

CO2-freie Energieversorgung für Deutschland?

Ist es möglich Deutschland CO2-frei mit elektrischer Energie zu versorgen? Die Berechnungen beruhen auf den Stromverbrauch für das Jahr 2019. Wohlgermerkt, nur die elektrische Energie, die 2019 mit fossilen Brennstoffen erzeugt wurde. Darunter zählt Braunkohle, Steinkohle, Atomkraft und Gas. Die Energie aus Atomkraft habe ich zu den fossilen Brennstoffen hinzugezählt, da die Abschaltung schon beschlossene Sache ist.

Die Elektromobilität ist nicht berücksichtigt, da im Jahr 2019 kaum E-Autos unterwegs waren. Zählt man später, in einigen Jahren, auch die Elektromobilität hinzu, dann wächst der Stromverbrauch um einige Größenordnungen. Meine Berechnungen sollen zeigen, ob es überhaupt möglich ist, die fossilen Brennstoffe zu ersetzen.

Im Jahr 2019 wurde mit Braunkohle, Steinkohle, Atomkraft und Gas $W = 277,8$ TWh elektrische Energie erzeugt und auch verbraucht. Der Mittelwert pro Tag ist $W_{\text{Mittel}} = 0,76$ TWh oder 760 GWh. Die vier Kraftwerksarten arbeiten als Grundlastkraftwerke, was man von Wind- und Sonnenenergie nicht behaupten kann.

Will man die Leistung berechnen, dann muss man die 760 GWh durch 24 Stunden dividieren. $P_{\text{Mittel}} = 31,6$ GW. Man benötigt also Kraftwerke, die zusammen eine Leistung von $P_{\text{Mittel}} = 31,6$ GW haben.

Ich gehe einmal davon aus, dass man diese Leistung als Grundlast in Deutschland nicht mit Wind und Sonne bereitstellen kann. Woher soll die Energie kommen, wenn nachts kein Wind weht?

In Tunesien entsteht zur Zeit das größte Sonnenkraftwerk in der Nähe von Quarzazate. Einen Link dazu gibt es [hier](#).

Die Leistung dieses Kraftwerkes beträgt 600 MW. Beachten Sie die Größenordnungen. Deutschland benötigt rund 32 GW.

Die weiteren Berechnungen beziehen sich auf die Leistung der Atomkraftwerke in Deutschland. Das nebenstehende Bild zeigt, dass Atomkraftwerke bis 1,5 GW Leistung haben.

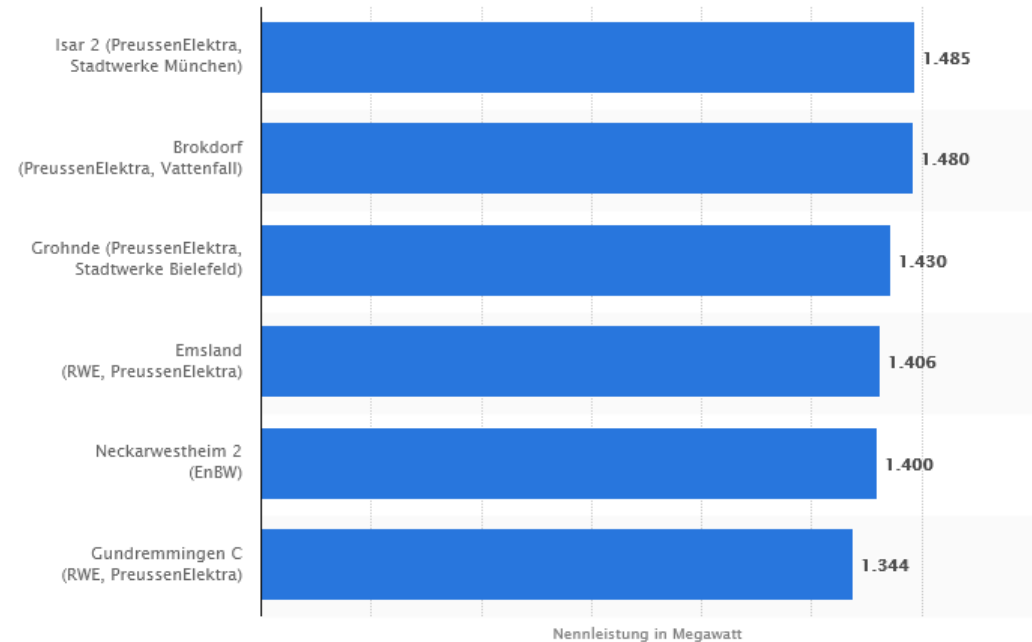
Die Energie (Leistung multipliziert mit der Zeit) wird durch Dampfturbinen erzeugt.

Solkraftwerke, die jetzt den Dampf erzeugen, sollten auch etwa pro Einheit 1,5 GW Leistung haben.

Wenn also Deutschland als Grundlast eine Leistung von 30 GW benötigt, dann sind mindestens 20 Solarkraftwerke notwendig.

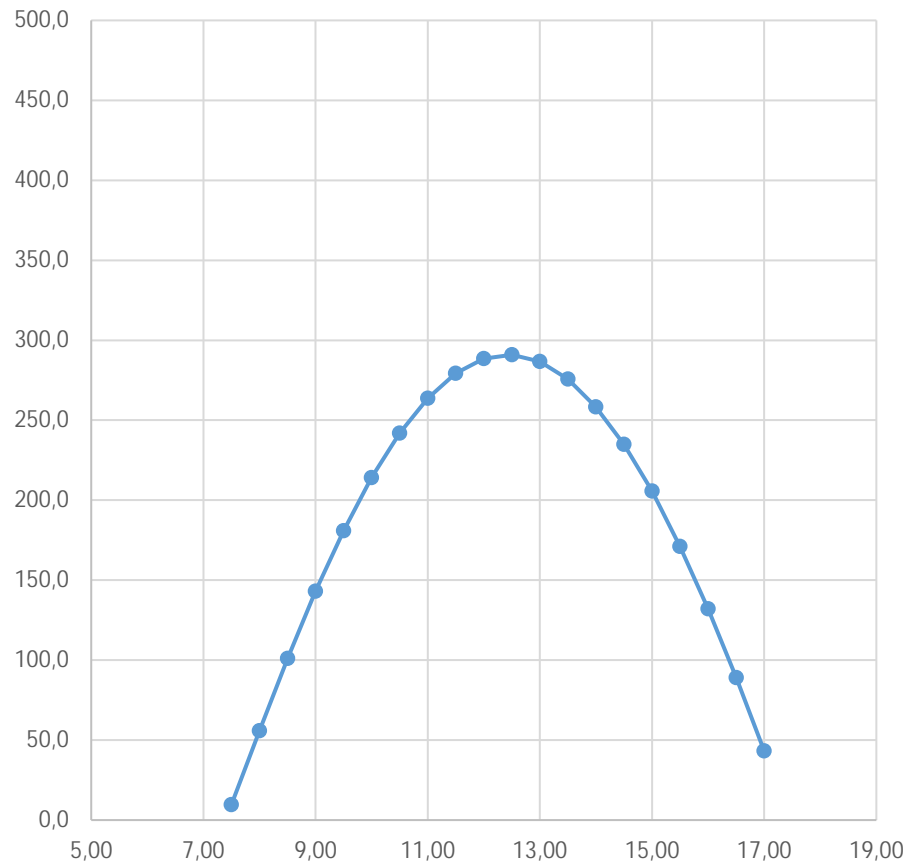
Würde man leistungsfähige Solarkraftwerke in den Weiten der Sahara bauen, dann scheint dort auch nachts keine Sonne und es besteht ein Unterschied zwischen den Wintermonaten und Sommermonaten. Diese Gegebenheiten muss man berücksichtigen. Auf der Seite „Physik der Photovoltaik“ habe ich den Sonnenstand in Abhängigkeit von Tages- und Jahreszeit berechnet. Die Sonnenkollektoren werden bei so großen Anlagen der Sonne nachgeführt, sodass die Strahlen möglichst senkrecht auftreffen. Bei heimischen kleinen Anlagen lohnt sich der Aufwand nicht.

Die folgenden Berechnungen gehen aus von einer terrestrischen Solarkonstante von 1 kW/m^2 bei senkrechtem Auftreffen auf die Erdoberfläche. Der Sonnenstand wurde im Abstand von 0,5 Stunden ermittelt.

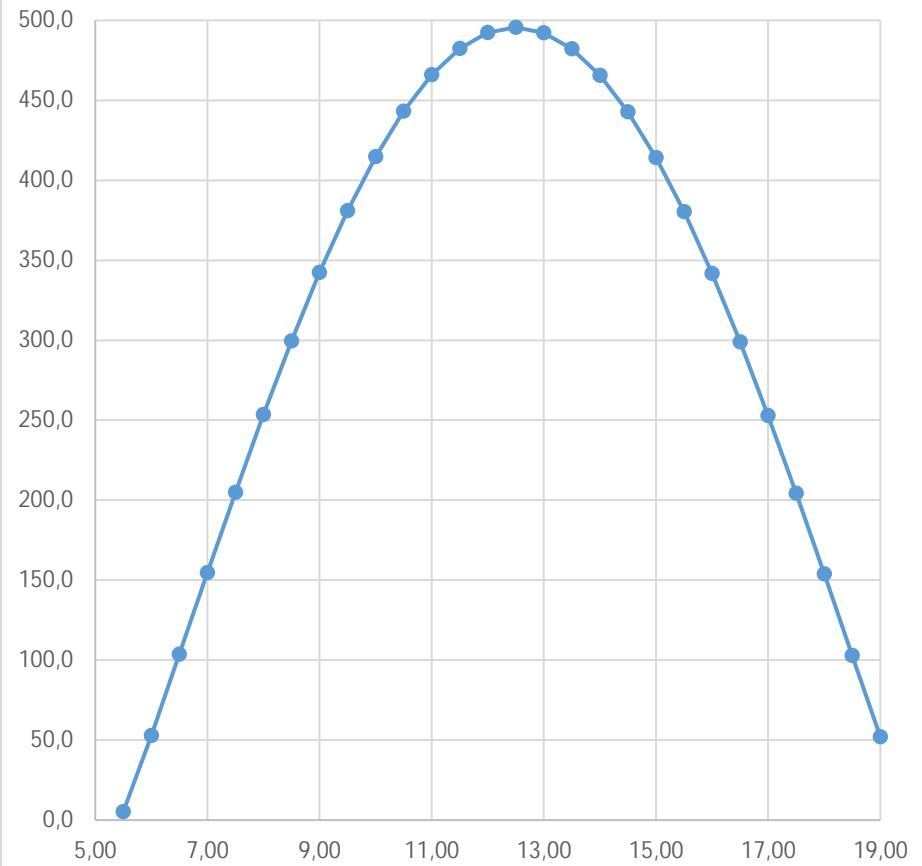


An zwei Tagen, nämlich am 21. Dezember und am 21. Juni ist die Energieausbeute pro Quadratmeter in den nachfolgenden Bildern gezeigt. Genau wie hier dargestellt wurde es an den übrigen Tagen im Jahr berechnet.

Energie in Wh pro Quadratmeter am 21. Dezember in Abhängigkeit der Tageszeit



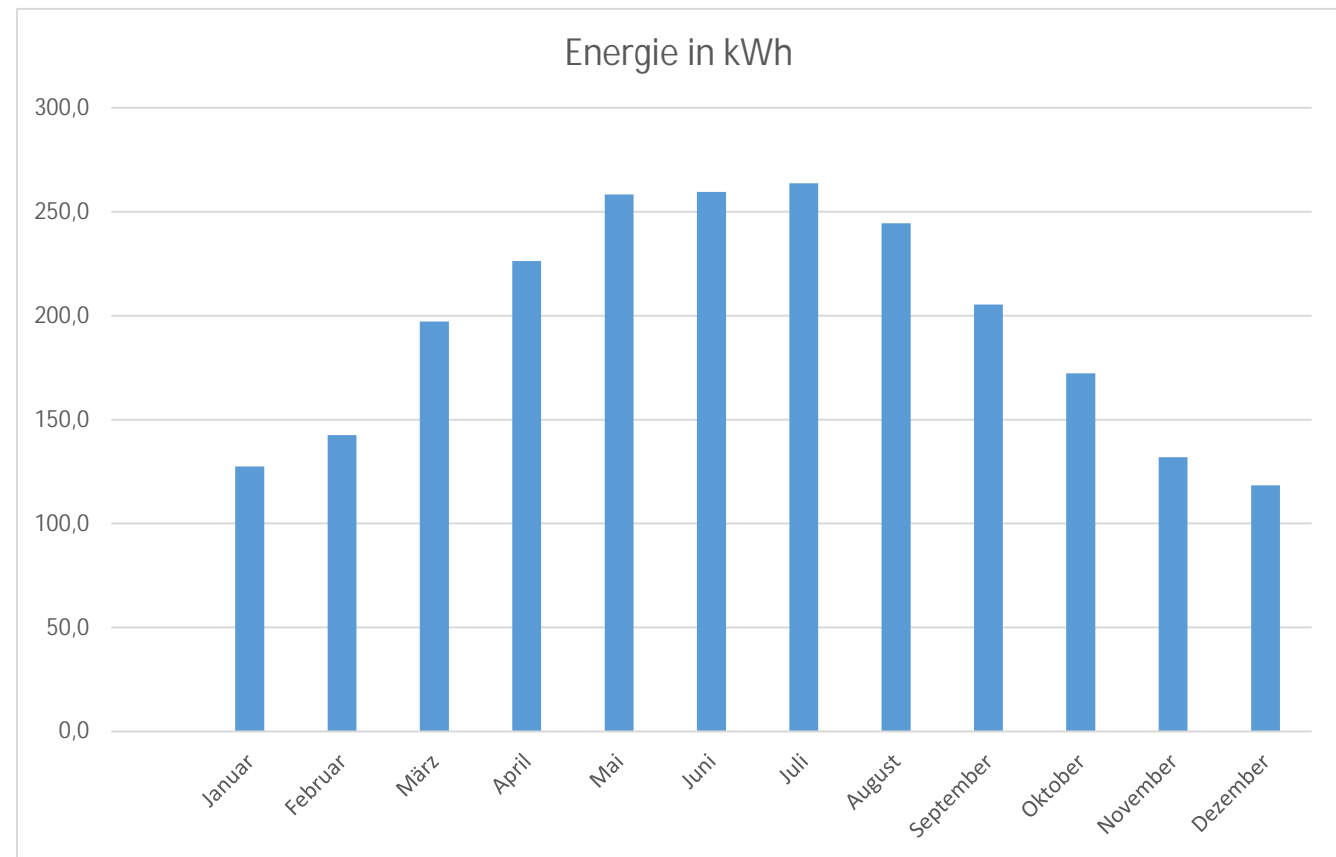
Energie in Wh pro Quadratmeter am 21. Juni in Abhängigkeit der Tageszeit



Berechnet man die Energieausbeute für das ganze Jahr in Abhängigkeit des Sonnenstandes und der Jahreszeit, dann ergibt sich eine Summe von 2347 kWh pro Quadratmeter und Jahr. Auf der Internetseite von KfW werden 2500 kWh pro Quadratmeter und Jahr angegeben. Der Wert scheint mir etwas zu hoch, aber es hängt auch vom Breitengrad ab. Über das ganze Jahr kann man täglich mit Sonnenschein rechnen.

In Deutschland sieht die Sache bedeutend schlechter aus. Rein rechnerisch wären 1874 kWh pro Quadratmeter erreichbar, wenn immer die Sonne scheinen würde. Tut es aber nicht. Der tatsächliche Wert wird deutlich drunter liegen.

	Energie in kWh
Januar	127,5
Februar	142,6
März	197,2
April	226,3
Mai	258,4
Juni	259,6
Juli	263,7
August	244,4
September	205,4
Oktober	172,3
November	131,9
Dezember	118,5
Summe	2347,8

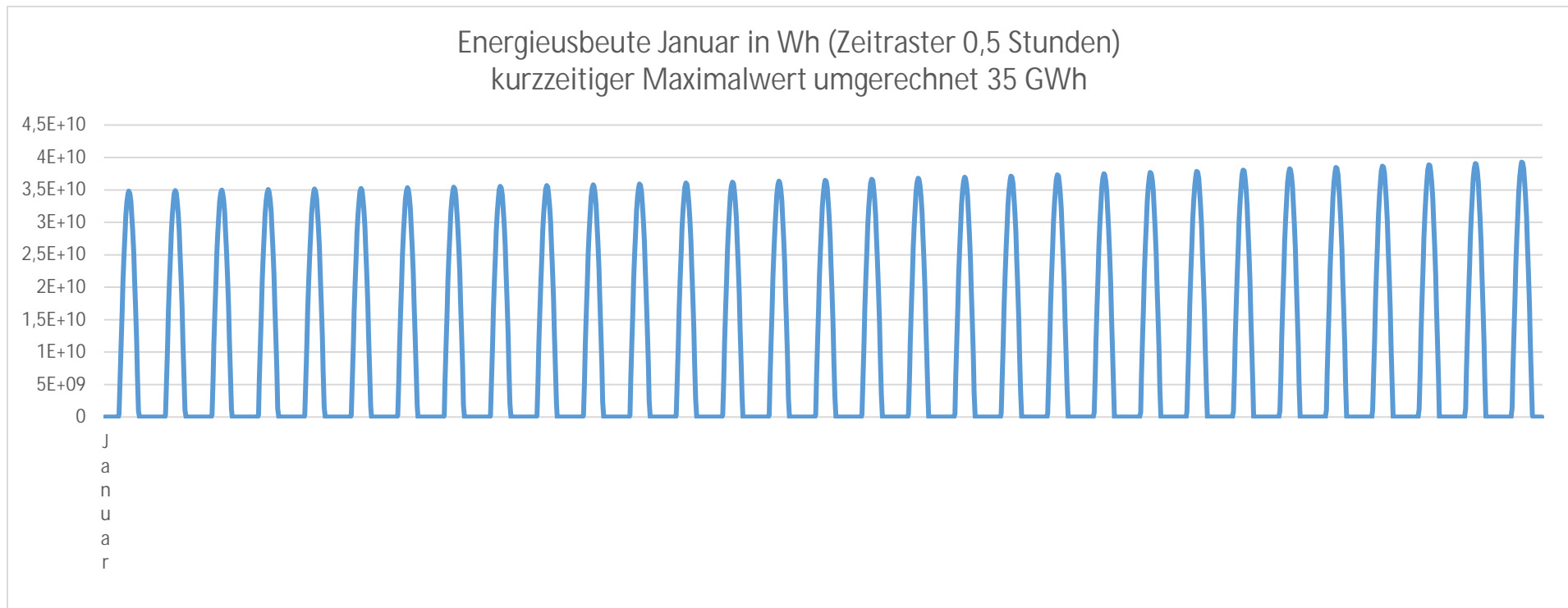


Für die weiteren Berechnungen nehme ich hypothetisch einen Wirkungsgrad $\eta = 1$ an. Wie groß der Wirkungsgrad der Kraftwerke wirklich ist, lässt sich schwer einschätzen und hängt auch vom Kraftwerkstyp ab. Bei einem Wirkungsgrad $\eta = 0,5$ muss man die Sonnenfläche um $\frac{1}{\eta}$ vergrößern.

Die mindestens notwendige Sonnenfläche berechnet sich zu $\frac{278 \text{ TWh/Jahr}}{2348 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{Jahr}} = 118,4 \text{ km}^2$ oder eine quadratische Fläche mit einer Kantenlänge von rund 11 km. Die Leistung ist wie schon angegeben $P = 32 \text{ GW}$ unterteilt in rund 22 einzelne Kraftwerke.

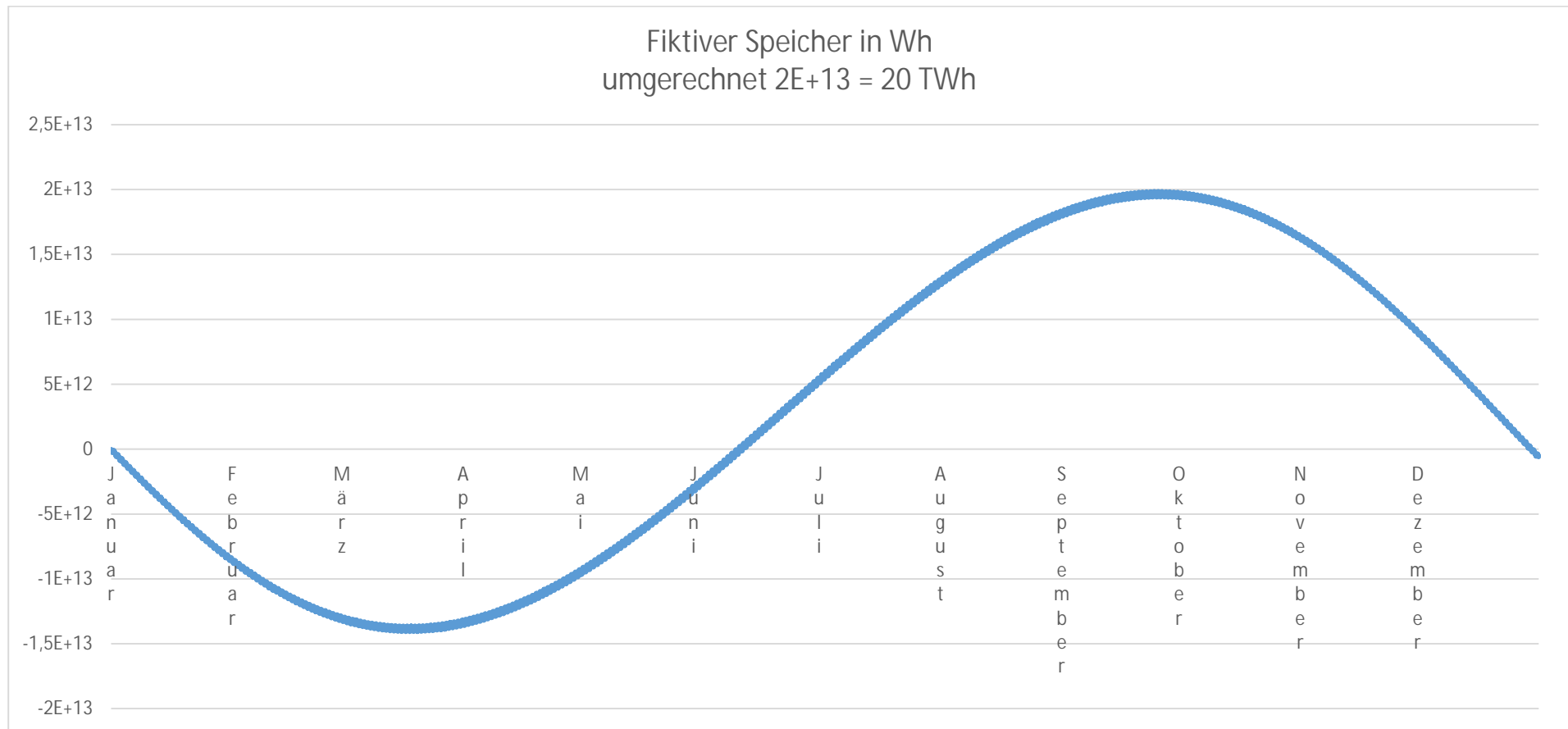
Da aber die Leistung bzw. die Energieausbeute nicht über das Jahr konstant ist, muss ein Zwischenspeicher installiert werden, um das ganze Jahr eine elektrische Grundlast zur Verfügung zu haben. Die Größe des Speichers soll nun berechnet werden.

Doch zuvor soll in einem Diagramm die Problematik einer Photovoltaikanlage vor Augen geführt werden.



Wie man sieht, wird in der Nacht keine Energie produziert. Man darf aber jetzt nicht den Fehler machen und einen Mittelwert bilden, wie es häufig gemacht wird. Man kann immer wieder lesen, dass z.B. die Photovoltaik x-Prozent zur Stromproduktion beiträgt. Hilft wenig, wenn man mit den Hühnern ins Bett muss.

Wie auf Seite 1 schon angegeben liefern die Grundlastkraftwerke im Mittel 760 GWh pro Tag. Rechnet man im Raster von 0,5 Stunden, dann sind es 15,9 GWh pro halbe Stunde. Man stelle sich jetzt einen Speicher vor, der jede halbe Stunde einen Abfluss von 15,9 GWh hat und einen Zufluss je nachdem wie die Sonne scheint. Es ergibt sich nachfolgendes Bild. Wohlgermerkt, dahinter stecken 17520 Datenpunkte!



Wie man sieht, würde der Speicher im ersten halben Jahr ins Negative laufen und dann erst wieder aufholen. Wenn der Speicherinhalt immer positiv bleiben soll, dann müsste er ein Speichervolumen von 35 TWh besitzen. Ein gigantischer Wert.

Auf den Seiten „Energien 2018“ und „Energien 2019“ habe ich gezeigt, dass die Ausbeute von Windenergie im Speicherverhalten einen gegensätzlichen Verlauf hat und somit das notwendige Speichervolumen verkleinern kann.

Fazit:

Wenn man alle jetzigen fossilen Kraftwerke in Deutschland abschaltet und dies durch erneuerbaren Energien ersetzen möchte, dann sicher nicht durch mehr Photovoltaik und mehr Windräder in Deutschland. Zumal ich in den Seiten „Energien 2018“ und „Energien 2019“ auch gezeigt habe, dass bei viel Wind und viel Sonne Strom ins Ausland exportiert wird und wenn nachts kein Wind weht fossile Kraftwerke erhalten müssen.

Zum Schluss. Wie bekommt man die elektrische Energie ins europäische Stromnetz? Stand der Technik ist HGÜ. HGÜ heißt, Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung. Dafür gibt es Seekabel, die mit ca. 500.000 bis 800.000 Volt betrieben werden und ab 1000 km sehr wirtschaftlich sind. Verluste betragen etwa 2%.

Die Ausführungen betreffen die momentane Stromerzeugung für Haushalte und Industrie. Elektromobilität ist noch nicht berücksichtigt.