

# Vision des FVEE für ein 100 % erneuerbares Energiesystem

# Vision des FVEE für ein 100 % erneuerbares Energiesystem

## Eine vollständige Versorgung auf der Basis erneuerbarer Energien ist möglich

Der globale Klimawandel und die daraus abgeleitete Notwendigkeit einer drastischen Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erfordern einen raschen Umbau der gegenwärtigen Weltenergiesysteme. Bei dieser Transformation werden die erneuerbaren Energien unabhängig von den Abweichungen in den Details der zurzeit diskutierten Szenarien eine wichtige Rolle spielen. In der Vision des FVEE ist es möglich, bei einer geeigneten Strategie eine Vollversorgung auf der Grundlage von erneuerbaren Energien zu realisieren. Hierbei können die volkswirtschaftlichen Kosten für das transformierte Energiesystem langfristig unter den auf der Basis fossiler Energieträger beruhenden Alternativen liegen. Dabei kommen die wichtigsten Beiträge aus der Direkterzeugung von Strom aus Wind, Sonne, Wasserkraft, sowie Geothermie und biogenen Reststoffen. Im Wärmesektor kommen die Beiträge aus der Anwendung von Kraft-Wärme-Kopplung, Solarthermie und sinnvoll eingesetzten Wärmepumpen. Durch die Einführung der Elektromobilität kommt es im Verkehrssektor, sowie durch eine generelle Steigerung der Effizienz in allen Bereichen zu erheblichen Energiereduktionen. Eine Vernetzung dieser Elemente 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 Stromeinspeisung aus Windenergie und Sonnenlicht im Zusammenspiel mit einem Ausbau der Speicherkapazitäten die Stabilität und die Versorgungssicherheit der elektrischen Energieversorgung gewährleistet werden können.

## Strom und erneuerbar generierte Brennstoffe decken den Bedarf der Endverbraucher

Für ein Energiesystem, dessen Energieversorgung zu 100 % auf erneuerbaren Energieträgern basiert, setzen wir bevorzugt auf die Erzeugung und Nutzung von Strom aus Quellen wie Windkraft, Solarenergie, Wasserkraft und Geothermie sowie die Bereitstellung eines chemischen Energieträgers z. B. in der Form von Kohlenwasserstoffen oder Wasserstoff, gewonnen in zunehmendem Masse aus erneuerbaren Quellen. Strom als Haupt-Energieträger wird zur Versorgung von Gebäuden, Transport und Verkehr und für die industrielle Produktion zur Verfügung gestellt und in einigen Bereichen wie z. B. dem Luftverkehr und für industrielle Fertigungsprozesse wird die Energieversorgung ergänzt durch einen chemischen Energieträger, wie beispielsweise Methan oder Kohlenwasserstoffe. Wir gehen von einem Gesamtstrombedarf von 700 TWh/a für Deutschland aus, dieses sollte erlauben, unter Einsatz von Effizienzsteigerungsmaßnahmen in der Nutzung, neben dem dann weitgehend elektrifizierten Individualverkehr auch den größten Anteil des verbleibenden Wärmebedarfs der Gebäude und einen großen Anteil der industriellen Prozesswärme abzudecken (SRU 2010). Der Zusatzbedarf für den Schwerlastverkehr, Flugverkehr und die Industrie wird mit einem Äquivalent von 460 TWh abgeschätzt, der in der Form von chemischen Energieträgern (Methan, Wasserstoff, erneuerbares Kerosin) aus Sekundär-Biomasse und durch Umwandlung von Strom und durch weitere Konversionsverfahren bereitgestellt wird. Auf diesem Wege werden Flüssigtreibstoffe für Schiffe oder Flugzeuge hergestellt, die in Bezug auf CO<sub>2</sub>-Emissionen umweltneutral sind.

## Speicher und Netze müssen ausgebaut werden

Aufgrund der nur teilweisen Verfügbarkeit von Wind und Sonne als Quelle für die Energie müssen Speicherkapazitäten geschaffen und neue Verteilungsstrukturen in großem Maßstab aufgebaut werden. Dieses Vision ist konform mit dem von der DLR entwickelten Modell REMIX (DLR 2010) in dem Deutschland im Stromverbund mit Dänemark und Norwegen analysiert wird. Hierin wird die Einbindung insbesondere der in Norwegen vorhandenen Wasserkraftbasierten Speicherkapazitäten ermöglicht. Die schon derzeit existierenden Speicherkapazitäten des Erdgasnetzes in Deutschland (120 TWh äquivalent) können als weitere Komponente des Speichersystems im Zusammenspiel mit industriellen Prozessen und der Mobilität CO<sub>2</sub> neutral genutzt werden. Zusätzlich zu einem Ausbau der Netze und Speicher, müssen Überkapazitäten in der installierten Kraftwerksleistung vorgehalten werden. Hier ergeben sich je nach Auslegung des Gesamtsystems starke Schwankungen in den Anforderungen, die sich auch erheblich auf die Kosten auswirken. Beispiele für die Stromversorgung findet man in der SRU Stellungnahme, aber eine detaillierte Kapazitäts- und Kostenanalyse geht deutlich über den Rahmen der hier vorgestellten Vision hinaus und sollte durch Forschungsprojekte erarbeitet werden.

## 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 Gesamt-Systems genügen und dass 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 Projektionen des FVEE zeigen, wie sich diese Bereitstellungskosten für erneuerbare Energiequellen durch neue Erkenntnisse in der Forschung und in Abhängigkeit der global akkumulierten Erzeugungskapazitäten kontinuierlich nach unten entwickelt haben und auch in Zukunft weiter sinken können, wenn es gelingt, die technischen Voraussetzungen durch Forschungs- und Entwicklungserfolge zu schaffen. Hierbei wird deutlich, dass die Mitglieder des Forschungsverbunds Erneuerbare Energien auf für die Transformation zu einem nachhaltigen Energiesystem entscheidenden Technologiegebieten wichtige Beiträge leisten und damit die erforderliche nationale Forschungsbasis darstellen.

## Klimaschutz wird Realität

Die mit der vorgestellten Strategie erreichbaren Einsparungen an Primärenergie und die damit verbundenen Reduktion an CO<sub>2</sub>-Emissionen stehen mit den Klimaschutzziele in Einklang. Mit Hilfe der erneuerbaren Energien lässt sich die zur Vermeidung bzw. Abschwächung eines drohenden Klimawandels erforderliche Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen erreichen. Ausgangspunkt ist die Vernetzung und Kopplung aller Elemente im Energiesystem, von der Bereitstellung über Speicherung, Transport und Verteilung bis zur Energiedienstleistung. Kernelement der Strategie ist die Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes durch Vermeidung bzw. Verminderung von Verbrennung fossiler Brennstoffe wie sie heute überwiegend in Kraftwerken zur Stromerzeugung oder in Kraftfahrzeugen für den mechanischen Antrieb Verwendung finden. So ersetzt beim aktuellen Kraftwerksmix in Deutschland jede ohne Verbrennung z. B. mit Wind, Sonne oder Wasserkraft erzeugte Kilowattstunde die 2,5-fache Menge an sonst benötigter Primärenergie in Form von Kohle, dem am stärksten CO<sub>2</sub> emittierenden Energieträger. Deutliche CO<sub>2</sub> Reduktionen in der Mobilität lassen sich über die verstärkte Nutzung elektrischer Energie realisieren, wenn eine Verlagerung aus verbrennungsmotorisch angetriebenen Transportsystemen (PKW, LKW, Busse, Diesel-

loks) auf elektrische Transportmittel wie Bahn, Straßenbahn, Oberleitungsbusse und andere elektrisch angetriebene Fahrzeuge erfolgt. Allerdings lassen sich große Fortschritte in der CO<sub>2</sub> Reduktion nur dann realisieren, wenn die Bereitstellung elektrischer Energie über erneuerbare Energieträger erfolgt. Die gegenwärtig mit elektrischen Transportsystemen verbundenen CO<sub>2</sub> Emissionen, die beim heutigen Kraftwerksmix kaum unter denen von verbrennungsmotorisch angetriebenen Systemen liegen, sinken also in dem Maße, in dem sich die Emissionen bei der Stromerzeugung durch zunehmende Anteile aus erneuerbaren Energien reduzieren – im Idealfall bis zum Grenzwert Null.

Auch die niederexergetische Bereitstellung von Heiz- und Prozesswärme durch die Verbrennung von Öl und Gas bietet ungeachtet einer verbesserten Wärmedämmung über den Einsatz alternativer Systeme für den noch verbleibenden Heizbedarf hohe Potenziale für die CO<sub>2</sub> Reduktion. Für diesen Anwendungsbereich bieten sich in Zukunft eine Vielzahl von Alternativen an, die den Niedertemperatur-Wärmebedarf vollständig abdecken können: Neben der Solarenergienutzung und der geothermalen Wärmebereitstellung werden sowohl die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) als auch der Einsatz von sinnvoll betriebenen Wärmepumpen eine wichtige Rolle im Energiesystem spielen. Bei geeigneter Auslegung können diese Technologien über ein Last- bzw. Erzeugungsmanagement-Verfahren zur Stabilisierung von elektrischen Netzen mit hohen Anteilen an fluktuierender Stromerzeugung (Wind, Sonne) beitragen.

## Energieversorgung als Aufgabe im europäischen Verbund

Bei der Bereitstellung elektrischer Energie kann der im Jahr 2009 bei rund 16 % liegende Anteil der erneuerbaren Energien durch geeignete Rahmenbedingungen rasch erhöht werden. Optimale wirtschaftliche Bedingungen lassen sich für eine nationale Vollversorgung mit erneuerbaren Energien jedoch nur im europäischen Verbund erzielen. So existieren für die Windenergienutzung hervorragende Standorte im Norden Europas während die solare Energie-

gewinnung, basierend auf Photovoltaik und konzentrierenden solarthermischen Systemen, wegen der höheren Sonneneinstrahlung bevorzugt im Mittelmeerraum einzusetzen ist. Die Einbindung solarthermischer Kraftwerke in die nationale Energieversorgung bietet sowohl in Bezug auf die konkurrenzfähige Bereitstellung als auch auf die Versorgungssicherheit deutliche Vorteile, wie sie z. B. in der Initiative „Desertec“ beschrieben sind. Der Betrieb solarthermischer Kraftwerke benötigt einen hohen Anteil von solarer Direktstrahlung, wie er nur in Südeuropa oder in Nordafrika zu finden ist; und diese Kraftwerkstypen lassen sich durch Hinzunahme von lokalen thermischen Speichern auch in den Abend- und Nachtstunden effizient betreiben.

Weiterhin führt eine großflächig verteilte Erzeugung und Nutzung zu einem Ausgleich der an den einzelnen Standorten auftretenden Fluktuationen. Die für den Transport von Solar- und Windstrom aus geeigneten Standorten erforderlichen Hochleistungstransportnetze (in HGÜ-Technik) müssen mit ausreichenden Kapazitäten ausgebaut werden. Diese Netze können zusätzlich zu dem regionalen Ausgleich fluktuierender Einspeiseleistungen oder Lasten auch die zeitlichen Fluktuationen durch den Anschluss an bestehende und noch zu erstellende Speicherkraftwerke oder andere großen Speichersystemen für die Bereitstellung von Regel- und Ausgleichsenergie bewältigen. 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.

Für die Integration sehr großer Anteile an erneuerbaren Energien sind außer den beschriebenen Hochleistungstransportnetzen auch flexible und interaktive Verteilungs- und Niederspannungsnetze erforderlich. Diese sog. smart-grids erlauben erstmalig das Zusammenspiel zwischen Erzeugung und Verbrauch und eröffnen damit auch für Verbraucher die Möglichkeit, sich dem aktuellen Angebot anzupassen, z. B. über variable Tarife. Erste Projekte zur Demonstration der Leistungsfähigkeit von so genannten smart-grids werden zurzeit im Rahmen des e-energy-Programms durchgeführt.

## Energieeffizienz ist Voraussetzung für eine erfolgreiche 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 den Bereichen Gebäude, Transport und 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 die energetische Sanierung unseres Gebäudebestandes durch die Realisierung von hochwärmedämmenden 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 in Verbindung mit erneuerbarem Strom die Möglichkeit bietet, Gebäude nachhaltig mit Wärme zu versorgen. Ein weiteres Beispiel ist die Elektromobilität, die eine effiziente und im Betrieb emissionsfreie Alternative für den Individualverkehr sein kann.

## Gasturbinen Kraftwerke und Gasnetze als flexible Generatoren und Speicher

Für die Bereitstellung von Regel- und Ausgleichsenergie in elektrischen Netzen werden in Zukunft so genannte Residuallast-Kraftwerke benötigt, die den Differenzbedarf zwischen den fluktuierenden Stromquellen und der aktuellen Last abdecken. Im Gegensatz zu Grundlastkraftwerken sind ihre Laufzeiten kurz (z. B. 1000 Vollast-Betriebsstunden). Die Anforderungen an die zeitliche Dynamik der Leistungsbereitstellung sind jedoch sehr hoch. Dafür eignen sich z. B. Gasturbinen-Spitzenkraftwerke.

Sinnvoll ist die Speicherung von Überschüssen der Stromproduktion im Erdgasnetz. Hierbei wird beispielsweise über Elektrolyse zunächst Wasserstoff erzeugt, der in einem zweiten Schritt über die Reaktion mit CO<sub>2</sub> zum Methan führt. Dieses Konzept wurde erfolgreich demonstriert, für eine notwendige Hochskalierung auf den für Deutschland oder Europa erforderlichen Bedarf muss jedoch noch intensiv an der Entwicklung eines in ausreichender Menge vorhandenen Katalysatormaterials sowie an einer Verbesserung der Effizienz gearbeitet werden. Die Speicherkapazitäten des schon jetzt existierenden Erdgasnetzes können jedoch in hervorragender Weise in das Energiekonzept eingebunden werden und können auch ohne weiteren Ausbau schon erheblich zur nachhaltigen Energieversorgung beitragen.

## Volkswirtschaftlich werden Kosten gesenkt und Arbeitsplätze geschaffen

Das Energiesystem, das auf eine Vollversorgung mit erneuerbarer Energie basiert, wird langfristig volkswirtschaftlich bei optimaler Auslegung nicht teurer als das gegenwärtige. Der Ausbau der erneuerbaren Energien verursacht zunächst Mehrkosten sowohl in der Strom- und Wärmeerzeugung als auch im Verkehrssektor, die jedoch langfristig durch Einsparungen, z. B. durch Einsparung für fossile Energieträger und geringere Kosten für die Vermeidung von Klimaschäden, überkompensiert werden. Die auf der Basis von Forschung und Entwicklung realisierbare Kostenreduktion ist hierbei perspektivisch ein weiterer wichtiger Faktor für den wirtschaftlichen Erfolg der erneuerbaren Energien. Die mit der 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 volkswirtschaftlichen Annahmen sind durch detaillierte ökonomische Untersuchungen zu quantifizieren. Insgesamt sprechen jedoch viele Argumente für eine entschlossene Umsetzung der vorgestellten Strategie.

## Politik-Aufgabe: Akzeptanz und Mitwirkung der Bevölkerung generieren

Die vollständige Transformation des Energieversorgungssystems innerhalb der nächsten Jahrzehnte erfordert die Akzeptanz und aktive Teilnahme der Bevölkerung sowohl als Investor als auch als Verbraucher, Betreiber und 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 für alle relevanten Zielgruppen dafür zu werben.

## Der Forschungsverbund Erneuerbare Energien

Der Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE) ist eine bundesweite Kooperation von Forschungsinstituten. Die Mitglieder erforschen und entwickeln Techniken für erneuerbare Energien und deren Integration in Energiesysteme, für Energieeffizienz und für Energiespeicherung. Mit etwa 1800 Mitarbeitenden repräsentiert der FVEE rund 80 % der Forschungskapazität für Erneuerbare in Deutschland und ist das größte koordinierte Forschungsnetzwerk für erneuerbare Energien in Europa.

## Mitglieder des FVEE-Direktoriums

Prof. Dr. Horst Altgeld (IZES gGmbH)  
Prof. Dr. Harald Bolt (Jülich)  
Prof. Dr. Rolf Brendel (ISFH)  
Prof. Dr. Vladimir Dyakonov (ZAE Bayern)  
Prof. Dr. Dr. h.c. Wolfgang Eberhard (HZB)  
Prof. Dr. Gerd Hauser (Fraunhofer IBP)  
Prof. Dr. Dr. h.c. Reinhard Hüttl (GFZ)  
Bernhard Milow (DLR)  
Prof. Dr. Jürgen Schmid (Fraunhofer IWES)  
Prof. Dr. Frithjof Staiß (ZSW)  
Prof. Dr. Eicke Weber (Fraunhofer ISE)

