Bundesinitiative VERNUNFTKRAFT. e.V. – Kopernikusstraße 9 – 10245 Berlin

Dr. Andreas Dumm – Dornhagweg 4 – 76316 Malsch
Dr.-Ing. Detlef Ahlborn – Vor dem Scheuerchen 12 – 37247 Großalmerode
Rolf Schuster – Plettstruther Weg 8 – 35759 Driedorf

Energiewende Erfolgreich Gemacht? – 4 Jahre Energiewende in Rheinland-Pfalz und andernorts

Anhand von Verbrauchsdaten aus Südwestdeutschland und Produktionsdaten aus der ganzen Bundesrepublik werden die bisherigen Ergebnisse und die weiteren Erfolgsaussichten des Vorhabens, die Stromversorgung auf die Energieträger Wind und Sonne auszurichten, skizziert. Die unter diesen maximal positiven Prämissen gewonnenen Erkenntnisse lassen sich auf andere Bundesländer übertragen und zu einer Gesamtschau der deutschen „Energiewende"-Politik verdichten.

Sachstand Dezember 2015

1. Ausgangslage

Die Grünen in Rheinland-Pfalz feiern den Verlauf der Energiewende in vier Jahren Regierungszeit als ihr wichtigstes und größtes Projekt. In anderen Bundesländern und beim zuständigen Bundesministerium ist die politische Rhetorik identisch oder ähnlich. Bundesminister Gabriel spricht von Windkraft und Photovoltaik als *„Lasteseln"* oder *„Säulen"* der Energiewende und sieht bei der Umsetzung dieses Vorhabens *„ein gutes Stück Arbeit"* hinter sich.

In Rheinland-Pfalz soll bis 2030 der Strombedarf bilanziell zu 100 Prozent aus Erneuerbaren Energien gedeckt werden.[1] Zwei Drittel der Stromerzeugung sollen über die Windkraft, ein Viertel über Fotovoltaik bereitgestellt werden. Demnach sollen dann rund 2.650 Windenergieanlagen mit einer installierten Leistung von 7.500 MW rund 15 TWh (15 Milliarden kWh) erzeugen. Dieser Anspruch setzt auch eine prognostizierte Stromeinsparung von 5 TWh auf 22 TWh voraus.

100 % Strom aus Erneuerbaren Energien – Windkraftanlagen

RheinlandPfalz
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, KLIMASCHUTZ, ENERGIE UND LANDESPLANUNG

	6/2011	2020	2030
Gesamtanzahl	1.125	1.900	2.650
Gesamtleistung [MW]	1.505	4.350	7.500
Neu installiert	-	1.100	2.050
Repowering	-	160	340
Abbau	-	325	525
∅ Leistung [MW]	1,34	2,29	2,83

Prominente Politiker der Grünen definieren den Erfolg ihrer Energiepolitik ausschließlich auf Basis des Zuwachses der Anzahl von Anlagen und der installierten Nennleistung. Die vermeintlich hohe Zustimmung der Bevölkerung speist sich aus Studien, die selbst in Auftrag gegeben wurden. Fraktionsvorsitzender Köbler*:*

„Die Energiewende in Rheinland-Pfalz ist ein Erfolg auf ganzer Linie. Der Ausbau der Erneuerbaren Energien geht schneller voran als erwartet und er ist von den Bürgerinnen und Bürgern gewollt. Das bestätigt uns in unserer Politik: Wir halten an der Energiewende fest".

[1] Andere Bundesländer verfolgen quantitativ und qualitativ vergleichbare Ziele. Aus didaktischen Gründen wird hier das relativ kleine, aber durchaus wirtschaftskräftige und insofern prototypische Rheinland-Pfalz ins Zentrum gerückt. Die Aussagen und Implikationen gelten jedoch für die anderen Bundesländer in ähnlicher Weise.

Wir fragen uns:

Kann auf Basis dieser rein politisch motivierten Vorgaben die für unsere Industriegesellschaft notwendige stabile Stromversorgung zu marktgerechten und konkurrenzfähigen Preisen aufrechterhalten werden?

Zurzeit liegt der Anteil Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch von Rheinland-Pfalz von ca. 30 Milliarden kWh (30 TWh) bei ca. 24 %, ausgehend von 15 % im Jahr 2010. Mitte des Jahres 2015 waren 1497 Windenergieanlagen mit einer Nennleistung von 2.808 Megawatt in Rheinland-Pfalz installiert. 2014 wurden etwa 4,2 TWh erzeugt (mittlere Nennleistung pro Windenergie-Anlage: 1,9 MW).

Das gesteckte Ziel von knapp 70 % Windenergie-Anteil (15 TWh) soll mit 1000 weiteren Anlagen und einem Zuwachs an installierter Nennleistung auf 7500 MW erreicht werden. Die im Jahr 2014 durchschnittlich installierte Nennleistung pro Windenergieanlage lag nach Angaben des Deutschen Windenergie-Instituts bei rund 2,9 Megawatt.

2. Volllaststunden sind unrealistisch

Aus der Vorgabe 7500 MW für die installierte Nennleistung mit einer jährlichen Stromerzeugung von 15 Milliarden kWh über zusätzliche 1000 Windenergieanlagen inklusive Repowering und Abbau von Altanlagen errechnet sich (Division: 15 TWh/7500 MW) die mittlere **Volllaststundenzahl mit 2000**. In Deutschland, mit überproportional vielen Anlagen im windreicheren Norden, wurden in den letzten Jahren stark schwankende Werte jeweils um die 1500 Volllaststunden erreicht. Die Werte für 2013 und 2014 lagen bei ca. 1450 Volllaststunden. Im windarmen Süden variieren die Volllaststunden zwischen 1100 und 1400. Die Liste der Windenergieanlagen in Rheinland-Pfalz (von Übertragungsnetzbetreibern veröffentlicht) weist eine mittlere Volllaststundenzahl für 2014 von unter 1500 aus. Aus diesen Daten und der Auswertung in **Abb. 1** lässt sich schließen, dass die **Planzahl 2000 Volllaststunden im Mittel in Rheinland-Pfalz völlig unrealistisch** ist bzw. nur für wenige Anlagen gilt.

Zur Erzeugung von 15 TWh über Windenergie-anlagen ist unter dem realistischen Ansatz von 1500 Volllaststunden ein Kraftwerkspark von 10000 MW installierter Nennleistung notwendig. Daraus errechnet sich eine Anzahl von 3333 Windenergie-Anlagen der Anlagengröße 3 MW. Die Hochrechnung des Ministeriums von 2650 Anlagen mit einer mittleren Leistung von 2,83 MW pro Anlage (siehe obige Tabelle des Ministeriums) beruht auf dem Ansatz der weit überschätzten Volllaststunden in Rheinland-Pfalz.

Zur Beantwortung der Fragestellung

„**Energiewende Erfolgreich Gemacht**"?

ist es sinnvoll, den größeren Rahmen der Stromerzeugung in Deutschland einzubeziehen, da die geplante Erweiterung des Anlagenparks der regenerativen Energien im Bundesland Rheinland-Pfalz bereits durch Reflexion auf den Bestand der Anlagen im Bund analysiert werden kann.

Verteilung Volllaststunden von 1904 Windenergie-Anlagen größer 1,5 MW in Bayern. Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland in 2014

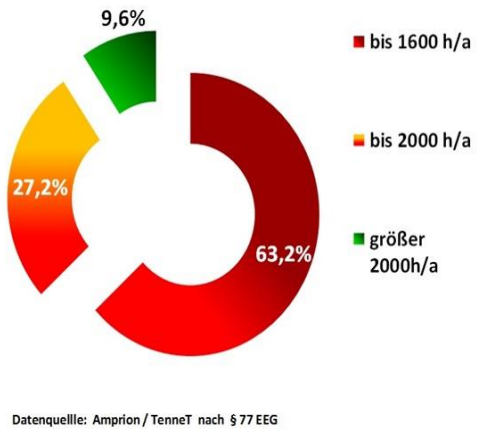


Abb. 1: Volllaststunden von Anlagen über 1,5 MW in Süddeutschland

3. Lastganglinien als Erfolgskontrolle der Energiewende

Eine energiewirtschaftliche Bewertung der Stromeinspeisung aus Windkraft- und Fotovoltaikanlagen kann sehr zuverlässig über Lastganglinien erfolgen, die den zeitlichen Verlauf der Einspeiseleistungen der jeweiligen Erzeugungsanlagen darstellen. Bei Gegenüberstellung der im deutschen Stromnetz benötigten Leistung kann anhand der Lastganglinien unmittelbar veranschaulicht werden, welcher Energieträger mit welchem prozentualen Anteil den durchschnittlichen Leistungsbedarf von knapp 70 000 MW in Deutschland deckt. Dieser mittlere Leistungsbedarf errechnet sich aus dem Jahresverbrauch von 600 Milliarden kWh (600 Milliarden kWh/8760 Jahresstunden = 68 493 MW).

Stromverbrauch und Leistungseinspeisung aller Windenergie- und Fotovoltaik-Anlagen in Deutschland Januar, Februar 2015

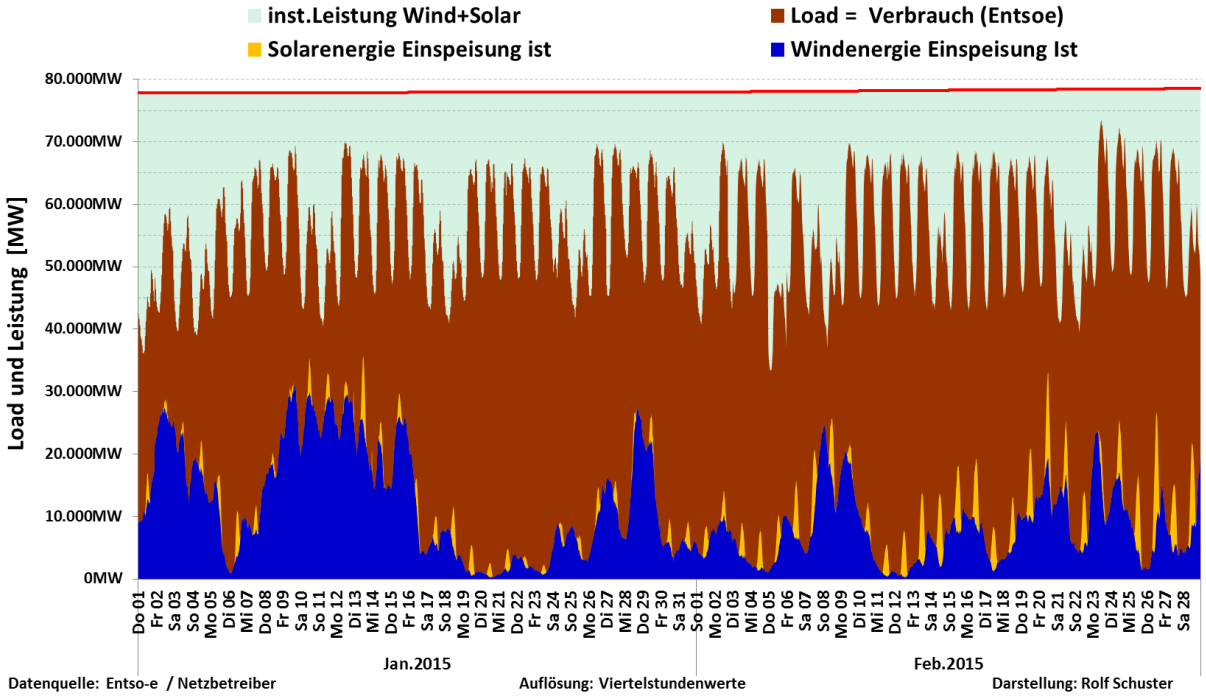


Abb. 2: Stromverbrauchskurve und die Einspeiseleistungen aller Windenergie- und Fotovoltaik-Anlagen in Deutschland

In Deutschland sind aktuell ca. **26 000 Windenergieanlagen** mit einer Nennleistung von **42 500 MW** und Fotovoltaikanlagen mit einer Nennleistung von ca. **39 000 MW** installiert. In **Abb. 2** sind die akkumulierten Einspeiseleistungen aller Windenergie-Anlagen (Wind blau) und aller Fotovoltaik-Anlagen (Solar gelb) maßstäblich zum Stromverbrauch (roter Hintergrund) für den Zeitraum Januar bis Februar 2015 wiedergegeben. Wie **Abb. 2** zu entnehmen ist, waren die Wintermonate Januar und Februar sehr windreich.

Mit **über 80000 MW Nennleistung** (hellblauer Hintergrund) hat der Bestand an Windenergie- und Fotovoltaik-Anlagen die Größenordnung der Einspeiseleistung des Kraftwerksparks überschritten, die zur Sicherstellung einer stabilen Stromversorgung in Deutschland zeitgleich zum Verbrauch im Stromnetz zur Verfügung stehen muss.

Hinweis: Als Nennleistung einer Stromerzeugungsanlage wird die höchste Leistung definiert, die bei optimalen Betriebsbedingungen zur Verfügung gestellt werden kann. Windenergieanlagen erreichen beispielsweise ihre auf dem Typenschild angegebene

Nennleistung erst bei Windgeschwindigkeiten zwischen 13 m/sec und 15 m/sec, die bei starken bis stürmischen Windverhältnissen vorliegen und per Definition zu „Widerstand beim Gehen gegen den Wind" führen.

Den Daten der zu ihrer Veröffentlichung gesetzlich verpflichteten Übertragungsnetzbetreiber Amprion, 50 Hertz, TenneT und Transnet BW und der European Energy Exchange ist zu entnehmen, dass die sichere Stromversorgung in Deutschland ohne einen ausreichend großen **dargebotsunabhängigen konventionellen Kraftwerkspark** nicht gewährleistet werden kann. Nur ein regelbarer Kraftwerkspark ist in der Lage, die Diskrepanz zwischen Stromangebot und Stromnachfrage zu decken. Als Betrachtungszeitraum sind Wintermonate wegen des hohen Stromverbrauchs besonders aussagekräftig.

Einspeiseleistung aller deutschen Windenergieanlagen 2011 bis 2015 mit 42 500 MW installierter Nennleistung

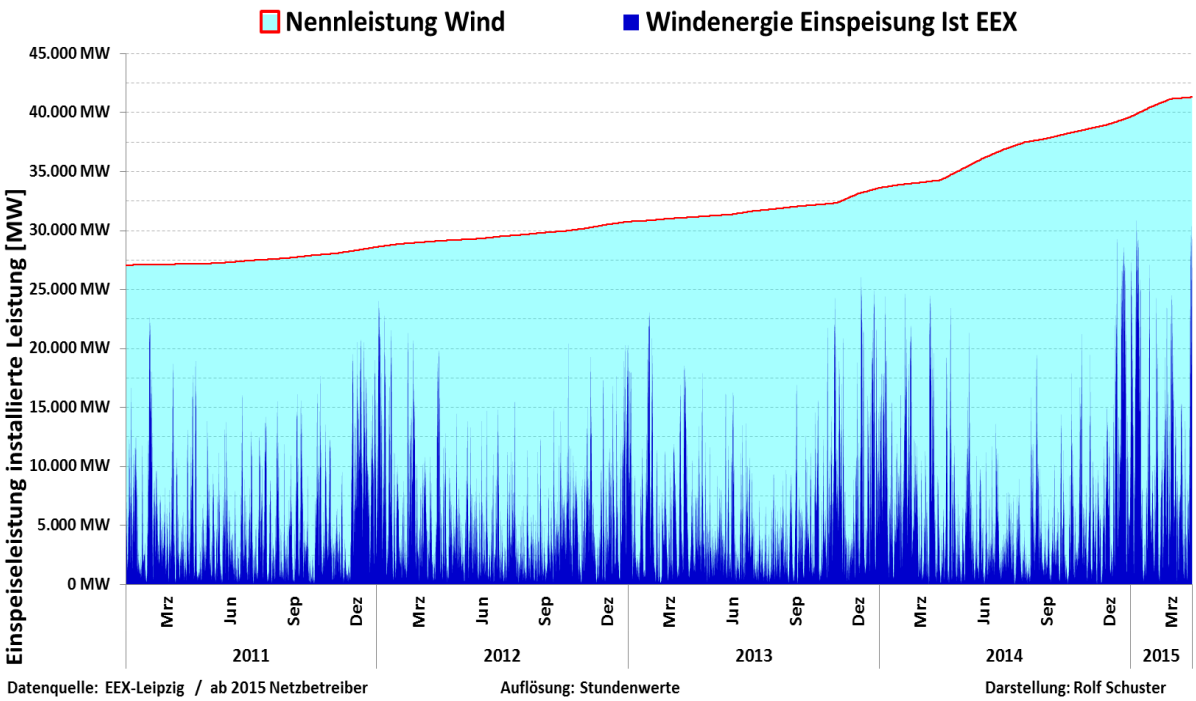


Abb. 3: Lastganglinie (zeitabhängige Einspeiseleistung) aller deutschen Windenergieanlagen ab 2011 mit aktuell 42 500 MW installierter Nennleistung

Zur Erzeugung des in Deutschland verbrauchten Stroms speisen Kraftwerke mit einer Leistung von bis zu 80 000 MW in zeitlicher Abhängigkeit vom Verbrauch in das öffentliche Stromnetz ein. Diese aufgrund des Anforderungsprofils der Stromverbraucher zeitabhängige **Einspeiseleistung** wird bisher von konventionellen und seit einigen Jahren verstärkt von regenerativen Stromerzeugungsanlagen bereitgestellt, wobei die EEG-Anlagen mit gesetzlich festgelegtem Vorrang ins Stromnetz einspeisen, während die konventionellen Anlagen den stark variierenden Stromverbrauch und die unstete Einspeiseleistung der Windenergie- und Fotovoltaikanlagen nachregeln, um bedarfsgerecht Strom in jedem Augenblick zur Verfügung zu stellen.

Zuverlässige Aussagen über die Wertigkeit der Stromerzeugung aus Windenergie- und Fotovoltaikanlagen, d.h. Aussagen über die zeitadäquate Erzeugung von kWh (elektrische Arbeit), werden u.a. aus **Lastganglinien** gewonnen, da diese den zeitlichen Verlauf der

Einspeiseleistung (Einheit: kW) dokumentieren. Die elektrische Arbeit (Einheit: kWh) ist durch die Fläche unterhalb der Lastganglinie repräsentiert (in Abb. 2 blaue und gelbe Flächen).

Abb. 3 stellt die gesamte Stromeinspeisung aller Windenergieanlagen in Deutschland im Zeitraum März 2011 bis März 2015 dar. In diesem Zeitraum wurde die installierte Nennleistung des Windenergie-Kraftwerksparks von 27.073 MW auf 42.500 MW erhöht (hellblauer Hintergrund).

Der dargestellte zeitliche Verlauf der Windstrom-Erzeugung ist durch ausgeprägte Schwankungen mit hohen Leistungsspitzen und langen Zeiträumen niedriger Einspeisung gekennzeichnet. Im Jahr 2013 wurden z.B. 15% der installierten Leistung wenigstens einmal für die Dauer von 280 Stunden unterschritten, d. h. für eine Periode von mehr als 11 Tagen standen weniger als 15% (< 4500 MW) der installierten Leistung zur Verfügung.

Eine gesicherte Stromeinspeisung mit einem akzeptablen „Sockel" an Einspeiseleistung ist über den gesamten Darstellungszeitraum nicht zu beobachten. Daher beträgt die „gesicherte Minimalleistung" aller 26 000 Windenergie-Anlagen in Deutschland trotz des starken Zubaus der letzten Jahre im gesamten Zeitraum und insbesondere auch in den Wintermonaten mit höherem Stromverbrauch weiterhin praktisch Null: **Wenn kein Wind weht, sind in der Regel alle Windmühlen betroffen**. Dies gilt im Übrigen auch für den Großraum Europa.

Abb. 3 zeigt außerdem das Anwachsen der Leistungsspitzen mit dem Zuwachs an installierter Leistung. Je mehr Anlagen gebaut werden, desto größer werden die Leistungsspitzen. Die Folgen sind fatal: Schon heute werden 25% des Stroms aus Wind- und Solaranlagen im angrenzenden Ausland entsorgt.

Einspeiseleistung aller deutschen Fotovoltaik-Anlagen 2011 bis 2015 mit 39 000 MW installierter Nennleistung

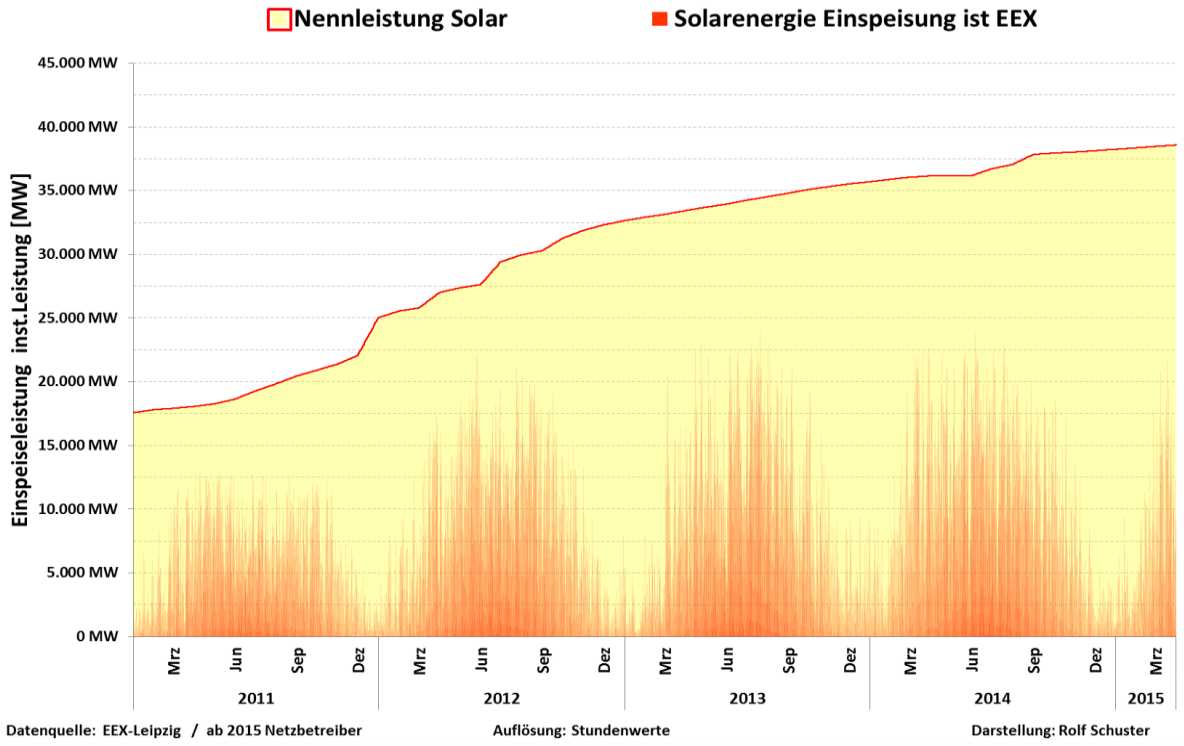


Abb. 4: Lastganglinie (zeitabhängige Einspeiseleistung) aller deutschen Fotovoltaikanlagen ab März 2011 mit aktuell 39 000 MW installierter Nennleistung

Abb. 4 mit Darstellung der Lastganglinie aller deutschen Fotovoltaikanlagen und der Entwicklung der installierten Nennleistung dieser Anlagen mit aktuell 39000 MW und über 400 Millionen m² Kollektorfläche spiegelt den rasanten Ausbau innerhalb der letzten drei Jahre und den offensichtlichen Widerspruch zu den tatsächlich eingespeisten Leistungen wider. Auffällig sind besonders die ausgeprägten impulsartigen Leistungen in den Sommermonaten, die kurzzeitig in den Mittagsstunden ins Stromnetz eingespeist werden und mit dem starken Zubau der Anlagen in den letzten Jahren sehr hohe Maximalwerte mit immer steileren Flanken erreicht haben. Zudem ist die Lastganglinie des gesamten Fotovoltaikanlagen-Parks durch den stark ausgeprägten Sommer-Winterzyklus charakterisiert. In den Wintermonaten wurden an vielen Tagen nur wenige Hundert MW Leistung als Höchstwerte in der Mittagszeit eingespeist.

Durch die Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung können diese Anlagen grundsätzlich nur eine gepulste Stromeinspeisung mit teilweise sehr hohen Stromspitzen zur Mittagszeit vorwiegend in den Sommermonaten anbieten. In den Wintermonaten tendiert die Stromeinspeisung auch um die Mittagszeit zu sehr kleinen Werten. Die stark verminderte Bereitstellung von elektrischer Arbeit (kWh) aus Fotovoltaik in den Wintermonaten – hervorgerufen durch den niedrigen Sonnenstand und die im Winter vorherrschenden Wetterlagen – steht dem in dieser Jahreszeit stark steigenden Strombedarf der Verbraucher konträr gegenüber.

In den Wintermonaten werden nur etwa 10 % der elektrischen Arbeit (kWh) der Sommermonate erzeugt. Die Stromeinspeisung der Fotovoltaikanlagen gleicht mit ihrer Pulsform generell einer zufälligen Anhäufung von „Nadeln unterschiedlicher Länge".

Einspeiseleistung aller deutschen Windenergie- und Fotovoltaik-Anlagen 2011 bis 2015 mit zusammen über 80 000 MW installierter Nennleistung

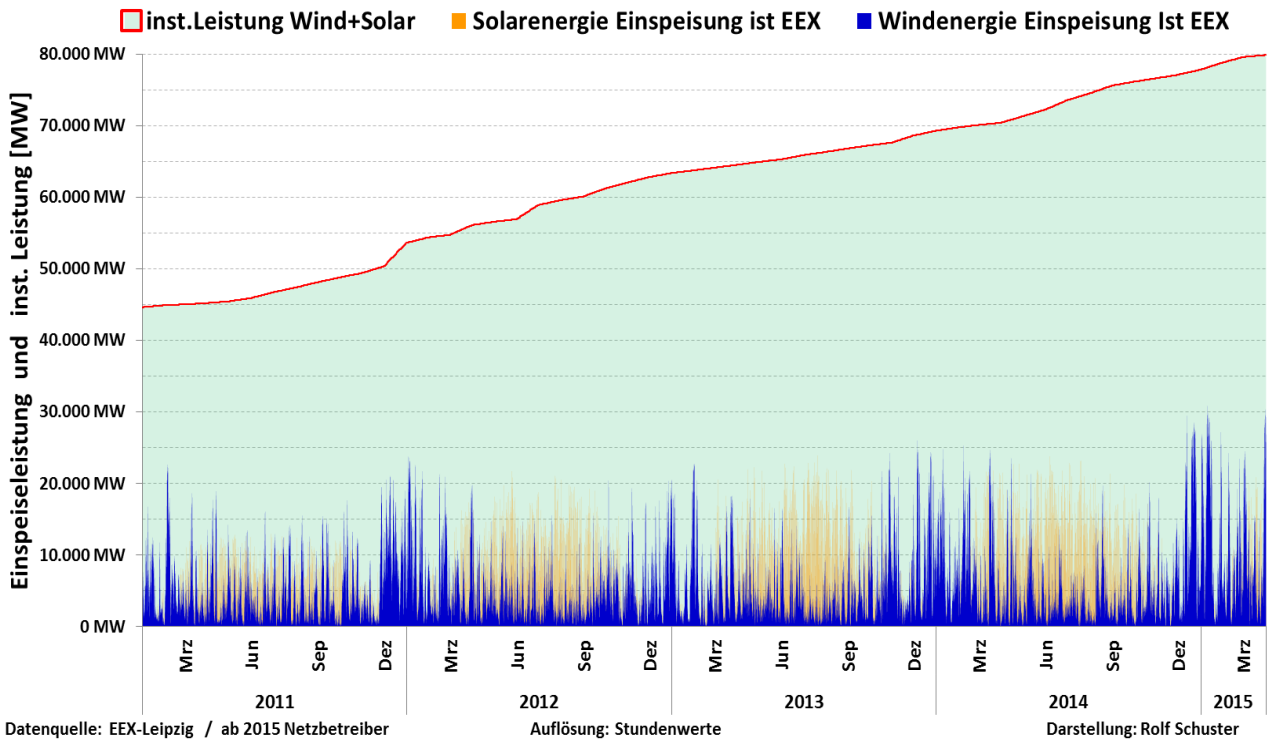


Abb. 5: Leistungseinspeisung aller deutschen Windenergie- und Fotovoltaik-Anlagen 2011 bis 2015

In **Abb. 5** ist die Summe der Leistungseinspeisungen aller deutschen Windenergie- und Fotovoltaik-Anlagen im Zeitraum ab 2011 dokumentiert. Dem Lastganglinien-Diagramm ist zu entnehmen, dass trotz des massiven Zubaus dieser Anlagen von 45000 MW installierter Nennleistung in 2011 auf über 80000 MW im März 2015 keine Änderung der Einspeisecharakteristik und keine Sockelbildung aufgetreten ist, was aufgrund der üblichen Großwetterlagen und der dadurch bedingten Windverhältnisse und Sonneneinstrahlung auch nicht erwartet werden kann.

Die Differenz zwischen den hochsubventionierten und vorrangig eingespeisten Strommengen aus Windenergie- und Fotovoltaikanlagen und dem Stromverbrauch (Residuallast: Restnachfrage nach regelbaren Kraftwerken) muss wegen des hoch volatilen Charakters der EEG-Anlagen durch den konventionellen Kraftwerkspark ausgeglichen werden. Da über längere Zeiträume so gut wie keine Stromeinspeisung aus diesen EEG-Anlagen erfolgt, muss jederzeit der komplette konventionelle Kraftwerkspark betriebsbereit zur Verfügung stehen.

Einspeiseleistung aller deutschen Windenergie- und Fotovoltaikanlagen im April 2015 mit zusammen über 80 000 MW installierter Nennleistung

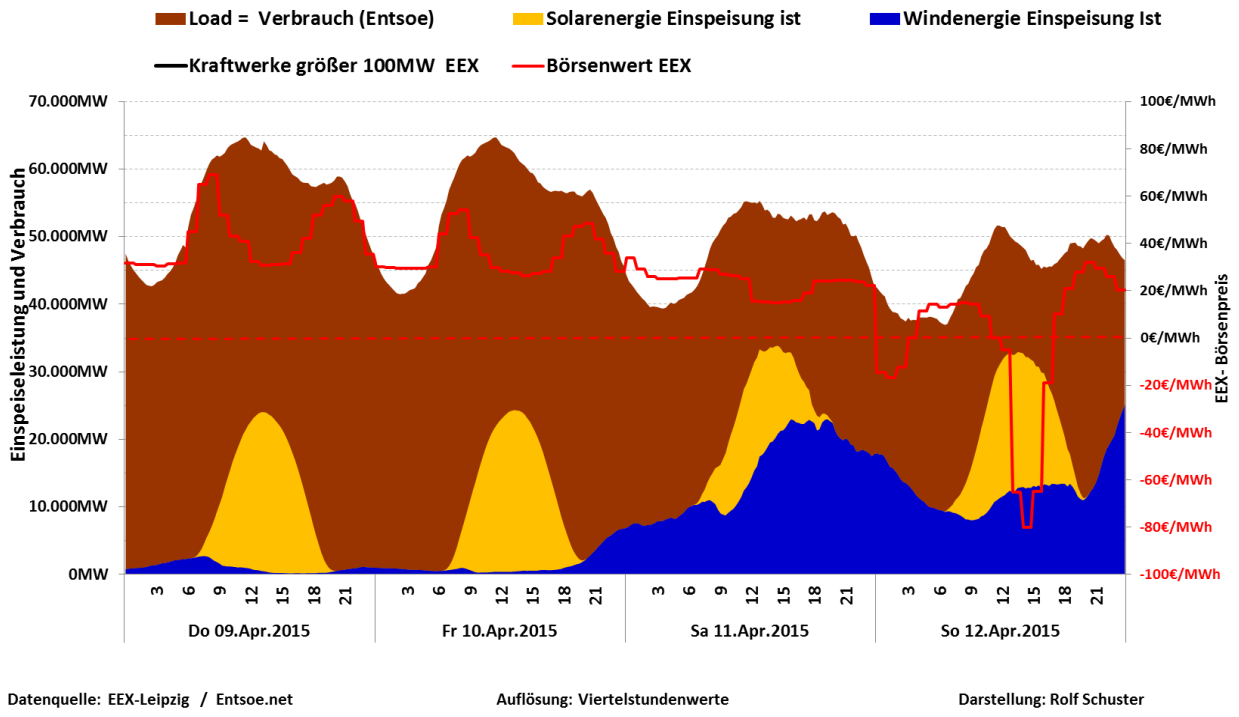


Abb. 6: Leistungseinspeisung aller deutschen Windenergie- und Fotovoltaikanlagen im April 2015

Abb. 6 dokumentiert den Beitrag der Einspeiseleistung aller deutschen Windenergie- und Fotovoltaik-Anlagen mit über 80 000 **MW Nennleistung** zur Stromversorgung im Zeitraum 09. bis 12. April 2015.

Diese „Lupe" zeigt sehr deutlich, dass zeitweise die Stromnachfrage mit bis zu 65 000 MW Einspeiseleistung des gesamten Kraftwerksparks nur durch sehr kleine Beiträge von wenigen Hundert MW Leistung aus Fotovoltaik und Windenergie gedeckt werden konnte. An anderen Tagen musste aufgrund des niedrigen Stromverbrauchs und hoher volatiler Einspeisung (z.B. am Sonntag, den 12. April 2015) der Strom **mit hohen Negativpreisen exportiert** werden.

An diesem Tag wurden neben den EEG-Umlagen zusätzliche 11,3 Mio. € für die Abnahme des Stroms im Ausland als „Entsorgungsgebühr" fällig (bis 80 €/MWh entsprechend 8 Cent/kWh; siehe Verlauf der roten Linie). Überdies zeigt **Abb. 6**, dass sich Wind- und Solarenergie gegenseitig nicht ergänzen, z.B. am 09. und 10. April bei windstillen Nächten.

4. Verdreifachung der Nennleistung der Windenergie und der Fotovoltaik

Zur Erreichung des großen Ziels der „nur" bilanziellen Vollversorgung von Rheinland-Pfalz durch regenerative Energien wird von der Landesregierung u.a. eine Verdreifachung der installierten Nennleistung von Windenergieanlagen angestrebt. Um den Nutzen des Baus von weiteren Windenergieanlagen im Land abschätzen zu können, bietet sich wieder der Blick auf die bundesdeutsche Situation an. Das nachstehende Diagramm **(Abb. 7)** dokumentiert den Stromverbrauch im Januar 2015 (roter Hintergrund) und die gestapelte Leistungseinspeisung aller deutschen Windenergie- und Fotovoltaikanlagen (blau und gelb) mit ca. 80.000 MW Nennleistung.

Residuallast bei fiktiver Verdreifachung der Nennleistung der Windenergie und der Fotovoltaik in Deutschland (Ziel der Politik bis 2030)

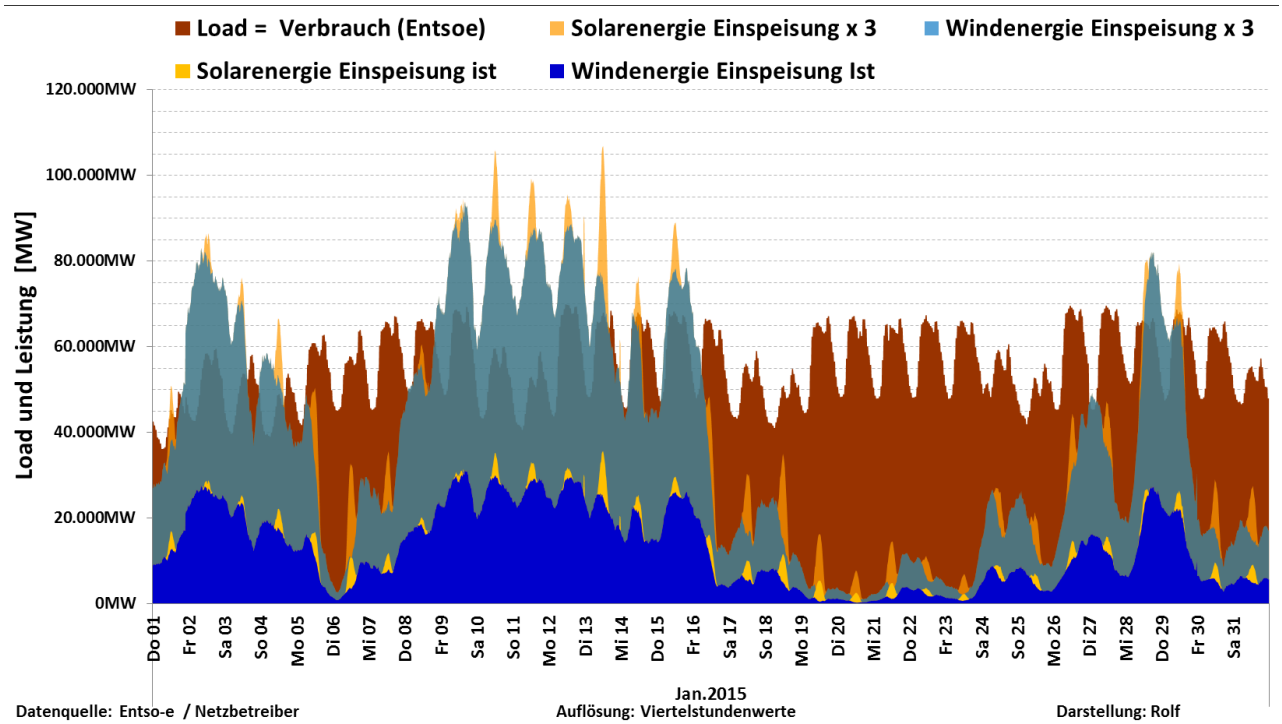


Abb. 7: Lastganglinie (zeitabhängige Einspeiseleistung) aller deutschen Windenergie- und Fotovoltaikanlagen mit einer Verdreifachung der aktuell installierten Nennleistung auf ca. 240 000 MW

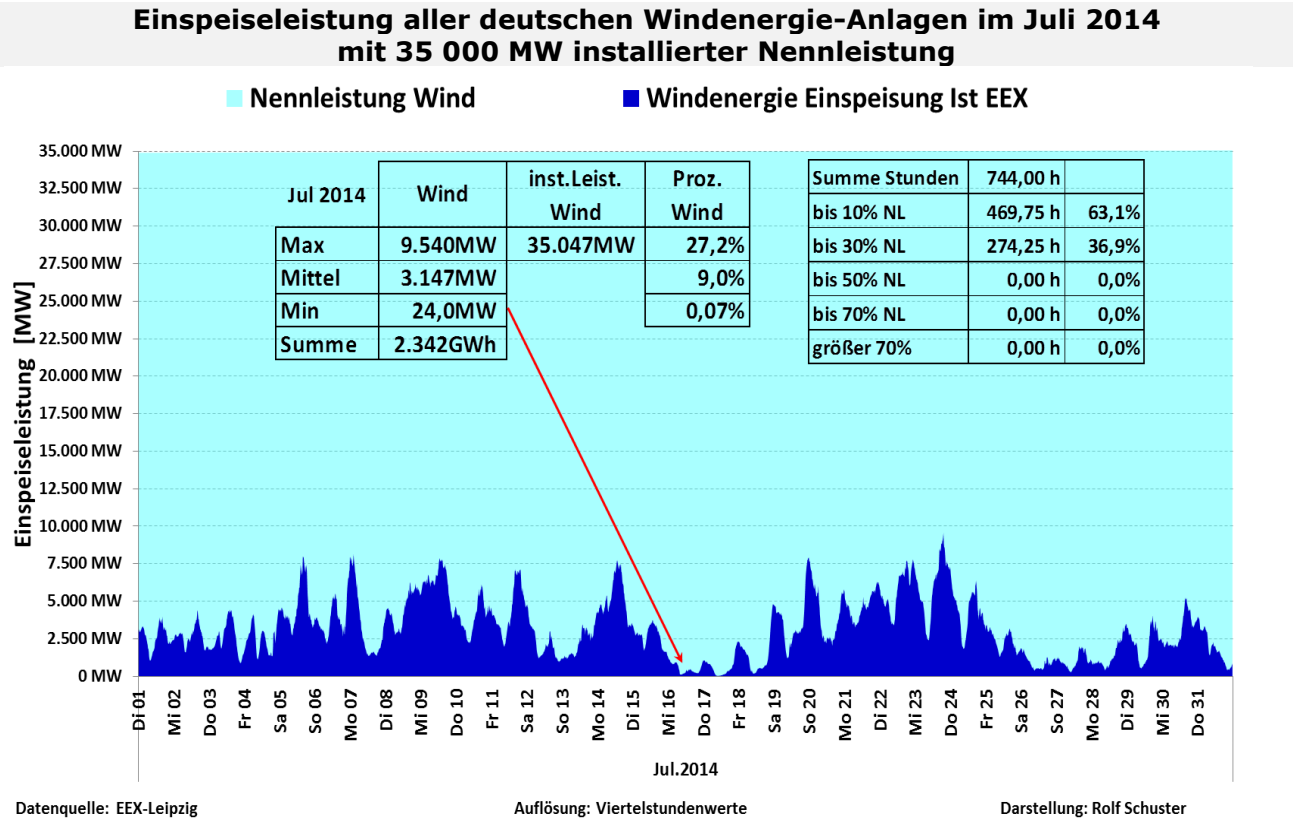
Zur Überprüfung der Auswirkungen einer Verdreifachung der Nennleistung wurde fiktiv die Nennleistung der Windenergie- und Fotovoltaikanlagen in Deutschland auf 240.000 MW und damit die daraus zu erwartende Leistungseinspeisung linear gestreckt. In grau ist die Leistungseinspeisung der Windkraftanlagen mit der fiktiven Nennleistung von mehr als 120.000 MW zusätzlich in das Diagramm aufgenommen sowie in orange diejenige der Fotovoltaikanlagen mit knapp 120.000 MW Nennleistung.

Wenn kein Wind weht oder keine Sonne scheint, resultiert aus der Verdreifachung der Nennleistung kaum zusätzliche Einspeisung (20./21. Januar). Umgekehrt werden bei hohen Windgeschwindigkeiten Leistungen erreicht, für die es im deutschen Stromnetz keine Verbraucher gibt und die deshalb aktuell ins Ausland abgeleitet werden, solange im Bau befindliche „Stromsperren" (z.B. nach Polen und nach Tschechien) dies noch nicht verhindern.

Hohe Nennleistungen von Windenergie- und Fotovoltaikanlagen führen aufgrund der hohen Volatilität zur Gefährdung der Netzstabilität, die nur durch gezielte Abschaltungen der Anlagen begrenzt werden kann. Besonders prekär ist ein schneller Abfall der Einspeisung aus Wind- und Solaranlagen, weil konventionelle Ersatzkraftwerke nicht in der hierfür erforderlichen Geschwindigkeit hochgefahren werden können. Steht die Ersatzleistung nicht schnell genug zur Verfügung, hilft nur noch die Abschaltung von Großverbrauchern, um den Blackout zu verhindern. Aus diesem Grund untergräbt der weitere Ausbau die Stabilität der öffentlichen Stromversorgung. Daraus resultiert nicht nur eine Gefährdung der wirtschaftlichen Basis konventioneller Anlagen, sondern auch des gesamten Stromnetzes.

5. Hohe Nichtverfügbarkeiten der Windenergie- und Fotovoltaikanlagen

Die Lastganglinien dokumentieren eindeutig die starke Abhängigkeit der akkumulierten Einspeiseleistung der 26000 Windenergieanlagen in Deutschland von den Großwetterlagen. Der Auswertung für den Zeitraum Juli 2014 (**Abb. 8**) ist beispielsweise zu entnehmen, dass die Anlagen in 63,1 % der 744 Monatsstunden unter 10 % der Nennleistung betrieben wurden (August 2015: 53,1 %). Im Juli und August standen für mehr als einen Monat weniger als 10% der installierten Windleistung zur Verfügung. Es ist keineswegs nur ein subjektiver Eindruck, die Anlagen würden die meiste Zeit nur vor sich hin trudeln, es ist eine erwiesene Tatsache.



Jul 2014	Wind	inst.Leist. Wind	Proz. Wind
Max	9.540MW	35.047MW	27,2%
Mittel	3.147MW		9,0%
Min	24,0MW		0,07%
Summe	2.342GWh		

Summe Stunden	744,00 h	
bis 10% NL	469,75 h	63,1%
bis 30% NL	274,25 h	36,9%
bis 50% NL	0,00 h	0,0%
bis 70% NL	0,00 h	0,0%
größer 70%	0,00 h	0,0%

Abb. 8: Leistungseinspeisung aller deutschen Windenergieanlagen im Juli 2014

Die gleiche Abhängigkeit besteht für Fotovoltaikanlagen in ungleich größerem Maß im Wechsel der Jahreszeiten (siehe **Abb. 4**), bei Schlechtwetterperioden und natürlich in den Nachtstunden. Beispielsweise lieferten die Fotovoltaikanlagen im Juli 2015 in 30 % der Zeit keinen Strom, im Dezember 2014 sogar in 62 % der Monatszeit. Stromverbrauchsspitzen treten im Winter morgens um 9 Uhr und abends um 18 Uhr auf, zu Zeiten, in denen die Fotovoltaikanlagen wegen des Sonnenstands praktisch nichts einspeisen können (gelbe Strompulse). Minimale Leistungsbeiträge gerade zu diesen Tageszeiten sind auch in den Sommermonaten keine Seltenheit.

Bei Windflaute stehen alle Windenergieanlagen still, was übrigens auch im westeuropäischen Raum zu beobachten ist.

Leistungseinspeisung aller Windenergieanlagen in 4 EU-Staaten

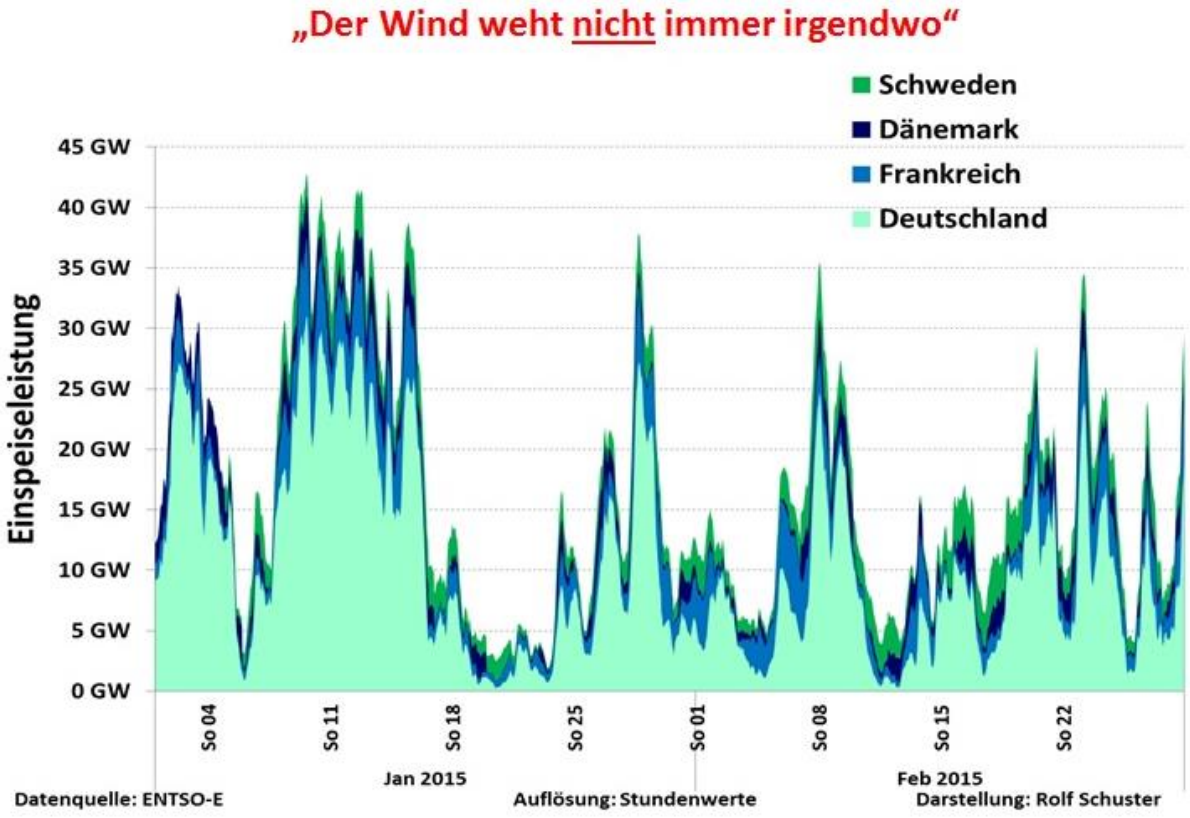


Abb. 9: Leistungseinspeisung aller Windenergieanlagen aus vier EU-Staaten

Abb. 9 zeigt zudem auf, wie sich die Leistungsspitzen der Stromerzeugung mit steigender Anzahl der Anlagen und Erhöhung der installierten Nennleistung addieren: Mit dem Ausbau in der Fläche wachsen die Einspeise-Schwankungen an. Die von einigen Instituten – wie etwa dem IWES in Kassel – verbreitete These von der Glättung der Einspeisung durch Zubau in der Fläche erweist sich als unzutreffend. Welche Lösungsmöglichkeiten ein europäisches Verbundnetz zum Ausgleich der Schwankungen der Windenergieeinspeisung anbieten (oder eben nicht anbieten) könnte, lässt sich unschwer an den gleichzeitig auftretenden Leistungs-spitzen ablesen.

Durch den Anstieg der immer stärker schwankenden Stromeinspeisung der Windenergie- und Fotovoltaikanlagen erhöht sich zwangsläufig der Regelbedarf des konventionellen Kraftwerksparks, d.h. die konventionellen Kraftwerke müssen immer schneller hoch- und runter gefahren werden. In jüngster Zeit treten verstärkt systematische Schäden an Wärmekraftwerken (hier vor allem an Steinkohlekraftwerken mit hoher Regelbeanspruchung) auf. Mehrere relativ neue Anlagen weisen bereits temperaturinduzierte Materialschäden an großen Anlageteilen auf, die hohe Wartungskosten und lange Reparaturzeiten zur Folge haben.

6. Energiespeicherung als Lösung?

A. Pumpspeicherkraftwerke

Das ständige Auf und Ab des Wind- und Solarstroms und der ebenso regelmäßige Abfall der Leistung auf Werte nahe Null wirft ein Schlaglicht darauf, dass ein Zubau an Erzeugungskapazitäten ohne Speichermöglichkeiten keinen Sinn macht.

Ohne ausreichende Energiespeicherung ist angesichts der Volatilität der Einspeiseleistung der Windenergie- und Fotovoltaikanlagen ein Ersatz von konventionellen Anlagen physikalisch nicht möglich. Pumpspeicherkraftwerke stellen die effektivste großtechnische Variante zur Speicherung von Energie, die zur Stromversorgung genutzt werden kann, dar. In Deutschland sind über 30 große und kleine Pumpspeicherkraftwerke verfügbar. Das neueste und leistungsfähigste mit einer Nennleistung von 1060 MW ist das Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal mit zwölf Millionen Kubikmeter Wasser im Oberbecken und einer Gesamtlänge des Ringdamms des Oberbeckens von 3370 Metern. In ganz Deutschland sind zurzeit Kapazitäten von ca. 7000 MW am Netz. Die Baukosten für Goldisthal betrugen **600 Millionen Euro**.

Die Entleerungszeiten dieser Pumpspeicherkraftwerke liegen größtenteils zwischen 5 bis 7 Stunden, abhängig von der Auslegung der Anlagen. Um die Leistung von 1 000 MW über einen Zeitraum von 24 Stunden durchgängig bereitzustellen, müssen also ca. 4 Pumpspeicher à 1 000 MW vorhanden sein.

Ohne einen parallel betriebenen konventionellen Kraftwerkspark müsste aufgrund fehlender gesicherter minimaler Leistung der Wind- und Fotovoltaikanlagen nahezu der gesamte Stromverbrauch aus gespeicherter Energie über mehrere Tage sichergestellt werden.

Die Speicherkapazität des Pumpspeicherkraftwerks Goldisthal beträgt 8 GWh. Der durchschnittliche tägliche Strombedarf in Deutschland liegt mit 1650 GWh beim 200-fachen dieses Werts. Für eine zehntägige Flaute wären damit größenordnungsmäßig 2000 Pumpspeicherkraftwerke der Goldisthal-Klasse erforderlich. Selbst die Turbinen des chinesischen Drei Schluchten Damms, des größten Wasserkraftwerks der Welt, könnten gerade mal ein Viertel der erforderlichen elektrischen Leistung für Deutschland bereitstellen.

Auf minimal eine Billion € Kosten würde sich der Bau dieser Pumpspeicher bei dem niedrigen Ansatz von 600 Millionen € pro Anlage summieren. Für den im Schwarzwald (Atdorf) geplanten Bau eines Pumpspeicherkraftwerks werden Milliardenbeträge an Baukosten geschätzt.

Aus diesem Kostenansatz allein wird deutlich, dass die Speicherung von Überschüssen der Stromerzeugung aus Windkraft und Fotovoltaik über Pumpspeicher als Backup für regenerative Anlagen ökonomisch nicht darstellbar ist. Überdies besitzt Deutschland keine topographischen Voraussetzungen für den Bau ausreichend vieler Pumpspeicherkraftwerke. Pumpspeicherkraftwerke zum Ausgleich der schwankenden Leistung sind eine Illusion.

Trotzdem werden die Realisierungsmöglichkeiten und das technische Potential der Speicherung in allen öffentlichen Diskussionen maßlos – das heißt: um den Faktor 1000 bis 10.000 – überschätzt und mit dem lapidaren Hinweis auf Forschungs- und Entwicklungsbedarf, der sicher vorhanden ist, abgehandelt. Abseits aller Forschungsanstrengungen liegt die Größenordung der erforderlichen Kapazitäten aufgrund von unumstößlichen Naturgesetzen dennoch schon heute fest. Die Kostenfrage wird völlig ignoriert. Auch die fiktive Verdreifachung der Nennleistung hätte an dieser Situation wenig geändert.

B. Batterie-Speicherung

In Speicherszenarien werden oftmals auch Batterie-Speichersysteme angeführt. In zwei räumlich getrennten Bereichen der Batterie werden über chemische Prozesse unterschiedliche Ladungsträger aufkonzentriert. 2015 wurde der größte Batteriespeicher Sachsens in Betrieb genommen. Die Leistung/Energiespeichermenge beträgt 2 MW/2,7 MWh mit einer Investitionssumme von 2,7 Millionen €. Der Hersteller garantiert eine Lebensdauer von 10 Jahren. Bereits im Herbst 2014 war der europaweit größte Batteriespeicher in Schwerin (Mecklenburg-Vorpommern) in medienwirksamer Inszenierung ans Netz angeschlossen worden. Die Zahlen hier: 5 MW/5 MWh bei 6,5 Millionen € Investitionskosten. Bei Sturm kann dieser Batteriespeicher die Leistung eines einzigen Windrads für weniger als 2h speichern.

Die Speicherung einer TWh (Li-Ionen mit 1000 €/kWh) kostet eine Billion € (1000 Milliarden €). Mit obigen Herstellerdaten errechnen sich Kosten von einer Billion € für die Speicherung von 1 TWh über Lithium-Batterien (Li-Ionen mit 1000€/kWh). Zur Überbrückung von 6 Tagen Windflaute (**Abb. 6**) würden Lithium-Batterien für die Speicherung von 10 TWh (10 Milliarden kWh) mit Kosten von 10 Billionen € fällig (600 TWh Jahresverbrauch/365 Tage => 1,64 TWh/pro Tag). Für die Überbrückung von 30 Tagen fallen für diese Speichertechnik 50 Billionen € an. Die realistische Haltbarkeitsdauer dieser Batteriesysteme liegt unter 10 Jahren. Batteriespeicher zur Aufnahme und zum Ausgleich der Leistungsschwankungen sind fern jeder ökonomischen und physikalischen Realität! Dabei wurde die Verfügbarkeit der entsprechenden Materialien hier nicht mal betrachtet.

C. Power-to-gas

Nicht minder illusorisch ist die Idee der Produktion von „Windgas" (Herstellung von Methan über den Sabatier-Prozess; besser bekannt unter der Bezeichnung „power to gas") als Speichermethode für diese gewaltigen Energiemengen. Aus dem mehrstufigen Prozess über Wasserstoff zu Methan zur Bereitstellung für die Wiederverstromung in Gaskraftwerken resultieren große Energieverluste, sodass unter günstigen und optimistischen Voraussetzungen ca. 30% der ursprünglichen elektrischen Energie (28,5%: Quelle Bundestag.de) bei der erneuten Stromgewinnung erreicht wird. (realistischere, alle Wirkfaktoren berücksichtigende Annahme: maximal ca. 20%; Quelle: V.v. Schnurbein, ET).

Zur Kompensation dieser Verluste würde der Bedarf an weiteren Windenergie- und Fotovoltaikanlagen nochmals um mehr als 100% ansteigen. Man müsste also die Erzeugungskapazitäten für Wind- und Solarstrom mehr als verdoppeln, um die energetischen Verluste des power-to-gas-Verfahrens zu kompensieren. Ohne den Aufwand zum Bau der Methanisierungsanlagen und der erforderlichen Gaskraftwerke zu berücksichtigen, bewirken allein die Verluste schon eine Verdoppelung der Kosten.

Das deutsche Erdgasnetz hat ein Speichervolumen von 20 Milliarden m³. Bei Speicherung einer TWh über Wasserstoff mit dem spezifischen Energieinhalt (Heizwert) von 3 kWh/m³ errechnet sich ein äquivalenter Speicherbedarf von 333 Millionen m³. Bei einem Speicherbedarf von 50 TWh erhöht sich das Speichervolumen unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades von 70 % bei der Elektrolyse auf 23 Milliarden m³ und überschreitet somit die Speicherkapazität des vorhandenen Erdgasnetzes (Anmerkung: Dies ist als pures Rechenexempel aufzufassen, da die Wasserstoffkonzentration im Erdgasnetz 5% nicht übersteigen darf!). Bei der Umwandlung von Wasserstoff in Methan (Sabatier-Prozess: 30 % Wirkungsgrad) resultieren weitere Verluste. Die Stromgestehungskosten liegen bei ca. 2 €/kWh.

7. Gedankenexperiment Vollversorgung mit Sonne und Wind

Vertreter der "100%-Regenerative-Energien-Option in Deutschland" gehen bei der zukünftigen Installation von Windenergieanlagen im Onshore-Bereich von 200 000 MW Nennleistung, im Offshore-Bereich von 85 000 MW Nennleistung und für Fotovoltaikanlagen von 250 000 MW Nennleistung aus, also in der Summe von **535 000 MW Nennleistung**.

Um die Auswirkungen einer Vervielfachung der Installation von Windenergie- und Fotovoltaikanlagen auf die Stabilität der Stromversorgung in Deutschland überprüfen zu können, bietet sich ein Gedankenexperiment an. Es wird angenommen, dass ein Bundesland durch den gesamten in Deutschland bisher installierten Kraftwerkspark aus „Sonne und Wind" fiktiv versorgt wird.

Dazu eignet sich Baden-Württemberg, weil für dieses Versorgungsgebiet die Lastganglinien des Stromverbrauchs und der Einspeiseleistungen über die von EEX (European Energy Exchange) und Entsoe bereitgestellten Daten direkt verfügbar sind (Transnet BW).

Zudem liegt die bundesweite Stromproduktion aus Windenergie- und Fotovoltaikanlagen mit 84,2 Milliarden kWh in 2014 in etwa beim Stromverbrauch von Baden-Württemberg von 80 Milliarden kWh: Die anvisierte Verfünffachung (Windkraft: 40 000 MW/200 000 MW) bzw. Versechsfachung (Fotovoltaik: 40 000 MW/250 000 MW) der heute installierten Kapazität wird so annähernd maßstabsgerecht in das Gedankenexperiment übertragen.

Mit der Fokussierung der gesamten aktuell in Deutschland installierten Wind- und Fotovoltaik-Kapazitäten auf dieses Bundesland wäre die angestrebte Endausbaustufe also fiktiv bereits heute erreicht. Auch der abgeschlossene Bau von Stromtrassen wäre simuliert, da fiktiv quasi alle Anlagen ideal mit dem Bundesland vernetzt sind.

Müsste Baden-Württemberg bei diesen idealen Randbedingungen nicht allein durch die regenerative Stromproduktion der in Deutschland bereits installierten Anlagen voll versorgt werden können?

Fiktive Stromversorgung von Baden-Württemberg durch alle in Deutschland installierten Windenergie- und Fotovoltaikanlagen mit 80 000 MW Nennleistung

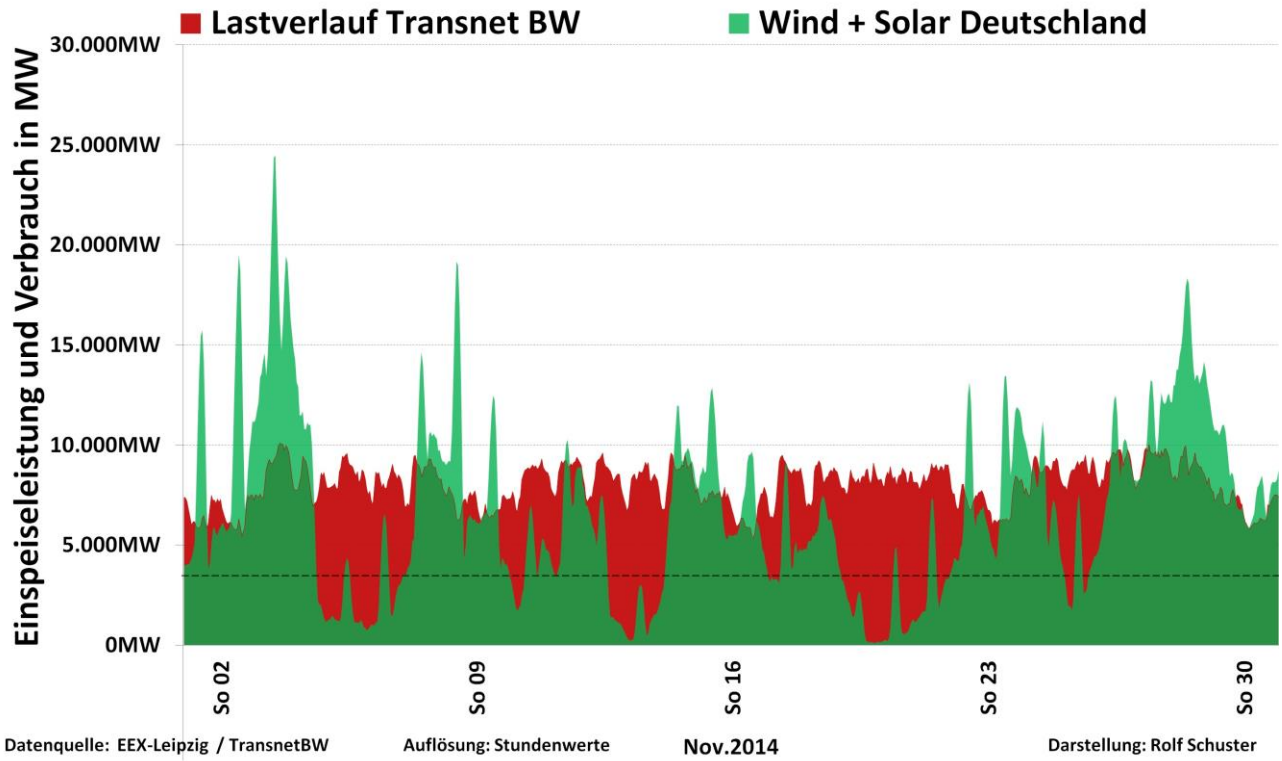


Abb. 10: Einspeiseleistung aller Windenergie- und Fotovoltaikanlagen in Deutschland relativ zur Stromverbrauchskurve für Baden-Württemberg (Band bis ca. 10 000 MW) im November 2014

Der Vergleich für Baden-Württemberg (**Abb. 10**) zeigt deutlich die Diskrepanz zwischen dem Stromverbrauch mit ca. 9 000 MW mittlerer Einspeiseleistung (Fläche unterhalb der roten Lastganglinie) und der Stromerzeugung der gesamtdeutschen Windenergie- und Fotovoltaikanlagen (grüne Fläche) im Zeitraum November 2014.

Selbst bei extremem Ausbau der regenerativen Energien aus "Sonne und Wind" in Baden-Württemberg um den **Faktor 16** von ca. 5 000 MW (in BW aktuell installiert) auf über 80 000 MW Nennleistung kann das Bundesland nicht in jedem Augenblick mit Strom versorgt werden.

Die massive Unterdeckung (rote Flächen) über lange Zeiträume ist offensichtlich. Hinzu kommen die bereits angesprochenen massiven Überdeckungen bis hin zu einem Vielfachen des aktuellen Bedarfs, die ein nicht lösbares „Entsorgungsproblem" schaffen! Auch in diesem Vergleich zeigt sich der gravierende, aber meist nicht beachtete Unterschied zwischen Leistung und Arbeit (kW vs. kWh).

Aufgrund der bundesweiten typischen Einspeisecharakteristik gilt diese Aussage auch für alle anderen Bundesländer in unterschiedlicher Stufung. Selbst für Rheinland-Pfalz mit einem Stromverbrauch von „nur" 30 Milliarden kWh und einer mittleren Einspeiseleistung von ca. 3 500 MW ist die Versorgung nicht machbar, wie eine gedachte Horizontallinie bei 3 500 MW in **Abb. 10** (schwarze gestrichelte Linie) demonstriert. Zudem wäre der gesamte Kraftwerkspark eines fiktiv versorgten Bundeslandes generell nicht in der Lage, die auftretenden Stromspitzen auszugleichen.

8. Fazit

Die in den letzten Jahren rasant ansteigende Anzahl von Windenergie- und Fotovoltaikanlagen und somit der Zuwachs an installierter Nennleistung werden als Indiz für den erfolgreichen Verlauf der Energiewende propagiert. Die energiewirtschaftlich maßgeblichen Lastganglinien dieser Anlagen, die die eingespeiste Leistung der Anlagen als Zeitverlauf dokumentieren – also das Resultat des Betriebs des Kraftwerksparks aus „Sonne und Wind" darstellen – werden fast völlig ignoriert. Eine Überprüfung der bedarfsgerechten Erzeugung erfolgt nicht. So herrschen in weiten Teilen der Öffentlichkeit schwerwiegende Fehleinschätzungen zum Potenzial dieser EEG-finanzierten Anlagen vor, die von der Politik als Zustimmung gewertet werden.

Ebenso wie durch den Mangel an Einspeiseleistung bei sehr hohem Verbrauch – mehrfache Blackout-Gefahr im Winter wegen des extremen Stromverbrauchs von bis zu 82 000 MW Einspeiseleistung – wird die Stabilität der Stromversorgung durch unkoordinierte hohe Netzeinspeisungen gefährdet. Daher wurden bereits Abschaltmechanismen für die Windenergie- und Fotovoltaikanlagen eingebaut, die zukünftig verstärkt zur Vergütung auch von nicht erzeugtem Strom führen werden.

Die regenerativen Energien aus „Sonne und Wind" sind Additive. Der Kraftwerkspark aus Windenergie- und Fotovoltaikanlagen kann prinzipiell den konventionellen Kraftwerkspark nicht ersetzen, auch wenn dies oft unter dem Stichwort „Entkarbonisierung" kolportiert wird.

Die ausstehenden Stromtrassen z.B. nützen zum Abtrag der Stromspitzen, also der Verteilung von lokalen Überschüssen z.B. von Nord- nach Süddeutschland. Bei Windflaute und zugeschneiten Fotovoltaikanlagen – also bei Mangelsituationen – bieten sie keine Hilfe. Was der Öffentlichkeit verschwiegen wird: Diese Trassen werden nach Abschaltung der Kernkraftwerke für die Durchleitung von Kohlestrom aus Norddeutschland gebraucht. Sie enden nicht zufällig an Standorten von Kernkraftwerken.

Letztlich werden die Grenzen des Regelbands der konventionellen Anlagen den Endpunkt der volatilen Netzeinspeisung der Windenergie- und Fotovoltaikanlagen aus physikalisch-technischen Gründen bestimmen. Der Ausweg Energiespeicherung zur Glättung der Lastganglinien der Windenergie- und Fotovoltaikanlagen in der notwendigen Größenordnung bis 70 000 MW über mehrere Tage, die konventionelle Kraftwerke verzichtbar machen könnte, ist auch nicht ansatzweise in Sicht. Zudem werden die **Kosten, die ja gleichzeitig auch den Verbrauch von Ressourcen wiederspiegeln**, über die Dauer und Intensität des Fortgangs der Energiewende in jetziger Ausgestaltung entscheiden. Billionen €-Beträge für Speicherung sind außerhalb jeder wirtschaftlichen und insofern realisierbaren Dimension.

Durch die EEG-Festlegung der vorrangigen Netzeinspeisung wird ein doppelter Kraftwerkspark faktisch erzwungen. Zugleich aber wird das Rückgrat der deutschen Stromversorgung – der konventionelle Kraftwerkspark – systematisch in die Unwirtschaftlichkeit getrieben. Bei stetig fallenden Börsenpreisen bis unter den Selbstkostenpreis der erzeugten kWh kann außerhalb der EEG-subventionierten Erzeugung kein wirtschaftlicher Betrieb der dringend notwendigen konventionellen Anlagen dauerhaft aufrechterhalten werden.

Aus Kenntnis dieser Daten und Zusammenhänge folgt zwingend die **Forderung, den Ausbau insbesondere von Windenergieanlagen unverzüglich auszusetzen (Moratorium), solange keine plausiblen Konzepte zur Beherrschung der aufgezeigten Probleme vorliegen.**

Kenntnisse und resultierende Forderung werden bundesweit geteilt.

Dr. Susanne Kirchhof
für
Für Mensch und Natur
www.gegenwind-sh.de
Gegenwind
Schleswig-Holstein e.V.

Michael Eilenberger
für
Bundesverband LANDSCHAFTSSCHUTZ e.V.
LV Sachsen

Matthias Elsner
für
VERNUNFTKRAFT. NIEDERSACHSEN e.V.
- Landesverband Landschaftsschutz -
Bündnis der niedersächsischen Bürgerinitiativen für vernünftige Energiepolitik

Norbert Schumacher
für
FREIER HORIZONT
Aktionsbündnis gegen unkontrollierten Windkraftausbau

Waltraud Plarre
für
Rettet Brandenburg
Die Volksinitiative

Volkmar Pott
für
VERNUNFTWENDE
Bündnis NRW

Gerti Stiefel
für
MenschNatur

Uwe Anhäuser
für
Bündnis Energiewende für Mensch & Natur
ENERGIE für WENDE
MENSCH & NATUR

Matthias Kraus
für
LANDESVERBAND BW
Bürgerinitiativen gegen Windkraftanlagen
in Natur- und Kulturlandschaften e.V.

Bernhard Klug
für
VERNUNFTKRAFT.
Landesverband Hessen e.V.
Bündnis der hessischen Bürgerinitiativen für vernünftige Energiepolitik

Dr. Friedrich Buer
für
VERNUNFTKRAFT.
BAYERN