

Harry Lehmann und Christian Herforth

2050: In Deutschland Strom zu 100 % aus erneuerbaren Energien

Einleitung

Vor Fukushima galt in Deutschland die Idee einer treibhausgasneutralen Gesellschaft mit einer vollständig auf erneuerbaren Energien (EE) basierenden Stromversorgung als ein mögliches Szenario für die Zukunft. Seit der Katastrophe von Fukushima hat sich dies endgültig geändert. Die Frage, ob der Wandel zu einer treibhausgasneutralen Gesellschaft auf der Grundlage erneuerbarer Energien kommt oder nicht, stellt sich nicht mehr. Dieser Wandel ist alternativlos, nicht nur wegen der erneut bewiesenen Unsicherheit der Atomenergie, sondern vor allem aus Klimaschutzgründen. Die Industriestaaten müssen ihre CO₂-Emissionen bis 2050 um 80-95 % senken, um die globale Erwärmung auf 2 °C gegenüber dem vorindustriellem Niveau zu begrenzen und so die Auswirkungen des Klimawandels in einem erträglichen Rahmen zu halten. Die „Leitfrage“, die sich nun stellt, betrifft die Möglichkeiten zur Realisierung der treibhausgasneutralen Gesellschaft: Wie können wir die verschiedenen Emissionssektoren zukünftig treibhausgasneutral gestalten? Mögliche Antworten darauf sind insbesondere für den Stromsektor bereits gegeben. Der Stromsektor ist einerseits mit seiner Ausrichtung auf fossile Energieträger für 40 % aller energiebedingten Emissionen in Deutschland verantwortlich. Andererseits steht die vermeintlich saubere Kernenergie ab 2022 nicht mehr zur Verfügung. Zählt man die entscheidende Rolle, die eine zuverlässige Stromversorgung für ein hochentwickeltes Industrieland wie Deutschland spielt, hinzu, liegen die Gründe für die prioritäre Betrachtung des Stromsektors auf der Hand.

Die Bundesregierung hat unter den Eindrücken von Fukushima reagiert und am 6. Juni 2011 die Grundsatzentscheidung zur Energiewende getroffen. [1] Das Energiesystem soll zukünftig auf erneuerbaren Energien basieren. So soll die Stromversorgung im Jahr 2050 zu 80 % aus erneuerbaren Quellen erfolgen und die Gesamtreibhausgasemissionen um 80-95 % gesenkt werden. Dies wird für den Stromsektor enorme Umwälzungen zur Folge haben.

Ein solches Vorhaben führt natürlich zu Fragen und auch zu Ängsten in der Öffentlichkeit, die ernstgenommen werden und reflektiert werden müssen. Dies sind in erster Linie Fragen nach der grundsätzlichen technischen Umsetzbarkeit der Energiewende und nach der Versorgungssicherheit. Beide Fragen können positiv beantwortet werden und das nicht nur für eine auf 80 % erneuerbaren Energien basierende Stromversorgung, sondern für eine auf 100 % erneuerbaren Energien basierende Stromversorgung. Dieses Szenario ist von einigen namhaften Institutionen untersucht worden, so auch vom Umweltbundesamt (UBA).[2] Mit der Studie „Energieziel 2050: 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen“ hat das UBA gezeigt, wie eine vollständig auf erneuerbaren Energien basierende Stromversorgung bereits mit heute verfügbaren Techniken umsetzbar ist, ohne dabei die gewohnte Versorgungssicherheit zu gefährden.

Energieziel 2050: 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen

Das UBA hat in der Studie „Energieziel 2050: 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen“ anhand eines Szenarios dargestellt, dass eine 100 % erneuerbare Energien Stromversorgung im Jahre 2050 technisch möglich ist. Ausgehend von der Fragestellung, wie eine solche Stromversorgung aussehen kann, untersucht das Umweltbundesamt die Umstellung auf 100 % erneuerbaren Strom bis 2050 in drei Basisszenarien. Die erwähnte Studie befasst sich mit dem Basisszenario „*Regionenverbund*“. Dieses Szenario beschreibt die Kooperationen von Regionen in Deutschland, die ihre jeweiligen Potentiale für die Steigerung der Energieeffizienz wie für die erneuerbaren Energien optimal nutzen und untereinander austauschen. Im Szenario „*Lokal Autark*“ bestreiten kleinräumige dezentrale Strukturen ihre Stromversorgung aus eigenen erneuerbaren Quellen. Das Szenario „*Internationale Großtechnik*“ setzt die Stromversorgung Deutschlands und Europas durch große zentrale Stromerzeugungskomplexe auf Basis erneuerbarer Energien, z.B. Windparks in der Nordsee oder solarthermische Kraftwerke in Nordafrika voraus. Bei allen Szenarien handelt es sich um „Idealformen“ einer erneuerbaren Stromversorgung in einem Lösungsraum, die in einem „Integrationszenario“ in geeigneter Form anteilig und ökonomisch optimiert zusammengeführt werden sollen.

Die Untersuchungen zum Szenario „Regionenverbund“ haben nicht nur gezeigt, dass eine Vollversorgung mit erneuerbaren Energien bis 2050 möglich ist, sondern auch, dass dies mit bereits heute am Markt verfügbaren Techniken machbar ist. In diesem Szenario werden weder Deutschland als hochentwickeltes Industrieland noch die heutigen Konsum- und Verhaltensmuster in Frage gestellt. Die Versorgungssicherheit ist auf dem heutigen hohen Niveau jederzeit gesichert, die Fluktuationen der erneuerbaren Energien können jederzeit durch das Zusammenspiel der unterschiedlichen Erzeugungsarten mit Speichern und Lastmanagement ausgeglichen werden. Importe sind zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit nicht notwendig.

Der Studie liegen verschiedene Annahmen zugrunde. So ändern sich die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen bis 2050 nicht grundlegend. Vielmehr setzen sich stattdessen der bisherige Lebensstil und die derzeitigen Konsum- und Verhaltensmuster fort. Die Wirtschaft wächst bis 2050 um durchschnittlich 0,7 % p.a.

Eine wichtige Determinante ist die Höhe und die zeitliche Dynamik des Energieverbrauchs im Jahr 2050. Für die Entwicklung des Energieverbrauchs bezieht sich die Studie auf ein mit heutiger Technik mögliches Referenzszenario. Durch die Durchdringung des Anlagen-, Geräte und Gebäudebestandes mit den besten, heute am Markt erhältlichen Techniken sind die Effizienzpotentiale bis 2050 nahezu vollständig erschlossen. Weiter gehen wir von der Annahme aus, dass Stromwendungen Kraftstoffe und Brennstoffe teilweise verdrängen werden, so dass der Stromverbrauch 2050 mit 506 TWh im Vergleich zu 2005 (509 TWh) kaum sinken wird.

Weitere Grundvoraussetzungen für die Ergebnisse dieser Studie sind:

1. Ausschöpfen der erneuerbaren Energien-Potentiale im Rahmen der ökologischen Leitplanken

Bei der Ermittlung der Potentiale der unterschiedlichen erneuerbaren Energien ist von der besten aktuell am Markt verfügbaren Technik ausgegangen worden. Bei den beschriebenen Potentialen handelt es sich um die jeweiligen technisch-ökologischen Potentiale.

1.1 Photovoltaik

Würde man die gesamte in Deutschland für die Photovoltaik zur Verfügung stehende Fläche mit Solarmodulen belegen, stände eine installierte Leistung von 275 GW zur Verfügung. Unter der Annahme von 900 Volllaststunden und einem Jahresnutzungsgrad von 17 % ergäbe sich ein Stromertrag von ca. 248 TWh. Nach den in der Studie vorgenommenen Modellberechnungen wird im Jahr 2050 die installierte Leistung der Photovoltaik-Anlagen 120 GW betragen. Die 2050 vorhandenen Flächenpotentiale werden zu knapp 43 % ausgeschöpft.

1.2 Windenergie

Bei der Ermittlung des technisch-ökologischen Potentials für Windenergie wurde vom UBA ein eigener Ansatz verfolgt. Eine eigene Prüfung unter Berücksichtigung von Ausschlusskriterien für Naturschutz-, Siedlungsflächen und weitere Flächen kommt zu dem Ergebnis, dass mindestens 1 % der bundesdeutschen Gesamfläche für die Nutzung zum Bau von Windenergieanlagen geeignet ist. Es ergibt sich für 2050 ein technisch-ökologisches Potential von rund 60 GW installierter Leistung. Da die Potentialschätzung konservativ erfolgte, geht das UBA von einer vollständigen Ausnutzung der technisch-ökologischen Potentiale aus. Die Windenergie auf See soll künftig in erheblichem Maß zur Stromversorgung beitragen. Da auf dem Meer der Wind stärker und stetiger weht als an Land, ist die Energieausbeute von Windenergieanlagen auf See deutlich höher. Eine installierte Leistung von 45 GW entspricht näherungsweise dem technisch-ökologischen Potential. Der technische Fortschritt und neue Forschungserkenntnisse beim Meeresschutz können dieses Potential allerdings langfristig verändern.

1.3 Wasserkraft

Die Wasserkraft leistet seit Jahrzehnten einen wichtigen Beitrag zur Stromversorgung. 2009 lag ihr Beitrag bei 19 TWh/a. Ihr technisches Potential ist jedoch weitestgehend ausgeschöpft. Zusätzliche Potentiale können vor allem durch Modernisierung und Erweiterung bestehender Anlagen erschlossen werden. Das technische Potential kann dadurch auf 24 TWh/a und eine installierte Leistung von 5,2 GW erhöht werden.

1.4 Geothermie

Das bis 2050 erschließbare technisch-ökologische Potential der geothermischen Stromerzeugung in Deutschland beträgt 50 TWh/a (derzeit noch unter 0,1 TWh/a) bei einer installierten Netto-Leistung von 6,4 GW_{el} (unter der Annahme von 7.500 Volllaststunden).

1.5 Biomasse

Bei der Ermittlung der technisch-ökologischen Biomassepotentiale liegt der Focus ausschließlich auf die Abfallbiomasse. Dementsprechend wurde in der Modellierung lediglich Biogas aus Abfallbiomasse zur Stromerzeugung herangezogen, damit der Großteil der verfügbaren Abfallbiomasse für andere energetische oder stoffliche Nutzungen – beispielsweise im Verkehr oder in der Industrie – zur Verfügung steht. Deshalb betrachtet die Studie ein Biogaspotential von nur 40 TWh_{th}. Daraus ergibt sich ein Stromerzeugungspotential von rund 23 TWh_{el}. Die installierte Leistung der Biogas-Gasturbinen beträgt insgesamt ca. 23 GW im Jahr 2050. Der Einsatz dieser Anlagen erfolgt überwiegend als Reserve- und Spitzenlastkraftwerke, jedoch erst, wenn nach der optimierten Ausnutzung aller modellierten Lastmanagementoptionen und der Pumpspeicherwerke noch ein weiterer Leistungsbedarf besteht.

2. Die Einführung von Lastmanagement sowie der Ausbau der Stromnetze und Speicherkapazitäten

Dieser Punkt betrifft die Systemintegration der erneuerbaren Energien. Diese Grundvoraussetzung findet ihre Begründung in der heutigen Struktur des Energiesystems, das auf die Stromerzeugung aus zentralen, meist fossil betriebenen Anlagen ausgerichtet ist. Je mehr allerdings die Erzeugung und Einspeisung erneuerbaren Stroms steigt, desto mehr muss das Energiesystem auf veränderte Anforderungen eingestellt werden. In dem simulierten Szenario erhält das deutsche Energiesystem einen dezentralen Charakter. Dies führt zu einer veränderten Lastflussrichtung, d.h. der Strom fließt nicht mehr von zentralen Erzeugern zum Verbraucher, sondern muss von verschiedenen Erzeugern zum Verbraucher transportiert werden. Außerdem ist die momentane Netzinfrastruktur nicht für den Transport großer Strommengen über große Entfernungen, z.B. von Windparks im Norden und Osten zu den Verbrauchszentren im Süden Deutschlands, ausgelegt. Diese Tatsachen lassen den Aus- und Umbau des deutschen Übertragungsnetzes für das Szenario „Regionenverbund“ zur Grundvoraussetzung werden.

Für die Stromversorgung aus erneuerbaren Energien ist charakteristisch, dass sie wetter- und jahreszeitabhängig ist. Das bedeutet beispielsweise, dass die Stromerzeugung aus Sonne und Wind zu größeren und zu nicht vollständig prognostizierbaren Fluktuationen bei der Stromerzeugung führt. Auch der Stromverbrauch ist tages- und jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Diese Variablen können einerseits zu Situationen führen, in denen große Erzeugungsüberschüsse bestehen, andererseits zu Situationen, in denen die Last größer ist als die Stromerzeugung der erneuerbaren Energien. Aus diesen Tatsachen resultiert ein erheblicher Bedarf an Lastmanagement und Stromspeichern.

Lastmanagement ermöglicht das Absenken der Spitzennachfrage beim Konsumenten und hilft, große Mengen Strom, die in Zeiten mit geringer Nachfrage erzeugt werden, besser zu nutzen. Hierfür muss eine entsprechende Mess-, Informations- und Kommunikationsinfrastruktur (smart metering) aufgebaut werden. Der Ausbau von Speichern für die kurz- und langfristige Stromspeicherung ist bei einer auf erneuerbaren Energien basierenden Stromversorgung alternativlos, da diese Speicher es ermöglichen, fluktuierende Energien wie die Windenergie unabhängig von der momentanen Energienachfrage zu nutzen. Für die kurzfristige Speicherung kommen insbesondere Pumpspeicherkraftwerke in Frage, sie haben im Szenario „Regionenverbund“ eine Kapazität von 40 GWh. Für die langfristige Speicherung ist die elektrolytische Erzeugung von Wasserstoff zu favorisieren. Die Eignung dieses Verfahrens ergibt sich aus der Tatsache, dass der Wasserstoff in Methan umgewandelt und dieses wiederum durch die vorhandene Erdgasinfrastruktur gespeichert und verteilt werden kann. Im Rahmen der Studie stellt die existierende Erdgasinfrastruktur ein Speicherpotential von 200 TWh_{th} zur Verfügung. Außerdem werden auf dem Weg zu einer 100 % erneuerbaren Stromversorgung für einen Übergangszeitraum möglichst flexible fossile Kraftwerke gebraucht, die Reservekapazitäten bereitstellen. Dies sollten, sofern es sich um neu zu errichtende Kraftwerke handelt, vor allem Erdgaskraftwerke sein, da dies der flexibelste Kraftwerkstyp mit geringen spezifischen CO₂-Emissionen ist.

Die Analyse der Last und Erzeugungsgradienten, der Flexibilität von Reservekraftwerken und der Elektrolyse sowie Regelleistungsbedarf und -bereitstellung hat ergeben, dass die Fluktuationen der erneuerbaren Energien und der Last jederzeit ausgeglichen werden können. Die Versorgungssicherheit ist somit bei einer 100 % erneuerbaren Stromversorgung nicht ge-

fährdet. Auch die Frage nach einer eventuell steigenden Abhängigkeit von Energieimporten kann für das Szenario „Regionenverbund“ abschlägig beantwortet werden. Importe wären nur im geringen Umfang notwendig, da sie lediglich dazu dienen, den Bedarf an Langzeitspeicherung von überschüssigem Strom zu verringern, der aus einer weiteren Potentialausnutzung der erneuerbaren Energien resultieren würde.

Fazit

Ob eine 100 % erneuerbare Stromversorgung in einem hochentwickelten Industrieland wie Deutschland realisiert werden kann oder nicht, ist also keine Frage der technischen Machbarkeit, sondern eine des gesellschaftlichen und politischen Willens. Niemand muss Stromengpässe oder besondere Verhaltensänderungen befürchten.

Gleich, ob 80 % oder 100 % Anteil an der Stromversorgung in 2050 auf erneuerbaren Energien basieren sollen – Gesellschaft und Politik müssen einer großen Zahl von Herausforderungen auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen Gesellschaft gerecht werden. Diese Herausforderungen umfassen die Schaffung geeigneter rechtlicher Grundlagen, die Umsetzung infrastruktureller Maßnahmen (die äußerst konfliktrichtig sein kann) sowie die Intensivierung der Energieforschung. Es wird nun darauf ankommen, dass es gelingt, einen möglichst breiten gesellschaftlichen Konsens für die Energiewende und für die mit ihr einhergehenden Lasten zu finden. Der Lohn für diese Anstrengungen wäre nicht nur ein wirksamer Klimaschutz, sondern ein zeitgemäßes Energieversorgungssystem, das den Ansprüchen an eine sichere, preisgünstige, verbraucherfreundliche, effiziente und umweltverträgliche Energieversorgung dauerhaft gerecht werden kann.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Eckpunkte für ein energiepolitisches Konzept. Berlin 2011
- [2] UBA 2010: Energieziel 2050 – Strom aus 100 % erneuerbaren Quellen.

Abgesehen von der Studie des UBA haben auch andere namhafte Institutionen die Möglichkeit einer Vollversorgung mit Strom aus 100 % erneuerbaren Quellen im Rahmen von Studien untersucht. Die Studie „100 % erneuerbare Stromversorgung bis 2050: klimaverträglich, sicher, bezahlbar“ des Sachverständigenrates für Umweltfragen oder die Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ zeigen ebenfalls Szenarien auf, wie eine 100 % erneuerbare Stromversorgung realisiert werden kann und kommen in ihren Kernaussagen zu dem Ergebnis, dass 2050 eine Stromversorgung durch 100 % erneuerbare Energien zu jeder Stunde möglich wäre. Ein weiteres Beispiel ist die Studie „Klimaschutz Plan B 2050“ von Greenpeace, die zum selben Ergebnis kommt. Weitere Studien sind u.a.: LTI Research Team „Long-Term Integration of Renewables Energy Sources into the European Energy System“, Physica Verlag, 5/98 oder Lehmann, H. et al. (2003) „Energy Rich Japan – A Vision for the Future“.

[11.01.12]

Anschrift der Autoren:

Dr. Harry Lehmann
Umweltbundesamt
FB Umweltplanung und Nachhaltigkeitsstrategien
Wörlitzer Platz 1
D – 06844 Dessau
eMail: harry.lehmann@uba.de