

# Regenerativstrom im Ringwall speichern

Der Bedarf an Ausgleichs- und Speicherenergie für eine sichere Stromversorgung allein aus Wind- und Sonnenenergie hängt von zahlreichen Parametern ab und variiert von einigen Tagesladungen bis zu mehreren Monatsladungen der durchschnittlich nachgefragten elektrischen Leistung. Diese Einflussparameter wurden systematisch in einer Dissertation zum Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit fluktuierenden erneuerbaren Energien untersucht. Mit dem Ringwallspeicher wird ein Pumpspeichersystem vorgestellt, das unabhängig von den geodätischen Gegebenheiten (Gebirgen) an vielen Orten errichtet werden könnte, um Stromspeicherlücken zu schließen.

**D**ie Einbindung von Windenergie- und Photovoltaikanlagen als Ersatz für Kohle- und Kernkraftwerke in der künftig geplanten Größenordnung erfordert Speicherkraftwerke in erheblichem Umfang. Bisher ist kaum erforscht worden, welchen Ausgleichs- und Speicherbedarf eine derartige Versorgungsstruktur erfordern würde und von welchen Einflussparametern dieser Bedarf abhängt. Die öffentlich geführte Diskussion im Vorfeld der Errichtung neuer Speicherkraftwerke ist häufig von Unkenntnis über die Bedeutung von

Speichersystemen für eine regenerative Stromversorgung geprägt. Der so launig wie das Wetter verfügbare Strom aus Windenergie- und Photovoltaikanlagen lässt sich im Gegensatz zu Strom aus konventionellen Kraftwerken nicht nachfrageorientiert produzieren. Eine Stromversorgung funktioniert allerdings nur, wenn der in das Netz eingespeiste Strom exakt der Nachfrage entspricht. Solange Windenergie und Photovoltaik nur in geringem Umfang zur Stromversorgung beitragen, können andere bedarfsgerecht einsetzbare Kraftwerke in

**Illustration eines Ringwallspeicher-Hybridkraftwerkes mit 3,2 GW Spitzenleistung und 2,0 GW Durchschnittsleistung bei einer Reichweite von 14 Tagen.**

*Bild: Stefan Schiessl*

dem Maße, in dem Regenerativstrom anfällt, ihre Leistung zurücknehmen und dafür sorgen, dass die Bilanz aus Erzeugung und Verbrauch ausgeglichen ist. Die Stromeinspeisungen aus Windenergieanlagen erreichen bereits heute bei Starkwind in einigen Regionen Deutschlands Größenordnungen, die die Netzlast deutlich überschreiten. Mit den Regelmöglichkeiten des konventionellen Kraftwerksparks lässt sich dieses Überangebot nicht mehr ausgleichen. Eine

## Autor

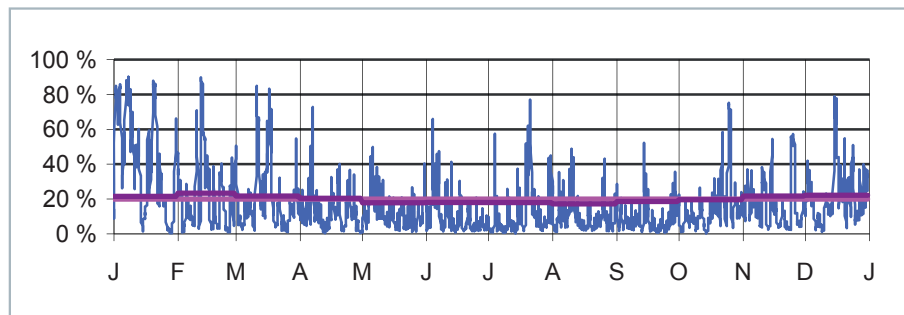
**Dr.-Ing. Matthias Popp**, Jahrgang 1958, von 1979 bis 1983 Studium des Maschinenbaus an der Fachhochschule Coburg, danach bis 1989 Studium des Maschinenbaus an der Technischen Universität München. Im Jahr 2010 promovierte er an der Technischen Universität Braunschweig zum Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien.

[matthias.popp@t-online.de](mailto:matthias.popp@t-online.de)

weitere Option zur Stabilisierung der Stromversorgung wären Stromexporte, wenn entsprechende Netzkapazitäten vorhanden sind, oder die entsprechende Abschaltung von Windenergie- und Photovoltaikanlagen. Sofern die technischen Voraussetzungen vorhanden sind, kann auch die abgenommene Leistung aus Windenergieanlagen reduziert werden. Sind Speicherkraftwerke verfügbar, so ließen sich diese mit der ansonsten abzugehenden elektrischen Leistung aufladen.

## Windenergie

Die Einspeisung von Windenergie ins deutsche Stromnetz ist beispielhaft für das Jahr 2005 im **Bild 1** dargestellt. Die blaue Kurve spiegelt den Anteil der eingespeisten elektrischen Gesamtleistung an der insgesamt installierten Leistung der Windenergieanlagen in Deutschland wider. Demnach wird die installierte Gesamtleistung der Windenergieanlagen praktisch zu keinem Zeitpunkt erreicht. Außerdem treten immer wieder weiträumige Flaute auf. Bei einer Langzeitbetrachtung zeigt sich, dass die vom deutschlandweit verfügbaren Windenergieanlagenkollektiv abgegebene Durchschnittsleistung (rosa) etwa 20 % der installierten Gesamtleistung entspricht. Der mittlere Benutzungsgrad des Anlagenkollektivs beträgt somit rund 20 %. Die tatsächlich eingespeiste elektrische Leistung aus Windenergie unterscheidet sich erheblich von der Nachfrage (Last), deren monatlichen Durchschnittswerte



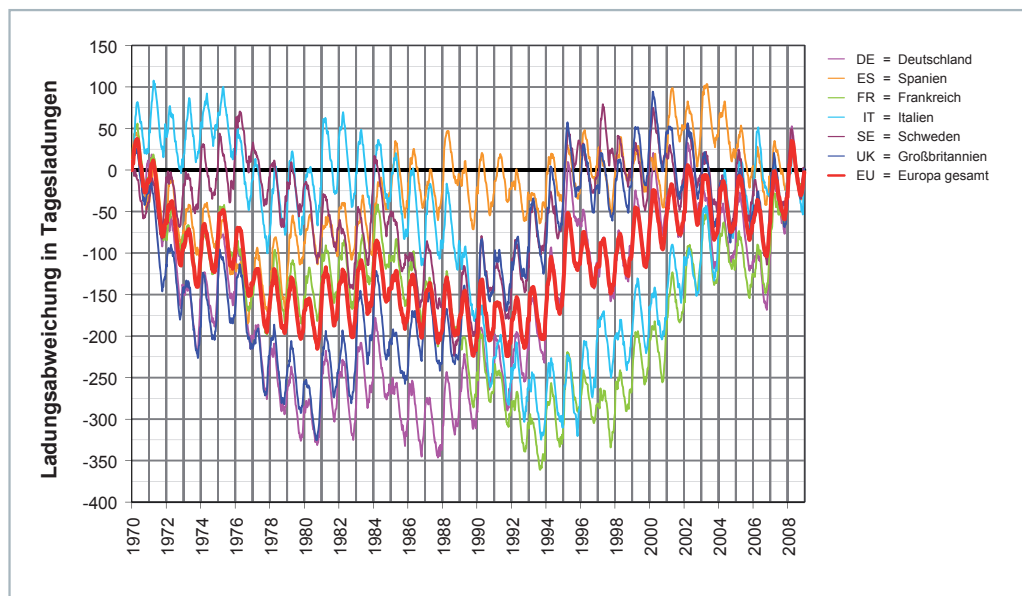
**Bild 1**

**Tatsächlich eingespeiste (blau) und durchschnittliche (rosa) Leistung der deutschlandweit installierten Windenergieanlagen im Jahr 2005 im Vergleich zur mittleren monatlichen Stromnachfrage (lila).**

(lila) ebenfalls im Bild 1 dargestellt sind. Die Stromnachfrage liegt in den Wintermonaten etwas über dem Jahresdurchschnitt und im Sommer etwas darunter. Zudem weist sie einen typischen Tages- und Wochenverlauf auf, der hier nicht dargestellt ist, und unterscheidet sich deutlich von der nur volatil verfügbaren Windleistung. Würde im Jahresverlauf mit Windenergieanlagen genau so viel Energie gewonnen, wie auch verbraucht wird, dann müsste damit immer dann, wenn ein Überangebot vorliegt, ein idealisiert angenommener verlustfreier Speicher gefüllt werden, um damit Defizite in Flautezeiten ausgleichen zu können.

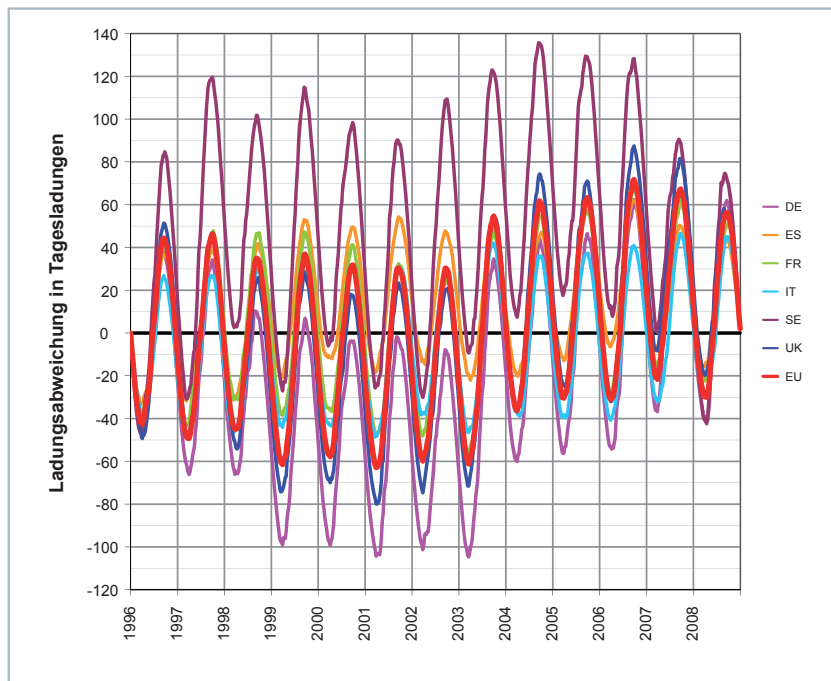
## Charakteristika der Speicherung

Ein idealisierter Speicher würde von seinem Anfangsladezustand ausgehend Ladung aufnehmen, wenn ein temporäres Überangebot volatiler Windleistung vorliegt. In den Fällen, in denen die insgesamt eingespeiste Windleistung nicht ausreicht, um die Nachfrage zu decken, müsste der Speicher entladen werden. Am Jahresende hätte der ideale Speicher wieder die Ladung wie am Jahresanfang. Die Abweichung der Speicherbeladung vom Anfangs- und Endzustand wird als Ladungsabweichung bezeichnet und lässt sich auf die im Langzeitdurchschnitt nachgefragte Leistung bezogen anschaulich in Tagesladungen angeben. Mit einer Tagesladung kann ein Speicher die durchschnittliche Last für einen Tag decken, wenn mangels Dargebot kein Windstrom eingespeist werden kann. Die Ladungsabweichung ist besser als die im Bild 1 dargestellte Leistungskurve geeignet, fluktuierende Einspeisungen regenerativer Stromerzeugungsanlagen über einen längeren Zeitraum zu cha-



**Bild 2**

**Ladungsabweichungen von Windenergieanlagen mit 20 % Benutzungsgrad für ausgewählte Länder in Europa und anteilsgewichtete Summe aller europäischen Länder des Etsö-Verbundes.**



arakterisieren. Die Ladungsabweichung gibt einen deutlichen Hinweis auf den Ausgleichsbedarf, den eine bedarfsgerechte Stromversorgung erfordern würde. In [1] ist die Ladungsabweichung für Windenergie von 1970 bis 2008 für sämtliche Länder Europas untersucht worden. Eines der Ergebnisse ist im **Bild 2** wiedergegeben. Es zeigt sich für alle Länder Europas ein typischer Verlauf. Im Herbst und Winter nimmt die Ladungsabweichung jeweils zu (die Speicher werden aufgeladen) und im Frühjahr und Sommer nimmt sie jeweils ab (die Speicher werden entleert). Das globale Wettergeschehen sorgt folglich in allen europäischen Ländern für stärkere Winde im Winter als im Sommer. Dieser kontinentale Effekt ließe sich folglich auch durch eine leistungsstarke Vernetzung Europas nicht ausgleichen. Bild 2 verdeutlicht auch, dass die Windjahre in den einzelnen Ländern Europas und auch kumuliert erhebliche Unterschiede aufweisen.

#### *Einfluss des Benutzungsgrads*

Der Benutzungsgrad der deutschlandweit installierten Windenergieanlagen beträgt laut Bild 1 durchschnittlich 20 %. Würden diese Anlagen für geringere Generatorleistungen ausgelegt, so würde sich ihr Benutzungsgrad erhöhen, ohne dass es bei der insgesamt eingespeisten Windenergie zu großen Einbußen käme. Diese Strategie ginge mit einer deutlichen Reduzierung der Ladungsabweichungen einher.

Bei einem Benutzungsgrad der Windenergieanlagen von 20 % müsste das Leitungsnetz auf die fünffache Leistung hin ausgelegt sein, um die Überschüsse abnehmen zu können, die über der durchschnittlichen Leistung liegen, mit der die Verbraucher dauerhaft versorgt werden könnten. Auch die Einrichtungen für die Aufladung der Speicher müssten, um Leistungsspitzen aufnehmen zu können, etwa viermal höher ausgelegt sein als zur Versorgung bei Flaute eigentlich notwendig wäre. Durch Erhöhung des Benutzungsgrads von Windenergieanlagen und somit durch Herabsetzen ihrer maximalen Leistung ließe sich ein Gesamtsystem zur bedarfsgerechten Versorgung auf einfachere Weise, mit niedrigeren Übertragungs- und Speicherladeleistungen darstellen.

#### **Photovoltaik**

Ebenso wie bei der Windenergie kann die Ladungsabweichung auch für die Photovoltaik bestimmt werden. Für die Analyse stand über das physikalische Institut der Universität Oldenburg eine europaweite Datenbasis aus Satellitenmessungen von Meteosat von 1996 bis 2008 zur Verfügung [1]. Die aus dieser Datenbasis für die europäischen Länder abgeleiteten Ladungsabweichungen für Photovoltaikanlagen sind in **Bild 3** wiedergegeben. Erwartungsgemäß kann hier ein gegenläufiges Verhalten festgestellt werden. Speicher würden in den

**Bild 3**

**Ladungsabweichungen von Photovoltaikanlagen mit einer zur Globalstrahlung proportionalen Leistungsabgabe für ausgewählte Länder Europas und anteilsgewichtete Summe aller europäischen Länder des Etso-Verbundes.**

Sommermonaten aufgefüllt (Ladungszunahme) und in den Wintermonaten entleert (Ladungsabnahme). Die jährlichen Ladungsabweichungen fallen in den nördlicheren Ländern Europas deutlich stärker aus als in den südlicher gelegenen. Dies ist auf die größeren Unterschiede in den Tageslängen im Jahresverlauf zurückzuführen.

#### **Windenergie plus Photovoltaik**

Der Befund der gegenläufigen Ladungsabweichungen bei Windenergie und Photovoltaik legt nahe, die beiden Energieformen so zu kombinieren, dass sich die resultierende Ladungsabweichung möglichst gut an den Verlauf der Nachfrage anpasst. Im **Bild 4** ist für eine Region in der Mitte Deutschlands beispielhaft aufgezeigt, wie sich bei einer Kombination der volatilen Stromerzeugung aus Windenergie und Photovoltaik die resultierende Ladungsabweichung verändert und an die Ladungsabweichung des Bedarfs angenähert werden kann. In diesem Beispiel wird von Windenergieanlagen mit einem Benutzungsgrad von 50 % ausgegangen, die zu einer geringeren Ladungsabweichung als die heute in Deutschland eingesetzten Anlagen mit rund 20 % Benutzungsgrad führen. Die Basis für die Berechnungen ist eine Zeitpunktmitteilung zwischen 1996 und 2008 für das Rastergebiet zur Windenergiegewinnung Hessen Mitte und das urbane Zentrum zur Solarenergiegewinnung Frankfurt am Main. Im Bild 4 sind die Ladungsabweichungen für Stromerzeugungsstrukturen mit unterschiedlichen prozentualen Beiträgen der Solarenergie (Photovoltaik) und der Windenergie dargestellt. Die Beiträge der Solarenergie und der Windenergie ergeben zusammen immer genau 100 %. Die Abkürzung Lab bezeichnet die Ladungsabweichung des Bedarfs vom Mittelwert. Die geringste Ladungsabweichung von der Nachfrage ergibt sich bei einem zu 80 % aus Windenergie und zu 20 % aus Photovoltaik zusammengesetzten Stromversorgungssystem.

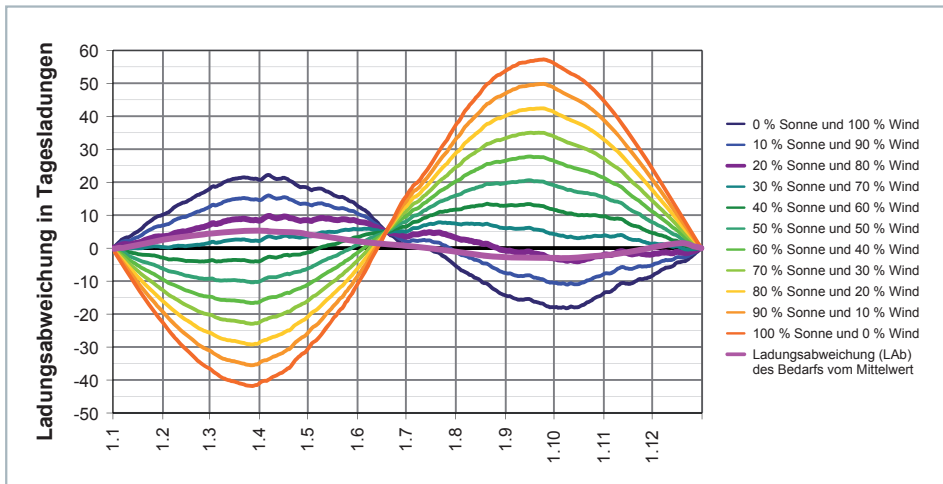


Bild 4

Ladungsabweichungen bei einer Variation der Solar- und Windenergieanteile für eine Region in der Mitte Deutschlands.

## Kontinental vernetzen

Weitere Ausgleichseffekte bei einer Stromversorgung auf der Basis volatiler erneuerbarer Energiesysteme ergäben sich durch eine leistungsstarke länderübergreifende Vernetzung. Statistisch dürften sich Überschüsse und Defizite des volatilen Energiedargebots mit dem Durchzug von Hoch- und Tiefdruckgebieten in einzelnen Regionen häufig gegenseitig ausgleichen. Allerdings hat eine Wetterdatenanalyse über lange Zeiträume ergeben, dass auch mit kontinentalen Windflauten zu rechnen ist, bei der die europaweit verfügbare Windleistung auf Werte von weniger als 10 % der Durchschnittsleistung abfällt. Zusätzlich treten kontinentale Starkwindsituationen auf, bei denen Windenergieanlagen mit 20 % Benutzungsgrad europaweit mehr als das Vierfache ihrer durchschnittlichen Leistung abgeben könnten. Eine großräumige Vernetzung kann daher zwar zur Reduzierung des Ausgleichs- und Speicherbedarfs beitragen, diesen aber keinesfalls eliminieren.

Die an einem Energieverbund beteiligten Länder wären gleichberechtigte Partner, die zum gegenseitigen Vorteil voneinander profitieren und dadurch Kosten der eigenen Stromversorgungsinfrastruktur reduzieren könnten.

## Reale Versorgungssysteme

Bei der Einführung der Ladungsabweichung wird von idealisierten Systemen mit verlustfreien Speicher- und Übertragungstechnologien ausgegangen, bei denen die im Langzeitdurchschnitt verfügbare Erzeugung mit der im Langzeitdurchschnitt vorhandenen Nachfrage übereinstimmen müsste, damit die Energiebilanz aufginge. Reale Systeme weisen hingegen Verluste sowohl bei der Übertragung als auch der Speicherung elektrischer Energie auf. Außerdem gibt es sowohl wind- und sonnenstärkere als auch -schwächere Jahre. Gleiches gilt für den Stromverbrauch. Speichergrößen können ebenso wie Übertragungs- und Erzeugungsleistungen nur auf begrenzte Maximalwerte ausgelegt werden. Wie im

konventionellen Kraftwerkspark ist es deshalb auch bei einer Stromversorgung auf Basis erneuerbarer Energien notwendig, Erzeugungsüberschüsse bereitzuhalten, um alle auftretenden Verluste auszugleichen und windschwache sowie nachfragestarke Jahre sicher überbrücken zu können. Die heute bestehende konventionelle Stromversorgung ist so ausgelegt, dass sie die größte zu erwartende Nachfragespitze decken kann. Diese liegt in Deutschland und Europa beim etwa 1,6-Fachen der durchschnittlich nachgefragten Leistung. Bei einer Stromversorgung nur aus Wind- und Sonnenenergie müssten reale Speichersysteme in der Lage sein, die maximale Leistung zu erbringen, da immer wieder landesweite Windflauten auftreten und Solarstrom in der Nacht immer ausfällt. Der Ausgleichs- und Speicherbedarf hängt von der Stromerzeugungsreserve ab, das heißt von der Differenz der durchschnittlich abrufbaren Leistung und der durchschnittlich nachgefragten Leistung. Höhere Erzeugungsreserven reduzieren die Entleerung von Speichern

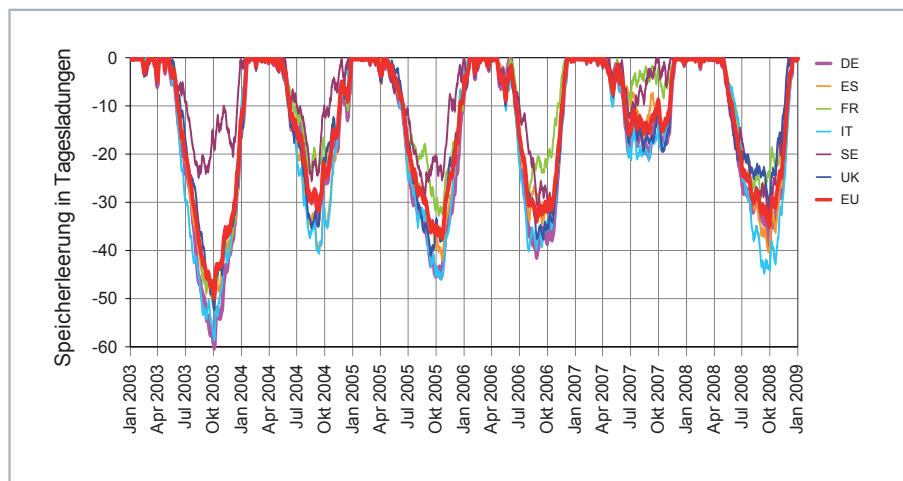


Bild 5

Speicherleerung bei einer allein auf Windenergieanlagen mit einem Benutzungsgrad von 20 % basierenden Stromversorgung.

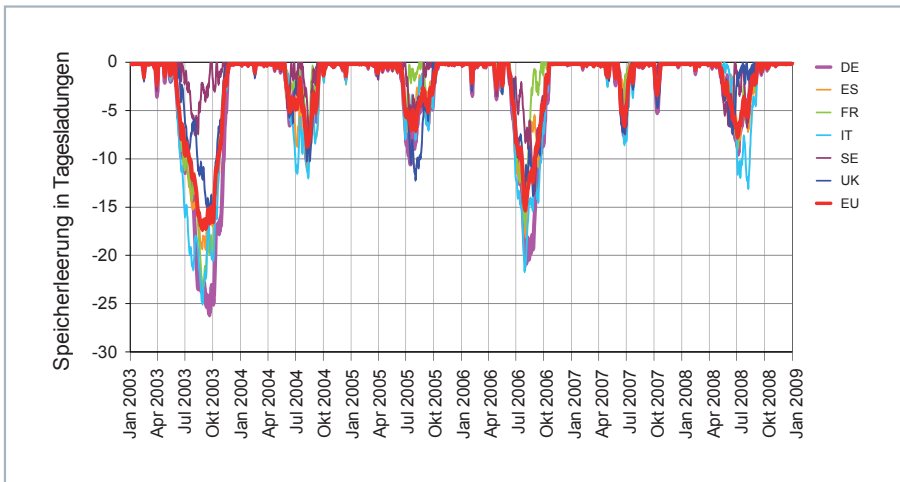


Bild 6

**Speicherleerung bei einer allein auf Windenergieanlagen mit einem Benutzungsgrad von 50 % basierenden Stromversorgung.**

und sorgen dafür, dass diese schneller wieder aufgefüllt werden.

### Speicherleerung

In den **Bildern 5 bis 7** sind Speicherleerungskurven für die größten Länder Europas und verbrauchsanteils-gewichtet für den gesamten Kontinent dargestellt. Mit einer jeweiligen Erzeugungsreserve von 30 % und einer Reihe weiteren Annahmen, die den Szenarien zugrunde liegen, zeigen sie die Speicherinanspruchnahme für eine sichere und bedarfsgerechte Stromversorgung allein auf Basis von Windenergieanlagen mit einem Benutzungsgrad von 20 % (Bild 5) oder 50 % (Bild 6) bzw. von Photovoltaikanlagen (Bild 7). Den Speicherleerungskurven, wie beispielhaft gezeigt, kann bei einer repräsentativen Langzeituntersuchung die erforderliche Speicherkapazität entnommen werden, die notwendig wäre, um eine stets sichere und bedarfsgerechte Versorgung gewährleisten zu können. In der Realität würde es sich bei einer erneuerbaren Stromversorgung nicht um eine Monostruktur handeln, wie in den Szenarien der obigen Bilder 5 bis 7 angenommen, sondern um einen Mix aus unterschiedlichen Erzeugungsanlagen. Würde dieser allein aus Windenergieanlagen mit 20 % Benutzungs-

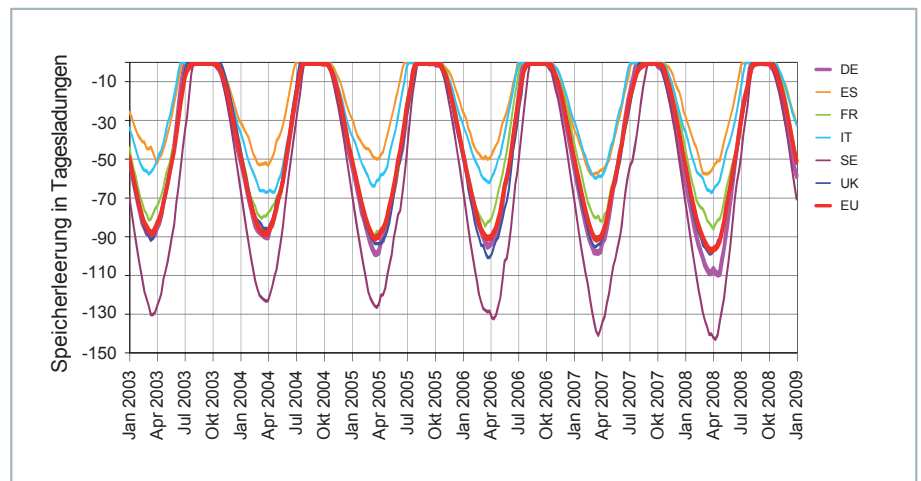


Bild 7

**Speicherleerung bei einer allein auf Photovoltaikanlagen basierenden Stromversorgung.**

grad und Photovoltaikanlagen in einer regional jeweils speicherbedarfsminimierenden Kombination bestehen, so könnte der Speicherbedarf bei einer kontinentalen Vernetzung und einer Erzeugungsreserve von 30 % auf etwa 14 Tagesladungen reduziert werden. Würden stattdessen Windenergieanlagen mit einem Benutzungsgrad von 50 % eingesetzt, dann läge der Speicherbedarf nur noch bei sechs Tagesladungen. Durch Erhöhung der Erzeugungsreserve auf beispielsweise 80 % ließe sich der Speicherbedarf zum Beispiel noch weiter auf zwei Tagesladungen reduzieren. Doch auch Speicherkapazitäten, die eine komplette Stromversorgung mit einer Reichweite von wenigen Tagen sicherstellen müssten, liegen um Größenordnungen über der Speicherkapazität, die derzeit verfügbar ist und zum Ausgleich der vergleichsweise geringen Erzeugungsabweichungen der konventionellen Stromversorgung eingesetzt werden. Wegen insgesamt günstiger Eigenschaften wären Pumpspeicherkraftwerke für diese Aufgabe prädestiniert.

### Ringwallspeicher-Hybridkraftwerk

Da weitere gut geeignete, genehmigungsfähige Standorte für Pumpspeicherkraftwerke in Gebirgslandschaften der meisten Ländern kaum aufzufinden sind, wird vorgeschlagen, diese als Ringwallspeicher auf dem flachen Land oder im Meer zu errichten. Der Aushub des äußeren Wasserrings für das Unterbecken würde dafür verwendet, den Ringwall für das innenliegende Oberbecken aufzubauen. Bei Bemessung derartiger Anlage ist zu beachten, dass eine Verdopplung von Durchmesser, Höhe und vorgesehenen Pegelschwankungen im Ober- und Unterbecken zur Versech-

2000 Windenergieanlagen mit einem Rotordurchmesser von 120 m bei einer Nabenhöhe von 160 m könnte dieses Hybridkraftwerk zwei Kernkraftwerke versorgungssicher ersetzen. Mit rund 32 dieser Hybridkraftwerke wäre eine versorgungssichere, regenerative Stromversorgung Deutschlands allein auf Basis von Wind- und Solarenergie darstellbar. Ein Rückgriff auf fossile und nukleare Energieträger wäre nicht erforderlich. Primärenergiekosten würden dauerhaft nicht mehr anfallen. Bei Verdopplung des Durchmessers auf 20 km und der Ringwallhöhe auf 440 m würden sogar zwei Ringwallspeicher ausreichen, um Deutschland sicher zu versorgen.

Diese Ringwallspeicherkraftwerke der angegebenen Größenordnung könnten mit einem spezifischen Erdbauaufwand pro Kilowattstunde Speicherkapazität errichtet werden, der dem Aufwand bei Pumpspeicherkraftwerken in Mittelgebirgen entspricht. Die Größe der Maßnahme und die bessere Zugänglichkeit der gesamten Baustelle berechtigt sogar zur Erwartung, dass die spezifischen Kosten niedriger ausfallen werden als bei Gebirgsspeichern. Die Minimierung des Speicherbedarfs führt sicher nicht zur kostenoptimalen Lösung einer erneuerbaren Stromversorgung. Solange der Preisunterschied zwischen Wind- und Solarstrom so hoch wie im Jahr 2010 ist, kann angenommen werden, dass es aus gesamtwirtschaftlicher Sicht kostengünstiger wäre, etwas größere Speicher aufzubauen, als den Speicherbedarf durch einen massiven Ausbau der Photovoltaik zu minimieren.

## Biomassekraftwerke

Ein Ringwallspeicher mit rund 11 km Durchmesser beansprucht eine Bodenfläche von etwa 100 km<sup>2</sup>. Als Aufstell- und Zufahrtsflächen für zusätzlich rund 2000 Windenergieanlagen entsteht ein weiterer Flächenbedarf von gut 10 km<sup>2</sup>. Die Photovoltaikanlagen könnten ohne eigenen Flächenverbrauch auf dem Ringwallspeicher und/oder auf Dächern des Versorgungsgebiets angebracht werden. Würde auf der für das Hybridsystem beanspruchten Bodenfläche Bio-

masse zur Stromerzeugung angebaut, wäre eine durchschnittliche Leistung von rund 40 MW möglich. Das System aus Ringwallspeicher, Wind- und Solarenergieanlagen ermöglicht bei entsprechender Auslegung den rund 50-fachen Energieertrag pro Flächeneinheit gegenüber einer Stromversorgung mit Biogasanlagen.

## Solarthermische Kraftwerke

Die Globalstrahlung ist in Nordafrika etwa doppelt so hoch wie Deutschland. Der Wirkungsgrad der beim Desertec-Projekt vorgesehenen solarthermischen Kraftwerke ist wegen des hohen Anteils der direkten Strahlung und der thermodynamischen Prozesse, die zur Energieumwandlung genutzt werden, höher als bei Photovoltaikanlagen. Der gewonnene Strom müsste durch das Mittelmeer und über mehrere tausend Kilometer lange Leitungen bis in die europäischen Verbrauchszentren transportiert werden. Speicher müssten auf alle Fälle zur Überbrückung der Nachtstunden geschaffen werden. Durch Überkapazität bei den Solarkraftwerken in der Wüste ließe sich auch für verbrauchsstarke Jahreszeiten (Wintermonate) genügend Strom bereitstellen. Zum Nulltarif wäre das jedoch ebenso wenig zu haben wie jede andere Art der Stromversorgung. Neben der heutigen Abhängigkeit von Öl und Gas würde eine Abhängigkeit von Strom entstehen. Mit Hybridsystemen aus Ringwallspeicher, Windenergie- und Photovoltaikanlagen wäre eine Stromversorgung in Deutschland möglich, die nicht auf das Wohlwollen anderer Nationen und eine Sicherung langer Übertragungswege angewiesen ist.

## Wasserspeicherkraftwerke in Skandinavien

Sollten Norwegen und Schweden dazu bereit sein, so wäre es möglich, die dort in Frage kommenden Speicherseen zu Pumpspeichersystemen auszubauen. Beim Aufbau entsprechend leistungsstarker Stromleitungen könnte der Ausgleich der volatilen erneuerbaren Energien der Nordseeanrainerstaaten über Stromtransporte von und nach Norwegen und Schweden erfolgen. Im Gegensatz zu den künstlich zu schaffenden Ringwallspeichersystemen würden in Norwegen vergleichbare Pegelschwankungen in den natürlichen Speicherseen ausgelöst werden, um die benötigten Speicherkapazitäten zu erreichen. Damit würde massiv in existierende Ökosysteme eingegriffen. Im Gegensatz zu

den erzeugungs- bzw. verbrauchsnäher errichteten Ringwallspeichersystemen fielen beim notwendigen länderübergreifenden Stromtransport zusätzliche Wirkungsgradverluste für den Hin- und Rückweg an. Statt eines Speicherwirkungsgrads von rund 80 % wären inklusive der erforderlichen Hin- und Rückübertragungen nur noch Wirkungsgrade von 60 bis 70 % erreichbar, die wiederum durch Errichtung zusätzlicher Windenergie- und Photovoltaikanlagen ausgeglichen werden müssten. Je größer der Abstand zu den skandinavischen Speichermöglichkeiten, desto weniger kann die Option in Erwägung gezogen werden. Außer dass die Skandinavier bei diesem Geschäft sicher mitverdienen wollen, wäre auch das immerwährende Wohlwollen Norwegens bzw. Schwedens notwendig, um über eine sichere Stromversorgung zu verfügen.

## Braunkohlekraftwerke

Der Braunkohle Tagebau Hambach wird im Endausbau eine Fläche von rund 85 km<sup>2</sup> umfassen. Er reicht bis zu 400 m in die Tiefe und mit der Sophienhöhe entsteht der größte künstliche Berg Deutschlands mit einem Volumen von 10 km<sup>3</sup> und einer Höhe von 200 m. Die geförderte Kohle reicht aus, um für rund 45 Jahre Braunkohlekraftwerke mit einer Leistung von 4 GW zu versorgen. Die Erdbewegungen entsprechen damit einem Vielfachen der Erdbewegungen, die für den Bau des hier illustrierten Ringwallspeichers erforderlich wären. Der Flächenverbrauch erreicht etwa die gleiche Größenordnung. Während die Braunkohle nach 45 Jahren verbraucht und zu Kohlendioxid verbrannt wurde, kann das Ringwallspeicher-Hybridkraftwerk bei einmaligem und geringerem Erdbauaufwand nachhaltig und ohne zeitliche Begrenzung betrieben werden.

## Fazit

Ringwallspeicherkraftwerke könnten zukünftig das Rückgrat einer sicheren Stromversorgung auf Basis von Wind- und Solarenergie bilden, wenn es gelingt, öffentliche Akzeptanz für derartige Großprojekte zu erreichen. Sie bieten der Region, in der sie errichtet werden, einen Mehrwert, bringen Wasser- und Bergsportmöglichkeiten ins flache Land, dürften sich als touristische Attraktion erweisen, produzieren weder Abfälle noch Schadstoffe, verursachen keine Primärenergiekosten und sorgen für dauerhafte Arbeitsplätze.

## Literatur

[1] Popp, M.: Speicherbedarf bei einer Stromerzeugung mit erneuerbaren Energien. Heidelberg: Springer Verlag, ISBN 978-3-642-01927-2, 2010.