

# LOKALE AUTARKIE VS. STROMVERBUND – SZENARIEN FÜR EINE ZUKÜNFTIGE STROMVERSORGUNG

**Thomas Klaus, Carla Vollmer, Kathrin Werner, Harry Lehmann, Klaus Müschen,  
Carsten Pape, Michael Sterner, Stefan Peter, Mark Nowakowski**

Umweltbundesamt, Wörlitzer Platz 1, D-06844 Dessau-Roßlau, Telefon: +49 (0) 340 2103-0,  
E-Mail: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de), Internet: [www.uba.de](http://www.uba.de)

**Kurzfassung:** Drei Szenarien des Umweltbundesamtes untersuchen die technisch-ökologische Machbarkeit einer Vollversorgung Deutschlands mit Strom aus erneuerbaren Quellen im Jahr 2050. Dabei werden neben unterschiedlichen Erzeugungsstrukturen unterschiedliche Vernetzungsgrade der einzelnen Regionen untereinander bzw. Deutschlands innerhalb eines pan-europäischen Verbundnetzes angenommen. Es deutet sich eine zunehmende Vorteilhaftigkeit für die Versorgungssicherheit sowie den Bedarf an Speicher- und Reservekraftwerksleistung mit steigendem Vernetzungsgrad an.

**Keywords:** Erneuerbare Energien, Szenario, Netzausbau, Stromversorgung

## 1 Einleitung – Drei „archetypische“ Szenarien

In einem europäischen Stromsystem, in dem hohe Anteile der Erzeugung aus erneuerbaren Quellen stammen, ist ein gut ausgebautes Übertragungsnetz, das ganz Europa überspannt und auch die umliegenden Regionen mit einbezieht, vorteilhaft. Die Erzeugungsschwerpunkte werden auf diese Weise mit den Verbrauchszentren verbunden, und der großräumige europaweite Ausgleich von Einspeisungsschwankungen aus fluktuierenden erneuerbaren Energien sowie deren optimale Nutzung werden ermöglicht. Die relativen Einspeisespitzen lassen sich so verringern und der Beitrag insbesondere der Windenergie zur gesicherten Leistung erhöhen. Damit könnte auch der Bedarf an Speicher- und Reservekraftwerksleistung erheblich sinken.

In diese Richtung weisen die Ergebnisse bereits abgeschlossener und laufender Studien des Umweltbundesamtes (UBA). Es wurden drei grundsätzlich verschiedene Szenarien für eine vollständig auf erneuerbaren Energien basierende Stromversorgung Deutschlands im Jahr 2050 entwickelt. Diese unterscheiden sich vor allem in der Erzeugungsstruktur sowie im Grad der Vernetzung voneinander: Im Szenario „Lokal-Autark“ (noch unveröffentlicht) versorgen sich kleinräumige, dezentrale Strukturen autark mit Strom und sind dabei untereinander und nach außen nicht vernetzt, importieren somit auch keinen Strom. Im Szenario „Regionenverbund“<sup>1</sup> hingegen findet ein deutschlandweiter Stromaustausch statt, wobei nur ein geringer Teil der Last über Stromimporte aus den Nachbarstaaten gedeckt wird. Das Szenario „International-Großtechnik“ beschreibt eine Stromversorgung

---

<sup>1</sup> Umweltbundesamt, *Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen*, Dessau-Roßlau 2010.

Deutschlands, die auf den großtechnisch leicht erschließbaren deutschen, europäischen und europäischen Potentialen aller erneuerbaren Energien und Speicherkraftwerke basiert. Ein erheblicher Anteil des deutschen Strombedarfs wird dabei über ein gut ausgebautes interkontinentales Übertragungsnetz importiert.

Diese drei „archetypischen“ Szenarien spannen gemeinsam einen Lösungsraum für eine regenerativ basierte Stromversorgung Deutschlands im Jahr 2050 auf und stellen darin Extrempunkte dar. Das Umweltbundesamt zeigt damit, dass es nicht nur einen technisch-ökologisch gangbaren Weg zur Erreichung dieses Ziels gibt, sondern viele mögliche Varianten, je nach politischer und gesellschaftlicher Prioritätensetzung. Tatsächlich werden in einem zukünftigen Energieversorgungssystem Deutschlands und Europas voraussichtlich Elemente aller drei Szenarien nebeneinander existieren. Im Folgenden werden die drei Basisszenarien und die Erkenntnisse beschrieben, die sich aus der zusammenfassenden Betrachtung gewinnen lassen.

## **2 Szenario „Regionenverbund“**

Bereits im Sommer 2010 wurde die Studie *Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen* veröffentlicht, in der die Ergebnisse für das Szenario „Regionenverbund“ dargestellt werden. In diesem Szenario nutzen alle Regionen Deutschlands ihre Potentiale der erneuerbaren Energien weitgehend und optimal aus und sind über ein gut ausgebautes Stromübertragungsnetz miteinander verbunden. Durch effiziente Stromnutzung in allen Sektoren lassen sich auch eine moderate gesamtwirtschaftliche Entwicklung sowie der wachsende Verbrauch durch Elektromobilität und Wärmepumpen kompensieren. Die Einführung von großtechnischer Stromspeicherung sowie die Nutzung von Lastmanagementpotentialen leisten einen substantziellen Beitrag zum Ausgleich zwischen Last und Erzeugung.

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 die Existenz Deutschlands als hochentwickeltes Industrieland (mit gleichwohl gut ausgeprägtem Dienstleistungssektor) in Frage gestellt noch die heutigen Konsum- und Verhaltensmuster. Die Versorgungssicherheit ist auf dem heutigen hohen Niveau jederzeit gesichert, die Fluktuationen der erneuerbaren Energien können zu jedem Zeitpunkt durch das Zusammenspiel der unterschiedlichen Erzeugungsarten mit Speichern und Lastmanagement ausgeglichen werden. Importe sind zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit nicht notwendig<sup>2</sup>.

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. Es wird von einer moderaten gesamtwirtschaftlichen Entwicklung von durchschnittlich 0,7 % p.a. ausgegangen.

---

<sup>2</sup> Dennoch werden geringe Mengen regenerativ erzeugten Stroms aus den benachbarten Ländern eingeführt, was zu einer deutlichen Reduzierung des Speicheraufwandes führt.

Eine wichtige Determinante sind die Höhe und die zeitliche Dynamik des Energieverbrauchs im Jahr 2050. Bezüglich der 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 verfügbaren Techniken sind die Effizienzpotentiale bis 2050 nahezu vollständig erschlossen. Weiterhin wird angenommen, dass Stromanwendungen Kraftstoffe und Brennstoffe teilweise verdrängen werden, so dass der absolute Stromverbrauch 2050 mit 506 TWh im Vergleich zu 2005 (509 TWh) quasi gleich bleibt.

Weitere Grundvoraussetzungen für die Ergebnisse dieser Studie sind die Ausschöpfung der Potentiale der erneuerbaren Energien im Rahmen der ökologischen Leitplanken sowie die Systemintegration der erneuerbaren Energien durch Einführung von Lastmanagement, Ausbau der Stromnetze und Speicherkapazitäten.

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

#### Photovoltaik

Würde man die gesamte in Deutschland für die Photovoltaik zur Verfügung stehende Fläche mit Solarmodulen belegen, so stünde 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 beträgt die installierte Leistung der Photovoltaik-Anlagen im Jahr 2050 120 GW. Die 2050 vorhandenen Flächenpotentiale werden damit zu knapp 43% ausgeschöpft.

#### 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-, Siedlungs- und weitere Flächen kommt zu dem Ergebnis, dass mindestens 1% der bundesdeutschen Gesamtfläche für die Nutzung zum Bau von Windenergieanlagen geeignet ist. Somit 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 Maße 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.

#### Wasserkraft

Die Wasserkraft leistet seit Jahrzehnten einen wichtigen Beitrag zur Stromversorgung (19 TWh/a im Jahr 2009). Ihr technisches Potential ist innerhalb Deutschlands jedoch weitestgehend ausgeschöpft. Zusätzliche Potentiale können vor allem durch die 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.

#### 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 Nettoleistung von 6,4 GW<sub>el</sub> (unter der Annahme von 7500 Volllaststunden).

#### Biomasse

Bei der Ermittlung der technisch-ökologischen Biomassepotentiale wurde ausschließlich die Abfallbiomasse betrachtet. Dementsprechend wurde in der Modellierung lediglich Biogas aus Abfallbiomasse zur Stromerzeugung herangezogen, so dass der Großteil der verfügbaren Abfallbiomasse für andere energetische oder stoffliche Nutzungen zur Verfügung steht, beispielsweise im Verkehr oder in der Industrie. Deshalb betrachtet die Studie ein Biogaspotential von nur 40 TWh<sub>th</sub>. Daraus ergibt sich ein Stromerzeugungspotential von rund 23 TWh<sub>el</sub>. 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 weiterer Leistungsbedarf besteht.

#### Lastmanagement, Stromnetze und Speicherkapazitäten

Je mehr Strom aus erneuerbaren Quellen in das bestehende Energiesystem eingespeist wird, desto besser muss dieses auf die damit einhergehenden veränderten Anforderungen eingestellt werden. In dem simulierten Szenario bekommt das deutsche Energiesystem einen stärker dezentralen Charakter als dies heute der Fall ist. Dies führt zu veränderten Lastflüssen, d.h. Strom fließt nicht mehr nur von zentralen Erzeugern zum Verbraucher, sondern muss von vielen dezentralen Erzeugungseinheiten zum Verbraucher transportiert werden. Außerdem ist die momentane Netzinfrastruktur nicht für den Transport großer Strommengen über große Entfernungen ausgelegt, z.B. von Windparks im Norden und Osten zu den Verbrauchszentren im Süden Deutschlands. Diese Umstände machen den Aus- und Umbau des deutschen Übertragungsnetzes zu einer Grundvoraussetzung für das Szenario „Regionenverbund“.

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen, insbesondere Sonnen- und Windkraft, fluktuiert mit dem Wetter und den Tages- und Jahreszeiten und ist somit nicht vollständig prognostizierbar. Auch der Stromverbrauch ist tages- und jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Diese Variablen können einerseits zu Situationen führen, in denen große Erzeugungsüberschüsse bestehen, und andererseits zu Situationen, in denen die Last größer ist als die Stromerzeugung aus 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 ansonsten 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, die

fluktuierende Erzeugung unabhängig von der momentanen Energienachfrage zu nutzen. Für die kurzfristige Speicherung kommen insbesondere Pumpspeicherkraftwerke in Frage, die im Szenario „Regionenverbund“ eine Kapazität von 40 GWh haben. Für die langfristige Speicherung ist aus heutiger Sicht die elektrolytische Erzeugung von Wasserstoff zu favorisieren. Die Eignung dieses Verfahrens ergibt sich aus der Tatsache, dass der Wasserstoff in Methan umgewandelt werden kann, welches sich wiederum mittels der vorhandenen Erdgasinfrastruktur speichern und verteilen lässt. Im Rahmen der Studie stellt die existierende Erdgasinfrastruktur ein Speicherpotential von 200 TWh<sub>th</sub> zur Verfügung. Außerdem werden auf dem Weg zu einer vollständig erneuerbaren Stromversorgung für einen Übergangszeitraum möglichst flexible fossile Kraftwerke benötigt, 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 CO<sub>2</sub>-Emissionen ist und sich später ggf. auch mit regenerativ erzeugtem Methan betreiben lässt.

Die Analyse der Last- und Erzeugungsgradienten, der Flexibilität von Reservekraftwerken und Elektrolyse sowie des Zusammenspiels aus Regelleistungsbedarf und -bereitstellung hat ergeben, dass die Fluktuationen der erneuerbaren Energien und der Last im betrachteten Szenario jederzeit ausgeglichen werden können, wie in Abbildung 1 dargestellt. Die Versorgungssicherheit ist somit bei einer vollständig erneuerbaren Stromversorgung nicht gefährdet. 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.

Die Simulationen zeigen, dass unter den getroffenen Annahmen für 2050 auf ökologisch verträgliche Weise jederzeit die Verbrauchslast mit dem heutigen Niveau der Versorgungssicherheit gedeckt werden kann. Auch können die Leistungsfluktuation der erneuerbaren Energien ausgeglichen und zugleich ausreichend Regelleistung bereitgestellt werden. Dabei wird nicht von Techniksprüngen ausgegangen – die Ergebnisse lassen sich mit der besten bereits heute am Markt verfügbaren Technik erreichen. Selbst der erhebliche zusätzliche Stromverbrauch der Elektromobilität, die weitgehende Bereitstellung des Heizungs- und Warmwasserbedarfs mittels Wärmepumpen sowie die Klimatisierung können mit abgedeckt werden.

Notwendige Voraussetzungen sind allerdings ein deutlicher Ausbau der Reservekapazitäten zur Stromerzeugung und -speicherung, die Erschließung der großen Potentiale im Lastmanagement sowie die Erweiterung und der Umbau der Infrastruktur für diese und insbesondere für den Stromtransport. Die erforderlichen Weichenstellungen für eine derartige Entwicklung müssen in den nächsten Jahren getroffen werden. Entsprechende Handlungsempfehlungen stellen ein eigenes Kapitel der Studie dar.

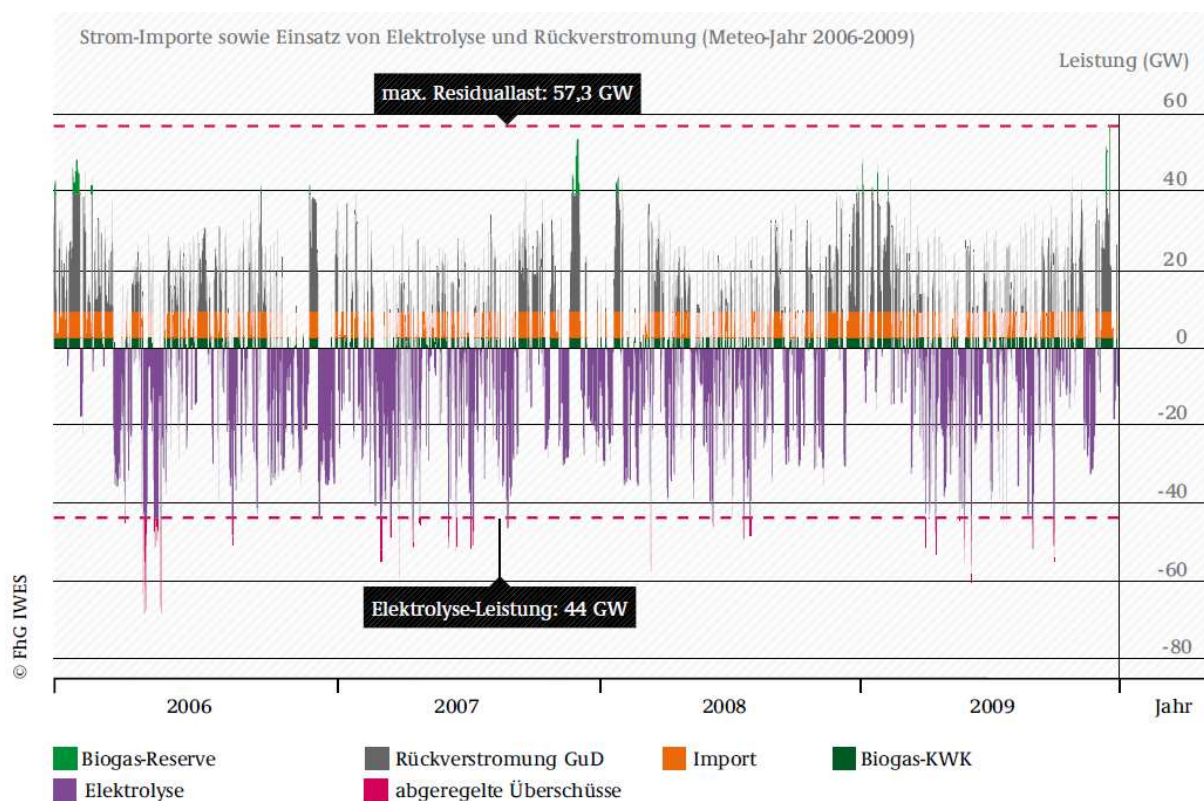


Abb. 1: Szenario „Regionenverbund“: Verlauf der residualen Gesamtlast und Einsatz von Speichern und Reservekraftwerken für den Betrachtungszeitraum (Wetterdaten 2006-2009)<sup>3</sup>

### 3 Szenario „Lokal-Autark“

Im Szenario „Lokal-Autark“ (bisher unveröffentlicht) wurde anders als beim „Regionenverbund“ nicht ganz Deutschland betrachtet. Stattdessen wurden exemplarisch eine Gemeinde im ländlichen Raum sowie ein Stadtteil modelliert und simuliert, jeweils mit und ohne Gewerbe/Industrie und jeweils an einem Standort in Nord- und in Süddeutschland. Diese vor allem in Hinblick auf die Bevölkerungs- und Bebauungsdichte repräsentativen Siedlungsstrukturen nutzen die vor Ort verfügbaren technisch-ökologischen Potentiale der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung nahezu vollständig aus und sind nicht Teil eines Verbundnetzes, d.h. es handelt sich um autarke „Energieinseln“.

Überprüft wurde, ob es mittels des vor Ort verfügbaren Potentials aus Wind- und Solarkrafterzeugung möglich ist, 2050 den lokalen Strombedarf ganzjährig unter Verwendung von Speichersystemen zu decken. Die Grundannahmen waren dabei an das Szenario „Regionenverbund“ angelehnt. Allerdings wurde von einer noch besseren Hebung der Effizienzpotentiale, besonders in den Haushalten, ausgegangen. Die sehr gut bis gut geeigneten PV-Flächenpotentiale wurden in beiden Siedlungsstrukturen (Stadt und Land) komplett ausgenutzt. In dem ländlichen Siedlungsgebiet wurde eine Stellfläche für zwei Windkraftanlagen angenommen, während für den Stadtteil davon ausgegangen wurde, dass es hier keinen Raum für solche Anlagen gibt. Von einem Beitrag der (Abfall-)Biomasse zur

<sup>3</sup> Die Abbildung entspricht Abb. 7-27 in *Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen* (UBA 2010).

Stromerzeugung wurde abgesehen, da angenommen wird, dass diese im Jahr 2050 vorrangig in Industrie und Verkehr zur Substitution fossiler Brenn- und Kraftstoffe verwendet wird. Auch wurden keine Fälle betrachtet, in denen vor Ort Geothermie oder Wasserkraft als Stromquelle zur Verfügung steht, da diese Bedingungen Sonderfälle darstellen, die eher die Ausnahme sind. Es liegt auf der Hand, dass sich die Versorgungssituation einer Gemeinde oder eines Stadtteils signifikant verbessert, wenn solche grundlastfähigen regenerativen Energiequellen vorhanden sind.

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass eine lokale Autarkie im Sinne von Inselösungen im Einzelfalle technisch möglich sein mag, etwa bei Vorhandensein von erschließbaren Geothermie- und/oder Wasserkraftpotentialen. In den in der Studie konkret untersuchten Fällen jedoch lassen sich unter den getroffenen Annahmen nur die Haushalte samt E-Mobilität und Wärmeanwendungen in der ländlichen Siedlungsstruktur autark versorgen. Wird hingegen (realistischerweise) auch der Strombedarf von vor Ort ansässigem Gewerbe und Industrie mitbetrachtet, lässt sich keine ausgeglichene Bilanz aus Last und Erzeugung mehr darstellen. Dies ist für den modellierten Stadtteil selbst ohne die Mitversorgung des Sektors Gewerbe/Industrie der Fall, wie Abbildung 2 für den Standort in Norddeutschland zeigt – mit Solarenergie allein ist in Deutschland keine Stromversorgung möglich<sup>4</sup>. Die hier dargestellte Gemeinde im ländlichen Raum, stärker aber noch die städtische Siedlungsstruktur, hängt somit von weiteren externen Erzeugungspotenzialen ab, sofern keine ausreichenden Potentiale für Geothermie oder Wasserkraft vorhanden sind. Insgesamt zeigt sich die Windenergie in Bezug auf ihren Versorgungsbeitrag und die notwendigen elektrischen Speicherkapazitäten vorteilhafter als die Photovoltaik, auch wenn die Erzeugungscharakteristik der Photovoltaik gut zu den Anforderungen der E-Mobilität passt und ihr „Versorgungswert“ durch die E-Mobilität wächst. Generell muss im Norden aufgrund der günstigeren Windverhältnisse und des deutlichen Beitrags der Windkraft zur Lastdeckung ein niedrigerer Speicheraufwand betrieben werden als in Süddeutschland.

In Anbetracht der erzielten Ergebnisse und im Vergleich zu denen des „Regionenverbundes“ zeigt sich das Transportnetz für Strom als wesentlicher Teil zum Erreichen einer vollkommen regenerativen Energieversorgung für Deutschland. Potenziale müssen dort erschlossen werden, wo sie vorhanden sind, Regionen mit einem „Überpotenzial“ werden solche mit einem „Minderangebot“ mitversorgen müssen. Letztlich erscheint auch die Erschließung der Offshore-Windpotenziale nur im Kontext der flächendeckenden und regionenübergreifenden Vernetzung sinnvoll. Somit zeigt sich die gute innerdeutsche Vernetzung im Szenario „Regionenverbund“ als deutlich vorteilhaft gegenüber der dezentral-autarken Stromversorgung, die nach den vorliegenden Erkenntnissen zumindest für Deutschland als Ganzes keine Alternative darstellt<sup>5</sup>.

Teilweise könnten die Aufgaben und Funktionen des Transportnetzes für Strom wohl durch den stofflichen Transport von Energie ersetzt werden, z.B. durch den Transport von Biomasse, aber auch durch lokal aus Überschüssen erzeugte gasförmige oder flüssige Energieträger (z.B. Biogas, Wasserstoff, Methan etc.). Fraglich ist jedoch, ob dieser Ersatz

---

<sup>4</sup> abgesehen von aufwändigen Einzelhauslösungen wie etwa dem Freiburger „Solarhaus“

<sup>5</sup> Anders könnte es in anderen Teilen der Welt aussehen, in denen keine vergleichbare Infrastruktur wie in Deutschland vorhanden ist.

adäquat ist, oder ob die Nachteile überwiegen, so z.B. ein geringerer Wirkungsgrad oder Einschränkungen der Flexibilität in Bezug auf Handhabung oder Reaktionsmöglichkeiten.

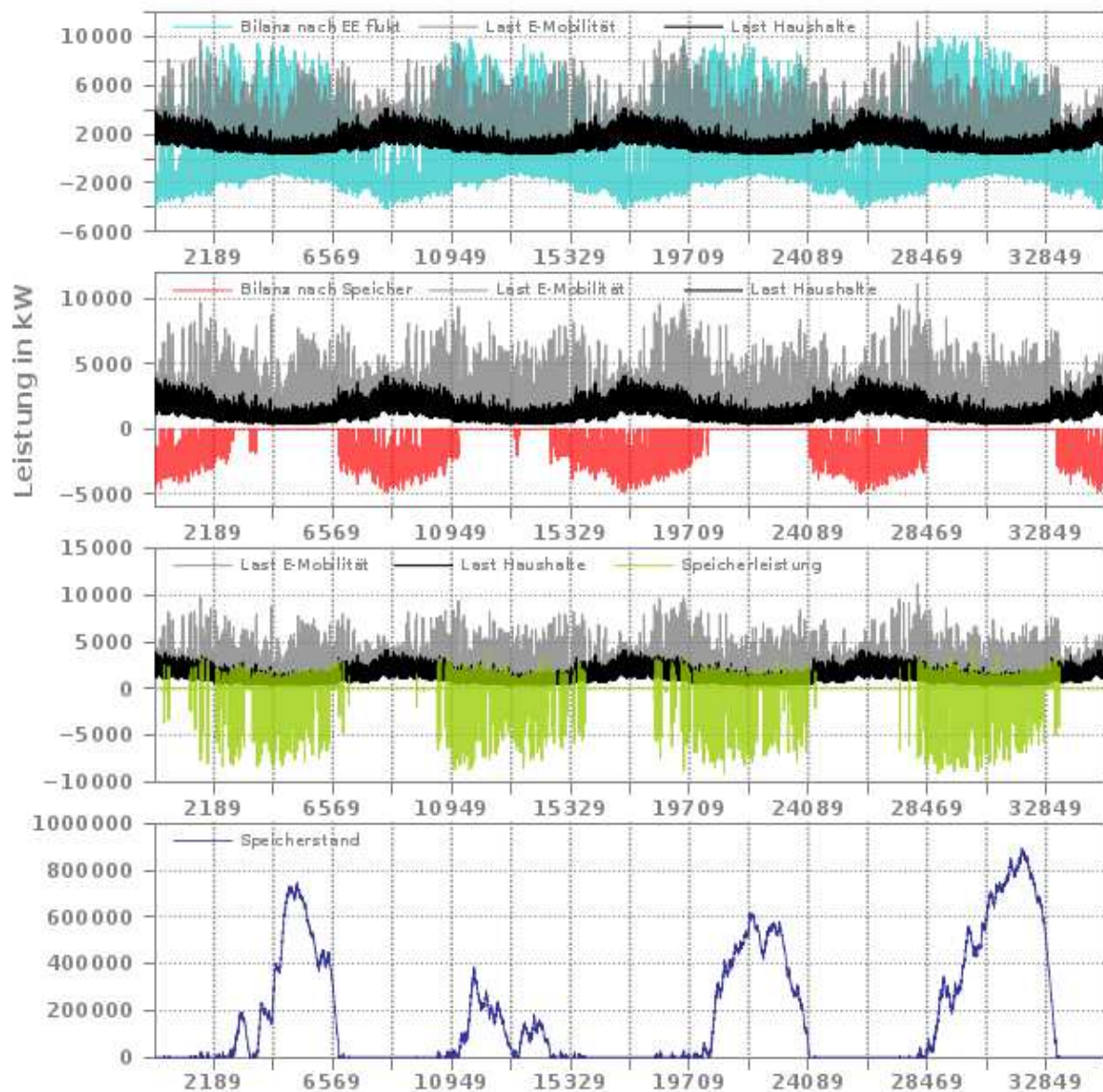


Abb. 2: Szenario „Lokal-Autark“: Stadtteil in Norddeutschland – Verbraucherlast der Haushalte mit 50% Anteil E-Mobilität, Bilanzen nach fluktuierender Erzeugung und Speichern, sowie Leistungsbeitrag der Speicher (Wetterdaten 2006-2009)

Es ist absehbar, dass die Möglichkeiten flexibler Anpassung und Reaktionsmöglichkeiten auf die jeweilige Versorgungslage mit zunehmenden Anteilen fluktuierender Erzeugung an Bedeutung gewinnen, dies zeigt sich nicht zuletzt an den teils beträchtlichen Speicheranforderungen der im Szenario „Lokal-Autark“ gerechneten Szenariovarianten. Vernünftig wäre es daher, bereits bestehende Strukturen (wie z.B. das Transportnetz für Strom), die Flexibilität in der Energieversorgung ermöglichen und stützen, nicht ab-, sondern im Gegenteil auszubauen. Vielmehr muss es gelten, dem Ist-Zustand weitere Optionen



hinzuzufügen, was auch eine engere Verzahnung von Strom und Wärme miteinander einschließt.

Lokale Autarkie mag als Konzept in Einzelfällen umsetzbar sein. Ein tragfähiger Ansatz für eine regenerative Energieversorgung Deutschlands ist sie aber kaum.

#### 4 Szenario „International-Großtechnik“

Noch stärkere Synergieeffekte bei der optimalen Nutzung der erneuerbaren Energien sowie dem großräumigen Ausgleich zwischen ihrer fluktuierenden Einspeisung und der Last sowie bei der Nutzung von Speicherpotentialen lässt das zurzeit in Arbeit befindliche Szenario „International-Großtechnik“ erwarten. Mit den Ergebnissen der Untersuchung dieses Szenarios ist im Sommer 2012 zu rechnen. Der Strom-Importanteil nach Deutschland ist in diesem dritten „archetypischen“ Szenario am höchsten. Die Stromversorgung Deutschlands und Europas basiert hier auf den großtechnisch leicht erschließbaren deutschen, europäischen und europahanen Potentialen aller erneuerbaren Energien und Speicherkraftwerke (z.B. Solarthermie aus Nordafrika, Geothermie aus Südeuropa und der Türkei, Pumpspeicherkraftwerke in Skandinavien, Windkraft von den Britischen Inseln). Ein gut ausgebautes interkontinentales Übertragungsnetz verbindet die Erzeugungsschwerpunkte mit den Verbrauchszentren, wie in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Dies ermöglicht den europaweiten Ausgleich von Einspeisungsschwankungen aus fluktuierenden erneuerbaren Energien und deren optimale Nutzung. Ein erheblicher Anteil des deutschen Strombedarfs wird dabei importiert.

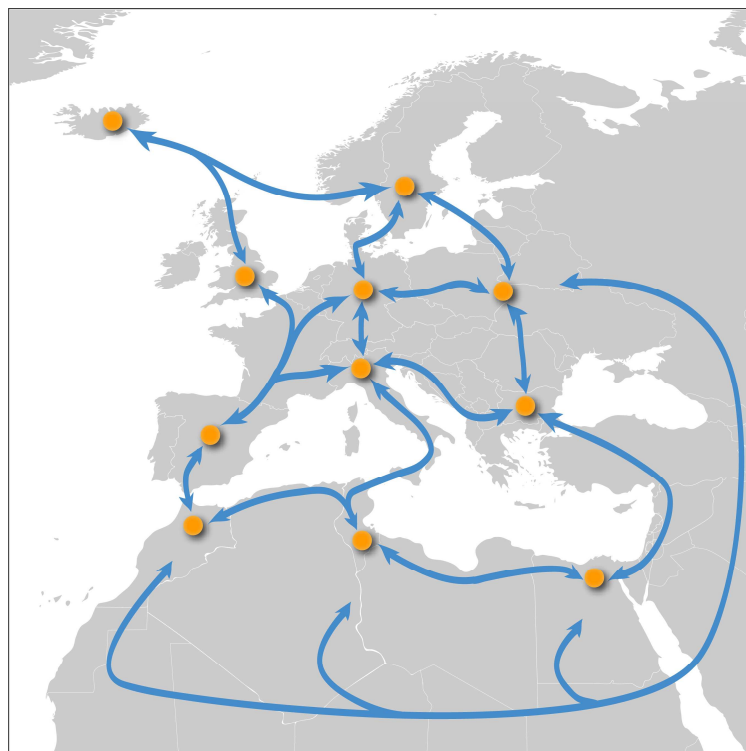


Abb. 3: Schematische Darstellung eines „Super Smart Grid“, das Nordafrika, die Mittelmeerregion und Europa miteinander vernetzen und erneuerbaren Strom über große Distanzen transportieren könnte  
(Quelle: J. Lillestam, PIK)

Die technisch-ökologische Machbarkeit des Szenarios „International-Großtechnik“ sowie Unterschiede zu anderen Szenarien werden derzeit anhand einer Simulation untersucht. Kern des Vorhabens ist die Modellierung und Simulation eines in ein europäisches Verbundnetz eingegliederten Deutschlands, wobei gezeigt werden soll, inwiefern hier im Jahr 2050 eine zu 100% auf erneuerbaren Energien basierende Stromversorgung möglich ist, die die heute übliche hohe Versorgungssicherheit erfüllt. Insbesondere soll untersucht werden, wie der Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage (mit der Dynamik von Stromproduktion und Nachfrageverhalten) jederzeit gewährleistet werden kann und welche Techniken hierzu erforderlich sind. Das Stromnetz soll dabei mit ausreichender Übertragungskapazität angenommen werden.

Zentrale Eigenschaften des Szenarios sind:

- Die Rahmenbedingungen entsprechen im Wesentlichen dem Szenario „Regionenverbund“;
- Stromerzeugung Deutschlands zu 100% aus erneuerbaren Energien (teilweise regionale Erzeugung, dazu Integration ausländischer Windparks sowie solar- und geothermischer Kraftwerke als Teil der deutschen Stromversorgung);
- Der internationale Stromtransport, z.B. zwischen Deutschland und seinen Nachbarstaaten oder auch aus EU-Anrainerstaaten, wird nicht als limitierend betrachtet; ausreichende Transportkapazitäten werden vorausgesetzt;
- Überregionaler Ausgleich von Einspeisungsschwankungen aus fluktuierenden erneuerbaren Energien, der den Speicherbedarf verringert;
- Nutzung bestehender und neuer inländischer und ausländischer Speicher (z.B. Einbindung von ausländischen Pumpspeicherkapazitäten, Wasserstoffspeicherung);
- Optimierter Einsatz von KWK-Anlagen und Wärmepumpen und Klimatisierung;
- Hohe Anteile Elektromobilität mit Lastmanagement;
- Verstärkte Nutzung von Lastmanagement (in den Bereichen Industrie, GHD, Verkehr und private Haushalte);
- Gewährleistung der heute üblichen Versorgungssicherheit in der Stromversorgung.

Fragen, die im Rahmen dieser Studie geklärt werden sollen, sind u.a.:

- Welche Reserve-Kapazitäten sind nötig, um die Versorgungssicherheit auf heutigem Niveau zu sichern?
- Welcher Bedarf an Übertragungskapazitäten und Speichern besteht bei einem europaweiten bzw. transkontinentalen Stromaustausch mit großen ausländischen Anteilen der Gesamtstromerzeugung Deutschlands?
- Welche Ausgleichseffekte bei der Einspeisecharakteristik lassen sich bei einer großräumig über Europa und angrenzende Gebiete verteilten Erzeugung aus dargebotsabhängigen Energiequellen erzielen?

## **5 Fazit**

Die vorgestellten sowie weitere in Arbeit befindliche Studien deuten darauf hin, dass ein Ausbau des europäischen Stromverbundes ein beträchtliches Optimierungspotential hinsichtlich der Energieversorgungssicherheit nicht nur für Deutschland bietet, sondern umso mehr in einem Europa, das zunehmend auf erneuerbare Energiequellen setzt. Je stärker die Vernetzung (auch mit den Zentren großer Speicherkapazitäten wie etwa Skandinavien), desto besser ist ein großräumiger europaweiter Ausgleich der fluktuierenden Einspeisung von Windenergie und Photovoltaik möglich. Ein forcierter Ausbau der Transportnetze innerhalb Deutschlands und ganz Europas sowie der Grenzkuppelstellen erscheint daher sinnvoll und vorteilhaft. Dafür sind zunächst die politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen zu schaffen.