

Energiewende
– was geht und was nicht geht
Jürgen Griessing

Den verantwortungsbereiten, kritischen und aufnahmebereiten
Interessierten gewidmet

Leicht beieinander wohnen die Gedanken,
doch hart im Raume stoßen sich die Sachen.
Schiller; Wallensteins Tod

Es ist nicht möglich, gegen die Energiewende zu sein. Jeder hat den Wunsch, von Energiequellen loszukommen, die unsere Ressourcen verbrauchen und CO₂ freisetzen. Stattdessen brauchen wir regenerative Energiequellen. Die Frage ist aber nicht, ob wir uns etwas wünschen, sondern ob und wie wir es erreichen können.

Regenerative Energiequellen sind vor allem Wind und Sonne, die durch ihre extrem hohen Schwankungen häufig im Jahresverlauf so gut wie keine Energie liefern. Diese Lücken müssen durch ebenfalls regenerative Energiequellen geschlossen werden, denn wir, vor allem die Wirtschaft, verlangen eine ununterbrochene Energieversorgung. Die Erwartung, die Energielücken durch Speicher schließen zu können, ist rein hypothetisch. Es gibt keine verwertbare Speichertechnologie, mit der man diese gewaltige Menge an elektrischer Energie speichern könnte. Die größte Hürde der Energiewende sind also die Schwankungen von Wind und Sonne. Eine Energiewende allein mit regenerativen Energiequellen ist chancenlos.

Die Aussagen dieses Papiers lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- 1. Es wird keine Energiewende geben.**
- 2. Eine Energiewende ausschließlich zur Stromerzeugung ist nicht bezahlbar.**
- 3. Nur Wind-, Solar- und Geoenergiequellen stehen unbegrenzt zur Verfügung. Die festen, flüssigen und gasförmigen biogenen Energiequellen haben ihre Obergrenze erreicht.**
- 4. Speichermöglichkeiten, die Schwankungen von Wind und Sonne auszugleichen, gibt es nicht.**
- 5. Die Entwicklung von Kernfusionskraftwerken kann die Aufzehrung aller fossilen Brennstoffe verhindern.**

Baldham, den 31. Oktober 2016

Energiewende – was geht und was nicht geht

Energiekonzept der Bundesregierung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, 28. September 2010:

„Die Bundesregierung wird die konventionellen Energieträger bis 2050 Schritt für Schritt durch erneuerbare Energien ersetzen“.

Das Modell

- Wenn wir am 19. März 2013 12:00 Uhr eine Leistung von 291 Millionen Kilowatt brauchen, aber nur 74 Millionen Kilowatt Windstrom und 36 Millionen Kilowatt Solarstrom zur Verfügung haben, so müssen wir 181 Millionen Kilowatt Biostrom erzeugen.
- Wenn die gesamte Kapazität an Biostrom nicht ausreicht, um das ganze Jahr hindurch den fehlenden Betrag an Wind- und Solarstrom auszugleichen, müssen wir soviel mehr Wind- und Solarkraftwerke bauen, dass an jedem Tag mindestens 291 Millionen Kilowatt Wind-, Solar- und Biostrom erzeugt werden. Mit dieser Kapazität an Wind- und Solarstrom erzeugen wir am 23. März 2013 12:00 Uhr 1 204 Millionen Kilowatt. Das sind 913 Millionen Kilowatt Überschuss¹, der nicht verbraucht werden kann.
- Wenn der Überschuss gespeichert werden könnte, so könnte er wenn es besonders wenig Wind- und Solarstrom gibt z.B. am 17. Februar 2013, zum Ausgleich des Defizits verwendet werden.

1. Was dieses Papier soll

Der erklärte Sinn der Energiewende ist es, unsere Bodenschätze Kohle, Erdgas, Erdöl und Uran davor zu bewahren, bis zur Erschöpfung verbraucht zu werden.

Die weitestgehende Nutzung regenerativer Energiequellen² hat das Potenzial, die Bevölkerung in einem Akt gemeinsamer Anstrengungen hinter sich zu bringen. Stattdessen polarisiert sie die Bevölkerung in Befürworter und Gegner. Dieses Papier will keine Polarisierung sondern Aufklärung.

Das Wort Wende bezeichnet Umkehr. In diesem Sinne ist beispielsweise ein Kreistagsbeschluss des Ebersberger Kreistags vom 17. Juli 2006 zu verstehen, in dem es heißt

Wir wollen unseren Landkreis bis zum Jahr 2030 **unabhängig von fossilen und anderen endlichen Energieträgern machen.**

Es ist die kürzeste und präziseste Definition des Begriffs Energiewende die sich denken lässt, sowohl in sachlicher wie zeitlicher Hinsicht. Das Ziel der Energiewende ist klar beschrieben. Es heißt „unabhängig“, nicht „weitgehend unabhängig“ oder „möglichst unabhängig“. Der Zeitrahmen ist ebenfalls klar abgesteckt. Über den Weg dahin ist aber nichts gesagt. Das ist auch heute, 10 Jahre nach ihrer Ausrufung, kennzeichnend für den gegenwärtigen Stand der

Energiewende. Der Ebersberger Kreistagsbeschluss nennt zwei von den drei Säulen, auf denen sich ein Projekt aufbaut: Projektziel und Zeitrahmen. Die dritte Säule fehlt jedoch: das Budget. Diesen Mangel teilt der Beschluss mit allen bekannten Konzepten zu diesem Thema. Es betrifft das Energiekonzept der Bundesregierung³, ihrer Ministerien⁴ und Ämter⁵, das Bayerische Energiekonzept⁶, das Energiekonzept der Grünen⁷, die einschlägigen Veröffentlichungen der Fraunhofergesellschaft⁸ usw. Um ein Budget ermitteln zu können ist ein Projektplan erforderlich. Er legt fest, wer was zu welchem Termin fertig stellen muss und was es kostet. Die Parteien, die Wirtschaftsministerien, die Umweltministerien, das Bundesumweltamt sind prädestiniert, einen derartigen Plan auszuarbeiten, aber wenig davon ist heute verfügbar. Ohne diesen Projektplan ist das Vorhaben kein Projekt sondern ein Traum.

Es ist zweifellos richtig, Wind, Sonne, Biomasse und Wasserkraft zur Erzeugung von Strom, Wärme und Kraftstoffen heranzuziehen. Die Erwartung, damit Erdöl, Kernkraft, Kohle und Erdgas ersetzen zu können, ist zweifelhaft. Dieses Papier soll als eine Art Machbarkeitsstudie einen kleinen Beitrag leisten, die Zweifel auszuräumen und die Erwartung zu erfüllen oder zu beseitigen.

In der öffentlichen Diskussion verzichtet man vielfach auf jede quantitative Bewertung und begnügt sich mit der rein qualitativen Wahrnehmung der Elemente einer Energiewende:

- mit Wind- und Sonnenkraft lässt sich Strom produzieren, also können die herkömmlichen Energiequellen durch regenerative ersetzt werden;
- Strom lässt sich in Pumpspeicherkraftwerken speichern, man muss nur genug davon bauen.

Die Liste ließe sich fortsetzen. Es wäre allerdings sinnvoll und notwendig, von dieser rein **qualitativen** Betrachtung wegzukommen und eine **quantitative** Analyse durchzuführen.

Wie viele Windräder wird man brauchen? Wie groß müssen sie sein? Welchen Flächenbedarf haben sie? Wie viele Pumpspeicherwerke braucht man? Was würden Batteriespeicher kosten? Wie groß ist die Fläche der Solaranlagen?

Dieses Papier soll wenigstens eine annähernde Antwort auf die Fragen zu geben.

2. Was die Bundesregierung will

Ziel ist eine vollständige Wende, also vollständige Vermeidung des Verbrauchs von Bodenschätzen.

Ein bisschen Wende gibt es nicht.

Die bloße Hereinnahme von Wind und Sonne zur Stromerzeugung bei sonst gleichbleibenden Energiequellen ist keine Wende sondern ganz normale technische Innovation wie der Ersatz von Glühlampen durch LED-Lampen und der Ersatz von Wasserrädern durch elektrische Antriebe.

Dennoch wird in diesem Papier auch der Fall betrachtet, bei dem lediglich der Stromsektor aus regenerativen Energieträgern gespeist wird. Er wird mit dem Ausdruck „Kleine Energiewende“ bezeichnet im Gegensatz zur „Normalen Energiewende“, welche die gestellte Bedingung voll erfüllt.

Es sei aber angemerkt, dass die „Kleine Energiewende“ wenig Sinn hat, da sie die Erschöpfung unserer fossilen Ressourcen nur hinauszögert anstatt sie zu verhindern.

Die Ziele der Bundesregierung sehen für das Jahr 2050 vor, 60% des Energieverbrauchs auf regenerative Energiegewinnung umzustellen, in der Stromwirtschaft sollen es sogar 80% sein.

Abb. 1 zeigt die Gliederung des Endenergieverbrauchs 2013 in die Bereiche Stromwirtschaft, Wärmewirtschaft, Verkehrswirtschaft sowie die Ziele der Bundesregierung.

	davon			regenerative Quellen
	konventionell	regenerativ		
Endenergieverbrauch (EEV) 2 514 TWh/a 100% davon regenerativ 13,8% Ziel 2050: ⇒ 60%	Strom 605 TWh/a 24,1%	74,8%	25,2%	Windkraft Photovoltaik Biomasse ⁹ Wasser Geothermie ¹⁰
	Wärme 1.282 TWh/a 51,4%	87,7%	12,3%	Holz sonst.Biomasse Müll Solarthermie Geothermie
	Verkehr 627 TWh/a 24,4%	94,5%	5,5%	Biodiesel Bioethanol

Abb. 1: Gliederung des Endenergieverbrauchs im Jahr 2013¹¹

Der weitaus größte Bereich, den die Energiewende zu schultern hat, ist die Wärmewirtschaft, gefolgt von der Verkehrswirtschaft. Der kleinste Bereich ist die Stromwirtschaft.

Bestimmte industrielle Hochtemperaturprozesse wie Hochofenprozesse, Kalk- und Zementherstellung und bestimmte chemische Prozesse, Silizium-Schmelzen zur Herstellung von Solarpaneelen und auch der Betrieb von Elektrolyseuren, die heute mit Gas, Öl und Kohle betrieben werden, sind über feste und flüssige Biomasse, Solar- und Geothermie, mit Ausnahme von Biogas, nicht zu betreiben, da sie nur geringe Temperaturen erreichen. Sie wären im Falle der Energiewende nur auf dem Umweg über Strom durchführbar. Das würde erhebliche Veränderungen der in Abb.1 gezeigten Gliederung mit sich bringen.

Die Wärmewirtschaft würde kleiner werden, der Verkehrssektor würde fast verschwinden und der Stromsektor entsprechend anwachsen.

2050 sollen die regenerativen Energieträger bei der Stromerzeugung **490 TWh/a** ausmachen¹². Das sind **80 %** der Stromerzeugung. Die gesamte Stromerzeugung beträgt also **612,5 TWh/a**. Nimmt man, wie 2013 wieder 24 % der gesamten Energieversorgung an, so ist die Gesamtenergie **2 552 TWh/a**. **60%** davon sind regenerativ. Das sind 1 531 TWh/a, der Rest ist nach wie vor nicht regenerativ. Über die 490 TWh/a für die Stromerzeugung werden detaillierte Angaben gemacht¹³: Wind, Solar, biogene Stoffe, Geothermie, Wasserkraft, Import. Der Rest von 1 021 TWh/a für Wärme und Verkehr muss ebenfalls aus regenerativen Quellen kommen. **Biogene Energiequellen (Holz und andere feste und flüssige biogene Stoffe, Biogas, Deponie- und Klärgas, Müll) sind mit 203 TWh/a bereits 2014 rückläufig und können nicht weiter ausgebaut werden. Wasserkraft ist ebenfalls so gut wie ausgeschöpft.** Über Solarthermie und Geothermie müssen realistische Annahmen gemacht werden, sie sind heute beide marginal. Wind- und Solarkraft können berechnet werden.

Mit 60% kann allerdings von einer Wende noch keine Rede sein. 2050 wäre erst etwas mehr als die Hälfte erreicht.

3. Berechnungsmethode

Wind und Sonne liefern durch ihre extrem hohen Schwankungen häufig im Jahresverlauf so gut wie keine Energie.

Die Schwankungen werden durch andere Energiequellen eingeebnet. Die Energiewende verlangt nach einem Ausgleich ausschließlich durch die regenerativen Energiequellen Wasserkraft, Biomasse und Geothermie. Kohle und Gas kommen nicht in Frage. Die genannten regenerativen Energiequellen haben eine Obergrenze. Um die Versorgungsengpässe schließen zu können, müssen Wind- und Solarkraft so stark erhöht werden, dass die regenerativen Energiequellen für eine ununterbrochene Energieversorgung ausreichen. Dabei erreichen Wind- und Solarkraft Werte, die weit über den Bedarf an Energie hinausgehen. Es entsteht eine starke Überproduktion an Wind- und Solarkraft. Sie geht verloren. Um den Verlust möglichst gering zu halten muss ein optimales Verhältnis von Wind- zu Solarenergie hergestellt werden.

Speicher könnten diese Überproduktion auffangen und bei Bedarf wieder abgeben und damit entsteht im Ergebnis keine Überproduktion.

Die Berechnung gliedert sich in die vier Szenarien

100% Energie aus regenerativen Energiequellen ohne Speicher,

100% Energie aus regenerativen Energiequellen mit Speicher,

100% Strom aus regenerativen Energiequellen ohne Speicher,

100% Strom aus regenerativen Energiequellen mit Speicher.

Ziel der Berechnung ist zunächst eine Abschätzung der **technischen** Aufwände, die zum Erreichen der Energiewende notwendig sind.

Man kann Energiequellen als **grundlastfähig** und **nicht grundlastfähig** einordnen. Grundlastfähig sind Energiequellen, die prinzipiell geregelt werden können, nicht grundlastfähig sind Energiequellen, deren Energieabgabe nicht beeinflusst werden kann. Biogas, feste und flüssige biogene Energiequellen sowie Wasserkraft, Geothermie und die konventionellen Energiequellen sind grundlastfähig, Wind- und Solarenergiequellen sind es nicht.

Das Dilemma der Energiewende liegt primär in der Tatsache, dass die grundlastfähigen biogenen Energiequellen **nicht ausbaufähig** sind, während die **ausbaufähigen** Energiequellen Wind und Solar nicht grundlastfähig sind.

Man kann nicht von jedermann verlangen, dass er diesen Zusammenhang kennt, andererseits basiert aber die weit verbreitete Zustimmung zur Energiewende gerade auf dieser Unkenntnis.

Als Basis für die Berechnungen dienen die Jahresverläufe von Wind- und Solarkraft in Deutschland im Jahr 2013, die keinerlei Besonderheiten aufweisen und deshalb als allgemeingültig angesehen werden, Abbildungen 2 und 3. Die Daten sind einer Arbeit von Prof. Dr. Bruno Burger, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE entnommen¹⁴ und mit Angaben der EEX-Transparenzplattform ergänzt¹⁵.

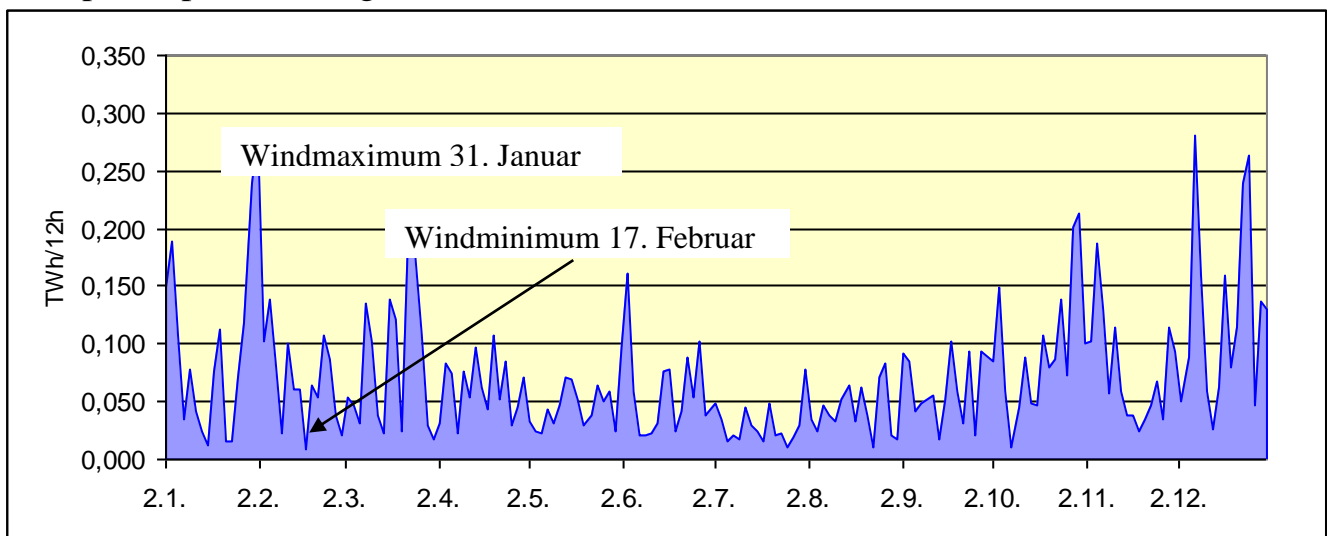


Abb. 2: Windkraftverteilung Deutschland 2013

Man erkennt Windflauten, die sich über viele Tage erstrecken, Abb.2, und bei der Sonnenkraft einen Zeitraum von 1. Dezember bis 31. Januar, in dem nur 3% der Jahresendenergie erzeugt wird Abb. 3.

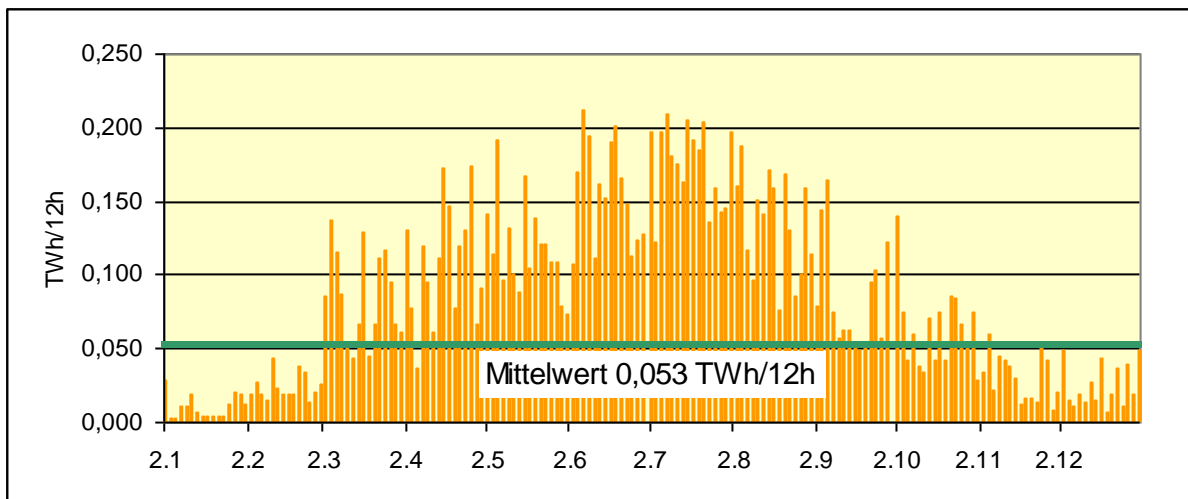


Abb. 3: Solarenergieverteilung Deutschland 2013

Für die folgenden Berechnungen werden die Verteilungen von Wind- und Solarenergie des Jahres 2013 mit einem Faktor hochgerechnet. In Zeitintervallen, in denen die Energieausbeute aus diesen Quellen zu niedrig ist, wird Energie aus den grundlastfähigen Energieträgern (Biomasse) eingespeist.

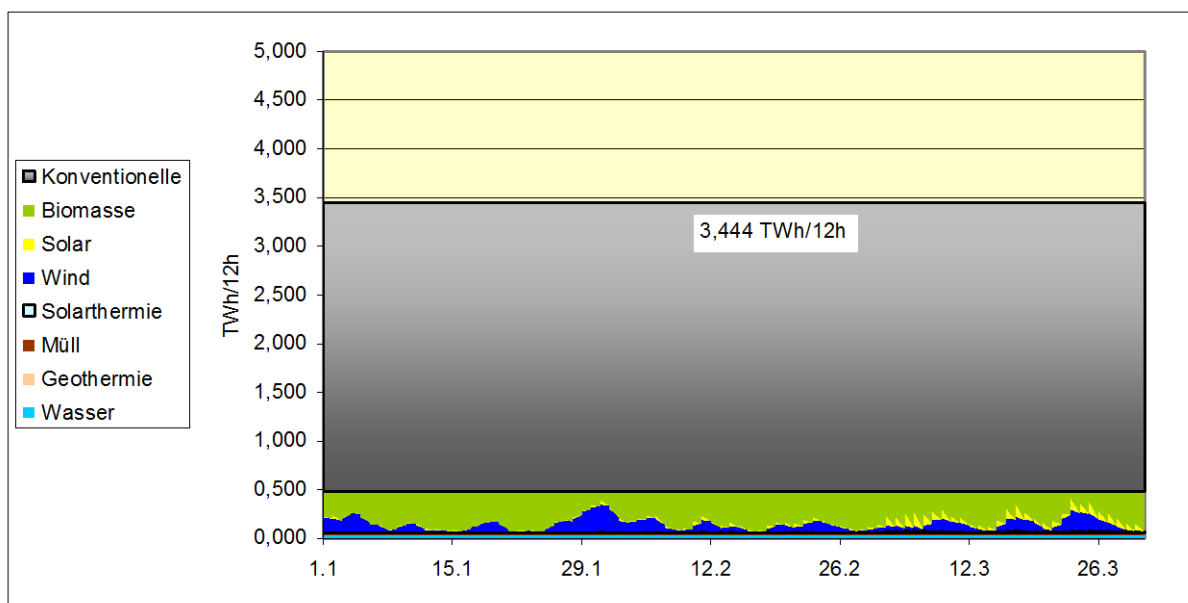


Abb. 4: Energie aus regenerativen Quellen im Ausgangsjahr 2013, 1. Quartal

In Abb.4 ist der Jahresverlauf der Energien aus den verschiedenen Energieträgern im Jahr 2013 dargestellt. Für den Endenergieverbrauch wird der Wert von 2 514 TWh aus Abb.1 übernommen. Damit verteilt sich der gesamte Endenergieverbrauch für Deutschland auf 730 Halbtage zu 3,444 TWh pro Halbtag.

Als Zeiteinheiten werden Halbtage und nicht Tage verwendet, da die Schwankungen der Solarenergie sonst nicht realistisch dargestellt werden können. Die waagerechten Grenzlinien stellen die Jahresdurchschnittswerte und nicht die aktuellen Werte dar. Tageszeitliche Schwankungen und Regelschwankungen sind nicht dargestellt.

Die graue Fläche repräsentiert die Energie aus konventionellen Quellen Steinkohle, Kernenergie, Braunkohle, Erdöl und Erdgas. Die farbig dargestellten Flächen sind den regenerativen Energiequellen zugeordnet, Wind-, Solar- und Wasserkraft, feste, flüssige und gasförmige biogene Brennstoffe und tiefe Geothermie. Sie machen 13,8% des Endenergieverbrauchs aus (s.Abb.1). Ziel der Energiewende ist es, die grau dargestellte Fläche in Abb.4 durch die farbig dargestellten Flächen restlos zu ersetzen.

Windenergie, Solarenergie, Solarthermie und Geothermie können prinzipiell unbeschränkt genutzt werden und haben dadurch das Potenzial, die konventionellen Energiequellen zu ersetzen.

Um das Ziel der Energiewende zu erreichen, müssen sie weit genug hochgefahren werden, dass die noch vorhandenen Lücken restlos durch regenerative Energie gefüllt werden können. Dadurch entsteht das in Abb. 5 dargestellte Bild. Die unbeschränkt zur Verfügung stehenden Energiequellen werden mit einem Faktor 55,6 hochgerechnet, damit die Ressourcen Biomasse, Müll, Geothermie und Wasserkraft den fehlenden Energiebetrag ausfüllen können.

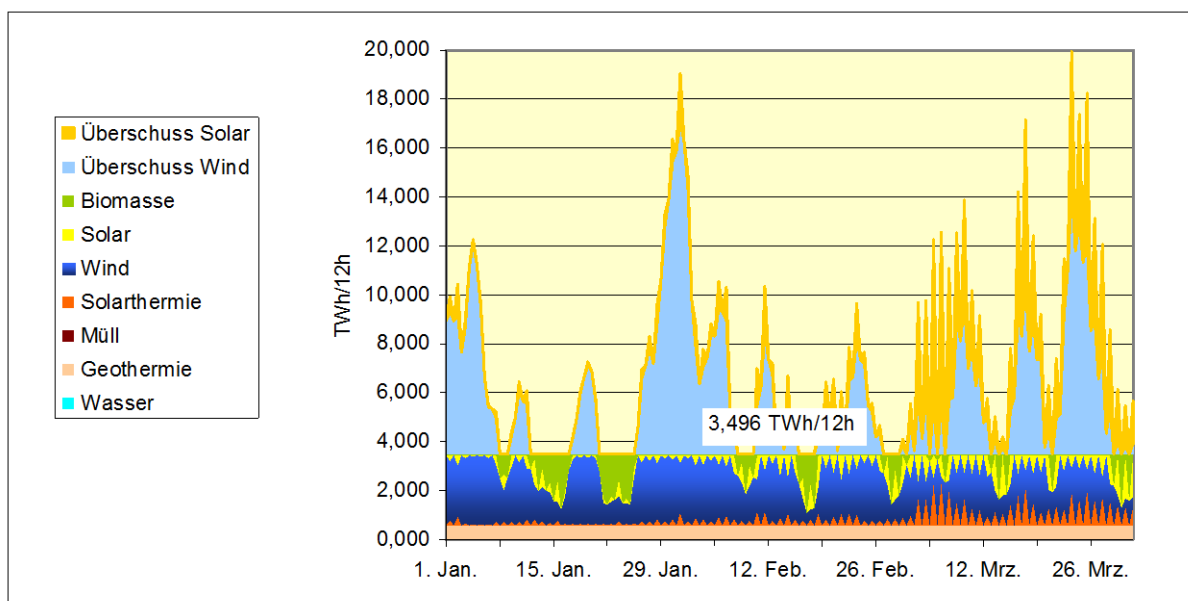


Abb. 5: Linear hochgerechnete Energiequellen Wind und Solar, 1. Quartal

Es entsteht ein erheblicher Überschuss an Wind- und Solarenergie. Der Ordinatemaßstab wurde um den Faktor 4 vergrößert. Der Endenergieverbrauch wurde mit 2 552 TWh/a angenommen.

Die regenerativen Energiequellen haben die folgenden Kennzeichen:

1. Auf Stundenbasis schwankt die Windkraftverteilung zwischen einem Maximum von 0,023 TWh/h (31.1.2013, 0:00 Uhr) und einem Minimum von 0,00046 TWh/h (17.2.2013, 3:00 Uhr), ein Größenverhältnis von 158:1.

2. Solarenergie (Photovoltaik): Der Maximalwert wurde mit 0,0024 TWh/h am 21.7.2013 um 13:00 Uhr erreicht. Es gibt im Winter Tage, an denen praktisch keine Solarenergie aus Solarmodulen gewonnen werden kann.
3. Biogas hat als Energiequelle eine leicht steigende Tendenz. Sein Potenzial ist nahezu ausgeschöpft¹⁶. Die Obergrenze von 61 TWh/a wird für alle Modelle der Energiegewinnung beibehalten.
4. Biogene Brennstoffe, Biodiesel und Bioethanol sind seit 2010 rückläufig. Sie haben mit 137 TWh/a bereits heute ihr Potenzial erreicht.

Die nachwachsenden Rohstoffe haben mit 7,8% des Endenergiebedarfs ihr Potenzial bereits heute ausgeschöpft. **Mehr geht nicht.**

5. Solarthermie: Solarthermie ist noch ausbaufähig. Ihr Wert wird zu 20,7% der Photovoltaik angenommen. Das entspricht dem für 2013 ermittelten Verhältnis von Solarthermie zu Solar-Photovoltaik.
6. Geothermie: Geothermie besitzt zweifellos ein hohes Potenzial, dessen Nutzung aber noch in weiter Ferne liegt. Den Modellen der Energiegewinnung für die Stromerzeugung liegt die Annahme eines Endenergieverbrauchs von 19,8 TWh/a zu Grunde, die von der Bundesregierung erst für 2050, also für 60% Energie aus erneuerbaren Energiequellen, erwartet wird¹³. Die Nutzung von Geothermie zur Wärmeerzeugung im Jahr 2013 ist 11 mal höher als die der Stromerzeugung. Dieses Verhältnis wird beibehalten und ergibt für eine 100% regenerative Energiegewinnung für die Geothermie (Strom und Wärme) 390 TWh/a.
7. Wasserkraft: Diese Energiequelle hat bereits heute ihr Potenzial mit 24 TWh/a nahezu ausgeschöpft.
8. Müll ist der biogene Anteil des Abfalls in Abfallverbrennungsanlagen. Er wird als unveränderbar mit 18 TWh/a behandelt.

4. 100% Energie aus regenerativen Energiequellen („Normale Energiewende“)

4.1. Maximale Nutzung regenerativer Energiequellen ohne Überschuss

Man kann die Nutzung regenerativer Energiequellen auf ein wirtschaftlich vertretbares Maß erhöhen, d.h. auf ein Niveau ohne einen Überschuss, der nicht genutzt werden kann. Es ist evident, dass hierzu noch ein erheblicher Anteil an konventionell gewonnener Energie notwendig ist und das Ziel der Energiewende weit verfehlt wird.

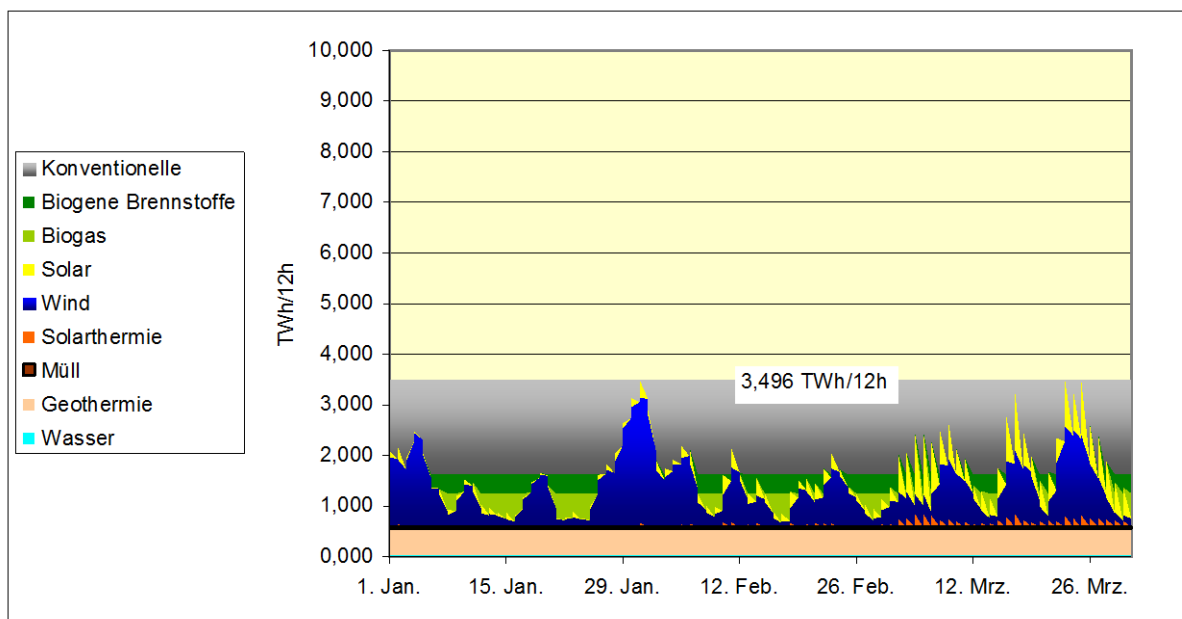


Abb. 6: Maximale Nutzung regenerativer Energiequellen ohne Überschussproduktion, 1. Quartal

In Abb. 6 ist die maximale Nutzung regenerativer Energiequellen ohne Überschussproduktion dargestellt. Wie bereits auf Seite 9 erklärt, stellen die waagerechten Grenzlinien die Jahresdurchschnitte dar. Regelschwankungen und tageszeitliche Schwankungen werden nicht dargestellt, da sie keinen Einfluss auf das Ergebnis dieser Analyse haben. Die Art und Weise wie der ergänzende Ausgleich für die schwankende Stromerzeugung von Wind und Sonne durch konventionelle Kraftwerke ausgeglichen wird, ist unerheblich. Der Endenergieverbrauch ist 2 552 TWh/a (Seite 6), der durchschnittliche Halbtageswert beträgt damit 3,496 TWh/12h. Die Verteilung von Wind- und Solarenergie ist dieselbe wie in Abb. 2 und 3, jedoch um jeweils einen bestimmten Faktor erhöht. Die Energiegewinnung aus Biogas (hellgrün) und biogenen Stoffen (dunkelgrün) füllt die Lücken von Wind- und Solarenergiegewinnung auf bis zu einem Niveau, das durch das begrenzte Volumen dieser Energiequellen vorgegeben ist.

Es versteht sich von selbst, dass in den betrachteten Szenarien die Einspeisung von Bioenergie über die Netzbetreiber gesteuert werden muss, wie bereits heute die Einspeisung von Wind- und Solarstrom, und nicht wie heute auf unabhängig operierende bäuerliche Kleinanlagen verteilt bleiben kann. Außerdem müssen ausreichend große Speicher bereitgestellt werden, da der biologische Prozess träge ist und natürlich auf kurzzeitig notwendige Änderungen des Bedarfs an Biostrom nicht reagieren kann.

4.2. 100% Energie aus regenerativen Energiequellen ohne Speicher

Da für eine 100%ige Energienutzung aus regenerativen Energiequellen keine konventionellen Energiequellen benötigt werden sollen, muss die Erzeugung

von Wind- und Sonnenenergie soweit erhöht werden, dass beträchtliche Überproduktion entsteht und man erhält die in Abb. 7 dargestellten Verhältnisse.

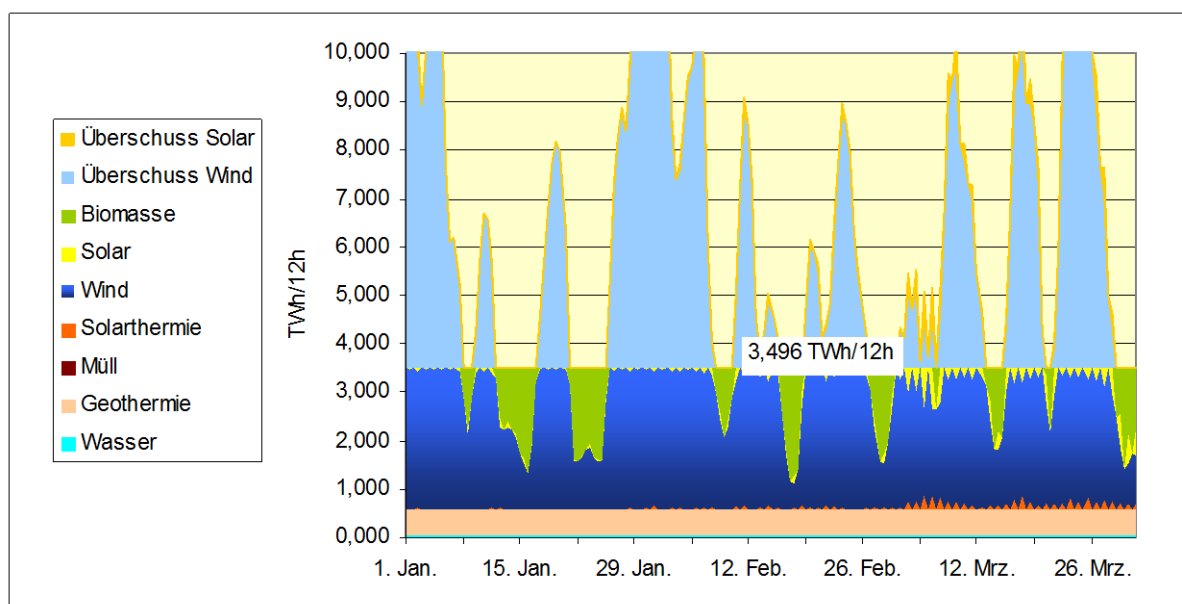


Abb. 7: 100% Energie aus regenerativen Quellen ohne Speicher, 1. Quartal

Die blau dargestellte Fläche stellt den verwertbaren Anteil der Windenergie dar, die hellblaue Fläche den nicht verwertbaren Überschuss. Das Windminimum um den 17. Februar (Abb.2) und die anderen Windminima müssen durch biogene Stoffe ausgeglichen werden. Ohne diese „Lückenbüßer“ wäre eine Energieversorgung zu 100% aus regenerativen Energiequellen überhaupt nicht möglich.

Im Ausgangsjahr 2013 bestand zwischen den Endenergieverbräuchen aus Wind- und Solarstrom ein Verhältnis von 1,6:1. Auch die Ziele der Bundesregierung für das Jahr 2050 zeigen denselben Wert. Das Verhältnis von Wind zu Solar ist ein Freiheitsgrad, den man für eine Optimierung nutzen kann. Allen Erzeugungsmodellen liegt eine derartige Optimierung zu Grunde, u.z. in Form einer Minimierung von Überproduktion bzw. von Speichervolumen. Im Falle von 100% Energie aus regenerativen Energiequellen ohne Speicher beträgt dieses optimierte Verhältnis 9,33:1. Das erklärt die geringe Solarenergiemenge in Abb. 7. Jede Veränderung dieses Verhältnisses führt zu größeren Verlusten.

Die Werte in dieser Abbildung sind deutschlandweit gemittelt. Lokal sind die Schwankungen erheblich stärker und die Konturen nicht so glatt, da sie durch jede Wolkenfront und jede Windböe beeinflusst werden. Auf die technischen Schwierigkeiten, die durch das tägliche Auf und Ab auf die Netzstabilität zukommen, wird hier nur hingewiesen.

Im Folgenden werden die Resultate der Berechnungen für Überproduktion, den Flächenbedarf der Windräder und der Solarflächen für dieses Modell vorgestellt.

Bei der Bewertung des technischen Bedarfs für Windkraft hat der **Flächenbedarf** eine zentrale Bedeutung. In Abhandlungen über Windkraft wird oft nur der Flächenverbrauch, d.h. die versiegelte Fläche für die Aufstellung des

Windrades samt Wartungsbereich, berücksichtigt. Er ist relativ klein. 20 m vom Windrad entfernt kann man Kaninchen weiden lassen, ein Haus bauen kann man aber nicht. Entscheidend ist vielmehr der Bereich, der zur Nutzung von Windkraft, die sog. Konzentrationsflächen, gebraucht wird. Kurioserweise hat man mit der Planung von Konzentrationsflächen bereits begonnen ohne den Bedarf zu kennen.

Ausgangsbasis für die Berechnungen ist die **Jahresenergie Wind**. Teilt man sie durch die Zahl der **Volllaststunden**¹⁷ erhält man die **gesamte installierte Leistung**. Die **mittlere installierte Leistung pro Windrad (Windradleistung)** hängt in sehr guter Näherung exponentiell von der **Jahresenergie** ab¹⁸. Die **Anzahl von Windrädern** ergibt sich natürlich als Quotient aus der **gesamten installierten Leistung** und der **Windradleistung**.

Aus den Daten bereits installierter Windräder lässt sich ein Zusammenhang zwischen **Windradleistung** und **Rotordurchmesser** ableiten, der ebenfalls durch eine Exponentialfunktion in guter Näherung beschrieben ist¹⁹.

Um gegenseitigen Windschattenwurf und damit eine Reduzierung des Wirkungsgrades von Windrädern zu vermeiden, müssen sie voneinander einen bestimmten Mindestabstand haben der durch den **Rotordurchmesser** festgelegt ist²⁰. Damit liegt der Platzbedarf für ein Windrad fest.

Mit der **Anzahl von Windrädern** ergibt sich der gesamte **Flächenbedarf** für die Windräder.

Damit lässt sich der gesamte Flächenbedarf für eine bestimmte Jahresenergie berechnen.

		2013	100% regen. Erzeugung
100% Energie ohne Speicher			
Jahresenergie Wind	TWh/a	51,70	3 700
Volllaststunden	h	1507	1 507
Gesamte installierte Leistung	MW	34 307	2 450 000
Windradleistung	MW	1,389	5,000
Anzahl Windräder		24 702	490 000
Rotordurchmesser	m	67	122
Flächenbedarf/Windrad	km ²	0,158	0,512
Flächenbedarf	km ²	3 892	250 000

Für die Berechnung der **Solarfläche** geht die Berechnung von der Verfügbarkeit einer Dachfläche in Deutschland von 2 300 km² aus. Diese soll zu 80% für Photovoltaik und zu 20% für Solarthermie genutzt werden. Bis zu einer vollen Nutzung des Dachflächenanteils für Photovoltaik soll ein 1:1-Verhältnis der Stromgewinnung aus Dach- und Freiflächen angenommen werden, danach steht nur noch Freifläche zur Verfügung²¹.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse aufgelistet. Über die zu erwartenden Windradhöhen werden keine Angaben gemacht.

Vorausberechnungen sind nicht möglich, da die Zunahme seit 1984 zwar fast linear wächst, aber allein schon aus Stabilitätsgründen nicht sehr viel weiter zunehmen kann sondern in nicht vorausberechenbarer Weise asymptotisch auslaufen muss.

100% Energie ohne Speicher	2013	Energiewende
Optimales Verhält. Wind / Solar	1,6:1	⇒ 9,33:1
Verlust [TWh/a]	0	⇒ 68%
Anzahl Windräder	24 169	⇒ 450 000
Flächenbedarf Windräder [km ²]	3 900	⇒ 250 000
Flächenbedarf Solar [km ²]	679	⇒ 6 800

Der Verlust ist mit 2 011 TWh/a fast so hoch wie der Nutzen von 2 552 TWh/a. Zur Beurteilung der Tauglichkeit regenerativer Energiequellen für die gesamte Energieversorgung hätte es nicht der Berechnung der Solarfläche bedurft. Der Flächenbedarf für Windräder erfordert 250 000 km², das sind 70% der Fläche der Bundesrepublik Deutschland.

- *eine Energieversorgung allein mit regenerativen Energien ohne Speicher ist definitiv undurchführbar.*

4.3. 100% Energie aus regenerativen Energiequellen mit Speichern

Zur Verringerung der beschriebenen Überproduktion kann man auf den Gedanken kommen, Energie im Überschuss zu gewinnen, den Überschuss zu speichern und die gespeicherte Energie im Bedarfsfalle abzurufen, Abb. 8.

Die überschüssige Wind- und Sonnenenergie (hellgrau) füllt exakt die Energielücke zwischen der biogenen Energie und dem Durchschnittsbedarf (dunkelgrau). Über das ganze Jahr gesehen sind die Inhalte dieser beiden Flächen gleich und keine einzige TWh geht verloren.

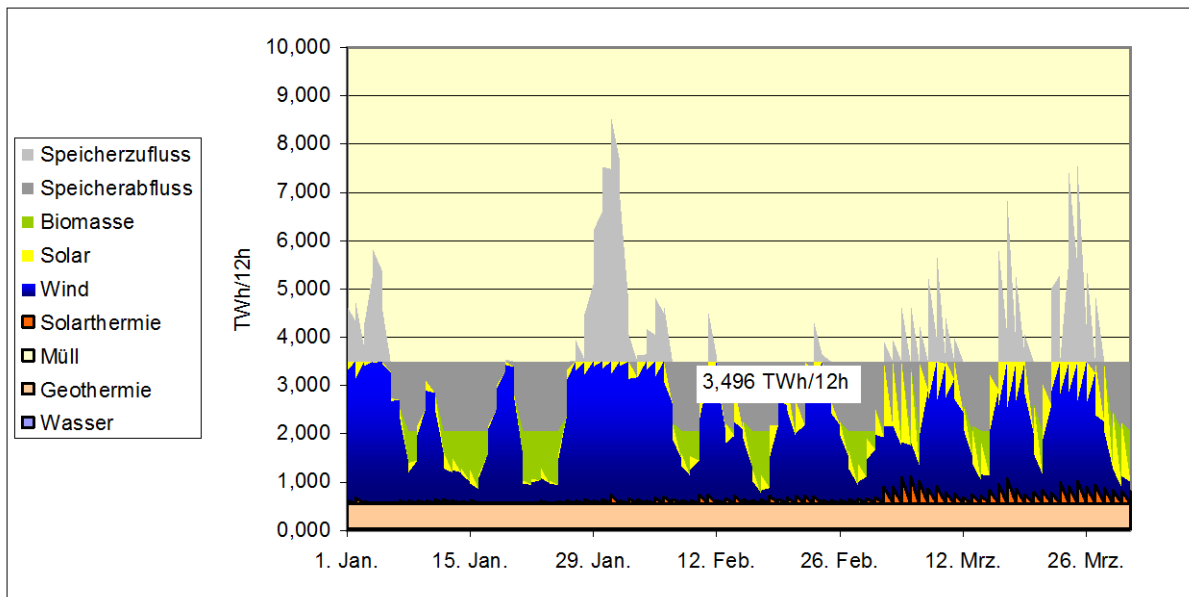


Abb. 8: 100% Energie aus regenerativen Quellen mit Speicher, 1.Quartal

Betrachtet man den Speicheraufwand, so erhält man den in Abb. 9 wiedergegebenen Verlauf des Lade-/Entladezyklus.

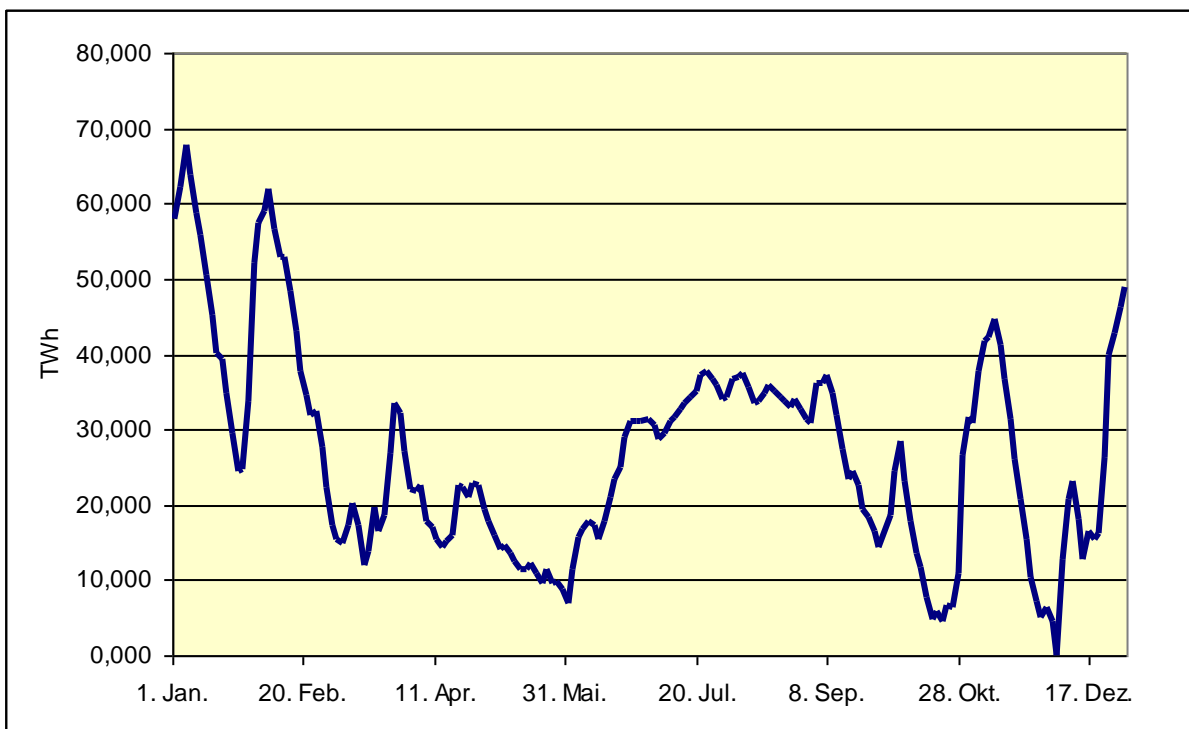


Abb. 9: Lade-/Entladezyklus der Speicher für eine 100%-Energieversorgung aus regenerativen Quellen, optimiertes Wind-/Solar-Verhältnis

Die Speicher benötigen eine Kapazität von 68 TWh. Der Speicherinhalt schwankt stark im Jahresverlauf. Die Speicher sind am 5. Januar vollständig gefüllt und am 5. Dezember restlos leer. Eine besondere Herausforderung dabei ist die Aufnahmeleistung, die sie kurzzeitig aufbringen müssen. In der Zeit vom 29. Januar bis 1. Februar beläuft sich die Aufnahmeleistung 60 Stunden lang auf 362 Millionen kW. Zum Vergleich: die mittlere Leistung des gesamten

Stromverbrauchs in Deutschland beträgt 70 Millionen kW. Dabei muss jeder Überschuss im Augenblick seiner Entstehung umgewandelt und abgespeichert werden, sonst ist er verloren.

Man mag sich über die relativ kleine Kapazität von 68 TWh bei einer gesamten Endenergiemenge von 2 550 TWh wundern. Sie ist ein Ergebnis der auf Seite 12 beschriebenen Optimierung des Verhältnisses von Wind- zu Solarstrom. Bei einer Beibehaltung des gegenwärtig existierenden Wind- zu Solarstromverhältnisses von 1,6:1 ergibt sich ein ganz anderer Lade-/Entladezyklus und eine Speicherkapazität von 215 TWh (Abb.10).



Abb. 10: Lade-/Entladezyklus der Speicher für eine Energieversorgung aus regenerativen Quellen, Wind/ Solarstromerzeugung = 1,6:1

Drei Speichertechnologien für die Speicherung großer Energiemengen sind bekannt: Pumpspeicherwerke, Batteriespeicher (Blei und Lithium) und Methanspeicher ("Power-to-Gas").

4.3.1. Pumpspeicherwerke (PSW)

Der größte deutsche Pumpspeicher Goldisthal besitzt eine Speicherenergie von 0,00848 TWh. Man braucht **8 000(!)** solcher Speicher, um die erforderliche Energiemenge von 68 TWh speichern zu können. Insgesamt wird eine Wald- und Landfläche der 200-fachen Fläche des Chiemsees belegt. Beides ist sowohl geografisch als auch gesellschaftspolitisch nicht realisierbar.

Pumpspeicherwerke werden seit 120 Jahren dafür gebaut, kurzzeitige Schwankungen des Strombedarfs lokal abzupuffern. Als Langzeitspeicher sind sie ungeeignet.

- ***Pumpspeicherwerke sind für eine Energiegewinnung von 100% aus regenerativen Quellen ungeeignet***

4.3.2. Batteriespeicher

Es ist naheliegend, bei der Diskussion über Speicherung von Strom zuallererst an Batterien zu denken. Die Technik ist ausgereift und wird in 49,3 Millionen deutschen Kraftfahrzeugen verwendet.

Zu beliebten Gedankenspielen der Energiewende zählt darum der autarke Privathaushalt mit Solaranlage auf dem Dach und Batterien im Keller. Ein 4-Personen-Haushalt verbraucht ca. 5 000 kWh Strom. Man macht sich leicht klar, dass dazu eine Speicherkapazität von ca. 1 600 kWh notwendig ist, denn wie man aus Abb. 3 erkennen kann ist der Sommerüberschuss, der gespeichert werden muss, um im Winterhalbjahr zur Verfügung zu stehen, etwa 1/3 der gesamten Jahresenergie.

Mit Lithium-Batterien Tesla Powerwall, die für diesen Einsatz entwickelt wurden, zum Preis von 297 €/kWh, sind 475 000 € ohne Installation zu bezahlen.

Diese Summe ist jedes Mal neu zu investieren, wenn die Lebensdauer der Akkus erreicht ist, d.h. alle 10 Jahre. In dieser Zeit werden 50 000 kWh erzeugt. Der Anteil der Batteriekosten an den Stromkosten beläuft sich auf 9,50 €/kWh. Der Strompreis im Jahr 2013 betrug 0,288 €/kWh.

Die Stromproduktion durch autarke Solarstromanlagen ist 33 mal teurer als der derzeitige Netzstrom.

Das ernüchternde Preis-Leistungs-Verhältnis von Blei- und Lithium-Batterien, 1 024 €/kWh bzw. 1 412 €/kWh für fertig installierte Systeme²² machen diese Speichervariante zu einem Rohrkrepierer. Selbst bei einem Preissturz auf 10% ist der Einsatz dieser Speicher nicht konkurrenzfähig mit der Stromerzeugung aus Kernkraft, Kohle und Gas. Die gigantischen Investitionskosten von 69 Billionen € (Blei) bzw. **96 Billionen € (Lithium)** führen zu einer Erhöhung des Verbraucherpreises von **5,62 €/kWh** bei Blei- bzw. 3,94 €/kWh bei Lithium-Batteriespeichern²³.

Andererseits trägt jede Solarstromanlage, die nicht über eine ausreichende Speicherkapazität verfügt, zu den stetig wachsenden Kosten für Netzeingriffe (Redispatch) bei, die zur Stabilisierung des Netzes notwendig sind. Sie belaufen sich im Jahr 2016 bereits auf 1 Mrd. €, die zu den Subventionen hinzukommen.

- ***Batterien sind für eine Energiegewinnung von 100% aus regenerativen Quellen ungeeignet***

Alle Kfz-Batterien zusammengenommen könnten den deutschen **Energiebedarf** für 11,5 Minuten abdecken. Bei einem totalen **Stromausfall** dauert es 42 Minuten. Danach sind sie leer.

Dennoch bleibt die Hoffnung, dass es eines Tages gelingen kann, durch Weiterentwicklung bekannter Redox-Prozesse z.B. neuartige Redox-Flow-Batterien in heute noch utopisch anmutende Energiedichtebereiche vorzustoßen.

Die Anstrengungen sind groß und wer eine bezahlbare Batterie mit 15 kWh/l erfindet, ist der Bill Gates des 21. Jahrhunderts. Heute speichern Bleiakkus 1 kWh/15 l²⁴.

4.3.3. Methan-Speicher (“Power-to-Gas”)

Als Speichermedium wird das Gas Methan verwendet. Die Herstellung des Methans erfolgt über die Bildung von Wasserstoff und Sauerstoff durch Elektrolyse (Elektrolyseur). Der entstandene Wasserstoff wird in einem zweistufigen Prozess (Sabatier-Prozess) mit Kohlendioxid zu Methan und Wasser verarbeitet und das Methan eingelagert. Bei Bedarf wird das eingelagerte Methan über Gasturbinen zur Rückverstromung verwendet. Aus Wasser und CO₂ wird wieder Wasser und CO₂. Man kann sich der Faszination dieser Speichertechnologie kaum entziehen. Leider sind aber die Glieder dieser technologischen Kette nicht verfügbar oder nicht erprobt. Natürlich lässt sich ein Elektrolyseur an ein Windrad anschließen. Möglicherweise schafft man es auch, aus der Atmosphäre genügend Luft herbeizuschaffen, um den entstehenden Wasserstoff mit dem CO₂ der Luft zu Methan reagieren zu lassen. Die Rückverstromung über eine Gasturbine klappt sowieso. Aber der Wirkungsgrad!

Alle Glieder dieser Kette haben einen niedrigen Wirkungsgrad. Der Gesamtwirkungsgrad beträgt 21%²⁵. Dabei ist der Verlust für die CO₂-Darstellung noch nicht berücksichtigt. Der niedrige Wirkungsgrad ergibt sich aus der Länge der Prozesskette. Ihre Einzelwirkungsgrade sind das Resultat aus den unvermeidbaren Abwärmeverlusten aufgrund der hohen Reaktionsenthalpien und multiplizieren sich zum Gesamtwirkungsgrad. Der niedrige Gesamtwirkungsgrad liegt in der Natur der verwendeten Technik und lässt sich durch keine noch so effektive Ingenieurskunst und verfeinerte Technik wesentlich erhöhen. Es wurde vorgeschlagen, die hohen Abwärmewerte in Organic-Rankine-Cycle-Anlagen zur Stromerzeugung zu verwenden. Diese Anlagen würden also Strom erzeugen, wenn er im Überschuss vorhanden ist aber still stehen, wenn er gebraucht wird.

Ein Speicher mit einem Wirkungsgrad von weniger als 50% ist im übrigen kein Speicher sondern eine Last. Dieser Speicher verbraucht mehr Energie als er wieder abgibt.

Wichtige Einzelprozesse wie die Darstellung von CO₂ und die Trocknung des Methans scheinen im Übrigen noch wenig entwickelt zu sein. In einer Studie des Umweltbundesamtes aus dem Jahr 2006 wird ernsthaft die Verwendung von

Abgas aus Kalkbrennereien zur CO₂-Gewinnung in Betracht gezogen²⁶ und das für eine notwendige Speicherkapazität von mindestens 68 TWh!

- *Methan-Speicher sind für eine Energiegewinnung von 100% aus regenerativen Quellen ungeeignet*

Die folgende Tabelle fasst die Resultate zusammen:

100% Energie mit Speicher	2013	Energiewende
Optimales Verh. Wind / Solar	1,6:1	⇒ 2,8:1
Verlust		⇒ 0%
Anzahl der Windräder	25 600	⇒ 185 000
Flächenbedarf Windräder [km ²]	3 900	⇒ 95 000
Flächenbedarf Solar [km ²]	679	⇒ 14 000
Speichervolumen [TWh]		68
Zahl der Pumpspeicherwerke	24 ²⁸	8 000 ²⁹
Investitionen		
Bleibatterien [Mrd. €/]		69 000
Lithiumbatterien [Mrd. €]		96 000
Nettostrompreis [€/kWh] ²⁷		
Bleibatterien		⇒ 5,62
Lithiumbatterien		⇒ 3,94

- *eine Energieversorgung allein mit regenerativen Energien und Speicherung ist nicht möglich*

5. 100% Strom aus regenerativen Energiequellen („Kleine Energiewende“)

Eine **Energieversorgung** aus 100% regenerativen Energiequellen ist nicht möglich. Es wäre aber denkbar, wenigstens eine **Stromversorgung** aus 100% regenerativen Energiequellen zu versuchen. Ohnehin wird in der öffentlichen Diskussion oft nur der Stromsektor gemeint, wenn von Energiewende die Rede ist, obwohl dieser Sektor der kleinste von den drei Energiesektoren Wärme, Verkehr und Strom ist. Von Energiewende kann natürlich keine Rede sein, wenn die „Wärmewende“ und die „Kraftstoffwende“ fehlen.

Abb. 11 zeigt die Ausgangssituation im Bezugsjahr 2013. Die Endenergie ist 639 TWh, die durchschnittliche Halbtagesenergie beträgt 0,875 TWh.

Der relative Anteil von 28% der Stromgewinnung aus regenerativen Energiequellen an der gesamten Stromgewinnung ist zwar offensichtlich höher

als der entsprechende Anteil bei der Gesamtenergiegewinnung (vgl. Abb. 4), aber auch diese Darstellung macht deutlich, wie weit wir von einer „kleinen Energiewende“ entfernt sind. Andererseits ist auf dieser Darstellung nicht zu erkennen, dass die Stromproduktion aus regenerativen Quellen bereits heute stundenweise den Strombedarf übersteigt.

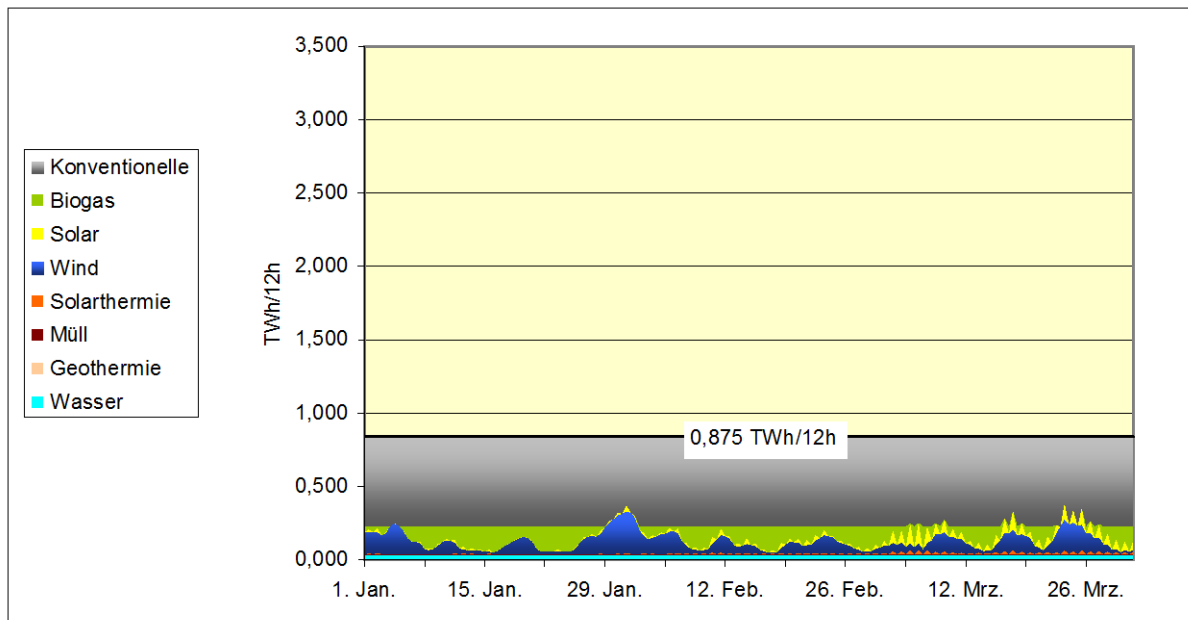


Abb. 11: Stromgewinnung im Ausgangsjahr 2013, 1.Quartal

5.1. 100% Strom aus regenerativen Energiequellen ohne Speicher

Für die Stromversorgung wird mit 612,5 TWh/a gerechnet. Man erkennt aus Abb. 11 wieder die besondere Rolle der **Energieversorgung aus Biogas**. Würde sie fehlen, so müsste die Windstromversorgung soweit gesteigert werden, dass auch am 17. Februar der erforderliche Wert von 0,84 TWh/12 h erreicht wird. Das würde einen vier- bis fünfmal größeren Bestand an Windrädern bedeuten. Allerdings erfordert die Rolle der Biogasanlagen eine Änderung ihrer Nutzungsbedingungen. Während für einen rentablen Betrieb eine gleichmäßige Nutzung über das ganze Jahr erforderlich wäre, dürfen sie jetzt nur noch Strom liefern, wenn es die Wetterbedingungen erfordern, in der übrigen Zeit sind sie in Bereitschaft. Zusätzlich benötigen sie, um die Lücken bei Schwachwind und fehlender Solarenergie schließen zu können, z.B. am 17. Februar, eine rund 6 mal höhere Maschinenkapazität als es ihrer Jahresendenergieabgabe entspricht. Der Betrieb einer Biogasanlage wird dadurch vollkommen unrentabel und es ist damit zu rechnen, dass Betreiber von Biogasanlagen, so wie heute bereits Betreiber von GuD- Kraftwerken³⁰, ihre Aktivität einstellen.

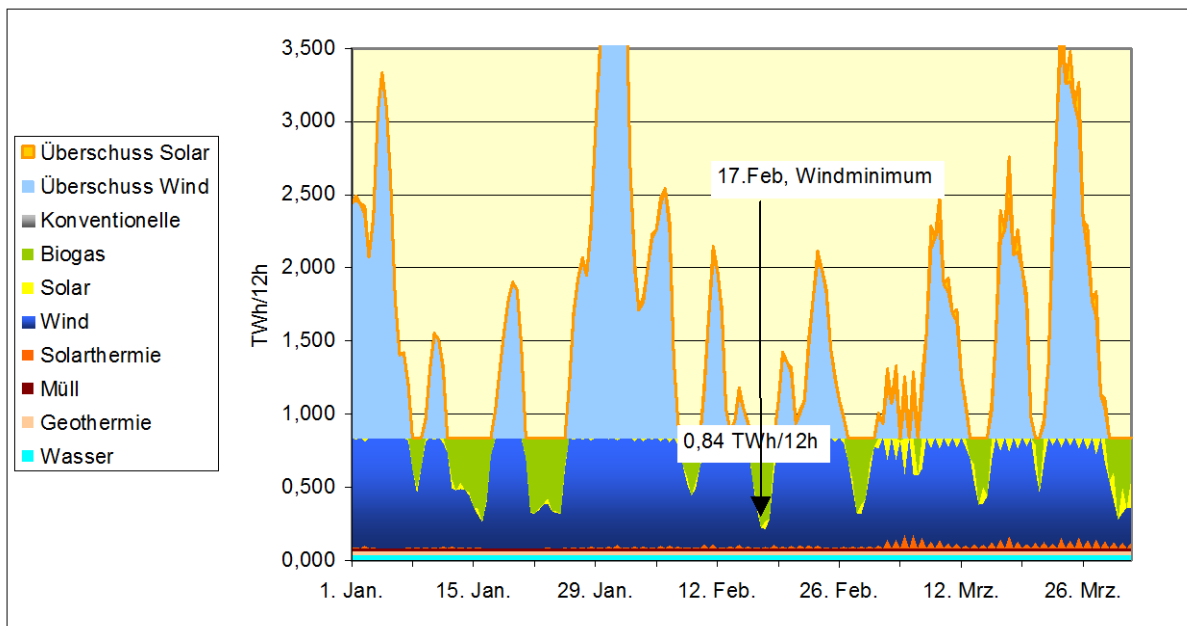


Abb. 12: 100% Stromerzeugung aus regenerativen Quellen ohne Speicher, 1.Quartal

Für die Aufwände ergibt sich folgendes Bild

100% Strom ohne Speicher	2013	Energiewende
Optimales Verhält. Wind / Solar	1,6:1	7,4:1
Verlust [TWh/a]		71%
Anzahl Windräder	25 600	114 000
Flächenbedarf Windräder [km²]	3 900	56 000
Flächenbedarf Solar [km²]	679	2000
Strompreis [Cent/kWh]³¹	28,86	87,87

Obwohl die Erzeugung von Windstrom auf das 15,8-Fache gesteigert werden muss, ist die Steigerung der Anzahl von Windrädern nur 4,3-fach. Hier findet die auf Seite 12 beschriebene Abhängigkeit der Windradleistung von der gesamten installierten Leistung ihren Niederschlag, denn die mittlere Windradleistung steigt von 1 400 kW pro Windrad im Jahr 2013 auf 4 900 kW pro Windrad bei 100% Strom aus erneuerbaren Energiequellen. Die größten Windräder müssten dann eine installierte Leistung von 17 500 kW haben, was sicher an der Grenze des Machbaren liegt.

Die Überproduktion beträgt 71% der gesamten Stromerzeugung.

Die Erhöhung der Stromkosten wird im Kapitel 6 Kosten erklärt.

Damit verstößt eine Stromversorgung aus 100% regenerativen Energiequellen zwar nicht gegen naturwissenschaftliche und technologische Gesetze, mit einer

Gesamt-Solarfläche, die 25 mal größer ist als der Chiemsee, einer Anzahl Windräder 4 mal so groß wie die Zahl von 2013 und einer exorbitanten Strompreiserhöhung, ist sie aber weder geografisch noch wirtschaftlich noch gesellschaftspolitisch durchsetzbar.

- *eine Stromversorgung aus 100% regenerativen Quellen ohne Speicher ist technisch möglich aber unbezahlbar.*

5.2. 100% Strom aus regenerativen Energiequellen mit Speichern

Auch hier ist es naheliegend, die Überproduktion durch Speicher zu vermeiden.

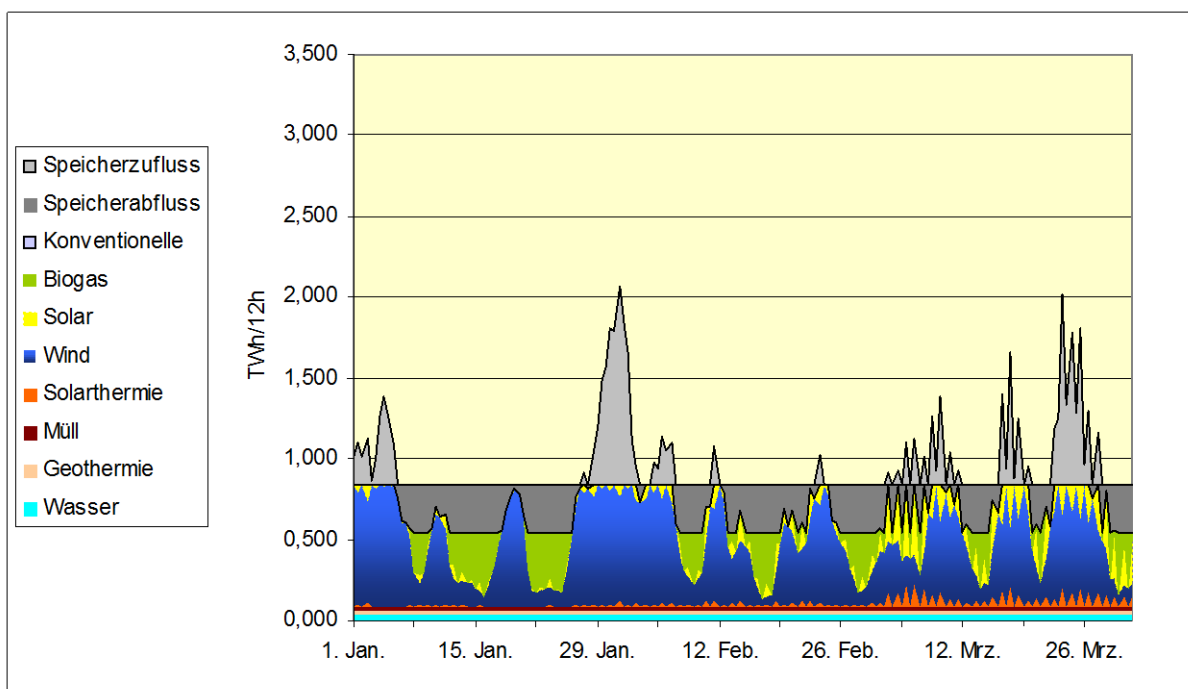


Abb. 13: 100% Strom aus regenerativen Quellen mit Speicher, 1. Quartal

Das Ergebnis ist ernüchternd. Die Zahl der Windräder und die Solarfläche werden erwartungsgemäß reduziert, aber der Speicherbedarf von 14 TWh ist technisch nicht realisierbar. Die **Speicherenergie** erfordert 1 678 Speicher der Größe des Speichers Goldisthal. Bei Verwendung von Batteriespeichern steigen die Netto-**Strompreise** auf 4,94 €/kWh für Blei- und 3,46 €/kWh für Lithiumspeicher. Elektrolyseure arbeiten bei hohen Temperaturen (900°C) und/oder hohen Drücken (12 bar). Sie brauchen eine **Leistung** von 102 Millionen kW. Das ist in absehbarer Zeit technisch nicht durchführbar.

100% Strom mit Speicher	2013	Energiewende
Optimales Verhältnis Wind/Solar	1,6:1	2,7:1
Verlust		0%
Anzahl der Windräder	25.600	66 500
Flächenbedarf Windräder [km²]	3 900	23 000
Flächenbedarf Solar [km²]³²	679	3 055
Speichervolumen[TWh]		14,2
Zahl der Pumpspeicherwerke	24 ³³	1 678 ³⁴
Investitionen		
Bleibatterien (Mrd. €)		14 735
Lithiumbatterie(Mrd. €)		20 378
Netto-Strompreis [€/kWh] ³⁵	0,038	
Bleibatterien		4,94
Lithiumbatterien		3,46

Die Stromspeicherung für eine „Stromwende“ ist entweder geografisch (PSW) oder finanziell (Batteriespeicher) oder technisch (Methanspeicher) nicht durchführbar.

- *eine Stromversorgung aus 100% regenerativen Quellen mit Speichern ist unmöglich.*

6. Kosten

Damit kommt man zu einer Abschätzung der **finanziellen** Aufwände, die zum Erreichen der Energiewende notwendig sind.

Das Modell

Ausgangssituation ist die Kostenstruktur des Strompreises im Jahr 2013. Sie enthält Positionen, die unmittelbar mit den regenerativen Quellen in Verbindung stehen: EEG-Umlage, Haftungsumlage und Positionen, die mittelbar mit den regenerativen Quellen in Verbindung stehen: Netzumlage, Ökosteuer, Mehrwertsteuer.

Von Jahr zu Jahr wächst der Stromanteil aus erneuerbaren Quellen und damit die **EEG-Förderung**. Sie muss über die **EEG-Umlage** finanziert werden. Mit der Umlage steigt die Mehrwertsteuer und mit dem Zuwachs an regenerativer Stromerzeugung wächst das Netzentgelt mit dem der Aufwand zur Stabilisierung des Netzes bezahlt werden muss.

Eine neue Situation ergibt sich, wenn das Potenzial der Stromerzeugung in immer länger werdenden Zeitabschnitten den Strombedarf übersteigt. Die tatsächliche Stromerzeugung kann zwar nie den Stromverbrauch übersteigen,

aber der Betreiber der Kraftanlagen muss für den vorgehaltenen Strom in voller Höhe entschädigt werden. Der Verbraucher bezahlt damit den Strom, den er nicht erhält. Außerdem nehmen die Kosten der Netzstabilisierung in nicht bekannter Weise weiter zu. Der Strompreis wächst bis zum Erreichen des 100%-Ziels.

Einsparmöglichkeiten gibt es nicht. Mit der EEG-Umlage werden Unterhalt und Zubau der Kraftanlagen und der Gewinn der Betreiber finanziert. Die EEG-Förderung dient also nicht nur dem Profit der Anlagenbetreiber sondern auch der Investition in neue Anlagen. Sie kann also nicht entfallen ohne dass die Energiewende gestoppt wird. Wenn die EEG-Förderung gestrichen würde müsste der Staat den weiteren Ausbau der regenerativen Stromerzeugung übernehmen. Das kann er nur durch eine Erhöhung der Strombesteuerung. Für den Verbraucher ändert sich dadurch also nichts.

€/kWh	Gestehungskosten ³⁶	Subvention	Herstellerkosten	Verbraucherkosten
Wind auf See	0,157	0,154	0,003	0,311
Solar	0,110	0,132	-0,022	0,242
Erdgas	0,087	-	0,087	0,087
Wind an Land	0,076	0,089	-0,013	0,165
Steinkohle	0,072	-	0,072	0,072
Kernkraft³⁷	0,050	-	0,050	0,050
Braunkohle	0,046	-	0,046	0,046

Die **Verbraucherkosten** setzen sich zusammen aus den **Gestehungskosten** (einschließlich Abschreibung) und den **Subventionskosten** nach dem EEG, die von jedem zu tragen sind, der Energie verbraucht (Strom oder Wärme oder Kraftstoff). Sie sind ein Teil des Strompreises, Steuern und Abgaben kommen noch hinzu. In der Tabelle sind Gestehungskosten und Subventionskosten von regenerativen und konventionellen Energieträgern einander gegenübergestellt.

Die Gestehungskosten für regenerative Energieträger liegen teilweise deutlich über denen der nicht regenerativen. Durch die hohen Subventionen werden sie aber für die Erzeuger mehr als ausgeglichen. Für den Verbraucher, der diese Subventionen bezahlt, entsteht ein gegenteiliger Effekt. Während der Marktpreis für regenerativen Strom sinkt, bezahlt er mit der EEG-Umlage erheblich mehr für sie als für nicht regenerativen Strom.

Die Stromerzeugung aus regenerativen Quellen ist hingegen ein lukratives Geschäft: für Solarstromerzeugung fallen 0,110 €/kWh an. Dafür erhält der Erzeuger eine Subvention von 0,132 €/kWh. Am 30. Juni 2016 wurde an der Strombörse ein mittlerer Preis von 0,03 €/kWh bezahlt³⁸. Der **Reingewinn** für Solarstromerzeuger betrug somit $0,03 \text{ €/kWh} + 0,022 \text{ €/kWh} = 0,052 \text{ €/kWh}$

während für die Erzeugung von Strom aus Erdgas ein **Verlust** von $0,087 \text{ €/kWh} - 0,03 \text{ €/kWh} = 0,057 \text{ €/kWh}$ anfiel. Es ist daher damit zu rechnen, dass sich die großen Stromerzeuger aus dem unattraktiven Geschäft mit Kernkraft, Kohle und Gas zurückziehen und sich der Erzeugung von Strom aus regenerativen Quellen zuwenden.

In den Medien wird das meistens so dargestellt als sei die Erzeugung von Strom aus konventionellen Quellen nicht konkurrenzfähig gegenüber regenerativen Quellen. Das ist eindeutig falsch.

Wenn die Kilowattstunde für regenerative Energiequellen an der Börse niedriger gehandelt werden kann als für konventionelle Energiequellen, so ist das allein auf die hohen Subventionen zurückzuführen.

Die Energiewende bringt zwangsweise zwei Mechanismen mit sich, durch die der Strompreis in die Höhe getrieben wird:

1. Der Strompreisanteil, der ausschließlich den regenerativen Quellen zuzuordnen ist, EEG-Umlage, Ökosteuer, Offshore-Haftung sowie anteilige Mehrwertsteuer und anteiliges Netzentgelt, wird erhöht, da 100% der Energiequellen gefördert werden müssen anstelle der knapp 30%, die heute gefördert werden.
2. Es entsteht ein Überschuss der Stromproduktion, der in voller Höhe einschließlich der Förderung vom Verbraucher bezahlt werden muss.

Dieser Mechanismus führt zwangsläufig zu einer Steigerung des Strompreises, wenn die regenerativen Energiequellen die konventionellen restlos ersetzt haben. Studien, in denen die Machbarkeit der Energiewende nachgewiesen wird, gehen oft davon aus, dass die Einrichtungen zur Gewinnung und Speicherung bereits vorhanden sind. Gestehungskosten einschließlich Abschreibungen, Wartungs- und Betriebskosten sind enthalten, nicht aber die finanziellen Anreize, ohne die diese Einrichtungen erst gar nicht entstehen.

Die Einrichtungen, die für eine Energiewende notwendig sind, werden dann und nur dann gebaut, wenn die Subventionen unverändert weiter bezahlt werden.

Die leichte Rücknahme der Subventionen nach dem EEG in den Jahren 2014/15 haben die Neuanträge für Wind- und Solarkraftanlagen fast, die für Biogasanlagen vollständig zum Erliegen gebracht. Jede Novellierung des EEG kann lediglich die Verteilung der Förderung ändern, der Umfang der Förderung kann keinesfalls verringert werden.

Sie muss sogar beträchtlich erweitert werden. Bei der Geschwindigkeit des Zubaus für die Energiegewinnung aus Wind und Sonne in den Jahren 2000-2013 wäre das Ziel von 100% **Strom** aus regenerativen Quellen erst 2110 erreicht.

Abb. 14 zeigt den **Strommix** des Jahres 2013. Die regenerativen Energieträger sind farbig dargestellt, die konservativen sind grau. Der Anteil der Regenerativen beträgt 23,8%³⁹. Für diesen Anteil ist EEG-Umlage zu bezahlen.

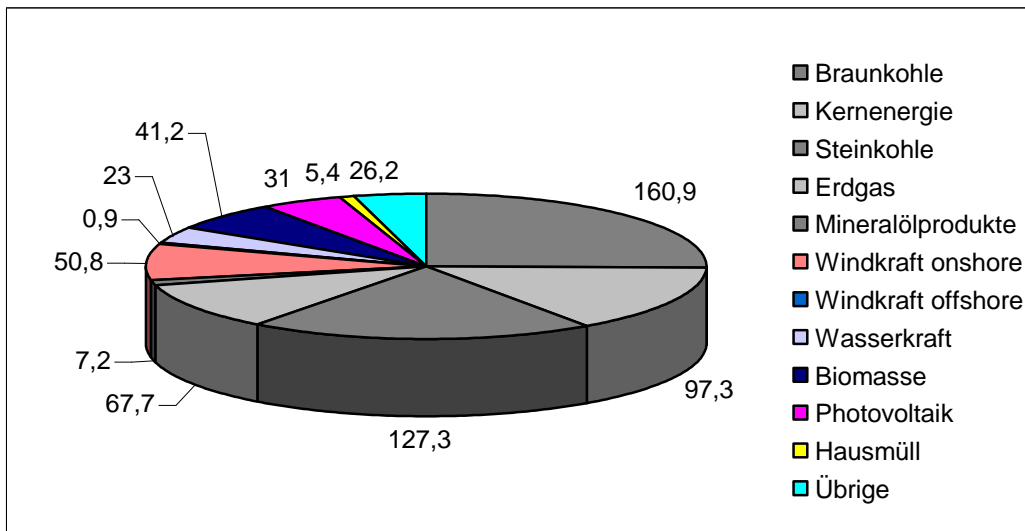


Abb. 14: Strommix 2013 in TWh/a

Die Strompreisstruktur für diesen Strommix zeigt Abb. 15.

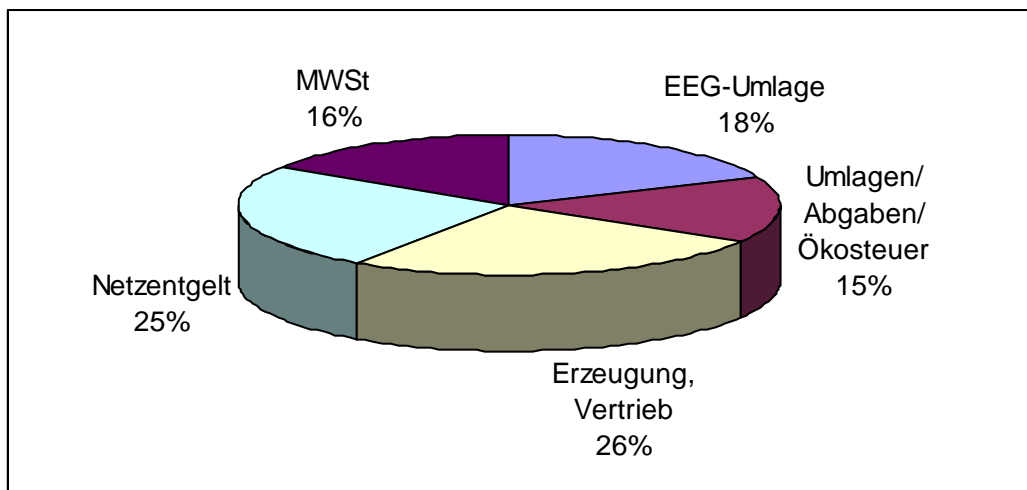


Abb. 15: Strompreisstruktur 2013, 3- Personenhaushalt⁴⁰, Preis 28,86 Cent/kWh

Die beiden beschriebenen Mechanismen wirken sich wie folgt aus:

Stufe 1: Bei einer Vergrößerung des Anteils der regenerativen Energieträger wächst die EEG-Umlage entsprechend, ebenfalls das Netzentgelt, das seit 2011 bis heute um 23% für ein immer feinmaschiger werdendes Netz gestiegen ist und weiterhin steigen wird. Der Kostenblock Erzeugung und Vertrieb, der maßgeblich durch die Gestehungskosten bestimmt ist, wird zunächst als konstant angesehen. Die Mehrwertsteuer erhöht sich mit der Vergrößerung der Kostenblöcke ebenfalls.

Stufe 2: Durch die Überproduktion von 71% über den Bedarf entsteht kalkulatorisch eine Erhöhung von EEG-Umlage um den Faktor 1,7. Das Netzentgelt bleibt durch die Überproduktion unberührt und Erzeugung/Vertrieb erhöht sich ebenfalls um den Faktor 1,7. Die Mehrwertsteuer erhöht sich mit der Vergrößerung der Kostenblöcke weiter. Umlagen, Abgaben und weitere Steuern bleiben durch beide Stufen unberührt.

Der Strompreis steigt damit von 28,86 Cent/kWh auf 87,87 Cent/kWh bei 100% Strom aus regenerativen Energiequellen, Abb.16.

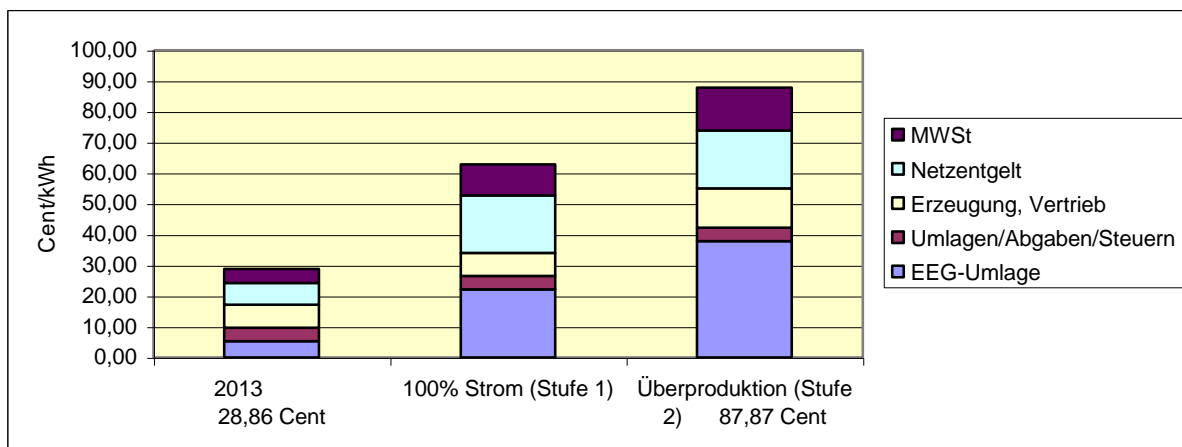


Abb. 16: Strompreisentwicklung bei 100% regenerative Energieträger und Überproduktion

Das ist eine Kostensteigerung von 205%.

7. Alternativen

Die Defizite in der Stromversorgung müssen unabhängig davon, ob sie nach Zeitpunkt, Dauer und Größe absehbar sind, wie bei der Solarenergie, oder unabsehbar, wie bei der Windenergie, nachhaltig d.h. aus regenerativen Quellen beseitigt werden. Die **Nachhaltigkeit ist dabei eine ultimative Forderung der Energiewende**. Wenn es nicht gelingt, diese Defizite durch regenerative Maßnahmen auszugleichen, ist die Energiewende am Ende.

Drei Alternativen sind überlegenswert,

1. Regelkraftwerke
2. neuartige Speicher
3. Kernfusion.

Regelkraftwerke

Anders als in der konventionellen Stromversorgung, in der das Vorhalten von Kraftwerken, die im Bedarfsfalle zugeschaltet werden können - sog. Regelkraftwerke - üblich ist, schließt der Mangel an regenerativen Rohstoffen eine solche Regelung für regenerative Energiequellen praktisch aus.

Außerdem würde sich vermutlich kein Investor finden, der ein Kraftwerk baut, das nur dann produziert, wenn die Wetterlage keine anderweitige Stromproduktion zulässt.

- **Regenerative Regelkraftwerke scheiden aus.**

Speicher

Die Defizite der Stromversorgung durch Wind und Sonne können also nur durch Speicher ausgeglichen werden.

Es ist nicht so, dass es keine technischen Hilfsmittel gäbe, um Strom zu speichern. Die unvorstellbaren Dimensionen der zu speichernden Energie, deren sich nur wenige bewusst sind, lassen jedoch deutlich werden, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine anwendbaren Techniken existieren und auch keine technologischen Lösungen in Sicht sind. Die Erkenntnis, dass es keine Speicher gibt, die den Anforderungen der Energiewende genügen, ist alt. Die Zahlen zeigen aber, wie hoffnungslos weit wir von einer Lösung entfernt sind.

- *es gibt keine verwertbaren Speichertechniken.*

Kernfusion

Aus heutiger Sicht gibt es nur eine technologisch denkbare Möglichkeit, unsere Bodenschätze zu schonen und zwar die Kernfusion. Sie hat das Potenzial, der Menschheit für Jahrtausende Energie in ausreichendem Maße zur Verfügung zu stellen. Wie weit diese Technik auf nationaler Ebene in den einzelnen Ländern entwickelt ist, lässt sich nicht annäherungsweise beurteilen. Auch das internationale Projekt ITER, das diese Technik voranbringen soll, lässt keine diesbezüglichen Schlüsse zu.

7. Öffentliche Diskussion und Fazit

Nichts von dem, was in diesem Papier steht, ist wirklich neu. Es zeigt lediglich auf, dass die heute gegebenen und erkennbaren Möglichkeiten eine Energiewende kategorisch ausschließen.

Es gibt keine technisch-naturwissenschaftlich verwertbaren und volkswirtschaftlich vertretbaren Mittel, die fluktuierenden Energiequellen Wind und Sonne auszugleichen.

In der öffentlichen Diskussion der Energiewende werden oft nur Teilaspekte betrachtet. Die Gesamtsicht im Sinne des eingangs erwähnten Ebersberger Kreistagsbeschlusses kommt dabei zu kurz. Oft wird nur der Energiebereich **Stromwirtschaft** gesehen, obwohl er den kleinsten der Energiewirtschaftsbereiche darstellt und selbst davon wird der Teilaspekt des Ausstiegs aus der Kernkraft oft derart überhöht, dass er geradezu als Synonym für Energiewende steht.

- *der Ausstieg aus der Kernkraft ist nicht die Energiewende.*

Wer ernsthaft die Energiewende will, kommt an der Kernkraft nicht vorbei. Wenn wir uns dieser Erkenntnis verweigern, können wir vielleicht eines Tages erleben, dass es Länder gibt, die bereits die Energiewende vollzogen haben, auf die Verwendung fossiler Brennstoffe ganz verzichten, weil sie noch genügend Kernkraftwerke haben, um die Lücken aus Wind- und Solarkraft zu schließen, während Deutschland noch immer an der Realisierung seines Tagtraumes arbeitet.

Die Verwendung von regenerativen Energiequellen wird z.Zt. durch 30 Mrd. € im Jahr mit steigender Tendenz ohne erkennbaren Nutzen gefördert.

Die Verbrennung fossiler Rohstoffe läuft ungebremst weiter, die CO₂-Emission steigt anstatt abzunehmen, ebenso der Strompreis.

Diese Mittel wenden wir für den heute bereits existierenden Ausbau als EEG-Umlage auf und sind für die nächsten 20 Jahre sicher. Das Geld wäre besser für Forschung und Entwicklung in dem Sektor Kernfusion angelegt. Die Universität Marburg mit über 26 000 Studenten hat ein Jahresbudget von 175 Mio. €.

Man könnte 170 Universitäten der Größe der Uni Marburg 20 Jahre lang unterhalten mit dem Geld, das für die Energiewende **ohne erkennbaren Nutzen ausgegeben wird.**

Auch die Erwartung eines Erfolges der Kernfusionsforschung ist heute noch spekulativ. Die Frage ist aber: Wollen wir das Geld mit oder ohne eine Chance auf Erfolg ausgeben?

Im folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse noch einmal kurz zusammengefasst:

100% Energie	2013	Energie ohne Speicher	Energie mit Speicher
Optimales Verh. Wind / Solar	1,6:1	9,33:1	2,8:1
Verlust		68%	0%
Anzahl der Windräder	25 600	490 000	185 000
Flächenbedarf Windräder [km²] (Anteil der Fläche der Bundesrepublik)	3 900	250 000 (70%)	95 000 (27%)
Flächenbedarf Solar [km²]	679	6 800 (2%)	14 000 (4%)
Speichervolumen [TWh]			68
Zahl der Pumpspeicherwerke	24		8 000
Investitionen Speicher [Billionen €]			70-96
Nettostrompreis [€/kWh]	0,29		3,94-5,62

100% Strom	2013	100% Strom ohne Speicher	100% Strom mit Speicher
Optimales Verhält. Wind / Solar	1,6:1	7,4:1	2,7:1
Verlust [TWh/a]		71%	0%
Anzahl Windräder	25 600	114 000	66 500
Flächenbedarf Windräder [km²]	3 900	56 000 (16%)	23 000 (6%)
Flächenbedarf Solar [km²]	679	2 000	3 055
Strompreis [€/kWh]	0,29	0,88 brutto	3,46-4,94 netto
Speichervolumen[TWh]			14,2
Zahl der Pumpspeicherwerke			1 678
Investitionen Speicher [Billionen €]			14,7-20,3

Keine der 4 Szenarien ist durchführbar.

Unter den betrachteten Kriterien sind es vor allem der Flächenbedarf für Windräder und der Strompreis, die eine Realisierung der Energiewende unmöglich machen. Beide sind nicht durch Optimierung reduzierbar.

Der Flächenbedarf von 3 900 km², das sind 1% der Landesfläche der Bundesrepublik, ist für viele bereits inakzeptabel, zumindest störend. Ein Anstieg auf mindestens 16% der Landesfläche ist zerstörend. Ein Anstieg auf 70% der Landesfläche macht jede Erörterung überflüssig.

Der Strompreis entspricht dem Preisniveau von 2013 und berücksichtigt nicht jährliche Preissteigerungsraten. Selbst im günstigsten Falle der „kleinen Energiewende“ ohne Speicher ist die Verteuerung auf das angegebene Niveau volkswirtschaftlich ruinös.

Der Ausbau regenerativer Energiequellen wird andauern. Er findet seine Grenze, wenn Bevölkerung und Wirtschaft die Strompreiserhöhungen und den Landverbrauch der Energiewende nicht mehr akzeptieren. Beide sind ursächlich mit der Energiewende verbunden, denn andere regenerative Energiequellen außer Wind und Sonne gibt es nicht. Bioenergie reicht allenfalls aus, um die Zahnlücken von Wind- und Solarenergie zu füllen und die Erwartung einer zeitnahen massiven Nutzung der Erdwärme entbehrt jeder Grundlage. Die Hoffnung auf eine Lösung der Speicherfrage ist vollends illusionär. Energiemengen in der erforderlichen Größenordnung sind höchstens aus der Kernphysik bekannt und kommen in der makrophysikalischen Welt nicht vor. Weder die kinetische Energie des Wassers (PSW) noch die chemische Energie von Redox- Prozessen (Batterie) oder des Methans (Power-to-Gas) reichen auch nur ansatzweise aus, die Bedingungen für Speicher der erforderlichen Größe zu erfüllen.

Dieses Papier ist keine Abrechnung sondern ein Warnung vor einer teuren Illusion. Angesichts der Ergebnisse dieses Papiers muss man sich fragen, ob wir wirklich „mitten drin“ sind, wie gelegentlich von Interessenvertretern behauptet wird, oder ob wir uns nicht besser die Weisheit der Ringelnatz'schen Ameisen zu eigen machen sollten⁴¹.

Gegen eine verantwortungsvolle Nutzung von Wind, Sonne, Wasserkraft, Biomasse und Geowärme kann niemand Einspruch erheben. Die in Abschnitt 4.1 „Maximale Nutzung regenerativer Energiequellen ohne Überschuss“ ist wahrscheinlich das Äußerste, das technisch machbar und ökonomisch vertretbar ist. **Mehr geht leider nicht.** Es wäre deshalb erforderlich, dass Politik und Medien mithelfen, die falschen Vorstellungen, die öffentliche Propaganda in den Köpfen vieler Mitbürger erzeugt hat, durch nüchterne Wahrnehmung des Machbaren zu ersetzen. Dazu ist ein hohes Maß an Verantwortungsbereitschaft, innerer Freiheit und Ehrlichkeit erforderlich um freimütig zu bekennen:

Wir haben uns geirrt.

Dipl.-Phys. Jürgen Griessing
Schlehdornweg 6
85598 Baldham
Tel. 08106 4936
E-Mail: juergen.griessing@t-online.de

Quellen

¹ Der „Überschuss“ ist virtuell. Das Stromnetz gleicht nicht einem Gummischlauch, der sich aufbläht, wenn mehr Strom produziert wird als abgenommen werden kann und sich zusammenzieht, wenn mehr gebraucht als eingespeist wird. Es gleicht eher einer Betonröhre, die kein kW aufnimmt, das nicht gleichzeitig abgenommen werden kann. Der „Überschuss“ ist aber die bestimmende Größe für die Berechnung der Kraftanlagen sowie für die Kostenrechnung.

² Der Ausdruck „Erneuerbare Energie“ wird vermieden. Energie kann nicht erzeugt und nicht vernichtet sondern nur von einer Energieform in eine andere umgewandelt werden und ist folglich nicht erneuerbar. Energie kann aber aus dem Vorrat einer Energieform gewonnen werden wie Wasser aus einer Quelle gewonnen werden kann.

³ Das Energiekonzept der Bundesregierung – Beschluss des Bundeskabinetts vom 28. September 2010

⁴ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Erneuerbare Energien in Zahlen, August 2015

⁵ Umweltbundesamt Juli 2010, Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen

⁶ Bayerisches Energiekonzept „Energie innovativ“, 24. Mai 2011

⁷ 100% Zukunft statt Atom – Das Grüne Energiekonzept, Bundesparteitag Bündnis 90/Die Grünen, November 2010

⁸ Beispiel: 100% Erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland, Fraunhofer ISE, 2012

⁹ feste, flüssige und gasförmige biogene Stoffe

¹⁰ soweit sie keinen Einfluss auf die Temperatur oberflächennaher Erdschichten hat

¹¹ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Erneuerbare Energien in Zahlen, August 2015

¹² rot gekennzeichnete Angaben sind offizielle Angaben der Bundesregierung.

¹³ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Erneuerbare Energien in Zahlen, Juli 2012, S.60-61

¹⁴ www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/aktuelles/stromproduktion-aus-solar-und-windenergie-2013.pdf

¹⁵ eex-transparency.com

¹⁶ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Erneuerbare Energien in Zahlen, Juli 2012, S.60

¹⁷ Die Volllaststundenzahl ist die Anzahl der 8760 Stunden des Jahres, die ein Kraftwerk auf Nennleistung (Leistung für die es gebaut ist) fahren müsste, um die tatsächliche Jahresenergie zu erreichen. Ein Windrad mit 5 MW Nennleistung erzeugt nicht $5 \times 8760 = 43\,800$ MWh sondern nur

5 x 1507 = 7535 MWh. Die Zahl 1507 wurde aus den Volllaststunden der Jahre 2000-2013 gemittelt.

¹⁸ Diese Funktion lautet

$$P_{\text{inst/WR}} = 0,0143 \times E/t^{0,4396}$$

mit der Jahresenergie E und der Zahl der Volllaststunden t = 1507 h.

Mit

$$n = E/t / P_{\text{inst/WR}}$$

ergibt sich die Anzahl der Windräder.

Ab einer Jahresleistung von 864 TWh/a ergibt Formel (1) durchschnittliche Windradleistungen von mehr als 5 000 kW_{inst}. Die Fortführung dieser Funktion bis in den Leistungsbereich, der für eine 100%-Energiewende notwendig wäre, ergibt mittlere Windradleistungen von 9 000 kW_{inst} bei einer maximalen Windradleistung von ca. 34 000 kW_{inst}. Solche Windräder sind technisch ausgeschlossen. Es ist vielmehr damit zu rechnen, dass die Kurve in nicht vorhersehbarer Zeit in eine Sättigung ausläuft. Die Berechnung geht dann von einer mittleren Windradleistung von 5000 kW_{inst} aus.

¹⁹ Diese Funktion lautet

$$D = 58 \times P_{\text{inst/WR}}^{0,46}$$

²⁰ In Ost-West-Richtung beträgt dieser Abstand das 8fache des Rotordurchmessers, in Nord-Süd-Richtung das 5fache. Durch die elliptische Form und die daraus folgende dichtere Packung verringert sich der Platzbedarf um den Faktor 0,785/0,907. Der Flächenbedarf für ein Windrad wird dadurch $A_{\text{WR}} = 40 \times D^2 \times 0,785/0,907$.

²¹ Im Bezugsjahr 2013 wurden für 1kW_{peak} 8m² Dachfläche oder 30m² Freifläche benötigt.

²² Bundesverband Solarwirtschaft BSW-Solar, Photovoltaik Preismonitor

²³ Abschreibung Speicher + Gestehungskosten und EEG-Umlage für Wind und Solar

²⁴ Lithiumpolymer 1 kWh/3,3 l, Zinn-Schwefel-Lithium 1 kWh/0,4 l (experimentell 2010)

²⁵ Elektrolyseur 70%, Methanisierung 75%, Gasturbine 40%

²⁶ UBA, Energieziel 2050 – 100% Energie aus erneuerbaren Quellen, S.37

²⁷ direkter Anteil Strompreis: Gestehungskosten Wind/Solar + EEG-Umlage Wind/Solar + Abschreibungen Speicher. Ökosteuer mit Abgaben, Netzentgelt und MWSt kommen noch hinzu.

²⁸ durchschnittliche Kapazität 1,57GWh (Deutschland 2013)

²⁹ durchschnittliche Kapazität 8,48GWh (Goldisthal)

³⁰ GuD: Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk

³¹ Erzeugung & Vertrieb + EEG-Umlage + Abgaben & Ökosteuer + Netzentgelt + MWSt.

³² Im Bezugsjahr 2013 wurden für 1kW_{peak} 8m² Dachfläche oder 30m² Freifläche, entsprechend 18% und 3,3% Wirkungsgrad benötigt. Die

Sonneneinstrahlung beträgt in Deutschland maximal 1kW/m², gerechnet wird mit einem 1:1-Mix.

³³ durchschnittliche Kapazität 1,57GWh (Deutschland 2013)

³⁴ durchschnittliche Kapazität 8,48 GWh (Goldisthal)

³⁵ direkter Anteil Strompreis: Gestehungskosten Wind/Solar + EEG-Umlage Wind/Solar + Abschreibungen Speicher. Ökosteuer mit Abgaben, Netzentgelt und MWSt kommen noch hinzu.

³⁶ Fraunhofer ISE, Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien, Studie November 2013; Mittelwerte

³⁷ Panos Konstantin, *Praxishandbuch Energiewirtschaft. Energieumwandlung, -transport und -beschaffung im liberalisierten Markt*. Berlin - Heidelberg 2009, S. 294, 302, 322, 340.

³⁸ eex.com/de/marktdaten/strom/spotmarkt/auktion: Minimum 4-5 Uhr, Maximum 8-9 Uhr

³⁹ ag-energiebilanzen.com

⁴⁰ BDEW Strompreisanalyse Mai 2012

⁴¹ In Hamburg lebten zwei Ameisen,
Die wollten nach Australien reisen.
Bei Altona auf der Chaussee
Da taten ihnen die Beine weh,
Und da verzichteten sie weise
Dann auf den letzten Teil der Reise.

Joachim Ringelnatz