

■ Eckpunktepapier

des ForschungsVerbunds
Sonnenenergie
für ein neues
Energieforschungsprogramm
der Bundesregierung

Juni 2003



1. Stellenwert der erneuerbaren Energien in einer zukünftigen Energieversorgung

Erneuerbare Energien können wesentliche Beiträge zu einer globalen nachhaltigen Energieversorgung leisten. Sie können Ressourcenprobleme mindern und die durch den Menschen verursachten Klimaveränderungen abschwächen. Die deutlich steigende Energienachfrage in den sich entwickelnden Ländern kann nur mit wesentlichen Beiträgen der erneuerbaren Energien befriedigt werden.

Priorität für erneuerbare Energien

Aus den energiepolitischen Zielen der Bundesregierung und der EU (siehe Anhang) ergibt sich, dass der Einführungsprozess erneuerbarer Energietechnologien in entscheidendem Umfang beschleunigt werden muss. Hierzu müssen in strategischen Dimensionen industriepolitische Maßnahmen ergriffen und engagierte Markteinführungsprogramme realisiert werden. Die zugehörige Technologieentwicklung erfordert ein neues Energieforschungsprogramm, in dem die Schwerpunkte effiziente Energieverwendung und technische Nutzung erneuerbarer Energiequellen durch eine deutliche Erhöhung des Förderbudgets – wie bereits vom Wissenschaftsrat seit 1999 gefordert – Priorität erhalten müssen.

Strategisches Ziel des Forschungsverbunds Sonnenenergie ist, die erneuerbaren Energien zu einer zentralen Säule einer nachhaltigen Energieversorgung zu entwickeln:

- **ökologisch verträglich**

Die energie- und umweltpolitischen Vorgaben der Bundesregierung und der Europäischen Union orientieren sich am internationalen Ziel, in den Industriestaaten bis zur Mitte des Jahrhunderts rund 80% der CO₂-Emission (auf der Basis von 1990) zu vermeiden. Erneuerbare Energien können hierzu den wesentlichsten Beitrag leisten.

- **ressourcensicher**

Die absehbare Verknappung fossiler Energieträger durch Erschöpfung von Lagerstätten erfordert die Einführung erneuerbarer Energien als Ersatz für Kohle, Öl und Gas. Auch geostrategische Entwicklungen legen es nahe, den Ausbau erneuerbarer Energien zügig voranzutreiben.

- **sozial gerecht**

Die erneuerbaren Energien stellen eine für alle Menschen zugängliche, saubere, sichere und in Zukunft zunehmend erschwingliche Energiequelle dar. Insbesondere in Schwellen- und Entwicklungsländern lässt sich die Nutzung erneuerbarer Energiequellen mit der Schaffung regionaler Arbeitsplätze und der Hebung des Lebensstandards durch lokale Wertschöpfung und dezentrale Wirtschaftsstrukturen verbinden. Als frei verfügbare unerschöpfliche Energiequelle bieten erneuerbare Energien vielfältige Möglichkeiten, die wirtschaftliche Unterentwicklung in vielen Teilen der Welt zu überwinden.

- **wirtschaftlich leistungsfähig**

Die erneuerbaren Energien gewährleisten bei Ausschöpfung ihrer Kostensenkungspotenziale eine wirtschaftliche, kostenstabile Energieversorgung. Die Aussicht auf wirtschaftlich positive Effekte wird mehr und mehr zu einer treibenden Kraft für ihre Nutzung. Die Produktion von technischen Komponenten und Systemen für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen wird sich zu einem wesentlichen Bestandteil globalen Wirtschaftens entwickeln.

2. Leitgedanken zur Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien

Die staatliche Forschungspolitik und eine daran orientierte öffentliche Forschungsförderung muss sich die Zielvorgaben von Bundesregierung und EU zu eigen machen. Das neue Energieforschungsprogramm ist dafür ein zentrales Instrument.

Die Forschungspolitik hat folgerichtig die Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien in den Rang von Schlüsseltechnologien erhoben: Mit der großmaßstäblichen Nutzung erneuerbarer Energien verändern sich in einem evolutionären Prozess nicht nur die Verfahren zur Energieerzeugung, sondern auch die Aufgaben von Energieversorgungsunternehmen, die Versorgungsstrukturen, die Wirtschafts- und Finanzverhältnisse von Energieproduzenten und -konsumenten, die Struktur und Anzahl der Akteure im Energiebereich und die Nutzungstechnologien vom Bauwesen bis hin zu Verkehrstechniken.

Vor diesem Hintergrund empfiehlt der Forschungsverbund Sonnenenergie folgende Elemente einer kohärenten Energieforschungsstrategie:

2.1. Spitzenplatz erhalten

Die deutsche Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien und der dazugehörigen Systemtechnik haben einen Spitzenplatz in der Welt. Auf dieser Grundlage entwickelten sich Energietechnologien mit hohem Standard und eine Industrie mit zunehmenden Exportpotenzialen. Die kurzen Innovationszyklen sind Indikator einer raschen Umsetzung in den Markt und bestätigen eine effiziente und anwendungsnahe Forschung und Entwicklung. Trotz der erreichten Erfolge vieler Technologien und ihrer beginnenden breiten Nutzung sind Forschung und Entwicklung weiterhin notwendig, um die beträchtlichen Innovationspotenziale bei diesen insgesamt noch „jungen“ Technologien mobilisieren zu können. Die Erfahrung aus anderen Technologiebereichen zeigt, dass dieser Prozess sich über Jahrzehnte erstreckt und wesentlich von der wechselseitigen Befruchtung von Markt und Forschung lebt.

Die zunehmenden Anteile der erneuerbaren Energien an der Energieversorgung und die geplanten Ausbauziele erfordern daher nicht nur eine bloße Fortsetzung der Forschungsanstrengungen, um das hohe deutsche Kompetenzniveau fördernd abzusichern, sondern eine deutliche Verstärkung der Aktivitäten in den einschlägigen Forschungs- und Entwicklungsbereichen. Dabei ist zu erwarten, dass in Bereichen der marktnahen Entwicklung wachsende Anteile der erforderlichen Forschungsmittel aus dem industriellen Bereich kommen.

2.2. Technologische Vielfalt beachten und entwickeln

Jede erneuerbare Energiequelle mit energiewirtschaftlich interessantem Ausbaupotenzial wird, quantitativ und regional verschieden, ihren Beitrag leisten müssen, um zunächst die Verdopplungsziele der Bundesregierung und der EU und danach die weiterführenden energiepolitischen Ziele erreichen zu können (siehe Anhang). Gerade in der Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten erneuerbarer Energien liegt ihre Stärke. Für die Förderung der Forschung und Entwicklung ist es daher wichtig zu erkennen, dass die technologischen und kostenseitigen Fortschritte sicher nur auf der Basis einer methodischen Vielfalt und einer großen experimentellen Breite erreicht werden können.

Eine Festlegung auf nur wenige Technologielinien wäre zum jetzigen Zeitpunkt verfrüht; die mögliche Überlegenheit einzelner Technologien kann sich nur in der praktischen Anwendung erweisen.

Der Entwicklungs- bzw. Reifestatus der einzelnen Technologien hat sehr unterschiedliche Zeithorizonte. Man muss heute sowohl die industrielle Nutzung und Markteinführung als auch die Forschung und Entwicklung vorantreiben, um die gesamte Palette der Energietechnologien rechtzeitig und in zeitlich abgestimmter Folge zur Verfügung zu haben. Dies gilt insbesondere für Energiequellen mit sehr großem Nutzungspotenzial und heute noch geringer energiewirtschaftlicher Nutzung, wie z.B. der solaren Strahlungsenergie.

2.3. Exzellente Grundlagenforschung mit Technologieentwicklung flexibel verknüpfen

Exzellente anwendungsorientierte Grundlagenforschung zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen ist und bleibt auch in Zukunft die Voraussetzung für die Entwicklung immer besserer Konversionstechnologien und immer kostengünstigerer nachhaltiger Energieversorgungssysteme. Weil prinzipiell noch viele aussichtsreiche Energiekonversionspfade verwirklicht werden können, müssen anwendungsorientierte Grundlagenforschung und marktnahe Technologieentwicklung gleichermaßen gefördert werden. Dabei ist die Verknüpfung von Wissenschaft und Forschung mit industriellen Innovationen längst keine eindimensionale Sequenz von Phasen mehr, sondern ein interaktives System mit vielen Rückkopplungsschleifen, bei denen Probleme der Anwendung zu neuen Herausforderungen für die Grundlagenforschung werden. Die Marktdynamik und die Kürze von Innovationszyklen verlangen ein flexibles Nebeneinander aller entsprechenden Aktivitäten.

2.4. Systemtechnische Optimierung verstärken

Die Weiterentwicklung der bestehenden Energieversorgungsstrukturen in Deutschland muss die zunehmende Nutzung der erneuerbaren Energien stärker berücksichtigen. Dies gilt vor allem für die Strukturen der Stromnetze, die zukünftig sowohl eine stärkere Dezentralisierung der Energieerzeugung als auch eine stärkere Vernetzung über teilweise größere Entfernungen ermöglichen müssen. Bei der Nutzung der Windenergie zeichnet sich dies bereits heute ab.

Die sich durch erforderliche Neubauten wandelnde fossile Kraftwerksstruktur muss in die systemtechnische Optimierung des Gesamtsystems eingebunden werden. Bis 2020 sind rund 60% der heute bestehenden Kraftwerkskapazitäten zu ersetzen. Der im deutschen Kraftwerkspark in den nächsten beiden Jahrzehnten anstehende Ersatzbedarf schafft also den notwendigen Spielraum für tiefgreifende Änderungen in der Art der Energiebereitstellung. Durch den deutlichen Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung und den Zuwachs der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien kommt es zu einer teilweisen Verlagerung der Stromerzeugung hin zum Standort der Stromanwendung. Intelligente Steuerungssysteme müssen in Zukunft diese dezentralen Stromerzeugungsanlagen effektiv koordinieren. Es wird in diesem Zusammenhang in zunehmendem Maße notwendig und zweckmäßig werden, durch ein hoch entwickeltes Lastmanagement den Verbrauch in deutlichem Umfang an die Energieerzeugung anzupassen.

Im Bereich der Wärmeversorgung sind zur optimalen Integration erneuerbarer Energien in weitaus stärkerem Ausmaß als bisher strukturelle, systemtechnische Änderungen notwendig. Dabei handelt es sich insbesondere um Nahwärmeversorgungen und moderne Effizienztechnologien, wie z.B. innovative dezentrale Kraft-Wärme-Kopplungstechnologien und neue an die Nutzung erneuerbarer Energien und an einen reduzierten Energiebedarf angepasste Haussystemtechniken.

2.5. Rationelle Energieverwendung fördern

Für eine Gesamtoptimierung der Energieversorgung bedarf es parallel zum Einsatz erneuerbarer Energien einer deutlich verbesserten Effizienz bei der Energienutzung. Eine jährliche merkliche Erhöhung der Energieproduktivität aus Gründen der Umwelt- und Ressourcenschonung ist eine essentielle Voraussetzung für die Schaffung einer nachhaltigen Energieversorgung. Gezielte Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen bei Effizienztechnologien müssen daher zu einem weiteren Schwerpunkt eines neuen Energieforschungsprogramms werden, um insbesondere bereits heute Entwicklungen von Energieeffizienztechnologien dort zu fördern, wo Marktkräfte noch nicht ausreichen.

2.6. Erneuerbare Energien in die Gesellschaft einbinden

Die Integration der erneuerbaren Energien in die Energieversorgung Deutschlands bedingt die Einbeziehung ökologischer, soziologischer und ökonomischer Fragestellungen schon im frühen Stadium der Forschung und Entwicklung. Nachhaltigkeit in der Forschung erfordert daher auch nicht-technische Forschungsansätze: Interdisziplinäre und transdisziplinäre Forschungsprojekte, spielen eine unverzichtbare Rolle insbesondere für Systemanalysen und Technikbewertung. Markteinführungsprogramme und spezifische Förderinstrumente benötigen begleitende Forschungen zu Akzeptanz, zu Umweltwirkungen und zur Integration erneuerbarer Energien in unser Wirtschaftssystem.

2.7. Globale Perspektive berücksichtigen

Die globale Charakteristik der Umwelt-Problematik und des Lösungsbeitrags durch erneuerbare Energien bedingt eine internationale Orientierung: Zukünftig werden Forschung und Technologieentwicklungen für die Anwendung in südlichen Klimazonen und für Osteuropa eine deutlichere Rolle spielen müssen. Dabei gilt es, die sehr breite Palette der Nutzeranforderungen wie zum Beispiel Energieversorgung in gering versorgten ländlichen Räumen, Energiebedarf von Ballungszentren und Trinkwasserbereitstellung durch Meerwasserentsalzung in die Förderkonzepte einzubeziehen und die Nutzung der erneuerbarer Energien eng mit einem sehr rationellen Energieeinsatz zu verknüpfen.

Neben nationalen sind daher in zunehmendem Maße internationale Pilotprojekte – stets mit wissenschaftlicher Begleitung und fundierter Auswertung der gewonnenen Erfahrungen – unverzichtbar. Sie sollten ihren festen Platz im Energieforschungsprogramm finden und mit den Vorhaben des BMZ eng verknüpft werden. Die Exportchancen der deutschen Industrie müssen in diesem Zusammenhang deutlich entwickelt und durch zielgerichtete Forschungsprogramme unterstützt werden.

2.8. Finanzielle Konsequenzen ziehen

Der in diesem Eckpunktepapier dargelegte enorme Forschungsbedarf ist durch die gegenwärtig finanzierte Forschungskapazität in Deutschland nur etwa zur Hälfte abgedeckt. Die im ersten Kapitel erwähnten Zielmarken der Bundesregierung und der Europäischen Union zur Einführung erneuerbarer Energien sind mit der gegenwärtigen finanziellen Ausstattung der Forschungsförderung nicht erreichbar.

Der Wissenschaftsrat hat in seiner Stellungnahme zur Energieforschung im Jahre 1999 eine 30%ige Unterfinanzierung der deutschen Energieforschung festgestellt; dies galt auch für die erneuerbaren Energien, die damals mit umgerechnet 118 Mio. Euro gefördert wurden.

Heute ergibt sich aus der gewachsenen Bedeutung der erneuerbaren Energien als Schlüsseltechnologie für eine nachhaltige Energieversorgung, dass die Förderung ihrer Erforschung durch die öffentliche Hand noch deutlicher verstärkt werden muss: Eine Verdopplung der Forschungsmittel von gegenwärtig 152 Mio. Euro¹ innerhalb der nächsten fünf Jahre ist aus unserer Sicht geboten. Damit würde der angestrebten Priorität erneuerbarer Energien innerhalb der Energieforschung durch entsprechende Finanzierungsanteile sichtbarer Ausdruck verliehen.

Der finanzielle Einsatz für die Technologieentwicklung von heute bestimmt wesentlich die Energieversorgungstechnik von morgen und den Zeitpunkt ihrer energiewirtschaftlichen Verfügbarkeit. Dabei ergibt sich aus den meist langfristigen Forschungs- und Entwicklungszielen die Notwendigkeit stetiger und insbesondere in personeller Hinsicht planbarer und verlässlicher finanzieller Zuwendungen über viele Jahre hinweg.

Vernetzungsfonds Erneuerbare Energien:

Ein wichtiges Forschungsförderinstrument ist der Vernetzungsfonds Erneuerbare Energien. Er fördert anwendungsorientierte Grundlagenforschung in interdisziplinären Netzen mit Universitäten, Instituten verschiedener Wissenschaftsorganisationen (z. B. MPG, WGL, FhG) sowie Firmen. Er hat sich bewährt, um wichtige Forschungsexpertisen verschiedener Projektbereiche zusammenzuführen und die Aspekte der Nachhaltigkeit pointiert mitzuentwickeln. Der FVS befürwortet daher nicht nur eine Fortsetzung des Vernetzungsfonds, sondern auch eine Weiterentwicklung.

¹ Forschungsmittel für Projektförderung 2003 durch BMBF, BMVEL, BMWA, BMU, inklusive der Mittel aus dem Zukunftsinvestitionsprogramm (ZIP). Das bedeutet: ca. 73 Mio. Euro für erneuerbare Energien und 79 Mio. Euro für rationelle Energieverwendung. Hinzu kommen ca. 40 Mio. Euro Grundfinanzierungen für erneuerbare Energien in den HGF-Einrichtungen.

3. Forschungs- und Entwicklungsfelder von solaren und erneuerbaren Energietechnologien

Energieversorgung bedeutet die Bereitstellung nutzbarer Energie in Form von Strom, Wärme, Brennstoffen und Treibstoffen. Für eine nachhaltige Energieversorgung stehen dafür als primäre Energiequellen Sonnenenergie, Erdwärme und Meeresbewegungen zur Verfügung.

Mit den heute existierenden Techniken kann die Sonnenenergie durch Photovoltaik, solare Wärmeerzeugung, solarthermische Stromerzeugung, Windkraftanlagen, Wasserkraft², mittels Biomasse und durch Solarchemie in nutzbare Sekundärenergien umgewandelt werden; Erdwärme wird zur Strom- und Wärmebereitstellung verwendet; Meeresenergie wird durch Gezeitenkraftwerke und Meeresströmungsturbinen in elektrische Energie umgewandelt.

Diese Energietechnologien können sich in einem thermischen und elektrischen Energiemix quantitativ und temporär ergänzen: mittelfristig im optimierten Verbund mit herkömmlichen Energietechnologien und längerfristig weitestgehend eigenständig.

Die für diesen Energiemix notwendigen erneuerbaren Energietechniken werden hinsichtlich ihres Forschungs- und Entwicklungsbedarfs im Folgenden genauer beleuchtet:

3.1. Energietechnologien zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

Die Bundesregierung hat das Ziel gesetzt, bis 2010 in Deutschland 12,5 % Strom (2002 waren es 8 %) aus erneuerbaren Energien zu erzeugen. Zum gleichen Zeitpunkt ist in der Europäischen Union die Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch auf 22 % (1997 waren es 14 %) vorgesehen.

Für alle im Folgenden genannten Energietechniken zur Stromerzeugung kann folgender Forschungs- und Entwicklungsbedarf benannt werden:

- Ökologische Begleit- und Sicherheitsforschung
- energiewirtschaftliche Einbindung in Energieversorgungsstrukturen
- Wissenschaftliche Begleitung der Energienutzung durch Akzeptanzforschung und Breitentestprogramme

² Die Wasserkraft wird im Eckpunktepapier nicht gesondert behandelt, da sie als etablierte erneuerbare Energietechnologie gilt.

Windenergietechniken

Bei der Windenergienutzung lassen sich kurz- bis mittelfristig sehr große Ausbaupotenziale erneuerbarer Energien erschließen. Ziel der Bundesregierung ist es, bis 2025/2030 einen Anteil von 15 % am gesamten Strombedarf in Deutschland durch Offshore-Windparks und weitere 10 % durch Windenergieanlagen an Land zu decken.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

Die Erschließung der Offshore Windenergienutzung stellt derzeit die größte Herausforderung dar, wobei die zugehörigen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten fast alle Bereiche der Windenergienutzung betreffen. Auch für den weiteren Ausbau der Windenergienutzung an Land, hier besonders mit der Anwendungsperspektive in Schwellen- und Entwicklungsländern, sind verstärkte Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten notwendig. Gerade unter den besonderen klimatischen und topographischen Bedingungen (stark strukturiertes Gelände) ergeben sich hier neue Herausforderungen. Eines der wichtigsten Ziele der Forschung und Entwicklung ist eine weitere Kostenreduktion durch grundlegende Innovationen:

- Weiterentwicklung der Anlagentechnik (neue Materialien und Verbundwerkstoffe, Elastizität und Geräuschbildung, innovative Regelungsverfahren, Generatoren und Leistungselektronik, neue Anlagenkonzepte)
- Untersuchungen zur Wind-Klimatologie und Umgebungsbedingungen (Windpotenziale, Standortfindung im komplexen Gelände, Energieertragsprognose, Auslegungswindverhältnisse, Wind- und Wellencharakteristik für Offshore-Anwendungen)
- Optimierung der systemtechnischen Einbindung und Betriebsführung (Regelung und Betriebsführung von Windparks, Fehlerfrüherkennung und zustandsorientierte Anlagenwartung, Informations- und Kommunikationssysteme, Netzwechselwirkungen, Windleistungsprognose)
- Monitoring der technischen Entwicklung sowie Grundlagenuntersuchungen zu technischen, ökonomischen, ökologischen und rechtlichen Aspekten und Perspektiven der nationalen und internationalen Windenergienutzung

Biomasse

Die energetische Nutzung von Biomasse kann in den kommenden Jahrzehnten einen wichtigen Beitrag zur solaren Energiewende leisten. Für die Bundesrepublik Deutschland beträgt das energetisch nutzbare Potenzial mindestens 10 % vom derzeitigen Energieverbrauch. Die als Biomasse gewonnene Sonnenenergie kann in alle Energieformen umgewandelt werden. Sie ist speicherbar und wird für die Substitution fossiler Ressourcen bereits heute eingesetzt. Bei der energetischen Nutzung der Biomasse können C-stämmige flüssige Kraftstoffe in praktisch CO₂-neutralen Umwandlungsverfahren gewonnen werden. Außerdem lassen sich feste Abfallstoffe sowie energiereiches Halmgut mit Hilfe von Vergasungsverfahren CO₂-neutral nutzen. Biomasse eignet sich daher besonders als frühzeitiger Einstieg in ein nachhaltiges Szenario für den Kraftstoffsektor.

Die in Deutschland zum Thema energetische Nutzungstechnologien von Biomasse vorhandenen Forschungsprojekte und institutionellen Kapazitäten sind vielversprechend, aber bisher eher vereinzelt geblieben. Für eine organisatorische Kohärenz der einzelnen Forschungsaktivitäten in Deutschland ist eine geeignete Bündelung der vorhandenen Fähigkeiten und Kapazitäten wünschenswert, um einen künftigen Forschungsschwerpunkt zur energetischen Nutzung von Biomasse effizient zu realisieren.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

Eine Voraussetzung für den breiten Einsatz der energetischen Nutzung von Bioenergie ist eine merkliche Verstärkung von Forschung und Technologieentwicklung über die teilweisen Einzeldisziplinen hinaus, die , zunächst noch interdisziplinär zusammengeführt werden müssen. Die schon heute identifizierbaren wesentlichen Themen einer umfassenderen Biomasse-Forschungsstrategie sollten u.a. sein:

- Verfahren zur Bereitstellung C-stämmiger Kraftstoffe aus Biomasse
- Vergasung von biogenen Abfallstoffen zur Nutzung des Synthesegases für Brennstoffzellen
- Schnittstellentechnologien zu einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft (siehe auch Teil 3.5)
- integrierte dezentrale/kommunale Energiekonzepte für die großmaßstäblich Nutzung von Biomasse (Logistik)
- Optimierung der landwirtschaftlichen Koppelproduktion Nahrung–Energie
- Schnittstellentechnologien zu verschiedenen thermodynamischen Energiewandlern wie z.B. konventionelle Blockheizkraftwerke (BHKW), Mikro-Gasturbinen, Stirlingmotoren
- Systemtechnische Optimierung von Biogasanlagen (Messverfahren und Sensorik für die optimierte Betriebsführung, angepasste Regelungstechnik, Standardisierung und Modularisierung der Systembausteine)
- Integration von modernen Biomassensystemen in Stromversorgungsstrukturen – auch in die dezentrale Energieversorgung von Entwicklungsländern – sowie Entwicklung von biogasgespeisten „Mikro-Gasnetzen“

Photovoltaik

Die photovoltaische Energiekonversion besitzt im Bereich der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen in Mitteleuropa bei weitem das höchste nachgewiesene technische Potenzial. Auf der anderen Seite bewegt sich ihr derzeitiger Beitrag zur Stromversorgung noch in energiewirtschaftlich unbedeutenden Dimensionen. Auch bei den seit etwa einem Jahrzehnt vorliegenden globalen Wachstumsraten von über 30% pro Jahr wird es einige Jahrzehnte dauern bis die Photovoltaik merklich zur Stromversorgung in Deutschland beitragen kann. Langfristig wird diese Energiekonversionstechnologie aber eine entscheidende Säule eines nachhaltigen Energieversorgungssystems darstellen.

Eine weiterhin engagierte Marktentwicklung der Photovoltaik ist unumgänglich, wenn diese Technologie rechtzeitig als wesentliche Komponente eines zukünftigen Energiesystems zur Verfügung stehen soll. Es ist davon auszugehen, dass der heute im Vergleich zu Netzstrom in Industrieländern noch sehr teure Photovoltaikstrom Preisdimensionen erreicht, in denen er – unter Berücksichtigung externer Kosten im Energiesystem – betriebswirtschaftlich konkurrenzfähig wird.

In netzfernen Anwendungen in denen Strom aus photovoltaischer Energiekonversion z.B. mit Strom aus Batterien oder dieselektrischer Energiewandlung bzw. einer Netzerweiterung konkurriert, ist der solarelektrische Strom bereits heute in den meisten Fällen betriebswirtschaftlich konkurrenzfähig. Dieser Sektor der Photovoltaik umfasst gut ein Drittel des Weltmarktes.

Voraussetzung für eine wirklich großmaßstäbliche Aktivierung des Potenzials der photovoltaischen Stromerzeugung ist eine auf lange Sicht angelegte Forschung sowohl zu den Grundlagen der Materialien und Prozesse als auch in den konkreten Konversionstechnologien (Zellen, Module, Systeme). Hauptforschungsziel muss eine substantielle Kostensenkung sein. Dieses Ziel lässt sich insbesondere über eine Steigerung der Wirkungsgrade, eine Reduzierung des Materialeinsatzes und hochproduktive Herstellungstechnologien erreichen.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

Da eine fundierte Bewertung der unterschiedlichen Technologieansätze im Hinblick auf langfristige Entwicklungen bei der Photovoltaik derzeit noch nicht möglich ist, muss die breitgefächerte Förderung verschiedener Technologien beibehalten werden:

a) Silicium-Solarzellen

Die bisherigen Fortschritte in der Solarzellentechnik wurden fast ausschließlich durch Weiterentwicklungen der bereits hoch entwickelten und den Markt beherrschenden Silicium-Wafertechnologie erreicht. Diese Technologie besteht in der Prozessierung von monokristallinen oder multikristallinen Scheiben in einer Dicke von 200-300 µm. Das Potenzial für weitere Kostensenkungen ist aber längst nicht ausgeschöpft. Dabei geht es vor allem um die Entwicklung neuer Technologien durch:

- Verwendung dünnerer Si-Wafer bis hin zu ultradünnen Wafern
- neuartige Zellenstrukturen
- höhere Wirkungsgrade
- einfachere Prozesstechniken
- kostenreduzierte Herstellung von Solar-Silicium (Solar-Grade-Si) und dünnen Silicium -Wafern

b) Dünnschichtsolarzellen

Ein hohes Potenzial für Kostensenkungen wird hochproduktiven Dünnschichttechnologien zugeschrieben:

- CIS- (Chalkopyrit-) und CdTe-Dünnschichtsolarzellen
- Silicium-Dünnschichtsolarzellen (amorph und kristallin)
- angepasste Produktionstechnologien und deren Skalierung
- Dünnschichtsolarzellen auf der Basis von Farbstoffen und organischen Halbleitern
- Erforschung der Materialien und Prozesse für Dünnschichttechnologien

c) Grundlagenforschung

Neben den oben aufgeführten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sind zur Kostensenkung auch vollkommen neue physikalische Ansätze zu verfolgen. Exemplarisch dafür sind:

- Entwicklung von Stapelsolarzellen mit hohen Wirkungsgraden (zur günstigeren Ausnutzung des Sonnenlichts – Wirkungsgrade bis zu 40 %)
- Entwicklung neuer Bauelementestrukturen von Solarzellen
- Solarzellen mit hochstrukturierten Absorbern und Nanostrukturen in der Fläche
- Entwicklung des Photonenmanagements
- zielorientierte Halbleiter-Diagnostik

d) Lebenszyklusanalyse und Recycling

Mit wachsenden Produktionskapazitäten für Solarzellen spielen Fragen des Recyclings, der Lebensdauer und der Energierückzahlzeiten eine wichtige Rolle und sind zunehmend Gegenstand von Forschungs- und Entwicklungsprojekten:

- Reduktion von Material- und Energieeintrag bei der Herstellung
- Wiederverwertbarkeit der photovoltaischen Elemente und Materialien

e) Photovoltaische Kraftwerke und Systeme

Photovoltaische Kraftwerke und Systeme werden aller Voraussicht nach mittelfristig für die Bereitstellung von Spitzenlaststrom (z.B. zum Betrieb von Kühlanlagen) im Leistungsbereich von einigen 100 kW bis hin zu Kraftwerken im MW-Maßstab einen Markt finden. Breite Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen sind erforderlich:

- Entwicklung von Solarzellen, konzentrierende Optik und mechanischer Anlagentechnik

f) Allgemeine photovoltaische Systemtechnik

- Wichtiges Forschungs- und Entwicklungsziel ist die Entwicklung von kostengünstigen Photovoltaik-Wechselrichtern mit hoher Zuverlässigkeit und einer Lebensdauer, die an die der PV-Module heranreicht. Dazu gehören auch Wechselstrom-Photovoltaikmodule mit hoher Modulspannung und langlebigen integrierten Invertern.

Solarthermische Kraftwerke

Nach ersten Erfolgen Ende der achtziger Jahre in den USA entwickelt sich zur Zeit ein neuer Markt für solarthermische Kraftwerke in Südeuropa, USA und (unterstützt durch die Weltbank) in einigen Entwicklungsländern des Sonnengürtels. Hierbei handelt es sich um drei Typen solarthermischer Kraftwerke:

- Parabolrinnensysteme
- Solarturmsysteme
- Dish-Stirling Systeme

Bis 2010 wird in Europa mit ca. 400 MW neu installierter Leistung gerechnet, weltweit mit ca. 2000 MW. Deutsche Industrieunternehmen sind dabei federführend beteiligt. Ab etwa 2030 kann Stromimport aus solarthermischen Kraftwerken in Südeuropa oder in nordafrikanischen Ländern mittels Hochspannungsgleichstromübertragung im europäischen Netzverbund einen wichtigen Beitrag zum europäischen Strommix leisten.

Für die derzeit geplanten kommerziellen solarthermischen Kraftwerke werden von den Investorenkonsortien solare Stromgestehungskosten von 12 bis 15 Cent/kWh angegeben; damit steht man allerdings erst am Anfang der Kostensenkungs-Lernkurve. Die beteiligte Industrie schätzt, dass bei einem stetigen Ausbau auf etwa 15 GW weltweit bis 2020 bei gleichzeitiger Fortsetzung von Forschung und Entwicklung die volle Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Mittellaststrom aus fossilen Energieträgern und bis 2030 gegenüber Grundlaststrom an guten Standorten erreicht werden kann.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

Für alle solarthermische Kraftwerkstypen gemeinsam wichtig sind:

- industriennahe Forschung und Entwicklung von Fertigungsverfahren und Automatisierung des Anlagenbetriebs
- Entwicklung kostengünstiger thermischer Energiespeicher für unterschiedliche Wärmeträgermedien
- Gewichtsreduktion von Kollektoren und Konzentratoren durch den Einsatz innovativer Spiegel und Verbundwerkstoffe

Parabolrinnen-Technologie

- Weiterentwicklung der Direktverdampfungs-Technologie
- Selektive Solarabsorberschichten für hohe Temperaturen um 500°C mit hoher Beständigkeit
- Entwicklung neuer optischer Konzentratorkonzepte

Solarturm-Technologie

- Technologieentwicklung zur Einkopplung der Solarwärme in Gasturbinen zur Erschließung des Hochtemperaturpotenzials
- Entwicklung kostengünstiger Spiegel sowie hochreflektierender First-Surface-Spiegel (gilt auch für Parabolrinnentechnologie)

Dish/Stirling-Technologie

- Entwicklung von solar/fossilen Hybridanlagen, bzw. von solar/Biomasse Hybridanlagen.

Geothermische Stromerzeugung

Für die geothermische Stromerzeugung wird in Deutschland ein hohes Potenzial geschätzt. Der Standort Deutschland eignet sich besonders wegen seines für Mitteleuropa typischen geologischen Untergrunds für eine Nutzung der tiefen Erdwärmevorkommen. Gegenwärtig entsteht in Groß Schönebeck (Brandenburg) ein erstes Kraftwerk in Deutschland. Energetische Grundlast kann wirtschaftlich mit Strom aus Erdwärme bedient werden, wenn es gelingt, die Kosten für die Erschließung und Nutzung der Erdwärme deutlich zu senken.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

Der Schlüssel zum Durchbruch geothermischer Technologien ist die Weiterentwicklung der Stimulationstechnik. Sie dient der Steigerung der Produktivität von heißen Tiefenwässern ($T > 150^\circ\text{C}$) aus Bohrungen in geothermische Lagerstätten. Damit kann bei gleichbleibenden Bohrkosten der wirtschaftliche Ertrag deutlich erhöht und die Kosten für die Nutzung der Erdwärme stark gesenkt werden.

- Untersuchung und Charakterisierung der geomechanischen, hydraulischen und geochemischen Eigenschaften der tiefliegenden (3-5 km) geothermischen Zielhorizonte
- Entwicklung neuer Explorationsmethoden, wie z.B. geophysikalischer Methoden, zur Verbesserung der Treffsicherheit der erforderlichen Tiefbohrungen bis in Temperaturbereiche größer 150°C
- Technologieentwicklung zur Wandlung der Wärme niedrigthermaler Tiefenwässer in elektrischen Strom
- Effizienzverbesserung der Stromerzeugung durch Entwicklung geeigneter Systemkomponenten und durch Anpassung beteiligter Energieströme

Maritime Energiequellen

Unter maritimen Energiequellen werden in erster Linie Gezeiten- und Wellenenergie verstanden. Der Tidenhub der **Gezeiten** ermöglicht den Einsatz konventioneller Wasserturbinen zur Stromerzeugung. Zur Zeit sind weltweit 260 MW in Betrieb.

Wellenenergie beruht auf der Wechselwirkung zwischen der Meeresoberfläche und dem Wind. Weltweit sind zur Zeit etwa 2 MW in Demonstrationsanlagen an küstenferne Standorten installiert. Das Potenzial der Wellenkraft in Europa wird auf über 300 GW geschätzt.

Meeresströmungen werden in Küstennähe vor allem durch die Gezeiten verursacht. Unter geeigneten topologischen Bedingungen kann die Wassergeschwindigkeit für eine kommerzielle energetische Nutzung ausreichen. Zwei erste 300 kW-Pilotanlagen werden zur Zeit – zum Teil mit Beteiligung deutscher Forschung und Industrie - installiert.

Generell stehen Technologien zur Nutzung maritimer Energiequellen noch am Anfang. Ziel ist es, die großen Potenziale wirtschaftlich nutzbar zu machen. Dazu sind bei allen Offshore-Technologien große installierte Leistungen erforderlich.

Auch wenn das Potenzial maritimer Energiequellen für den deutschen Küstenbereich als vergleichsweise gering angesehen wird, haben die Technologien zur Nutzung dieser Energiequellen in Anbetracht der Möglichkeiten des Energieimports für Strom und synthetische Energieträger sowie unter Exportgesichtspunkten für deutsche Anlagentechnik auch für Deutschland langfristig große Bedeutung. Sollten stärkere deutsche Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet entstehen, müssten sie in enger Kooperation mit Ländern erfolgen, deren Küsten und Meeresflächen über ein hohes Potenzial maritimer Energie verfügen.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

Im Bereich der Regelungs- und Systemtechnik sowie verschiedener Anlagenkomponenten besteht in europäischer Arbeitsteilung erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

3.2 Netzmanagement, Systemtechnik und verteilte Kraftwerke

Die Liberalisierung des Energiemarktes und das europäische Ziel, den Anteil erneuerbarer Energien in der Stromproduktion bis 2010 auf 22% zu erhöhen, fordern eine erhebliche Umstrukturierung im europäischen Verbundnetz. Die Evolution der Stromversorgung von zentralen, großen Kraftwerken hin zu einem System, das sowohl aus zentralen als auch dezentralen Stromerzeugern besteht, stellt auch geräte- und elektrotechnisch neue Anforderungen. Je höher der Anteil von dezentralen "Mikrokraftwerken" ist, desto stärker müssen sie in die Netzregelung einbezogen werden. Die dafür zu entwickelnden Betriebsführungseinheiten und Kommunikationskonzepte werden essentiell für die Realisierung des Konzeptes der „Verteilten Stromerzeugung“ sein.

Gleichzeitig sind autonome Stromversorgungen auf Basis von Photovoltaik, Windkraft, solarthermischer Stromerzeugung, Wasserkraft oder hybriden Systemen der Schlüssel zur Entwicklung strukturschwacher Regionen der Erde sowie zur Versorgung technischer Anlagen in Europa. Sie stellen weltweit einen großen Exportmarkt dar, der insbesondere für die Diversifizierung deutscher Unternehmen attraktiv ist. Für die Erschließung dieser Märkte mit zuverlässigen und kostengünstigen Systemen werden neue Technologien für die Regelungstechnik von Inselnetzen, optimiertem Energiemanagement komplexer Systeme im Betrieb und optimiertem Anlagenmanagement in der Planung benötigt.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

Ziel zukünftiger Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen muss es sein, die sich ändernden Versorgungsstrukturen so zu gestalten, dass die Netzstabilität und die Versorgungssicherheit bei steigenden Zahlen dargebotsabhängiger, fluktuierender Einspeiser ohne große Leistungsreserven möglich sind. Neben dem richtigen Energiemix werden dabei leistungsfähige Kommunikationsstrukturen, Online- und Prognoseverfahren für die Netzeinsatzplanung sowie bidirektionale Energiemanagement und -handelssysteme für den Dialog zwischen Energieerzeuger, Verteiler und Verbraucher von besonderer Bedeutung sein. Hierfür ist die Entwicklung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien für verbesserte Energiemanagementverfahren unverzichtbar.

Zu den wichtigsten Zielen der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung gehören außerdem:

- Integration fluktuierender erneuerbarer Energien und dezentraler Stromerzeugung in Verbundnetze (Energie- und Kommunikationsschnittstellen, Leistungsprognose und -steuerung)
- Entwicklung von Netzmanagementsystemen und Netzregelungsverfahren sowie Gesamtmodellen für die technische, ökonomische und ökologische Optimierung (für alle Technologien und Netzebenen einschließlich der Niederspannungsebene)
- Forschung im Bereich Steuerung des Stromverbrauchs bei privaten und industriellen Nutzern als Grundlage für ein umfassendes Netzmanagement
- Entwicklung intelligenter kommunikationsfähiger multifunktionaler Stromrichter zur Energie- und Leistungsbereitstellung, Notstromversorgung und Netzqualitätsverbesserung für alle Technologien dezentraler Stromerzeugung und Speicherung
- Forschung auf dem Gebiet der Leistungselektronik als Schlüsseltechnologie der Energiesystemtechnik (neue Bauelemente/Technologien, Digitalisierung/Automatisierung, thermische Optimierung)
- Benötigt werden mittelfristig Stromspeicher für große Strommengen (viele MWh). Für die Bereitstellung hoher Leistungen sind zudem Techniken im Bereich der Schwunräder, SuperCaps und Supraleitender Spulen von großer Bedeutung.
- Entwicklungswerkzeuge und Entwurfstechniken für Energieversorgungssysteme (Modellbildung und Simulation)

Im Bereich autonomer Stromversorgungen sind technische Entwicklungen zu Steuerungs- und Regelungstechnik, Energiemanagement für flexibel erweiterbare Systeme und Managementzentralen für die Wartungsoptimierung vieler weiträumig verteilter Einzelanlagen ebenso erforderlich wie Entwicklungen zur Erschließung neuer entsprechender Anwendungsgebiete und Energiewandlungstechnologien. Gerade bei der ländlichen Elektrifizierung ist parallel dazu ein noch besseres Verständnis sozioökonomischer und soziologisch-technischer Zusammenhänge nötig. In neuen Konzepten und Produkten für die ländliche Elektrifizierung müssen diese Erkenntnisse mit moderner Leistungs- und Regelungselektronik verbunden werden, um den Aufbau zunächst kleinzelliger Stromversorgungen im Bereich einiger hundert Watt zu ermöglichen, die bei zunehmendem Ausbau zu größeren lokalen und regionalen Stromversorgungsstrukturen verbunden werden können.

3.3 Energietechnologien zur Wärme- und Kälteerzeugung aus erneuerbaren Energien

Am gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland hat die Wärme einen Anteil von 57 %. Innerhalb dieses Anteils dominiert die Raumwärme mit 54 %, Prozesswärme hat einen Anteil von 37 % und die Warmwasserversorgung von 9 %.

Der Wärmemarkt ist dadurch gekennzeichnet, dass derzeit vor allem hochwertige fossile Rohstoffe wie Erdöl und Erdgas zum Einsatz kommen. Die Substitution dieser Ressourcen ist im Wärmemarkt technisch und wirtschaftlich relativ einfach und zunehmend kostengünstig und bei volkswirtschaftlicher Betrachtung daher besonders förderungswürdig.

Solarthermie

Solare Nutzwärme kann auf folgende Arten gewonnen und zur Energieversorgung eingesetzt werden:

- Erwärmung von Brauch- und Trinkwasser und Heizung durch thermische Kollektoren
- Bereitstellung von Prozesswärme auf höherem Temperaturniveau
- Thermische Solarenergienutzung durch solare Architektur und Gebäudehülle (Kap. 3.4)

Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- Forschung und Entwicklung für effizientere und kostengünstigere große Kollektorfelder im Niedertemperaturbereich, insbesondere für die Gebäudeheizung
- Entwicklung verbesserter Langzeitspeicher als wichtigen Baustein einer intensivierten Kollektornutzungsstrategie.
- Entwicklung hocheffizienter Kollektoren, darunter auch konzentrierender Systeme für industrielle und gewerbliche Prozesswärme (auch in Verbindung mit Kraft-Wärme-Kopplung) sowie Meerwasserentsalzung
- Entwicklung von modellbasierten vernetzten Regelungssystemen und Fernüberwachungsverfahren

Kühlung mit Sonnenwärme

Sonnenwärme kann in Verbindung mit Sorptions- oder Adsorptionstechnologien zum Antrieb thermodynamischer Kühlprozesse eingesetzt werden.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- Weiterentwicklung thermischer Kälteanlagen kleiner Leistung
- Entwicklung von elektrisch/thermischen Hybrid-Systemen
- Materialforschung im Bereich Sorbentien
- systemtechnische Forschung im Bereich Regelung, Wartung, Betriebsführung

Wärmeerzeugung aus Biomasse

Die als Biomasse gespeicherte Sonnenenergie ist auch direkt in Wärme umwandelbar. Die dafür genutzte Konversionstechnik ist die Verbrennung. Wärme aus Biomasse entsteht aber auch in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

Im Bereich der konventionellen (Verbrennungs-)Heizkraftwerke für den Einsatz biogener Festbrennstoffe zeigt die Entwicklung der letzten Jahre, dass hier Forschungs- und Entwicklungsaufgaben anstehen, die bisher weitgehend ungelöst sind (z.B. emissions- und korrosionsarme Verbrennung von Halmgütern), für die noch kostengünstige und verlässliche technische Lösungen gefunden werden müssen.

Geothermie

Die Gewinnung von Erdwärme zur Wärmeversorgung erlebt zur Zeit in Deutschland große Zuwachsraten. Oberflächennahe Erdwärme wird in einer Vielzahl von Anlagen mit erdgekoppelten Wärmequellenanlagen und Wärmepumpen genutzt.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Der wesentliche Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht darin, diese Technik planungssicher bereitzustellen. Entwicklungsfähig sind weiterhin besonders die Einbindung neuer Speichermöglichkeiten in verschiedene Versorgungssysteme, beispielsweise die saisonale Wärmespeicherung im Untergrund. Die Zielrichtung der weiteren Forschungsaktivitäten sollte sein:

- Entwicklung von Explorationstechnologien, die die Treffsicherheit der teuren Bohrungen erhöhen und eine Prognose zum Verhalten des Untergrunds im Langfristbetrieb ermöglichen
- Entwicklung von Stimulationsverfahren, damit die notwendige Fördermenge an Tiefenwässern gezielt beeinflusst werden kann

Wärmespeicherung

Die effektive Energiespeicherung bildet in vielen Fällen eine Grundvoraussetzung für die Integration erneuerbarer Energiequellen in Energiesysteme. Durch die Reduktion des Energieverbrauchs in modernen Gebäuden und die Entwicklung neuer Speichermaterialien auf der Basis von Phasenwechsel- und Sorptionsmaterialien sind prinzipiell völlig neue Ansätze zur Wärmespeicherung ohne Selbstentladung möglich, die den Einsatz dezentraler Wärmeversorgungssysteme unterstützen. Besonders interessant ist hier die Kombination mit kleinen Kraftwärmekoppelanlagen, da mit guten Wärmespeichern ein stromgeführter Betrieb möglich ist und die anfallende Wärme mittelfristig (einige Tage) gespeichert werden kann.

3.4 Solares Bauen – Gebäudehülle und Systemtechnik

Der Bereich Solares Bauen beschäftigt sich mit Fragen des Energiebedarfs und -verbrauchs beim Bau und Betrieb von Gebäuden. Derzeit fallen 46% des Endenergieverbrauchs in Deutschland in Gebäuden an, wobei die Niedertemperaturwärme (< 80 °C), schwerpunktmäßig für das Heizen eingesetzt, davon 90% beträgt. Bisherige Sanierungen im Bereich des Altbaus haben gezeigt, dass mit heute verfügbaren Technologien 70% Endenergieeinsparung möglich ist. Im Neubaubereich von Wohnhäusern sind bereits Verbrauchssenkungen von über 80% mit verfügbaren Standardtechnologien erreichbar.

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Konzepte:

- 3-Liter-Haus
- solares Passivhaus
- Nullenergiehaus
- Energie-Plus-Haus

Diese verschiedenen Möglichkeiten solaren Bauens erlauben den Architekten und Bauherren eine große Umsetzungsvielfalt. Bei Bürogebäuden ermöglichen integrale Gesamtenergiekonzepte (Wärme, Kälte, Kraft, Licht) eine Reduktionen des Energieverbrauchs um 50 % – weitestgehend ohne große Mehrkosten beim Bau.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

Hinsichtlich Forschung und Entwicklung müssen zwei Elemente berücksichtigt werden:

1. die Gebäudehülle einerseits als Schnittstelle zur Umwelt, die über Fenster und das Mauerwerk Wärmeflüsse beeinflusst (Reduzierung von Verlusten durch gute Wärmedämmung, Wärmegewinne bei transparenter Wärmedämmung), und andererseits als funktionales und gestalterisches Element, in das neue Technologien aus dem Bereich der erneuerbaren Energiequellen integriert werden können (z. B. Photovoltaik, Fassadenkollektoren)
2. die technische Gebäudeausrüstung, die maßgeblich über den Verbrauch und die effiziente Nutzung von Energie entscheidet (z. B. Heizung, Regelung, Steuerung des Gesamtsystems)

Ziel der Forschung und Entwicklung sollte es sein, bei gleichem oder höherem Komfort Energie rationeller zu nutzen und den verbleibenden Energiebedarf zunehmend durch erneuerbare Energiequellen zu decken. Die Aufgaben von Forschung und Entwicklung gliedern sich einerseits in Systemtechnologien und andererseits in Technologien und Konzepte zur Verbesserung der Gebäudehülle.

Zu den wichtigsten Zielsetzungen beim Thema Gebäudehülle gehören:

- solar-optimierte Fenster mit optischen Schalteigenschaften, die in der Gesamtenergiebilanz über das Jahr positiv sind, gleichzeitig auch eine Überhitzung in den Sommermonaten verhindern und für einen hohen Anteil der Tageslichtnutzung vor allem in Bürogebäuden sorgen (verbesserte Wärmeschutzschichten mit hoher solarer Transmission, elektrochrome und gaschrome Verglasungen, mikrostrukturierte Verglasungstypen für Zwecke der Lichtlenkung und des Sonnenschutzes)
- solar-aktive opake Fassadenelemente zur Speicherung von solarer Wärme im Mauerwerk; hier bietet die transparente Wärmedämmung prinzipiell ein großes Nutzungspotenzial, wenn es gelingt, technologisch einfach umsetzbare Systeme zu entwickeln
- neue Ansätze bei der Planung von Gebäuden, die passive Kühlung im Nichtwohnungsbau ermöglichen; hierzu zählen beispielsweise Konzepte zur nächtlichen Durchlüftung oder auch bauteilintegrierte Wasserkreisläufe zur Entwärmung der Gebäude. Zudem sind flächige Wärmespeicher hoher Energiedichte für die Oberflächenimplementation in Wänden und Decken zu entwickeln (z. B. Phasenwechselmaterialien).
- Tageslichtsysteme zur internen Beleuchtung von Gebäuden, Lichtlenk- und Verteilungssysteme mit implementierten Schalteigenschaften; sie ermöglichen eine bessere Nutzung der natürlichen Strahlung zur Beleuchtung. Damit lässt sich ein höherer Lichtkomfort und eine Reduzierung der Kühllasten erreichen.
- Neue Ansätze zur Optimierung gebäudeintegrierter multifunktionaler Photovoltaik-Fassaden, Schall- und Wärmedämmung, Sichtschutz und Tageslichtlenkung sowie gestalterischer Aspekte

3.5 Technologien zur Erzeugung und Nutzung chemischer Energieträger aus erneuerbaren Energien

Erneuerbare Energien können auch zur Herstellung chemischer Energieträger (insbesondere Treibstoffe im Transportsektor) eingesetzt werden. Strategien für den Einsatz erneuerbarer Energie im Verkehr, für den die kostengünstige und effiziente Bereitstellung chemischer Energieträger erforderlich ist, sind verstärkt zu entwickeln. Allerdings ist vor dem Einsatz solcher Energieträger vorrangig auf eine deutlich höhere Effizienz der eingesetzten Fahrzeuge zu achten. Ziel der Europäischen Union ist es, den Anteil biogener Kraftstoffe am Benzin- und Dieserverbrauch von heute 0,2 % auf 5,75 % bis 2010 zu erhöhen.

Treib- und Brennstoffherzeugung aus Biomasse

Mit biogenen Treib- und Brennstoffen lassen sich sowohl fossile Kraftstoffe für heutige Fahrzeuge substituieren als auch Brennstoffzellen in mobilen und stationären Anwendungen versorgen. Die Gewinnung wasserstoffreicher Energieträger aus Biomasse ist damit als Baustein einer langfristigen, umfassenden Wasserstoffperspektive zu sehen.

Der Erzeugung von Kraftstoffen aus Synthesegas mit Hilfe thermochemischer Verfahren wird dabei eine besondere Bedeutung beigemessen. Vorteilhaft ist, dass hier die Verwertung des gesamten Pflanzenmaterials möglich ist und der Anbau von Monokulturen vermieden werden kann. Bei der Vergasung von Biomasse zu Synthesegas kann etwa 75 % der in Biomasse gespeicherten Energie als chemische Energie des Wasserstoffs bereitgestellt werden, womit im Vergleich zur Biomasse-Nutzung auf Basis von Pflanzenölen (z. B. Biodiesel) oder biochemischer Prozesse (z.B. Bioethanol) eine sehr effiziente Methode zur Umwandlung von Bioenergie in Treibstoff zur Verfügung steht.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- Synthesegas-Erzeugung aus Biomasse
- Gasreinigung zum Einsatz des Synthesegases in Brennstoffzellen
- Optimierung der energetischen Effizienz der gesamten Systemkette
- Untersuchung der Eignung für verschiedene Energiesysteme, wie z.B. Verbrennungsmotoren, Brennstoffzellen, Blockheizkraftwerke (BHKW)
- Akzeptanz bei den Verbrauchern, geringe Toxizität, hohe Sicherheit

Gewinnung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen

Das technische Potenzial der Gewinnung chemischer Energieträger aus Biomasse ist begrenzt. Langfristig wird die entsprechende Erschließung anderer erneuerbarer Energiequellen notwendig sein, um den Treib- und Brennstoffbedarf zu decken. Bei sehr weitgehender Erschließung des Strommarktes durch erneuerbare Energien (> 50% Anteil) kann bei verfügbarer preiswerter Elektrizität der Einsatz von Elektrolysen energiewirtschaftlich interessant werden. In größerem Ausmaß eingesetzt können sie als Quelle für den Kraftstoff Wasserstoff dienen. Hierfür kann der Einsatz kostengünstiger und solarkompatibler Elektrolyseure von Bedeutung sein.

Auch konzentrierende Solarsysteme bieten die Möglichkeit, Sonnenlicht auf direkten Wege zur Brennstoffherzeugung zu nutzen und haben das Potenzial für sehr hohe Umwandlungswirkungsgrade. Am weitesten entwickelt sind dabei solarchemische Verfahren zur Methanreformierung von Synthesegas.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- mit solarer Wärme teilversorgte Hochtemperaturelektrolyse zur Wasserstofferzeugung
- solarchemische Verfahren zur Reformierung von Methan mit Hilfe konzentrierender Solarsysteme
- Realisierung der direkten Wasserspaltung mit Hilfe thermochemischer Kreisprozesse, um solaren Wasserstoff herzustellen

Brennstoffzellen

Zu den Schlüsseltechnologien gehören auch die Brennstoffzellen. Brennstoffzellen gelten als Energiewandler der Zukunft, denn sie erreichen im Prinzip bei besonders niedrigen Schadstoffemissionen besonders hohe elektrische Wirkungsgrade und einen hohen Gesamtnutzungsgrad bei gleichzeitiger Wärmenutzung. Sie können sowohl mit Wasserstoff als auch mit kohlenwasserstoffhaltigen Brennstoffen (nach Reformierung) betrieben werden und sind sowohl für die dezentrale Strom-Wärmeversorgung als auch für den Antrieb von Elektrofahrzeugen geeignet. Unter Gesichtspunkten der CO₂-Bilanz bringt der Brennstoffzellenbetrieb auf Basis fossiler Quellen allerdings noch keine große Entlastung des Klimasystems. Langfristig ist daher der Einsatz erneuerbarer Energien zur Wasserstoff-Bereitstellung vorzusehen.

Zur Zeit finden weltweit die ersten Flottenversuche mit PKW und Bussen sowie Feldversuche für die Hausenergieversorgung statt, um die technische Beherrschbarkeit zu demonstrieren. Bis zur Anwendungsreife, einem entsprechenden Kostenniveau und einer nachhaltig selbsttragenden Markteinführung von Brennstoffzellen sind noch wesentliche Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen erforderlich, um die vielen noch offenen Fragen zu bearbeiten. Dabei muss es vor allem um die Senkung der zur Zeit noch hohen Kosten gehen; Zuverlässigkeit der Systeme, Alterungsphänomene der Effizienz und ausreichende Lebensdauer sind wichtige Teilprobleme, die wesentlich in die Kosten eingehen.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- Entwicklung von kostengünstigen Materialien (Katalysatoren, Membranen, etc.)
- Modellierung und Charakterisierung von Brennstoffzellen, um die Leistungsdichten und die Betriebszuverlässigkeit zu erhöhen
- Erforschung der Mechanismen der Degradation bei verschiedenen Brenngaszusammensetzungen
- Erforschung und Entwicklung von kompakten, kostengünstigen Reformierungstechniken (z. B. von Erdgas, Diesel), um die vorhandene Energieträgerinfrastruktur als Übergangstechnologie zu nutzen
- Entwicklung von für Synthesegas (H₂ + CO) geeignete Brennstoffzellen
- Entwicklung „reversibler“ Brennstoffzellen/Elektrolyseur-Systeme
- Weiterentwicklung der Niedertemperaturbrennstoffzellen (PEFC) für die direkte Einspeisung und effiziente Umwandlung von Methanol (DMFC) und verwandter Alkohole
- Weiterentwicklung von SOFC und MCFC Brennstoffzellen für höhere Leistungsdichten und unterschiedliche Brennstoffe
- Entwicklung serientauglicher Herstellverfahren für alle Brennstoffzellenkomponenten zur Kostensenkung
- Brennstoffzellen-Systemtechnik insbesondere Stromrichtertechnik, Fern-Zustandsdiagnose und Fehlerprognose und optimierte Netzintegration.

Anhang

Zusammenstellung von Zielen der EU und der Bundesregierung geordnet nach Zeithorizonten:

- Langfristziel der Bundesregierung ist, bis 2050 rund 50% der Energieversorgung durch erneuerbare Energien abzudecken.
- Bis 2030 sollen 15 % des gesamten Strombedarfs durch Offshore-Windparks erzeugt werden und 10 % durch Windkraftanlagen an Land (BMU)
- Bis 2020 soll 20% des Stromverbrauchs durch erneuerbare Energie-Quellen gedeckt werden (BMU)
- Bis 2020 sollen erneuerbare Energien einen Anteil von 10% am Primärenergieverbrauch in Deutschland haben (BMU)
- Bis 2020: Reduktion der Treibhausgasemissionen in der EU um durchschnittlich 30% gegenüber 1990 (EU)
- Bis 2020: Reduktion der Treibhausgasemissionen in Deutschland um 40% gegenüber 1990 (Bundesregierung)
- Bis 2010: Durch die Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) soll eine jährliche Minderung der CO₂-Emissionen um 23 Mio. Tonnen erreicht werden. (Bundesregierung)
- Bis 2010: Verdopplung des erneuerbaren Energien-Anteils am Primärenergieverbrauch auf 4,2% (Bundesregierung)
- Bis 2010: Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch auf 22% in der Europäischen Union (1997 waren es 14%) (EU-Empfehlung)
- Bis 2010: Verdopplung des erneuerbaren Energien-Anteils am Stromverbrauch auf 12,5% (Bundesregierung)
- Bis 2010: Anteil biogener Kraftstoffe am Benzin- und Dieserverbrauch der EU soll von heute 0,2% auf 5,75% erhöht werden. (EU-Empfehlung)

Inhalt

| | |
|---|----------|
| 1. Stellenwert der erneuerbaren Energien in einer zukünftigen Energieversorgung | 2 |
| 2. Leitgedanken zur Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien | 3 |
| 2.1. Spitzenplatz erhalten | 3 |
| 2.2. Technologische Vielfalt beachten und entwickeln | 3 |
| 2.3. Exzellente Grundlagenforschung mit Technologieentwicklung flexibel verknüpfen | 4 |
| 2.4. Systemtechnische Optimierung verstärken | 4 |
| 2.5. Rationelle Energieverwendung fördern | 5 |
| 2.6. Erneuerbare Energien in die Gesellschaft einbinden | 5 |
| 2.7. Globale Perspektive berücksichtigen | 5 |
| 2.8. Finanzielle Konsequenzen ziehen | 6 |
| 3. Forschungs- und Entwicklungsfelder von solaren und erneuerbaren Energietechnologien | 7 |
| 3.1. Energietechnologien zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien | 7 |
| ▪ Windenergietechniken | 8 |
| ▪ Biomasse | 9 |
| ▪ Photovoltaik | 10 |
| ▪ Solarthermische Kraftwerke | 12 |
| ▪ Geothermische Stromerzeugung | 13 |
| ▪ Maritime Energiequellen | 13 |
| 3.2. Netzmanagement, Systemtechnik und verteilte Kraftwerke | 14 |
| 3.3. Energietechnologien zur Wärme- und Kälteerzeugung aus erneuerbaren Energien | 15 |
| ▪ Solarthermie | 16 |
| ▪ Kühlung mit Sonnenwärme | 16 |
| ▪ Wärmeerzeugung aus Biomasse | 16 |
| ▪ Geothermie | 17 |
| ▪ Wärmespeicherung | 17 |
| 3.4. Solares Bauen – Gebäudehülle und Systemtechnik | 17 |
| 3.5. Technologien zur Erzeugung und Nutzung chemischer Energieträger aus erneuerbaren Energien | 19 |
| ▪ Treib- und Brennstoffherzeugung aus Biomasse | 19 |
| ▪ Gewinnung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen | 19 |
| ▪ Brennstoffzellen | 20 |
| Anhang | 21 |
| Inhaltsverzeichnis | 22 |