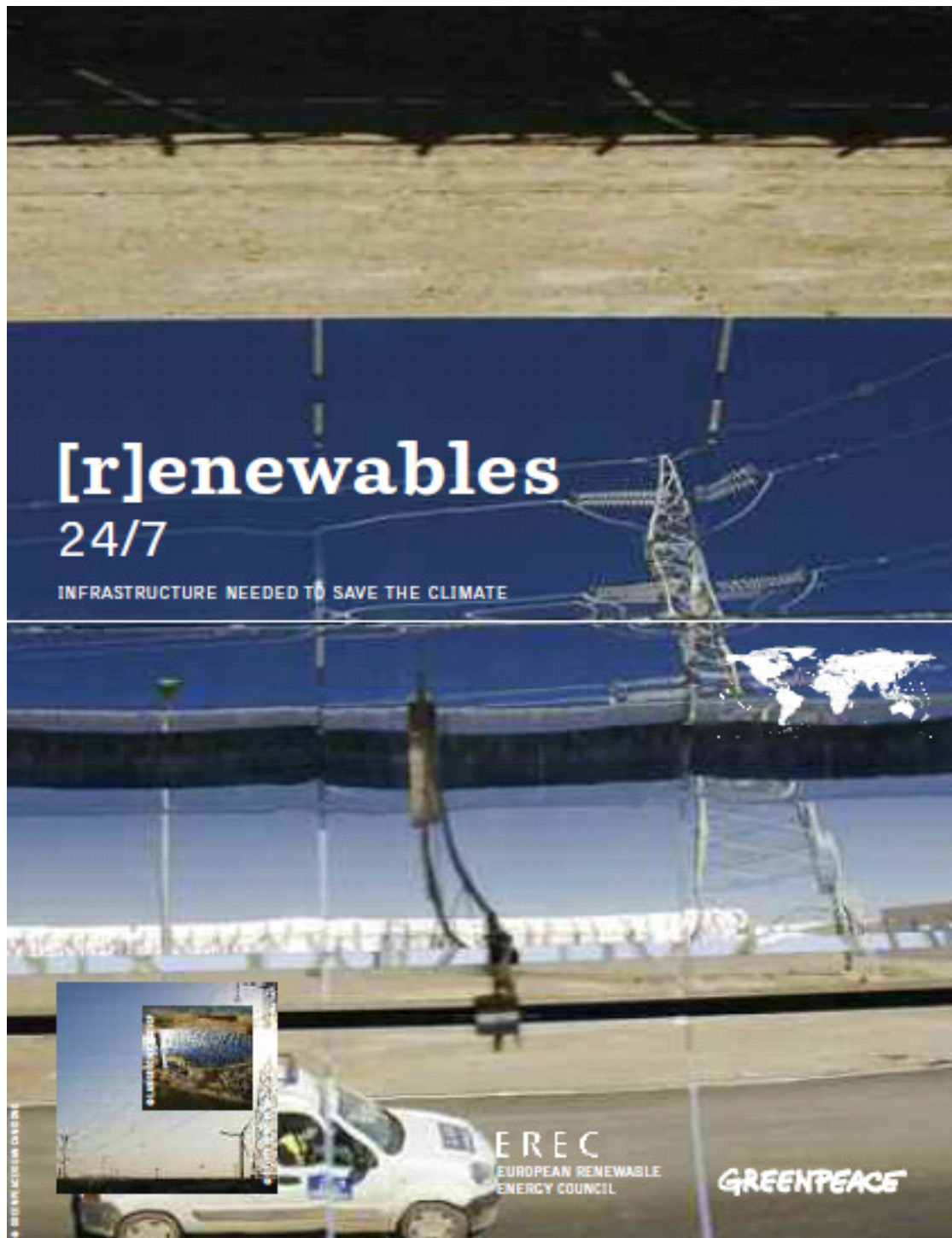


„24/7“: Das Stromnetz des 21. Jahrhunderts

Anforderungen an eine klimafreundliche Stromversorgung in Europa mit Erneuerbaren Energien „rund um die Uhr“

- Deutsche Zusammenfassung -



Herausgeber:

Greenpeace e.V., Große Elbstraße 39, 22767 Hamburg, Tel. 040 – 306 18-0,
Fax 040 – 306 18-100, E-Mail: mail@greenpeace.de, Internet: www.greenpeace.de,
Politische Vertretung Berlin, Marienstraße 19-20, 10117 Berlin, Tel. 030 – 30 88 990.

Englische Langfassung:

[R]enewables 24/7 – Infrastructure needed to save the climate,
Greenpeace International 2009

Projektleiter: Dipl.-Ing. Sven Teske

Autoren: Dr. Thomas Ackermann, Dr. Eckehard Ackermann, Energynautics, Darmstadt

Übersetzung: TL TRANSLATIONES GmbH

V.i.S.d.P.: Andree Böhling

Stand: November 2009

1. Hintergrund

Stromnetze – Die Adern der Stromversorgung

Mit dem Begriff „Stromnetz“ werden sämtliche Leitungen, Transformatoren und die gesamte Infrastruktur für den Stromtransport vom Kraftwerk zum Verbraucher zusammengefasst. Das aktuelle System der Stromverteilung und -übertragung wurde zum großen Teil vor 40 bis 60 Jahren entwickelt. Dabei wurden die Übertragungsnetze in den Industrieländern auf eine Verbindung zwischen Großkraftwerken und großen Verbrauchszentren ausgerichtet. Über ein kleineres „Verteilernetz“ wird der Strom dann weiter an die Endverbraucher geliefert. Die enorme Industrialisierung der Städte wurde durch diese Systeme begünstigt und in den meisten Industrieländern wurden auch ländliche Gegenden erschlossen. In Zukunft brauchen wir stattdessen jedoch Netze, die saubere Energie transportieren, beispielsweise aus Wind-, Solar- oder Wasserkraft oder aus Biomasse.

Anlagen zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien sind normalerweise kleiner und können auf der ganzen Netzstrecke verteilt oder auch als großes Kraftwerk an einem Standort errichtet werden, wie etwa Offshore-Windenergieanlagen. Beispiele für die großen Stromerzeuger der Zukunft sind die gewaltigen Windparks in der Nordsee oder auch solarthermische Kraftwerke, die mit hunderten Spiegeln das Sonnenlicht bündeln und mit denen in Südeuropa oder Afrika Energie gewonnen wird.

Die Herausforderung liegt nun darin, neue Energiequellen zu integrieren, gleichzeitig fast alle großen konventionellen Kraftwerke auslaufen zu lassen und dabei sicher zu stellen, dass der Strombedarf zu jeder Zeit gedeckt werden kann. Dazu bedarf es neuer Arten von Netzen und Kraftwerksystemen. Um Schwankungen zwischen Energiebedarf und Energieangebot ausgleichen zu können, werden die wichtigsten neuen Technologien benötigt. Schon heute stehen uns zahlreiche Maßnahmen wie die Laststeuerung, verbesserte Wettervorhersagen und Energiespeichermethoden zur Verfügung – wir müssen sie allerdings konsequenter anwenden.

Einige Kritiker vertreten die Ansicht, dass mit Erneuerbaren Energien nach jetzigem Stand niemals ausreichend Strom erzeugt werden kann, schon gar nicht bei dem erwarteten Anstieg des Energiebedarfs, da natürliche Energiequellen wie Wind oder Sonne anscheinend nicht rund um die Uhr, also 24 Stunden am Tag und 7 Tage die Woche (24/7), verfügbar sind.

Hier setzt die Studie an. Sie will Antworten geben und beschreiben, welchen Anforderungen das Stromnetz im 21. Jahrhundert gerecht werden muss. Ist erneuerbare Energieversorgung rund um die Uhr machbar? Welche Anforderungen stellen dezentrale und flexible Energiequellen wie Wind und Sonne an das Stromnetz der nächsten Generation? Greenpeace zeigt mit der Studie „Erneuerbare Energieversorgung 24/ 07“ wie ein klimagerechtes Stromnetz der nahen Zukunft technisch und wirtschaftlich ausgestattet sein muss, um die Versorgung mit Erneuerbaren Energien zu gewährleisten. Der radikale Umbau der Energiewirtschaft für den ständig wachsenden Einsatz von Erneuerbaren Energien stellt eine der größten Herausforderungen der nächsten Jahre dar. Eine Aufgabe, der sich Deutschland sowohl logistisch als auch finanziell stellen muss, will man die schlimmsten Auswirkungen der Erderwärmung noch verhindern.

2. Zentrale Elemente und Herausforderungen

„Intelligente“ Netze

Intelligente Netze sind Stromnetze, die durch minimale Verluste und eine hohe Energieeffizienz gekennzeichnet sind. Sie nutzen dezentrale Energiequellen und hoch entwickelte Kommunikations- und Steuertechnologien, um preiswerten und umweltfreundlichen Strom liefern zu können und auf die Bedürfnisse der Verbraucher zu reagieren. Normalerweise werden kleinere, dezentrale Stromerzeuger mit Energiemanagementsystemen kombiniert, um so die Lasten aller Verbraucher im Netz ausgleichen zu können. Zu den kleinen Stromerzeugern gehören Windenergieanlagen, Solarmodule, Mikroturbinen, Brennstoffzellen und Blockheizkraftwerke (Kraft-Wärme-Kopplung). Anlagen, die diese Energiequellen nutzen, können verlustarm und nah am Verbraucher installiert werden. Der Strom muss nicht - wie bei großen, zentralen Kraftwerken aus konventionellen Energiequellen - über lange Distanzen transportiert werden. Fortschrittliche Steuer- und Managementtechnologien steigern zudem insgesamt die Effizienz des Stromnetzes. Dazu gehören z.B. intelligente Stromzähler, die Verbrauch und Kosten in Echtzeit anzeigen und die auf Fernkommunikation und schwankende Strompreise reagieren können.

Integration Erneuerbarer Energien in die Stromversorgungssysteme

Die Integration erneuerbarer Energietechnologien in bestehende Stromnetze funktioniert auf der ganzen Welt sehr ähnlich, egal ob es sich um große, zentralisierte Netze oder Inselssysteme handelt. So ist das wesentliche Ziel beim Betrieb von Stromnetzen, stets ein Gleichgewicht zwischen Stromverbrauch und Stromerzeugung zu gewährleisten.

Dazu bedarf es sorgfältiger Planungen, damit die verfügbare Produktionskapazität dem Bedarf zu jedem Zeitpunkt gerecht wird. Neben dem Ausgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch muss das Versorgungssystem auch die folgenden Bedingungen erfüllen:

- Entsprechung der geltenden Anforderungen an die Stromqualität, z.B. im Bereich der Spannung und der Frequenz
- Bewältigung von Extremsituationen wie plötzliche Lieferausfälle (z.B. bei Kraftwerksstörungen) oder Unterbrechungen des Übertragungssystems

Bislang nutzen Versorgungssysteme vorwiegend konventionelle Energiequellen für Grundlastkraftwerke, die den Großteil der Zeit mit Nennleistung betrieben werden. Oft handelt es sich bei diesen zentralen Einheiten um „unflexible“ Erzeuger (wie Atomkraftwerke oder große Braunkohlekraftwerke), die ineffizient sind und eine Anpassung der Leistung an den tatsächlichen Bedarf der Verbraucher im Laufe eines Tages sehr kostspielig machen.

Die Realität zeigt, dass sich die Lasten zudem ständig ändern. Es bedarf also zukünftig flexiblerer Stromquellen, um stets die passende Menge Strom zu produzieren. Mit einem Mix aus Erneuerbaren Energien und flexiblen Gaskraftwerken kann der Strombedarf rund um die Uhr gedeckt werden:

- Biomasse, Geothermie, Solarthermie (CSP), Wasserkraft mit Speicherung sind „grundlastfähige“ Stromquellen. Die Leistungsabgabe kann reguliert werden, es kann damit sowohl Grundlast als auch die Spitzenlast bereitgestellt werden.
- Wasserkraft ohne Speicherung (Laufwasserkraft), Photovoltaik und Windkraft sind fluktuierende Stromquellen. Diese Technologien hängen von verfügbaren natürlichen Ressourcen ab, die Leistungsabgabe ist also variabel.¹

Will man große Mengen an Erneuerbaren Energien in bestehende Netze integrieren, müssen die Auswirkungen auf den Lastenausgleich betrachtet und die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems sichergestellt werden.

Unflexible Kohle- und Atomkraftwerke werden zum Problem

Durch die Integration von erneuerbaren Energiequellen in intelligente Netze kann der gemeinhin angenommene Bedarf an konstanter Stromversorgung aus Grundlastkraftwerken überwunden werden. Aus heutiger Sicht ist es besser, Energieformen als „flexibel“ oder „unflexibel“ zu bewerten. In Ländern, in denen Erneuerbare Energien und natürliche Rohstoffe gefördert werden, wie zum Beispiel in Spanien, tragen die Erneuerbaren Energien schon heute an manchen Tagen zu über 50 % zur Deckung des täglichen Strombedarfs bei. Mit einem System, das auf Erneuerbaren Energien basiert wird das alte Versorgungssystem mit Grundlastkraftwerken Schritt für Schritt überflüssig. Bestehende Atom- und Kohlekraftwerke werden damit zu Hindernissen in der neuen Versorgungsstruktur. Verschiedene Anbieter flexibler Energien können sich an die Lastverteilung tagsüber und nachts anpassen (z.B. Solarkraft plus Gas, Geothermie, Windenergie und Laststeuerung) ohne, dass es dabei zu Energieverlusten oder Stromausfällen kommt.

In Abbildung 1 wird eine typische Situation im europäischen Versorgungssystem mit variabler Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien aufgezeigt, in diesem Fall hauptsächlich Photovoltaik. Geothermie-, Gezeiten- und Laufwasserkraftwerke werden hier als Grundlastkraftwerke eingesetzt und konventionelle Kraftwerke – in diesem Fall Gaskraftwerke – und Biomassekraftwerke werden dazu verwendet, die Schwankungen auszugleichen, die durch wechselnden Verbrauch und wechselnde Erzeugungskapazitäten aus erneuerbaren Energiequellen wie Photovoltaik und Windkraft entstehen.²

¹ Gelegentlich werden diese erneuerbaren Energiequellen als „intermittierende“ Energiequellen bezeichnet, was terminologisch jedoch nicht korrekt ist, da intermittierend für unkontrollierbar steht, also nicht abrufbar. Die Leistungsabgabe dieser Erzeuger kann jedoch vorausberechnet werden und diese Anlagen sind demnach abrufbar. Außerdem können sie jederzeit mit reduzierter Leistung betrieben werden.

² Prinzipiell könnten auch Geothermieanlagen dazu verwendet werden, Lasten auszugleichen.

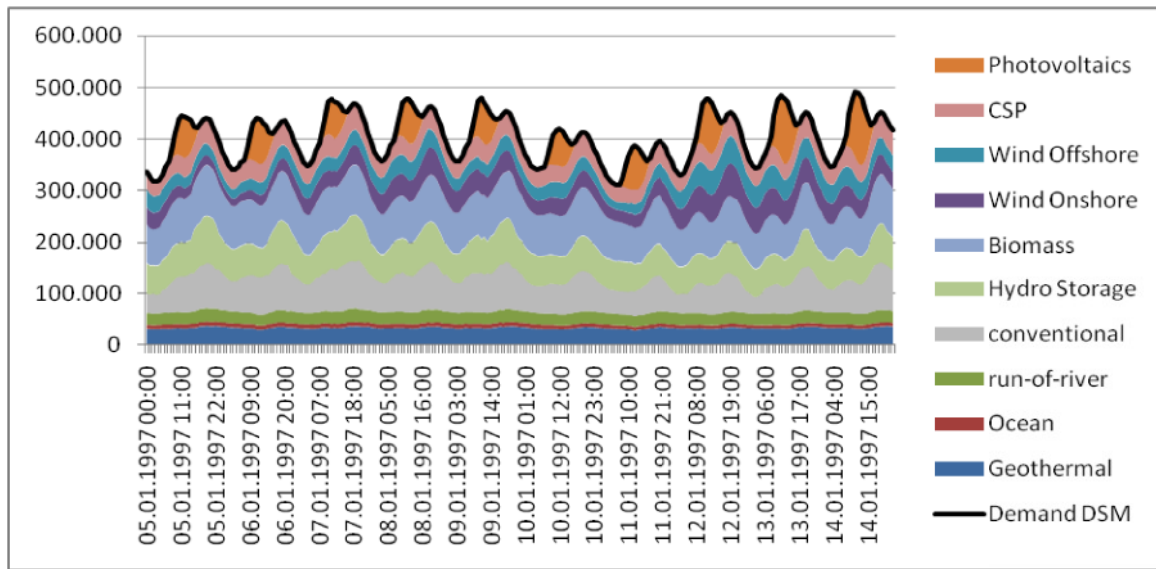


Abbildung 1: Stromerzeugung (in MW) aus verschiedenen Energiequellen und europäischer Gesamtbedarf unter extremen Wetterbedingungen im Januar

Der Systemkonflikt – Das Beispiel Spanien

Das Beispiel Spanien zeigt, dass Strom aus Erneuerbaren Energien an bestimmten Tagen mehr als 50 % des Tagesbedarfs decken kann. Das spanische Versorgungssystem hat damit keine Probleme, weder kommt es zu Ausfällen noch wurden technische Probleme festgestellt. Dennoch steht die Branche der Erneuerbaren Energien in Spanien vor wirtschaftlichen Problemen, da sie es nun mit Kapazitätsüberschüssen zu tun hat. Tatsächlich wird in Spanien viel mehr Strom produziert als nachgefragt wird und diese Differenz wird durch die Wirtschaftskrise noch verstärkt. Der Grund hierfür liegt darin, dass mit dem Ziel Spanien in eine saubere Zukunft Erneuerbarer Energien zu führen, entsprechende zusätzliche Kapazitäten (und Gas-Kombikraftwerke) geschaffen wurden, ohne dass Kapazitäten aus konventioneller Energie abgebaut wurden.

Heute nehmen die Erneuerbaren Energien bei der Stromversorgung einen immer größeren Marktanteil ein und verdrängen so die konventionellen, mit fossilen Energieträgern betriebenen Kraftwerke. Letztere verkaufen daher weniger Kilowattstunden als ursprünglich erwartet und können auch nicht mehr in Grundlast betrieben werden, wodurch die Betriebskosten steigen und der Gewinn aus den verkauften Kilowattstunden sinkt. Spaniens Betreiber konventioneller Kraftwerke haben, aufgrund der Auswirkungen auf ihre Geschäfte, nun begonnen, Lobbyarbeit gegen die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien zu betreiben. Hier spitzt sich der Systemkonflikt zwischen unflexiblen Großkraftwerken und Erneuerbaren Energien, wie er auch in Deutschland diskutiert wird, bereits in der Praxis zu.

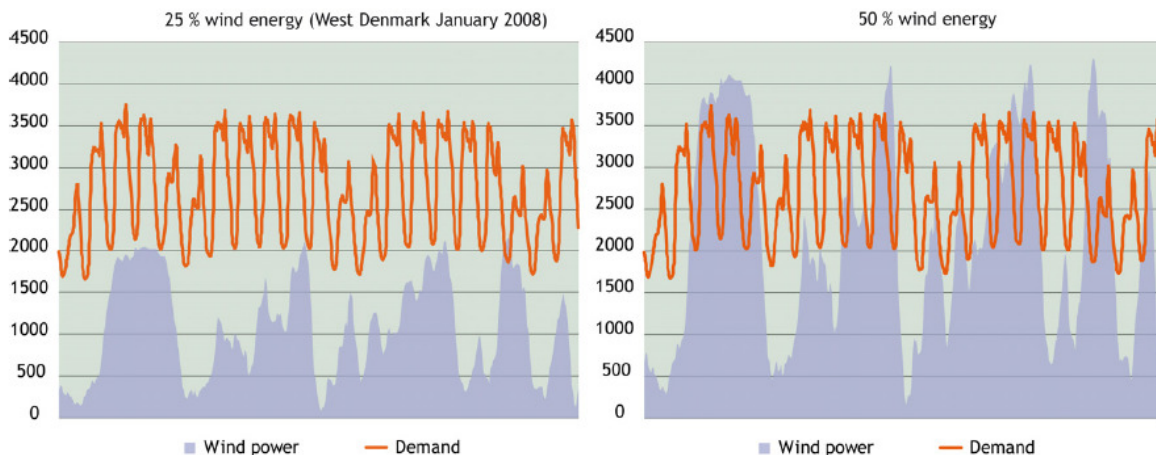


Abbildung 2: In der linken Grafik ist der Windenergieanteil im westdänischen Stromnetz in Höhe von 25 % dargestellt, in der rechten Grafik beträgt der Anteil 50 % (der graue Bereich repräsentiert die Windkraft, die orange Linie den Strombedarf). Es wird deutlich, dass mit einem steigenden Anteil der Windenergie zu bestimmten Zeiten Überschüsse entstehen, während die Windkraft zu anderen Zeiten nicht ausreicht, um alle Lasten zu versorgen. Das Stromnetz muss demnach flexibler werden, um sich der schwankenden Erzeugung aus Erneuerbaren Energien anpassen zu können, indem beispielsweise der Bedarf durch Laststeuerungsprogramme kontrolliert wird bzw. indem Speichersysteme eingesetzt werden.

Warum sind intelligente Netze für einen wachsenden Anteil Erneuerbarer Energien unverzichtbar?

In Zukunft müssen Kraftwerke auf der ganzen Welt erneuerbare Energiequellen nutzen. Bis zu 90 % des Stromverbrauchs muss mit erneuerbaren Technologien wie Windkraft, Solarenergie, Biomasse oder Wasserkraft gedeckt werden, wenn die erforderlichen Ziele beim Klimaschutz erreicht werden sollen. Die Technologie intelligenter Netze wird hierbei eine wesentliche Rolle spielen, vor allem durch die Integration von Laststeuerungssystemen in den Stromnetzbetrieb.

Das Versorgungssystem der Zukunft wird nicht aus wenigen zentralen Kraftwerken, sondern aus zehntausenden kleiner Erzeugungseinheiten wie Solarmodulen, Windenergieanlagen oder anderen erneuerbaren Erzeugern gespeist werden. Deren Strom wird teilweise dezentral im ganzen Bereich des Verteilernetzes angesiedelt sein und teilweise in großen Kraftwerken wie Offshore-Windparks konzentriert werden. Intelligente Netze werden dabei helfen, diese Vielzahl verschiedener Kraftwerkssysteme zu kontrollieren und in einen Netzbetrieb zu integrieren.

Intelligente Netze und Informations- und Kommunikationstechnologie

Neue Technologien für intelligente Netze werden vor allem aus den folgenden Gründen benötigt:

- um eine große Zahl von Erneuerbaren Energien problemlos an das Stromnetz anzuschließen (Plug and Play)

- um die Auswirkungen variabler erneuerbarer Energiequellen durch ein flexibleres Stromnetz mit groß angelegtem Laststeuerungssystem und Speichermöglichkeiten auszugleichen
- damit Anlagenbetreiber zuverlässigere Daten über den Zustand ihrer Anlagen erhalten, so dass sie ihre Anlagen effizienter betreiben können
- damit Netzerweiterungen minimiert werden, durch eine effiziente Nutzung und die Förderung einer für die Erzeugung Erneuerbarer Energien wirksamen Koordinierung der Stromerzeugung über große geographische Distanzen

Für die Entwicklung eines Stromversorgungssystems, das fast ausschließlich auf erneuerbaren Energiequellen basiert, ist eine vollkommen neue Systemarchitektur erforderlich – einschließlich der Technologie intelligenter Netze.³ Abbildung 3 zeigt eine einfache grafische Darstellung der Hauptbestandteile zukünftiger erneuerbarer Stromversorgungssysteme, die auf intelligenten Netzen basieren. Intelligente Netze, Mikronetze und Supergrids müssen harmonisch miteinander betrieben werden, damit ein ständiger Systemausgleich stattfinden kann und Strom aus Gegenden mit großen Mengen erneuerbarer Energiequellen in Gegenden mit großem Strombedarf transportiert werden kann.

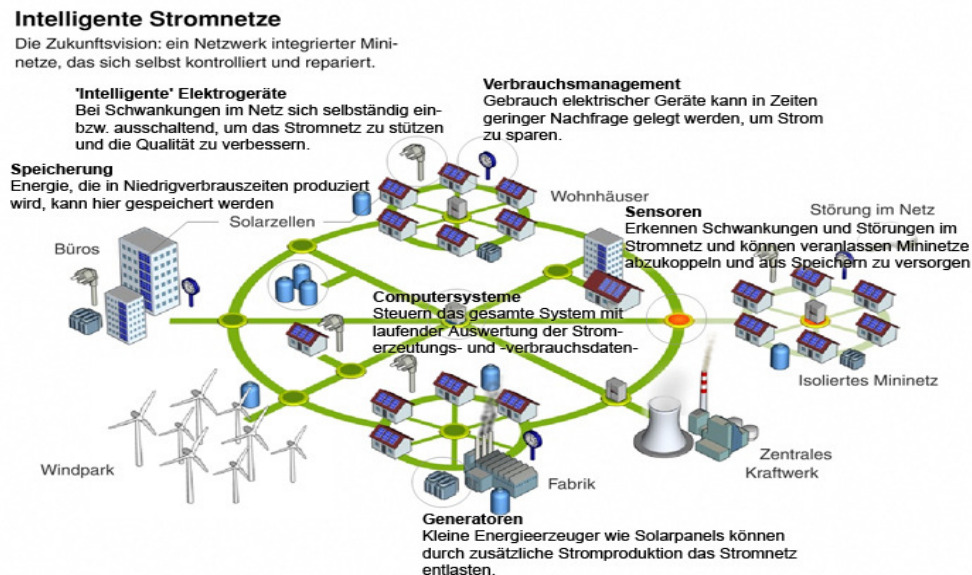


Abbildung 3: Intelligente Netze: Eine Vision für die Energie-[R]evolution

³ Vergleiche auch Ecogrid Phase 1, zusammenfassender Bericht unter http://www.energinet.dk/NR/ronlyres/8B1A4A06-CBA3-41DA-9402-B56C2C288FB0/0/EcoGriddk_phase1_summaryreport.pdf

Supernetze (supergrids)

Supernetze sind Langstreckenverbindungen auch zwischen Ländern und Kontinenten typischerweise auf Basis der Hochspannungs-Gleichstromübertragungstechnik (HGÜ). Intelligente Netze und Supernetze sind keine Fiktion mehr, sondern lediglich eine Weiterentwicklung der heutigen Netze. Vielmehr befinden sich bereits heute verschiedene Arten von Hochspannungssystemen in Entwicklung und Betrieb, die sich für Langstreckenverbindungen eignen. Mit der Hilfe von Supernetzen können Gebiete mit hohem Verbrauch - wie Mitteleuropa - mit Gebieten mit großem Angebot - wie Nordafrika - effizient verbunden werden. Somit kann allen Beteiligten eine nachhaltige Energieversorgung und ein nachhaltiges Einkommen ermöglicht werden.

Auch verschiedenste Speichertechnologien, wie elektrochemische Batterien, sind heute schon verfügbar. Ob sich eine groß angelegte Speicherung von Elektrizität (von der Wasserkraft abgesehen) technisch und wirtschaftlich rentabel durchführen lässt, ist heute jedoch noch fraglich. Brauchbare Speichersysteme müssten in der Lage sein, zwei Wochen lang bei geringer Sonneneinstrahlung und schlechten Windbedingungen einen großen Teil des europäischen Strombedarfs decken zu können. Angesichts der aktuellen technischen Entwicklungen ist dies eher schwer vorstellbar. Die neue Simulationsstudie von Greenpeace zeigt, dass derartige Extremsituationen mit wenig Sonneneinstrahlung und wenig Wind in vielen Teilen Europas zwar nicht häufig aber durchaus auftreten können. Das Stromversorgungssystem muss daher so ausgerichtet sein, dass es auch bei großen Mengen an Erneuerbarer Energie mit Extremsituationen dieser Art umgehen kann.

Für die Auslegung eines Stromversorgungssystems, das angemessen auf Extremsituationen wie diese reagieren kann, bedarf es ausführlicher Planungen, damit stets ausreichend Erzeugungskapazität und genügend Netzkapazität verfügbar ist, um den Bedarf zu decken. Dafür müssen verschiedene Zeitfenster berücksichtigt werden:

- Langfristige Planungen zur Bewertung der angemessenen Systemauslegung in den nächsten Jahren (normalerweise wird hier ein Zeitfenster von zwei bis zehn Jahren angesetzt).
- Tägliche Planungen, damit ausreichend Erzeugungskapazität für den erwarteten Bedarf vorhanden ist (normalerweise 12 bis 36 Stunden im Voraus).
- Kurzfristiger Ausgleich im Fall von Diskrepanzen zwischen Erzeugung und vorhergesagtem Bedarf oder im Fall von plötzlichen Erzeugungsausfällen (normalerweise Sekunden bis Stunden Vorplanung).

Kleine Veränderungen im Versorgungssystem – wie beispielsweise die Zuführung von kleinen Mengen Solarenergie oder Windenergie in ein bestehendes Netzwerk – haben dann nur geringe Auswirkungen auf die Auslegung des Gesamtsystems. Ein Energiemix, so wie ihn Greenpeace im Rahmen der Energie-[R]evolution vorschlägt, würde eine wesentliche Veränderung in der Erzeugungsstruktur bedeuten. So müsste die Netzstruktur an die neue Erzeugungsstruktur angepasst werden, so dass selbst in Extremsituationen bei geringer Sonneneinstrahlung und schwachem Wind in vielen Teilen Europas trotzdem „kein Licht ausgeht“. Eines der

Schlüsselemente der neuen Netzwerkstruktur wird das Onshore- und Offshore-Supernetz sein, das in dieser Zusammenfassung noch genauer beschrieben wird.

Die Ausweitung von Übertragungsnetzen war schon immer eine maßgebliche Voraussetzung für die Entwicklung einer zuverlässigen und wirtschaftlichen Stromversorgung. Werden nun circa 90 % des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen, müssen auch die Übertragungsnetze wesentlich angepasst werden. Mit den richtigen Netzen können wir eine wirtschaftliche, zuverlässige und nachhaltige Energieversorgung gewährleisten.

Supernetze in der „Energie-[R]evolution für die EU-27“

Im Energiemix der Energie-[R]evolution von Greenpeace⁴ kommt es vor allem darauf an, dass die dezentrale Erzeugung näher an den tatsächlichen Verbrauchsstandorten stattfindet (über 70 % der gesamten Erzeugung erfolgt in der Nähe der Lastzentren). Um die Schwankungen in der regionalen Stromversorgung auf Grund von Schwankungen zwischen Bedarf und lokal vorhandenen erneuerbaren Energiequellen auszugleichen, werden Biomasse, Pumpspeichersysteme und große erneuerbare Kraftwerke wie Offshore-Windparks in der Nordsee und solarthermische Kraftwerke (CSP) in Nordafrika eingesetzt. Das Szenario setzt voraus, dass die Verbraucher in Zukunft flexibler werden in ihrem Bedarf. Ebenso wird davon ausgegangen, dass ca. 20 % des Bedarfs vor Ort mit Hilfe der Laststeuerung bzw. lokaler Speichermöglichkeiten für drei bis vier Stunden reduziert werden kann.

Das entscheidende Ziel der Umgestaltung von Übertragungssystemen im Rahmen des E[R] Energiemix-Szenarios ist es, rund um die Uhr, also 24 Stunden am Tag und 7 Tage die Woche, Strom zur Verfügung zu haben – auch in Extremsituationen. Zu diesen Extremsituationen gehören zum Beispiel:

- Im Winter Windstille und gleichzeitig niedrige Sonneneinstrahlung in großen Teilen Europas,
- eine ungeplante Versorgungslücke, beispielsweise die Unterbrechung einer wichtigen Verbindung zu einem großen Offshore-Windpark (n-1-Kriterium), die Auswirkungen einer derartigen plötzlichen Unterbrechung zeigen sich innerhalb von Millisekunden.

In beiden Fällen ist ein entsprechend ausgelegtes Übertragungssystem die beste Lösung, da es in der Lage ist, den benötigten Strom aus Gebieten mit Überschüssen in Gebiete mit Strommangel zu transportieren.

Allgemein gilt, dass das Übertragungssystem so ausgelegt sein muss, dass es mit langfristigen Problemen (Schwankungen zwischen einzelnen Jahren), mittelfristigen Problemen (z.B. saisonal schwankende Verfügbarkeit von Rohstoffen) und kurzfristigen Problemen (Planung innerhalb von Minuten oder Stunden) umgehen können muss.

⁴ Das Szenario der Energie-[R]evolution bietet einen praktischen Entwurf für eine Zukunft Erneuerbarer Energien auf der ganzen Welt. Im internationalen Kampf gegen die Klimakatastrophe müssen die weltweiten Treibhausgasemissionen aus dem Energiebereich bis 2015 ihr Maximum erreicht haben und bis 2020 wieder auf die aktuellen Werte zurückgekehrt sein. Dieses Szenario stellt hierfür den effektivsten Weg dar.

3. Ergebnisse & Empfehlungen

Ergebnisse der Netz-Simulation für die „Energie-[R]evolution“ für die EU-27

Für die Studie wurden „Extremsituationen“ bezüglich des Ausgleichs zwischen Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie einerseits und hohem Strombedarf andererseits ausgewählt und ein Modell für die Stromversorgung auf Grundlage des E[R]-Energimixes entwickelt. Dabei wurden die folgenden Ergebnisse ermittelt:

- Tritt im **Sommer** ein Extremfall mit hohem Verbrauch und extrem schwachem Wind auf (wie im August 2003), reicht der verfügbare Strom aus Photovoltaik aus, um den Mangel an Windkraft auszugleichen. Das bestehende Netz müsste dann auch nach dem Erneuerbare Energien-Szenario nicht verändert werden.
- Tritt hingegen im **Winter** ein Extremfall auf, in dem die Sonnenstrahlung und der Wind schwach sind (wie im Januar 1997), ist der Bedarf in Mitteleuropa und Großbritannien größer als die verfügbare Kapazität, wohingegen die Produktionskapazitäten in Nord- und Südeuropa den Verbrauch übersteigen. Nun kann Energie aus Nordeuropa (v.a. Wasserkraft) und Südeuropa (v.a. Solarenergie) nach Mitteleuropa transportiert werden. Um dies mit Erneuerbaren Energien erreichen zu können, müssen die Netzverbindungen zwischen Spanien und Frankreich, Italien und Frankreich, Rumänien und Polen, Schweden und Polen sowie Irland und Großbritannien verstärkt werden.
- Tritt, wie im November 1987, ein Extremfall im **Herbst** auf, bei dem sowohl die Sonneneinstrahlung als auch der Wind sehr schwach sind, wäre eine Verstärkung der bestehenden Hochspannungs-Wechselstromverbindungen und die Einführung eines Supernetzes ausreichend.

Um die Häufigkeit dieser Extremfälle feststellen zu können, wurden im Rahmen der Studie die Winddaten der letzten 30 Jahre analysiert. Die Simulationen zeigen, dass Extremfälle vor allem im Winter zu erwarten sind, wenn der Stromverbrauch hoch und die Stromerzeugung aus Solarenergie niedrig ist.

In den letzten 30 Jahren ist die potentielle Erzeugungskapazität aus Windkraft in Europa zur Winterzeit im E[R]-Szenario nur zu 0,4 % der Zeit unter 50 GW gefallen, was bei einer durchschnittlichen Dauer von 12 Stunden einmal pro Jahr entspricht.

Empfehlungen für die Umgestaltung der Stromnetzinfrastruktur in Europa

Damit auch in Szenarien mit extremen Wetterbedingungen und hohem Strombedarf eine zuverlässige, sichere Stromversorgung Europas gewährleistet werden kann, wurden im Rahmen der Studie die folgenden Empfehlungen entwickelt:

- 34 Hochspannungs-Wechselstromverbindungen zwischen benachbarten europäischen Ländern müssen verstärkt werden. Für die 5.347 km verstärkter Stromleitungen fallen Kosten in Höhe von ca. 3 Milliarden Euro an.
- 17 Hochspannungs-Gleichstromübertragungsnetze innerhalb Europas müssen verstärkt oder neu verlegt werden. Für die 5.125 km neuer oder ausgebauter Stromleitungen fallen dafür Kosten in Höhe von etwa 16 Milliarden Euro an.
- Bis zu 15 neue Supernetze (Hochspannungs-Gleichstromübertragungsnetze) werden benötigt.
 - Innerhalb Europas bis zu 11 Verbindungen mit einer Gesamtlänge von 6.000 km zu Kosten in Höhe von etwa 100 Milliarden Euro (+/- 10 %). Dies entspricht einer Ausdehnung des europäischen Stromnetzes um 4 Prozent.
 - Die Kapazität der benötigten Verbindungen zwischen Europa und Afrika hängt im Wesentlichen von der Menge des importierten Stroms aus solarthermischen Kraftwerken und von den verfügbaren Speicherkapazitäten in Europa ab. Ohne zusätzliche Optimierung und ohne zusätzliche Speicherkapazität werden vier Hochspannungs-Gleichstromverbindungen mit einer Gesamtlänge von 5.500 bis 6.000 km zu Kosten von etwa 90 Milliarden Euro (+/- 10 %) benötigt.

Insgesamt lägen die Kosten für das vorgeschlagene EU-27 - Szenario bei rund 209 Milliarden Euro bzw. jährlich bis 2050 bei je 5,2 Milliarden Euro⁵. Betrachtet man nun den in der Energie-[R]evolution von Greenpeace angenommenen Stromverbrauch, würden sich die Kosten für jede Kilowattstunde Strom dadurch in 2050 um 0,15 Cent erhöhen. Um die tatsächlichen Kosten für das benötigte Netz beziffern zu können, bedarf es jedoch noch weiterer Forschung. Besonders eine größere Speicherkapazität in Europa, beispielsweise durch Elektrofahrzeuge, und eine weitere Optimierung der Energieerzeugung können die Kosten für Netzerweiterungen erheblich reduzieren.

⁵Zum Vergleich: Allein in Deutschland betragen derzeit die jährlichen Investitionen für die Wartung der deutschen Stromnetze rund 2 Mrd. Euro.

Greenpeace fordert die Bundesregierung auf:

1. den politischen Rahmen für einen Umbau des deutschen und europäischen Stromversorgungssystems zu schaffen, damit eine vollständige Versorgung mit Strom aus erneuerbaren Energien spätestens in 2050 erreicht werden kann
2. eine mittel- und langfristige Energie-Infrastrukturplanung zu entwickeln und umzusetzen
3. Maßnahmen zu ergreifen, um den nationalen und europäischen Netzausbau zu beschleunigen und ein europäisches Stromverbundnetz zu schaffen
4. die Forschung, Entwicklung und Markteinführung in den Bereichen Nachfragemanagement, intelligenter Netze, Kombikraftwerke sowie Stromspeichersysteme massiv auszuweiten
5. eine (eigentumsrechtliche) Entflechtung zwischen Stromerzeugung und Übertragungs-Netzbetrieb im Energiemarkt durchzusetzen. Die deutschen Übertragungsnetze müssen dafür in eine unabhängige Netz AG mit (mehrheitlich) staatlicher Beteiligung überführt werden! Neben E.on und Vattenfall müssen auch EnBW und RWE ihre Übertragungsnetze an die Netz AG abtreten!
6. bei siedlungsnahem Netzausbau (Übertragungs- und Verteilnetz) die Verwendung von Erdkabeln vorzuschreiben, um Anwohnerinteressen zu wahren und langwierigen Rechtsstreitigkeiten vorzubeugen