

**Über die Illusion, 80-100% des Stroms über alternative Energien
erzeugen zu können**

Quantifizierung der unumgänglichen Stromspeicherung zum Gelingen
der Energiewende 2010 / 2011

Dr.Erhard Beppler

Inhalt

1. Aufgabenstellung
2. Erneuerbare - Energien - Gesetz 2010/2011
3. Spannbreite der Stromerzeugung über die volatilen Stromerzeuger Wind und Solar
4. Unumgängliche Stromspeicherung zum Gelingen der Energiewende 2010 / 2011
5. Mögliche quantitative Stromerzeugung über die alternativen Energien auf der Basis der Energiewende 2010 / 2011 ohne Stromspeicher
6. Höchst mögliche Stromerzeugung über alternative Energien für das Jahr 2050 ohne Stromspeicher
7. Überlegungen zur möglichen 100 %igen Stromerzeugung über alternative Energien
8. Unzureichende sichere Stromerzeugung durch das volatile Verhalten von Wind- und Solarstromanlagen
9. Stromnetze
10. Zusammenfassung
11. Schrifttum
12. Anlagen

1. Aufgabenstellung

Aussagen zur Notwendigkeit von Stromspeichern zum Gelingen der Energiewende 2010/2011 sind schon häufig gemacht worden, ohne jedoch eine exakte Beschreibung von Anzahl und Zeitpunkt ihrer erforderlichen Installation zu benennen. H.-W. Sinn hat erstmals systematisch die Quantität der erforderlichen Energiespeicher auf der Basis des im Jahre 2011 (1) und 2013 (2) erzeugten volatilen Wind- und Solarstroms errechnet, um den schwankenden Strom überhaupt nutzbar machen zu können, würde er denn ausschließlich über Wind und Solar erzeugt.

Nun sind die erzeugten Strommengen über Wind und Solar zur Zeit noch eingebettet in die Stromerzeugung aus den konventionellen Kraftwerken und ihrer Flexibilität, so dass der aus der jetzigen Stromerzeugung aus Wind und Solar anfallende Überschussstrom noch einigermaßen abgefedert werden kann, nicht zuletzt durch die Abgabe an Nachbarländer über eine Zuzahlung (negative Strompreise).

Es stellt sich jedoch die Frage, wie die mit der zunehmenden volatilen Stromerzeugung über Wind und Solar bei gleichzeitig vorgesehener Halbierung der Gesamtstromerzeugung bis zum Jahre 2050 (Energiewende 2010/2011) mit dem zu erwartenden Überschussstrom umgegangen werden soll.

Ziel dieser Ausarbeitung ist es daher, den für das Gelingen dieser Energiewende notwendigen Zeitpunkt der Installation der Energiespeicher sowie ihre Anzahl unter den Bedingungen der Energiewende zu errechnen. Dabei fällt als Ergebnis an, dass bei einer Nichtinstallation der Speicher der Anteil der alternativen Energien an der Stromerzeugung nach dem Plan der Energiewende 2010/2011 im Jahre 2050 nicht über 38% angehoben werden kann (3)- eine erschreckende Abweichung von der im Rahmen der Energiewende festgelegten Zielsetzung von mindestens 80%, geschweige denn den Vorstellungen diverser Parteien, Nichtregierungsorganisationen sowie der evangelischen Kirche.

Die im Jahre 2014 verabschiedeten Änderungen der Energiewende 2010/2011, die einschneidende Auswirkungen zur Folge haben werden, werden in einer anschließenden Arbeit sichtbar gemacht.

2. Erneuerbare – Energien – Gesetz 2010 / 2011

Die Folgen der tief verwurzelten Klimaängste führten in Deutschland zunächst zur Energiewende 2010 mit einer massiven Umstellung auf regenerative Energietechniken zur Stromerzeugung mit folgenden Zielen:

Erneuerbare Energien

2020	2050	CO2-Minderung
35 %	mind. 80 %	80-95 %

Maßnahmen zur Erreichung der Ziele:

Stromverbrauch (%): -20 (2020) -50 (2050)

(-25 % Effizienz, + 25 % Import aus alternativen Energien: 21 GW)

Der Vorfall Fukushima führte dann zum Beschluß des Atomausstieges bereits für das Jahr 2022 bei schnellerem Ausbau der Netze und Öko-Energien.

In der Anlage 1 (Basisszenario A) sind die gemäß der Energiewende 2010/2011 bis 2050 zu installierenden Stromerzeugungsverfahren mit ihren Kapazitäten dargestellt und ein Vergleich mit der entstehenden nutzbaren Leistung (GW eff.) der verschiedenen Stromerzeugungsverfahren angestellt.

Windkraftanlagen an Land können in Deutschland nur zu unter 20 % genutzt werden, Solaranlagen zu unter 10 %, Kernenergieanlagen zu rund 95 %, Kohlekraftwerke zu rund 90 % ebenso Biogasanlagen. Dennoch wurden für die im Folgenden angestellten Überlegungen für Windkraft- und Solaranlagen in Anlage 1 zunächst eine Nutzung von 20 bzw. 10 % angesetzt.

Im „Erneuerbare-Energien-Gesetz“ wird davon ausgegangen, dass im Jahre 2050 die fossile Energie nur noch über Gaskraftwerke beigestellt wird.

Der über alternative Energien erzeugte Strom hat grundsätzlich Vorrang.

3. Spannbreite der Stromerzeugung über die volatilen Stromerzeuger Wind und Solar

Die in Anlage 1 dargestellten Stromerzeugungskapazitäten nach dem Plan der Energiewende 2010 /2011 über die konventionellen (Atomkraft, fossile Kraftwerke) sowie alternative Stromerzeuger (Wind, Solar, „Sonstige“ (Biomasse, Wasser etc.)) sind in Bild 1 bis zum Jahre 2050 graphisch

dargestellt.

Die starke Zunahme der installierten alternativen Energien „Sonstige“ sowie Wind und Solar von 56 GW in 2010 auf 164 GW in 2050 sowie die Abnahme der konventionellen

Stromerzeugung von 98 auf 40 GW wird dabei sichtbar.

Gleichzeitig wird die zunehmende Spanne der volatilen Stromerzeuger Wind und Solar von 46 GW in 2010 auf 144 GW in 2050 deutlich.

Das bedeutet z. B. für das Jahr 2050, dass die Stromerzeugung über Wind und Solar theoretisch zwischen 0 GW (z.B. nachts bei Windstille) und 144 GW

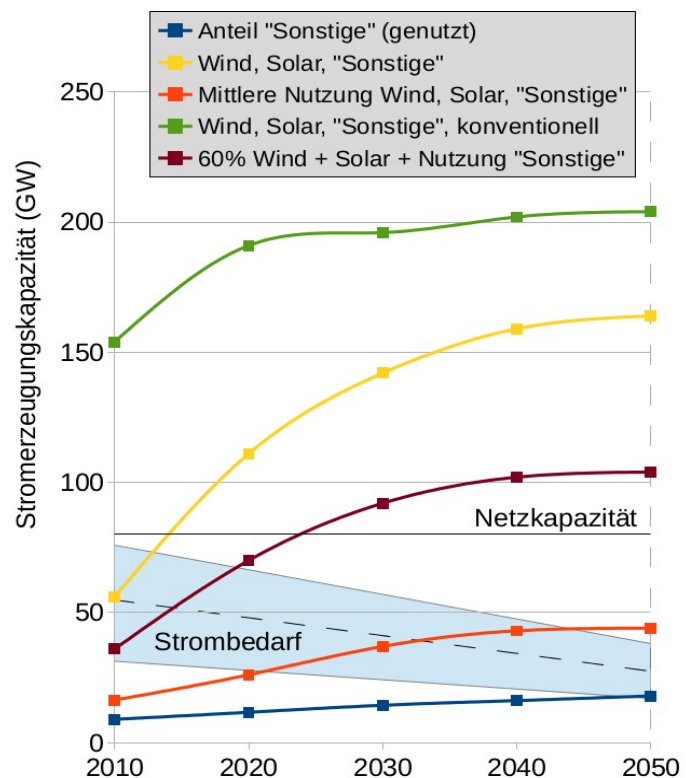


Bild1: Stromerzeugungskapazität der verschiedenen Stromerzeuger gemäß Energiewende 2010/2011

schwanken kann. Das bedeutet, dass diese Schwankungsbreiten durch konventionelle Kraftwerke aufgefangen werden müssen, d.h. die konventionellen Stromerzeuger müssen in ständiger Bereitschaft stehen mit all den damit verknüpften Kosten.

Weiterhin ist bei der Betrachtung von Bild 1 bemerkenswert, dass bei viel Sonne und Wind bereits in naher Zukunft die Stromerzeugung über die alternativen Stromerzeuger die Netzkapazität überschreiten kann.

Auswertungen der Stromerzeugung von Wind, Solar und Wind + Solar bezogen auf die jeweilige Nennleistung der Jahre 2011 - 2013 haben jedoch gezeigt, dass zwar bei der ausschließlichen Betrachtung der Windleistung die Leistung bis zu 85 %, bei der Solarleistung bis zu 80 % an die Nennleistung heranreichen, bei der summarischen Betrachtung aber nur zu 60 % (Bild 2-4). (4) (Diese 60 % Spitzen aus Wind + Solar sowie "Sonstige"(genutzt) sind ebenfalls in Bild 1 aufgenommen worden). Das bedeutet, dass in unseren Breiten bei hoher Sonneneinstrahlung die Windstärken niedriger liegen. (vgl. auch (1))

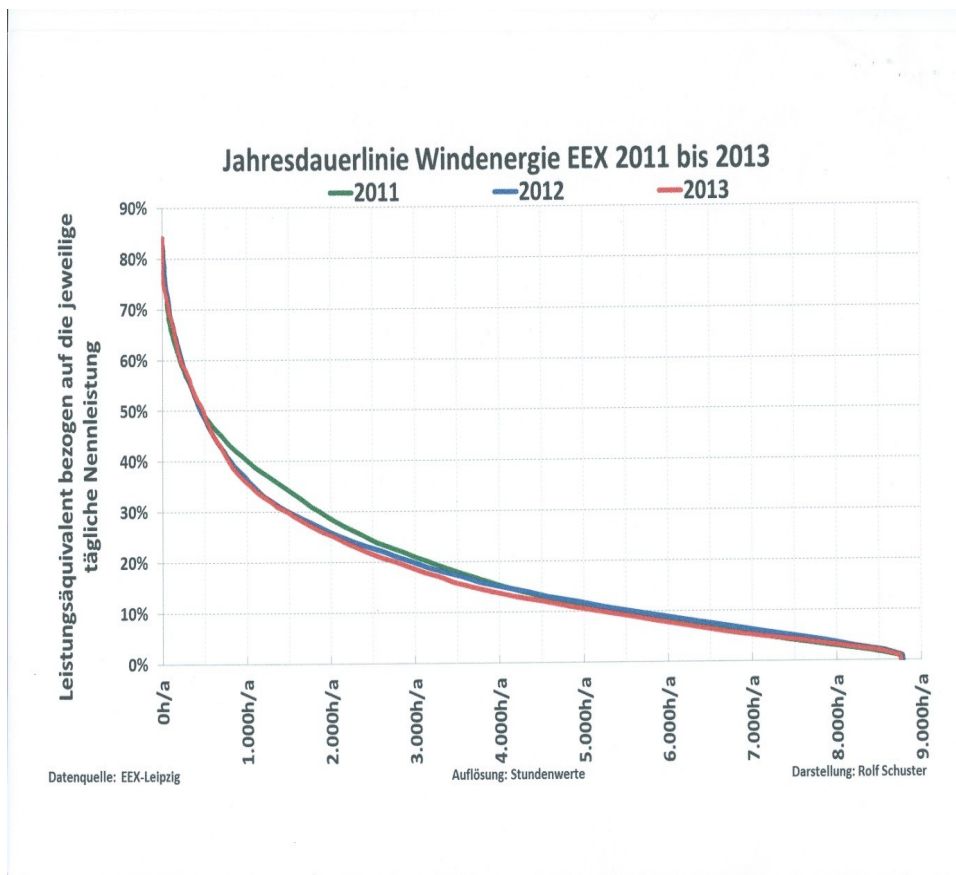


Bild2: Auf die Nennleistungen bezogenen stündlichen Windleistungen für die Jahre 2011-2013

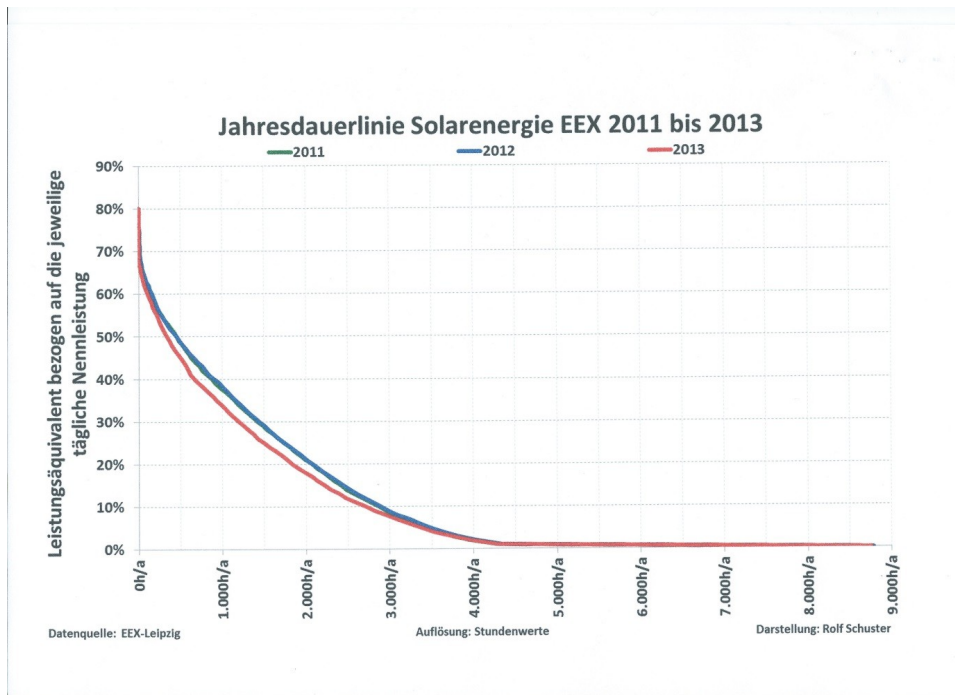


Bild3: Auf die Nennleistungen bezogenen stündlichen Solarleistungen für die Jahre 2011-2013

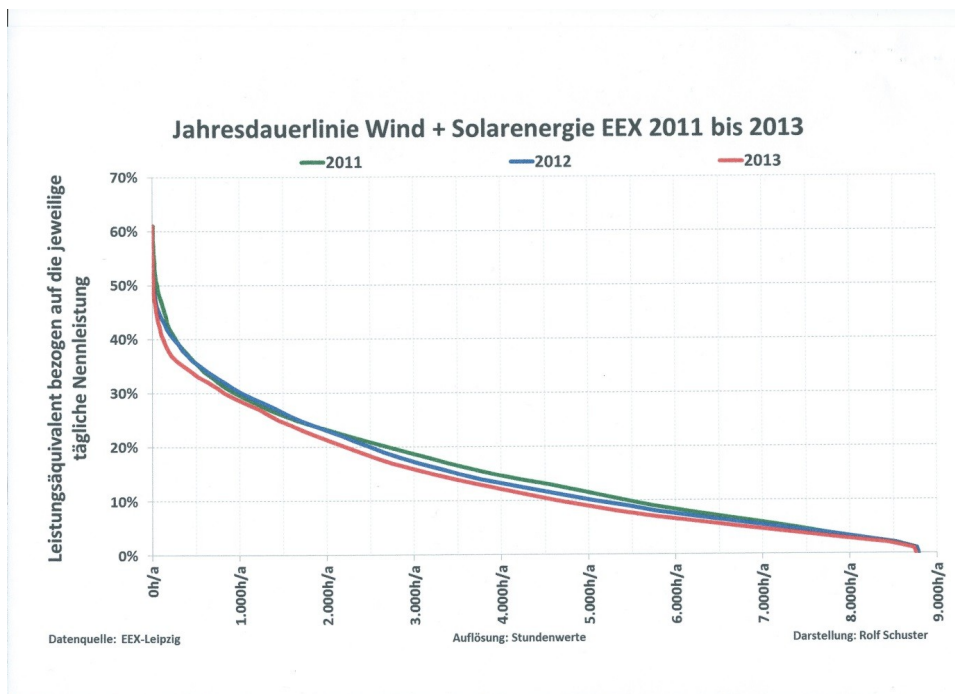


Bild4: Auf die Nennleistungen bezogenen stündlichen Wind- + Solarleistungen für die Jahre 2011-2013

Als Beleg, dass das Stromangebot über Wind und Solar gegen 0 GW gehen kann, zeigt Bild 5 am Beispiel April 2014 eine mögliche erzeugte Stromuntergrenze über Wind und Solar von 0,2 % bezogen auf die Nennleistung von Wind+Solar von 71 GW. (5)

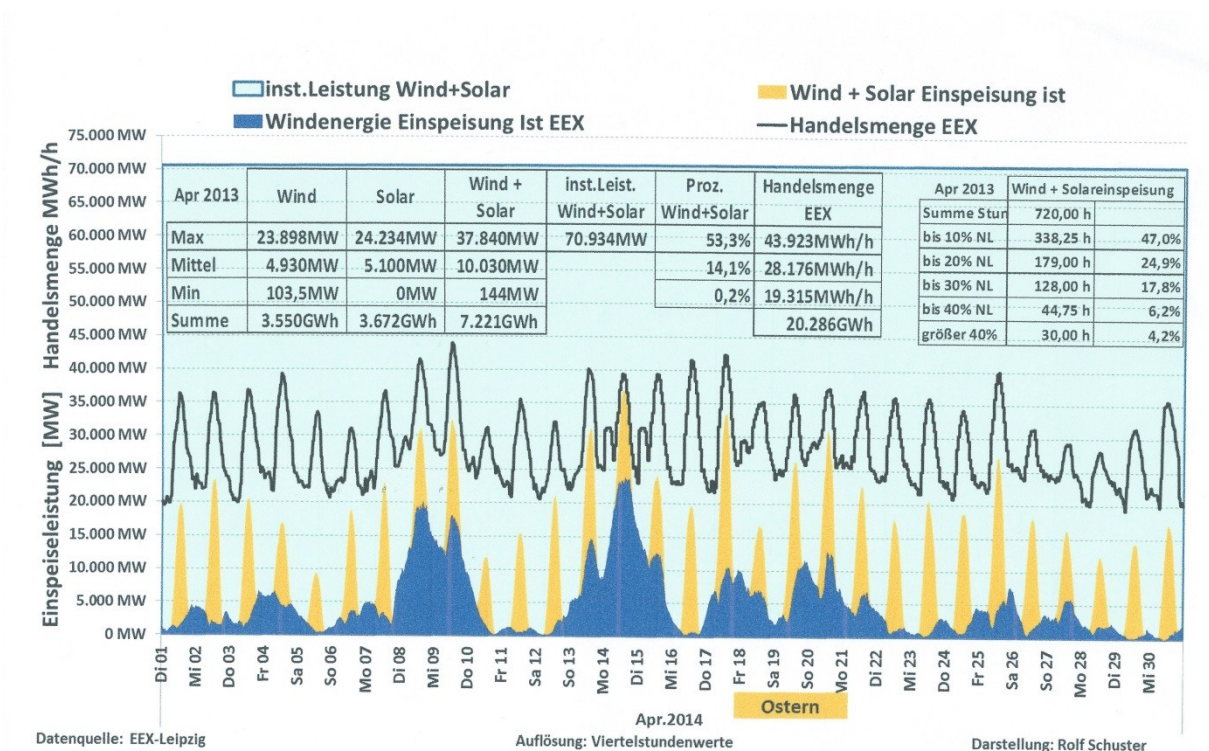


Bild5: Einspeiseleistungen Wind und Solar sowie Handelsmengen EEX im April 2014

Wind kann nach Bild 2 (2011-2013) über eine Zeit von $8760 - 5000 = 3760$ h/a nur zu 10% seiner Nennleistung genutzt werden. Da die Solarenergie praktisch nur zur Hälfte des Jahres genutzt werden kann (Bild 3), gilt auch für die Nutzung von Wind- + Solarenergie die Aussage der Nutzung von weniger als 10% der Nennleistung für die Zeit von 3760 h/a (Bild4) (eine ausschliessliche Betrachtung des Stromangebotes über Wind zeigt im Juli 2014 bei einer installierten Leistung von etwa 34,9 GW eine Untergrrenze von 0,024 GW bzw. 0,069 % (Bild 6)). (6)

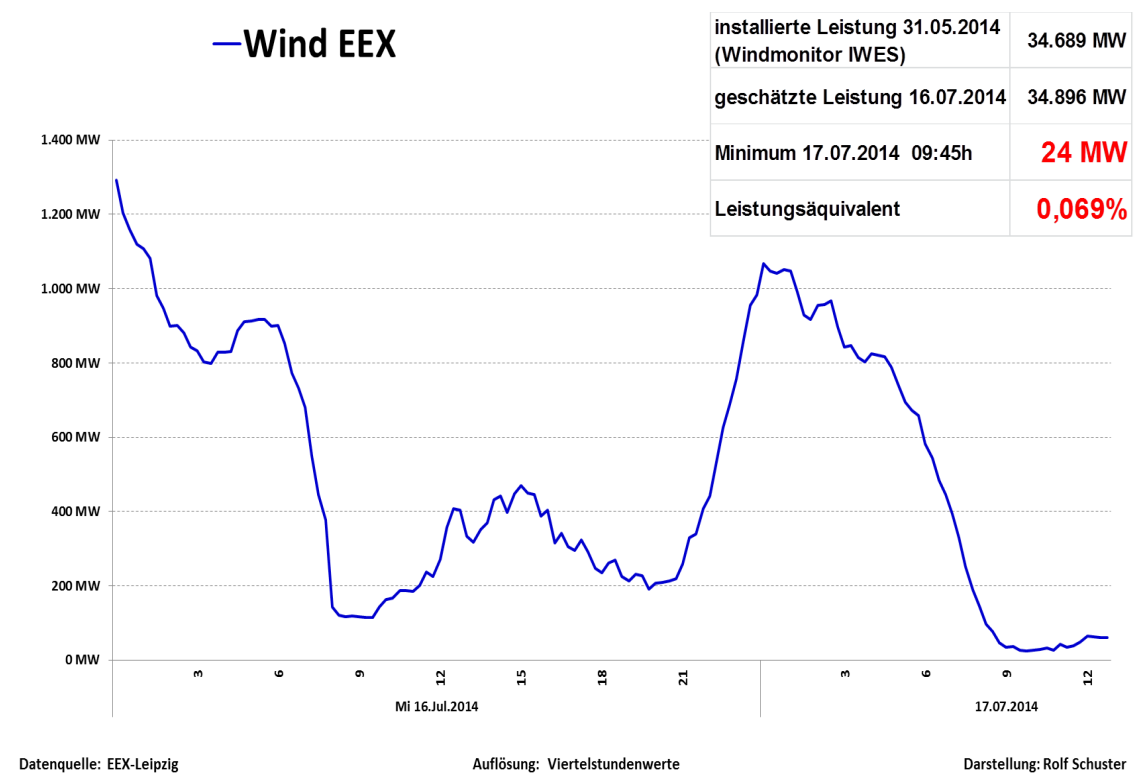


Bild6: Auf die Nennleistung von 34 896 MW bezogene Windleistung von 24 MW (0,069%) im Juli 2014

Die Wind+Solar-Spitzen erreichen im Monat April 2014 mit etwa 35 GW die Hälfte der installierten Wind- und Solarleistung (Bild 7). (5) Geht man davon aus, dass im Jahre 2050 mit 144 GW etwa die doppelte Wind- und Solarkapazität installiert sein soll, dann sind Spitzen in der Wind- und Solarleistung von etwa 70 GW zu erwarten – in der Größenordnung der z.T. üblichen täglichen Strombedarfsspitzen.

Da die jährliche Stromerzeugung bis zum Jahre 2050 auf 300 Mrd. KWh halbiert werden soll, stehen jedoch diese Spitzen nicht mehr in Relation zu den zu erzeugenden Strommengen.

Hierauf wird später eingegangen.

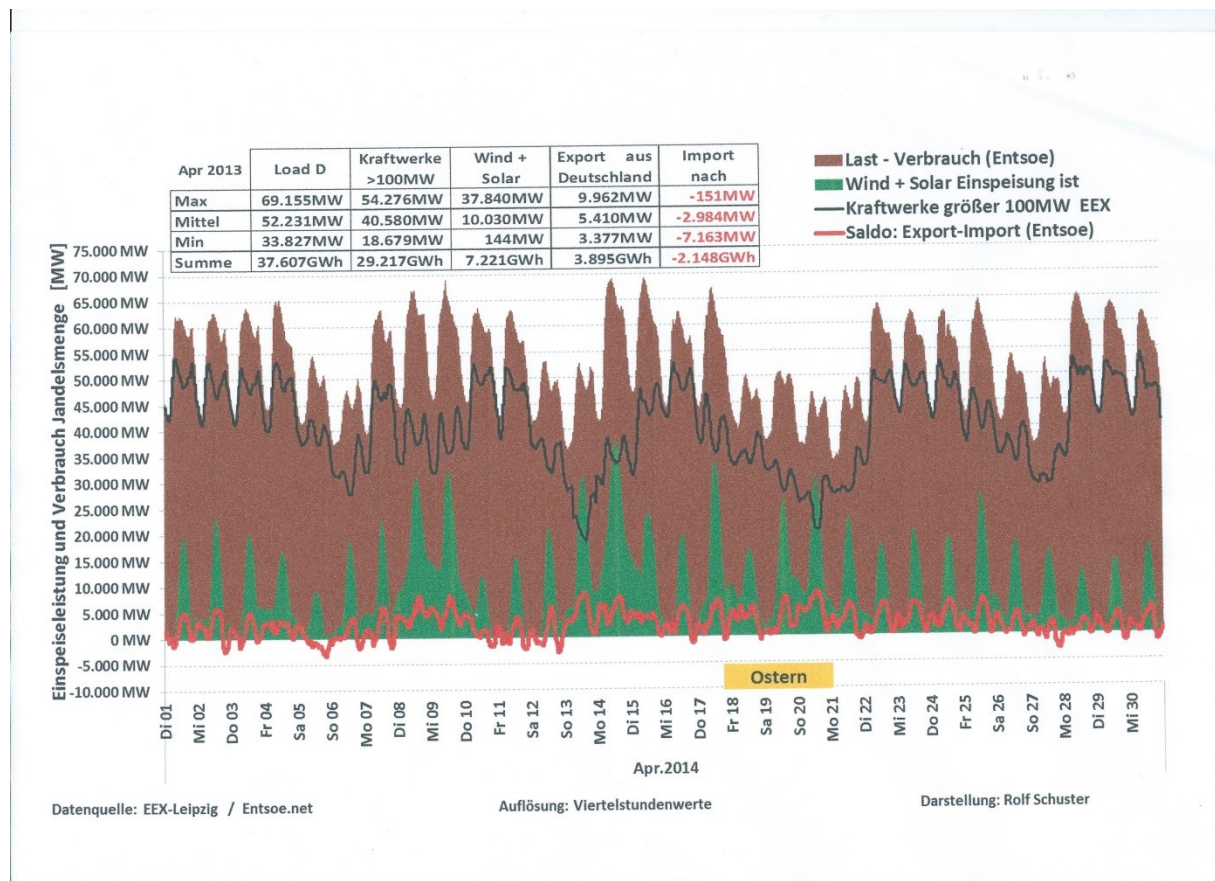


Bild7: Einspeiseleistungen Wind+Solar und Kraftwerke größer 100 MW, Saldo Export-Import sowie Stromverbrauch im April 2014

Bild 1 enthält auch die mittlere nutzbare Stromerzeugung über die „Sonstigen“, die von Wind und Solar, sowie die Summe von Wind + Solar + "Sonstige". So werden im Jahre 2050 bei einer vorgesehenen Stromerzeugung von 300 Mrd. KWh / a im Mittel 26,3 GW eff. über Wind+Solar und 18 GW eff. über „Sonstige“ beigestellt werden, in Summe also 44,3 GW. Dem stehen obsoletere 36 GW „über fossile Energien“ gegenüber, denn die mittlere Stromerzeugung über die alternativen Energien übersteigt schon den Strombedarf, so sie denn nutzbar gemacht werden kann.

26,3 GW eff. über Wind + Solar können aber nur genutzt werden, wenn entweder die über dem mittleren Nutzungsgrad anfallenden Strommengen gespeichert werden und in Zeiten unterhalb dem mittleren Nutzungsgrad wieder eingespeist werden (Beispiel Bild 8 ;"Stromerzeugung von März 2011 von allen deutschlandweit vorhandenen 21 214 Windenergieanlagen, hochgerechnet auf eine Stromleistung von 40 GW"). (7) Die Darstellung in Bild 8 gilt für den ausschließlichen Einsatz von Windstrom. Da Solarstrom in ähnlicher Weise um einen Mittelwert schwankt (Bild 5), gilt die für den Windstrom angestellte Überlegung generell.

Wenn – wie später gezeigt werden wird – eine solche Speicherung nicht möglich ist – verbleibt nur die Schließung der Leistungslücken unterhalb des mittleren Nutzungsgrades durch Gas (wie im Beispiel Bild 8). Das bedeutet dann aber auch, dass 50 % des Wind- und Solarstromes nicht genutzt werden kann.

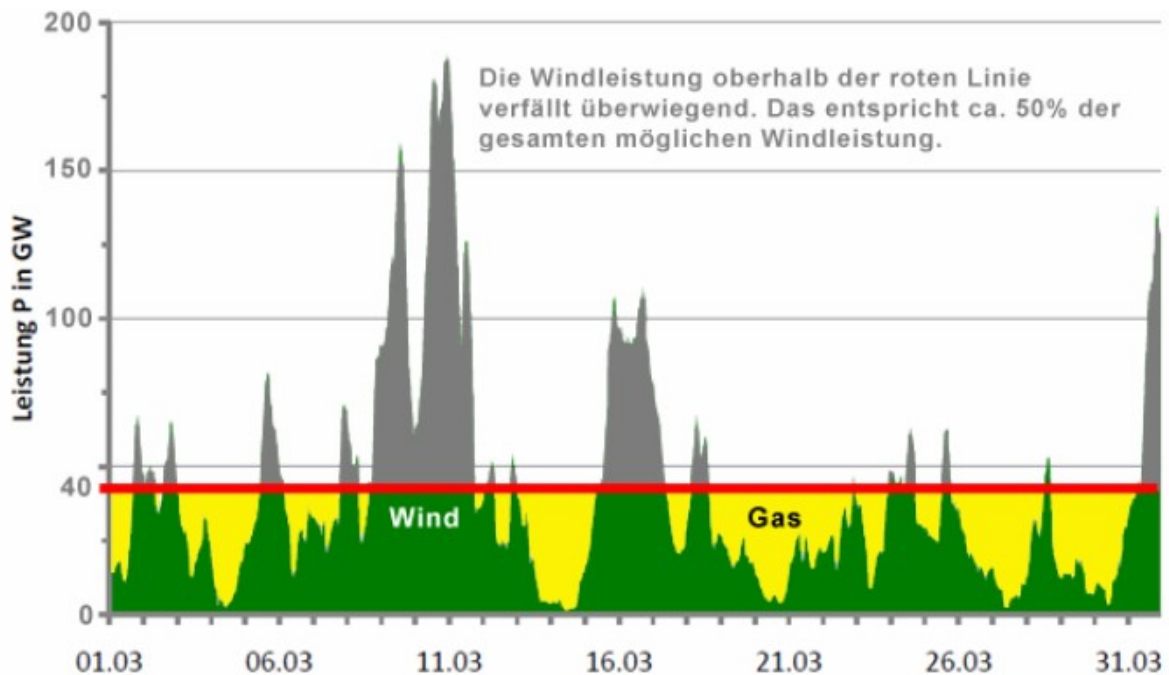


Bild8: Gesamtwindleistung von März 2011, hochgerechnet auf eine Stromleistung von 40 GW

4. Unumgängliche Stromspeicherung zum Gelingen der Energiewende 2010 / 2011

In Bild 1 sind neben den Daten der Energiewende 2010 /2011 auch die Verteilung des mittleren stündlichen Strombedarfes der Jahre 2011-2013 aus Bild 9 (4) aufgetragen, wobei der Halbierung des Strombedarfes bis zum Jahr 2050 Rechnung getragen wird. Die stündlichen Daten in Bild 9 schwanken in diesen Jahren zwischen 32 (nachts) und 76 GW (Tagesspitzen).

Durch die Halbierung der Stromerzeugung bis 2050 halbiert sich die Schwankungsbreite auf 16-38 GW (Bild 1). Dazu wurden auch die Mittelwerte aufgetragen.

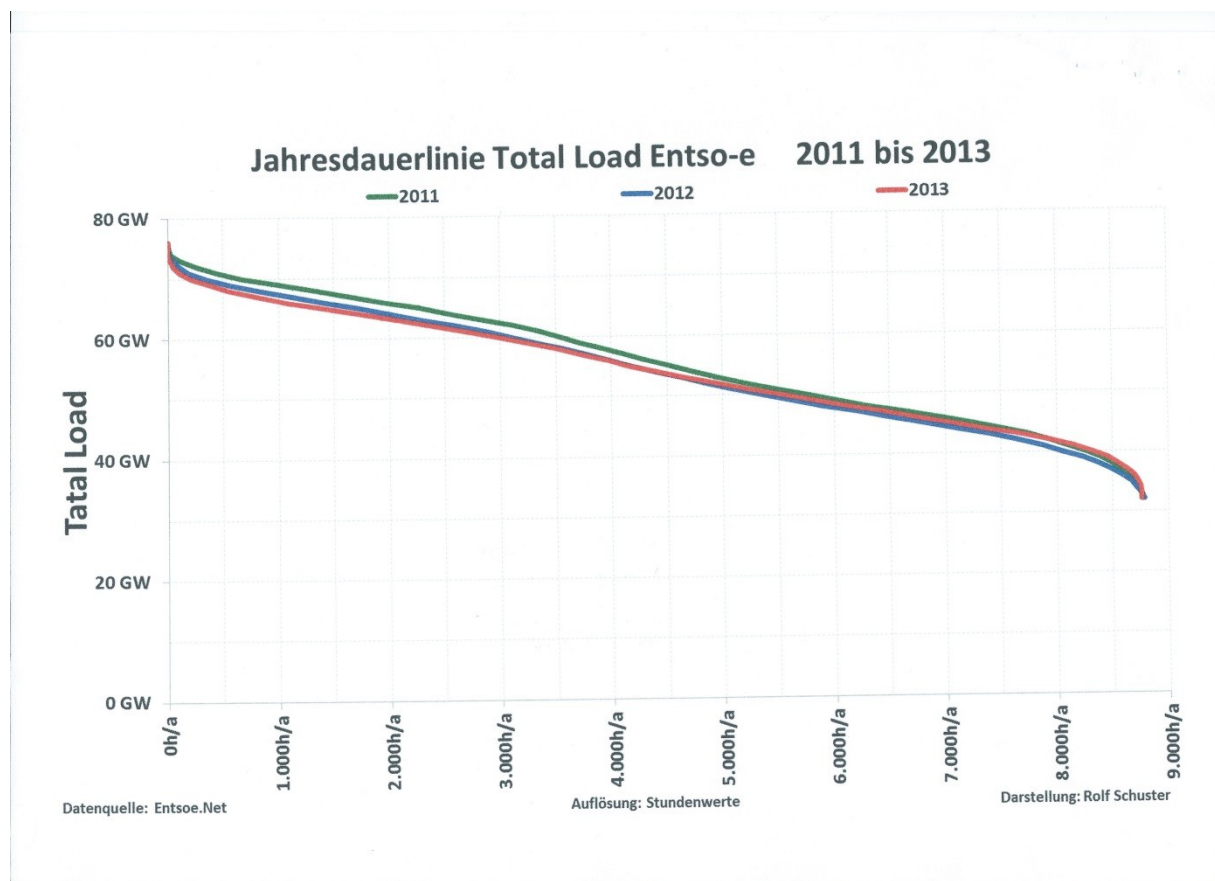


Bild9: Verteilung des stündlichen Strombedarfs für die Jahre 2011-2013

Die Auftragung zeigt, dass im Jahre 2019 die 60 %-Spitzen des Stromangebotes über Wind+Solar sowie "Sonstige" (genutzt) (vgl. Bild 4) sich bereits mit der oberen Strombedarfslinie schneiden.

Im Jahre 2050 liegt sogar die mittlere Nutzung aus Wind+Solar+"Sonstige" um 2,3 GW über der oberen Strombedarfslinie. Die untere Strombedarfslinie kann sogar ausschliesslich über die "Sonstigen" abgedeckt werden.

Nach 2019 überschreitet das 60%- Stromangebot über die alternativen Energien die Strombedarfslinien wie folgt:

		obere	mittlere	untere Strombedarfslinie
2020	(GW)	4	23	41
2025	(GW)	23	40	56
2030	(GW)	37	52	67
2040	(GW)	56	67	82
2050	(GW)	66	76	87

In Bild 10 sind diese Daten des Überstromangebotes graphisch dargestellt.

Hierzu ist anzumerken, dass es sich um Mittelwerte handelt und dass durch

das stochastische Verhalten z.B. die obere Strombedarfslinie im Jahre 2019 nicht zwangsläufig zeitlich mit dem 60%-Stromangebot über die alternative Energien zusammenfallen muss und umgekehrt. Dies bedeutet, dass die oben angegebenen GW-Differenzen ständig variieren können.

So kann z.B. im Jahre 2019 nachts, wenn die untere Strombedarfslinie zum Tragen kommt, dennoch bei starkem Wind die untere Strombedarfslinie massiv überschritten werden, was zu erheblichem Überschussstrom führen kann, der entweder zu Nachbarländern abgeschoben werden muss (was aber zunehmend durch den Bau von Phasenschiebern verhindert wird), oder die Anlagen müssen bei fehlenden Speichern stillgelegt werden.

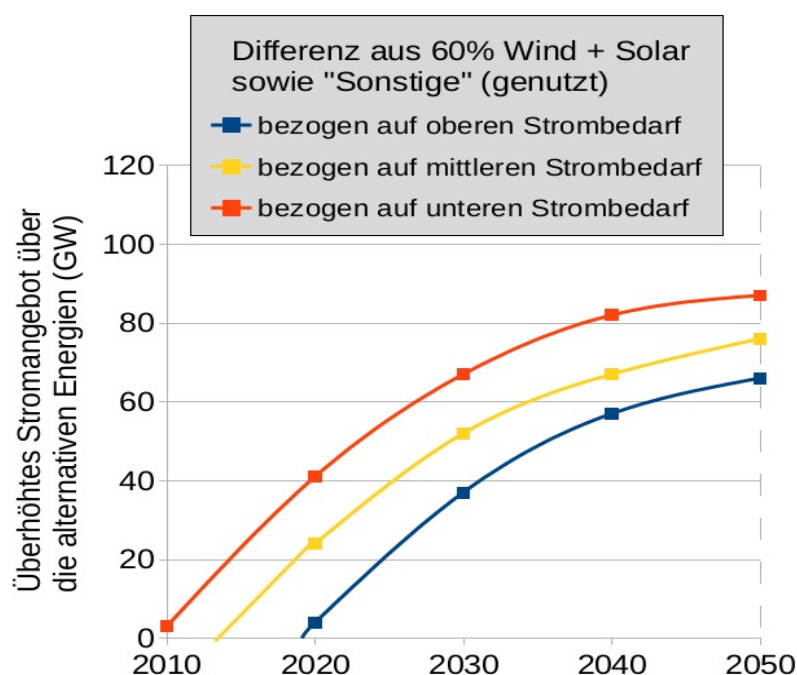


Bild10: Darstellung des überhöhten Stromangebotes über die alternativen Energien gemessen am Strombedarf gemäß Energiewende 2010/2011

Bild 11 zeigt als Ergebnis dieser Betrachtung den im Jahre 2013 durchgeführten physikalischen Stromaustausch mit unseren Nachbarländern. Der höchste Stromexport fand mit den Niederlanden, Österreich und der Schweiz statt, der höchste Import mit den Ländern Frankreich und Tschechien über Atomstrom. (8)

Die hohen Exporte kommen im Wesentlichen durch den subventionierten Überschussstrom über die alternativen Energien zustande und führten in den Niederlanden zu deutlich abfallenden Strompreisen, außerdem sind Arbeitsplätze in einigen Ländern durch das Zurückfahren ausgerechnet von Pumpspeicherwerken durch den billigen deutschen subventionierten Stromimport gefährdet (Schweiz).

Da im Bereich der stochastischen Verteilung von Stromangebot über die alternativen Verfahren und der stochastischen Verteilung der Stromnachfrage eine mathematische Berechnung der Stromüberschussmengen schwer möglich ist, werden in der folgenden Betrachtung nur die Überschussmengen außerhalb der

stochastischen Überlagerung betrachtet, d.h. die Strommengen zwischen der 60%-Linie der alternativen Energien und der oberen Strombedarfslinie, wohlwissend, dass damit nur die Mindestmenge an Überschussstrom erfasst werden kann.

Über die in Bild 10 beschriebenen Abstände zwischen dem über die alternativen Energien angebotenen Stromkapazitäten und dem Strombedarf können durch die nicht lineare Verteilung der alternativen Energien über das Jahr noch keine Aussagen zu Strommengen gemacht werden, dazu bedarf es der statistischen Verteilung der Wind- und Solardaten (Bild 2-4).

Dazu werden folgende Überlegungen angestellt:

Es lassen sich für das Jahr 2030 die zu speichernden Strommengen aus dem Abstand der oberen Strombedarfslinien und dem 60%-Stromangebot über Wind+Solar sowie "Sonstige"(genutzt) mit Hilfe von Bild 4 – des „Leistungsäquivalents bezogen auf die jeweilige tägliche Nennleistung“ - abschätzen (Anlage 2).

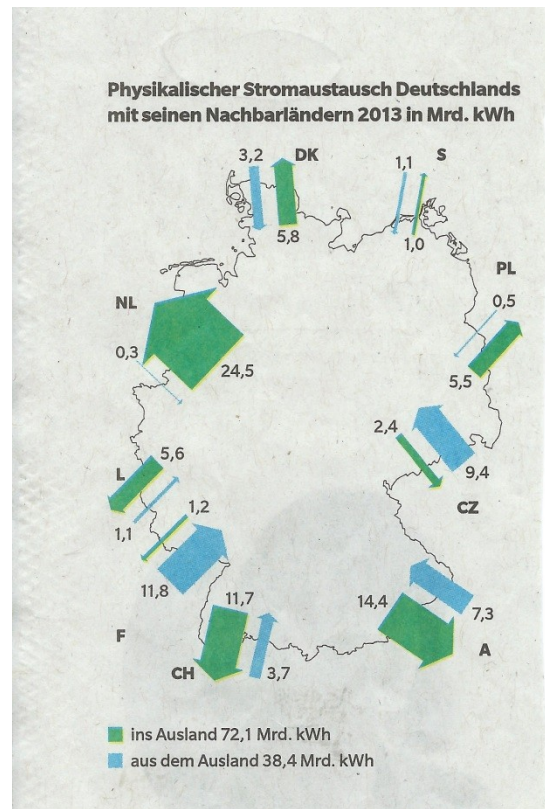


Bild11: Physikalischer Stromaustausch Deutschlands mit seinen Nachbarländern 2013 in Mrd.KWh

Daraus errechnen sich die zu speichernden Strommengen und erforderlichen Speicher wie folgt:

		2030
- zu speichernde		
Strommengen	(GWh/a)	rd. 43500
	(GWh/Tag)	rd. 119
- Anzahl Speicher der Goldisthalgröße		
zum Auffangen des täglichen Überschußstroms		
	<u>119</u>	
	8,4	(n) rd. 14,2

Das größte deutsche Pumpspeicherwerk Goldisthal hat eine Leistung von 1,05 GW und kann die Leistung jeweils 8 h liefern: 8,4 GWh (Kosten 600 Mio. Euro bei einer Bauzeit von 11 Jahren).

Der mit dem Überschussstromanfall gleichzeitig zu fordernde abgeschlossene Bau der Speicher ist für das Gelingen der Energiewende unabdingbar, da er in den Zeiten des zu geringen Stromangebotes unterhalb der mittleren Wind- und Solarnutzung wieder beigelegt werden muß (Bild 8).

Diese und die im Folgenden auf der Basis des oberen Strombedarfes errechneten zu speichernden Strommengen stellen jedoch- wie bereits erwähnt- wegen des stochastischen Verhaltens von Stromerzeugung und Strombedarf stets Mindestmengen dar.

Bei der Berechnung der Anzahl Wasserspeicher ist nicht berücksichtigt, dass der Wirkungsgrad bei etwa 75% liegt.

Die zur Zeit in Deutschland vorhandenen Pumpspeicherwerke können 7 GW bzw. 56 GWh abdecken.

Da sich die mittlere Nutzung von Wind+Solar+"Sonstige" im Jahre 2040 mit der oberen Strombedarfslinie fast schneidet, im Jahre 2050 sogar über der oberen Bedarfslinie liegt (Bild 1), und da die Leistung unterhalb der mittleren Nutzungslinie Wind und Solar genau so hoch liegen muss wie die oberhalb dieser Linie (Bild 8), können für die Jahre 2040 und 2050 die folgenden zu speichernde Strommengen und erforderliche Stromspeicher nun auch errechnet werden:

		2040	2050
1. Installation Wind und Solar (<u>Anlage 1</u>) (GW)		141	144
2. mittlere nutzbare Leistung Wind und Solar (<u>Anlage 1</u>) (GW eff.)		21,7	22,3
3. täglich anfallende zu speichernde Strommenge <u>GW eff. x24 h</u>			
2	(GWh)	260	268
4. Anzahl Speicher für das tägliche Auffangen des Überschussstroms (Basis Goldisthal)			
<u>Spalte 3</u>			
8,4	(n)	31	31,9

(Bild 12)

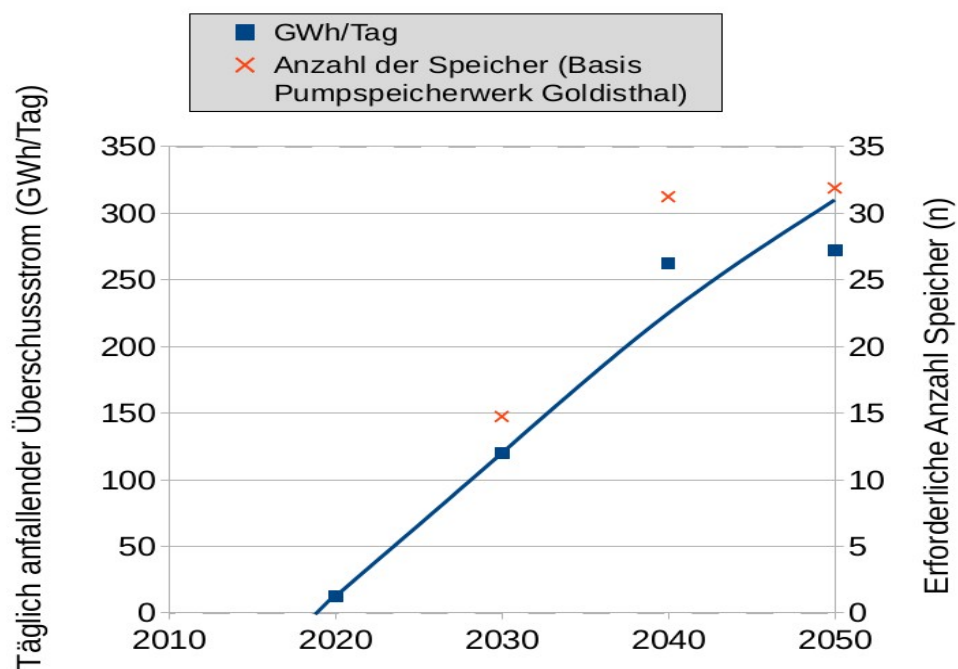


Bild12: Zu speichernde Strommenge sowie erforderliche Stromspeicher als Grundvoraussetzung für das Gelingen der Energiewende 2010/2011

In beiden Fällen wurde auf eine Korrektur (mit Hilfe von Bild 4) der Tatsache verzichtet, dass die obere Strombedarfsgrenze im Jahre 2040 leicht oberhalb und im Jahre 2050 leicht unterhalb der mittleren Nutzung von Wind+Solar+"Sonstige" liegt.

Bei der Berechnung der zu erstellenden Stromspeicher wurde stets die obere Strombedarfslinie angenommen, auch weil schon die obere Strombedarfslinie das unausweichliche Scheitern dieser Energiewende 2010 / 2011 vor Augen führt.

Im Folgenden soll dennoch am Beispiel des Jahres 2019 die Schwierigkeit der Berechnung von Überschussstrom anhand der Betrachtung der mittleren und unteren Strombedarfslinie sichtbar gemacht werden- also im Bereich der stochastischen Überlagerung.

Wie bereits erwähnt, liegt im Jahre 2019 das überhöhte Stromangebot über die alternativen Stromerzeuger gemessen am mittleren Strombedarf bei etwa 20 GW, wenn man von Mittelwerten ausgeht (Bild 10).

Daraus läßt sich mit Hilfe von Bild 4 eine Strommenge von etwa 13 800 GWh/a bzw. 38 GWh/Tag abgreifen (Anlage 2), der ein stochastisch verteiltes mittleres bis oberes Stromangebot gegenübersteht, was zwangsläufig zu Zeiten führt, in denen die Stromerzeugung über die alternativen Energien über dem Strombedarf liegen muß und umgekehrt, wie die Vergangenheit schon hinreichend bewiesen hat.

Ähnliche Überlegungen gelten bei Betrachtung der unteren Strombedarfslinie für das Jahr 2019. Etwa die Hälfte des Stromangebotes über die alternativen Energien von 38 GW verteilt sich auf den Strombedarf zwischen unterem und oberem Strombedarf, die andere Hälfte liegt unterhalb des unteren Strombedarfes (Bild 1).

Die Energiewende 2010/2011 sieht vor, die Stromerzeugung ausschließlich über alternative Energien und Erdgas zu bewältigen. Das bedeutet aber auch, dass z. B. im Winter bei einer Windflaute von 14 Tagen und wenig Sonnenschein wegen fehlender Stromspeicher der gesamte Strom nur über Erdgas erzeugt werden müßte.

Es müßten dann in den Jahren 2030-2050 für die Abdeckung einer solchen Windflaute folgende Strommengen über Erdgas hergestellt oder über folgende im Vorraus gefüllte Stromspeicher gesichert werden:

	2030	2040	2050
• Mittlere nutzbare Leistung Wind+Solar (Anlage 1)	(GW) 18,9	21,7	22,3
• Über Erdgas abzudeckende Strommenge für 14 Tage: GW x 24h x 14Tage	(GWh) 6350	7291	7493
• Erforderliche Anzahl äquivalenter im Vorraus zu füllender Speicher der Goldisthal- Größe	(n) 756	868	892

Der Erdgasverbrauch in Deutschland liegt bei etwa 945 Mrd.KWh/a oder 945 000 GWh/a, davon gehen etwa 113 Mrd.KWh/a oder 113 000 GWh/a in die Kraftwerke zur Abdeckung der Stromspitzen.

Es ist geradezu absurd, wenn zur Zeit die für das Gelingen dieser Energiewende unabdingbaren Pumpspeicherwerke vermehrt geschlossen werden müssen durch die Einspeisung eines durch das EEG kostenfreien und bevorzugt abzunehmenden Stroms aus alternativen Energien, die zwangsläufig auch zur Schließung aller anderen Stromerzeugungsverfahren (konventioneller -) führen muß.

Es ist nicht nachvollziehbar und tragisch zugleich, dass in einem hoch entwickelten Industrieland wie Deutschland am Ende Angstfantasien vor natürlichen Klimaveränderungen etc. stärker sind als nüchterner Realismus.

5. Mögliche quantitative Stromerzeugung über die alternativen Energien auf der Basis der Energiewende 2010 / 2011 ohne Stromspeicher

Im Jahre 2013 lagen die installierten Nennleistungen über Wind und Solar bei rund 68 GW, über „Sonstige“ bei rund 10 GW. In den nächsten Jahren sollen nach der Energiewende 2010 / 2011 folgende Leistungen installiert werden

(Anlage 1):

	Wind		Solar		"Sonstige"	
	(GW)	(GW eff.)	(GW)	(GW eff.)	(GW)	(GW eff.)
2020	46	9,2	52	5,2	13	11,7
2030	63	12,6	63	6,3	16	14,4
2050	79	15,8	65	6,5	20	18

Eine Betrachtung von Bild 8 machte deutlich, dass eine volle Nutzung der GW eff. der volatilen Stromerzeuger Wind und Solar nur möglich ist, wenn die über dem mittleren Nutzungsgrad anfallenden Strommengen aufgefangen (gespeichert) werden können und bei Bedarf unterhalb dem mittleren Nutzungsgrad wieder eingespeist werden. So wäre auch eine 100 %ige Stromerzeugung über Wind und Solar möglich, auf andere Möglichkeiten wird später eingegangen (im gegebenen Fall (Bild 8) wird dies durch die Stromerzeugung über Gaskraftwerke ausgeglichen – was nur einer 50%igen Stromerzeugung über Wind und Solar entspricht).

Wenn die Speicherung des Stromes oberhalb des mittleren Nutzungsgrades nicht möglich ist und bei Bedarf unterhalb des Mittelwertes nicht komplett eingespeist werden kann, ist also nicht einmal der ohnehin niedrige mittlere Nutzungsgrad (GW eff.) erreichbar.

Eine Abschiebung des nicht nutzbaren Stroms in Nachbarländer wird wegen der Stabilität der Stromnetze der Nachbarländer immer schwieriger (Bau von Phasenschiebern), außerdem mit immer höheren Kosten verbunden (negative Strompreise).

Errechnet man nun aus den installierten Leistungen der verschiedenen Stromerzeugungsverfahren die anfallenden Strommengen und geht davon aus, dass die erzeugten Strommengen von Wind und Solar wegen fehlender Speicher nur halb genutzt werden können, so errechnen sich z.B. für die Jahre 2030 und 2050 folgende Stromerzeugungsanteile über die alternativen Energien (Anlage 3):

	2050
• Anteil Stromerzeugung über die alternativen Verfahren (%)	38,3 (siehe auch (3))
• nur Wind und Solar (%)	14,7 (siehe auch (3))

Durch die Vorgabe der Energiewende 2010/2011 kann der CO₂-Gehalt der Atmosphäre von 0,039% ausgehend bis zum Jahre 2050 nur um 0,000 008% vermindert werden. Dies führt in Deutschland zu Mehrkosten gegenüber der konventionellen Herstellung von Strom von rd. 100 Mrd.€/a. (3)

Sollte- wovon auszugehen ist- die unabdingbaren Stromspeicher nicht zur Verfügung stehen, können nur noch 38,3% des Stroms über alternative Energien beigesteuert werden und die Absenkung des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre liegt nur noch bei 0,000 0038%, ein kaum messbarer Betrag.(3)

Dieses Ergebnis der Stromerzeugung über alternative Energien weicht für das Jahr 2050 von der Wunschvorstellung der Energiewende 2010 / 2011 von mindestens 80% erschreckend ab, geschweige denn den Vorstellungen diverser Parteien, Nichtregierungsorganisationen sowie der evangelischen Kirche. Es wird außerdem deutlich, dass die Stromerzeugung über die „Sonstigen“ den wesentlichen Anteil an der Stromerzeugung über die alternativen Energien ausmacht, der aber nach den Überlegungen zur Energiewende im Jahr 2014 nun auch noch halbiert werden soll.

6. Höchst mögliche Stromerzeugung über alternative Energien für das Jahr 2050 ohne Stromspeicher

Für die Berechnung des höchst möglichen Stromanteils über alternative Energien bei nicht vorhandenen Speichern für das Jahr 2050 wurde zunächst die Stromerzeugung über die fossilen Kraftwerke auf 0 GW gesetzt und den entsprechenden Betrag Wind und Solar zugeordnet (Anlage 3):

GW eff. Wind und Solar	22,3	entsprechend 144 GW (<u>Anlage 1</u>)
+GW eff. (aus fossil)	<u>36,0</u>	
GW eff. Wind und Solar	58,3	entsprechend 376 GW

Um die 376 GW Wind und Solar voll zu nutzen, muss die Hälfte dieses Anteils als Puffer über Gas abgedeckt werden (vgl. Bild 8), weil keine Stromspeicherung möglich ist: 188 GW oder 114,5 Mrd. KWh/a (Anlage 3).

Aus der ausschließlichen Stromerzeugung über Wind und Solar mit entsprechender Gasmenge als Puffer sowie dem Anteil der „Sonstigen“ errechnet sich dann eine maximale Stromerzeugung über die alternative Stromerzeugung von 61,8 %, nur bezogen auf Wind und Solar von 38,2 % (Anlage 3, Bild 13). (3)

Sollten die Offshore-Windanlagen in den nächsten Jahren den Betrag für die mögliche Windnutzung deutlich anheben (wovon zur Zeit nicht ausgegangen werden kann), so sollte die Anhebung der zu installierenden Leistung über Wind und Solar niedriger ausfallen. Der Betrag 376 GW vermindert sich bei einer Anhebung der mittleren Windnutzung von 20 auf 25% (Windnutzung onshore mit knapp 20 %, offshore mit knapp über 30 % angesetzt) und unveränderter Nutzung der Solarenergie dann auf 343 GW, der von Gas von 188 auf 172 GW (Anlage 3, Bild 13).

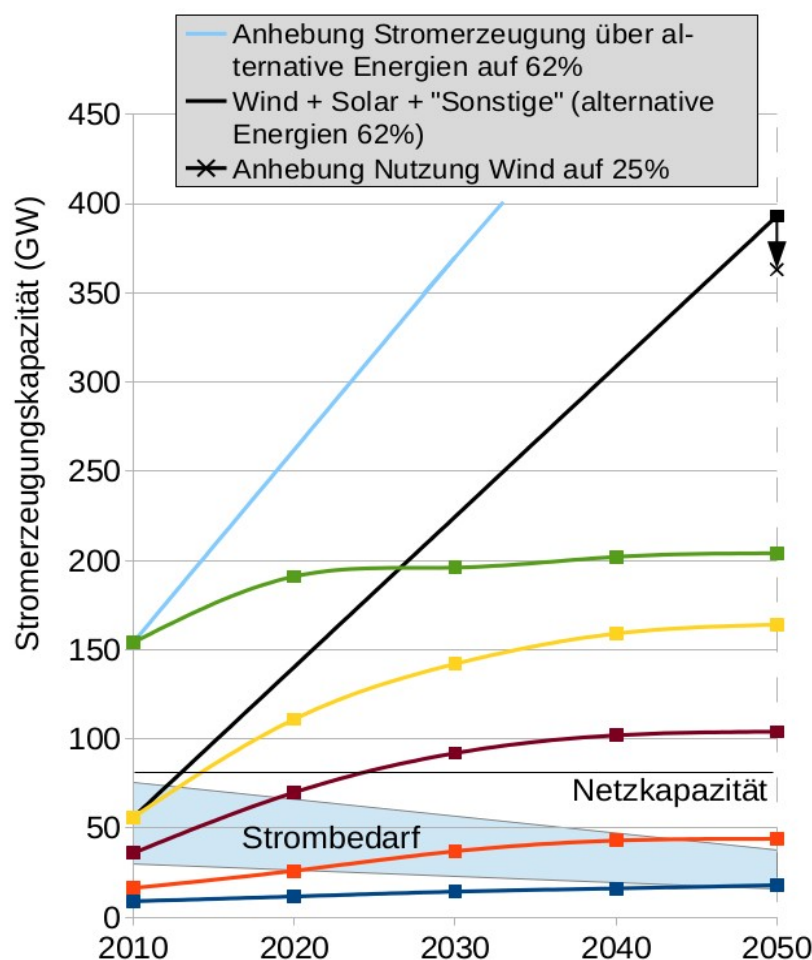


Bild13: Maßnahmen zur Einstellung der höchst möglichen Stromerzeugung über alternative Energien von 62% bei nicht möglicher Stromspeicherung (Basis Energiewende 2010/2011; Daten von Bild 1 in Bild 13 übernommen)

Durch die mit der höheren Nutzung des Windes verknüpfte Erhöhung der Stromerzeugung wurde mit 316 Mrd. KWh/a zugelassen.

Eine Betrachtung der mittleren Nutzung von Wind+Solar+„Sonstige“ macht jedoch deutlich, dass eine solche Anhebung der Erzeugung des Stromes über alternative Energien auf 61,8% (bezogen auf Wind und Solar von 38,2%) zu einer solchen Zunahme der mittleren Nutzung von Wind+Solar+„Sonstige“ auf 76,3 bzw. 80,3 (25% Windnutzung) GW führt, die bei der abgesenkten Stromerzeugung auf 300 Mrd. KWh/a wegen der ständigen Überproduktion von Strom aus Wind und Solar keinen Sinn macht.

Solche Überlegungen können nur diskutiert werden, wenn die Stromerzeugung bis zum Jahre 2050 nicht abgesenkt wird sondern auf gleichem Niveau wie heute verbleibt – was von den Experten voraus gesagt wird. (Auf ein solche Betrachtung wird bei der Diskussion der Energiewende 2014 eingegangen werden).

7. Überlegungen zur möglichen 100%igen Stromerzeugung über alternative Energien

Eine 100%ige Stromerzeugung über Wind+Solar+„Sonstige“ ist – wie bereits ausgeführt – nur möglich, wenn die Stromerzeugung oberhalb der mittleren Wind- und Solarnutzung gespeichert wird und in den Zeiten der Stromerzeugung unterhalb dieser mittleren Nutzung aus den Speichern wieder zugeführt wird (vgl. Kapitel 4). Dies wäre durch Pumpspeicherwerke grundsätzlich möglich.

Da der Bau einer ausreichenden Anzahl von Pumpspeicherwerken in Deutschland nicht möglich ist, bleibt die Frage der Stromspeicherung im Ausland.

Pumpspeicherwerke im Ausland zu nutzen, ist aus den verschiedensten Gründen unrealistisch, da eine ausreichende Zahl von Pumpspeicherwerken nicht vorhanden ist- sie müßten noch gebaut werden und sie müßten ab dem Jahre 2019 zur Verfügung stehen (vgl. Kapitel 4).

Eine höhere Stromerzeugung über die alternativen Energien kann dann nur noch über die „Sonstigen“ erfolgen, die aber durch die in 2014 beschlossenen Änderungen der Energiewende 2010/2011 etwa halbiert werden.

Auch eine Speicherung über Batterien oder Druckluftspeicher kann aus Gründen von Wirkungsgrad und Kosten nicht als Lösung angesehen werden. Im September 2014 wurde in Schwerin Deutschlands größter Batteriespeicher in Betrieb genommen mit einer Leistung von 0,005 GW, der Ökostrom

speichern soll und für eine sichere Integration in das Stromnetz sorgen soll.

Der Batteriespeicher besteht aus 25 000 Litium-Ionen-Akkus. Das Projekt kostet 6 Millionen € (1,2 Mrd. €/GW).

Geht man davon aus, dass bereits im Jahre 2020 durch die alternativen Verfahren ein Stromüberangebot von 4 GW bestehen wird, das zwingend zum Gelingen der Energiewende gespeichert werden muß, so müßten bis dahin 800 solcher Batterien mit 20 Millionen Litium- Ionen- Akkus zur Verfügung stehen, wenn keine anderen Speicher vorhanden sind.

Die Stromspeicherung über das sogenannte „Grüne Erdgas“ (Sabatier-Verfahren) scheitert ebenso am Wirkungsgrad wie an den Kosten.(1,2)

Wenn das BMWi in seiner Ausgabe 15/2014 mitteilt, dass im Jahre 2015 in Mainz der Grundstein für ein Forschungsvorhaben zur Erzeugung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien gestartet werden soll (Überschussstrom), der dann in das Erdgasnetz eingespeist werden soll, dann hätte das Ministerium vorab eine Analyse des Wirkungsgrades und der entstehenden Kosten vornehmen sollen. Außerdem kann Wasserstoff nicht unbegrenzt in das Erdgasnetz eingespeist werden (Haltbarkeit von Gasmotoren und –turbinen). So wird der mit der Energiewende 2010 /2011 begonnene Aktionismus weiter geführt.

In den bisherigen Betrachtungen wurde stets unterstellt, dass mit den volatilen Stromerzeugern Wind und Solar alleine oder mit Gas als Puffer eine sichere Stromerzeugung möglich ist.

Im nächsten Kapitel sollen nun die technischen Unzulänglichkeiten dieser Vorgehensweise im Sinne einer sicheren Stromerzeugung aufgezeigt werden.

8. Unzureichende sichere Stromerzeugung durch das volatile Verhalten von Wind und Solar

Wenn elektrischer Strom nicht gespeichert werden kann, muss der in einem Stromversorgungsnetz an irgendeiner Stelle entnommene Strom unmittelbar in gleicher Menge erzeugt werden, d.h. es ist stets ein Gleichgewicht zwischen Stromentnahme und Stromerzeugung erforderlich. Wenn also Stromverträge angeboten werden, die einen bestimmten Anteil – z.T. bis 100% - von Strom aus erneuerbaren Energien anbieten, so ist dies eine technische Unmöglichkeit. In Wirklichkeit kann jeder aus dem deutschen Stromnetz versorgte Verbraucher nur den gleichen Strommix beziehen, der augenblicklich in das Stromnetz eingespeist wird, d.h. z.B. nachts bei

Windstille keinen Strom aus Wind und Sonne. Dann müssen die konventionellen Stromerzeuger die Lücke schließen.

Schon aus dieser einfachen Überlegung wird bereits klar, dass eine 100%ige Stromversorgung über alternative Energien zur Zeit nicht möglich ist, ebenso wenig eine ausreichende Speicherung von überschüssigem Strom aus der volatilen Stromerzeugung über Wind und Sonne in Deutschland oder im Ausland – wie bereits ausgeführt.

Die Anforderungen an die Stromqualität lässt sich wie folgt zusammenfassen:

50,2 Hertz, 230 Volt, in Phase

Wird eines dieser Kriterien verletzt, so kann es zu empfindlichen Stromausfällen führen.

Wie empfindlich unser aus vielen Einzelementen fein vernetztes Stromversorgungssystem in Wirklichkeit ist, zeigt der massive Blackout, der am 4.11.2006 große Teile Deutschlands und Europas bis Marokko ins Chaos stürzte.

An diesem Tag wurde wegen der Überführung eines Kreuzfahrtschiffes über die Ems eine Hochspannungsleitung spannungslos gemacht.

Dies führte zu einem Abfall der Frequenz auf 49,0 Hertz (Bild 14). (9)

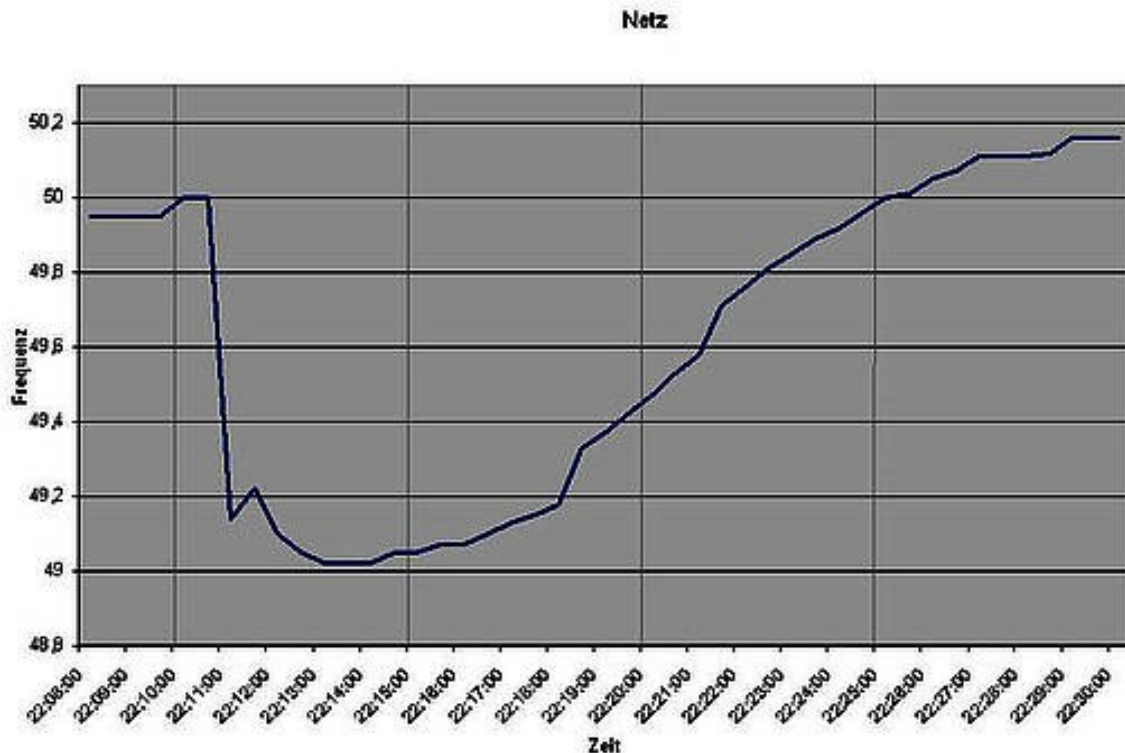


Bild14: Frequenzverlauf des Stromnetzes am 4.11.2006 (gemessen im Ruhrgebiet)

Wie so häufig gab es am Ende nicht eine Ursache sondern zahlreiche einzelne Fehler, die normalerweise folgenlos bleiben. Erst in ihrem Zusammenwirken kam es zu einer verhängnisvollen Kombination: Kommunikationsdefizite, Unachtsamkeiten etc.

Die Gefährdung resultierte aus der Missachtung des sogenannten N-1-Kriteriums, das vorschreibt, dass zu keiner Zeit der Ausfall eines bestimmten Betriebsmittels wie einer Leitung, eines Transformators oder Generators zu einem Gesamtausfall führen darf.

Im gegebenen Fall war zu wenig Kraftwerksleistung am Netz, um nach einer planmäßigen Abschaltung zweier wichtiger Leitungen noch zusätzlich den Ausfall einer dritten Leitung auffangen zu können.

Durch einen zusätzlichen Lastanstieg wurde letztlich innerhalb von 2 Sekunden ein automatischer Netzschutz ausgelöst mit der Trennung der betreffenden Leitung und schließlich innerhalb von 2 weiteren Sekunden kam es zu einer Kettenreaktion mit sich immer weiter ausbreitenden Abschaltungen. (9)

Die Wahrscheinlichkeit für einen großen Stromausfall sinkt nicht exponentiell mit der Größe des betroffenen Gebietes sondern langsamer, nämlich nach einem sogenannten Potenzgesetz. Diese Potenzgesetz-Statistik hat ihren Grund in der Tatsache, dass sich bei einem großflächigen Stromausfall nicht nur unabhängige Störungen aufsummieren, sondern ein kaskadenartiges Versagen von Netzelementen vorliegt. Dabei gibt es einen anfänglichen Defekt, der das Netz schwächt und die Wahrscheinlichkeit weiterer Ausfälle erhöht .

Systeme, bei denen auch kleine Fehler enorme Folgen haben können, nennt man nichtlinear oder chaotisch. Es ist bei Stromnetzen aus Tausenden von Komponenten nicht praktikabel, die Effekte aller Kombinationen denkbarer Defekte vorab durchzurechnen. In der Praxis beschränkt man sich meist auf die zitierte N-1-Analyse, ob ein Netz unter einer vorgegebenen Lastverteilung instabil werden kann, wenn jeweils ein Betreiberelement als ausgefallen angenommen wird (z.B. Wind oder Sonne).

Der Vorgang 4.November 2006 zeigt, dass den Netzbetreibern bei solchen Ereignissen meist so gut wie keine Zeitreserven zur Verfügung stehen, im gegebenen Fall 4 Sekunden, eine Zeit, in der selbst primär regelfähige Kraftwerke ihre Leistungsabgabe nur um Bruchteile des erforderlichen Betrages heraufsetzen können (Bild 15). (9)

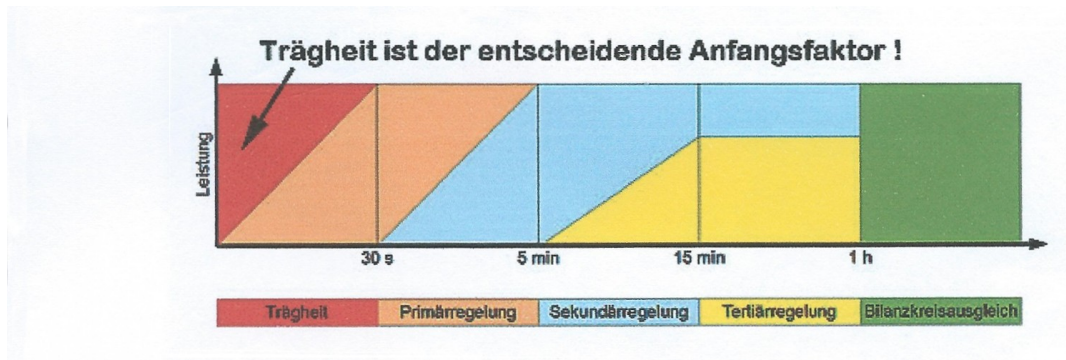


Bild15: Schema des zeitlichen Einsatzes der unterschiedlichen Regelleistungsarten

Die einzige sofort verfügbare Leistungsreserve, auf die ein Netzbetreiber in den ersten entscheidenden Sekunden zurückgreifen kann, ist die in rotierenden Massen der Turbinen und Generatoren konventioneller Kraftwerke (Kohle-, Kern-, Gas- und Wasserkraftwerke) gespeicherte kinetische Energie. Aus diesem Grunde darf bei einem immer höheren Aufkommen an volatilen Stromerzeugern eine kritische Grenze für konventionelle Kraftwerkleistung von rund 28 GW nicht unterschritten werden, um eine erforderliche Mindestreserve an Primärleistung vorzuhalten (8,9). Diese kritische Grenze wird jedoch bereits bei dem heutigen Anteil von Strom aus Wind und Solar häufig unterschritten, was sich in einer zunehmenden Zahl von Eingriffen in die Netzstabilität durch Frequenzgefährdungen äußert. (vgl. Bild 7) (9)

Solarstromanlagen besitzen überhaupt keine rotierenden Massen, die rotierenden Massen der Windkraftanlagen sind gemessen an den konventionellen Stromerzeugern verschwindend gering.

Bild 16 zeigt das Anfahrverhalten konventioneller Kraftwerke (11).

Leistungsgradienten von thermischen Kraftwerken (Prinzipielle Darstellung)

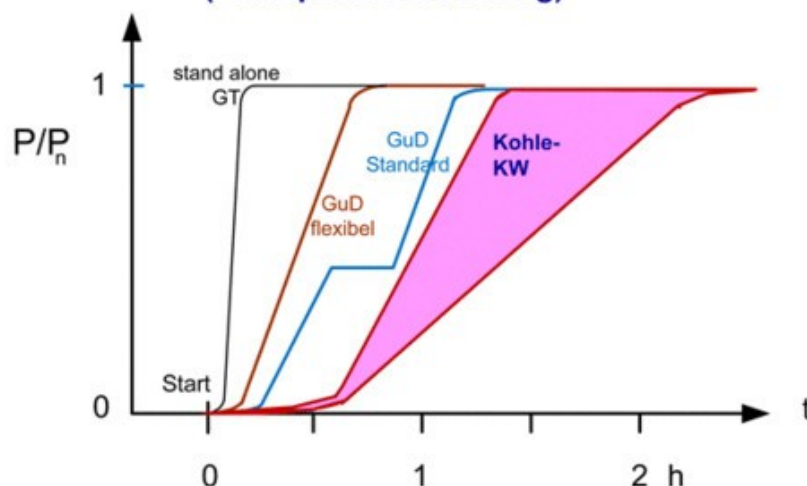


Bild16: Anfahrverhalten konventioneller Kraftwerke (GT= Gasturbine, GuD= Gas-und Dampf-Kombikraftwerk)

Aus diesem Bild wird deutlich, dass bei einem Blackout selbst Gaskraftwerke wenig ausrichten können, geschweige denn Gas und Dampf-Kombikraftwerke (GuD) oder gar Kohlekraftwerke, da es auch bei Gaskraftwerken mehrere Minuten dauert, bis ihr Generator wirklich nennenswerte Leistungen abgeben kann (in etwa 5 Minuten auf voller Leistung).

Hinzu kommt, dass sich diese Kraftwerke nicht beliebig über den ganzen Leistungsbereich betreiben lassen (Bild 17). (11)

Unterhalb einer Mindestleistung ist der Betrieb aus Gründen der Verschlechterung der Emissionswerte, Unterschreitung der Taupunkttemperatur im Rauchgas etc. nicht vertretbar.

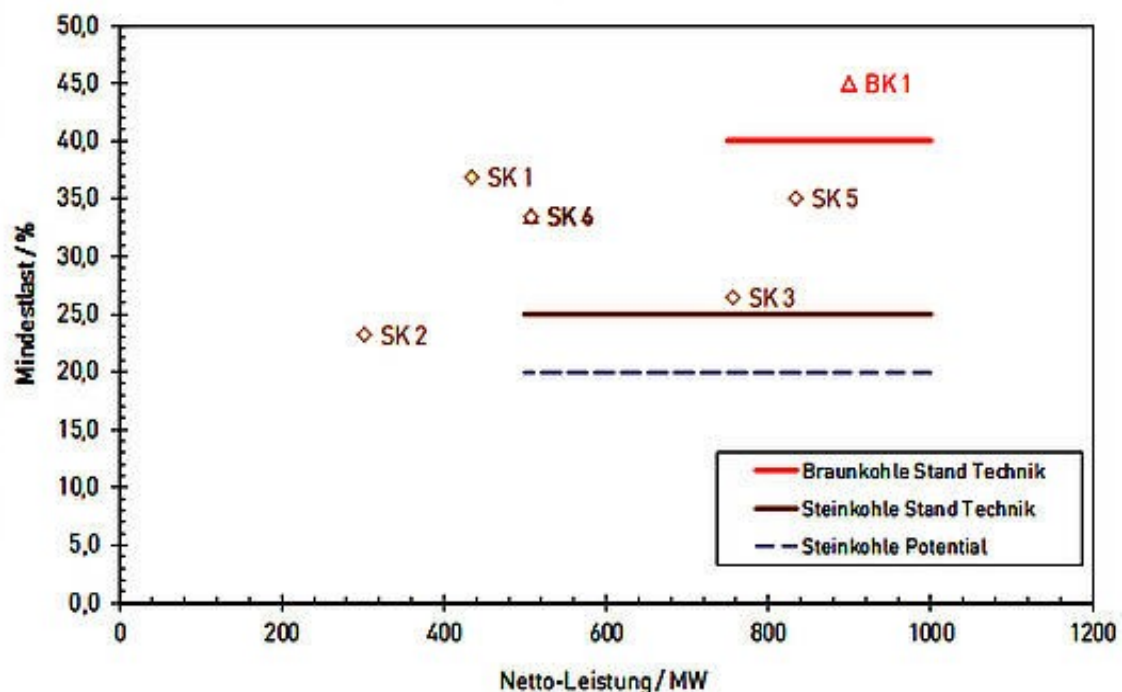


Bild17: Mindestauslastungsgrad konventioneller Kraftwerke in % der Nennleistung

Auch diese Aussagen belegen, dass eine Erzeugung des Stroms von „mindestens 80%“ über alternative Energien im Sinne einer gesicherten Stromversorgung nicht darstellbar ist.

9. Stromnetze

Aus den bisherigen Auswertungen wird deutlich, dass durch die volatilen Stromerzeuger Wind und Solar auch die Stromnetze entsprechend dimensioniert werden müssen.

So würde z.B. im Jahre 2050 bei konventioneller Stromerzeugung eine Auslegung der Netze von etwa 40 GW ausreichen, allein durch die Schwankungsbreite der Stromerzeugung über Wind und Solar ist jedoch eine Auslegung bis etwa 100 GW erforderlich- Faktor 2,5- (60% Linie Wind+Solar sowie „Sonstige“, Bild 1), wenn die Energiewende 2010/2011 zugrunde gelegt wird.

Da die Energiewende 2010/2011 gleichzeitig den Import von 21 GW über alternative Energien vorsieht (Kapitel 2), ist dieser Faktor noch höher anzusetzen.

Ist jedoch eine Speicherung des Stroms nicht möglich und versucht wird, einen möglichst hohen Anteil an alternativen Energien einzusetzen (Kapitel 6), steigt dieser Faktor noch einmal um Größenordnungen.

Diese gewaltige Erweiterung schließt nicht die dezentrale Stromerzeugung durch die alternativen Energien und den Transport zu den Netzknotenpunkten ein, von wo der Strom zu den Verbrauchszentralen geleitet werden muß.

10. Zusammenfassung

Basierend auf den Angaben zur Energiewende 2010 / 2011 wurden Überlegungen angestellt, ob die Ziele dieser Energiewende technisch erreichbar sind und eine gesicherte Stromerzeugung gewährleistet ist.

Durch das volatile Verhalten der Stromerzeugung über Wind und Solar und den daraus resultierenden Folgen können die Ziele aus folgenden Gründen jedoch nicht eingehalten werden:

1. In naher Zukunft wird bei zunehmender Stromerzeugung über Wind und Solar die Netzkapazität überschritten.
2. Ab 2019- also in 5 Jahren- übersteigt das Stromangebot über Wind + Solar sowie "Sonstige (Biomasse, Wasser, etc.)" zunehmend den Strombedarf.
3. Um eine Stilllegung der Wind- und Solaranlagen zu vermeiden, müssen ab dem Jahre 2019 zunehmend Stromspeicher zur Verfügung stehen:

	2030	2040	2050
- zu speichernde Strommengen (GWh/Tag)	119	260	268
- Anzahl Speicher für das tägliche Auffangen des Überschussstroms (Basis Goldisthalspeicher) (n)	14,2	31	31,9

4. Goldisthal ist das größte Pumpspeicherwerk Deutschlands, wurde in 11 Jahren erbaut und hat eine Leistung von 8,4 GWh, die es jeweils 8 h leisten kann.

5. Diese zu speichernden Strommengen sind Mindestmengen und beziehen sich auf den jeweils höchsten Strombedarf, da unterhalb des höchsten Strombedarfes durch die Überlagerung von stochastisch anfallender Stromerzeugung über Wind und Solar und stochastischem Strombedarf eine Quantifizierung der Überschussstrommenge nur schwer möglich ist.

Wie aber bereits die Gegenwart zeigt, sind diese im Bereich der stochastischen Überlagerung anfallenden Überschussstrommengen beträchtlich.

6. Um eine 14-tägige Windflaute mit wenig Sonnenschein im Winter überbrücken zu können, müßten in den Jahren 2030 bis 2050 folgende Strommengen über Erdgas oder im Vorraus zu füllende Stromspeicher abgedeckt werden (die Energiewende 2010/2011 sieht eine ausschließliche Stromerzeugung nur noch über alternative Energien und Erdgas vor):

	2030	2040	2050
- über Erdgas abzudeckende Strommenge (GWh)	6350	7291	7493
- erforderliche Anzahl von im Vorraus zu füllender Speicher (Goldisthal- Größe) (n)	756	868	892

7. Wenn diese Pumpspeicherwerke weder in Deutschland noch im Ausland ab 2019 zur Verfügung stehen – wovon auszugehen ist – müssen die Wind- und Solaranlagen ab 2019 vermehrt still gesetzt werden und es ist eine nur geringe Stromerzeugung über alternative Energien möglich:

	2050
-Anteil Stromerzeugung über alternative Energien (Wind + Solar + "Sonstige") (%)	38,3
-nur über Wind und Solar (%)	14,7

Dies ist eine erschreckende Abweichung von der Zielvorstellung von „mindestens 80%“.

8. Sollten bis 2050 ausreichend Stromspeicher zur Verfügung stehen, könnte der CO₂- Gehalt der Atmosphäre von 0,039% ausgehend durch die deutsche Energiewende um 0,000 008% vermindert werden.

Sollte eine ausreichende Stromspeicherung nicht zur Verfügung stehen, kann der CO₂-Gehalt nur noch um 0,000 0038% abgebaut werden- ein kaum messbarer Betrag.

Diese nicht bezahlbare Energiewende zur Absenkung des CO₂-Gehaltes (3) ist zudem vor dem Hintergrund zu sehen, dass aus thermodynamischen Gründen CO₂ die Atmosphäre kühlen muß und nicht erwärmen kann.

Fakt ist außerdem, dass die Temperatur seit der kleinen Eiszeit im 19.Jahrhundert ansteigt auch ohne anthropogenen CO₂-Ausstoß und dass seit 17 Jahren kein weiterer Temperaturanstieg trotz zunehmender CO₂-Konzentration stattfindet.

9. Andere Speicherverfahren wie Batterien, Druckluftspeicher, CH₄-Herstellung (Sabatier-Verfahren) sowie H₂-Herstellung zur Aufnahme von Strom aus alternativen Verfahren scheitern am Wirkungsgrad sowie an den Kosten.

Der im September 2014 in Betrieb genommene größte deutsche Batteriespeicher hat eine Leistung von 0,005 GW und kostet 6 Millionen € (1.2 Milliarden €/GW).

10. Es ist geradezu absurd, wenn zur Zeit die für das Gelingen dieser

Energiewende unabdingbaren Pumpspeicherwerke vermehrt geschlossen werden müssen durch die Einspeisung eines durch das EEG kostenfreien und bevorzugt abzunehmenden Stroms aus alternativen Energien, der zwangsläufig auch zur Schließung aller anderen Stromerzeugungsverfahren führen muß.

11. Stromausfälle der Vergangenheit haben gezeigt, dass zu ihrer Vermeidung den Netzbetreibern nur Sekunden verbleiben, um gegenzusteuern. Diese Gegensteuerung ist nur über die kinetische Energie der rotierenden Massen der Turbinen und Generatoren konventioneller Kraftwerke möglich.

Dies setzt voraus, dass bei zunehmendem Anteil von Wind- und Solarstrom im Stromangebot eine kritische Grenze für konventionelle Kraftwerke von rund 28 GW nicht unterschritten werden darf.

Selbst Gaskraftwerke sind zur Gegensteuerung nicht geeignet, da sie Minuten bis zur Abgabe einer nennenswerten Leistung benötigen. Auch diese Aussage belegt, dass eine Erzeugung von mindestens 80% des Stroms über alternative Energien im Sinne einer gesicherten Stromerzeugung nicht darstellbar ist.

12. Durch das volatile Verhalten der Stromerzeuger Wind und Solar müssen die Stromnetze bis zum Jahre 2050 mindestens um den Faktor 2,5 größer ausgelegt werden. Ohne Stromspeicherung steigt dieser Faktor um Größenordnungen.

Diese gewaltige Erweiterung schließt nicht die dezentrale Stromerzeugung durch die alternativen Energien und deren Transport zu den Netzknotenpunkten ein, von wo der Strom zu den Verbrauchszentren geleitet werden muß.

13. Die im Jahre 2014 festgelegten Änderungen der Energiewende 2010 / 2011, die einschneidende Auswirkungen haben werden, bedürfen einer gesonderten Betrachtung.

11. Schrifttum

1.Sinn, H.-W.: "Energiewende ins Nichts", Vortrag 16.12.2013, Ludwig-Maximilian-Universität, München

2. Sinn, H.-W.: „Schafft es Deutschland, den Zappelstrom zu bändigen“, ifo-Jahresversammlung, 26.6.2014
3. Beppler, Erhard: "Energiewende- Zweite industrielle Revolution oder Fiasko", 2013, ISBN 978-3-7322-0034-4, Books on Demand
4. Schuster, R.: Mitteilung vom 02.05.2014
5. Schuster, R.: Mitteilung vom 04.05.2014
6. Schuster, R.: Mitteilung vom 17.07.2014
7. Öllerer, K.: Windenergie in der Grund-, Mittel- und Spitzenlast:
www.oellerer.net
8. BDEW, entnommen FAZ, 25. 06.2014
9. Mueller, F.: EIKE, 29.01.2014
10. Huene, H.: EIKE, 04.01.2014
11. Mueller, F.: EIKE, 03.05.2014

Danksagung

Mein besondere Dank gebührt Herrn Rolf Schuster für die zahlreichen statistischen Auswertungen, ohne die diese Auswertung nicht möglich gewesen wäre.

Danken möchte ich auch Herrn Tobias Uelwer für die Erstellung zahlreicher Bilder.

Nicht zuletzt danke ich Herrn Dr. D.Lohr und Herrn Dipl.-Ing. H.-U. Reißmann für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

12. Anlagen

Anlage 1: Plan Energiewende 2010/2011

	Nutzung Wind 25%									
	2010	2010	2020	2020	2030	2030	2040	2040	2050	2050
	GW	GWeff.	GW	GWeff.	GW	GWeff.	GW	GWeff.	GW	GWeff.
Atom	21	19,5	8	7,4	0	0	0	0	0	0
Fossil	77	69	72	64,8	54	48,6	43	38,7	40	36
Wind	28	5,6	46	9,2	63	12,6	76	15,2	79	15,8
Sonne	18	1,8	52	5,2	63	6,3	65	6,5	65	6,5
Sonstige	10	9	13	11,7	16	14,4	18	16,2	20	18
Summe	154	102,9	191	98,3	196	81,9	202	76,6	204	76,3

Anlage 2: Berechnung der zu speichernden Strommengen

		Basis	
		obere Strombedarfslinie	mittlere
		2030	2019
1. Wind+Solar (<u>Anlage 1</u>)	(GW)	126	93
2. Differenz 60% Wind+Solar sowie "Sonstige" und oberer Strombedarf (<u>Bild 1</u>)	(GW)	35	20
3. <u>Spalte 2 x100</u> Spalte 1	(%)	28	22
4. abgegriffen mit Spalte 3 in <u>Bild4</u>	(h/a)	(60-28=32%) rd. 750	(60-22=38%) rd.300
5. Mittleres %uales Leistungsäquivalent (Spalte 4)	(%)	$\frac{60+32}{2}=46$	$\frac{60+38}{2}=49$
6. Mittleres Leistungsäquivalent <u>Spalte 5 x Spalte 1</u> 100	(GW)	58	46
7. Spalte 4 x Spalte 6	(GWh/a)	rd. 43 500	rd. 13 800

—

Anlage 3: Berechnung quantitative Stromerzeugung über alternative Energien

			Nutzung Wind 25%	
			Maximum alt. Energ.	Maximum alt.Energ.
	2050		2050	2050
1. Stromerzeugung (Mrd. KWh/a)	300		300	316
2.GW eff. installiert	76,3		76,3	80,3
3.GW eff. Wind+Solar (zu installierende Leistung (GW):	22,3		58,3 376	26,3 62,3 343)
4.Stromerzeugung über Wind+Solar (Mrd. KWh/a)	88		229	103 245
5.GW eff. Fossil+Atom	36		-	36 -
6.Stromerzeugung über Fossil+Atom (Mrd. KWh/a) (zu installierende Leistung Gas (GW):	141		- 188	141 - 172)
7.GW eff. „Sonstige“	18		18	18 18
8. Stromerzeugung über „Sonstige“(Mrd. KWh/a)	71		71	71 71
9. Wind+Solar genutzt <u>Spalte 4</u>				
2 (Mrd. KWh/a)	44 1)		114,5 1)	51,5 1) 122,5 1)
10. Gas-Puffer (Mrd. KW)	44		114,5	51,5 122,5
11. Anteil alt. Energien <u>Spalte 8+9</u> x 100				
Spalte 1 %	38,3 2)		61,8 2)	38,8 61,2

12 . Anteil alt.Energien

Wind+Solar

Spalte 9 x 100

Spalte 1 %

14,7 2)

38,2 2)

16,3

38,8

1) Verlust um den gleichen Betrag
(ohne Stromspeicher)

2) siehe auch (3)