Konzentration, wie sie derzeit in Systemen verwendet werden.

Die Konzentratorzelle

Die in Konzentratorsystemen eingesetzten Zellen müssen mit den hohen Einstrahlungsdichten und den daraus resultierenden hohen Strömen zurechtkommen. Es gibt daher nicht „die“ Konzentratorsolarzelle. Je nach Konzentrationsfaktor muss die Solarzellentechnologie angepasst werden.

Die Widerstandsverluste skalieren quadratisch mit den Stromdichten, was einen höheren



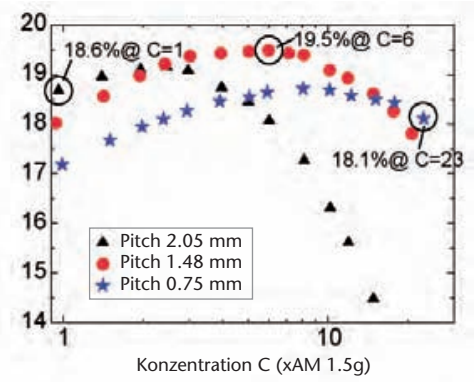
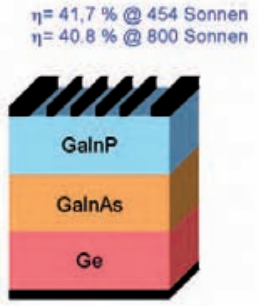


Abbildung 3
Links: Photo einer MWT-Si-Konzentrator-solarzelle.
Rechts: Je nach gewählter Technologie kann die Zelle bis zu einem Konzentrations-faktor von 20 einge-setzt werden.



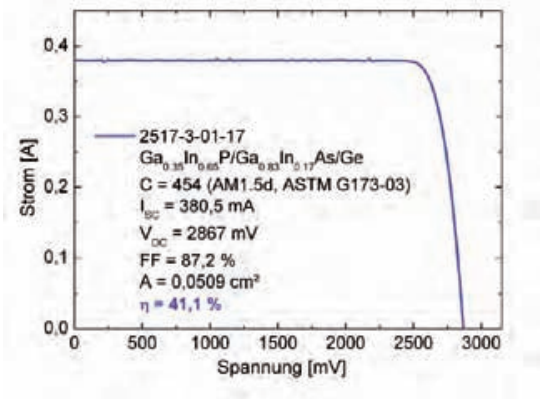


Abbildung 4
Strom-Spannungs-Kennlinie einer monolithischen Dreifach-Solarzelle aus GaInP/GaInAs/Ge bei Beleuchtung unter 454-facher Sonnen-konzentration. Es wurde ein Wirkungs-grad von 41.1 % erzielt. Selbst bei einer 800-fachen Sonnen-konzentration wird noch ein Wirkungsgrad von 40.8 % erreicht.

Metallisierungsgrad der Solarzellen erfordert, der wiederum die Abschattungsverluste erhöht. Zudem wird die Solarzelle je nach optischem Konzentrator nicht homogen beleuchtet, was in einer entsprechenden Auslegung des Frontsei-ten-Kontaktgitters berücksichtigt werden kann. Die Auslegung des „optimalen" Solarzellen-Designs ist also wiederum stark von der System-auslegung abhängig. Generell lässt sich sagen, dass vor allem für den niedrigen Konzentrati-onsbereich (*Abbildung 1*, links) nur leicht modifi-zierte Industrie-Silizium Solarzellen verwendet werden. *Abbildung 3* zeigt ein Beispiel für eine Zellentwicklung am Fraunhofer ISE [2]. Hier wurde die Metal-Wrap-Trough (MWT) Solarzelle so modifiziert, dass sie je nach Design für Konzentrationsfaktoren bis 20 eingesetzt werden kann.

Mehrfachsolarzellen, für die unterschiedliche III-V-Halbleitermaterialien übereinander abge-schieden werden, erlauben es, sehr hohe Wir-kungsgrade zu erzielen. Dieser Zelltyp wird in hochkonzentrierenden Systemen eingesetzt. *Abbildung 4* zeigt die Schichtstruktur und die Kennlinie der Fraunhofer ISE Rekordsolarzelle, welche einen Wirkungsgrad von 41.1 % bei einem Konzentrationsfaktor von 454 Sonnen erzielt [3].

Die Nachführung (Tracker)

Nachführsysteme werden seit einiger Zeit auch vermehrt für Flachmodule eingesetzt, da durch die Nachführung ein Mehrertrag zwischen 20-35 % zu erwarten ist [4]. Aufgrund dieser Entwicklung sind nun mehrere Anbieter von Nachführsystemen auf dem Markt, was der Konzentrator-Photovoltaik zu Gute kommt. Allerdings sind die Anforderungen an die Genauigkeit und Stabilität für die Konzentrator-systeme deutlich höher. Die geforderte Genau-igkeit hängt vom Konzentrationsfaktor und auch von der verwendeten Optik im System ab. Als ein Richtwert wird für ein 500-fach konzen-trierendes System eine mechanische Genauig-keit von 0.1° angestrebt und auch erreicht.

Wichtig für die Erreichung dieses Zieles ist eine gute Steuerung. Am Fraunhofer ISE wurde in den letzten Jahren eine Entwicklung vorange-

trieben, welche die Steuerung des Trackers in die Inverterelektronik integriert: der so entstandene Tracker-Inverter reduziert die Kosten des Konzentratorsystems. Für niedrig-konzentrierende Photovoltaik ist oft eine einachsige Nachführung mit einer mechanischen Genauigkeit im Grad-Bereich ausreichend. Generell kann gesagt werden, dass die Zuverlässigkeit des Nachführsystems kein Problem darstellt und dass die Leistungsaufnahme für den Antrieb im Mittel deutlich unter 100 W liegt [5], was bei Systemgrößen im kW-Bereich vernachlässigbar ist.

3. Konzentratorsysteme in Betrieb

Die Firma Concentrix Solar fertigt hochkonzentrierende FLATCON-Konzentratormodule. Seit Herbst 2008 steht eine Produktionslinie mit einer Kapazität von 25 MW zur Verfügung. Auf dieser vollautomatisierten Fertigungslinie werden Module mit Wirkungsgraden von 27 % hergestellt. Die Module werden auf zweiachsige Nachführeinheiten montiert. Die nominelle Systemleistung beträgt 6 kW. *Abbildung 5* zeigt ein Photo von einem Concentrix Konzentratorsystem und eine gemessene DC-Kennlinie des Systems. Bei günstigen Einstrahlungsbedingungen wurden DC-Systemwirkungsgrade von über 26 % erzielt.

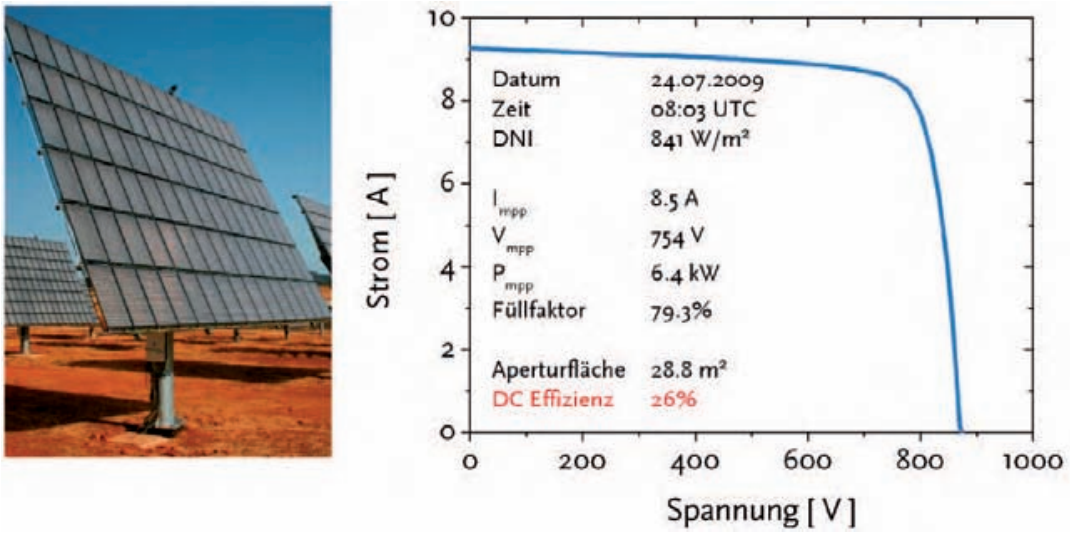


Abbildung 5
Links: FLATCON-Konzentratorsystem der Firma Concentrix Solar. Die Apperturfläche beträgt 28.8 m². Rechts ist die gemessene DC-Kennlinie des Systems gezeigt. Es wurde ein Wirkungsgrad von 26 % bestimmt.

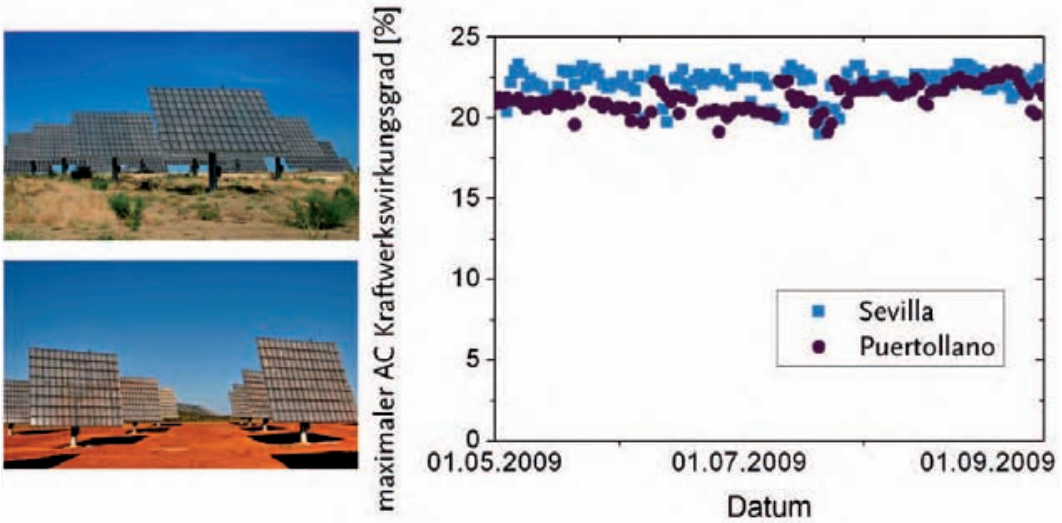


Abbildung 6
Links: Photos der 100 kW-Anlagen in Sevilla (oben) und Puertollano (unten) in Spanien.
Rechts ist der maximale AC-Kraftwerkswirkungsgrad der zwei Anlagen über einen Zeitraum von Mai bis September 2009 dargestellt.

Abbildung 6 zeigt den maximalen AC-Wirkungsgrad über den Zeitraum von Mai bis September 2009 für zwei 100 kW-Kraftwerke an den Standorten in Sevilla und Puertollano in Spanien. Die Wirkungsgrade liegen kontinuierlich deutlich über 20 %, und es konnten Spitzenwerte bis 24 % erzielt werden.

4. Zusammenfassung und Fazit

Die konzentrierende Photovoltaik hat nun einen Entwicklungsstand erreicht, bei dem der Übergang vom Labor zur industriellen Fertigung vollzogen ist. Der Markteinstieg ist für diese Technologie möglich. Die Kosten- und Ertragsanalysen lassen erwarten, dass CPV-Systeme an Standorten mit hoher Direkteinstrahlung Stromgestehungskosten erreichen können, die deutlich unter denen der klassischen PV-Technologie liegen. Diese Prognosen müssen sich in den kommenden zwei Jahren bewahrheiten, dann wird dieser Technologie ein rasantes Wachstum bevorstehen.

Literatur

[1] A. Hakenjos, J. Wüllner, H. Lerchenmüller, Proc. 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2007, pp. 156-159.

[2] T. Fellmeth et al., 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg 2009

[3] W. Guter, J. Schöne, S. P. Philipps, M. Steiner, G. Siefer, A. Wekkeli, E. Welser, E. Oliva, A. W. Bett, F. Dimroth, Appl. Phys. Letter, 2009, 94, 223504

[4] H. D. Mohring, H. Gabler, Proc. 29th IEEE Photovoltaics Specialists Conference, 2002, pp. 1608-1611.

[5] V. D. Rumyantsev, V. M. Andreev, N. A. Sadchikov, A. W. Bett, F. Dimroth et al., PV in Europe - From PV Technology to Energy Solutions Conference and Exhibition, 2002, pp. 521-525.

Anforderungen bei der Integration von Windenergie in die Netze verschiedener Länder

Fraunhofer IWES
Dr. Kurt Rohrig
krohrig@iset.uni-kassel.de

Dr. Bernhard Lange
blange@iset.uni-kassel.de

Reinhard Mackensen
Fraunhofer IWES
rmackensen@
iset.uni-kassel.de

Einleitung

Die Entwicklung der Windenergie weist in Europa und weltweit enorme Zuwachsraten auf. Dabei haben Länder wie Dänemark, Deutschland und Spanien mit ihrer Vorreiterrolle wesentliche Grundlagen für die Integration der Windenergie geschaffen. Im Jahr 2030 soll die Windenergie mehr als 25 % des Strombedarfs in Europa zur Verfügung stellen [1].

Dieser hohe Anteil der Windenergieerzeugung stellt eine enorme Herausforderung für die zuverlässige und sichere Integration der Windenergie in die Versorgungsnetze dar. Folglich erhöhen sich die Notwendigkeiten, Windparks wie konventionelle Kraftwerke bezüglich Planbarkeit und Netzverträglichkeit zu steuern, um eine zuverlässige und sichere Integration der Windenergie zu gewährleisten. Die länderspezifischen Regelungen und Anforderungen bezüglich Energiemarkt und Stromnetzen sind Randbedingungen, die bei der Entwicklung der Anlagentechnik und der Werkzeuge zur Planung, Überwachung und Steuerung Berücksichtigung finden müssen.

Der Begriff „Kraftwerkseigenschaften für Windparks“ deutet an, dass Windenergieerzeugung kontrollierbar und zuverlässig entsprechend den Systemanforderungen sein muss und Windenergieanlagen das elektrische Netz bei Störungen stützen müssen. Diese Fähigkeiten basieren auf der Steuerung der Wirk- und Blindleistung der Windparks sowie dem Verhalten bei Netzstörungen wie dem der Fault-Ride-Through [2] Capability Verhalten, eine Fähigkeit, mit der Windkraftanlagen kurzzeitige Spannungszusammenbrüche überstehen können und somit zur Netzstabilität beitragen.

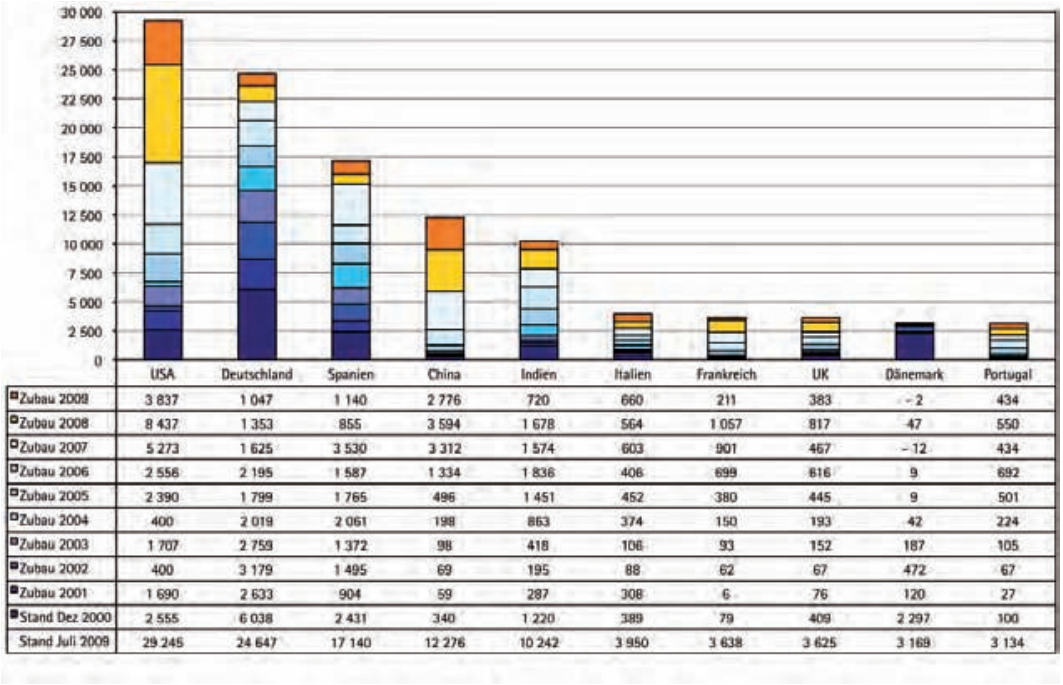
Status der Netzintegration

Eines der größten Hindernisse für die weitere Entwicklung der Windenergietechnologie ist die begrenzte Kapazität der Übertragungsnetze. Der weiträumige Ausgleich der Windenergieeinspeisung durch den Energietransport über weite Strecken verringert große Fluktuationen in erheblichem Ausmaß [3]. Dieses erfordert einen effizienten und nachhaltigen Ausbau und eine Verstärkung des Europäischen Übertragungsnetzes und besonders der Kuppelstellen in Verbindung mit einer detaillierten Planung und einer frühzeitigen Erkennung der Netzengpässe auf Europäischer Ebene.

Die zukünftige zuverlässige und ökonomische Netzplanung und ein sicherer Netzbetrieb erfordern zudem eine zuverlässige Überwachung, ein besseres Verständnis und eine präzise Voraussagbarkeit des jeweiligen Netzzustandes. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit für verbesserte Überwachungs-, Simulations- und Vorhersagewerkzeuge gekoppelt mit dynamischer Analyse und Bewertung des Europäischen Verbundsystems.

Der Ausbau der Windenergienutzung in Europa ist in den einzelnen Ländern sehr unterschiedlich. So weist die installierte Leistung in Deutschland und Spanien zweistellige Gigawattgrößen auf, gefolgt von Italien, Frankreich, Großbritannien, Dänemark und Portugal.

Weltweit sind heute ca. 130.000 MW Windleistung installiert und die Zuwachsraten sind enorm. In einigen Ländern deckt die Windenergieerzeugung teilweise schon mehr als die Hälfte der gesamten Last (Dänemark, Spanien). Die Herausforderungen an ein elektrisches Energieversorgungssystem mit sehr hohem Windenergieanteil sind



	USA	Deutschland	Spanien	China	Indien	Italien	Frankreich	UK	Dänemark	Portugal
Zubau 2008	3 837	1 047	1 140	2 776	720	660	211	383	- 2	434
Zubau 2008	8 437	1 353	855	3 594	1 678	564	1 057	817	47	550
Zubau 2007	5 273	1 625	3 530	3 312	1 574	603	901	467	- 12	434
Zubau 2006	2 556	2 195	1 587	1 334	1 836	406	699	816	9	692
Zubau 2005	2 390	1 799	1 765	496	1 451	452	380	445	9	501
Zubau 2004	400	2 019	2 061	198	863	374	150	193	42	224
Zubau 2003	1 707	2 759	1 372	98	418	106	93	152	187	105
Zubau 2002	400	3 179	1 495	69	195	88	62	67	472	67
Zubau 2001	1 690	2 633	904	59	287	308	6	76	120	27
Stand Dez 2000	2 555	6 038	2 431	340	1 220	389	79	409	2 297	100
Stand Juli 2009	29 245	24 647	17 140	12 276	10 242	3 950	3 638	3 625	3 169	3 134

Tabelle 1
Weltweit installierte Windleistung.
Grafik: Fraunhofer IWES

- die Variabilität der Windenergieeinspeisung,
- der Prognosefehler bei der Windeinspeisung,
- das elektrische Netz zur Aufnahme und zum Transport von Windenergie.

Der Status Quo der Netzintegration in diesen Ländern besagt, dass das Netz die Energie von den heute existierenden Anlagen weitgehend aufnehmen und transportieren kann. Die Aus - lastung der Netze gerät in einigen Ländern jedoch zunehmend an die Kapazitätsgrenzen. Um die Anforderungen an die Netzintegration in den verschiedenen Ländern vergleichbar zu machen, reicht es nicht aus, die installierte Windleistung als Messgröße anzusetzen. Der Einfluss der Windenergieeinspeisung auf den Netzbetrieb ist vielmehr abhängig von diesen Faktoren:

- dem Anteil der Windleistung im Netz (% min, % avg, % max)
- der Variabilität der Last
- der Flexibilität des konventionellen Kraftwerksparks
- den Möglichkeiten zur Erhöhung der Flexibilität von Erzeugung und Last
- der Struktur des Netzes (Windstandorte – Lastzentren)

Der Grad der Durchdringung kann an der Energie oder an der Leistung gemessen werden.

	Last			Inter-connection	Windleistung					
					2007	Höchste untersucht		Höchste Durchdringung		
Region/ Fallstudie	Peak MW	Min MW	TWh/a	MW	MW	MW	TWh/a	%	%	%
								Spitzen-last	Ver-brauch	(min Last + interconn)
West-Dänemark real	3700	1300	21	2830	2380		5,00	65%	24%	58%
Dänemark 2025	7200	2600	38	5190/6790	3125	6500	20,20	90%	53%	83%/69%
Irland 2020	9600	3500	54	1000	900	6000	19,00	63%	35%	178%
Portugal	8800	4560	49,2	1000	2150	5100	12,80	58%	26%	92%
UK	76000	24	427	2000	2389	38000	115,00	50%	27%	146%
Deutschland 2015	77955	41000	552,3	10000	22247	36000	77,20	46%	14%	71%
Spanien 2011	53400	21500	246,2	2400	15145	17500		33%	19%	73%
Schweden	26000	13000	140	9730	788	8000	20,00	31%	14%	35%

Tabelle 2
Durchdringung der Windenergie in Ländern Europas.

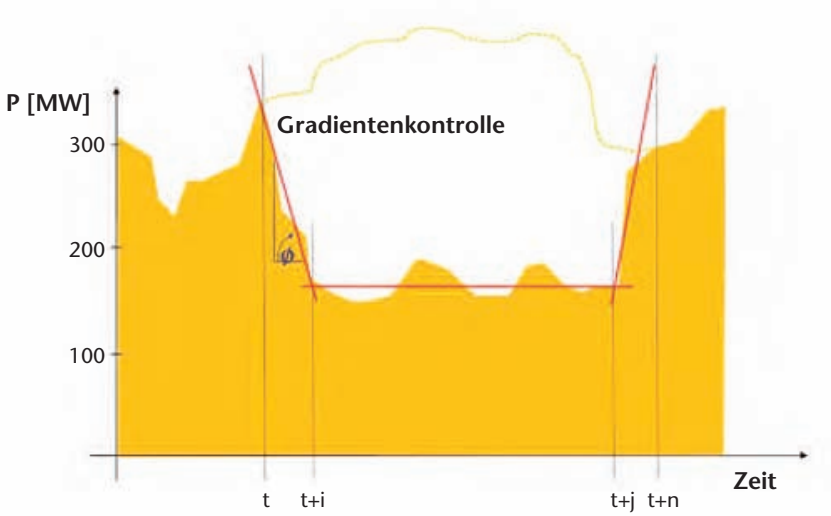


Abbildung 1
Wirkleistungsregelung – Gradientenkontrolle mit dem WCMS.
Grafik Fraunhofer IWES

Im IEA Wind Annex 25 [4] wurde die Durchdringung auch an der Minimallast und der Netzkapazität gemessen. Diese Betrachtung spiegelt die Herausforderungen bei hohen Windeinspeisungen zu Schwachlastzeiten wider. Weiter zeigt es die Besonderheiten von Inselsystemen gegenüber gut vernetzten Gebieten.

Die *Tabelle 2* zeigt die aktuelle und zu erwartende Durchdringung der Windenergie in einigen Ländern Europas. So wird in Deutschland ein Anteil an der Spitzenlast von 14 % und an der Minimallast von 71 % in 2015 erwartet. Bei dieser hohen Durchdringung überschreitet die Windleistung in naher Zukunft in vielen Ländern die Last in erheblichem Ausmaß. Daher ist es erforderlich, die erzeugte Windenergie über weite Strecken zu transportieren um einen Austausch zu ermöglichen. Eine zentrale Aufgabe von Forschung und Industrie ist dabei zukünftige Netzplanungswerkzeuge für den Entwurf einer nachhaltigen, leistungsfähigen, Europäischen Netzstruktur zu entwickeln. Insbesondere gilt es, die neuen transnationalen Offshore-Anschlüsse und ein Offshore-Supergrid zu gestalten.

Zukünftige Herausforderungen

Durch die Zusammenfassung mehrerer großer Offshore-Windparks sowie weiterer verteilter Windanlagengruppen zu Windpark Clustern [5] erschließen sich neue Möglichkeiten zur optimierten Einbindung dargebotsabhängiger Erzeugung in elektrische Versorgungssysteme. Das am Fraunhofer IWES entwickelte Windpark-Cluster-Management System (WCMS) hat die Aufgabe, die geografisch verteilten Windparks zum Zwecke einer optimalen Netzbetriebsführung und der Minimierung des Reserve- und Regelleistungsbedarfs zusammenzufassen und als einzelnes Großkraftwerk mit Einspeisung in mehrere Höchstspannungsknoten abzubilden und zu steuern. Mit Hilfe neuer Betriebsführungskonzepte bezüglich Wirk- und Blindleistungsregelung können auch größere Windleistungen in Versorgungssysteme integriert werden.

Grundsätzlich ergeben sich aufgrund der Anlagentopologie folgende zu betrachtende Systemebenen:

- einzelne Windenergieanlage (WEA)
- einzelner Windpark (WP)
- geografische, netztopologische und regelungstechnische Zusammenfassung mehrerer Windparks zu einem Windpark-Cluster (WPC)

Für moderne Windparks und mit entsprechenden Windpark-Controllern sind die folgenden Regelungs- und Betriebsführungsstrategien bereits Stand der Technik bzw. realisierbar:

- Einspeisung von Blindleistung nach Sollwertvorgabe
- Maximalwertbegrenzung nach Sollwertvorgabe

- Einhalten maximaler Gradienten nach Sollwertvorgabe
- Leistungsbegrenzung bei Überfrequenz

Mit den genannten Möglichkeiten sind ebenfalls erweiterte Strategien realisierbar:

- Fahrplanvorgabe (zeitvariable Vorgabe von Maximalwerten)
- Spannungsregelung im Hoch- /Höchstspannungsnetz
- schnelle Spannungsregelung im Mittelspannungsnetz
- Bereitstellung von Regelleistung

Auf Grundlage dieser Möglichkeiten lassen sich zukünftige Regelungs- und Betriebsführungsstrategien für Windparks ableiten:

- Blindleistungseinspeisung
- Erzeugungsmanagement
- Fahrplanvorgabe
- Spannungsregelung auf Hoch- und Höchstspannungsebene
- Bereitstellung von Reserveleistung
- Fähigkeit zur Primärregelung

Literatur

[1] Strategic Research Agenda (SRA) from 2008 to 2030; European Wind Energy Technology Platform, Brüssel, Juli 2008

[2] dena Netzstudie I

[3] Wilhelm Winter; European Wind Integration Study (EWIS); Tagungsband 14. Kasseler Symposium Energiesystemtechnik; Kassel; 2009

[4] Hannele Holttinen; Impacts of large amounts of wind power on design and operation of wind power systems; Tagungsband 14. Kasseler Symposium Energiesystemtechnik; Kassel; 2009

[5] Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Integration großer Offshore-Windparks in elektrische Versorgungssysteme“; Fraunhofer IWES; Kassel; 2009

Netzferne Stromversorgung und weltweite Elektrifizierung

Fraunhofer IWES
Dr. Philipp Strauß
pstrauss@iset.uni-kassel.de
Markus Landau
mlandau@iset.uni-kassel.de
Michel Vandenbergh
mvandenbergh@iset.uni-kassel.de

Fraunhofer ISE
Georg Bopp
georg.bopp@ise.fraunhofer.de
Brisa Ortiz
brisa.ortiz@ise.fraunhofer.de
Dr. Matthias Vetter
matthias.vetter@ise.fraunhofer.de

Alliance for Rural Electrification
Guido Glania
g.glania@ruralelec.org

SMA Solar Technology AG
Michael Wollny
michael.wollny@sma.de

Einleitung

Die Elektrifizierung netzferner ländlicher Regionen spielt eine Schlüsselrolle für die Grundversorgung, insbesondere für die wirtschaftliche Entwicklung. Je nach lokalen Rahmenbedingungen eignen sich unterschiedliche technische Anlagenkonzepte und Geschäftsmodelle für eine nachhaltige Bereitstellung einer zuverlässigen und kostengünstigen Stromversorgung. Vom kleinen Solar Home System über Hybridsysteme mit Photovoltaik, Biomasse, Wind- und Wasserkraft bis hin zu Multi-Megawatt-Inselnetzen, die in Verbundnetzstrukturen integrierbar sind, werden von FVEE-Mitgliedsinstituten gemeinsam mit Industrieunternehmen technische Lösungen entwickelt, Systeme und Komponenten getestet sowie in der Praxis erprobt.

Darüber hinaus werden neue Finanzierungs- und Geschäftsmodelle vorgeschlagen, die Anreize für Investitionen, den nachhaltigen Betrieb und ggf. Erweiterung der Systeme unterstützen sollen. Vorteile ergeben sich durch die Verwendung unterschiedlicher erneuerbarer Energiequellen, die durch die geeignete Systemtechnik in sehr vielen Fällen konkurrenzfähig zu herkömmlichen Dieselstationen oder zur konventionellen Netzerweiterung sind.

Solar-Home Systeme (SHS)

Ein einfaches Solar Home System (SHS) zur Basiselektrifizierung besteht aus den Komponenten Solargenerator, Batterie und Laderegler sowie den direkt angeschlossenen Gleichspannungsverbrauchern. Mit Hilfe eines optionalen Wechselrichters können auch Wechselstromverbraucher versorgt werden *(Abbildung 1)*.

Mit solchen Systemen werden Energiesparleuchten, zunehmend LED Leuchten, sowie teilweise Radio, Fernseher und Kühlschränke versorgt. Der Laderegler des SHS verbindet das Solarmodul (15..150 Wp) mit der Batterie und den Stromverbrauchern. Er schützt die Batterie vor Überladung und Tiefentladung. Als Speicher werden fast ausschließlich Bleibatterien mit Flüssigelektrolyt, der in wenigen Systemen in Gel oder Flies gebunden ist, mit einer Speicherkapazität von 3 bis 5 Tagen eingesetzt. An alle

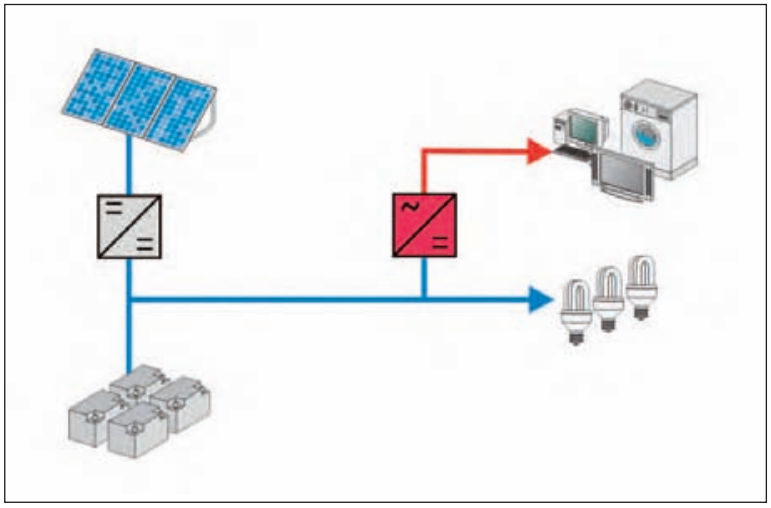


Abbildung 1
Blockschaltbild eines Solar-Home-Systems mit Wechselrichter
(Quelle: SMA)

Komponenten werden hohe Anforderungen – bezüglich Wirkungsgrad, Zuverlässigkeit und einfache Bedienbarkeit gestellt. Deshalb entwickelt und prüft das Fraunhofer ISE SHS-Komponenten im Labor.

Weltweit laufen derzeit große Programme zur massiven Verbreitung von SHS, wie z. B. in Argentinien, Bangladesch, Bolivien, China, Indien, Marokko oder Südafrika. Die Möglichkeit, mit SHS weit verstreut siedelnde Haushalte dezentral, einfach und eigenständig mit Strom zu versorgen, wird als besonderer Vorteil dieser Technik angesehen. Im Gegensatz zu zentralen Anlagen können diese Systeme im Besitz der Endnutzer sein. Aber auch wenn das System durch ein lokales Stromversorgungsunternehmen (engl.: RESCO – Rural Energy Supply Company) betrieben wird und nicht in das Eigentum des Nutzers übergeht, besteht für den Nutzer immer ein direkter Zusammenhang zwischen seinem persönlichen Verbrauch und dem Zustand des Systems. Dies vereinfacht den Koordinationsaufwand gegenüber Konzepten mit zentraler Versorgung.

In Ecuador werden PV-Systeme beispielsweise durch den Staat mit Hilfe eines Fonds zur ländlichen Elektrifizierung (FERUM) gefördert. Jedes Jahr können sich hier neue Projekte um diese Förderung bewerben. Die PV-Systeme zur Basiselektrifizierung bestehen aus einem 100 W_p-Solargenerator, einer 105 Ah-Batterie zur Versorgung von Gleichstrom-Verbrauchern (: drei Sparlampen, einem Radio und einem s/w-Fernsehgerät). Darüber hinaus werden seit 2007/2008 PV-Systeme mit Wechselrichtern in zwei Größenklassen bis zu 200 Wp und über 200 Wp gefördert. Mittlerweile werden Systeme bis zu 800 Wp bei den Endkunden installiert.

Die Förderung beträgt 3.200 US$ bzw. 3.500 US$ pro Haushalt. Abhängig vom Bedarf der Bewerber bzw. Endnutzer werden Größe und Konfiguration der einzelnen Systeme festgelegt. Da einige Kommunen schwer zu erreichen sind, berücksichtigt die Förderung auch die Transportkosten.

Eine Kostenreduktion wurde durch die Standardisierung von Komponenten erreicht. Ein wichtiger Erfolg des PV-Projektes in Ecuador ist das lokale Betreibermodell, in dem die technische Ausbildung durch RESCOS und die Finanzierung eine wichtige Rolle spielen. Die Endnutzer sind zur monatlichen Zahlung verpflichtet. Im Rahmen des EU-Projektes DOSBE [1a,b] war das Fraunhofer ISE in die Entwicklung dieses Betreibermodells involviert.

Hybridsysteme

Die Versorgung von elektrischen Verbrauchern an netzfernen Standorten stellt dann eine Herausforderung dar, wenn diese ganzjährig und kontinuierlich sichergestellt werden muss. Insbesondere saisonale Schwankungen des Energieangebotes von Sonne, Wind und Wasser führen dazu, dass Versorgungslösungen, die ausschließlich auf eine Energiequelle aufbauen, sehr hohe Investitionen für Stromspeicher erfordern.

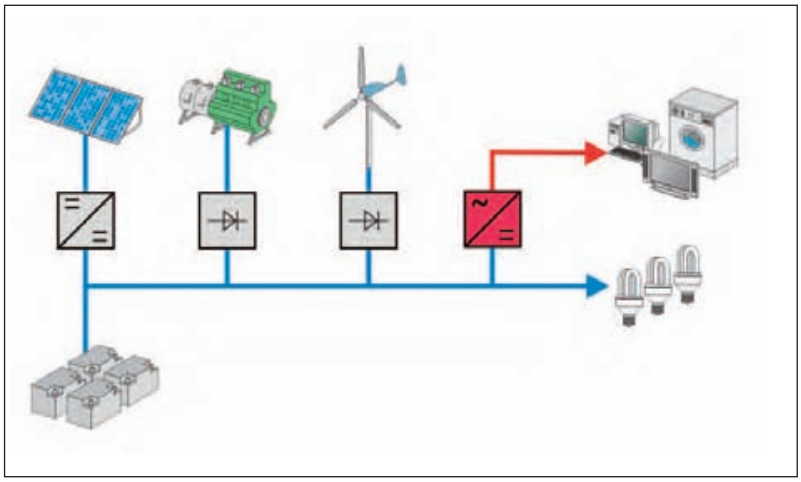


Abbildung 2
Hybrid-System mit Gleichstrom-Wechselstrom-Kopplung
(Quelle: SMA)

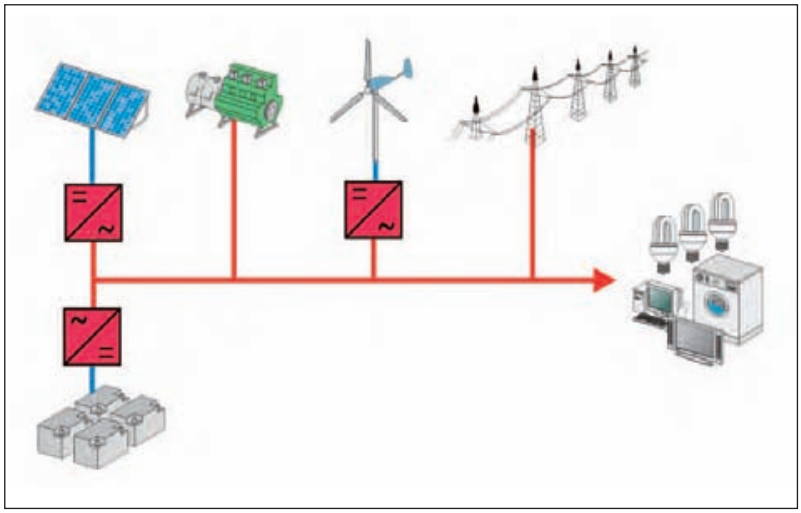


Abbildung 3
Hybridsystem mit Wechselstrom-Kopplung
(Quelle SMA)

Systeme mit unterschiedlichen Stromquellen werden Hybridsysteme genannt. Weit verbreitete Kombinationen sind PV-Diesel- oder Wind-Diesel-Systeme. Auch Kombinationen aus Photovoltaikgeneratoren, Windkraftanlagen und Dieselaggregaten sind gebräuchlich.

Hybridsysteme können als Gleichstrom (DC)-Systeme, gemischte Gleichstrom-Wechselstrom (DC/AC)-Systeme oder reine Wechselstrom (AC)-Systeme aufgebaut werden.
DC-/AC-Systeme kommen häufig in Bauernhöfen oder anderen kleineren Betrieben zum Einsatz. Bei der Anlagenauslegung sollte der Planer berücksichtigen, dass die Wechselrichterleistung der gesamten maximalen Verbraucherleistung entsprechen muss. **DC-/AC-Mischsysteme** eignen sich besonders, um Wechselstromlasten des mittleren Leistungsbereichs mit Gleichstromgeneratoren zu koppeln. Gleichzeitig kann so die Batterie auf der DC-Seite über ein Verbrennungsaggregat aufgeladen werden *(Abbildung 2)*.

Reine **Wechselstrom-Hybridsysteme** lassen sich flexibel mit modularen Komponenten aufbauen *(Abbildung 3)*. Je nach Anwendung und verfügbaren Energiequellen können erneuerbare und konventionelle Energieträger eingebunden werden. Sind die Stromrichter und Verbrennungsaggregate dafür vorgesehen, ist auch ein Anschluss an das öffentliche Netz möglich.

Abbildung 4
Wind-Photovoltaik-Diesel-Hybridsystem in Spanien
(Quelle: Fraunhofer IWES)

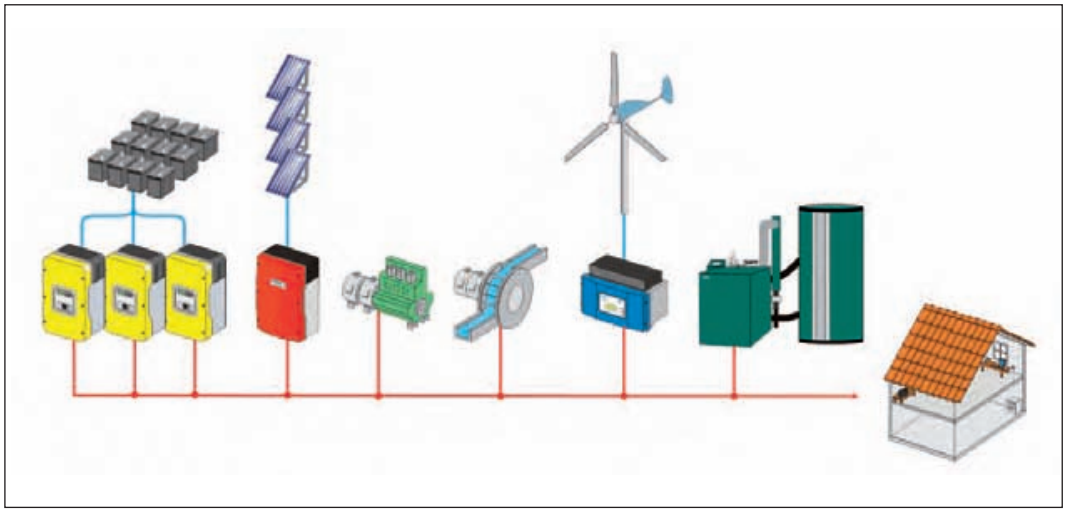


Abbildung 5
Baukastensystem für wechselstromgekoppelte Hybridsysteme
(Quelle: SMA)

Das System lässt sich durch zusätzliche Komponenten oder Stromerzeuger einfach erweitern, um einem steigenden Energiebedarf gerecht zu werden. Ein seriengefertigtes Baukastensystem für wechselstromgekoppelte Hybridsysteme wurde erstmalig im europäischen Projekt „Hybrix“ [2] von BP-Solar, SMA und Fraunhofer IWES aufgebaut und getestet *(Abbildung 4)*. Es ist mittlerweile weltweit im Einsatz. Solche Systeme können zur Versorgung aller üblichen elektrischen Wechselstromgeräte genutzt werden.

Aus ökonomischer Sicht sind Inselsysteme mit Batteriespeicher im Kilowatt-Leistungsbereich deutlich günstiger als Anlagen, bei denen ausschließlich Dieselgeneratoren eingesetzt werden. Auch größere Hybrid-Systeme, bei denen zusätzlich ein Dieselgenerator, zur Vermeidung langfristiger Batteriespeicherung eingesetzt wird, können zu geringeren Kosten betrieben werden, als Stationen, die ausschließlich mit Dieselaggregaten arbeiten. Gründe hierfür sind der hohe Wartungsaufwand, die kurze Lebensdauer und der sehr schlechte Teillastwirkungsgrad von Dieselgeneratoren.

In Stromversorgungssystemen abseits der Verbundnetze spielen vor allem die Erweiterbarkeit und die Art der Ankopplung der einzelnen Komponenten eine wichtige Rolle. Durch die Wechselstromkopplung mit parallel schaltbaren Batteriewechselrichtern (Sunny Island™), kann beinahe jede Art von Energieerzeugern sowie alle handelsüblichen Verbraucher an das Hybridsystem angeschlossen werden. *Abbildung 5* zeigt typische Generatoren, die sich unter Einsatz der vom Fraunhofer IWES patentierten SELFsync®-Regelungstechnik problemlos kombinieren lassen. Das System ist auf der Verbraucherseite und auf der Erzeugerseite einfach zu erweitern.

Inselnetze und Mikronetze

Für mehrere verteilte Häuser oder Lasten außerhalb des Netzverbundes können Inselnetze eingesetzt werden. Die Vernetzung nivelliert das Lastprofil und erhöht die Versorgungssicherheit. Inselnetze können von einem zentralen Kraftwerk, einem Hybridsystem oder von mehreren dezentralen Stromquellen gespeist werden. Im Netzverbund hat sich der Anteil verbrauchernaher Eigenerzeugungsanlagen, wie z. B. Photovoltaikanlagen und Blockheizkraftwerken in den letzten Jahrzehnten deutlich erhöht. Diese Technik lässt sich auch für Inselnetze einsetzen. Es ist allerdings zu beachten, dass bei hohen dezentralen Leistungsanteilen die Netzstabilität nicht gefährdet wird.

Anreize für Investitionen und zum nachhaltigen Betrieb der verteilten Erzeuger im Inselnetz könnten über Einspeisevergütungen geschaffen werden. Finanzstärkere Netzteilnehmer könnten so helfen, das Gesamtsystem zu finanzieren und würden sich dementsprechend auch um den reibungslosen Betrieb kümmern.

Prinzipiell könnte für solche Systeme, ähnlich wie beim deutschen Erneuerbaren Energie Gesetz (EEG), ein gemeinschaftlich getragener

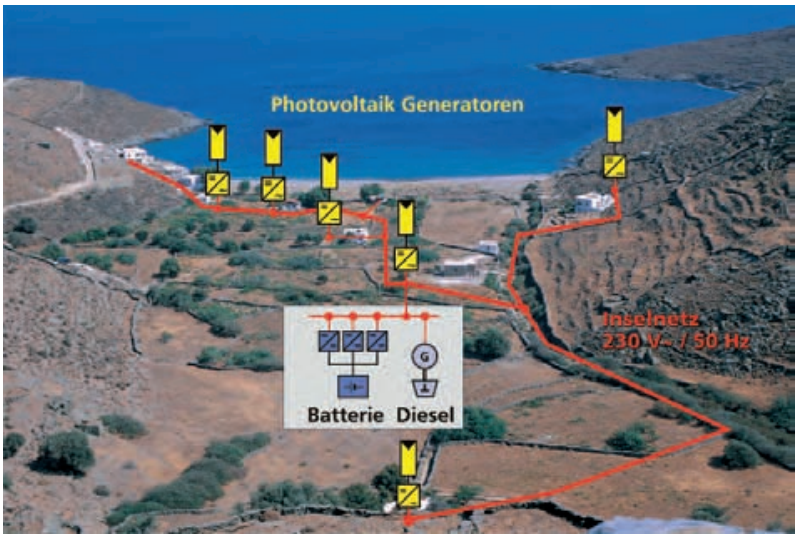


Abbildung 6
Inselnetz mit verteilter Einspeisung aus PV-Anlagen
Quelle: Fraunhofer IWES

Einspeisetarif verwendet werden. Hierzu hat die Arbeitsgruppe „WG 4 – Rural Electrification" der europäischen PV-Technologieplattform einen Vorschlag erarbeitet [3]. Die technische Machbarkeit solcher Inselsysteme wurde auf der griechischen Insel Kythnos gezeigt *(Abbildung 6)*. Hier gibt es Analogien zur Eigenerzeugung im Verbundnetz, jedoch ist noch Forschungsbedarf für die organisatorische Umsetzung vorhanden.

Inselnetze können unter Verwendung geeigneter d. h. netzkompatibler Regelungstechnik untereinander oder mit Verbundnetzen verknüpft werden. Dann besteht auch die Möglichkeit temporär sogenannte Mikronetze zu bilden, die beim Ausfall des übergeordneten Netzes gegebenenfalls unterbrechungsfrei weiter betrieben werden können *(Abbildung 7)*.

Es wurde nachgewiesen [5], dass sich eine, – für den Nutzer unmerkliche – Variation der Netzfrequenz als Steuerungsgröße in Inselnetzen, eignet, um überschüssigen Solarstrom in fairer Weise abzuregeln *(Abbildung 8)*. Eine kontinuier-

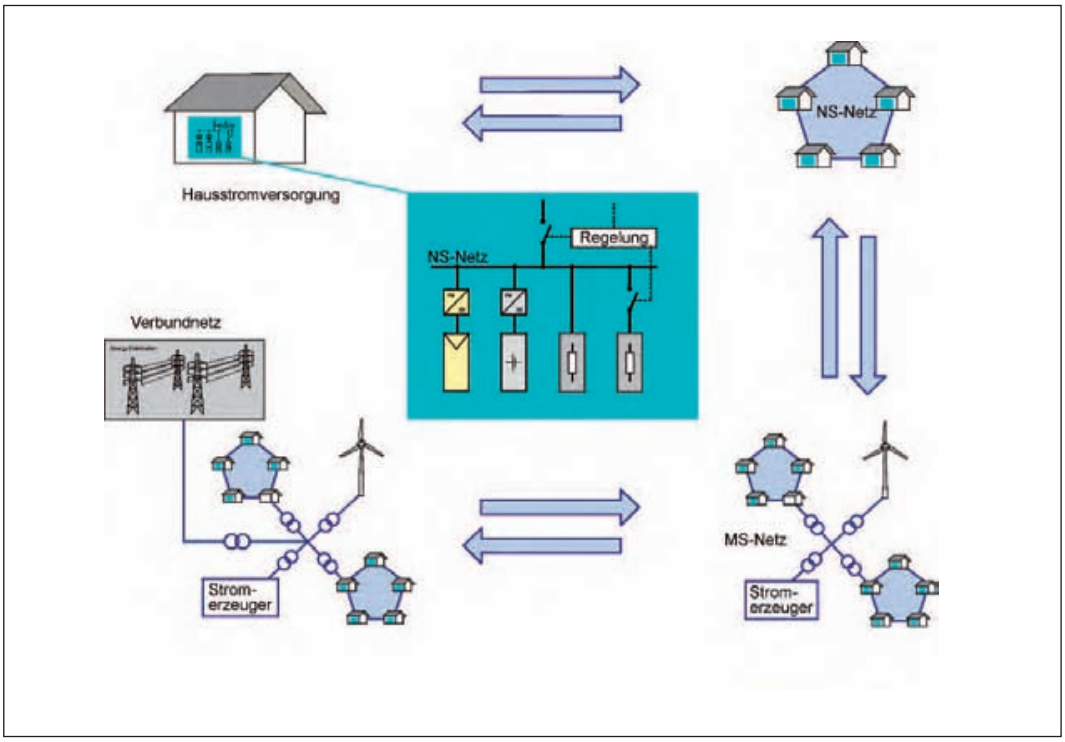


Abbildung 7
Bidirektionale Übergänge von der Hausversorgung über Inselnetze zum Netzverbund [4]

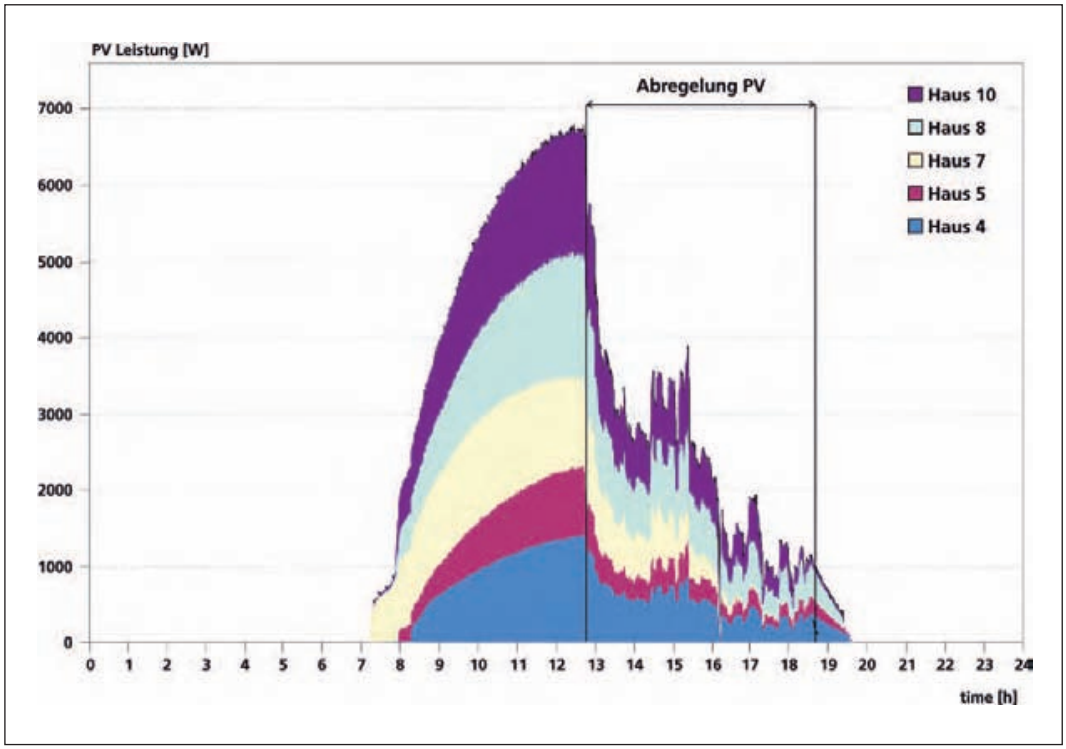


Abbildung 8
Abregelung der dezentral einspeisenden PV-Generatoren. Die Leistungsanteile der PV-Generatoren vor und während der Abregelung [5]

liche dezentrale Abregelung von PV-Anlagen wird notwendig, wenn die Batterien voll geladen sind und die Stromnachfrage relativ gering ist. Dabei ist es wichtig, dass die Photovoltaikanlagen der Häuser in fairer Weise heruntergeregelt werden. Dies geschieht automatisch über eine Erhöhung der Netzfrequenz. In *Abbildung 9* ist dies für die Häuser auf der Insel Kythnos dargestellt.

Finanzierung und Geschäftsmodelle

Das international bekannteste Finanzierungsmodell für SHS sind Mikrokredite, die auch armen ländlichen Bevölkerungsschichten den Erwerb von kleinen Anlagen ermöglichen. Finanzielle Spielräume zur Bedienung des Kredits ergeben sich durch die wegfallenden Kosten für Kerosin. Das Geschäftsmodell funktioniert in seiner Grundform ohne staatliche Subventionen. Es gilt weithin als sehr erfolgreich und wird zunehmend durch entwicklungspolitische Institutionen unterstützt.

Als international anerkannte Pionierin gilt die Grameen Shakti Bank in Bangladesch. Sie bietet den Kunden nicht nur eine Finanzierung, sondern gewährleistet durch zertifizierte und eigens ausgebildete Vertragsunternehmen auch eine fachgerechte Installation und Wartung. Grameen Shakti hat bislang mehr als 200.000 Systeme finanziert.

Für Solar Home Systeme sind zudem Leasingverträge (z. B. SolarLuz), das „Fee for Service Modell“ (z. B. das marokkanische PERG-Programm, basierend auf einer Public Private Partnership) und Subventionen auf die Anschaffungskosten gängige Geschäftsmodelle [6].

Aufgrund des sehr geringen Einkommensniveaus sind Mininetze im ländlichen Bereich der Entwicklungsländer in der Regel nicht ökonomisch selbsttragend. Um unabhängigen Elektrizitätserzeugern Gewinne zu ermöglichen, ist eine Subvention auf die Investitionskosten kombiniert mit Betriebskosten deckenden Tarifen für den Endkunden eine weit verbreitete Finanzierungsform [7].

Dieses Modell wird z. B. sehr stark von afrikanischen „Rural Electrification Agencies“ eingesetzt. In der Praxis hat sich jedoch oft gezeigt, dass durch die geringe Zahlungsfähigkeit oder geringe Zahlungswilligkeit der Nutzer, der

Zahlungsfluss dieser Projekte hinter den Erwartungen zurück bleibt. Der Zeitpunkt, an dem Batterien ersetzt werden müssen, gilt daher allgemein als kritisch für die Nachhaltigkeit dieses Finanzierungsmodells.

In Anlehnung an die Einspeisevergütung hat das Joint Research Centre der Europäischen Kommission (JRC) in Zusammenarbeit mit der EU PV-Technologie-Plattform ein speziell auf Mininetze zugeschnittenes Vergütungskonzept entwickelt, den „Regulated Purchase Tariff" (RPT), der unabhängigen Elektrizitätserzeugern sowohl einen starken Anreiz zum ununterbrochenen Betrieb des Systems als auch finanzielle Spielräume geben soll, die erforderlichen Reparaturen und den Ersatz von Systemkomponenten vorzunehmen. In Abhängigkeit der tatsächlichen Elektrizitätserzeugung soll hierbei eine staatlich garantierte Vergütung gewährt werden, die zusammen mit dem Nutzerentgelt den nachhaltigen Betrieb des Systems gewährleisten soll. Eine Erprobung dieses Modells in der Praxis steht noch aus. Der „RPT entspricht der Entwicklungspolitik der ergebnisorientierten Hilfe (engl. Output Based Aid), die zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Zusammenfassung

Für die Elektrifizierung netzferner Regionen wurden im gesamten Leistungsspektrum von kleiner 50 Watt bis in den Multi-Megawatt-Bereich Systeme entwickelt, die mit erneuerbaren Energien gespeist werden.

Sehr kleine Systeme, die sich im Privateigentum der Stromkonsumenten befinden, werden heute schon weltweit nachhaltig betrieben. Hierfür gibt es auch geeignete Finanzierungs- und Betreibermodelle.

Eine noch größere Herausforderung bilden sogenannte Mininetze, die technisch erfolgreich als autarke Netze betrieben werden können, die aber deutlich höhere Anforderungen an den organisatorischen Rahmen stellen. Der Vorteil der Vernetzung besteht sowohl in der Vergleichmäßigung von Erzeugung und Last, als auch in der höheren Energieausbeute, weil weniger Energie abgeregelt oder gespeichert werden muss.

Ziel ist es für dichter besiedelte Gebiete Stromversorgungsnetze aufzubauen, die eine hohe Versorgungssicherheit und Netzqualität haben und ggf. später im Netzverbund arbeiten können. Die Herausforderung besteht nun darin, Finanzierungs- und Förderungsmodelle zu entwickeln, sowie Anreize für Investoren und den nachhaltigen Betrieb der Stromversorgungssysteme zu schaffen, die unter den jeweiligen regionalen soziokulturellen Rahmenbedingungen einsetzbar sind. Der „Renewable Energy Regulated Purchase Tariff" [3] ist, insbesondere für Inselnetze, ein mögliches Modell, das seine Eignung allerdings noch in der Praxis nachweisen muss.

Die Entwicklung netzkompatibler Inselsysteme, die in Deutschland seit den neunziger Jahren vorangetrieben wurde, hat außerdem einen technologischen Vorsprung für die nächste Generation der Netztechnik im Verbundnetz ermöglicht. Auch die systematische Einführung moderner Informations- und Kommunikationstechnik auf der Verteilnetzebene, welche unter dem Stichwort „Smart Grids" vorangetrieben wird, profitiert von diesen Vorarbeiten. Ein Beispiel hierfür sind die sogenannten Mikronetze, die als Verteilnetze im Netzverbund arbeiten können und, im Fall eines übergeordneten Ausfalls (Blackout), die Versorgung als autarke Inselnetze sicherstellen können.

Danksagung

Die Untersuchungen, die diesem Artikel zugrun - de liegen, wurden gefördert vom wären nicht möglich gewesen ohne die Projektförderungen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und der Europäischen Kommission.

Literaturliste

[1a] DOSBE – Development of Electricity Service Operators for Poverty Alleviation in Ecuador and Peru. Intelligent Energy – Europe (IEE). Project: EIE/06/255/SI2.447982. http://www.dosbe.org.

[1b] B. Ortiz, M. A. Egido-Aquilera, P. Arranz, P. Jaquin: Support and Development of Local Electricity Service Providers in Ecuador and Peru, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany, 2009

[2] HYBRIX Project: „Plug and Play Technology for Hybrid Systems“, co-financed by the European Commission under the Contract No CT1999-13-05-1.

[3] M. Moner-Girona (Editor): A new Scheme for the Promotion of Renewable Energies in Developing Countries: The Renewable Energy Regulated Purchase Tariff; European Comission JRC Institute fpr Environment and Sustainability, Ispra (VA), Italy, 2008.

[4] Ph. Strauß, A. Engler: AC Coupled PV Hybrid Systems and Micro Grids – State of the Art and Future Trends; 3rd World Con - ference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.-18. May 2003.

[5] Ph. Strauß: Einfluss des Frequenzverhaltens kleiner Generatoren und Lasten auf Stromnetze unter besonderer Berücksichtigung großer Netzstörungen, Dissertation Universität Kassel, T&S Publishers, Kassel, 2009. ISBN 978-3-00-029475-4.

[6] S. Gölz, G. Bopp, E. Preissler: SHS-Modelle im Praxisvergleich, Projekterfahrungen mit Kredit-Modellen und dem Betreiber-Ansatz, 20. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Staffelstein, 2005

[7] A. Graillot, X. Vallve, G. Bopp, et al: Cost Efficient and Reliable Rural Electrification Schemes for South Mediterranean Countries Based on Multi User Solar Hybrid Micro-Grids (Cresmed), 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany, 2009

Strategische Forschungsziele

- Künftige Mobilität auf Basis erneuerbarer Energien
- Integration der erneuerbaren Energien in die Strom- und Wärmeversorgung
- Neue strategische Herausforderungen an Forschung und Entwicklung für erneuerbare Energien
- Forschen für globale Märkte – Strategische Ansätze des BMU
- Spannungsfeld von Technologietransfer und Schutz geistigen Eigentums
- Innovationsstrukturen in Deutschland für technologische Spitzenstellung – das Solarvalley Mitteldeutschland
- Podiumsdiskussion: Sind die deutsche Forschung für erneuerbare Energien und die deutsche Wirtschaft fit für den internationalen Wettbewerb?

Künftige Mobilität auf Basis erneuerbarer Energien

Fraunhofer ISE
Dr. Günther Ebert
guenther.ebert@ise.fraunhofer.de

ZSW
Prof. Werner Tillmetz
werner.tillmetz@zsw-bw.de
Dr. Michael Specht
michael.specht@zsw-bw.de

Fraunhofer IWES
Dr. Michael Sterner
msterner@iset.uni-kassel.de
Dr. Bernd Krautkremer
bkrautkremer@iset.uni-kassel.de

DLR
Dr. Thomas Pregger
thomas.pregger@dlr.de

Jülich
Dr. Wilhelm Kuckshinrichs
w.kuckshinrichs@fz-juelich.de

Der Verkehr ist in Deutschland für etwa 20 % der gesamten CO_2-Emissionen verantwortlich. Dabei ist der Individualverkehr, also PKW- und LKW-Verkehr, mit etwa 80 % der Hauptverursacher. Der Durchschnittsverbrauch an fossilen Treibstoffen pro Fahrzeug ist zwar in den letzten Jahren gesunken, weltweit steigt aber die Gesamtzahl der Fahrzeuge von derzeit etwa 900 Millionen weiter an und damit auch der Verbrauch an fossilen Energien und die CO_2-Emissionen. Hohe CO_2-Emissionen, die unsere Umwelt akut bedrohen und die Endlichkeit der Vorräte an fossilen Energien wie Öl und Gas sind deshalb neben der zunehmenden Luftverschmutzung in Ballungsgebieten auch die Hauptgründe dafür, dass derzeit bei fast allen großen Fahrzeugherstellern intensiv an alternativen Fahrzeugkonzepten gearbeitet wird.

Die Bundesregierung hat das Problem erkannt und unterstützt mit ihrem „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität" die Entwicklung von Technologien für **batterie**- und **brennstoffzellen**gestützte Elektrofahrzeuge. Beiden gemeinsam ist der extrem energieeffiziente Elektroantrieb sowie die Möglichkeit, die Energieversorgung auf erneuerbare Quellen wie Sonnen- oder Windenergie zurückzuführen. Ein weiteres erfolgversprechendes Konzept ist die Versorgung auf Basis von **Biotreibstoffen**. Das ökologische Potenzial und die Eigenheiten aller drei Fahrzeugkonzepte sollen im folgenden kurz beschrieben und gegenübergestellt werden *(Abbildung 1)*.

Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)

Rein elektrisch angetriebene Fahrzeuge besitzen im Gegensatz zu den herkömmlichen Verbrennungsmotoren, die mit Benzin- oder Diesel angetrieben werden, einen Elektromotor, der seine Energie von einer an Bord befindlichen Batterie bezieht. Sie wird regelmäßig am stationären Stromnetz geladen. Elektroantriebe gehen sehr effizient mit Energie um. Benzin- oder Dieselfahrzeuge setzen den größten Teil der im Treibstoff chemisch gebundenen Energie in Wärme um. Elektroantriebe dagegen nutzen die in der Batterie gespeicherte elektrische Energie fast vollständig für den Antrieb. Sie benötigen daher nur etwa ¼ der Energie, die ein Verbrennungsmotorantrieb braucht *(Abbildung 2)*.

Allerdings gibt es heute noch einen entscheidenden Nachteil: Batterien können nur eine relativ kleine Menge Energie pro Volumen oder Gewicht speichern, die im Vergleich zu den bekannten flüssigen Treibstoffen mehr als eine Größenordnung geringer ist. Das führt dazu,

Abbildung 1
Fahrzeugkonzepte auf Basis von erneuerbaren Energien

Antrieb	(Mobiler) Energie-Träger	Energie-Quelle
Elektromotor	Batterie	Strom aus EE
Elektromotor	Brennstoffzelle	H_2 aus EE
Verbrennungsmotor	Biotreibstoffe	Biomasse

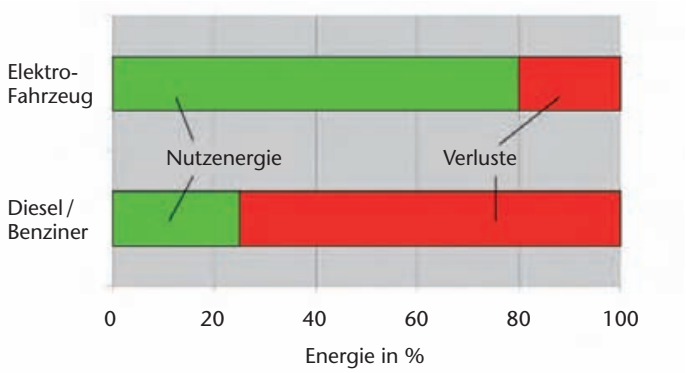


Abbildung 2
Elektrofahrzeuge sind sehr effizient.

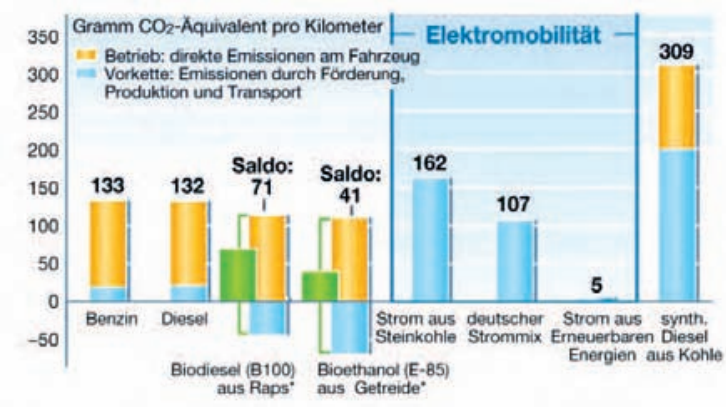


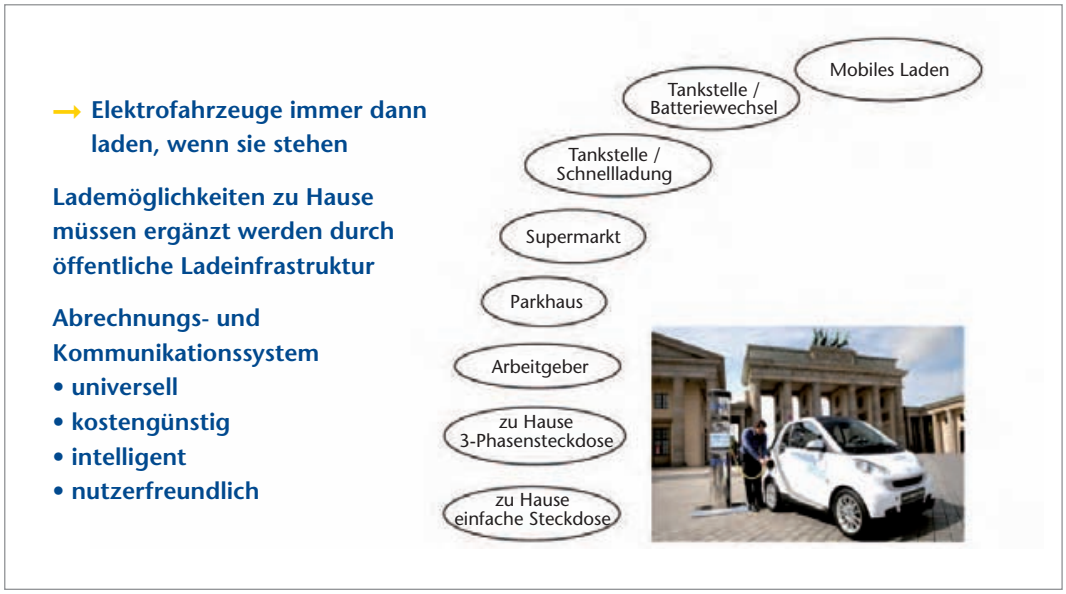
Abbildung 3
Elektrofahrzeuge brauchen Strom aus Erneuerbaren.
(Quelle BMU)

dass heute die Reichweiten solcher Elektrofahrzeuge noch auf etwa 150 – 200 km begrenzt sind. Dennoch sind solche Fahrzeuge für viele Anwendungen ausreichend, da die meisten unserer täglichen Fahrten relativ kurz sind; etwa die Fahrt zur Arbeitsstätte oder zum Supermarkt. Sie sind deshalb ideal als Pendler-, Zweit- oder Stadtfahrzeug.

Für Fahrzeugnutzer, die hin und wieder auch mal weitere Strecken zurücklegen müssen, eignen sich sogenannte Plug-In-Hybride (PHEV) besser. Diese Fahrzeuge besitzen neben einem Elektroantrieb noch eine Verbrennungsmaschine, so dass diese bei leerer Batterie zugeschaltet werden kann. Im Extremfall fungiert der Verbrennungsmotor nur als Antrieb für die Stromerzeugung zur Ladung der Batterie. Dies ermöglicht eine besonders einfache Fahrzeugkonstruktion ohne mechanische Verbindung zwischen Verbrennungsmotor und Rädern. Solche Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge sind ideal für die Übergangsphase vom Verbrenner zum Elektrofahrzeug. Sie ermöglichen einen hohen elektrischen Fahranteil, nehmen aber den Nutzern die Angst vorm Stehenbleiben und haben als Universalfahrzeug ein großes Marktpotenzial. Elektrofahrzeuge weisen praktisch keine lokalen CO_2-Emissionen auf. Für die Gesamtbilanz ist aber die Herkunft des Stromes entscheidend. Kommt er aus Kohlekraftwerken, die ebenfalls einen hohen Anteil der Primärenergie in Wärme statt in Strom verwandeln, liegen die Emissionen mit etwa 160 g CO_2-Äquivalent für einen Kleinwagen höher als bei Benzin- und Dieselfahrzeugen. In diesem Fall wäre also nichts gewonnen.
Beim heutigen deutschen Strommix sieht es schon etwas besser aus. Hier ist knapp unter 110 g bereits eine moderate Verbesserung gegenüber herkömmlichen Fahrzeugen erzielbar.

Richtig Sinn machen Elektrofahrzeuge aber erst, wenn der Strom weitgehend aus erneuerbaren Energien kommt. Dann sind vernachlässigbar kleine CO_2-Emissionen erzielbar. Deshalb muss die Einführung von Elektrofahrzeugen untrennbar mit der raschen Steigerung des Anteils von erneuerbaren Energien an unserer Stromerzeugung verbunden werden *(Abbildung 3)*.

Abbildung 4
Elektrofahrzeuge benötigen Infrastruktur.



Dieser Anteil liegt heute bei etwa 16 %. Er soll gemäß der Leitstudie der Bundesregierung im Jahr 2020 bei 30 %, im Jahr 2030 bei 50 % und im Jahr 2050 bereits bei 80 % liegen. Da die Umstellung der Fahrzeugflotte auf Elektroantrieb sich in ähnlichen Zeiträumen abspielen dürfte, wäre mittelfristig auch die Versorgung der Elektrofahrzeuge mit erneuerbaren Energien gewährleistet.

Elektrofahrzeuge beziehen ihre Energie primär aus dem Stromnetz. Dem sparsamen Elektroantrieb ist es zu verdanken, dass dies die Stromversorgung ohne Probleme bewältigen kann. Wenn gemäß dem Ziel der Bundesregierung im Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen fahren, würde sich unser gesamter Stromverbrauch nur um weniger als 0,5 % erhöhen und selbst wenn in einigen Jahrzehnten alle etwa 45 Millionen Fahrzeuge elektrisch fahren sollten, würde der Stromverbrauch nur um etwa 20 – 25 % ansteigen. Allerdings können zeitliche Konzentrationen von Ladevorgängen zu unerwünschten Lastspitzen führen. Wenn alle Fahrzeugbesitzer ihre Fahrzeuge am Abend laden würden, könnte es bei hoher Durchdringung mit Elektrofahrzeugen durchaus zu Netzüberlastungen kommen. Diese Effekte können aber mit moderner Steuerungstechnik und flexiblen Tarifen, die nach Einführung der elektronischen Zähler möglich werden, vermieden werden: Denn batteriegestützte Elektrofahrzeuge müssen zwar regelmäßig geladen werden, beim Ladezeitpunkt besteht aber eine gewisse Flexibilität. Dies ermöglicht es vielfach, die Fahrzeuge dann zu laden, wenn die Erzeugungs- und Verbrauchssituation dafür günstig ist *(Abbildung 4)*.

Ungleichgewichte in Energieerzeugung und -verbrauch lassen sich durch Wahl des Ladezeitpunkts in gewissen Grenzen ausgleichen. Neben diesen zeitlichen Lastverschiebungen ist es sogar möglich, elektrische Energie aus den Fahrzeugbatterien ins Stromnetz zurückzuspeisen und so Defizite, beispielsweise durch hohe Nachfrage oder momentane Flaute bei Windkraftwerken, auszugleichen oder zumindest zu mildern. Möglich wird dies, weil die Fahrzeuge im Mittel mehr als 90 % der Zeit stehen und so mit dem Netz verbunden sein können. Bei hohem Anteil von Elektrofahrzeugen kann so ein gewaltiger Speicher für elektrische Energie realisiert werden, der die Fluktuationen von Wind- und Sonnenenergie wirksam dämpfen kann und so den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien noch mehr erleichtert.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Neben der Weiterentwicklung des Fahrzeug-Leichtbaus, der für Elektrofahrzeuge besonders wichtig ist, muss vor allem die Weiterentwicklung der Batterietechnologie vorangetrieben werden. Speichervermögen, Lebensdauer, Kosten, Sicherheit und Ladezeiten sind allesamt noch nicht wirklich ausreichend für eine breite Akzeptanz der Elektrofahrzeuge.

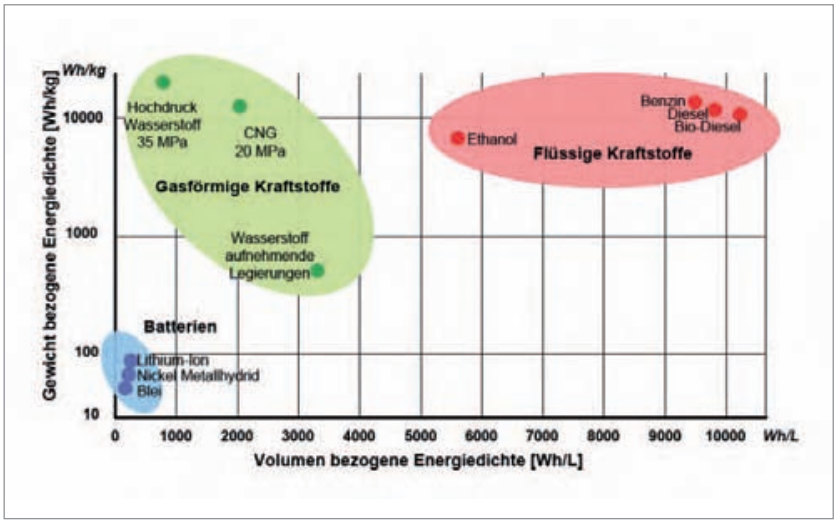


Abbildung 5
Energiedichten verschiedener Speichermedien
(Quelle: Toyota)

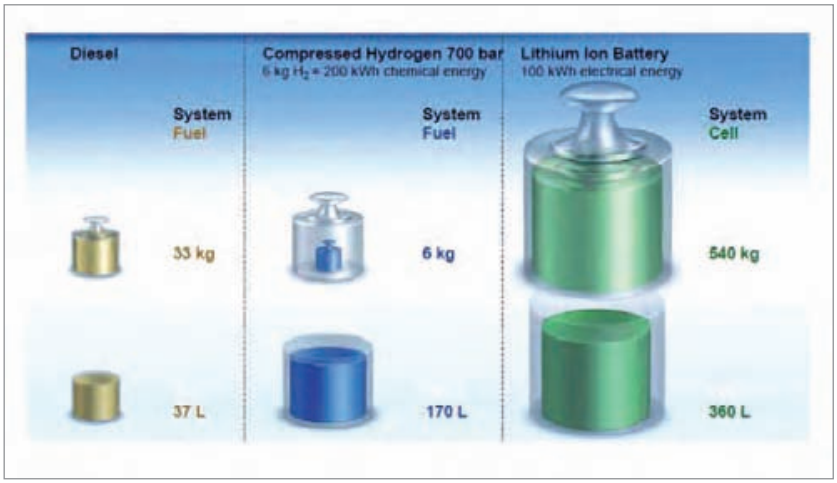


Abbildung 6
Vergleich von Diesel-, Wasserstoff- und Batteriefahrzeugen: Volumen und Gewicht für eine Reichweite von 500 km

Darüber hinaus erfordert die Einführung von Elektrofahrzeugen den Aufbau einer Ladeinfrastruktur. Gerade weil Elektrofahrzeuge nur eine begrenzte Reichweite haben, müssen sie möglichst immer, wenn sie stehen, auch mit dem Netz verbunden werden können. Neben den häuslichen Steckdosen, die für eine Grundversorgung verwendet werden können, müssen zukünftig Lademöglichkeiten beim Arbeitgeber, in Supermärkten, in Parkhäusern und auch auf öffentlichen Parkplätzen entstehen. Einzelne Ladesäulen, die heute bereits an handselektierten Plätzen installiert sind, sind dafür nicht ausreichend und vor allem zu teuer, um sie in ausreichender Dichte zu realisieren. Erforderlich ist ein universelles, preiswertes, nutzerfreundliches Lade- und Abrechnungsverfahren, das dem Verbraucher die Angst vor der Suche nach der Lademöglichkeit nimmt.

Brennstoffzellen-Fahrzeuge

Eine ganze Reihe großer Fahrzeughersteller arbeitet seit vielen Jahren an Elektrofahrzeugen mit Brennstoffzellen als Energiequelle. Es gibt weltweit viel Praxiserfahrung mit PKW, LKW und Bussen. Derzeit fahren Fahrzeuge der zweiten und dritten Generation auf der Straße. Beispielsweise plant Daimler im Jahr 2010 eine Weiterentwicklung seiner Brennstoffzellen-Technologie in Form der B-Klasse im Versuchsbetrieb. Für 2015 ist dann die breite Markteinführung geplant. Gegenüber den Vorgängerversionen konnten Verbesserungen bei der Lebensdauer des Brennstoffzellen-Stacks (> 2000 h), der Leistung (von 65 kW auf 100 kW), der Reichweite (von 160 km auf über 400 km), der Zuverlässigkeit und der Kaltstartfähigkeit erzielt werden.

Brennstoffzellen-Fahrzeuge besitzen ebenfalls einen Elektroantrieb, der seine Energie aus einer Brennstoffzelle bezieht. Die Brennstoffzelle wird mit reinem Wasserstoff, der meist in komprimierter Form in einem Tank mitgeführt wird, betrieben. Ähnlich wie bei batterieelektrischen Fahrzeugen entstehen im Fahrbetrieb praktisch keine CO_2-Emissionen. Von größerer Bedeutung für die Umwelt sind aber die Gesamtemissionen des Systems. Diese hängen davon ab wie der Wasserstoff erzeugt und aufbereitet wurde. Die heute übliche Gewinnung aus Erdgas führt zu ähnlich hohen Emissionswerten wie bei batterieelektrischen Fahrzeugen, die mit dem derzeitigen deutschen Strommix betrieben werden, sind also nur moderat günstiger als bei herkömmlichen Diesel- und Benzin-Fahrzeugen. Erst durch die Erzeugung des Wasserstoffs mittels erneuerbarer Energien, beispielsweise durch Elektrolyse, können die CO_2-Emissionen auf sehr niedrige Werte reduziert werden *(Abbildung 9)*. Die Voraussetzung ist aber auch hier, dass der Strom aus erneuerbaren Energien verfügbar ist.

Ein Unterschied zu batterielektrischen Fahrzeugen besteht dennoch: Im Vergleich zu batterieelektrischen Fahrzeugen beträgt der Energieverlust über die gesamte Kette von der Strombereitstellung für die Elektrolyse bis zur Beladung des Drucktanks ein Mehrfaches woraus sich zukünftig ein entscheidender Kostennachteil für Brennstoffzellen-Fahrzeuge ergeben könnte.

Durch die höhere Energiedichte *(Abbildung 5)* von Wasserstoff lassen sich durchaus akzeptable Reichweiten erzielen, die 400 km und mehr betragen können *(Abbildung 6)*. Damit ist der Einsatz von Brennstoffzellen auch für Omnibusse und LKW interessant. Aber auch bei der Brennstoffzellen-Technologie bleibt noch viel Raum für Verbesserungen. Allen voran sind es die derzeit noch zu hohen Kosten, die durch weiteren technischen Fortschritt aber vor allem durch den Start der Massenproduktion deutlich gesenkt werden dürften *(Abbildung 7)*.

Des weiteren sind Verbesserungen bei Lebensdauer, Robustheit und der Speicherfähigkeit von Wasserstoff wünschenswert. Als weitere große Hürde für eine Markteinführung von Brennstoffzellen-Fahrzeugen gilt die fehlende Wasserstoff-Versorgungsstruktur. Für die Akzeptanz beim Verbraucher ist ein ausreichend dichtes Netz von Wasserstoff-Tankstellen Grundvoraussetzung was aber mit hohen Investitionen verbunden ist. Dennoch hat sich kürzlich ein Industriekonsortium bestehend aus Automobilherstellern und Energieversorgern bereit erklärt bis 2015 ein dichtes Tankstellennetz aufzubauen.

Biotreibstoffe

Neben Batterie- und Brennstoffzellen-Fahrzeugen weist auch der Betrieb von Fahrzeugen mit Biotreibstoffen hohes ökologisches Potenzial auf. Biotreibstoffe sind entweder ein Teil eines Kreislaufprozesses und die zu Grunde liegenden Pflanzen absorbieren in der Wachstumsphase ähnliche Mengen CO_2 wie sie beim Betrieb von Fahrzeugen emittiert werden oder sie werden aus ohnehin schon vorhandener Biomasse hergestellt. Die Spannbreite der CO_2-Emissionen reicht dabei von geringfügig bis erheblich

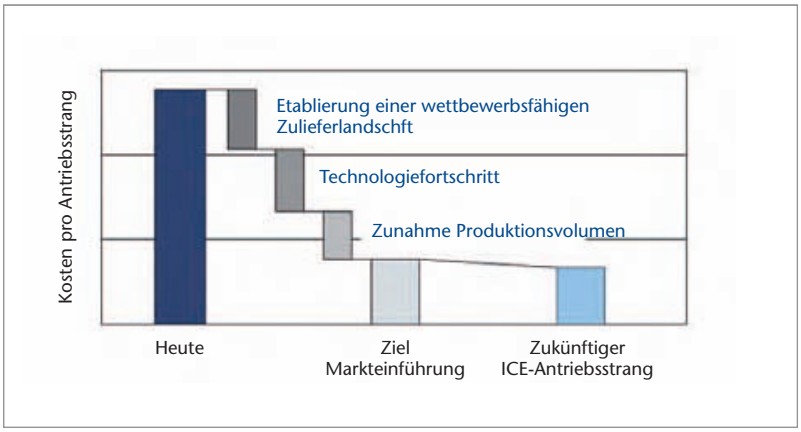


Abbildung 7
Kostenentwicklung für Brennstoffzellen-Fahrzeuge
(Quelle: Daimler)

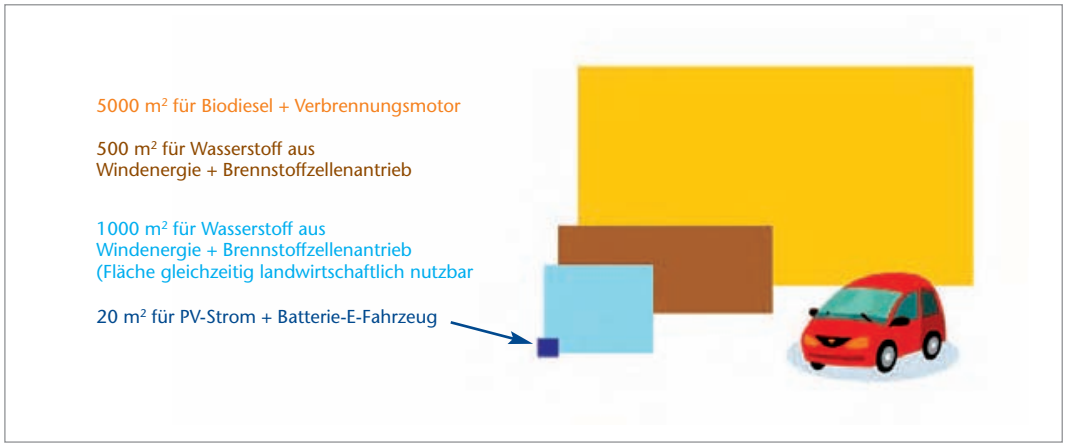


Abbildung 8
Flächenbedarf im Vergleich

gegenüber fossilen Treibstoffen und hängt sowohl vom jeweiligen Verfahren als auch von der individuellen Ausführung ab.

Biosprit der ersten Generation wie Biodiesel aus Raps oder Ethanol aus Zuckerrohr, bei dem nur bestimmte Pflanzenteil verwendet werden, gilt als eher moderat ökologisch wirksam. Im Unterschied dazu wird bei Biosprit der zweiten Generation die ganze Pflanze verwendet, wodurch eine erheblich höhere CO_2-Reduzierung erreichbar ist.

Biosprit findet heute in einigen Ländern vor allem als Beimischung zu Diesel bzw. in Form von Ethanol bereits breiten Einsatz. Weltweit werden dadurch allerdings nur etwa 2,4 % fossile Treibstoffe substituiert. Generell ist Biosprit eine begrenzte Ressource. Würde man das gesamte Flächenpotenzial in Deutschland von 3,2 Mio ha für den Anbau von Biosprit-Pflanzen nutzen, ließen sich maximal 20 % des heutigen Bedarfs an Treibstoffen decken.

Allerdings konkurrieren neben dem Individualverkehr auch die Luftfahrt, für die möglicherweise Biosprit die einzig praktikable Alternative zu fossilen Treibstoffen darstellt, sowie der stationäre Bereich mit Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen in dem Biosprit sogar noch vorteilhafter eingesetzt werden kann. So können beispielsweise aus 6 t Holz zwar 1 t Diesel entstehen, sie können aber auch 2 t Heizöl ersetzen. Die Verwendung des Biosprits sollte deshalb vorrangig dort stattfinden, wo seine Vorteile voll zum Tragen kommen. Ein solches Einsatzgebiet sind natürlich auch Plug-In-Hybridfahrzeuge oder Fahrzeuge, bei denen eine Elektrifizierung deutlich schwerer zu realisieren sein wird.

Nachteilig ist der hohe Flächenbedarf bei der Produktion von Biotreibstoffen im Vergleich zur Energieerzeugung aus Wind- oder Sonnenenergie. Für die Erzeugung des Jahresenergiebedarfs eines Kleinwagens, der mit Biosprit betrieben wird, werden etwa 5000 m² Ackerfläche benötigt. Für ein Elektrofahrzeug mit derselben Jahresfahrleistung reicht dafür schon das Dach eines Einfamilienhauses mit etwa 20 m² aus *(Abbildung 8)*.

Ein relativ neues Konzept baut auf der Erzeugung von Erdgassubstitut SNG auf. Wasserstoff, der mittels Elektrolyse aus Wind- oder Sonnenstrom erzeugt wurde, wird unter Zufuhr von CO_2 methanisiert (siehe *Abbildung 6* auf S. 118). Das Methan kann nun in den üblichen Erdgasleitungen räumlich einfach verteilt werden und neben der Nutzung zur lokalen Strom- bzw. Wärmeerzeugung auch für den Betrieb von Erdgasautos eingesetzt werden. Der Vorteil dieses Konzepts ist die Rückführung der Fahrzeugversorgung auf erneuerbaren Energien, die einfache Langzeitspeicherung, das Vorhandensein einer Verteilungs-Infrastruktur und die universelle Verwendbarkeit des Energieträgers Methan. Darüber hinaus lässt sich auch die Erzeugung von Methan aus Biomasse mit einbinden. Nachteilig sind allerdings die hohen Energieverluste in der Prozesskette.

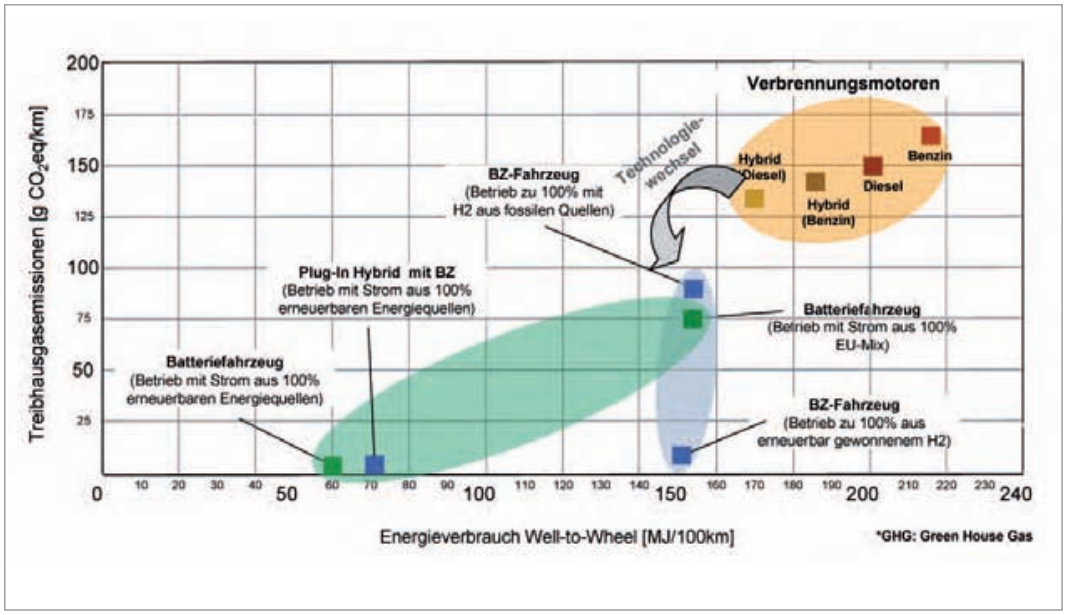


Abbildung 9
Well to Wheel-Bilanzen der verschiedenen Fahrzeugtypen zeigen deren Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen
(Quelle: Daimler)

Zusammenfassung

Es ist davon auszugehen, dass Fahrzeuge mit batterie- oder/und brennstoffzellengestützten Elektroantrieben auf Grund ihrer potenziellen ökologischen Vorteile in den nächsten Jahrzehnten unsere herkömmlichen, vorwiegend fossil angetriebenen Fahrzeuge im Individualverkehrsbereich sukzessive ablösen werden.

Voraussetzung dafür ist allerdings eine konsequente Fokussierung auf Forschung und Entwicklung, um die heute noch vorhandenen Schwachpunkte wie zu geringe Energiedichte, Lebensdauer, Sicherheit, Alltagstauglichkeit zu verbessern und zu hohe Kosten zu senken. Zudem muss rasch für den Aufbau einer entsprechenden Tank- bzw. Ladeinfrastruktur gesorgt werden.

Bei der Biosprit-Technologie sind es vor allen Dingen die CO_2-Emissionen bei der Herstellung, die reduziert werden müssen. Die heutigen Verfahren zur Herstellung von Biodiesel können da nur ein Anfang sein. Generell wird Biosprit eine sehr begrenzte Ressource bleiben und sollte deshalb vorwiegend in Nischen, für die es keine andere Lösung gibt, eingesetzt werden.

Seitens der Bundesregierung werden erfreulicherweise alle angesprochenen Bereiche mit Fördermitteln unterstützt. Die Aufgabe teilen sich dabei fünf Ministerien, die für Forschung und Entwicklung, Wirtschaft, Umwelt, Verkehr und Landwirtschaft zuständig sind.

Integration der erneuerbaren Energien in die Strom- und Wärmeversorgung

Fraunhofer IWES
Prof. Dr. Jürgen Schmid
jschmid@iset.uni-kassel.de
Uwe Krengel
ukrengel@iset.uni-kassel.de
Dr. Bernhard Lange
blange@iset.uni-kassel.de
Dr. David Nestle
dnestle@iset.uni-kassel.de
Dr. Kurt Rohrig
krohrig@iset.uni-kassel.de
Dr. Michael Sterner
msterner@iset.uni-kassel.de
Dr. Philipp Strauß
pstrauss@iset.uni-kassel.de

Dem heutigen globalen Primärenergiebedarf und seiner zu erwartenden Zunahme stehen mit den erneuerbaren Energien bekanntermaßen ausreichende Potenziale gegenüber *(Abbildung 1)*. Rein mengenmäßig könnten Sonne und Wind den Bedarf sogar jeweils allein decken, sie fluktuieren allerdings stark und stehen geographisch nicht überall ausreichend zur Verfügung. Die Aufgabe besteht also im Wesentlichen in der technischen und ökonomischen Erschließung der erneuerbaren Quellen sowie der Integration in die Versorgungsstrukturen und der Transformation der Energiesysteme.

Wo stehen die Erneuerbaren heute?

Die Photovoltaik hat zurzeit global einen Anteil von nur einem Promille, aber ihre Lernkurve zeigt einen Kostenrückgang um 20 % je Verdoppelung der installierten Leistung.
Der globale Anteil der Windenergie liegt schon bei rund 1,5 %. In den vergangenen Jahren hatte die Windenergie jährliche Zuwächse zwischen 30 und 40 %. Das wird in den nächsten Jahren zwar etwas geringer ausfallen, aber die Lernkurve hier zeigt einen Rückgang der Kosten um 10 % je Verdoppelung der installierten Leistung.

Für den Wirtschaftlichkeitsvergleich eignet sich besonders gut die Betrachtung der Kosten aufgetragen über der erzeugten Energie *(Abbildung 2)*. Dabei wird deutlich, dass alle Erneuerbaren konkurrenzfähig zu den konventionellen fossilen Energieträgern werden, wenn ihr Anteil etwa bei 20 % liegen wird. Das gilt für alle gleichermaßen, die Wirtschaftlichkeit ist also keine grundsätzliche, sondern nur eine zeitliche Frage.

Die alleinige Versorgung mit erneuerbaren Energien ist aufgrund der Fluktuationen von Wind und Sonne natürlich auf mehrere Säulen zu bauen. Dazu zählen z. B.

- Nutzung von in Biomasse gespeicherter Energie
- Maßnahmen zum Verbrauchsmanagement (Demand Side Management)

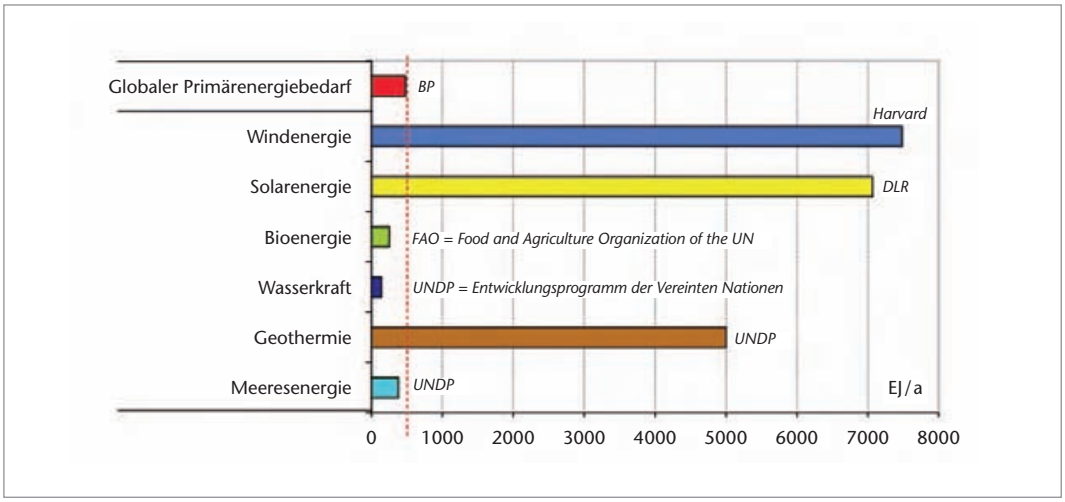


Abbildung 1
Technisches Potenzial erneuerbarer Energien weltweit

Die Quellen sind in der Grafik jeweils neben dem betreffenden Balken vermerkt.

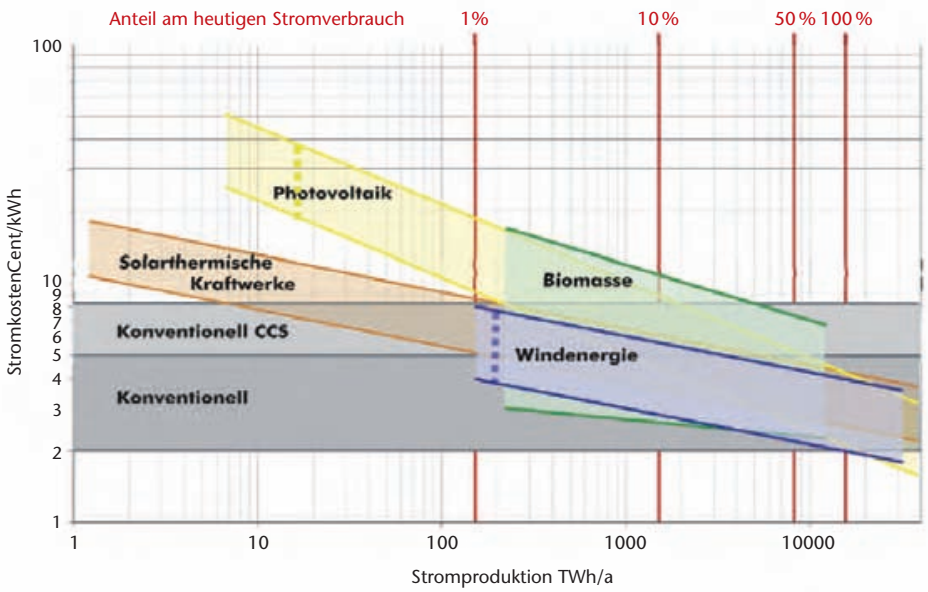


Abbildung 2
Entwicklungspotenzial der Kosten für Strom aus erneuerbaren Energien
(Quelle: Fraunhofer IWES 2007)

- geeignete Einbindung großer Pumpspeicher für den mittel- bis langfristigen Ausgleich
- neue Speicheransätze für die kurzzeitige Netzunterstützung, wie sie z. B. mit der Elektromobilität entstehen können.

Wie lässt sich die Effizienz unserer Energieversorgung deutlich steigern?

Bei der Stromerzeugung mit konventionellen Kraftwerken gehen zwei Drittel der Primärenergie als Verlustwärme verloren. Durch jede direkt aus erneuerbaren Energien erzeugte Kilowattstunde werden also drei Kilowattstunden auf der Primärseite der konventionellen Kraftwerke ersetzt *(Abbildung 3)*. Andererseits gilt es durch einen schnellen und weitreichenden Ausbau von Kraft-Wärme-Kopplung die thermischen Verluste für unsere Wärmebedürfnisse zu nutzen.

Ein weiterer wichtiger Baustein sind elektrisch betriebene Wärmepumpen. Diese erzeugen aus rund 75 Prozent Umweltwärme aus der Luft oder dem Erdboden und 25 Prozent Antriebsenergie Wärme zum Heizen und zur Warmwasserbereitung. Effizienz und Umweltbilanz der

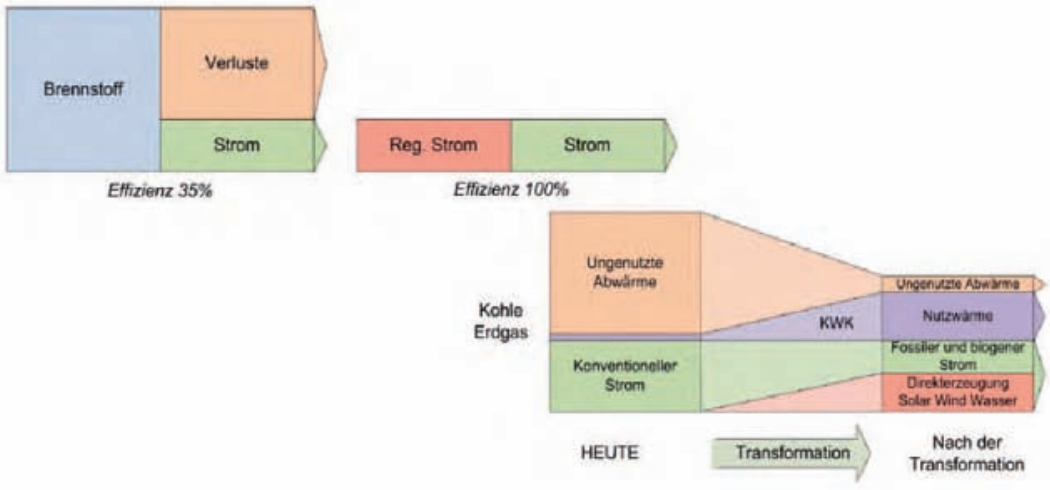


Abbildung 3
Effizienzsprung im Stromsektor durch zunehmende direkte Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

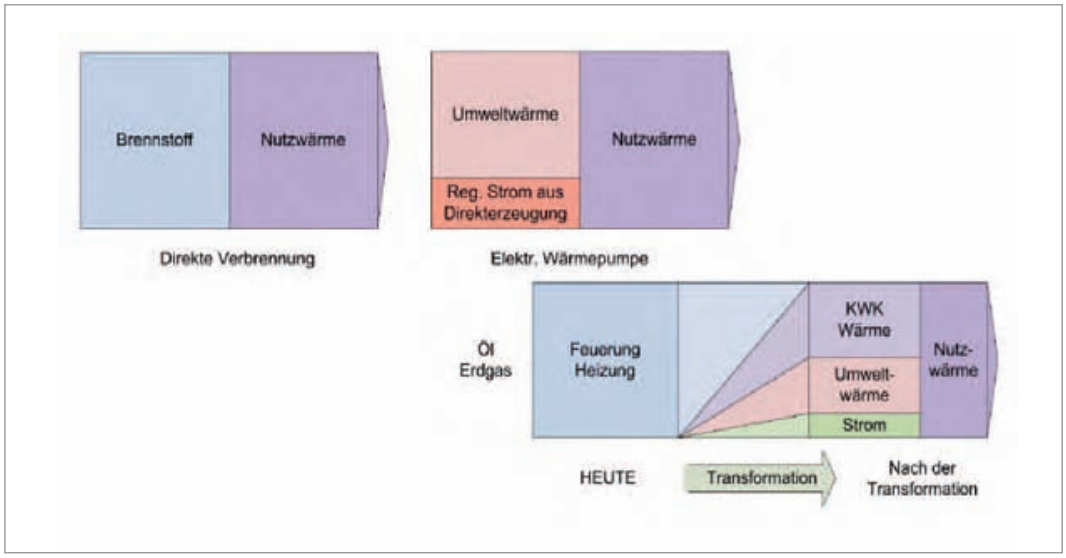


Abbildung 4
Effizienzsprung im Wärmesektor durch regenerative Wärmepumpen und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

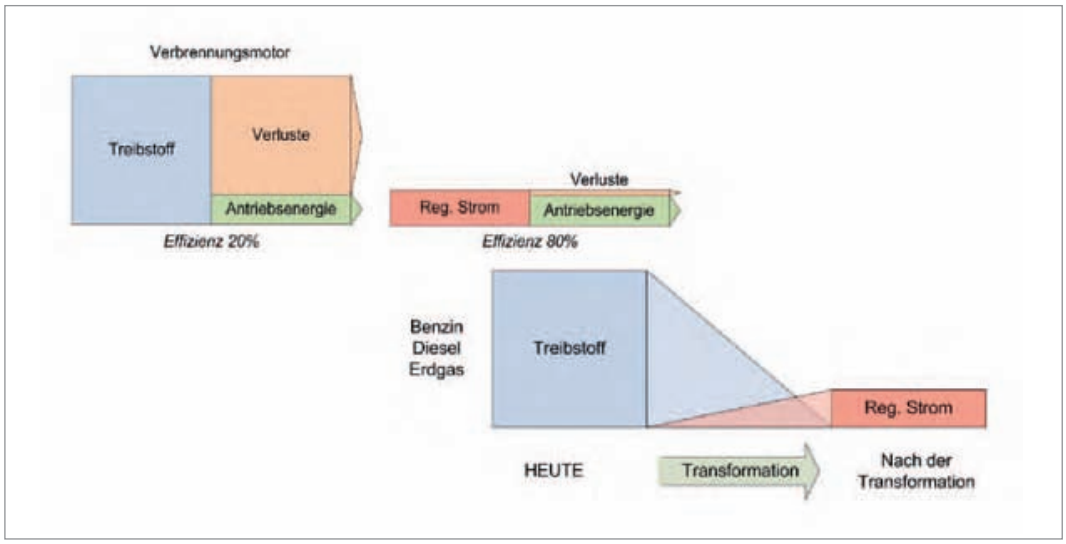


Abbildung 5
Effizienzsprung im Verkehrssektor durch Elektromobilität

Wärmepumpen fällt umso besser aus, je höher der erneuerbare Anteil des eingesetzten Stroms ist *(Abbildung 4)*.

Der dritte große Primärenergieanteil wird im Verkehrsbereich mit mittleren Wirkungsgraden von heute rund 20 % für unsere Mobilitätsbedürfnisse eingesetzt. Hier bietet die mit regenerativem Strom betriebene Elektromobilität die effizienteste Alternative *(Abbildung 5)*.

Transformation der Energiesysteme

Der Übergang vom heutigen Energiesystem zu einem nachhaltigen, emissionsfreien System muss so gestaltet werden, dass technologische Fehlentwicklungen vermieden und dass die Versorgungssicherheit auch während der Transformationsphase gewährleistet ist (no regret strategy). So zeichnet sich schon heute ab, dass mit zunehmenden Anteilen von erneuerbaren Energien aus Wind und Sonne im Strommix, die bisherige Aufteilung der Lastbänder (Grund-, Mittel- und Spitzenlast) verschwinden wird.

Mit zunehmendem Anteil fluktuierender Stromquellen muss für Europa ein neues, sehr leistungsfähiges Stromübertragungsnetz zur Verfügung stehen, das einerseits die bei der lokalen Erzeugung entstehenden Schwankungen großflächig ausgleicht (irgendwo bläst in Europa immer der Wind) und das andererseits die Einbindung der enormen Speicherkraftwerkskapazitäten – vor allem Norwegens – erlaubt.

Gelingt der Ausbau dieses transeuropäischen Supernetzes nicht rechtzeitig oder nicht vollständig, müssen im nationalen Rahmen sogenannte Residuallast-Kraftwerke diesen Ausgleich übernehmen. Im Gegensatz zu bisher eingesetzten Grund- bzw. Mittellastkraftwerken sind das schnell reagierende Gaskraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung und virtuell vernetzbare Kleinstsysteme wie Blockheizkraftwerke, Mikroturbinen und Brennstoffzellen. Elektrische Energiespeicher, wie sie oft vorgeschlagen werden, könnten im Prinzip diesen Ausgleich ebenfalls leisten, sind jedoch auf absehbare Zeit gegenüber starken Netzen bzw. Residuallast-Kraftwerken nicht konkurrenzfähig.

Heutige Großkraftwerke sind für den Fluktuationsausgleich ungeeignet, denn sie können den dafür erforderlichen großen Leistungsänderungen nicht schnell genug folgen. Geeignete Kraftwerkstypen sind dann: Gaskraftwerke und Kraft-Wärmekopplungsanlagen (Motor-Generatoren, Mikroturbinen, Brennstoffzellen), die über entsprechende Kommunikationseinrichtungen gesteuert werden können.

Mit dem Ausbau der Erdgas-basierten Kraftwerke und der Kraft-Wärme-Kopplung kann sofort begonnen werden. Der zunächst zunehmende Bedarf an fossilem Erdgas wird mittelfristig kompensiert durch den Wegfall des Bedarfs für Erdgas-Heizungen (bei Zunahme der Kraft-Wärme-Kopplung und der elektrischen Wärmepumpen). Langfristig wird der Erdgasbedarf durch dessen zunehmende Substitution mit nachhaltig erzeugtem Biomethan und mit Synthese-Methan aus elektrischen Überschüssen gegen Null gehen *(Abbildung 6)*. Diese Methaneinspeisung bedeutet auch, dass das künftige Erdgasnetz – genau wie das künftige elektrischen Netz – wechselnde Durchflussrichtungen verarbeiten können muss. Dafür sind neue Management-Strategien notwendig (smart grids). Der zur Zeit stattfindende Ausbau von Flüssiggas-Terminals sollte weiterhin forciert werden, um die Aufnahmefähigkeit von z. B. aus Windstrom-Überschüssen an besonders günstigen Standorten erzeugten Methan zu ermöglichen.

Für den Ausgleich der in Zukunft stark steigenden Schwankungen bei der Stromerzeugung aus Sonne und Wind stehen dann folgende Elemente zur Verfügung:

- Leistungsfähige Hochspannungs-Gleichstromübertragungsnetze in Deutschland und auch in Europa für die Aufnahme der an optimalen Standorten platzierten Stromquellen aus Sonne und Wind, für den großflächigen Horizontalausgleich von Leistungs-Schwankungen und für die Anbindung an die großen Speicherkraftwerkskapazitäten z. B. in Norwegen.
- Schnell reagierende, dezentrale Kraftwerke (vorzugsweise Kraft-Wärmekopplungs-

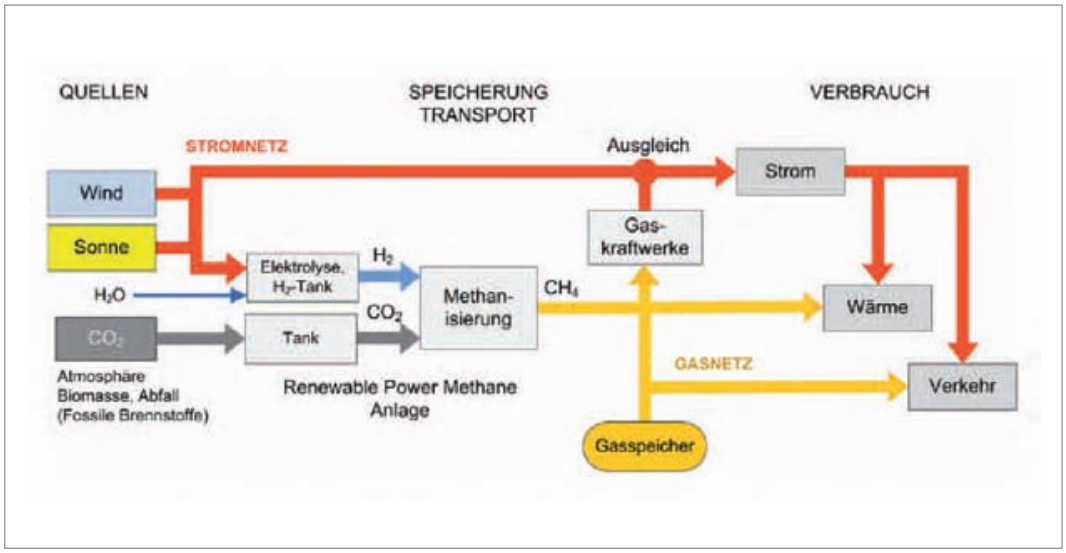


Abbildung 6
Umwandlung von Wind, Sonne und Biomasse in Erdgassubstitut (SNG) zur Speicherung Erneuerbarer und ihrer Verteilung über vorhandene Infrastruktur durch die Kopplung von Strom- und Gasnetz

(Quellen: Sterner, Fraunhofer IWES und Specht, ZSW)

Anlagen bzw. Gaskraftwerke), die über Erdgasnetze aus Biomasse- oder Abfallvergasungsanlagen mit CCS oder mit aus Stromüberschüssen erzeugtem erneuerbarem Methan versorgt werden.

- Interaktive Netze für Strom und Gas (smart grids) in Verbindung mit Last- und Einspeisemanagement (Kombikraftwerke).

Die Umweltverträglichkeit der elektrischen Wärmepumpen bzw. der Elektrofahrzeuge inklusive Bahn, Straßenbahn und Omnibussen verbessert sich mit zunehmendem Anteil der erneuerbaren Energien im Strommix.

Bei konsequenter Umsetzung der beschriebenen Strategie werden keine zusätzlichen Speicher zur Stabilisierung der elektrischen Netze erforderlich. Dies gilt allerdings nur für ein gesamteuropäisches Konzept. Eine enge Abstimmung zwischen allen europäischen Mitgliedsländern und die Koordination z. B. durch die Europäische Kommission ist daher Voraussetzung für eine erfolgreiche Implementierung.

Neue strategische Herausforderungen an Forschung und Entwicklung für erneuerbare Energien

Björn Klusmann
Bundesverband Erneuerbare Energie (BEE)
Reinhardtstr. 18
10117 Berlin
bjoern.klusmann@bee-ev.de

Ausgangssituation

Die erneuerbaren Energien haben in den letzten Jahren in allen Sektoren deutlich zugelegt. Das gilt insbesondere für den Stromsektor: Während vor 10 Jahren noch weniger als 5 Prozent des deutschen Stromverbrauches aus erneuerbaren Energien stammten, hat sich deren Anteil bis heute auf über 15 Prozent verdreifacht. 2008 haben sie bereits rund 93 Milliarden Kilowattstunden produziert.

Zu dieser Entwicklung hat in erster Linie das erfolgreiche und effiziente Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) beigetragen. Es hat zum einen private Investitionen in den Aufbau von Erneuerbarer Kraftwerksleistung ermöglicht und zum anderen starke Anreize für Technologieentwicklung gesetzt. Dabei gab es im Hinblick auf Erneuerbare eine äußerst produktive Verbindung zwischen dem starken Forschungsstandort Deutschland und der jungen aufstrebenden Branche.

Im **Wärmesektor** fehlt bisher ein ähnlich wirksames Instrument wie das EEG, daher ist die Entwicklung in diesem Bereich deutlich langsamer und weniger gleichmäßig verlaufen. Zwar legt das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz, das mit Jahresbeginn in Kraft getreten ist, erstmals verbindliche Anteile von erneuerbaren Energien für Neubauten fest. Das weitaus größere Segment des Gebäudebestandes wird aber bisher noch viel zu langsam auf mehr Energieeffizienz und erneuerbare Energie umgestellt. Im Wärmesektor hat sich der Anteil der Erneuerbaren daher im gleichen Zeitraum lediglich von 3,5 auf 7,4 Prozent verdoppelt. In absoluten Zahlen bedeutet das jedoch eine vergleichbare Größenordnung wie im Stromsektor. So wurden in Deutschland 2008 insgesamt rund 104 Mrd. Kilowattstunden erneuerbare Wärme erzeugt. Im **Verkehrssektor** verlief die Entwicklung unstet. Das ist der mangelnden Verlässlichkeit der politischen Rahmenbedingungen geschuldet. Zunächst setzte die rot-grüne Bundesregierung mit ihrer Kraftstoffstrategie auf den schnellen Ausbau der Biokraftstoffindustrie und schuf durch Steuerbefreiung für Reinkraftstoffe einen starken Investitionsanreiz für diese Branche. Dann, beschloss die große Koalition 2006, die Steuerbefreiung für Reinkraftstoffe zu beenden, und diese stattdessen sukzessive voll zu besteuern. Um die zu erwartenden Kapazitätsrückgänge der Branche zu kompensieren, führte dieselbe Regierung eine Quotenregelung für Biokraftstoffe ein. Doch diese Änderung der Systematik bremste die dynamische Entwicklung des Marktes massiv aus. Hinzu kam zum Ende der großen Koalition noch eine Absenkung der Gesamtquote für das Jahr 2009 von 6,25 auf 5,25 Prozent. Damit brach der Anteil der Biokraftstoffe, die von annähernd null Prozent im Jahr 1998 gestartet waren und ihren Anteil am Kraftstoffverbrauch auf 7,2 Prozent im Jahr 2007 steigern konnten, 2008 wieder ein. Heute liegt der Anteil der Biokraftstoffe bei nur noch rund 6 Prozent. Das entspricht einer Energiebereitstellung von rund 37 Mrd. Kilowattstunden.

Branchenprognose 2020

Wie geht es weiter mit den erneuerbaren Energien? Die Branche hat sich ehrgeizige Ziele gesetzt. Die im BEE zusammengeschlossenen Firmen wollen die Vorgaben der EU und der Bundesregierung für 2020 deutlich übertreffen. Damit das gelingt, brauchen wir die richtigen politischen Rahmenbedingungen. Das heißt zum einen, eine gelungene Mischung aus Ordnungsrecht und Marktanreiz zum schnellen Ausbau erneuerbarer Energien in allen drei Sektoren – Strom, Wärme und Verkehr. Dann können wir 2020 bereits einen Anteil von 28 %

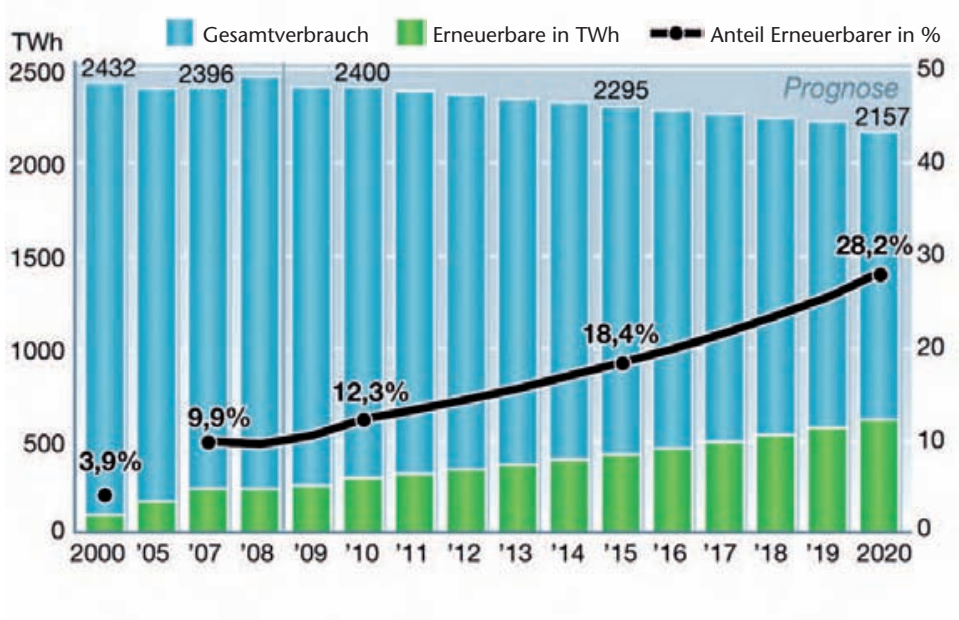


Abbildung 1
Prognostizierter Anteil der Erneuerbaren am gesamten Endenergieverbrauch

am Endenergieverbrauch in Deutschland aus regenerativen Quellen decken.

Zum anderen bedeutet das aber auch die richtige Forschungsförderung. Hier gilt es die hervorragenden Kapazitäten, die im Forschungs Verbund Erneuerbare Energien und darüber hinaus in Deutschland vorhanden sind, mit ausreichenden Mitteln und geeigneten Zielvorgaben auszustatten, damit wir die Grundlagen für weiteres Wachstum und anhaltende Technologieentwicklung bis 2020 und darüber hinaus schaffen.

Prognose für die Stromerzeugung

Im Stromsektor gehen wir bisher von einer Fortsetzung der dynamischen Entwicklung aus. Bei ausreichenden Effizienzanstrengungen und damit einem leicht sinkenden Stromverbrauch von 620 Mrd. kWh im Jahr 2007 auf 595 Mrd. kWh im Jahr 2020 werden die Erneuerbaren 2020 bereits 47 Prozent des deutschen Strombedarfs decken. Das entspricht einer Stromproduktion von rund 280 Mrd. kWh. Etwas mehr als die Hälfte davon stellt die Windenergie (149 Mrd. kWh), gefolgt von der Bioenergie

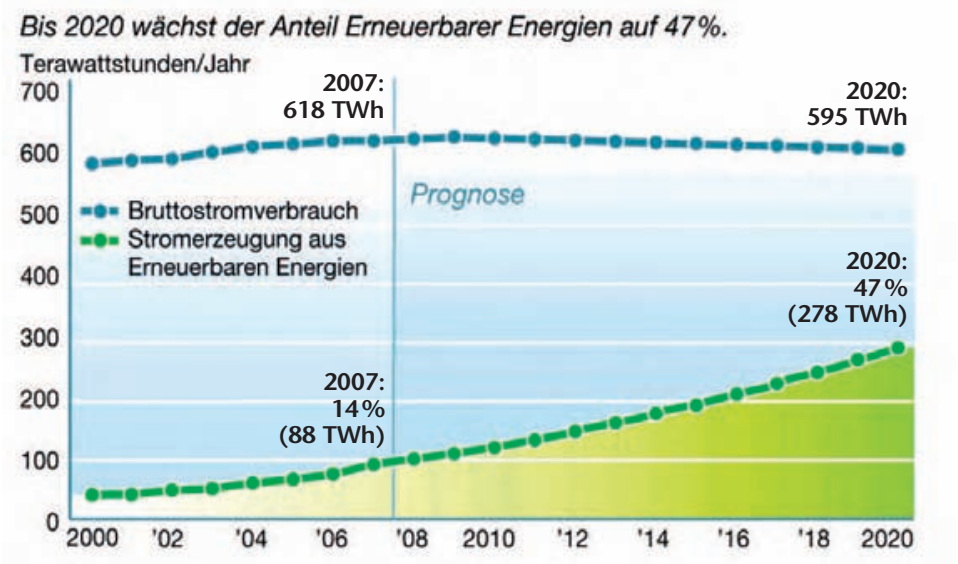


Abbildung 2
Anteil der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch in Deutschland bis 2020

(54 Mrd. kWh), der Photovoltaik (40 Mrd. kWh), der regenerativen Wasserkraft (32 Mrd. kWh) und der Geothermie (4 Mrd. kWh).

Offen ist freilich noch die Wirkung der von der neuen Bundesregierung angekündigten Laufzeitverlängerung für Atomkraftwerke, die wir für falsch halten. Sie verunsichert Investoren, behindert den Wettbewerb auf dem Strommarkt, verringert den Innovationsdruck in der Energiebranche und erschwert damit letztlich auch Fortschritte in der Forschung und deren Umsetzung im Bereich der Erneuerbaren. Je nach Ausgestaltung der Laufzeitverlängerung wird die Bremswirkung auf den Ausbau der erneuerbaren Energien schwächer oder stärker ausfallen. Entscheidend ist aus Sicht der Branche, dass der Vorrang für die Erneuerbaren bei der Stromeinspeisung bestehen bleibt und auch in der Praxis nicht unterhöhlt wird.

Prognose für die Wärmeerzeugung

Im Wärmesektor müssen zunächst mehr Sanierungsanlässe geschaffen werden, liegen doch die größten Potenziale in der unzureichenden energetischen Qualität der Heizungsanlagen in Deutschland; nur 12 Prozent der deutschen Heizungen sind auf dem Stand der Technik. Wir plädieren daher für ein neues Instrument. Das könnte ein energetischer Qualitätsstandard sein, der in festgelegten Abständen angehoben wird und bei allen Gebäuden, die diesen nicht erreichen, eine Sanierung erforderlich macht. Im Rahmen von Sanierungen sollten dann in einem zweiten Schritt auch Erneuerbare verbindlich zum Einsatz kommen. Neben diesem ordnungsrechtlichen Ansatz bedarf es jedoch vor allem weiterhin finanzieller Anreize, um einen noch schnelleren Umstieg auf Erneuerbare zu fördern. Dafür gilt es, das Marktanreizprogramm besser, das heißt mit mindestens einer Milliarde Euro pro Jahr auszustatten und unabhängig von der Kassenlage im Bundeshaushalt zu machen. Das Instrument ist ein sehr wirksames Konjunkturprogramm. Löst doch ein Euro öffentlicher Mittel private Investitionen in acht- bis zehnfacher Höhe aus. Im Ergebnis können die Erneuerbaren im Jahr 2020 so einen Anteil von 25 Prozent an der Wärmeversorgung in Deutschland erreichen.

Prognose für Biokraftstoffe

Im Verkehrssektor stehen bisher nur die Biokraftstoffe in nennenswertem Umfang zur Verfügung, um den Einsatz von fossilen Kraftstoffen zu begrenzen und zu ersetzen. Daher ist ein Neustart in der Förderung dieser Sparte notwendig. Die neue Bundesregierung hat im Rahmen ihres gerade in der Beratung befindlichen Wachstumsbeschleunigungsgesetzes erste Schritte dafür unternommen. Darin ist eine Änderung der Besteuerung vorgesehen, die den

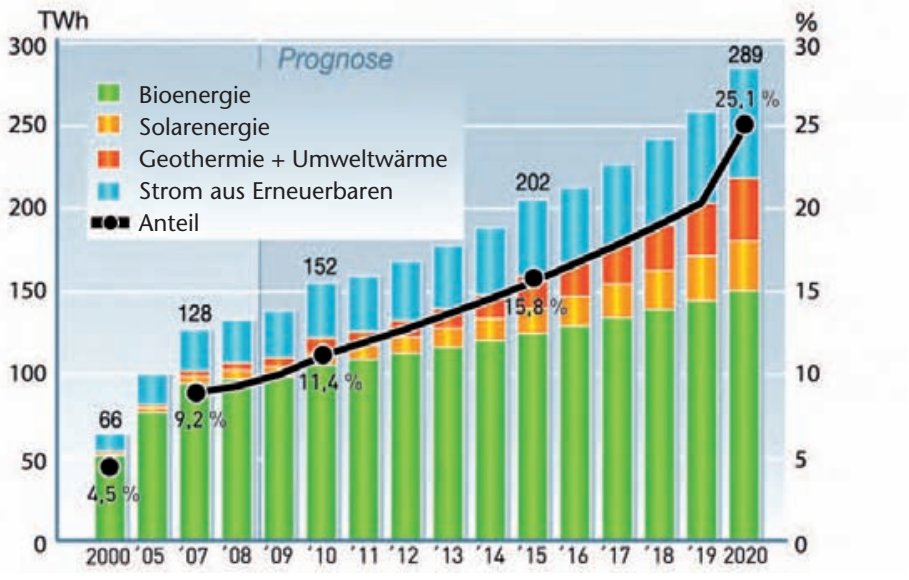


Abbildung 3
Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien und Anteil am Wärmeverbrauch

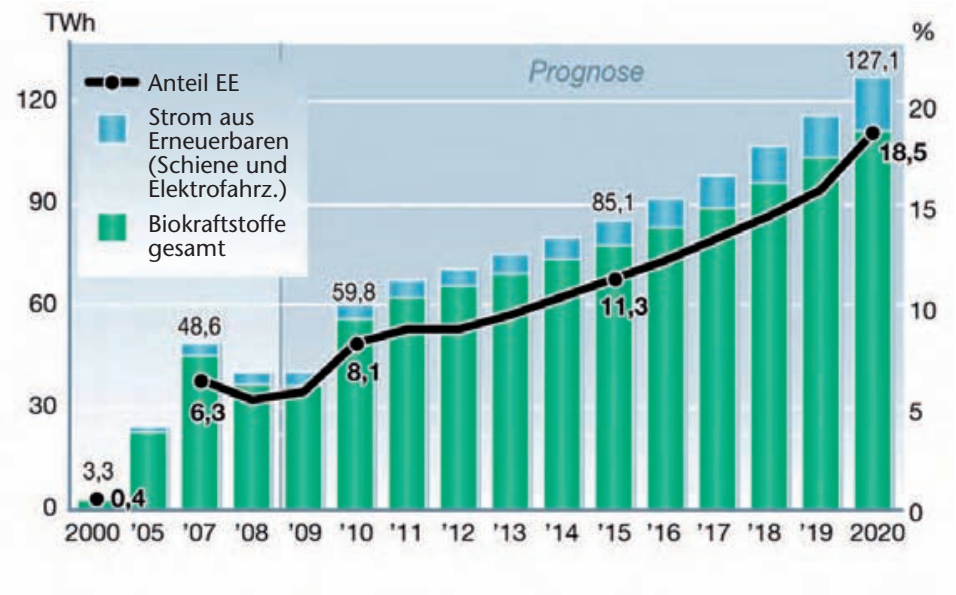


Abbildung 4
Entwicklung und Anteile der Erneuerbaren im Verkehrssektor

Reinkraftstoffmarkt für Biokraftstoffe wieder herstellen soll. Die Erhöhung der Gesamtquote als nächster wichtiger Schritt steht allerdings noch aus. Auch reicht die vorgeschlagene Aussetzung der nächsten geplanten Steuerstufe nicht aus. Vielmehr müsste der Steuersatz für Biodiesel und Pflanzenöl auf maximal 10 Cent pro Liter begrenzt werden.

Wird außerdem die Förderung der Elektromobilität mit konkreten Maßnahmen unterlegt – und zwar im Bereich der Batterieforschung ebenso wie bei der Markteinführung – ist das Ziel der Bundesregierung von einer Million Elektrofahrzeugen auf deutschen Straßen im Jahr 2020 aus Sicht des BEE zu erreichen. Insgesamt könnte so der Anteil der Erneuerbaren an der im Verkehrssektor verbrauchten Energie dann schon auf 19 Prozent steigen.

100 Prozent Erneuerbare nur mit F&E erreichbar
Aber das Jahr 2020 markiert nur den nächsten Zwischenschritt beim Umbau unserer Energieversorgung. Langfristiges Ziel muss die Umstellung auf 100 Prozent erneuerbare Energie sein. Denn nur so können wir auf Dauer klimaverträglich wirtschaften und gleichzeitig immer weiter steigenden Preisen für fossile Rohstoffen entkommen. Wir benötigen also auch nach 2020 ein dynamisches Wachstum der Erneuerbaren in allen Bereichen. Hier kommt wieder die große Bedeutung der Forschung ins Spiel. Während wir die Mittel und Wege für den Ausbau der Erneuerbaren in den nächsten zehn Jahren weitgehend kennen und zur Verfügung haben, benötigen wir für die Jahre danach noch erhebliche technologische und auch gesellschaftliche Fortschritte.

Die Konsequenzen aus dem Umbau unserer Energieversorgung für Forschung und Entwicklung im Bereich der Erneuerbaren lassen sich grob in zwei Gebiete aufteilen. Das eine betrifft im weitesten Sinne „technische“ Fragen, das andere „gesellschaftliche“.

Technische Forschungsaspekte

Wir benötigen weiterhin große Effizienzfortschritte bei der Energieverwendung. Das gilt für den gesamten Energiesektor ebenso wie für die Anlagenproduktion und die Anlagen selbst im Bereich der erneuerbaren Energien. Denn auch in diesem Bereich gibt es begrenzende Faktoren, wie zum Beispiel das Ausmaß nutzbarer Flächen. Zudem entscheidet der Material- und Energieeinsatz bei der Herstellung der Anlagen über den verbleibenden Rest an CO_2-Ausstoß der Erneuerbaren-Technik.

Die größte technologische Herausforderung und damit auch die wichtigste Forschungsaufgabe lässt sich unter dem Begriff der „Systemintegration der erneuerbaren Energien“ fassen. Dies betrifft vor allem den Stromsektor, aber nicht nur. Je höher der Anteil erneuerbarer Energien in unserem elektrischen System ist, desto

weniger fossile Kapazitäten verbleiben. Damit stehen aber auch zunächst weniger Kapazitäten zur Verfügung, um Schwankungen insbesondere bei der Wind- und Solarenergie auszugleichen. Hier sind neue und leistungsfähigere Speichermedien, -techniken und -strukturen gefragt. Außerdem brauchen wir intelligente Steuerungssysteme, die einerseits Erzeugung und Nachfrage stärker aneinander anpassen helfen und andererseits viele eher dezentral ausgerichtete Energieerzeugungsanlagen effektiv koordinieren.

Dies betrifft nicht nur den Strom-, sondern auch den Wärmesektor, in dem ebenfalls noch erhebliche Fortschritte notwendig sind, um Erzeugung, Speicherung und Versorgung mit einem stetig steigenden Anteil erneuerbarer Energien optimal zu verbinden. Dabei geht es vor allem um Wärmespeicher, Nahwärmenetze und moderne Effizienztechnologien in privater und industrieller Anwendung.

Auch die Verknüpfung von Strom, Wärme und Mobilität wird dabei immer wichtiger, denn der Einsatz Erneuerbarer Technologien erfolgt zunehmend sektorenübergreifend. Prototypen wie das Hybridkraftwerk im brandenburgischen Prenzlau, das Strom, Wärme und Kraftstofferzeugung kombiniert, weisen hier in die richtige Richtung. Wichtig ist dabei eine technologieoffene und vielfältige Forschung im noch relativ jungen Feld der erneuerbaren Energien, da eine zu frühe Festlegung auf einen bestimmten Pfad vielversprechende Entwicklungen in anderen Sektoren zu früh zum Erliegen kommen lassen würde. Die besten Techniken und Konzepte können sich erst im Praxiseinsatz erweisen. Zudem haben verschiedene Techniken auch verschiedene Zeithorizonte, bis sie ausgereift sind und voll wirksam werden.

Im Bereich der Stromversorgung spielen intelligente Netze und intelligente Verbrauchssteuerung (smart grid/smart metering) in der Energieversorgung der Zukunft eine erhebliche Rolle. Für deren umfassende und erfolgreiche Anwendung gibt es noch eine Menge Aufgaben, die die Forschung zu lösen hat. Die Strukturen der Strominfrastruktur müssen dabei zukünftig sowohl eine stärkere Dezentralisierung der Energieerzeugung als auch eine stärkere Vernetzung über teilweise größere Entfernungen ermöglichen, um einerseits Kraftwerke für die regionale Versorgung nutzbar zu machen und andererseits große anfallende Energiemengen beispielsweise aus Offshore-Windparks in entfernte Verbrauchszentren zu leiten.

Eine zentrale strategische Bedeutung für die Energieversorgung der Zukunft haben auch die regenerativen Kombikraftwerke. Sie verknüpfen verschiedene regenerative Erzeugungseinheiten und kombinieren die spezifischen Stärken der einzelnen Anwendungen. Damit künftig in großem Maßstab die Betreiber von beispielsweise Windenergie- und Biogasanlagen miteinander kooperieren, muss schnellstmöglich ein entsprechender Impuls für regenerative Kombikraftwerke in das EEG integriert werden. Wertvolle Impulse für ein solches Instrument kamen in der Vergangenheit auch aus dem ForschungsVerbund Erneuerbare Energien. Die zunehmende Verbreitung solcher regenerativer Kombikraftwerke wird dann von einer sehr praxisnahen Forschung begleitet werden müssen. Die beteiligten IT-Komponenten müssen optimiert, die Kommunikation zwischen Anlagen- und Netzbetreibern verbessert werden.

Soziologische und ökonomische Forschungsaspekte

Nun zu den gesellschaftspolitischen Aspekten. Auch hier bringt der Umbau unserer Energieversorgung noch erheblichen Forschungsbedarf mit sich. Da sind zunächst die Wirtschaftswissenschaften: Existierende Wertschöpfungsmodelle müssen für den Bereich der Energieerzeugung und -versorgung im Hinblick auf die erneuerbaren Energien weiterentwickelt und verfeinert werden. Nur so können exakte Abgrenzungen in den Produktionsketten erfolgen und somit verlässliche Aussagen zu betriebswirtschaftlichen Kosten und volkswirtschaftlichen Effekten der Erneuerbaren gemacht werden. In diesem Zusammenhang sind auch neue Modelle zur Technikbewertung sowie Evaluierung spezifischer Förderinstrumente notwendig.

Ein wichtiges Forschungsfeld – auch über die Interessen der Erneuerbaren-Branche hinaus –

liegt in Fragen der Monetarisierung externer Effekte der Energieversorgung. Nur wer weiß, wie hoch die Kosten von Kohle und Atom für Klima, Umwelt und Gesundheit sowie auf Ressourcenverfügbarkeit sind, kann den Wert und Nutzen des Ausbaus erneuerbarer Energien richtig abschätzen und bewerten. Wissenschaftlich fundierte Bewertungs- und Rechenmodelle sind die Voraussetzung für die Politik, um wirksame Steuerungsinstrumente zu entwickeln und anzuwenden und so die Transformation der Industriegesellschaft hin zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise voranzubringen.

In den Sozialwissenschaften eröffnet der Ausbau der erneuerbaren Energien neue Felder in der Akzeptanzforschung. Phänomene wie der Widerspruch „Erneuerbare ja – aber bitte nicht vor meiner Haustür" bedürfen der näheren sozialwissenschaftlichen Beleuchtung. Aus den Ergebnissen können adäquate Kommunikations- und Handlungsstrategien abgeleitet werden, um den Ausbau der Erneuerbaren in Einklang mit den örtlichen Betroffenen zu ermöglichen. Hierbei sind möglicherweise auch neue Bürgerbeteiligungsmodelle zu entwickeln und die Wirkung unterschiedlicher Verfahren und Kommunikationsstrategien zu evaluieren.

Erneuerbare Energien sind von einem effektiven Rechtsrahmen abhängig, dessen Ausgestaltung maßgeblich von der Rechtswissenschaft beeinflusst wird. Hier stellen sich Fragen der Justierung gesetzlicher Instrumente zur Förderung der erneuerbaren Energien ebenso wie zu versteckten Hemmnissen für deren Ausbau in bestehenden Rechtsvorschriften. Da die Wissenschaft im Bereich Energierecht bisher von der Sicht der herkömmlichen Energieerzeugung aus fossilen und nuklearen Quellen dominiert ist, gilt es die Perspektive der Erneuerbaren verstärkt in diesem Bereich einzubringen und diese strategische Lücke für den Ausbau der Erneuerbaren durch den Aufbau eigener think-tanks zu schließen.

Fazit

Insgesamt wachsen die Erneuerbaren seit ihrem Start kontinuierlich und treten inzwischen längst aus der Nische hervor. Sie werden bei weiterem Wachstum mehr und mehr zum prägenden Element unserer Energieversorgung – mit erheblichen Folgen für die gesamte Energieerzeugungsstruktur, die Netze und letztlich die Verbraucherinnen und Verbraucher. Um den Übergang in eine neue, sichere und zukunftsfähige Energieversorgung mit dem Ziel 100 Prozent erneuerbare Energie zu gewährleisten, spielt die Forschung eine zentrale Rolle.

Die deutsche Forschung und Entwicklung nimmt auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien einen Spitzenplatz ein. Die exzellenten Ergebnisse sind bisher schnell und effizient in Technologie umgesetzt worden. Damit konnte sich in Deutschland eine weltweit führende Industriesparte mit hohen Exportpotenzialen entwickeln und erfolgreich zu Arbeitsplatzgewinn und Wertschöpfung beitragen. Trotz des bisher Erreichten sind Forschung und Entwicklung auf hohem Niveau in diesem Sektor weiterhin notwendig, um die beträchtlichen Innovationspotenziale zu heben und den schnellen und vollständigen Umbau unserer Energieversorgung zu ermöglichen.

Hierzu bedarf es permanenter Impulse aus einer aktiven Forschungsgemeinschaft, die innovative Technologieentwicklungen rasch in die vor allem mittelständisch geprägte Branche transferiert. Die notwendige Leistungsfähigkeit der Forschung muss dem Wachstum der Märkte entsprechen und über eine zunehmende Bereitstellung von Forschungsmitteln gewährleistet werden. Der Forschung und Entwicklung für einen erneuerbaren Energiemix muss deshalb innerhalb der Energieforschung Priorität eingeräumt werden.

Der FVEE empfiehlt gemeinsam mit dem BEE, die Steigerung der Mittel für Forschung und Entwicklung im Bereich der erneuerbaren Energien und Energieeffizienz um jährlich 20 Prozent wie in den vergangenen drei Jahren beizubehalten, um mittelfristig zumindest eine Verdopplung zu erreichen. Nur so wird Deutschland mit der globalen Marktdynamik mithalten und den Anforderungen der EU sowie seinen eigenen energiepolitischen Zielen bis 2020 und darüber hinaus gerecht werden können. Nur so kann die deutsche Industrie ihre Spitzenstellung in einem stark zunehmenden internationalen Wettbewerb behaupten.

Forschen für globale Märkte – Strategische Ansätze des BMU

Joachim Nick-Leptin
Referatsleiter im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
joachim.nick-leptin@bmu.bund.de

Strategische Ansätze des BMU

Energieforschung ist Teil der Energie- und Klimapolitik. Zentrale Ziele der Energieforschung im BMU:

1. Treibhausgas-Emissionen senken

- Energieeffizienz steigern
- Erneuerbare Energien ausbauen
  - Kosten senken
  - Qualität/Effizienz steigern (z. B. Wirkungsgrade)
  - Systemintegration (z. B. Speicher, smart grids)
  - neue Anwendungsfelder erschließen (z. B. Prozesswärme in der Solarthermie)
  - Umwelt- und Naturverträglichkeit, Akzeptanz

2. Optionen für die Zukunft schaffen

- Institutionelle Förderung des BMBF
- BMBF-Forschungsprogramm „Grundlagenforschung Energie 2020+"
- BMU-Projekte zur Vorlaufforschung, z. B. am Fraunhofer ISE, ISFH und ZSW (PV) sowie DLR (Concentrated Solar Power – CSP)

3. Arbeitsplätze in Deutschland

- Förderung von Technologien, die in Deutschland selbst kein Nutzungspotenzial haben (z. B. CSP, in geringem Umfang auch Meeresenergie)

All dies dient letztlich auch der Wettbewerbsfähigkeit auf den Weltmärkten!

Wer fördert was?

Institutionelle Förderung (Grundlagenforschung)

- BMBF und BMWi: HZB, FZ Jülich, Fraunhofer Institute
- Länder: HGF, Fraunhofer, ISFH, ZSW, ZAE, ISET, Hochschulen

Projektförderung: Grundlagenforschung und anwendungsorientierte Forschung

- BMBF:
  – Grundlagenforschung
  – anwendungsorientierte Forschung in Querschnittsprogrammen
- BMU (erneuerbare Energien), BMELV (nur Biomasse):
  – anwendungsorientierte Forschung
  – aber auch Vorlaufforschung
- Länder

Überblick EE-Forschungsförderung

- Projektförderung des BMU sowie des BMELV
- Institutionelle Förderung von BMBF und BMWi
- BMBF: „Grundlagenforschung Energie 2020+"
- Querschnittsprogramme des BMBF: Spitzencluster PV, PVComB in Berlin
- Projektförderung des BMWi (oberflächennahe Geothermie, Integration/Netze/Speicher)
- Bundesländer (Fraunhofer Center für Silizium-Photovoltaik in Halle, Kompetenzzentrum Dünnschicht- und Nanotechnologie für Photovoltaik Berlin)
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt

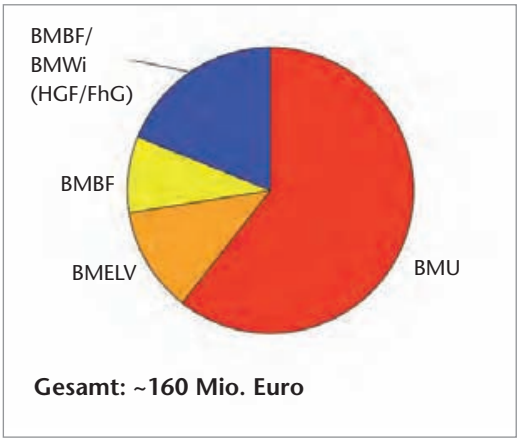


Abbildung 1
EE-Forschungs-förderung 2008 der verschiedenen Ministerien

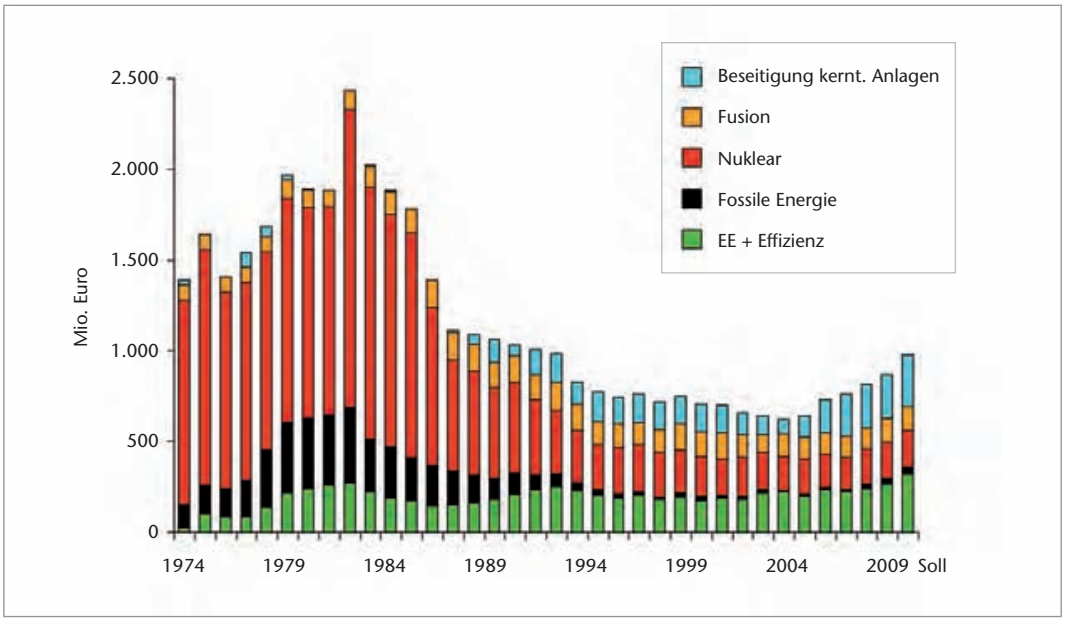


Abbildung 2
Energieforschung des Bundes (real)

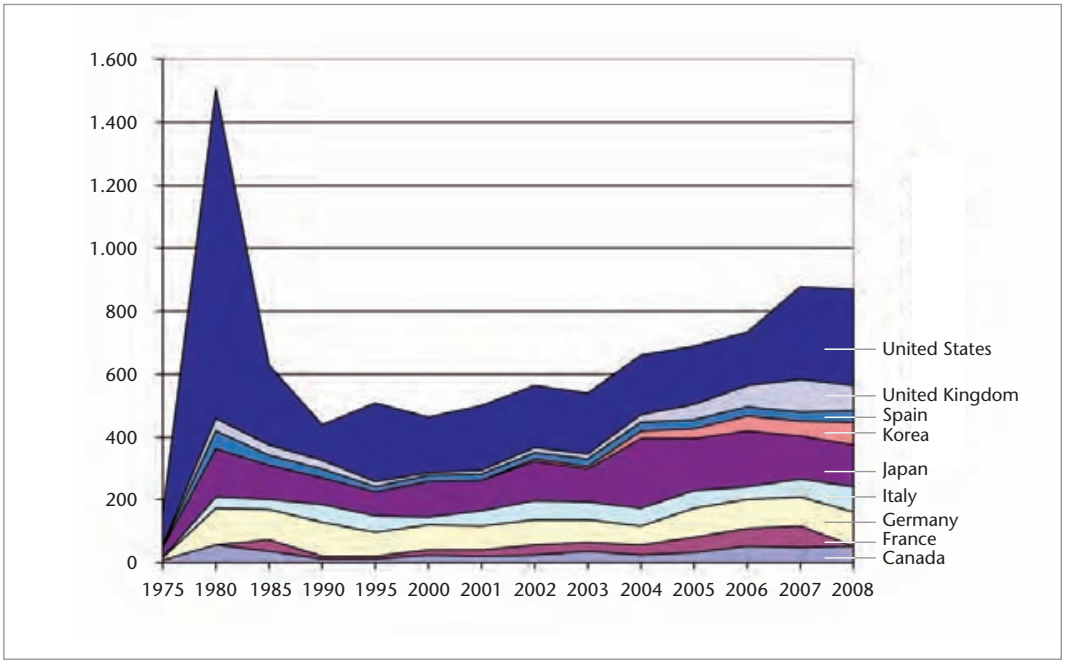


Abbildung 3
EE-Forschung international

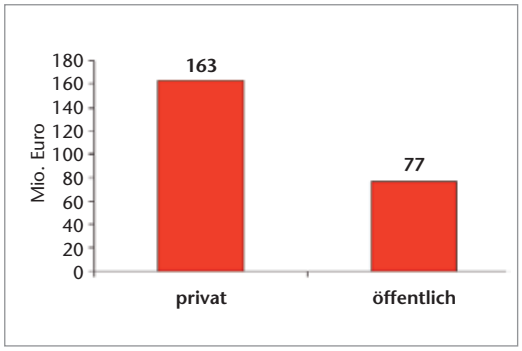
Exporterfolge der Erneuerbaren

- Exportquote PV: 48 %
- Exportquote Windenergie: 82 %

Deutschland nimmt bei fast allen erneuerbaren Energien im internationalen Vergleich eine technologisch führende Rolle ein.

Forschungsausgaben für PV im Jahr 2008

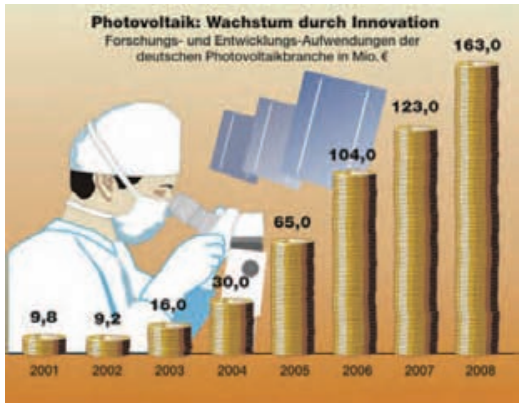
Abbildung 4
PV-Forschungsausgaben 2008



Private Forschungsausgaben

- F&E-Ausgaben der Unternehmen für EE stiegen 2008 um 80 % (Quelle: EU-KOM)
- 5 der 6 „top-spending green energy firms" kamen aus Deutschland (Quelle: EU-KOM)
- Firmen haben eigene Forschungszentren bzw. Forschungsgesellschaften (z. B. q-cells, Solarworld, Würth Solar, Enercon)

Abbildung 5
Private Forschungsausgaben



Innovationstreiber EEG

- Auch private F&E-Ausgaben beruhen letztlich auf dem EEG, sind also „staatlich induziert".
- Die Degression der Einspeisevergütung sorgt für Innovationsanreize.
- Technologieboni sorgen für zusätzliche Innovationsanreize in ausgewählten Bereichen.
- Innovationsanreize auch im MAP

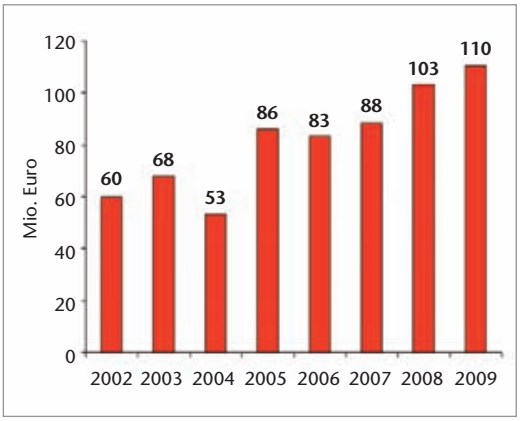


Abbildung 6
BMU-Haushaltsansätze für F&E im Bereich EE

Forschungsförderung des BMU im Bereich Erneuerbare

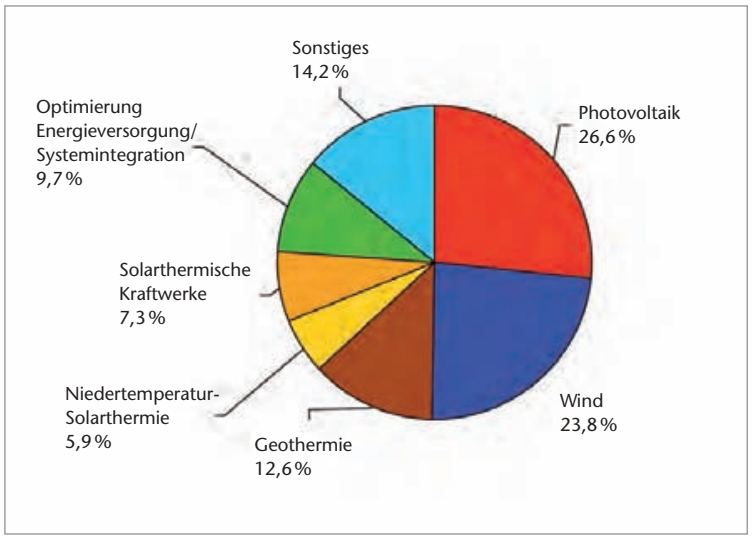


Abbildung 7
Neu bewilligte Projekte des BMU 2009 (118,44 Mio. Euro)

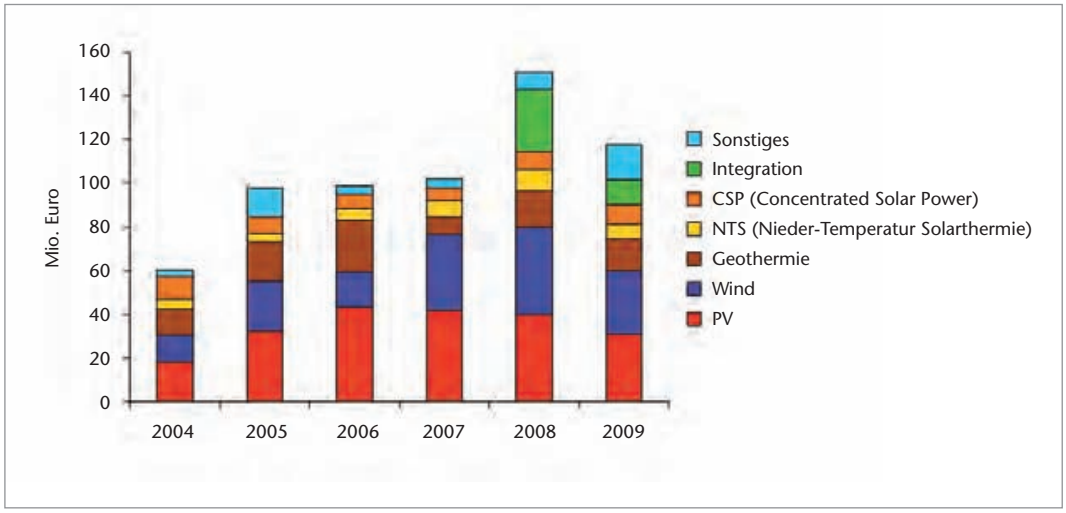


Abbildung 8
Neubewilligungen des BMU 2004 bis 2009

Abbildung 9
Entwicklung der Anträge bei Photovoltaik: Steigende Anzahl läßt Bewilligungsquote sinken

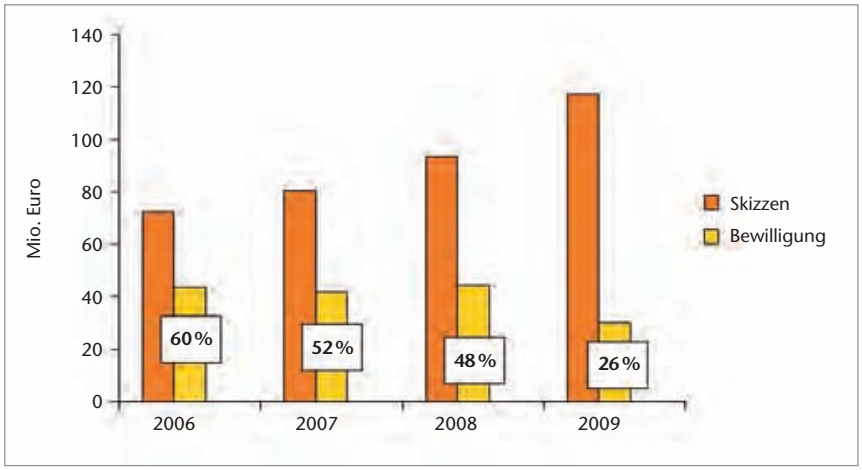
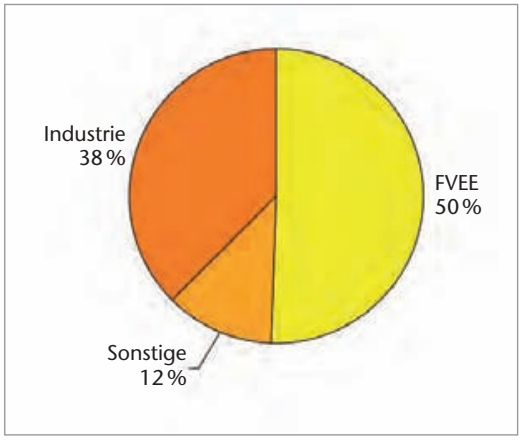


Abbildung 10
Zuwendungs-empfänger des PV-Budgets 2006 – 2009



Schlussfolgerungen

- Die öffentliche EE-Forschungsförderung ist bisher in Deutschland sehr gut aufgestellt.
- EEG und MAP sind Innovationstreiber
- Hervorragende Forschungslandschaft: HGF-, FhG- und sonstige Institute, Universitäten und private Forschungs-zentren
- Deutschland ist in fast allen EE technologisch führend.
- Aber: es gibt neue Entwicklungen in anderen Ländern, insbesondere USA und China.

Weitere Informationen

- Jahresbericht 2008:
  www.erneuerbare-energien.de
  bmu@broschuerenversand.de
- Newsletter des BMU
- Homepage: „Forschung“ auf www.erneuerbare-energien.de
- Forschungsjahrbuch und CD mit Kurzbeschreibung aller geförderten Projekte (erhältlich bei PTJ und BINE)

Spannungsfeld von Technologietransfer und Schutz geistigen Eigentums

1. Einleitung

Vor dem Hintergrund des Klimawandels ist der Transfer umweltfreundlicher Technologien in Schwellen- und Entwicklungsländer dringend geboten. Anderseits besteht aber auch ein berechtigtes Interesse, das geistige Eigentum für diese Entwicklungen zu schützen. Um die Frage zu beantworten, ob dieses Spannungsfeld Einfluss auf die Minderung und Anpassung an den Klimawandel hat, werden die Rahmenbedingungen des Technologietransfers und die bestehenden Hindernisse erläutert werden.

2. Transfer umweltfreundlicher Technologien entscheidend für den Klimaschutz

Der globale Energienverbrauch wird hauptsächlich durch den Bedarf der Entwicklungsländern ansteigen; auf diese werden zwei Drittel bis drei Viertel des Gesamtanstiegs energierelevanter Emissionen zurückgehen. Die Entwicklungsländer verursachten 2004 noch 40 % aller Emissionen aus fossilen Energieträger, werden aber voraussichtlich bereits am Anfang des nächsten Jahrzehnts die OECD-Länder als maßgebliche Emittenten ablösen.

Nach diesem Szenario wird China die USA als größten Emittenten bald ablösen *(Abbildung 1)*.

Folglich reicht es nicht, wenn nur einzelne Länder oder einzelne Ländergruppen Klimaschutzprogramme umsetzen. Nur wenn sich alle Länder beteiligen, kann der Klimawandel gebremst werden.

Das Ausmaß der nötigen ökonomischen Transformation kann dem der industriellen Revolution gleichgesetzt werden, sie muss aber dreimal so schnell verlaufen und die ganze Welt umfassen. Nicht nur der industrielle Treibhausgasausstoß muss schnell und drastisch reduziert werden, sondern auch die veralteten und daher treibhausgasintensiven Technologien für alltägliche Zwecke, die wegen der großen Anzahl ein wichtiger Faktor in Hinblick auf den Klimawandel sind [1].

So rufen auch die Klimarahmenkonvention, das Kyoto-Protokoll und auch der Aktionsplan von Bali die entwickelten Länder dazu auf, alle nur möglichen Maßnahmen zu ergreifen, um die Weitergabe umweltverträglicher Technologien zu ermöglichen. Unterschiedliche Ansichten und Positionen sind entstanden, die mit dem Hinweis auf geistige Eigentumsrechte für den Transfer von umweltfreundlichen Technologien hinderlich sind.

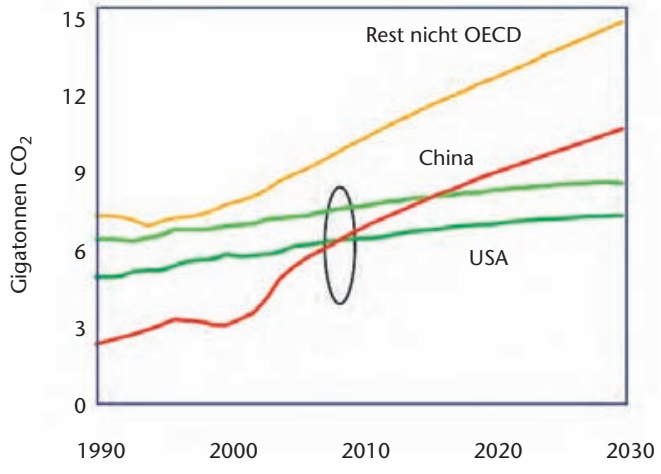
Dr. Winfried Hoffmann
Präsident EPIA und Chief Technology Officer of Applied Materials GmbH & Co. KG
winfried_hoffmann@amat.com

Jana Lewerenz
Sekretariat für Zukunftsforschung
Marienstr. 19/20
10117 Berlin
Lewerenz@sfz.de

Thomas Pellkofer
Applied Materials GmbH & Co. KG
Thomas_Pellkofer@amat.com

Abbildung 1
Referenzszenario: Energierelevante CO_2-Emissionen nach Region

Quelle: OECD/IEA World Energy Outlook 2006



China überholt die USA als den weltgrößten Emittenten vor 2010, obwohl die Pro-Kopf-Emissionen nur 60 % der in den OECD Ländern im Jahr 2030 erreichen.

3. Das Verhältnis von Technologietransfer und geistigem Eigentum

Geistige Eigentumsrechte werden grundsätzlich als ein Privileg, das dem Erfinder und Entwickler als Kompensation für seine Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen gewährt wird, verstanden. So soll ein Anreiz für weitere Innovationen geschaffen werden. Geistige Eigentumsrechte beinhalten ein exklusives Verwertungsrecht für einen beschränkten Zeitraum, durch das der Inhaber aufgrund des Schutzrechts einen höheren Preis als in einer Wettbewerbssituation erzielen kann. Dieses Recht wurde international im Abkommen über die handelsbezogenen Rechte am geistigen Eigentum (TRIPS) 1994 dem allgemeinen Zoll- und Handelsabkommen (GATT), das eine Säule der Welthandelsorganisation bildet, hinzugefügt. Dieses Abkommen stellt eine Verschärfung geistiger Eigentumsrechte dar, ist verpflichtend umzusetzen und beinhaltet einen Durchsetzungsmechanismus.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels, bezieht sich Technologietransfer auf die Notwendigkeit der Einführung umweltfreundlicher Technologien zur Minderung und/oder Anpassung an den Klimawandel in Regionen, in denen solche Technologien bis jetzt noch nicht Allgemein verfügbar sind [2] *(Abbildung 2)*.

Technologien erfolgreich zu transferieren, umfasst dabei das Lernen, Verstehen, Nutzen und Kopieren einer Technologie mit der Fähigkeit die Technologie zu wählen und sie regionalen Bedingungen anzupassen, die mit indigenen Technologien kombiniert werden können [3]. Diese Faktoren bilden die sogenannte technologische „Hard- und Software“, wobei es sich bei Hardware hauptsächlich um Geräte und bei der Software um die Schulung, Bildung und Management handelt.

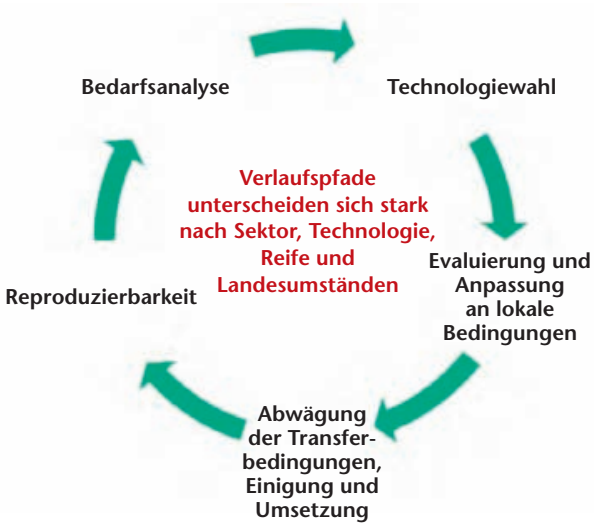
Die geistigen Eigentumsrechte gestalten die Form des Technologietransfers: Es gibt zwei Pfade, wie Technologien transferiert werden können: horizontal und vertikal.

- **Vertikaler Technologietransfer** impliziert die Relokation oder den Verkauf einer Technologie ohne die zugrunde liegenden geistigen Eigentumsrechte zu teilen; also normalerweise einfach durch den Verkauf fertiger Produkte an Endverbraucher oder indem die gesamten Produktionsrechte an einen Investor abgegeben werden [2].
- **Horizontaler Technologietransfer** bedeutet hingegen den Austausch geistigen Eigentums, meistens im Rahmen von Joint Ventures oder zwischen einem ausländischen Direktinvestor und einem einheimischen Unternehmen in den Zielländern [2].

Abbildung 2
Verhältnis von Technologietransfer und geistigem Eigentum

Geistiges Eigentum
Exklusives Verwertungsrecht für einen bestimmten Zeitraum als Kompensation für Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen

Technologietransfer
Technologietransfer umfasst das Lernen, Verstehen, Nutzen und Kopieren einer Technologie mit der Fähigkeit, die Technologie zu wählen und sie regionalen Bedingungen anzupassen, als auch sie mit indigenen Technologien kombinieren zu können.



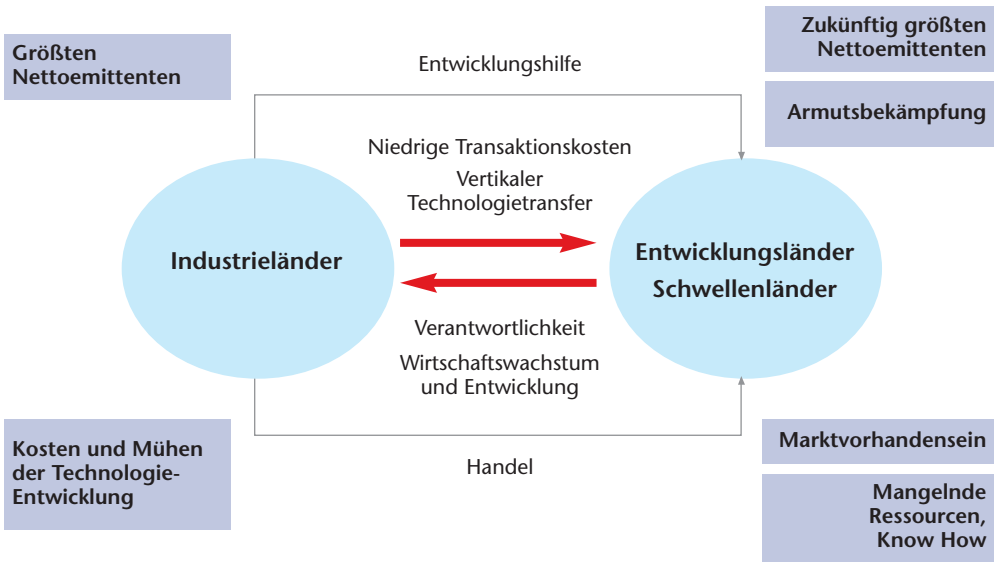


Abbildung 3
Ursachen für die Stagnation des Transferprozesses

4. Ursachen für die Stagnation des Transferprozesses

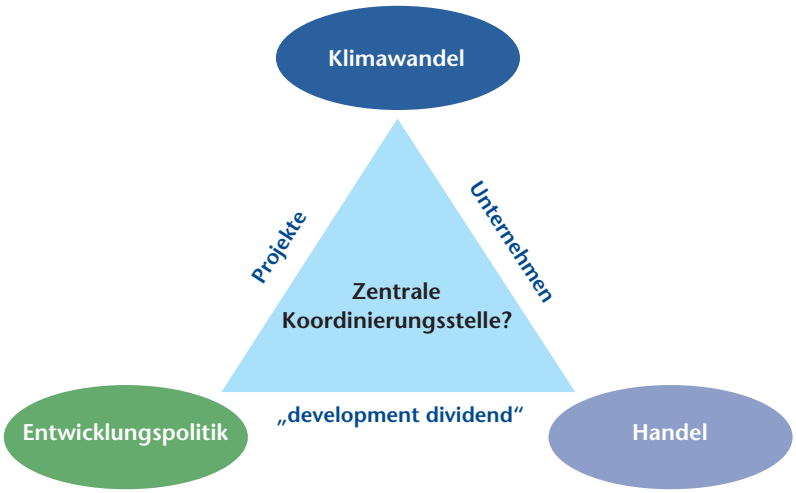
Sicherlich „verliert" ein Produzent und Entwickler klimafreundlicher Technologie kein Wissen, wenn er dieses unentgeltlich Schwellen- und Entwicklungsländern zur Verfügung stellen würde – aber nun profitieren andere ohne Gegenleistung von den Kosten und Mühen der Technologieentwicklung und durch mögliche Preisunterbietung und resultierende Marktverdrängung kann das ursprüngliche Unternehmen sogar seine Existenz verlieren. Auf diesen Überlegungen basieren die Rechte am geistigen Eigentum und sie schützen vor genau diesen Verlusten, allerdings um den Preis, dass der Transfer nur sehr erschwert stattfindet [1].

Damit der Schutz geistiger Eigentumsrechte dem Transfer klimafreundlicher Technologien nicht im Weg steht, ist eine umfangreiche Umgestaltung oder sogar Neuerrichtung administrativer und juristischer Institutionen notwendig *(Abbildung 3)*. Doch in den meisten Entwicklungsländern fehlen hierfür die Mittel. Auch die nötige Sach- und Fachkompetenz müsste erst aufgebaut werden. Anstatt also die Mittel, über die sie verfügen, direkt für Armutsbekämpfung und Kampf gegen den Klimawandel einzusetzen, müssten Entwicklungsländer zuerst einen umfangreichen bürokratischen und juristischen Apparat zum Schutz von geistigen Eigentumsrechten der Industriestaaten errichten und selbst das würde noch immer keine schnelle und breite Implementierung klimafreundlicher Technologien garantieren. Natürlich weigern sich Länder, einen Teil ihrer öffentlichen Institutionen auf die spezifischen Interessen ausländischer Unternehmen auszurichten. Denn dann befänden sie sich nämlich in der Situation, Technologien nutzen zu dürfen, die sie mangels Ressourcen und Know-how nicht nutzen können [1]. Geistige Eigentumsrechte spielen eine Rolle im Rahmen des Technologietransfers, aber nur wenn es um den Zugang von Schwellen- und Entwicklungsländern zu Spitzentechnologien geht, nicht aber bei den gebräuchlichen Technologien [4]. Die Frage ist also: Wer ist verantwortlich für den Kapazitätsaufbau? Und so schiebt eine Seite der anderen die Verantwortung zu.

5. Das Spannungsfeld

Das Problem vieler sich nachholend industrialisierender Staaten besteht darin, dass sie einerseits ihren wirtschaftlichen Aufschwung nicht gefährden dürfen, der für eine bessere Lebensqualität in der Bevölkerung sorgt, aber andererseits einen energieintensiven, nicht nachhaltigen und umweltschädigenden Industrialisierungsprozess vermeiden müssen.

Abbildung 4
Das Spannungsfeld



Der vertikale Technologietransfer lässt dieses Dilemma leider unberücksichtigt. Es ist zwar durchaus möglich, eine Technologie, wie z. B. Solarzellen zu verbreiten, indem sie durch Verkauf in Entwicklungsländern zur Verfügung gestellt wird *(Abbildung 4)*. Aus umweltperspektivischer Sicht wäre das vielleicht zufriedenstellend, aber die Interessen der sich entwickelnden Länder nach Kapazitätsaufbau z. B. und Anwendungskompetenz würden konterkariert [5].

Bisher folgen fast alle Organisationen vorwiegend einem projektorientiertem Ansatz, dem eine strategische Ausrichtung hinsichtlich der Integration erneuerbarer Energien in Energieversorgungssysteme fehlt. Koordination erfolgt bislang lediglich informell, d. h., es gibt keine Evaluationsberichte zur Bewertung, über gezogene Lehren und über Erfahrungen aus den Projekten. Eine weitere Gefahr der mangelnden Vernetzung besteht darin, dass Projekte unabhängig oder in Konkurrenz zueinander durchgeführt werden oder dass es zu Dopplungen kommt [6].

Fazit: Die Problemstellung zeichnet sich durch eine hitzige und interessensgeleitete Frage nach Verantwortlichkeiten aus und operiert vor allem ohne tragfähige empirische Grundlage.

6. Ein schrittweiser Lösungsansatz nach wirtschaftlichen Kriterien

Technologietransfer beginnt in der Regel mit lokalen Entwicklungsprojekten. Hierbei geht es meist darum, die Lebensbedingungen der Menschen vor Ort zu verbessern und ein erstes Vertrauen in die neue Technologie zu schaffen. Auch wenn dies erfolgreich umgesetzt werden kann, müssen für einen erfolgreichen Technologietranfer die folgende Schritte berücksichtigt werden *(Abbildung 5)*:

A) Pilot-Projekt

Neben den Zielen eines Projekts muss auch das Potenzial eines weiterführenden Technologietransfers analysiert werden. Hier kommt man neben politischen und/oder umweltbezogenen Aspekten sehr schnell auf Kriterien der Wirtschaftlichkeit, welche in Form einer strukturierten Analyse zu bewerten sind. Bereits bei der Auswahl von Pilotprojekten sollte die spätere Verbreitung in einem größeren Umfeld ein wichtiges Auswahlkriterium darstellen.

B) Service und Instandhaltung

Zur aktiven Sicherstellung eines Systems im Betrieb gehören zwei Aspekte:

- Die Lagerung von Ersatzteilen vor Ort, um bei Reparaturen ohne langwierige und

kostenintensive Bestellvorgänge aktiv werden zu können. Die Erfahrung früherer Projekte hat gezeigt, dass in vielen Fällen der Ausfall eines Gesamtsystems oft nur an Kleinigkeiten lag. Beispielsweise führte das Fehlen einer geeigneten Sicherung für wenige Cent zum Versagen und in kurzer Zeit sogar zur Ruinierung des Gesamtsystems.

- Genauso wichtig ist ein intensiveres Verstehen der Produkte, um Betrieb und Service auf einem adäquaten Qualitätsniveau halten zu können.

C) Installation von Produkten

Hierfür ist das bereits vorhandene Verständnis von Technologie und Produkten deutlich zu erweitern. Gleichzeitig sind unternehmerische Strukturen aufzubauen wie Projektmanagment, Logistik, Qualitätsmanagement und After-Sales-Service.

D) Produktion

Diese ist in der Regel nur dann sinnvoll, wenn auch das Marktvolumen der spezifischen Region groß genug ist für einen entsprechenden Absatz.

Außerdem ist es notwendig, ein funktionierendes Netzwerk mit Lieferanten, Kunden und Universitäten aufzubauen, um eigene Verfahren und Patente entwickeln zu können und somit Lizenzkosten zu begrenzen.
Es liegt nahe, dass von Schritt A bis D sowohl die Anlagengrössen vom Sub-kW- in den MW-Bereich zunehmen und damit auch der Umfang des zu transferierenden Intellectual Property (IP). So werden Unternehmen spätestens bei Schritt C oder D nur dann einem Transfer zustimmen, wenn die wirtschaftliche Verwertung von IP-Rechten klar geregelt ist.

Beim Technologietransfer in Schwellen- und Entwicklungsländer sollten aber nicht allein wirtschaftliche Kriterien eine Rolle spielen, sondern auch umwelt- und entwicklungspolitische Ziele. Nur mit der Rolle einer „Zentralen Koordinierungsstelle“, die dieses Spannungsfeld steuert, IP als wirtschaftliches Gut berücksichtigt und die Schritte A bis D im Blickfeld behält, wird es möglich sein, Technologietransfer in diese Regionen im erforderlichen Umfang und mit langfristigem Erfolg sicherzustellen.

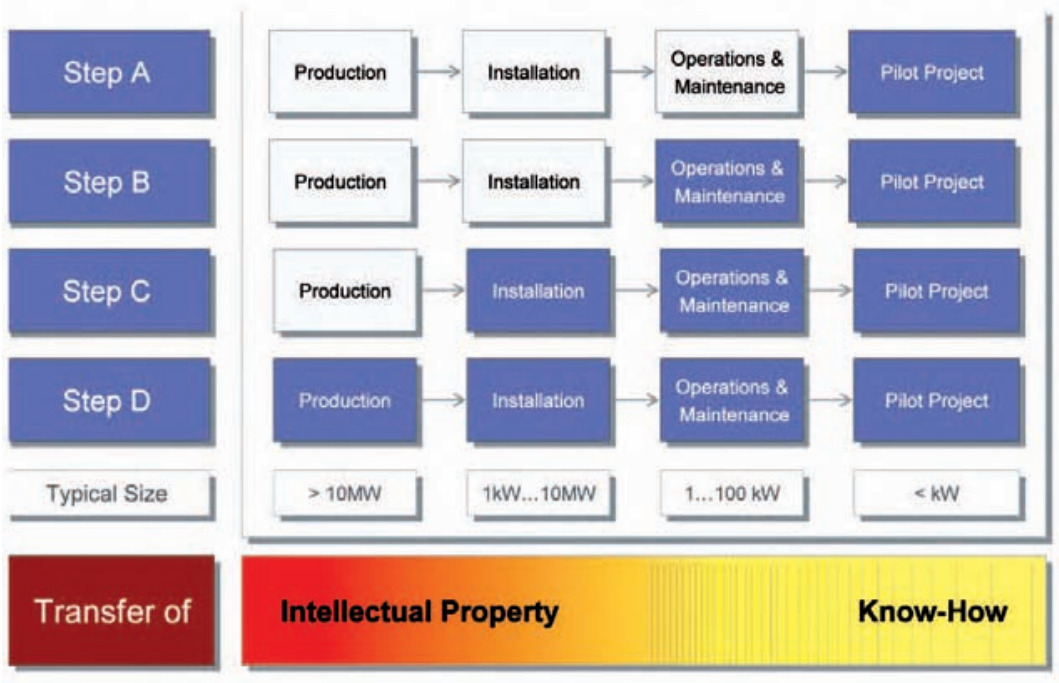


Abbildung 5
Technologietransfer in vier Schritten bei zunehmendem Umfang des zu transferierenden geistigen Eingentums (IP)

Literatur

[1] European Economic Forum for Sustainable Development (2009): Klimagerechtigkeit als Anliegen der deutschen Wirtschaft: Eine Einführung in politische Hintergründe und Probleme des Technologietransfer. European Business Council for Sustainable Energy (e5): Karben.

[2] Forsyth, Tim (2005): Enhancing climate technology transfer through greater public-private cooperation: Lessons from Thailand and the Philippines. In: Natural Resources Forum 2005, Vol. 29, Iss. 2, S. 165-176.

[3] IPCC Special Report "Methodological and Technological Issues in Technology Transfer", IPCC 2000

[4] Barton, John H. (2007) Intellectual Property and Access to Clean Energy Technologies in Developing Countries: An Analysis of Solar Photovoltaic, Biofuels and Wind Technologies. ICTSD Trade and Sustainable Energy Series Issue Paper No. 2 International Centre for Trade and Sustainable Development, Geneva, Switzerland

[5] Ockwell et al. (2008) Intellectual property rights and low carbon technology transfer: conflicting discourses of diffusion and development. University of Sussex. In Review.

[6] Pfahl, Stefanie et al. (2005): Die internationalen institutionellen Rahmenbedingungen zur Förderung erneuerbarer Energien. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin.

Siehe auch:
Forsyth, Tim (2007): Promoting the ''Development Dividend'' of Climate Technology Transfer: Can cross-sector Partnerships Help? In: World Development Vol. 35, No. 10, S. 1684–1698.

Innovationsstrukturen in Deutschland für technologische Spitzenstellung – das Solarvalley Mitteldeutschland

Dr. Hubert A. Aulich
Clustersprecher
Solarvalley
Mitteldeutschland,
Mitglied des Vorstandes
PV Crystalox Solar PLC
hubert.aulich@
pvsilicon.com

Dr. Peter Frey
Geschäftsführer
Solar Valley GmbH
pfrey@cismst.de

Zusammenfassung

Die Bundesländer Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen haben sich zu einer Region mit der höchsten Dichte an Industrieunternehmen der Photovoltaik in Europa entwickelt. In dem regionalen Cluster „Solarvalley Mitteldeutschland“ wurde ein umfassendes Innovationskonzept gestartet, das durch Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft, Forschung, Bildung und Politik die Umsetzung neuester Solar-Technologien in der Industrie ermöglicht und den Ausbau der heute 11.000 Arbeitsplätze auf 40.000 in der Region als Ziel bis 2020 verfolgt. Mit diesem Konzept kann der Solarstrom zur Wettbewerbsfähigkeit mit Strom aus konventionellen Brennstoffen geführt werden.

1. Einleitung

In dem Cluster „Solarvalley Mitteldeutschland“, Gewinner des Innovationswettbewerbes Spitzencluster in Deutschland des Bundesforschungsministeriums im Jahr 2008, wird in einem Bündnis von Industrie, Forschungseinrichtungen und Bildungsträgern der Silizium-Photovoltaik die internationale Spitzenposition weiter ausgebaut. Durch Themenkoordination und Zusammenarbeit soll der Solarstrom zur Wettbewerbsfähigkeit mit Strom aus konventionellen Brennstoffen geführt werden. Mit den geplanten Investitionen der Industriepartner und den Leistungen der öffentlichen Hand kann innerhalb der nächsten Jahre die „Netzparität“ erreicht werden. Das bedeutet, dass der Solarstrom die Kosten des „Stroms aus der Steckdose“ unterschreitet. Dies ist das entscheidende Etappenziel.

2. Weltweit führende Photovoltaikregion

Die Region – bestehend aus den drei Bundesländern Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen – hat die höchste Dichte an Industrieunternehmen der Photovoltaik in Europa *(Abbildung 1)*. In 2009 waren bereits 11.000 Beschäftigte in diesem Bereich tätig. Die branchenspezifische Wachstumsrate betrug in den letzten Jahren mehr als 35 Prozent, ein ähnlich hohes Wachstum ist im Durchschnitt der nächsten Jahre zu erwarten.

Die führenden Produzenten der Region – sie vertreten 43 % des deutschen PV-Industrieumsatzes – sind Motor des Innovationskonzeptes „Solarvalley Mitteldeutschland“.

3. Die Innovationsstrategie im „Solarvalley Mitteldeutschland“

Derzeit verfolgen 29 weltweit agierende Unternehmen, 9 Forschungseinrichtungen und 4 Universitäten in einer gemeinsam vereinbarten Strategie drei miteinander verknüpfte Stoßrichtungen

- Technologieentwicklung
- Bildung und
- Clustermanagement.

Die Strategie wird in 98 Einzelprojekten mit einem Gesamtbudget von 150 Mio. € über einen Zeitraum von 5 Jahren umgesetzt. Die öffentliche Hand – Bundesforschungsministerium und Länderministerien – finanziert 50 % der Auf-

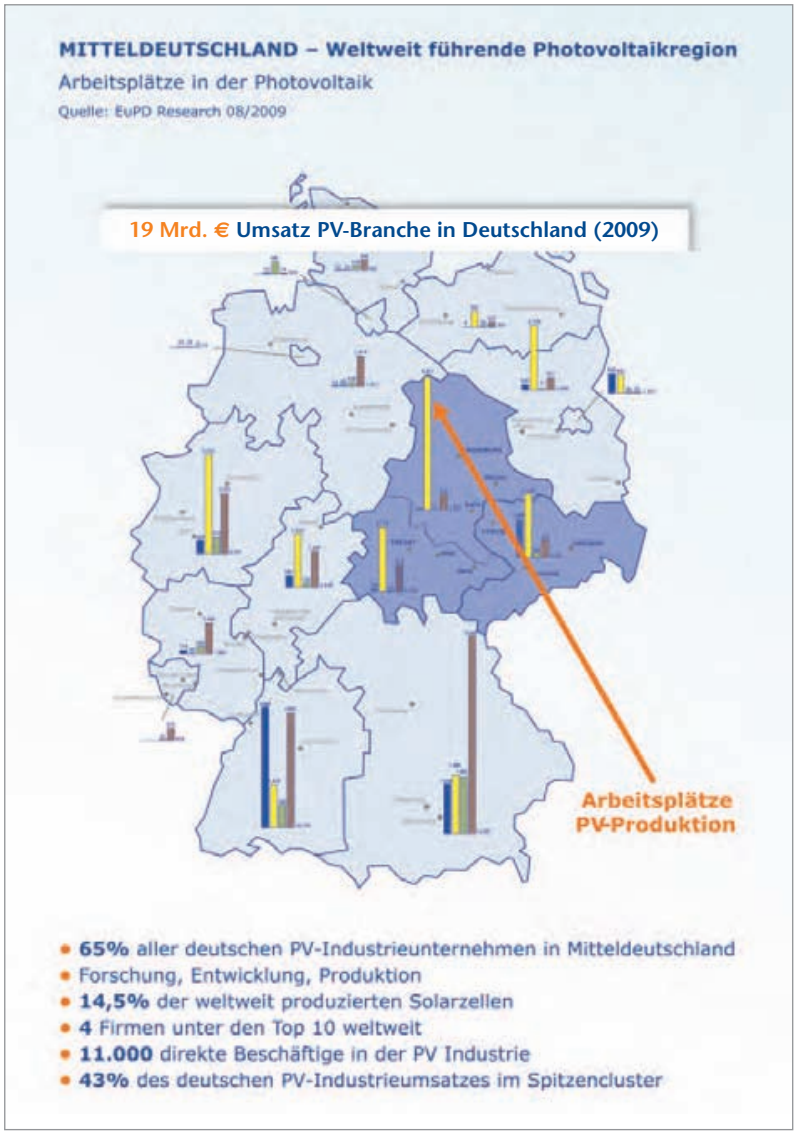


Abbildung 1
Die Bundesländer Thüringen, Sachsen und Sachsen-Anhalt – weltweit führende Solarregion

wendungen. Der Cluster wird von der Industrie geführt, die Arbeitsthemen, Partnerauswahl und Finanzierung des Eigenanteils verantwortet. Dieser eng verkoppelte Entwicklungsansatz wird durch die regionale Vernetzung der Akteure sehr effektiv unterstützt.

Die Technologieentwicklung wird im Rahmen einer langfristigen und über alle Stufen der Wertschöpfungskette abgestimmten Innovationsstrategie zur Erhöhung des Wirkungsgrades der Solaranlagen, zur Verbesserung von Produktzuverlässigkeit und -lebensdauer und zur Reduktion der Produktionskosten forciert. Über allen Innovationen steht das übergeordnete Ziel einer Reduktion der Kosten je erzeugte Kilowattstunde Energie. Das Entwicklungskonzept erstreckt sich von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung in innovativen Produktionstechnologien *(Abbildung 2)*. Eine besondere Bedeutung für das Erreichen der anspruchsvollen Zielsetzung hat die Passfähigkeit der jeweiligen Entwicklungsergebnisse mit der Schnittstelle zur folgenden Wertschöpfungsstufe.

Die Kostenziele für die angestrebten Innovationen orientieren sich an den Erfahrungswerten der Vergangenheit: Bei Verdoppelung der installierten PV-Leistung sank bisher der Preis um 20 %. Das Konzept Solarvalley wird dafür sorgen, dass diese Preis-Lernkurve *(Abbildung 3)* in die Zukunft – unter Wahrung der Margen bei den Produzenten – fortgeschrieben wird. Es wird damit einen maßgeblichen Beitrag zur

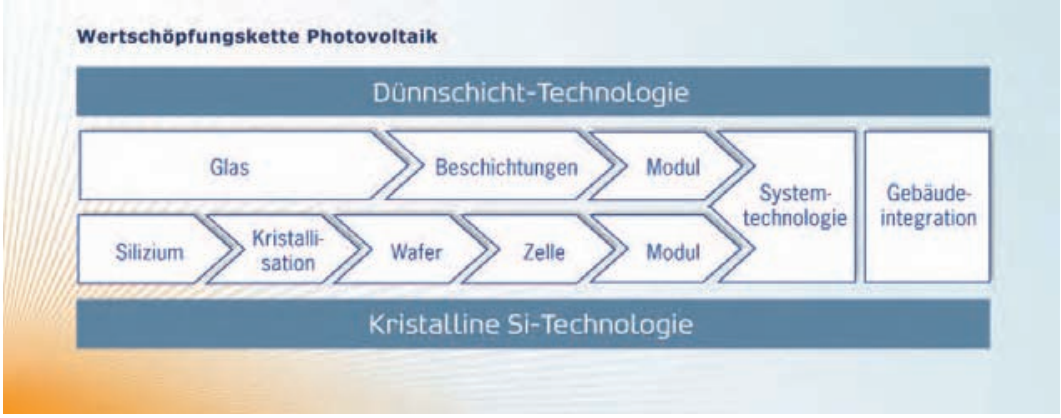


Abbildung 2
Wertschöpfungskette für die kristalline Silizium- bzw. Dünnschicht-Technologielinie

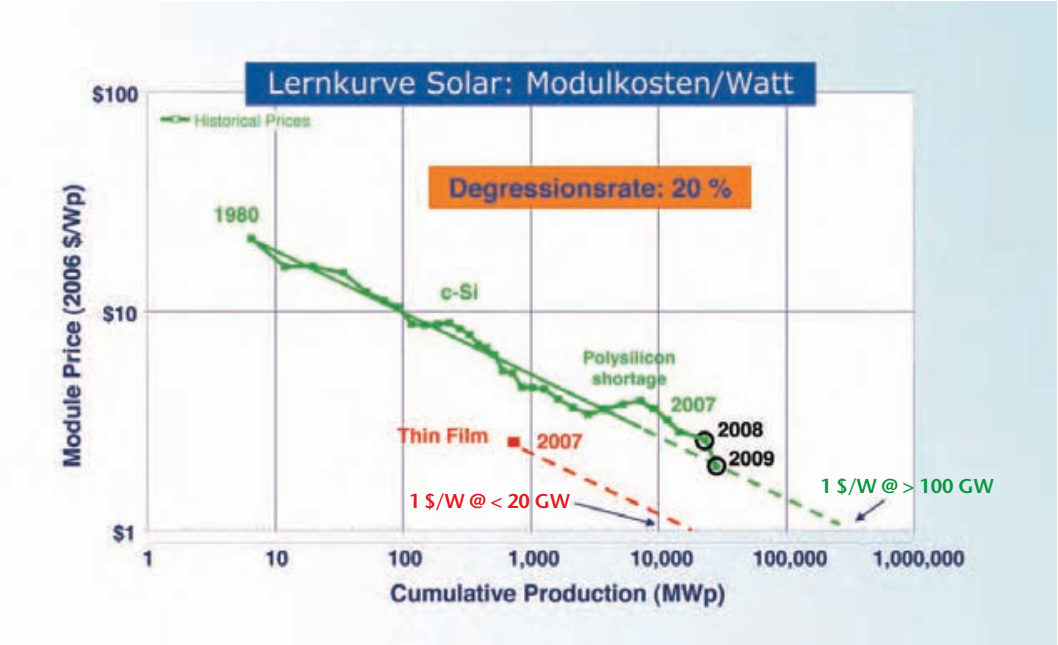


Abbildung 3
Solarstrom auf dem Weg zum wettbewerbsfähigen Energieträger: Den Preis von 1 $/W erreichen Dünnschichtmodule (rote Kurve) schon bei weniger als 20GW installierter Leistung, Siliziummodule (grüne Kurve) dann ab 100 GW.

Quelle: nach NREL

Erreichung des Etappenziels „Netzparität" leisten. Für die vorherrschende Sonneneinstrahlung in dieser Region soll dies bereits deutlich vor dem Jahr 2015 erreicht sein.

Der Bereich Bildung beinhaltet die spezifischen Maßnahmen zur Deckung des Bedarfs dieser rasch wachsenden Branche an Fach- und Führungskräften auf sämtlichen Qualifikationsebenen. Es soll ein integrales Bildungssystem für alle Wertschöpfungsstufen sowie für übergreifende strategische Aufgaben, länderübergreifend abgestimmt, etabliert werden.

Das Clustermanagement unterstützt die Professionalisierung und den Ausbau des Netzwerkes sowie die Koordinierung entlang der Wertschöpfungskette Photovoltaik in der Region. Besondere Bedeutung haben dabei Maßnahmen zur Erhöhung der Attraktivität der Region für nationale und internationale Kapitalgeber, die Unterstützung des Ausgründungsgeschehens und die Koordination des gemeinsamen Auftretens bei internationalen Branchenvertretungen, Expertengremien und politischen Instanzen. Zur operativen Umsetzung wurde eine Managementplattform mit Regionalbüros in den drei beteiligten Bundesländern eingerichtet, die als Dachverband mit den Branchenvertretungen vor Ort kooperiert.

4. Technologien und Produkte für die Netzparität

Das Forschungs- Entwicklungsprogramm für das Erreichen der Netzparität wird in einem zeitlich und inhaltlich abgestimmten System von derzeit 12 Verbundvorhaben realisiert. Die *Abbildungen 4 und 5* listen die Arbeitsschwerpunkte auf der jeweiligen Wertschöpfungsstufe für die kristalline und die Dünnschicht-Technologielinie auf.

In den Arbeitsschwerpunkten der kristallinen Silizium (c-Si)-Technologielinie wird angestrebt, mit möglichst wenig Silizium so viel Strom wie möglich zu erzeugen. Das bedeutet, dass die Dicke der Siliziumscheiben von heute 180 Mikrometer auf ca. 100 Mikrometer verringert und gleichzeitig auch der Wirkungsgrad von Solarzelle und Solarmodul erhöht wird. Für das übergeordnete Ziel einer Reduktion der Kosten je erzeugte kWh Energie müssen neue Lösungen sowohl auf der Ebene des Produkts als auch

Abbildung 4
Arbeitsschwerpunkte in der Wertschöpfungskette c-Si

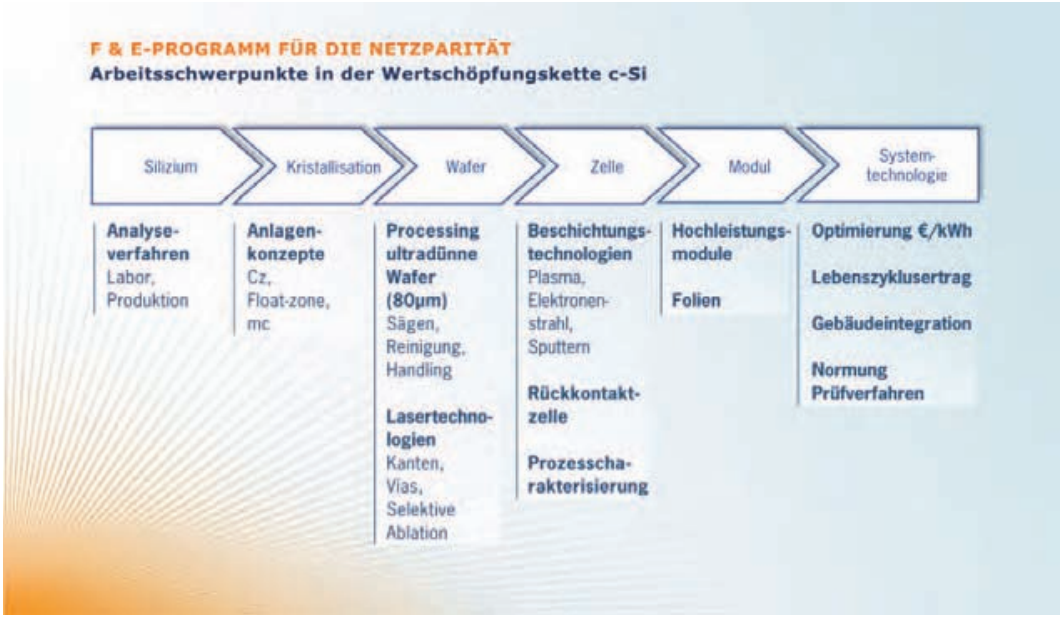


Abbildung 5
Arbeitsschwerpunkte in der Wertschöpfungskette Dünnschicht-Si

Bildung und Forschung für eine Zukunftstechnologie – Beschäftigungszuwachs im Solarvalley

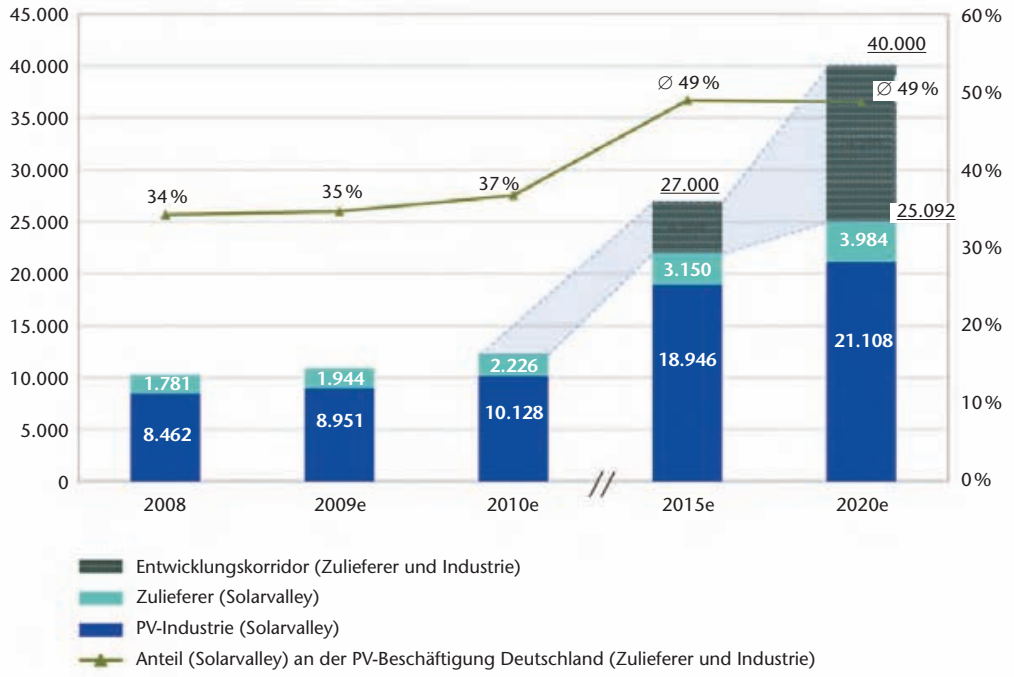


Abbildung 6
Beschäftigungszuwachs im Solarvalley

der Produktionstechnologie entwickelt werden. Darüber hinaus müssen die Produktzuverlässigkeit und -lebensdauer beim Endanwender über 30 Jahre gewährleistet sein.

Die Meilensteine auf dem Weg zum Etappenziel Netzparität sind vereinbart; für das Jahr 2011 gilt:

- mehr als 30 % Materialeinsparung
- Wirkungsgraderhöhung auf 20 % Modulwirkungsgrad für c-Si bzw. 10 % für Dünnschichtsolarmodule
- Erhöhung der Zuverlässigkeit und der Modullebensdauer auf über 30 Jahre

5. Bildung und Forschung für eine Zukunftstechnologie

Die High-Tech-Branche Photovoltaik hat einen außerordentlichen Bedarf an hoch qualifizierten Fach- und Führungskräften. Neben der rein quantitativen Deckung des Personalbedarfs der rasch wachsenden Branche liegt hier die Herausforderung in der Erfüllung der Qualitätsansprüche einer Industrie, die sich insbesondere im High-End-Segment international behaupten will. Das Erreichen der Kostenziele ist eng mit den Wachstumsszenarien der Industrie verkoppelt. Bis zum Jahr 2020 werden 40.000 Arbeitsplätze zu besetzen sein, entsprechend 50 % aller Arbeitsplätze bei der PV-Industrie und ihren Zulieferern in Deutschland, wie eine aktuelle Studie ausweist *(Abbildung 6)*.

Ein integrales, Länder übergreifendes Bildungssystem soll diesem Anspruch gerecht werden. Als Sofortmaßnahmen wurden vier neue Bachelor- und Masterstudiengänge gestartet, sechs Stiftungsprofessuren ausgeschrieben und ein Kompetenzzentrum für die berufliche Aus- und Weiterbildung errichtet.

Für den Meilenstein im Jahr 2011 sollen folgende Zielmarken realisiert sein

- Qualifizierung von 5.000 Facharbeitern in der Region
- Anwerbung von 2.000 Fachkräften aus dem Umfeld
- Netzwerk akademische Ausbildung mit 400 Abschlüssen Bachelor/Master pro Jahr
- Ausbau der Doktorandenstellen für 40 Promotionen pro Jahr

6. High-Tech-Region mit hoher Attraktivität für Wirtschaft und Gesellschaft

Mit dem Innovationskonzept des Solarvalleys Mitteldeutschland werden Strukturen für eine technologische Spitzenstellung im internationalen Wettbewerb geschaffen. Daraus resultieren die neuen Chancen:

- Umweltpolitik – Minderung des CO_2-Eintrags durch Solarstrom
- Wirtschaftspolitik – Solarstrom als Treiber für saubere Energie
- Regionalpolitik – Mitteldeutschland entwickelt sich zur führenden High-Tech-Region mit hoher Attraktivität für Investoren
- Unternehmenspolitik – Beschleunigung des Innovationsprozesses zur Festigung der technologischen Spitzenstellung.

Durch interdisziplinäre Zusammenarbeit von Herstellern und Anwendern, Fachplanern und Architekten können innovative solare Systemlösungen konzipiert werden, die sowohl den technologisch-wirtschaftlichen Bedingungen als auch den Ansprüchen in Architektur, Orts- und Landschaftsgestaltung gerecht werden. Diese Modelllösungen können auf das Produktprogramm der Hersteller rückwirken und Alleinstellungsmerkmale in dem boomenden Käufermarkt sichern. Beispielhaft ist hier die neu etablierte internationale Kongressreihe Bauhaus-Solar in Erfurt. Hier werden im Verbund der Bauhaus Tradition – mit den Wurzeln in Weimar und Dessau – und der Industrie der Region neue Systemlösungen entwickelt und die Zukunftspfade für eine „Kultur der Energie“ gewiesen.

So werden im Cluster „Solarvalley Mitteldeutschland“ neben der Exzellenz bei den Produkt- und Technologielieferanten, neben den avisierten 40.000 Arbeitsplätzen und neben dem qualitativen Ausbau der Region insgesamt auch Weichenstellungen zum Wechsel in der Energiestrategie auf die Agenda gesetzt.

Sind die deutsche Forschung für erneuerbare Energien und die deutsche Wirtschaft fit für den internationalen Wettbewerb?

Podiumsdiskussion mit Vertretern aus Forschung, Politik und Wirtschaft

Verkürzte Innovationszyklen erfordern mehr Forschung und Entwicklung

Aulich: In der Photovoltaik sind die Preise stark gefallen, der Wettbewerb ist enorm. Der spanische Markt hat sich 2008 sehr stark verringert, dadurch sind große Überkapazitäten aufgebaut worden und es entstand Druck auf die Hersteller, die Produkte abzusetzen. Hinzu kommt, dass sich die Produktionstechnologien für die Erneuerbaren, die wesentlich von deutschen Anlagenbauern entwickelt wurden, sehr schnell verbreiten und internationalisiert werden. Das heißt die Zyklen von der guten Idee in einem Forschungsinstitut bis zur Produktion betragen nicht mehr 7–8 Jahre wie früher, sondern nur noch 2 Jahre. Die einzige Chance die wir haben ist, das Innovationstempo und damit den F&E-Aufwand noch weiter zu erhöhen. Denn sonst wird Deutschland seine führende Position verlieren. Es braucht auch mehr Bereitschaft der Industrie, neue Ideen umzusetzen, um die Kosten zu senken. Das ist Vorbedingung, damit die Arbeitsplätze nicht aus Deutschland abwandern.

Konkurrenz aus Asien macht Druck auf Industrie und Forschung

Stadermann (FVEE): Meine Frage ist etwas provokant: Die Forschungsmittel sind immerhin leicht gewachsen und die Industrie selbst forscht auch. Warum sind denn jetzt die Solarzellen aus China genauso gut wie unsere? Wieso haben wir denn keinen Vorsprung mehr?

Aulich: Deutschland hat an dem Thema schon sehr lange gearbeitet und Vorarbeiten geleistet. Das haben andere Länder wie z. B. China nicht gemacht. Aber wenn Sie heute in Asien eine Solarfertigung aufbauen wollen, weil das eine Zukunftstechnologie ist, mit der man Geld verdienen und Arbeitsplätze schaffen kann, dann können Sie einen Generalkontraktor finden, der Ihnen die Solarfertigung mit neuster Technologie aufbaut, Wirkungsgrade garantiert und Ihnen auch zeigt wie das geht. Das gab es vor 7 oder 8 Jahren noch nicht. Wenn sie nach China oder Malaysia fahren, werden sie deutsche Anlagen finden, die von deutschen Anlagenbauern gebaut worden sind. Diese deutschen Anlagenbauer haben natürlich auch eine intensive Vernetzung mit der deutschen Forschungslandschaft. Von dort kommen auch weiterhin gute Ideen zur Weiterentwicklung. Das soll ja auch so sein, aber die Geschwindigkeit des Know how-Transfers hat sich enorm erhöht. Wenn Sie als Solarzellen- oder Waferhersteller vorne dran sein wollen, müssen Sie, wenn die Anlagen dazu bereits überall verkauft werden, eine Technologie haben, die schon weiter ist. Und Sie sollten auch versuchen, dass nicht das ganze Wissen dafür beim Anlagenbauer bleibt, sondern dass auch ein Teil bei Ihnen verbleibt, so dass es nicht so einfach ist, die Technologien weiterzuverkaufen. Aber wir dürfen keine Illusion haben. In China wird mit enormem Aufwand und vielen Ingenieuren und Wissenschaftlern daran gearbeitet, auch selbst Weiterentwicklungen zu machen. Es ist nicht so, dass dort nur

Moderation:
Klaus Oberzig
scienzz communication
Web-Plattform für die Welt der Wissenschaft
oberzig@scienzz.com

Dr. Hubert Aulich
PV Silicon Forschungs- und ProduktionsAG
hubert.aulich@pvsilicon.com

Dr. Wilfried Hoffmann
Präsident der EPIA und CTO Applied Materials
winfried_hoffmann@amat.com

Reinhard Kaiser
Bundesumweltministerium
Leiter der Unterabteilung „Erneuerbare Energien“
Seit 1.2.2010: UAL „Ökologische Ressourceneffizienz, Bodenschutz“
reinhard.kaiser@bmu.bund.de

abgekupfert würde und es sonst nicht weiter ginge. Insofern entsteht ein enormer Druck nicht nur auf die deutsche Industrie, sondern auch auf die deutsche Forschung.

Hoffmann: Ich möchte noch einen anderen Gesichtspunkt für die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen nennen: Die Landesbank Baden Württemberg (LBBW) hat vor ein paar Monaten eine Studie veröffentlicht, die zeigt, dass es 40 Prozent Kostennachteil für deutsche Produzenten gibt. Nach meinem Wissensstand gibt es in China bis zum Ende des 1. Quartals eine Investitionsförderung für Produktionsanlagen von 20, 30 oder 40 Prozent – das hängt von der Region ab. Das noch fehlende Restgeld bekommt der chinesische Produzent von der chinesischen Staatsbank für 15 Jahre für wenige Prozent zur Verfügung. Dazu kommen noch 10 Jahre Tax holiday. Und wenn dann noch der Dollar/Euro-Währungsfaktor mit dazu kommt, ist das sozusagen der „letzte Sargnagel“. Aus diesen Gründen wird in China auch heute noch trotz Überkapazität massiv in neue Produktionsanlagen investiert. Wenn deutsche oder europäische Unternehmen hingegen zu ihren Banken gehen, gibt es gewaltige Diskussionen, ob sie das Geld überhaupt bekommen und zu welchen Konditionen. In anderen Ländern wird ganz offen über den heimischen Anteil der Wertschöpfung gesprochen, wenn öffentliche Programme für die Markterschließung diskutiert werden. Ich plädiere nicht dafür, Handelsbarrieren aufzubauen, um ausländische Produkte draußen zu halten, aber wir müssen mit unseren Rahmenbedingungen auf diese internationalen Herausforderungen reagieren, damit wir auch in der Zukunft den Technologiestandort Deutschland und Europa halten können. Dafür wie das genau aussehen soll, habe ich bis jetzt auch keine Antwort gefunden. Wir müssen uns gemeinsam beraten mit den Kollegen aus allen Ministerien und in der EU, was für Maßnahmen bei uns hier machbar sind, um wirklich für die Zukunft gerüstet zu sein.

Wirtschaftsförderung im internationalen Vergleich

Kaiser: Ja, die Chinesen subventionieren ihre PV-Produktion. Aber das haben wir auch getan: europäische Strukturen vermitteln Länderzuschüsse, es gibt kommunale Unterstützung, die KFW und Mittel aus Bundesprogrammen. Auch Deutschland hat sein Instrumentarium genutzt, um die heimische PV-Industrie hochzuziehen. Jetzt ist es ein bisschen schwieriger, aber trotzdem gibt es noch Investitionen in dem Bereich. Herr Asbeck baut gerade seine Produktion aus. Und dass wir jetzt Wettbewerb in dem Markt haben, dass Anbieter von Modulen mit den neuen Preisen Schwierigkeiten haben, ist doch auch normal – das ist Marktwirtschaft. Wir haben in der Produktion von PV Modulen Umsatzrenditen von 30–40 Prozent zugelassen. Wenn das über Jahre so geht, gibt es natürlich einen Zug der Lemminge in diesen Bereich und der erzeugt dann Überkapazitäten, die wir jetzt haben. Die Antwort kann doch nur sein: wenn die Chinesen kommen, dann müsst ihr halt besser sein! Erstens braucht ihr Innovationen, um vorneweg zu bleiben bei Produktion und Kostenstruktur. Zweitens müsst ihr besser sein in der Kundenpflege. Werbt damit, dass ihr in Deutschland produziert und geht mit euren Kunden gut um. Ich würde zur dringend notwendigen Kundenpflege gern ein Beispiel erzählen. Die Zeitschrift Photon hat ein paar Leute gebeten, Angebote einzuholen für eine PV-Dachanlage für 6 KW. Nach einem Monat hatten die auf 30 Anfragen 5 mehr oder minder ernst gemeinte Angebote. Das ist die Situation in dem Markt. Leute ihr müsst euch besser um eure Kunden kümmern, bevor ihr zur Politik kommt und Schutzzonen oder Importbeschränkung verlangt!

Europäische Forschungspolitik

Hoffmann: Mit der bisherigen Forschungspolitik auf europäischer Ebene bin ich ganz und gar nicht zufrieden. Herr Nick-Leptin vom BMU hat in seinem Vortrag gezeigt, dass die Forschungsaufwendungen Deutschlands im Energiesektor zu mehr als 50 Prozent im kerntechnischen Bereich liegen und deutlich weniger als 50 Prozent

im erneuerbaren Bereich. Im 7. Forschungsrahmenprogramm der EU ist diese Verteilung eher noch schlimmer – das 8. ist gerade in Arbeit. Diese Unangemessenheit der Mittelverteilung sollte man viel deutlicher an die Öffentlichkeit bringen! Man sollte in aller Klarheit zeigen, dass die Erneuerbaren heute bereits nachgewiesen haben welche Möglichkeiten sie haben – im Gegensatz zu den Versprechen, die wir seit 50 Jahren z. B. von der Kernfusion hören. Wir wissen doch heute schon, dass mit Erneuerbaren in 10 Jahren kostengünstiger Strom produziert werden kann als diese Systeme – wenn überhaupt – es je in der Lage sind zu tun. Der Titel für den Rückbau von kerntechnischen Anlagen ist notwendig, das ist schlimm genug. Aber wir investieren heute nicht genug Geld für die Technologien, die uns in Zukunft versorgen sollen. Von daher bin ich mit der Schwerpunktsetzung der Forschungspolitik sehr unzufrieden.

Aulich: Wenn die EU ihre Forschungs- und Entwicklungsmittel darstellt, dann sind das häufig Mittel, die auf nationaler Ebene ausgegeben werden aber als EU-Budget dargestellt werden. Ich würde es für sinnvoll erachten, dass die EU ihr eigenes Budget aufstellt und selbst Themen bearbeitet und zwar wesentlich stärker für Erneuerbare als sie das in der Vergangenheit gemacht hat. Denn bisher dominieren im F&E Budget für die Hardware, die Systementwicklung und Netze Interessen, die mit den Erneuerbaren nicht im Einklang stehen. Aus Sicht der herstellenden Industrie ist die Hauptforderung sowohl für auf nationaler Ebene und noch viel schärfer auf europäischer Ebene, dass die Mittel nicht nur ausgeweitet, sondern gezielt und vor allem schneller eingesetzt werden.

Kaiser: Wir begrüßen es natürlich sehr, wenn die EU Forschungsanstrengungen unterstützt. Wenn sie eigene Programme auflegt, ist das auch ganz wunderbar. Es sollte dabei aber eine Orientierung stattfinden auf die Themen, die politisch als Schwerpunkt gesetzt wurden. Das sind Klimaschutz, Energieeffizienz und vor allen Dingen die Erneuerbaren. Verbindliches Ziel der EU sind 20 Prozent Erneuerbare im Jahre 2020. Das unterlegt man sinnvoller Weise durch gesteigerte Forschungsanstrengung.

Mehr Mittel für die Erforschung Erneuerbarer notwendig

Weber: Ich möchte eine Lanze brechen für die Art, mit der wir in Deutschland die Forschung auf dem Gebiet der Photovoltaik fördern. Ich glaube, dass wir so stark sind, weil wir unsere relativ geringen Mittel sehr vernünftig in Projektförderung einsetzen. Zum Beispiel im Vergleich zum NREL in den USA, ein gigantisches Institut mit hoher institutioneller Förderung, das aber in den letzten Jahren viel zu wenig Wirkung in der Industrie gehabt hat in Relation zu den eingesetzten Mitteln. Meiner Meinung nach eignet sich die PV-Branche gut für die projektorientierte Förderung, bei der man innovative Projekte vorschlägt, die dann natürlich schon mit mindestens 50 Prozent Wahrscheinlichkeit auch Erfolg haben sollten. Unabhängig von der Vergabeart brauchen wir aber unbedingt die vom FVEE empfohlene Verdoppelung der Mittel.

Kaiser: In Deutschland haben wir eine gute, zielgerichtete Forschungsförderung. Wir machen die nächste Evaluierung unseres Forschungsprogramms 2011. Dazu können Sie uns Ihre Anregungen gern zuleiten. Dabei geht es selbstverständlich auch um mehr Geld. Zum Beispiel ist die Bewilligungsquote für PV erheblich gesunken. Das liegt aber nicht daran, dass die Anträge schlechter geworden sind, sondern daran, dass es in diesem Bereich einfach mehr zu tun gibt. Dort hat sich ein Markt entwickelt und das Innovationstempo hat sich erhöht. Deshalb ist da eigentlich Raum für mehr Anträge. Stattdessen wurde aber das Forschungsbudget für PV eingefroren. Auf hohem Niveau zwar – was politisch heiß umstritten war, so dass das BMU stolz war dieses Niveau halten zu können – aber eingefroren. Wir mussten anderen Bereichen den Aufwuchs bei den Forschungsmitteln geben. Ergebnis: sinkende Bewilligungsquote für PV – ganz schlecht für den Forschungsstandort Deutschland; ganz schlecht für die Preisentwicklung in dem Bereich.

Hoffmann: Die Ausweitung der Fördermittel ist ein ganz wichtiges Thema. Zum Erhalt der Industrie in Deutschland ist es absolut notwendig, dass wir die vorhandenen Zusammenarbeiten zwischen den Forschungsinstituten und der

Industrie in Zukunft noch intensiver nutzen. Wir müssen gemeinsam erreichen, dass das Forschungsbudget für die Erneuerbaren erhöht wird, damit die guten Anträge mit einer Quote von mindestens 60 Prozent erfolgreich genehmigt werden können. Dafür braucht es dann eben ein dreimal so hohes Budget. Diese Forschungsmittel dienen auch dazu, die deutsche Industrie international wettbewerbsfähig zu halten. Und dafür sind die Mittel mit Sicherheit nicht ausreichend.

Zweispurige Förderung: Vorlaufforschung und anwendungsnahe Forschung

Prof. Dr. Frithjof Staiß
Geschäftsführendes Vorstandsmitglied des ZSW
frithjof.staiss@zsw-bw.de

Staiß: Jede Innovation fängt bei einer Grundlagenerfindung an. Dann gibt es den Pioniermarkt, den wir heute bei den solarthermischen Kraftwerken haben. Danach kommt die Markteinführung wie heute bei der Photovoltaik. Anschließend gibt es die Marktdurchdringung wie für die Windmühlen an Land. Dann kommt die Marktsättigung, das sind heute die Wasserkraftwerke. Die Frage ist: Forschen wir für die nächsten 2 Jahre um ein Delta an Technologievorsprung zu halten? Ja! Aber wir brauchen auch Vorlaufforschung, um wirklich revolutionäre Innovationen zu erforschen für neue Anwendungen, die eben erst in 10 Jahren kommen. Das ist die Kunst des Ausbalancierens, sowohl in der Photovoltaik aber auch in allen anderen Themenfeldern wie solarthermische Kraftwerke, Geothermie, Meeresenergie und Energiespeicher. Da muss ein ausgewogenes Verhältnis gefunden werden.

Rau (Roth und Rau AG): Mein Kommentar in Richtung BMU: Natürlich ist es wichtig, dass man hier im ForschungsVerbund Vorlaufforschung und strategische Forschung macht. Aber wenn wir als Industrie einen Antrag stellen, dann meistens für Projekte, die aus Gründen des Wettbewerbsvorteils wirklich schnelle Umsetzung brauchen. Wenn wir uns für eine bestimmte Technologie stark machen, dann muss die nächstes, spätesten übernächstes Jahr am Markt sein. Da sind die Beantragungsphasen in vielen Fällen zu lang. Denn in der schnellen Umsetzung dieser Projekte liegt der Innovationsvorteil der deutschen Unternehmen. In 2 Jahren haben das die Konkurrenten in Asien oder wo auch immer auch geschafft. Dabei greifen die gar nicht unbedingt auf unsere Vorgaben zurück, sondern betreiben eigene F&E und schauen auch in Entwicklung. Mit denen befindet sich auch unser Forschungsumfeld im Wettbewerb. Das muss man mit bedenken, wenn man über die Fristen nachdenkt.

Kaiser: Auf mich wirkt es ein bisschen zu hektisch zu sagen „Wenn wir das jetzt nicht in den ersten zwei Jahren schaffen, dann ist es vorbei“. Die bürokratische Antwort: Wir reden jetzt über den Bundeshaushalt 2010. Der tritt im April 2010 in Kraft. Dann kann man im Mai Förderanträge stellen, die nach Prüfung im September beschieden werden.

Jetzt die forschungspolitische Antwort: Wenn die Amerikaner jetzt ganz viel Geld in die Erneuerbare Forschung stecken, erschreckt uns das im Ministerium nicht so furchtbar. Denn die Amerikaner tun immer ganz schnell ganz viel Geld in irgendeinen Bereich aber zwei Jahre später ziehen sie das Geld genauso schnell wieder ab. Die große Stärke Deutschlands war und ist demgegenüber die Kontinuität. Die Verbindung von kurzfristigen Projekten und langfristigen Vorhaben und die beharrliche Verfolgung vieler unterschiedlicher Pfade.

Auch dass in der Forschungsförderung mehrere Ressorts aktiv sind, sehen wir als Stärke, weil es für eine Pluralität der Ansätze sorgt. Es gibt eben mehrere Entscheider, die alle wichtig sind und untereinander in einem sehr interessanten Verhältnis stehen. Das ist eine gute Struktur solange wir nicht gegeneinander sondern miteinander arbeiten; solange wir uns austauschen und nicht Doppelforschung machen, sondern Synergien nutzen und Pluralität entfalten.

Konkurrenz aus USA nicht unterschätzen

Staiß: Ich möchte an dieser Stelle ganz deutlich Herrn Kaiser widersprechen und zwar, weil diese amerikanische Rein-raus-Politik inzwischen eine andere Qualität bekommen hat. Das Solar Energy Technology Programm bedeutet, dass die Solarforschungsbudgets für 2010 verdoppelt werden sollen, also 100 Millionen Euro oben drauf. Davon gehen fast 70 Millionen in das National Renewables Energy Lab, und die arbeiten auf hohem Niveau.
Wir streiten uns ja auch in beliebigen anderen Beispielen um die Weltspitze in der Forschung. Da muss man aufpassen und es gibt auch industriepolitische Argumente. Die USA wären ja blöd wenn sie sich den Markt der Erneuerbaren der heute sichtbar ist, wegnehmen ließen. Die sind aber super professionell und wenn die was durchziehen, dann ziehen sie es durch. Gelassenheit gegenüber den Amerikanern wäre eine fatale Unterschätzung. Deswegen empfiehlt der FVEE, die Fördermittel deutlich zu erhöhen. Die von uns vorgeschlagenen 20 Prozent pro Jahr sind dabei schon ein in der Politik durchsetzbarer Kompromiss, faktisch braucht die Forschung erheblich mehr.

Kaiser: Was war denn das Problem von NREL in den USA? Die Finanzierung war durch institutionelle Förderung gesichert, aber für wen sollten die denn forschen? Die hatten einen Abnehmermarkt, der an Steuervergünstigungen hing, die jedes Jahr im Kongress neu beschlossen werden mussten – oder auch nicht. Da findet man keinen kontinuierlichen Partner. In Deutschland haben wir eine solide Forschungslandschaft, die sich auf Basis einer kontinuierlich entwickelten Projektförderung gestaltet und entwickelt. Wir haben eine sehr gute Forschungslandschaft und wir haben einen attraktiven Binnenmarkt, wo man die Produkte der Forschung auch unterbringen kann, wo man industrielle Partner findet. Und wir haben einen breiten politischen Konsens durch alle politischen Parteien im Bundestag, durch alle ohne Ausnahme – diese Konstellation ist fantastisch.
Jetzt kommt es darauf an, dass wir, nachdem wir in der Vergangenheit viel investiert haben, um dieses Potenzial zu entwickeln, es auch nutzen. Wir dürfen an dieser Stelle nicht zulassen, dass wir Fehler machen. Wir müssen uns kontinuierlich weiter entwickeln. Das ist auch mein Appell an sie: Lassen sie uns da gemeinsam und Hand in Hand – und nicht im Wettbewerb der verschiedenen EE-Sparten – gemeinsam dafür streiten, dass wir vorankommen. Wir müssen an einem Strang ziehen und den Entscheidungsträgern deutlich machen, dass es hier nicht um das Vergnügen geht, sondern ganz unmittelbar um unsere mittelfristige Zukunft.

Forschungsförderung als Industriepolitik?

Oberzig: Es besteht die Erwartung, dass Forschungspolitik die Wettbewerbfähigkeit steigern und auch Arbeitsplätze schaffen soll. Ist Forschungspolitik auch Industriepolitik?

Kaiser: Wir haben natürlich ein Interesse daran, dass unsere Forschungslandschaft sich weiter entwickelt, stabil ist, sich weiter gut vernetzt und dass sie einen guten Draht zur industriellen Anwendung hat. Unserem Eindruck nach funktioniert das recht gut. Im Vortrag von Herrn Nick-Leptin (BMU) haben Sie gesehen, dass im Forschungstitel des Bundesumweltministeriums für Photovoltaik etwa die Hälfte der Mittel an den ForschungsVerbund Erneuerbare Energien gehen, aber ein gutes Drittel geht an Industrieprojekte. Ich finde diese Aufteilung sehr vernünftig. Diesen Transfer aus den Forschungseinrichtungen in die praktische Anwendung sollten wir weiter sorgfältig verfolgen. Also in dem Sinne ist Forschungspolitik durchaus Industriepolitik mit tiefem wissenschaftlichem Hintergrund.

Staiß: Wissenschaft ist kein Selbstzweck. Das sieht man auch an der Wirkung von 20 Jahren ForschungsVerbund. Die heutigen Unternehmen wären sicher nicht so erfolgreich, wenn sie nicht den technologischen Input bekommen hätten. Das ist auch eine Zyklenfrage. Die öffentliche Forschungsförderung hat am Anfang relativ viel in die Photovoltaik investiert, die Institute – auch aus dem ForschungsVerbund – haben Technologietransfer geleistet. Es gibt sehr enge partnerschaftliche Beziehungen zu den Unternehmen, in denen wir gemeinsam weiter

Johannes Schiel
VDMA, Referent für Windenergie und Brennstoffzellen
johannes.schiel@vdma.org

forschen und entwickeln. Inzwischen sind die Forschungsinvestitionen der PV-Branche viermal so hoch wie die öffentliche Forschungsförderung und das ist auch richtig und gut so. Es ist natürlich auch ein erklärtes Anliegen und auch Auftrag des Forschungsverbundes die Industrie zu unterstützen, aber eben auch neue wissenschaftliche Ideen auszuarbeiten, die erst später wichtig werden.

Industriepolitik: Spitzencluster

Oberzig: Ist das Solar Valley in Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen ein Konzept, mit dem man eine höhere Effizienz in der Forschung herstellen kann, die auch Teil einer Industriepolitik sein könnte?

Aulich: Wir haben in Deutschland eine hervorragende Forschungs- und Entwicklungslandschaft, wir haben hervorragende Leute, wir haben Wissenschaftler, die in das Thema Solarenergie – und das ist ein sehr attraktives Thema – einsteigen und dort auch Ihre Leistung bringen wollen. Beim Thema Spitzencluster, ist es noch zu früh für eine abschließende Bewertung, denn es ist erst ein Jahr alt. Ich halte den Ansatz für sehr gut, er ließ sich sehr schnell realisieren, hat aber auch einiges an Komplexität, was man nicht übersehen darf. Es gibt beim Solar Valley in verschiedenen Programmen insgesamt über 98 Einzelprojekte, die koordiniert werden müssen. Angesichts des internationalen Wettbewerbs, finde ich es sehr gut, dass es dort innerhalb eines Radius von 100 km Firmen auf unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfungskette gibt. Mit denen kann man auch als Wettbewerber etwas gemeinsam machen, weil das Thema vielleicht noch 3 – 4 Jahre in der Zukunft liegt. Es ist gut, wenn mehr Leute in die Region kommen – ob das Zulieferer oder auch Investoren sind. Ein Spitzencluster ist wie ein kochender Topf, wo Sie den Deckel drauf halten, da kommt auch der Druck schneller, da brodeln neue Ideen. Ich halte das für einen sehr guten Ansatz.

Forschung und Entwicklung als Industriepolitik

Schiel: Der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau VDMA vertritt Hersteller, die Produkte für alle möglichen Energietechnologien anbieten, nicht nur für Erneuerbare. Wir haben uns im VDMA zwar schwer getan, beispielsweise das Thema Photovoltaik auf der Herstellerseite mit zu integrieren, weil wir die hohen PV-Vergütungen politisch nicht mitvertreten wollen. Aber wir haben sehr wohl früh erkannt, dass es im VDMA eine sehr starke Gruppe von Unternehmen gibt, die sich mit Photovoltaik-Produktionsmitteln beschäftigt. Diese Gruppe ist viel zu wenig beachtet in der deutschen Diskussion. Man redet oft so, als sei die Photovoltaikindustrie nicht ausreichend mit Exportquoten versehen. Doch bei den Produktionstechnologien werden in Deutschland weit über 2 Milliarden Euro umgesetzt, die zu 80 Prozent in den Export gehen. Insofern haben wir eine sehr starke Photovoltaik-Produktionsmittelindustrie in Deutschland – neben den sehr bekannten Endproduktherstellern.

Die Photovoltaik und auch die Windindustrie bieten gute Beispiele einer erfolgreichen Industriepolitik von der Grundlagenforschung über Demonstrationsprojekte bis zur Markteinführungsflankierung. Durch energiepolitische Instrumente wurde eine Industrie mit aufgebaut. Das gilt ganz stark auch für die Windindustrie mit dem 100- bzw. dem 250-MW-Programm. Ähnliches versuchen wir auch im Bereich der Brennstoffzellentechnologien mit dem Nationalen Innovationsprogramm. So etwas läuft mal besser mal weniger gut. Als das 100.000-Dächer-Programm damals diskutiert und umgesetzt wurde, habe ich für einen Abgeordneten gearbeitet und die Schwierigkeiten bei diesem Prozess noch gut in Erinnerung. So etwas erleben wir jetzt bei der Markteinführung von Brennstoffzellen, und solche Holpersteine gibt es möglicherweise auch bei der mit Batterien angetriebenen Elektromobilität. Mir scheint es ganz wichtig, dass die unterschiedlichen industriepolitischen Instrumente – und F&E-Förderung ist meines Erachtens ein industriepolitisches Instrument – Hand in Hand greifen und dass gar nicht erst Lücken zwischen Forschung, Entwicklung, Demonstration und Markteinfüh-

rung entstehen, denn sonst fällt die Industrie in ein Loch. Wenn man eine Industrie als innovativ entdeckt hat und sie erfolgversprechendes Exportpotenzial hat, dann muss man, auch wenn sie reif für den Markt ist, begleitend F&E betreiben. Es gibt Forschungspapiere wie beispielsweise das von der Helmholtzgemeinschaft, die die Windindustrie als marktreife Technologie nicht mehr als forschungsunterstützungswert in dem Maße wie andere Industrien ansieht. Ich denke, F&E muss ein Instrument der Industriepolitik bleiben – auch wenn eine Technologie relativ nahe am Markt oder bereits marktreif ist.

Forschung für andere Klimaregionen

Uh (GTZ)**:** Ich möchte auch andere Sektoren außer PV ansprechen für Schwellen- oder Entwicklungsländer. Ein Beispiel aus Marokko: Solarthermie wird dort hauptsächlich mit Hilfe von Thermosiphons genutzt. So ein System hat 2 m², erzeugt 200 Liter warmes Wasser und kostet ungefähr 1000 Euro. Das mittlere Pro-Kopf-Einkommen in Marokko beträgt pro Jahr ebenfalls 1000 Euro. Daraus können sie ungefähr ermitteln, welcher Anteil der Bevölkerung sich so etwas leisten kann. Und wer braucht schon pro Kopf 200 Liter warmes Wasser am Tag in Marokko? Speicherkollektoren sind, davon bin ich überzeugt, für die ganze MENA-Region ein Renner. Dazu braucht man aber Partner und eventuell ein transnationales Forschungsprogramm mit einer Uni in Marokko oder in einem anderen Land. Das ist nur ein Beispiel, aber man muss immer sehr genau hinschauen, was sind die Märkte jenseits der industrialisierten Staaten wirklich brauchen.

Ebenso bei mittlerer Windkraft: diese Technologie hat in den Industrieländern eine Entwicklung durchgemacht und ist dann in den neuen Anwenderländern nie wieder optimiert worden. Eigentlich hätte sie für viele Stromnetze in den Entwicklungsländern genau die richtige Größe, ist aber technisch auf dem Stand von 1985. Der Optimierungsbedarf muss geklärt werden.

Auch bei der Netzintegration gibt es jede Menge zu tun. Aber – und das ist ein wichtiger Punkt an Herrn Wollin vom BMBF und an Herrn Kaiser vom BMU gerichtet – das kann man nicht alles von hier aus machen. Das heißt, da braucht es tatsächlich mal ein Nachdenken darüber, wie wir die Produkte deutscher Hersteller an die richtige Stelle bekommen. Was uns treibt, ist das Klimaproblem und das ist ein globales.

Fachkräftemangel – Nachwuchsförderung

Schneider (Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin)**:** Es wurde jetzt viel über Entwicklung und Wachstum geredet. In wieweit berücksichtigen Sie da die Begrenzung des zur Verfügung stehenden Fachpersonals? Manche Grafiken zeigten fast exponentielles Wachstum für die Erneuerbaren, aber die Hochschulen liefern diesen Output nicht. Was entgegnen sie dem?

Schmid: Nachwuchsförderung ist ein extrem wichtiges Thema und ich denke, dazu eignet sich ein Stück weit universitäre wie auch institutionelle Forschung, um eben das Aus- und Weiterbildungsspektrum zu erweitern. Wir haben massiven Ingenieursmangel im gesamten Maschinen- und Anlagenbau, selbst in der Wirtschaftskrise. Wir haben Bedarf an zusätzlichen Experten insbesondere auch in den stark wachsenden erneuerbaren Energien. Das gilt insbesondere für die Windindustrie. Die Kurven, die der Bundesverband Erneuerbare Energien uns für Deutschland zeigt, mag man ja noch irgendwie abfangen können. Aber wenn man diese Installation in Europa erledigt hat, dann fehlt einem wirklich das Fachpersonal, um Fertigung auch entsprechend auszulasten. Das ist eine der Schlüsselaufgaben für die nächsten Jahre, aber nicht nur spezifisch der erneuerbaren Energien. Der Hersteller eines Lagers oder eines Getriebes muss nicht unbedingt eine Spezialausbildung haben zum „erneuerbaren Energieningenieur“, sondern muss halt ein guter Mechaniker oder Mechatroniker sein.

Aulich: Ich würde meinem Vorredner ein bisschen widersprechen. Die Photovoltaik hat einen enormen Bedarf an Nachwuchskräften, sowohl im Facharbeiterbereich als auch im Bachelor- und Masterbereich. Es gibt viele Ansätze, die

durch Gemeinschaftsaktionen voran gebracht werden können, weil man zusammen einen gewissen Druck auf die Politik ausüben kann. Das ist einer der Vorteile in so einer Clusterbildung wie beim Solar Valley Mitteldeutschland. In Erfurt wird zum Beispiel ein Ausbildungszentrum für Photovoltaik und Hochtechnologie gebaut, in dem mehrere 100 Azubis in den kommenden Jahren ausgebildet werden. Außerdem gibt es Stiftungsprofessuren, damit das Thema Photovoltaik auch an den Universitäten gelehrt wird.

Staiß: Ich glaube die jungen Leute sind durchaus in der Lage, ihre Zukunftsperspektiven vernünftig einzuschätzen – dafür sind vielleicht auch die 130 Studenten bei dieser Tagung ein guter Beleg. Für die erneuerbare Energien brauchen wir nicht unbedingt Spezialisten, sondern Generalisten in bestimmten Sparten wie zum Beispiel in der Verfahrenstechnik, im Maschinenbau, der Elektrotechnik, der Chemie und der Physik, die eine Schwerpunktsetzung für Erneuerbare haben. Wenn ich bei den Instituten des ForschungsVerbunds die Kollegen frage, die in der Lehre aktiv sind, dann hat sich in den letzten 2 bis 3 Jahren deren Studierendenzahl vervierfacht. Ich glaube, dass die Studierenden selbst über die Wahrnehmung der Angebote Zeichen setzten, die dann von den Hochschulen übernommen werden. Es gibt mittlerweile anderthalb Dutzend Master- und Bachelor-Studiengänge, die sehr interdisziplinär ausgerichtet sind. Deshalb bin ich da für die Zukunft recht zuversichtlich. Die anderthalb Millionen Beschäftigte, die wir in diesem Umweltsektor insgesamt haben, zeigen eine gute Perspektive.

Kaiser: Die Lehrgänge an den Universitäten und Fachhochschulen sind Aufgabe der Länder. Zur Förderung der Fachkräfte können wir als Bund also wenig direkt tun, sondern lediglich meinungsbildend mitwirken. Aber diese Entscheidungen auf Länderebene haben längerfristige Wirkungen. Wenn Sie einen Studiengang ausbauen, hat das erst nach 4 bis 6 Jahren Folgen im Arbeitsmarkt. Das macht nur Sinn, wenn sie stabile Rahmenbedingungen vorfinden, wenn sie mit einer hohen Plausibilität sagen können, dass die Leute, die Sie jetzt in diese Studiengänge locken, in 5 bis 7 Jahren auch gebraucht werden. Setzt also voraus, dass wir im Bund eine Politik machen die längerfristig orientiert ist. Merken sie wovon ich gerade rede? Wir müssen im Bereich Photovoltaik eine Vergütungsstruktur schaffen, die nicht nur im Jahre 2010 und vielleicht auch noch im ersten Halbjahr 2011 den Leuten ermöglicht, gute Geschäfte zu machen. Wir müssen ein stabiles politisches Fundament legen, das auf 10 Jahre im Voraus tragen kann.

Internationale Zusammenarbeit

Staiß: Wir haben auf der Jahrestagung viele Vorträge über die Anpassung von Technologien an die Standortbedingungen anderer Länder gehört; an die Klimata, an die Netzintegration aber auch an die Gesellschaften und Kulturen. Dafür brauchen wir das Wissen aus den Anwenderländern. Insofern sollte ein idealer Forschungspartner für globale Märkte Kompetenzen mitbringen, die komplementär zu unseren sind. Wir können viel von einander lernen, auch und gerade von den Entwicklungsländern. Es muss also nicht immer eine Ost/West-Partnerschaft sein, sondern es kann gern auch eine Süd/Nord-Partnerschaft sein. Da gibt es im ForschungsVerbund auch schon viele positive Beispiele. Wenn es zum Beispiel um solares Bauen geht, bedeutet das für Asien etwas ganz anderes als für Mitteleuropa. Insofern ist klar, dass man sich dann ein Partner sucht, der aufgrund seiner Erfahrungen mit den klimatischen Anforderungen viel Input liefern kann.

Unser Defizit liegt in den außereuropäischen Wissenschaftskooperationen. Amerikaner und Europäern betreiben Wissenschaft zunächst einmal kompetitiv. Das führt einerseits dazu, dass wir einen gesunden Wettbewerb bekommen. Aber anderseits machen wir auch Doppelarbeit und nutzen Synergien nicht. Es gibt praktisch keinerlei Budgets, die gemeinsam gespeist werden, wo man die Attraktivität internationaler und das heißt auch außereuropäischer Forschung steigert, in dem man ein Budget zur Verfügung stellt, für das man sich gemeinsam bewerben kann. In Europa haben wir den Vorzug, uns auch in der wissenschaftlichen Arbeit gut zu vernetzen. Das fehlt auf internationaler Ebene und wird dringend gebraucht für globale Märkte.

Kaiser: Doch, wir haben Budgets für internationale Zusammenarbeit, wo man sich gemeinsam bewerben kann. Wir haben ein Abkommen mit Israel. Mein Vorschlag wäre aber eine umgekehrte Vorgehensweise: wenn Sie eine sinnvolle Ebene der Zusammenarbeit finden, stellen Sie einen Antrag für ein gemeinsames Projekt beim BMU oder beim BMBF. Die Ministerien möchten solche außereuropäischen Kooperationen unterstützen, weil wir dieses Defizit genauso sehen wie Sie. Aber wir glauben, dass das viel besser von unten wächst, aus der Initiative von konkreten Verabredungen zwischen den Instituten, als wenn wir ein Rahmenabkommen machen und dann händeringend Akteure dafür suchen.

Öffentlichkeitsarbeit für Erneuerbare

Hoffmann: In dem Maßnahmenmix ist aber noch ein ganz wesentliches Element notwendig: Kommunikation! Es fehlt an Öffentlichkeitsarbeit, damit der nötige Druck erzeugt werden kann. Wir haben auf der Tagung viel von Preiserfahrungskurven gehört. Wir als Industrie sind überzeugt, dass dies durch die technologiegetriebene Produkte auch die nächsten 10–15–20 Jahren entsprechend weiter geht. Es ist aber eine wichtige Aufgabe, dies auch durch Kommunikation in die Bevölkerung zu bringen.
Die Branche der Erneuerbaren – und da schließe ich die Forschung mit ein – muss in der breiten Öffentlichkeit noch ein ganz anderes Verständnis herstellen für die Notwendigkeiten der Erneuerbaren, um das erfolgreich in die Zukunft zu tragen. Dazu gehört natürlich auch, junge Leute dafür zu begeistern in diese Berufe rein zu gehen. Das Thema Erneuerbare, besonders Photovoltaik hatte in letzten drei Monaten eine fast ausschließlich negative Berichterstattung in den Medien: Die Diskussion des Einspeisegesetzes, Zitate des RWI Essen und der Zeitschrift Photon, Berichte in Zeit, Handelsblatt, Financial Times Deutschlands und Spiegel.

Am Wochenende vor der Koalitionsberatung haben wir gemeinsam mit Herrn Weber vom Fraunhofer ISE in der Frankfurter Allgemeinen eine halbseitige Anzeige geschaltet, um der negativen Berichterstattung etwas entgegen zusetzen und mal ein paar positive Dinge zum Thema Photovoltaik zu berichten.

Ich denke an der Stelle sind wir alle aufgefordert, die Dinge ins rechte Licht zu setzen. Positive Kommunikation wird dann hoffentlich auch mehr junge Leute dazu anregen, naturwissenschaftliche Studien zu beginnen, um in diesem tollen Umfeld etwas zu tun. Ich hoffe, dass wir dann auch wieder mehr Leute bekommen, und zwar über gesamte Wertschöpfungskette. Wir brauchen ganz allgemein Mechatroniker und wir brauchen ebenfalls Solarteure und Leute mit spezifischen Kenntnissen für die einzelnen Technologien wie Windenergie oder Brennstoffzellen. Wir brauchen mehr junge Leute in all diesen Feldern, wenn wir das Ziel 100 Prozent Erneuerbare verwirklichen wollen.

Die Jahrestagung 2009 wurde unterstützt von:

Kooperationspartner

Agentur für Erneuerbare Energien

Förderer und Schirmherrschaft

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Schirmherrschaft

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Unterstützer

Auswärtiges Amt

BEE Bundesverband Erneuerbare Energie e.V.

renac renewables academy

CEF.NRW Cluster EnergieForschung

SMA – The Future of Solar Technology

Die SMA Solar Technology AG entwickelt, produziert und vertreibt als weltweiter Markt - führer Solar-Wechselrichter und Überwachungs - systeme für Photovoltaikanlagen. Als wichtigste Komponente und Herz einer Photovoltaikanlage wandeln SMA Solar-Wechselrichter den von Solarmodulen erzeugten Gleichstrom in netz-konformen Wechselstrom um. Außerdem sind die Wechselrichter als intelligente System-Manager für die Überwachung und das Netz-management verantwortlich. Als einziger Hersteller hat SMA für jeden Modultyp weltweit und für alle Leistungsgrößen den passenden Wechselrichter-Typ im Programm. Von Kilowatt bis Megawatt, sowohl für netzgekoppelte Anwendungen als auch für den Insel- und Backup-Betrieb.

Technologischer Vorsprung und flexible Produktion

Das Geschäftsmodell von SMA ist vom technologischen Fortschritt getrieben. Deshalb investiert das Unternehmen kontinuierlich in Forschung und Entwicklung: Über 400 Ingenieure sorgen dafür, dass die SMA Solar Technology AG ihren technologischen Vorsprung kontinuierlich weiter ausbauen und pro Jahr fünf bis sechs neue Produkte in den Markt einführen kann. Durch die flexible und skalierbare Produktion ist SMA in der Position, auf Kundenwünsche schnell zu reagieren und Produktinnovationen zeitnah umzusetzen. So kann das Unternehmen mit der dynamischen Marktentwicklung der Photovoltaikindustrie problemlos Schritt halten und gleichzeitig kurzfristige Nachfrageschwankungen nach Solar-Wechselrichtern abfedern. Dabei setzt das Unternehmen mit der in 2009 eröffneten weltgrößten CO_2-neutralen Solar-Wechselrichterfabrik einen Trend: die CO_2-neutrale Industrieproduktion auf hohem Niveau.

Weltweit präsent

Mit Auslandsniederlassungen in zwölf Ländern auf vier Kontinenten ist SMA in allen wichtigen internationalen Solar-Märkten vertreten. Das TecDAX-notierte Unternehmen beschäftigt derzeit weltweit mehr als 4.000 Mitarbeiter (inklusive Zeitarbeitnehmer).

Preisgekrönte Unternehmens-kultur

Für seine Leistungen als Arbeitgeber wurde SMA in den vergangenen Jahren immer wieder mit Preisen ausgezeichnet. Beim „Great Place to Work® Award“ wurde das Unternehmen mehrfach als einer der besten Arbeitgeber Europas prämiert. In 2008 erhielt SMA zusätzlich einen Sonderpreis für das Projekt „Lebenslanges Lernen“, in 2009 für sein faires Vergütungssystem. Der Vorstand der SMA Solar Technology AG konnte zudem in 2009 den Deutschen Fairness Preis entgegennehmen. Mit der Verleihung würdigte die Fairness-Stiftung das Engagement der Vorstandsmitglieder für eine faire und kooperative Unternehmens-führung.

Standorte der FVEE-Mitgliedsinstitute

FVEE ForschungsVerbund Erneuerbare Energien
Renewable Energy Research Association

ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE) • Kekuléstraße 5 • 12489 Berlin
Telefon: 030 / 8062-1338 • fvee@helmholtz-berlin.de • www.fvee.de

Anschriften der FVEE-Mitgliedsinstitute

DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in der Helmholtz-Gemeinschaft
Zentrum Köln-Porz • 51170 Köln
Prof. Dr. Robert Pitz-Paal:
Telefon 02203/601-2744
robert.pitz-paal@dlr.de
www.dlr.de

Standort Stuttgart
Pfaffenwaldring 38–40 • 70569 Stuttgart

DLR-Projektteam auf der
PSA Plataforma Solar de Almería
Apartado 39 • E-04200 Tabernas (Almería)

Forschungszentrum Jülich
52425 Jülich
Dr. Anne Rother:
Telefon 02461/61-4661
info@fz-juelich.de
www.fz-juelich.de

Fraunhofer IBP Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Nobelstr. 12 • 70569 Stuttgart
Rita Schwab:
Telefon 0711/9703301
rita.schwab@ipb.fraunhofer.de
www.ibp.fraunhofer.de

Standort Holzkirchen
Fraunhoferstr. 10 • 83626 Valley
Janis Eitner:
Telefon 08024/643-203
janis.eitner@ibp.fraunhofer.de

Projektgruppe Kassel
Gottschalkstraße 28a • 34127 Kassel

Fraunhofer ISE
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
Heidenhofstraße 2 • 79110 Freiburg
www.ise.fraunhofer.de
Karin Schneider:
Telefon 0761/4588-5147
karin.schneider@ise.fraunhofer.de

Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP
Walter-Hülse-Straße 1 • 06120 Halle

Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM
Am St.-Niclas-Schacht 13 • 09599 Freiberg

Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen
Auf der Reihe 2 • 45884 Gelsenkirchen

Fraunhofer IWES
Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik

Institutsteil Kassel
Königstor 59 • 34119 Kassel
Uwe Krengel:
Telefon 0561/7294-345
ukrengel@iset.uni-kassel.de
www.iset.uni-kassel.de

Institutsteil Bremerhaven
Am Seedeich 45 • 27572 Bremerhaven
Saskia Flügel
Telefon 0471/ 902629-69
info@iwes.fraunhofer.de
www.iwes.fraunhofer.de

GFZ Helmholtz-Zentrum Potsdam
Deutsches GeoForschungsZentrum
Telegrafenberg • 14473 Potsdam
Franz Ossing:
Telefon 0331/288-1040
ossing@gfz-potsdam.de
www.gfz-potsdam.de

HZB Helmholtz-Zentrum Berlin
für Materialien und Energie
Lise-Meitner-Campus
Glienicker Straße 100 • 14109 Berlin-Wannsee
Dr. Ina Helms:
Telefon 030/8062-2034
info@helmholtz-berlin.de
www.helmholtz-berlin.de

Campus Wilhelm Conrad Röntgen
Kekuléstraße 5 • 12489 Berlin-Adlershof

ISFH Institut für Solarenergieforschung GmbH
Hameln/Emmerthal
Am Ohrberg 1 • 31860 Emmerthal
Dr. Roland Goslich:
Telefon 05151/999-302
info@isfh.de
www.isfh.de

IZES gGmbH
Institut fur ZukunftsEnergieSysteme
Altenkesseler Str. 17 • 66115 Saarbrücken
Barbara Dröschel:
Telefon 0681/9762- 852
droeschel@izes.de
www.izes.de

ZAE Bayerisches Zentrum für
Angewandte Energieforschung e.V.
Am Hubland • 97074 Würzburg
Anja Matern-Lang:
Telefon 0931/70564-52
matern-lang@zae.uni-wuerzburg.de
www.zae-bayern.de

Standort Garching
Walther-Meißner-Str. 6 • 85748 Garching

Standort Erlangen
Am Weichselgarten 7 • 91058 Erlangen

ZSW Zentrum für Sonnenenergie- und
Wasserstoff-Forschung Baden Württemberg
Gemeinnützige Stiftung
Industriestraße 6 • 70565 Stuttgart
Karl-Heinz Frietsch:
Telefon 0711/7870-206
info@zsw-bw.de
www.zsw-bw.de

Standort Ulm
Helmholtzstraße 8 • 89081 Ulm

Impressum • Themen 2009

Forschen für globale Märkte erneuerbarer Energien

Herausgeber

ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE)
Kekuléstr. 5 • 12489 Berlin
Tel.: 030/8062-1338
Fax: 030/8062-1333
E-Mail: fvee@helmholtz-berlin.de
Internet: www.fvee.de

Redaktion

Dr. Gerd Stadermann
Petra Szczepanski

Förderung

Der ForschungsVerbund Erneuerbare Energien wird durch diese Ministerien gefördert:

- BMU
- BMBF
- BMWi
- BMELV
- BMVBS

Gesamtproduktion

Hoch3 GmbH – Design- und Werbeagentur

Berlin, April 2010

ISSN • 0939-7582

Geschäftsstelle c/o Helmholtz-Zentrum Berlin • Kekuléstraße 5 • 12489 Berlin
Telefon: 030 / 8062-1338 • Telefax: 030 / 8062-1333 • fvee@helmholtz-berlin.de • www.fvee.de