

Speicher für sicheren Strom aus Wind und Sonne

Wie viel Ausgleich und Speicher erfordert eine sichere und bedarfsgerechte Stromversorgung mit erneuerbaren Energien und was sind die maßgeblichen Einflüsse?

Dieser in der Vergangenheit kaum untersuchten Frage wurde nun erstmals mit einer systematischen Analyse europäischer Winddaten seit 1970 und Solarstrahlungsdaten seit 1996 nachgegangen.

Die Dissertation „**Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit Erneuerbaren Energien**“ des Autors entstand am Lehrstuhl für Wärme und Brennstofftechnik der TU Braunschweig (Prof. Dr. Reinhard Leithner) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Physik der Universität Oldenburg (Prof. Dr. Jürgen Parisi) und dem Lehrstuhl für Energiesysteme und Energiewirtschaft der Ruhr-Universität Bochum (Prof. Dr. Hermann-Josef Wagner). Sie wird vom Springer Verlag als Buch herausgegeben und zeigt, wie ohne Rückgriff auf fossile und nukleare Kraftwerke, allein mit Wind, Sonne und Speichern, eine zuverlässige Stromversorgung aufgebaut werden kann.

Die Herausforderung

Stromerzeugung und –Verbrauch müssen stets präzise aufeinander abgestimmt sein. Das ist bei einer wetterlaunigen Energie aus Wind und Sonne eine besondere Herausforderung. Die durchgeführten Langzeitanalysen und Vorschläge für neue Speicher belegen die Lösbarkeit dieser Herausforderung und eröffnen ganzheitliche Ansätze für eine nachfragegerechte regenerative Stromversorgung.

Sonne und Wind sind die großen regenerativen Energiequellen

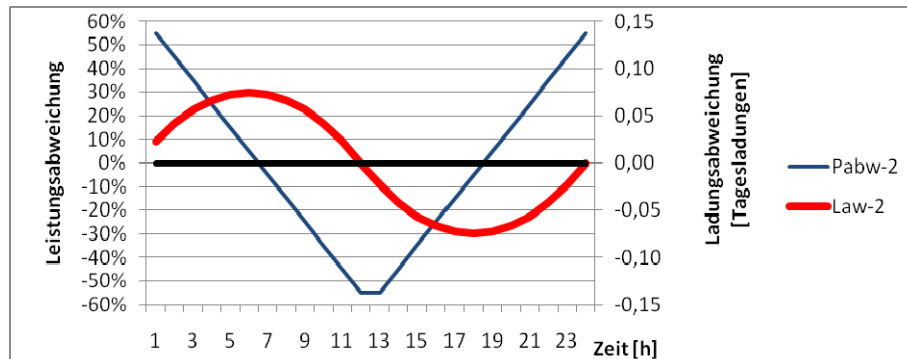
Die einstrahlende Sonne übertrifft den Energiebedarf der Menschheit um das 8000-fache. Die Energie des Windes, aus dem damit angefachten Wettergeschehen, um das 700-fache. Andere natürlich und nachhaltig verfügbare Energieformen, wie die Wasserenergie aus Flüssen oder die chemisch gebundene Energie aus dem Pflanzenwachstum, stehen in deutlich geringerem Umfang zur Verfügung. Eine Stromversorgung aus erneuerbaren Energien wird deshalb in hohem Maße auf die Nutzung von Wind und Sonne zurückgreifen.

Neue Berechnungsverfahren

Der Kapazitätsbedarf für Speicherkraftwerke zum Ausgleich zwischen einer wetterabhängigen Stromgewinnung und dem Verbrauch lässt sich für die Länder Europas aus verfügbaren Daten zu Windgeschwindigkeit, Sonneneinstrahlung und Stromnachfrage ermitteln. In Form von **Ladungsabweichungen** und **Speicherleerungskurven** wurden neue Berechnungsverfahren für diesen Zweck entwickelt. Die gute Datenlage in Deutschland ermöglicht den Vergleich der tatsächlichen Einspeisungen aus Wind- und Solarenergieanlagen mit den aus digitalen Wetterarchiven berechneten. Dadurch konnten die angewandten Verfahren überprüft werden.

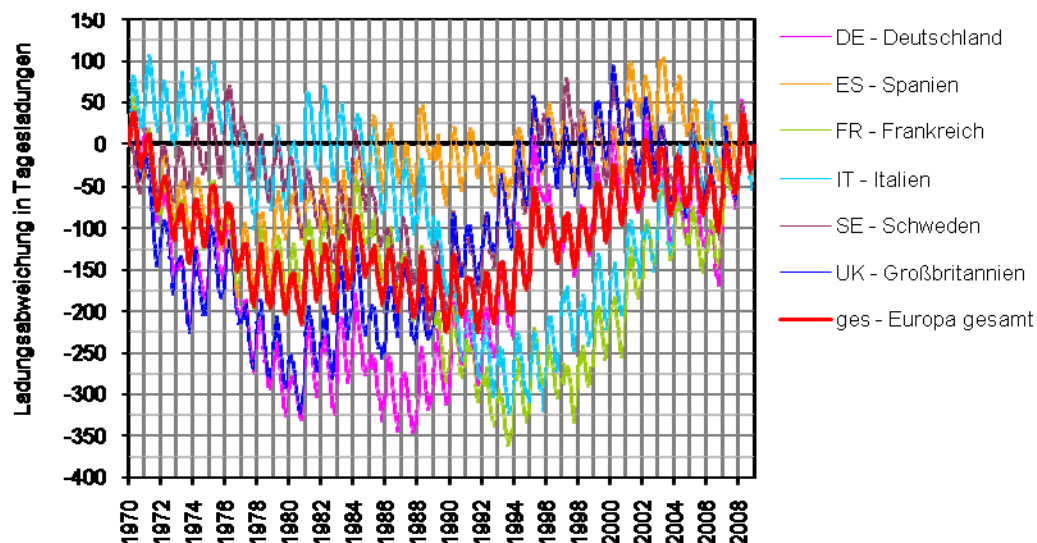
Ladungsabweichung - Erklärung

Eine Tagesladung ist die Energie, die in einem Versorgungsgebiet im Langzeitdurchschnitt an einem Tag umgesetzt wird.



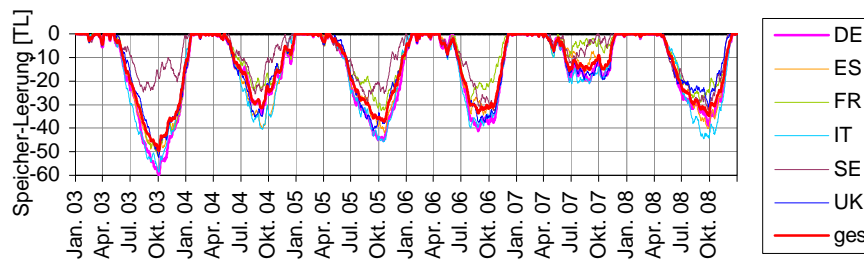
Wenn eine fluktuierende Erzeugungsleistung beispielsweise von ihrem Durchschnittswert erst nach oben, dann nach unten und schließlich wieder nach oben abweicht (siehe Pabw-2), dann würde, bei permanent geforderter Durchschnittsleistung, ein Speicher erst aufgeladen, dann entladen und danach wieder aufgeladen. Die Ladung (siehe Law-2, rechte Ordinate) des Speichers würde erst zunehmen, dann abnehmen und später wieder zunehmen. Die Ladungsabweichung zeigt anschaulich, wie ein Speicher beansprucht würde, um aus einer veränderlichen Leistung eine gleichbleibende, in Höhe der Durchschnittsleistung, zu machen.

Ladungsabweichung der Windenergie in Europa



Dargestellt sind die Ladungsabweichungen von Windenergieanlagen für ausgewählte Länder und die anteilsgewichtete Summe aller Länder des europäischen Stromverbundes. Es zeigt sich für alle Länder Europas ein typischer Verlauf. Im Herbst und im Winter nimmt die Ladungsabweichung zu – die Speicher würden aufgeladen, im Frühjahr und im Sommer nimmt die Ladungsabweichung ab – die Speicher würden entleert. Das globale Wettergeschehen sorgt in allen europäischen Ländern für stärkere Winde im Winter als im Sommer. Dieser kontinentale Effekt ließe sich durch eine leistungsstarke Vernetzung Europas nicht ausgleichen. Es zeigt sich jedoch, dass die einzelnen Windjahre in den Ländern Europas erhebliche Unterschiede aufweisen.

Speicherleerungskurven



Die Abbildung zeigt Speicherleerungskurven für die größten Länder Europas und verbrauchsanteilsgerichtet für den gesamten Kontinent (ges). Mit den Annahmen, die dem Szenario zugrunde liegen, lässt sich daraus die Inanspruchnahme (Leerung in Tagesladungen [TL]) von Speichern für eine sichere und bedarfsgerechte Stromversorgung ablesen. Die beispielhaft dargestellten Kurven gehören zu einer Versorgung mit Windenergieanlagen, deren Leistungscharakteristik dem Anlagenbestand Deutschlands im Jahre 2010 entspräche. Den Speicherleerungskurven kann bei einer repräsentativen Langzeituntersuchung die erforderliche Speicherkapazität entnommen werden, die notwendig wäre, um eine stets sichere und bedarfsgerechte Versorgung zu gewährleisten.

Gleichberechtigte Zusammenarbeit zum Vorteil der beteiligten Länder

Jedes Land Europas kann allein aus Wind und Sonne die Energie gewinnen, die es selbst verbraucht. Damit werden alle beteiligten Länder zu gleichberechtigten Partnern eines Energieverbands zum gegenseitigen und friedensstiftenden Vorteil.

Dieses Konzept unterscheidet sich fundamental von der konventionellen Energieversorgung mit erheblichen Interessensunterschieden zwischen Liefer- und Bezugsländern von Energieträgern.

Es ist auch ein Alternativentwurf zu Desertec (Solarstrom für Europa aus der Sahara) oder Überlegungen zu einem massiven Ausbau der Offshore Windenergie in der Nordsee mit Nutzung der natürlichen Wasserflächen Skandinaviens zur Pumpspeicherung und den einhergehenden Eingriffen in die dortigen Wasserökosysteme. Für Stromimportländer sind derartige Vorschläge mit unausgewogenen Abhängigkeiten von anderen Ländern bei einer regenerativen Stromversorgung, wenig attraktiv.

Minimierung des Ausgleichs- und Speicherbedarfs

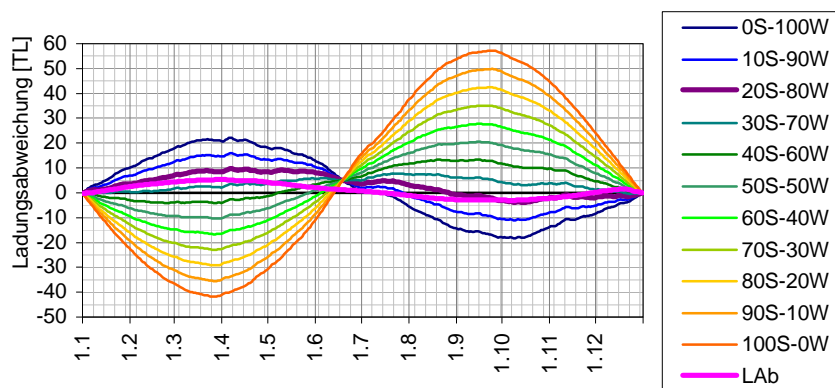
Wenn jedes Land mit einer gewissen Erzeugungsreserve den eigenen Durchschnittsverbrauch mit Wind- und Solarenergieanlagen produziert, dann liegt der Speicherbedarf für den Ausgleich mit der Nachfrage zwischen wenigen Tagesladungen und einigen Monatsladungen des durchschnittlichen Verbrauchs. Dieser große Unterschied hängt von verschiedenen Einflüssen ab.

Eine kontinentale Verteilung und Vernetzung der volatilen Stromerzeugung ermöglicht erhebliche Ausgleichseffekte zwischen zeitweiliger Überproduktion und Defiziten, weil Hoch- und Tiefdruckgebiete über den Kontinent hinweg ziehen und für unterschiedliche Wetterlagen in den Teilregionen sorgen. Starke Winde treten in Europa vorwiegend im Winter auf. Eine geschickte Kombination der Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie

reduziert deshalb drastisch den Ausgleichsbedarf im Vergleich zu Monostrukturen, die nur auf Wind- oder nur auf Solarenergie setzen würden.

Erheblichen Einfluss auf den Ausgleichsbedarf zwischen Erzeugung und Verbrauch hat auch der Benutzungsgrad von Windenergieanlagen. Dieser gibt an, wie hoch die durchschnittliche Leistungsabgabe, bezogen auf die installierte Nennleistung ist. Für den Anlagenbestand im Deutschland des Jahres 2010 ergibt sich ein durchschnittlicher Benutzungsgrad von ca. 20%. Das erweist sich als unvorteilhaft bei der beabsichtigten Steigerung des Windenergieanteils an der Stromversorgung. Sowohl die über Hochspannungsleitungen zu übertragenden Leistungen als auch der Ausgleichs- und damit Speicherbedarf ließen sich durch eine Auslegung der Windenergieanlagen auf einen Benutzungsgrad von beispielsweise 50% erheblich reduzieren.

Kombination von Wind und Sonne



Variation der Anteile von Solar- und Windenergie zur Veränderung der Ladungsabweichungen in Tagesladungen [TL] des damit gewinnbaren Stroms gegenüber der Ladungsabweichung der Stromnachfrage in Deutschland (LAb). Das Beispiel zeigt, wie die Ladungsabweichung der regenerativen Stromerzeugung nahe an die Bedarfskurve angenähert und der Speicherbedarf minimiert werden kann. Das wäre unter den zugrunde liegenden Annahmen bei einer Stromerzeugung mit einem Windanteil von 80% und einem Solaranteil von 20% der Fall. Die verfügbare Windenergie gründet sich auf einen Benutzungsgrad von 50% und die verfügbare Solarenergie wurde leistungsproportional zur Globalstrahlung angesetzt. Basis ist eine Zeitpunktmittelung zwischen 1996 und 2008 für ein Gebiet zur Windenergiegewinnung in Hessen und das urbane Zentrum zur Solarenergiegewinnung Frankfurt am Main.

Erklärung der Legende:

%S-%W (Beispiel: 20S-80W): Ladungsabweichung bei einer Erzeugungsstruktur mit den angegebenen prozentualen Beiträgen der Solarenergie und der Windenergie für die Kombinationskurve in %. Solaranteil und Windanteil zusammen ergeben immer 100%.

LAb: Ladungsabweichung des Bedarfs vom Mittelwert.

Ein weiterer starker Hebel zur Reduzierung des Ausgleichsbedarfs ist die Erzeugungsreserve. Das ist die aufgebaute Erzeugungsleistung, die es ermöglicht, im Langzeitdurchschnitt mehr regenerative Energie in Strom umzuwandeln, als nachgefragt wird. Sie ist notwendig zum Ausgleich von Übertragungs- und Speicherverlusten und zur Überbrückung windschwacher und nachfragestarker Jahre. Je mehr davon vorgehalten wird, desto weniger werden Speicher in Anspruch genommen und desto schneller werden sie wieder gefüllt.

Auch im konventionellen Kraftwerkspark reicht es nicht aus, Kraftwerke nur für die

durchschnittliche Nachfrage vorzuhalten. Bei einer zuverlässigen Stromversorgung muss die größte zu erwartende Nachfragespitze versorgt werden können.

Die geschickte Abstimmung aller Parameter ermöglicht eine sichere, bedarfsgerechte Stromversorgung mit einem Speicherbedarf von wenigen Tagen. Das wäre wesentlich mehr, als an Speicherkapazität im Jahr 2010 zur Verfügung steht.

Neue Pumpspeichersysteme hoher Kapazität unabhängig von Gebirgen

Mit Ringwallspeichern werden neue Typen von Pumpspeicherkraftwerken zur Diskussion gestellt, die in allen Ländern, auch im flachen Land, ohne gravierende Eingriffe in vorhandene Wasserökosysteme, errichtet und mit den erforderlichen großen Kapazitäten ausgestattet werden können.

Ringwallspeicher-Hybridkraftwerk



Die beispielhaft skizzierte Anlage hätte einen Durchmesser von 11,4 Kilometer und eine Ringwallhöhe von 215 Meter. Die maximale Pegeldifferenz im Oberbecken läge bei 50 Metern, im Unterbecken bei 20 Metern, der mittlere Höhenunterschied der Wasserflächen beträgt 200 Meter. Das Oberbecken und der südliche Wall sind mit Solarenergieanlagen bestückt. In Kombination mit ca. 2000 Windenergieanlagen (Nabenhöhe z.B. 160 Meter, Rotordurchmesser 120 Meter) könnte die Anlage die Leistung zweier Kernkraftwerke ersetzen und sicheren bedarfsgerechten Strom liefern.

Mit dem Aushub des äußeren Wasserrings für das Unterbecken wird der Ringwall für das innen liegende Oberbecken aufgebaut. Mit Stromüberschüssen wird Wasser nach oben gepumpt, das bei Strommangel über eine Turbine wieder zurückfließt. Für die Bemessung der Anlage gilt: eine Verdoppelung der geometrischen Abmessungen von Durchmesser, Höhe und vorgesehenen Pegelschwankungen in Ober- und Unterbecken führt zu einer Verzehnfachung des Energieinhalts. Ein Ringwallspeicher ermöglicht dadurch größte Speicherkapazitäten.

Eine sichere Stromversorgung, allein mit Wind-, Solar- und Speicherkraftwerken in Europa ist daher eine reale Option.

Vergleich mit anderen Ansätzen

Bei dem Konzept handelt es sich in jeder Hinsicht um bekannte Techniken, zu denen jahrzehntelange Erfahrungen vorliegen.

Was die Höhe des Ausgleichs- oder Speicherbedarfs betrifft, dürfte die durchgeführte Untersuchung die bisher erste und einzige sein, die diesen Bedarf auf der Basis langjähriger Zeitreihen von Wind- und Sonnenenergie systematisch, sowohl national als auch europaweit analysiert.

Dessertec

Strom für Europa aus der Sahara würde, wenn er bedeutende Ausmaße annehmen soll, zu einer Abhängigkeit beim Strom von den gleichen Kulturkreisen führen, aus denen schon Öl und Gas bezogen wird.

Umbau skandinavischer Seen zu Pumpspeichieranlagen

Überlegungen, anstelle von Ringwallspeichern, die in der vorgeschlagenen Form kaum in bedeutende Ökosysteme eingreifen würden, die skandinavischen Seen zu Pumpspeichersystemen umzubauen, würden massiv in die dort vorhandenen natürlich gewachsenen Wasser-Ökosysteme eingreifen. Übertragungsverluste für den Hin- und Rückübertragung des Stroms wären ebenso zu berücksichtigen.

Andere Speichertechnologien

Durch den Einsatz von Speichern hohen Wirkungsgrades minimiert das vorgeschlagene System den Bedarf an Erzeugungsanlagen. Bei wirkungsgradschwächeren Speicheralternativen (z.B. Wasserstoffwirtschaft oder Methanwirtschaft) müssten deutlich mehr Windparks und Solarparks aufgebaut werden, um die auftretenden Verluste ausgleichen zu können.

Biomasse

Das vorgeschlagene System wäre umweltschonend, weil es auf die Verstromung von extra dafür angebaute Biomasse und auf den damit verbundenen enormen Flächenbedarf verzichtet. Schon heute (2010) wäre Deutschland damit in der Lage, die Hälfte der zur Stromproduktion mit Monokulturen intensiv genutzten Agrarflächen (ca. 6500 Quadratkilometer) in eine unberührte Natur zurückzuführen und damit großräumig vernetzte Naturräume inmitten des hoch industrialisierten Landes zu schaffen.

Der Flächenbedarf großer Ringwallspeicher inklusive der Flächen zur Aufstellung von und zur Zufahrt zu Windenergieanlagen wäre deutlich weniger, als im Jahr 2010 schon als Anbaufläche zur Verstromung von Biomasse eingesetzt wird.

Während dieser enorme Landverbrauch zur Stromerzeugung mit Biogasanlagen einen kleinen Beitrag zur Stromversorgung liefert, könnte man (je nach Auslegung) mit einem Sechstel bis der Hälfte dieses Flächeneinsatzes die vollständige Stromversorgung der Bundesrepublik Deutschland mittels Ringwallspeicher-Hybridkraftwerken realisieren.

Braunkohle

Der Flächenbedarf für einzelne Ringwallspeicher ist nicht größer, als derjenige von großen Braunkohletagebauen.

Hätten wir das Stromversorgungssystem mit Ringwallspeicher-Hybridkraftwerken etabliert und jemand würde den Vorschlag machen, für 40 Jahre Stromerzeugung einen Braunkohletagebau zu eröffnen, bei dem 85 Quadratkilometer Land bis zu 400 Meter tief umgegraben werden, dann würde man das als utopisch bis verrückt erklären.

Diese Braunkohletagebaue sind in unserem Lande allerdings Realität und man findet

möglicherweise, auf den ersten Blick, die mit viel weniger Erdbewegungen verbundenen Ringwallspeicher als sehr futuristisch.

Wenn es gelingt, erst einmal ein derartiges System zu errichten, dann wird es genau so akzeptiert werden, wie in den letzten 200 Jahren die Kohlewirtschaft.

Zusammenfassung

Ein Verzicht

- *auf energetisch genutzte Agrarflächen*
 - *zugunsten Ringwallspeicher-Hybridkraftwerken*
- eröffnet Freiräume für*
- *großräumig vernetzte Naturlandschaften.*

Prof. Dr. Carsten Ahrens von der Jadehochschule Oldenburg charakterisierte den Ringwallspeicher auf der Ingeniera 2010 in Buenos Aires als *"technical building and tourism paradise"*.

Die geschickte Ausgestaltung von Ringwallspeichern bringt den Regionen zusätzlichen Freizeitwert. Sie dürften sich als touristische Magnete erweisen.

Eine Realisierung der zur Diskussion gestellten Vorschläge für eine robuste, bedarfsgerechte und sichere erneuerbare Stromversorgung ist deshalb mehr eine Frage der gesellschaftlichen Willensbildung als eine technische oder wirtschaftliche Herausforderung.

Wunsiedel, im Oktober 2010

Dr.-Ing. Matthias Popp
Burgstraße 19
D-95632 Wunsiedel
Tel. 09232 / 9933 – 11
matthias@POPPware.de

Weiterführende Informationen finden Sie unter
www.POPPware.de und www.Ringwallspeicher.de

Matthias Popp: Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien,
Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010, ISBN: 978-3-642-01926-5