

Forschung für das Zeitalter der erneuerbaren Energien



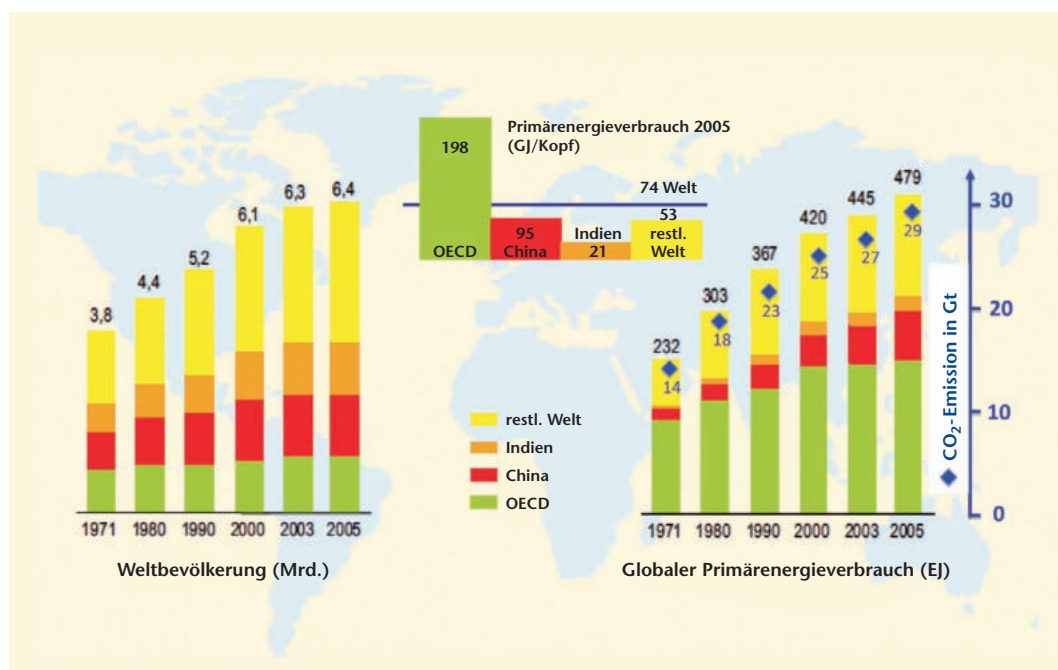
Prof. Dr. Wolfgang Eberhardt
Helmholtz-Zentrum Berlin
wolfgang.eberhardt@helmholtz-berlin.de

Die sichere und umweltverträgliche Bereitstellung von Energie zu wirtschaftlich tragfähigen Kosten ist eine der großen globalen Herausforderungen. Unter Sicherheit ist sowohl die Versorgungssicherheit als auch das Gefahrenpotenzial bei der Umwandlung zu verstehen. Die Umweltverträglichkeit betrifft die Freisetzung von CO₂ und anderen klimaschädlichen Gasen, aber auch Schadstoffe wie Schwermetalle, Feinstaub und Radionuklide, sowie Lärm, und Landnutzung. Als dritter gleichberechtigter Parameter dürfen die Kosten nicht zu einer Wettbewerbsverzerrung für den deutschen Standort führen, die unsere Volkswirtschaft übermäßig belastet und Arbeitsplätze vernichten. Durch die Umstellung werden natürlich auch neue Arbeitsplätze generiert. Die Energiefrage ist eine der großen technologischen Herausforderungen der Menschheit und Deutschland ist hierbei keine Insel; selbst wenn unterschiedliche energietechnologische Lösungswege in verschiedenen Ländern entwickelt und verfolgt werden, dann hat dieses zwar Konsequenzen auch für uns, bedeutet aber andererseits auch, dass jede in Deutschland entwickelte Energietechnologie

Exportchancen für den Weltmarkt eröffnet. Die Transformation des Energiesystems erfordert weltweit gewaltige Ressourcen und es ist eine wesentliche Aufgabe der Politik, für dieses Ziel die Akzeptanz und aktive Mitwirkung der Bevölkerung und aller benötigten Partner zu gewinnen.

Die weltweite Entwicklung der letzten 40 Jahre bestätigt die Dringlichkeit dieser Aufgabe. *Abbildung 1* zeigt, dass sich sowohl die Weltbevölkerung als auch der Energiebedarf und leider auch der CO₂-Ausstoß über diesen Zeitraum jeweils ungefähr verdoppelt haben [1]. Hinzu kommt, dass der Pro-Kopf-Bedarf an Energie, der mit dem Lebensstandard gekoppelt ist, in den bevölkerungsreichsten Ländern Indien und China um einen Faktor 10 bzw. 4 niedriger ist als in den OECD Ländern. Vor dem Hintergrund dieses Ungleichgewichtes besteht die größte Gefahr nicht darin, dass die Vorräte an fossilen Energieträgern aufgebraucht werden – Kohle und Gas sind nach Abschätzungen der IEA noch für mehrere hundert Jahre vorhanden – sondern dass die

Abbildung 1
Entwicklung der Weltbevölkerung, des globalen Primärenergieverbrauchs und der CO₂-Emissionen



Quelle	Vorkommen/Vorrat	Umwelt	Forschungsbedarf
Fossile Brennstoffe	100 Jahre (Öl) (IEA) >200 Jahre (Kohle, Gas) (IEA)	CO ₂ Endliche Reserven	CO ₂ -Abscheidung und Lagerung
Kernenergie	>200 Jahre	Risiko, Abfall, Proliferation	Generation IV, Endlager
Wasser	Beschränkte Kapazität	Platzbedarf	Effizienz der Turbinen
Wind	Zeitlich unterbrochen	Platzbedarf, Lärm	Aerodynamik, Stromspeicher, Netze
Solarenergie	Zeitlich unterbrochen	vorzugsweise auf Dächern	Kostensenkung, Stromspeicher, Netze,
Biomasse	Limitiert (Lebensmittel)	Dünger, Wasser	Umsetzung in Treibstoffe
Geothermie	Potenzial auch in D	geologische Risiken	Geologie, Modelle, Bohrtechnologien
Fusion (vor 2050 nicht relevant)	Lithiumbedarf in Konkurrenz zu Batterien	Geringe Strahlenbelastung (Aktivierung)	Materialien, Demo-Kraftwerk

*Tabelle 1
Energieträger,
Umweltverträglichkeit,
Versorgungssicherheit
und Forschungsbedarf*

Verbrennung dieser beiden Primärenergieträger im bisherigen Stil soviel CO₂ in der Atmosphäre ablagert, dass die daraus resultierenden Klimaveränderungen unkalkulierbare Risiken darstellen.

Vision der Energieversorgung der Zukunft

Welche Visionen gibt es für das Energiesystem der Zukunft und wie gelingt es, eine Trendwende in der Umweltbelastung zu realisieren? [2]. Ausgehend vom Endverbrauch kann man die folgenden Leitlinien formulieren:

- Die Steigerung der Effizienz beinhaltet ein großes Sparpotenzial.
- Stromerzeugung muss frei von CO₂ (und anderen Schadstoffen) realisiert werden
- Chemische Treibstoffe, für industrielle Prozesse und insbesondere für den Luft-Verkehr, werden weiterhin benötigt und müssen CO₂-neutral bereitgestellt werden

Im Vergleich zum derzeitigen Energiesystem wird sich eindeutig eine Verlagerung auf elektrische Energie als Hauptenergieträger, auch für den Individualverkehr, ergeben. Der Zeitrahmen für die Umstellung des Energiesystems sollte 50 Jahre nicht wesentlich überschreiten. Wenn bis zu diesem Zeitpunkt die Umstellung nicht weitgehend erfolgt ist werden die Klimaschutzziele nicht erreicht. Wegen der Größe dieser Aufgabe

müssen jedoch die Planung und der Umbau zügig in Angriff genommen und vorangetrieben werden. Die Institute des FVEE haben es sich zur Aufgabe gemacht, mit ihren Forschungsarbeiten das wissenschaftliche und technologische Fundament für ein auf erneuerbarer Energie beruhendes Energiesystem zu realisieren.

Stromversorgung der Zukunft auf der Basis erneuerbarer Energien

In *Tabelle 1* sind die Energieträger für die Stromerzeugung mit einer Einschätzung ihres jeweiligen Potenzials in Bezug auf Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit sowie der nötige Forschungsbedarf grob skizziert.

Die fossilen Energieträger sind aus Gründen des Klimaschutzes und der Schadstoffbelastung auf Dauer nicht tragbar. Auf der Liste der Kraftwerke mit den größten CO₂-Emissionen in Europa sind 6 unter den ersten 10 aus Deutschland [3]. Selbst wenn die wissenschaftlichen Probleme der Abtrennung von CO₂ und insbesondere der kontrollierten Endlagerung sicher gelöst sind, dann reichen die in Deutschland vorhandenen Lagerkapazitäten nur für eine Kraftwerksgeneration [4, 5]. Für die Nutzung der Kernenergie ist die langfristig sichere Lagerung der Abfälle ebenfalls ungelöst. Die Perspektiven der Fusion für die

Stromerzeugung bleiben solange ungeklärt, bis Materialien gefunden werden, die der im Fusionsprozess entstehenden Neutronenstrahlung langfristig standhalten können.

Der globale Klimawandel und die daraus abgeleitete Notwendigkeit einer drastischen Reduzierung der CO₂-Emissionen erfordern einen raschen Umbau der gegenwärtigen Weltenergiesysteme. Als Fazit der tabellarischen Gegenüberstellung der Energiequellen bleibt nur der konsequente und stetige Ausbau der erneuerbaren Energiequellen als derzeit überschaubar aussichtsreicher Weg für diese Transformation. In der Vision des FVEE ist es möglich, bei einer geeigneten Strategie eine Vollversorgung auf der Grundlage von erneuerbaren Energien zu realisieren [6]. Hierbei können die volkswirtschaftlichen Kosten für das transformierte Energiesystem langfristig unter denen auf der Basis fossiler Energieträger beruhenden Alternativen liegen. Dabei kommen die wichtigsten Beiträge aus der Direkterzeugung von Strom aus Wind, Sonne, Wasserkraft, Geothermie und biogenen Reststoffen, im Wärmesektor aus der Anwendung der Solarthermie, der sinnvoll eingesetzten Kraft-Wärme-Kopplung und aus Wärmepumpen. Besonders wichtig ist die Steigerung der Energienutzungseffizienz in allen Bereichen, die auch mit der Einführung der Elektromobilität im Verkehrssektor verbunden ist.

Eine Vernetzung der Stromerzeugung über ein europaweites Verbundnetz mit hoher Kapazität sowie lokale smart grids zur Optimierung von Angebot und Verbrauch führt auch dazu, dass trotz hoher Anteile der fluktuierenden Stromein-

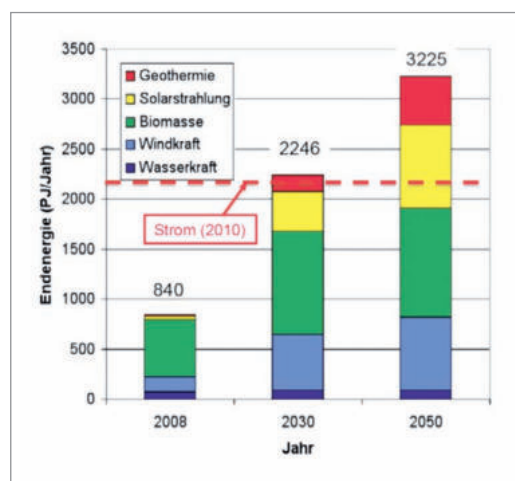
speisung aus Windenergie und Sonnenlicht im Zusammenspiel mit einem Ausbau von effizienten Speicherkapazitäten die Stabilität und die Versorgungssicherheit der elektrischen Energieversorgung gewährleistet werden können.

Strom als Hauptenergieträger

Nach den Projektionen des BMU Leitszenarios 2009 [7], die auf der REMIX Analyse der DLR beruhen, tragen im Jahre 2050 die erneuerbaren Energien mehr als die Hälfte des Gesamt-Energieverbrauchs. Eine mögliche Verteilung ist in *Abbildung 2* gezeigt. Die Institute des FVEE haben sogar die Vollversorgung mit erneuerbaren Energien als Vision für die Zukunft präsentiert [8]. Unabhängig von den Details dieser Szenarien wird Strom der Hauptenergieträger zur Versorgung von Gebäuden, Transport und Verkehr, und für die industrielle Produktion sein. Elektrische Energie wird vorzugsweise mit Windkraft, Solarenergie, Wasserkraft und Geothermie zur Verfügung gestellt. Der Bedarf an elektrischer Energie in Deutschland im Jahre 2050 wird nach vorsichtigen Schätzungen mit insgesamt 700 TWh angesetzt [6, 8], dieses ist im Vergleich zu heute (600 TWh, rote gestrichelte Linie in *Abbildung 2*) nur eine geringe Steigerung. Das BMU Leitszenario [7] geht von 600 TWh/a für 2050 aus. Dabei stehen den Einsparungen durch die Effizienzsteigerung beim Endverbraucher der zusätzliche Bedarf an (elektrisch betriebenen) Wärmepumpen für die Gebäudeversorgung und der Bedarf für eine deutlich gesteigerte Elektrifizierung des Verkehrs gegenüber.

Abbildung 2
Projizierte Entwicklung der Beiträge erneuerbarer Energiequellen zur Gesamt-Energieversorgung (3,6 PJ = 1 TWh)

Quelle: BMU Leitszenario 2009 [7]



Erneuerbar generierte chemische Brennstoffe für Verkehr und Industrie

In Bereichen, in denen eine hohe Energiedichte der Energieträger notwendig ist, wie dem Luftverkehr und Schwerlastverkehr sowie für einige industrielle Fertigungsprozesse, werden auch in diesen Szenarien chemische Energieträger, wie beispielsweise Wasserstoff oder Kohlenwasserstoffe, benötigt. Der Bedarf im Jahre 2050 für den Schwerlastverkehr, Flugverkehr und die Industrie wird mit einem Äquivalent von 460 TWh abge-



schätzt [6] (BMU Szenario 490 TWh). Dieser Bedarf muss langfristig in der Form von chemischen Energieträgern (Methan, Wasserstoff, „erneuerbares Kerosin“) aus Sekundär-Biomasse sowie durch Elektrolyse und/oder weitere Konversionsverfahren bereitgestellt werden, die in Bezug auf CO₂-Emissionen umweltneutral sind.

Energieeffizienz ist Voraussetzung für die Transformation unserer Energieversorgung

Eine schnelle und ökonomisch tragbare Transformation unserer Energieversorgung erfordert auch die effiziente Nutzung von Energie und damit die Senkung des Energiebedarfs in allen Endverbraucherbereichen: Gebäude, Transport, Verkehr und industrielle Produktion. Der Steigerung der Energieeffizienz kommt deshalb eine entscheidende Rolle zu, weil auf diese Weise der Energieverbrauch deutlich gesenkt werden kann, ohne industrielle und kommerzielle Aktivitäten zu reduzieren oder auf Komfort z. B. im Wohnbereich verzichten zu müssen. Wesentlich für Deutschland ist dabei insbesondere die energetische Sanierung unseres Gebäudebestandes durch die Realisierung von hoch wärmedämmenden Gebäudehüllen, Nutzung solarer Wärme zur Heizung und Kühlung sowie innovativer Gebäudetechnik zur optimalen Regelung und Steuerung von Energieflüssen (z. B. Wärme, Kälte, Licht). Ein Beispiel für solch eine Effizienztechnologie ist die Wärmepumpe, die Gebäude nachhaltig mit Wärme versorgt. Ein weiteres Beispiel ist die Elektromobilität, die eine im Vergleich zu Verbrennungsmotoren wesentlich (Faktor 2 bis 3) effizientere und emissionsfreie Alternative für den Individualverkehr sein kann.

Speicher und Netze müssen ausgebaut werden

Aufgrund der zeitlich fluktuierenden Verfügbarkeit von Wind und Sonne als Quelle für die Energie müssen Überkapazitäten in der installierten Kraftwerksleistung vorgehalten werden, Speicherkapazitäten geschaffen und neue Verteilungsstrukturen in großem Maßstab aufgebaut werden. Eine

großflächig verteilte Erzeugung und Nutzung führt automatisch zu einem Ausgleich der an den einzelnen Standorten auftretenden Fluktuationen und zusätzlich werden auch die zeitlichen Fluktuationen durch intelligente Anpassung von Erzeugung und Verbrauch (smart grid) sowie durch den Anschluss an bestehende und noch zu erstellende Speicherkraftwerke oder andere großen Speichersystemen für die Bereitstellung von Regel- und Ausgleichsenergie bewältigt. Die für den Transport von Solar- und Windstrom aus geeigneten Standorten erforderlichen Hochleistungstransportnetze (in HGÜ-Technik) müssen mit ausreichenden Kapazitäten entwickelt und ausgebaut werden.

Optimale wirtschaftliche Bedingungen für eine umfassende Versorgung mit erneuerbaren Energien lassen sich nur im europäischen Verbund erzielen. So existieren für die Windenergienutzung hervorragende Standorte im Norden Europas, während die solare Energiegewinnung, basierend auf Photovoltaik und konzentrierenden solarthermischen Systemen, wegen der höheren Sonneneinstrahlung und Versorgungssicherheit bevorzugt im Mittelmeerraum einzusetzen ist. Für die Speicherung ist die Einbindung insbesondere der in Skandinavien und den Alpen vorhandenen wasserkraftbasierten Speichersysteme essentiell. Die schon derzeit existierenden Speicherkapazitäten des Erdgasnetzes in Deutschland können als weitere Komponente des Speichersystems im Zusammenspiel mit industriellen Prozessen und der Mobilität CO₂ neutral genutzt werden. In dem Maße, in dem der Aufbau eines gesamteuropäischen Netzes nicht gelingt, werden die Strombereitstellungskosten steigen – auch wegen der dann erforderlichen zusätzlichen lokalen Energiespeicher und Überkapazitäten.

Forschungserfolge als dringend erforderliche Voraussetzung für die Umstellung

Die zielgerichtete Forschung und Weiterentwicklung auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien und der dezentralen Energieversorgung sind entscheidend, damit die demonstrierten technologischen Konzepte so skalierbar gestaltet werden können, dass sie den Anforderungen des hier

vorgestellten Gesamtsystems genügen und damit die Kosten für die Umstellung entlang eines volkswirtschaftlich tragfähigen Pfades darstellbar werden. Dieses erfordert zum einen den Ersatz von teuren und in nur unzureichender Menge zur Verfügung stehenden, Materialien, zum anderen neue konzeptionelle Ansätze und Innovationen in der Material-, Prozess- und Systemoptimierung, um die Effizienz der Energiebereitstellung zu erhöhen. Die Erfahrungen der letzten Jahrzehnte zeigen, dass sich die Bereitstellungskosten für erneuerbare Energie gekoppelt an das Wachstum der global akkumulierten Erzeugungskapazitäten aber insbesondere durch neue Erkenntnisse in der Forschung kontinuierlich nach unten entwickelt haben. Dieser Trend wird auch in Zukunft anhalten, wenn es gelingt, die technischen Voraussetzungen durch Forschungs- und Entwicklungserfolge zu schaffen. Hierbei wird deutlich, dass die Mitglieder des Forschungsverbands auf für die Transformation zu einem nachhaltigen Energiesystem entscheidenden Technologiegebieten wichtige Beiträge leisten und damit die erforderliche nationale Forschungsbasis darstellen [9]. Im Folgenden werden die Forschungsaspekte der einzelnen Komponenten und Technologien, die für den Umbau des Energiesystems benötigt werden, stichpunktartig erläutert. Eine weitaus umfassendere Darstellung findet sich in [9].

Photovoltaik

Die Photovoltaik bietet eine hervorragend skalierbare Technologie, vom Taschenrechner und Handy-Ladegerät bis zum Großkraftwerk, zur direkten Umwandlung von Sonnenenergie in Strom. Ein wesentlicher Treiber der Forschung beruht in der Reduktion der Kosten für den Endverbraucher. Die Ansätze zur Realisierung dieses Zieles sind: Erhöhung der Produktionskapazitäten, Entwicklung neuer Prozesstechnologien, Verbesserung der Effizienz und Reduzierung des Materialeinsatzes und der Materialkosten. Für Solarzellen gibt es heute in der industriellen Umsetzung eine Vielfalt von Technologieformen mit unterschiedlichem Entwicklungsstand. Kristalline Si-Wafer-Technologien beruhen auf den Weiterentwicklungen in Anlehnung an die Si-Halbleiter-Industrie. Dünnschichtsolarzellen haben zur Zeit das größte Wachstum auf dem Weltmarkt, hier besteht aber konkreter Forschungsbedarf in der Erhöhung der Effizienz, Entwicklung von Stapelzellen, Ersatz von teuren, eventuell nicht ausreichend vorhandenen

Materialien, Integration von Nanotechnologie und Verbesserung der Produktionsverfahren. Für organische Solarzellen besteht Forschungsbedarf vor allem in Bezug auf die Erhöhung der Effizienz und Lebensdauer. In der Zukunft können auch Hybridansätze dieser Materialklassen von Interesse sein. Alle diese Zelltypen benötigen eine angepasste Modultechologie, Verkapselung und elektrische Systemintegration.

Solarthermische Kraftwerke

Solarthermische Anlagen sind insbesondere für den Einsatz bei höherer Sonneneinstrahlung (Südeuropa, Nordafrika) von herausragendem Interesse und sie können einen wichtigen Beitrag zur Gesamtversorgung mit erneuerbarer Energie in Deutschland und Europa leisten (Desertec-Initiative). Forschungsbedarf besteht vor allem bei dem Einsatz neuer Materialien und Konzepte zur Erhöhung der Austrittstemperaturen, der Entwicklung von kostengünstigen Wärmespeichern für den kontinuierlichen Tag-/Nacht-Betrieb, sowie der Entwicklung neuer Spiegel und Konzentratorsysteme. Alternativ zum Strom kann auch Wasserstoff als chemischer Energieträger erzeugt werden. Die Einbindung dieser Anlagen erfordert ein neues, europaweites Übertragungsnetz in HGÜ-Technik (siehe unten).

Windenergie

Die Windenergie ist die am weitesten ausgebaute erneuerbare Energieform. Forschungsthemen sind der Einsatz von neuen Materialien (Verbundwerkstoffe) und neue getriebelose Antriebstechniken, Verbesserung der Prognosen und die Optimierung der Systemtechnischen Einbindung und Betriebsführung.

Wasserkraft

Die Wasserkraft hat in Deutschland einen hohen Entwicklungs- und Ausbaustand erreicht, wobei die jeweiligen Potenziale schon relativ weit ausgeschöpft sind und die Effizienz der Umsetzung sehr gut ist.

Geothermie

Wärmepumpen sind als etablierte Technik zu sehen. Die tiefen geothermischen Technologien zur Stromerzeugung befinden sich dagegen in einem frühen Entwicklungsstadium, wobei die Grundlastfähigkeit ein besonders wichtiges Prädikat dieser Energieform ist und in Deutschland das



Ausbaupotenzial beträchtlich ist (*Abbildung 2*). Wichtige Forschungsthemen sind die Verbesserungen der Fündigkeitsprognose, die Einschätzung und Bewältigen der geologischen Risiken, sowie die Konzeptentwicklung zur optimalen Gestaltung eines Reservoirs.

Kraftstofferzeugung

Sekundäre Biomasse eignet sich speziell zur Realisierung einer nachhaltigen Versorgung mit Kraftstoffen. Biomethan kann bei entsprechender Reinheit in das Erdgasnetz eingespeist werden. Die Wasserstofferzeugung durch Elektrolyse und ihre Nutzung in Brennstoffzellen sind wichtige Komponenten für die Speicherung und delokalisierte Bereitstellung von Energie auch für den Verkehr. Neben der Membrantechnologie sind hier insbesondere auch der Ersatz von teuren und in nur unzureichender Menge vorhandenen Katalysatoren sowie die generelle Steigerung der Effizienz wichtige Forschungsthemen. Unter dem Begriff „Solar Fuels“ wird die direkte Erzeugung von chemischen Treibstoffen (Wasserstoff, Kohlenwasserstoffe) bezeichnet, die in einem breiten, noch stark grundlagenorientierten Spektrum, das von thermochemischen Kreisprozessen, Photosynthese in Algen über biomimetische Systeme bis hin zu Photovoltaik, monolithisch gekoppelt mit einer elektrolytischen Zelle reicht, erforscht werden.

Speichertechnologien

Pumpspeicherkraftwerke in Skandinavien und den Alpen bilden ein wesentliches Element für eine zuverlässige Versorgung mit elektrischer Energie. Diese müssen über ein europäisches Verbundnetz eingebunden werden. Die Entwicklung von Druckluftspeichern kann auch lokal in Deutschland weitere Kapazitäten erschließen. Thermische Speicher können die Energieeffizienz industrieller Prozesse erhöhen und sind in Verbindung mit Druckluftspeichern relevant. Für den Verkehr steht die deutliche Verbesserung der Speicherdichte und Lebensdauer von Batterien, gepaart mit einer Kostensenkung, im Zentrum der Forschungsaktivitäten. Für den stationären Einsatz werden Redoxflow-Batterien weiterentwickelt.

Sinnvoll ist die Speicherung von Überschüssen der Stromproduktion im Erdgasnetz. Die Speicherkapazitäten des schon heute existierenden Erdgasnetzes können ohne großen Aufwand in

das Energiekonzept eingebunden werden und können auch ohne weiteren Ausbau schon signifikante Energiemengen (200 TWh) speichern. Aus Effizienzgründen sollten jedoch die hierbei generierten chemischen Energieträger (CH_4 , H_2) vorzugsweise für den Verkehr oder industrielle Prozesse eingesetzt werden, da der gesamte Zyklus mit Rückverstromung zurzeit noch relativ ineffizient ist.

Netze und Systemintegration

Die Weiterentwicklung der HGÜ-Technologie und ein Europa weiter Netzausbau sind essentiell für einen weitestgehenden Einsatz erneuerbarer Energietechnologie, sowohl für den generellen regionalen Ausgleich, als auch den Einsatz von Speichertechnologien. Hinzu kommt die zeitliche Anpassung von Produktion und Verbrauch über die Entwicklung der Komponenten eines Smart Grids, einschließlich der erforderlichen Prognosewerkzeuge. Neue Ansätze in der Leistungselektronik, insbesondere für die Frequenzstabilisierung, sind für die großflächige Einbindung von Photovoltaik und Windkraftgeneratoren gefordert.

Gebäude-Technologie, Stadt der Zukunft

In Bezug auf solares und energieeffizientes Bauen nimmt Deutschland eine Spitzenposition bezüglich der Reife der technologischen Entwicklungen ein. Hier geht es zum einen um die Verbesserung der Gebäudehülle, aber auch um die Optimierung der Systeme für die Wärme- und Kälteerzeugung, Licht und lokale Stromerzeugung. Die Stadt der Zukunft erfordert neue Konzepte und Lösungen für die Energie- und Verkehrsinfrastruktur. Als Konsequenz der verbesserten Wärmedämmung bietet sich neben der Solarenergienutzung auch der Einsatz von elektrisch betriebenen Wärmepumpen für die Wärmeversorgung an. Konzepte zur Renovierung und Sanierung des Gebäudebestandes spielen eine wichtige Rolle im Umbau des Energiesystems.

Systemanalyse

Die Entwicklung neuer Energietechnologien und der Umbau des Energiesystems erfolgt innerhalb eines komplexen Umfeldes mit zahlreichen technischen, wirtschaftlichen, ökologischen und politischen Rahmenbedingungen. Systemanalytische Untersuchungen liefern hier essentielle, wissenschaftlich fundierte Entscheidungshilfen und Handlungsempfehlungen für Politik, Wirtschaft

und Gesellschaft, die es ermöglichen, diesen Umbau verträglich zu gestalten.

Einordnung und relative Abschätzung des Stands von Forschung und Entwicklung

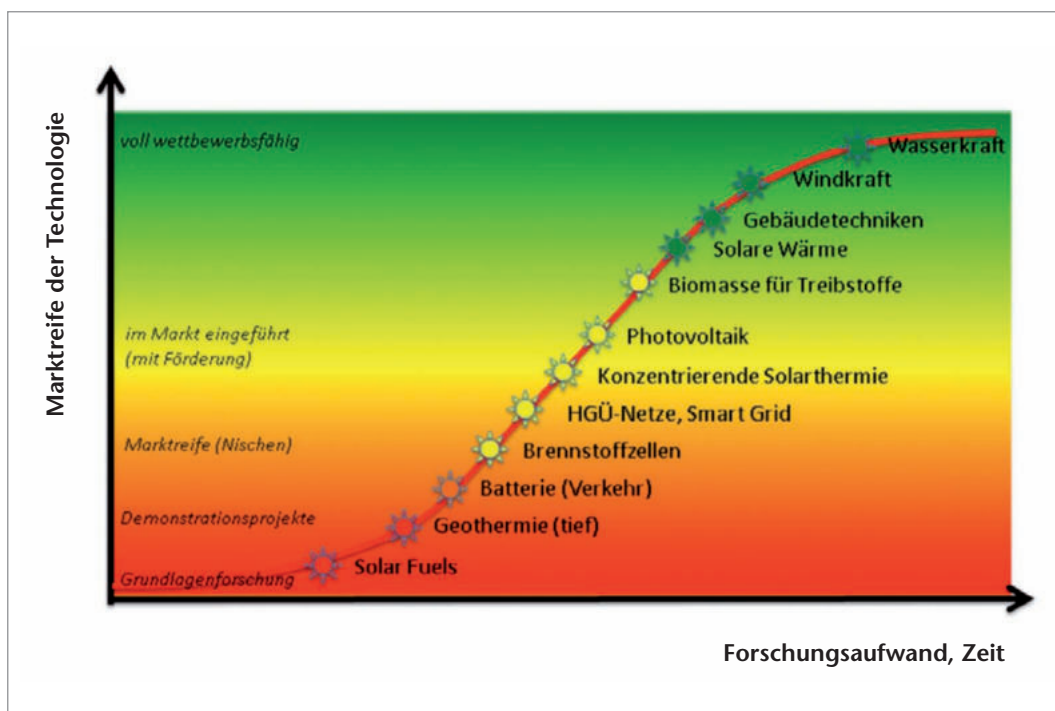
Eine vorsichtige, grobe Einschätzung des derzeitigen Stands des Reifegrades der für den Umbau des Energiesystems benötigten Komponenten und Technologien ist grafisch in *Abbildung 3* dargestellt. Wind- und Wasserkraft haben schon heute einen Reifegrad erreicht, der den Umbau des Energiesystems ermöglicht. Die Photovoltaik dagegen benötigt noch dringende Innovations-schritte, die zu einer Steigerung der Effizienz und/oder Senkung der Kosten führen. Brennstoffzellen, aber insbesondere Batterien, sind für einen Masseneinsatz in der Verkehrstechnik noch nicht ausgereift bzw. zu teuer. Unabhängig von dieser qualitativen Einordnung lassen sich alle Technologien durch gezielte Forschung weiter verbessern. Eine Abschätzung des gesamtwirtschaftlichen Nutzens der möglichen Innovationen erfordert natürlich auch die Einbeziehung der Ausbaukapa-

zitäten. Eine andere Interpretation dieser Grafik ist auch, dass je niedriger der technologische Reifegrad ist, desto näher sind die derzeitigen Forschungsarbeiten an der Grundlagenforschung.

Volkswirtschaftlich werden Kosten gesenkt und Arbeitsplätze geschaffen

Das Energiesystem, das auf einer umfassenden Versorgung mit erneuerbarer Energie basiert, sollte langfristig, bei optimaler Auslegung nicht teurer als das gegenwärtige sein. Der Ausbau der erneuerbaren Energien verursacht zunächst Mehrkosten sowohl in der Strom- und Wärmeerzeugung als auch im Verkehrssektor, und in der Renovierung und Gestaltung von Gebäuden. Diese Aufwendungen werden jedoch mittel- und langfristig durch Einsparungen der Kosten für fossile Brennstoffe und geringere Kosten für die Vermeidung von Klimaschäden kompensiert. Die auf der Basis von Forschung und Entwicklung realisierbare Kostenreduktion ist hierbei perspektivisch ein wichtiger Faktor für den wirtschaftlichen Erfolg der erneuerbaren Energien. Die mit der

Abbildung 3
Stand des Reifegrades unterschiedlicher Komponenten und Technologien, die für den Umbau des Energiesystems benötigt werden





Transformation des Energiesystems verbundenen Kosten tragen auch in erheblichem Masse zur Schaffung neuer Arbeitsplätze und zur ausgezeichneten Perspektive für den Export der neuen, nachhaltigen Technologien bei. Diese plausiblen Vorstellungen sind durch detaillierte ökonomische Untersuchungen zu quantifizieren. Insgesamt sprechen jedoch viele Argumente für eine entschlossene Umsetzung der vorgestellten Strategie.

Politikaufgabe: Akzeptanz und Mitwirkung der Bevölkerung generieren

Die Transformation des Energieversorgungssystems innerhalb der nächsten Jahrzehnte erfordert die Akzeptanz und aktive Teilnahme der Bevölkerung in der Rolle als Verbraucher, Bürger (Steuerzahler), Investor, Betreiber wie als politischer Souverän. Deshalb ist es eine unerlässliche Aufgabe für die Politik und alle beteiligten Akteure, diese Vision und das zugrunde liegende Transformationskonzept ausführlich zu kommunizieren und zu erläutern sowie durch intensive und kontinuierliche Öffentlichkeitsarbeit in unserer Gesellschaft bei allen relevanten Zielgruppen dafür zu werben.

Referenzen

- [1] IEA Energiestatistiken
- [2] DOE (USA, Dec. 2008) "New Science for a secure and sustainable energy future",
- [3] SPIEGEL online 15.11.2007 und <http://carma.org>
- [4] DPG (2010) „Elektrizität: Schlüssel zu einem nachhaltigen und klimaverträglichen Energiesystem“
- [5] BMWI Informationsportal www.energie-verstehen.de
- [6] FVEE Eckpunktepapier für eine erneuerbare Energieversorgung, Juni 2010
- [7] BMU Leitszenario 2009
- [8] Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU, Mai 2010), '100 % erneuerbare Stromversorgung'
- [9] FVEE-Forschungsziele 2010, „Gemeinsam forschen für die Energie der Zukunft“