

Stromproduktion und Stromverbrauch im Jahre 2021 in der Bundesrepublik Deutschland

Auswertung von Daten der Bundesnetzagentur Im Hinblick auf die Erzeugung von erneuerbarem Wind- und Solarstrom

Von

Harry Schüle¹

Neunburg vorm Wald
11.01.2022

Hintergrund

Als Grundlage für die im folgenden dargestellte Auswertung des Energieangebotes von erneuerbarem Strom aus Wind- und Sonnenenergie in Deutschland, wurden die Energiedaten der Bundesnetzagentur und deren SMARD – Server² herangezogen. Die Daten werden von der Bundesnetzagentur kostenfrei zur Verfügung gestellt und es wird darauf hingewiesen, dass „Die Daten unter der Lizenz CC BY 4.0 kostenfrei heruntergeladen, gespeichert und weiterverwendet werden“ dürfen. Datenbasis sind dabei 15 Minuten Summenwerte über das ganze Jahr 2021. Also insgesamt $365 \times 24 \times 4 = 35040$ Datensätze. Jeder Datensatz enthält die erzeugten Energiemengen aus Biomasse, Wasserkraft, Wind Offshore, Wind Onshore, Photovoltaik, sonstige „Erneuerbare“, Kernenergie, Braunkohle, Steinkohle, Erdgas, Pumpspeicher und sonstige „Konventionelle“ für Deutschland.

Zur Plausibilisierung der Daten wurde die Auswertung zur Nettostromerzeugung³ des FhG-ISE herangezogen und die Werte verglichen.

¹ Kontakt: harry.schuele@t-online.de

² Daten der Bundesnetzagentur, SMARD – Server: www.smard.de

³ „Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2021“; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE; 06.01.2022

Einleitung

Wind- und Sonnenkraft werden in der Zukunft eine immer größere tragende Säule der deutschen Stromproduktion werden, da der weitere Zuwachs an klimafreundlicher Wasserkraft und Biomasse begrenzt ist. Aus diesem Grunde beschäftigt sich diese Auswertung insbesondere mit der Verfügbarkeit von Wind- und Sonnenenergie im Jahresverlauf 2021. Dabei zeigt sich, daß die Verfügbarkeit der Wind- und Sonnenenergie aufgrund der Wetterbedingungen und der Tageszeit sehr wechselhaft ist, was zu folgenden einfachen Randbedingungen und Aussagen führt:

1. In der Nacht ist es Dunkel und eine Fotovoltaikanlage wird keinen Strom erzeugen,
2. Auch der Wind macht zeitweise eine Pause.

Wenn beide Effekte zusammenkommen, dann wird es in Deutschland unmöglich sein, den gesamten benötigten Strom im Augenblick seines Bedarfs ausschließlich aus Wind- und Sonnenenergie bereitzustellen. Dieser Umstand muss berücksichtigt werden, denn er unterscheidet Deutschland entscheidend von Ländern wie Norwegen oder Island, die auf große Mengen Wasserkraft zurückgreifen können. Die Energiepolitik Norwegens lässt sich nicht auf Deutschland übertragen.

Strombedarf in Deutschland in Abhängigkeit der Tageszeit

Der Strombedarf in Deutschland in Abhängigkeit der Tageszeit kann Abbildung 1 entnommen werden. Darin kann man deutlich die Verbrauchsanforderung in Abhängigkeit der Wochentage erkennen. Wenn an Werktagen bereits Morgens um 07:00 der Bereich des maximalen Bedarfs erreicht ist, steigt der Strombedarf an den Wochenenden Samstag und Sonntags von einem Minimum um 06:00 ausgehend kontinuierlich bis 12 Uhr an. An Werktagen verbleibt im Zeitbereich von 7-20 Uhr der Verbrauch auf hohem Niveau und fällt dann bis zu einem Minimum im Zeitbereich von 2-4 Uhr ab. An den Wochenenden findet man den max. Verbrauch im Zeitbereich zwischen 11-19 Uhr und den min. Verbrauch im Zeitbereich zwischen 2-7 Uhr. Es wird auch deutlich, daß der peak Stromverbrauch an den Wochenenden mit 17000 MWh/15min ca. 15% geringer ist als an den Werktagen mit 20.000 MWh/15min.

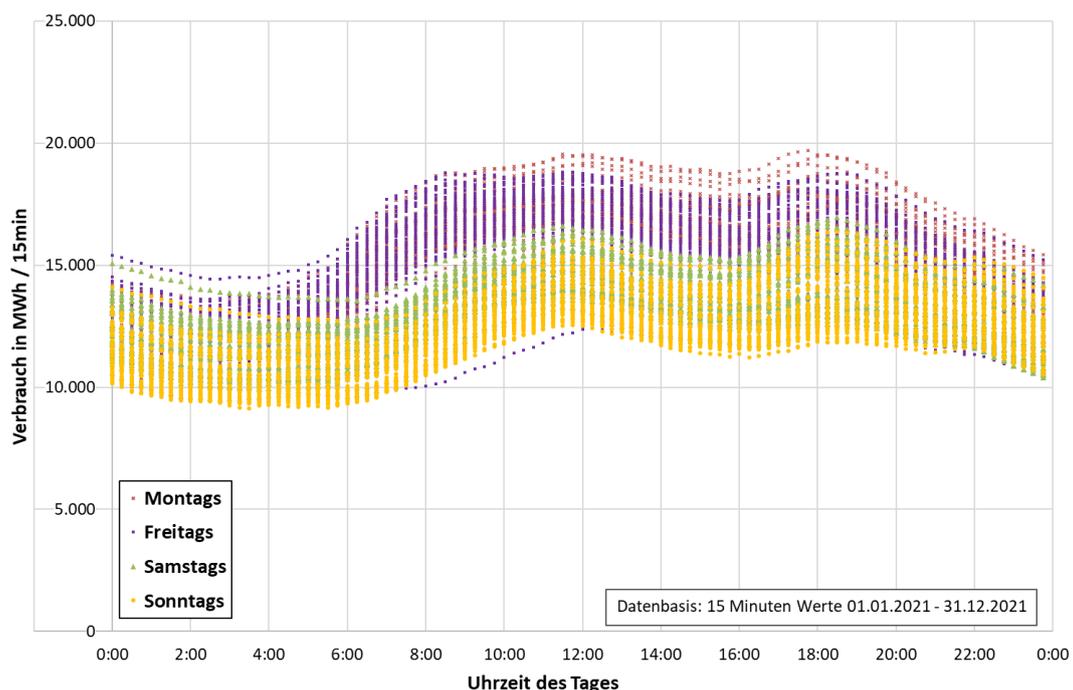


Abbildung 1 Stromverbrauch in Deutschland in Abhängigkeit der Tageszeit

Angebot der Sonnenenergie

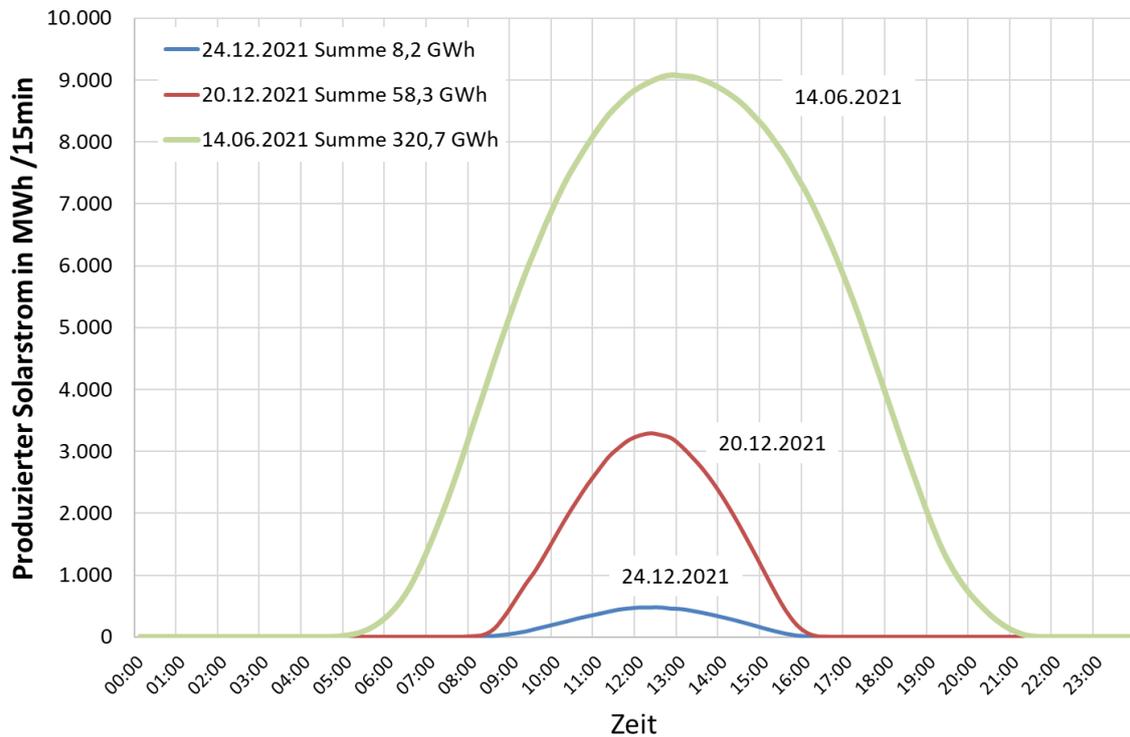


Abbildung 2 Produzierter Solarstrom an ausgewählten Tagen

Abbildung 2 zeigt den in ganz Deutschland produzierten Solarstrom an drei ausgewählten Tagen im Jahre 2021. Darin ist zu erkennen, dass die produzierten Energiemengen an Solarstrom im Sommer, durch die längere Sonnenscheindauer und die höher stehende Sonne, deutlich höher sind als im Winter. Am 14.06. wurde eine Energiemenge von 320,7 GWh Solarstrom erzeugt, wohingegen es am 24.12. nur 8,2 GWh waren. Das ist ein Verhältnis von 1:39.

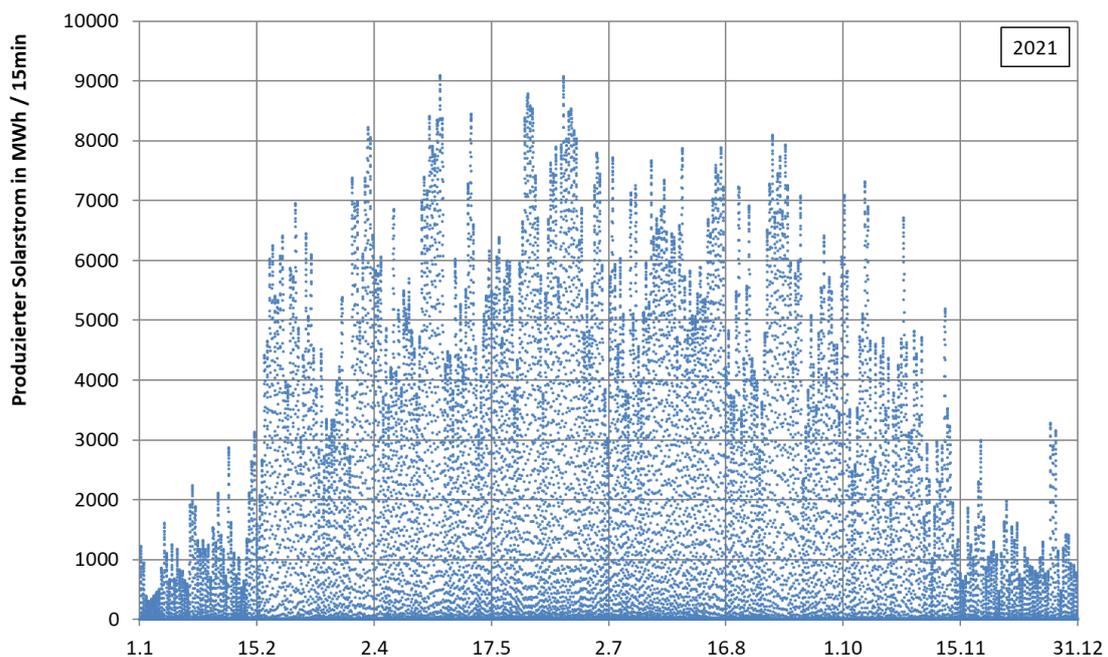


Abbildung 3 15 Minuten Werte des produzierten Solarstromes im Jahresverlauf 2021

Abbildung 3 zeigt den produzierten Solarstrom im Jahresverlauf. Jeder Punkt in dem Diagramm repräsentiert den 15 Minuten Summenwert des produzierten Solarstromes. Deutlich wird, dass solare Spitzenwerte mit über 8000 MWh / 15min nur zu sehr wenigen Zeitpunkten im Jahr aufgetreten waren. Zusammen mit Abbildung 4, in der die Tagessummenwerte über das Jahr aufgetragen sind, wird deutlich, dass selbst an schönen sonnigen Frühjahrsstagen Ende März mit 15min Spitzenwerten von bis zu 8000 MWh / 15min in der Tagessumme nur 160 GWh / Tag erzeugt werden können. Dies liegt vor allem daran, dass die Tage im Frühjahr im Vergleich zum Sommer noch kürzer sind und die Sonne flacher steht.

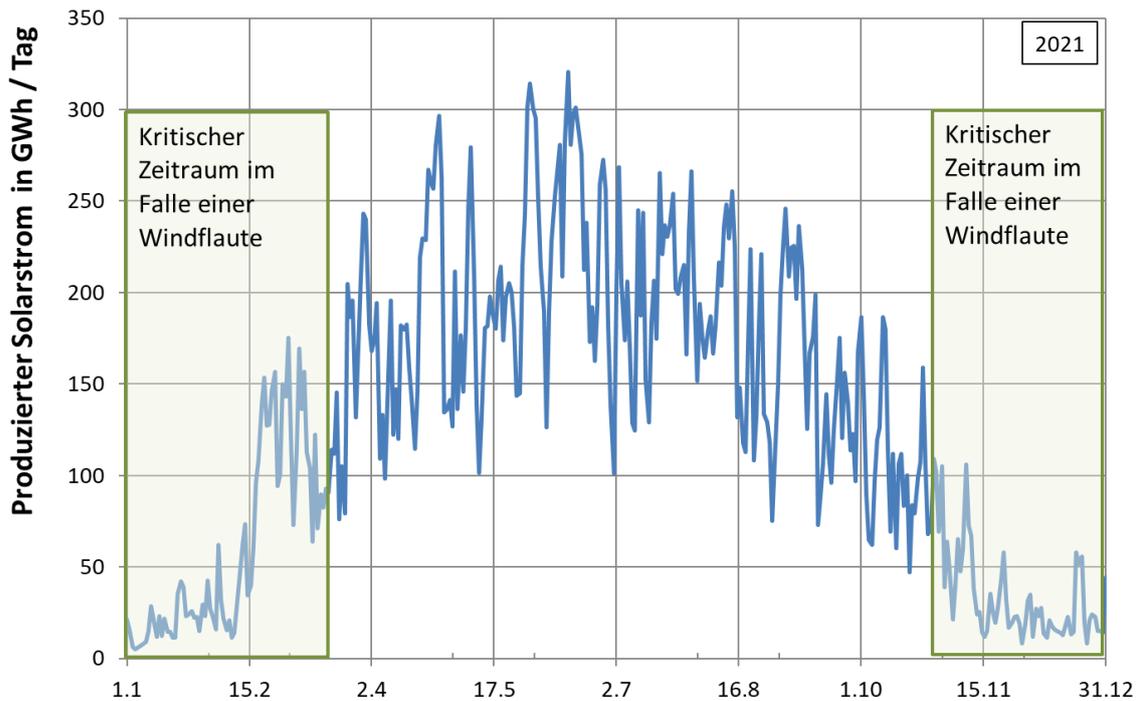


Abbildung 4 Tagessummenwerte des produzierten Solarstromes im Jahresverlauf 2021

Der Zeitraum in den Herbst- und Wintermonaten, also zwischen Mitte Oktober und Mitte März, ist entsprechend Abbildung 4 ein kritischer Zeitbereich, denn im Falle einer Windflaute kann die dann ausbleibende Strommenge der Windenergie, nicht durch die produzierte Strommenge aus der Sonnenenergie ausgeglichen werden. Das bedeutet, dass es dann, bei einer ausschließlich auf Wind- und Sonnenenergie ausgerichteten Energiewirtschaft, zu Versorgungslücken kommen wird.

Angebot der Windenergie

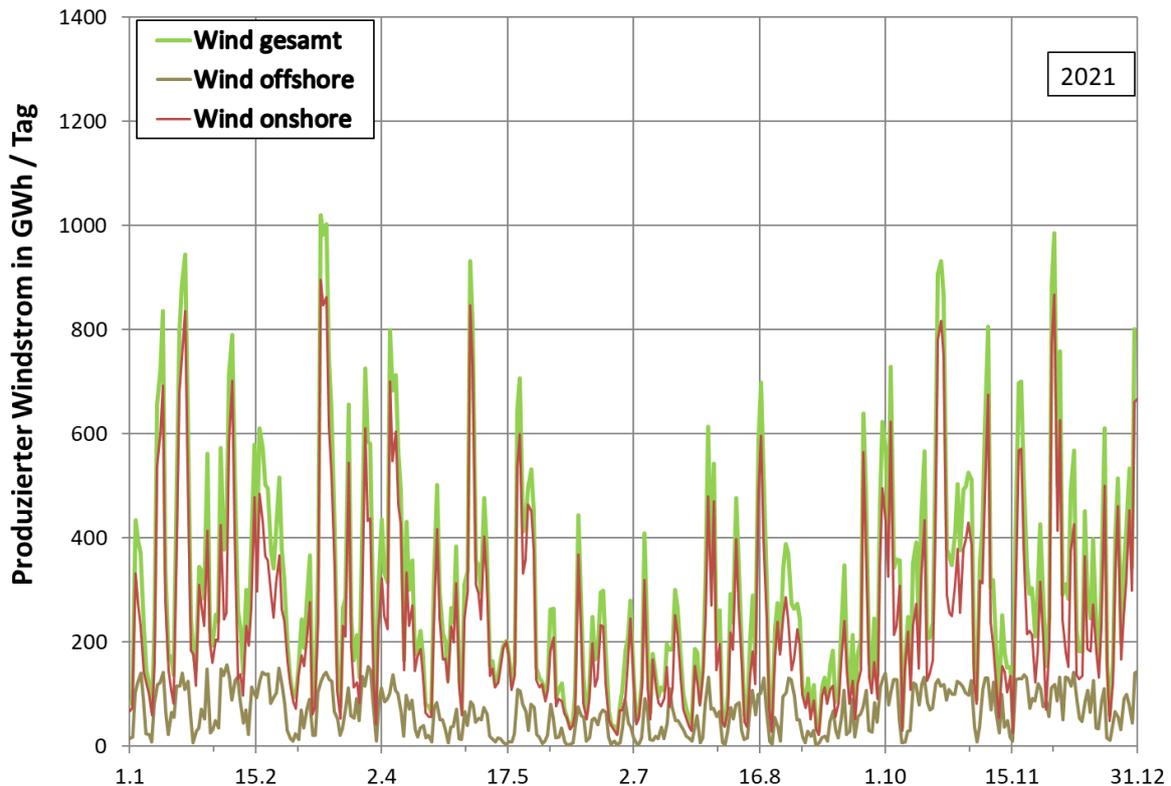


Abbildung 5 Tagessummenwerte des produzierten Windstromes im Jahresverlauf 2021

Abbildung 5 zeigt die Tagessummenwerte des produzierten Windstromes im Jahresverlauf 2021 für ganz Deutschland. Dieser Windstrom wurde aus 29.715 Windenergieanlagen (WEA) an Land⁴ und 1501 WEA offshore⁵ erzeugt. Es ist augenscheinlich, dass in den Herbst, Winter und Frühjahrsmonaten die produzierte Strommenge durch Windenergie höher ist als in den Sommermonaten. Damit kann die Windenergie prinzipiell die Defizite der Solarenergie in den Wintermonaten ausgleichen. Leider gibt es auch in diesem „Winter-Zeitraum“ tagelange Perioden mit einer Flaute und mit geringer Windenergie, wodurch es zu Engpässen kommen kann. Desweiteren sind die geringen Windenergiemengen in den Sommermonaten kritisch zu werten. Zwar wird sich in der Tagessumme ein erhöhter solarer Stromertrag ergeben, der die geringen Windmengen ausgleichen kann, in der Nacht fällt der Solarstrom aber auf Null ab, wodurch es zu einer Versorgungslücke kommen kann.

Angebot der Wind- und Sonnenenergie

Abbildung 6 zeigt die Stromproduktion aus regenerativer Wind- und Sonnenenergie im Jahresverlauf 2021 für ganz Deutschland. Hier werden die sehr hohen Fluktuationen in den Tagessummen sichtbar. Am 09.01. betrug die Tagessumme aus Sonnen- und Windenergie zum Beispiel nur 81,6 GWh und wenige Tage später, am 13.01. wieder 858,6 GWh. Das ist ein Verhältnis von 1:10,4. Es sind aber auch Perioden von bis zu 13 Tagen (23.06. -05.07.) ersichtlich, an denen die mittlere Stromproduktion aus Sonnen- und Windenergie unter 400 GWh / Tag betragen hat.

⁴ Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland im Jahr 2021 (1. Halbjahr); Deutsche Winguard GmbH

⁵ Status des Offshore Windenergieausbaus in Deutschland im Jahr 2020; Deutsche Winguard GmbH. Bis Mitte 2021 wurden keine neuen offshore Windparks in Betrieb genommen.

Desweiteren wir deutlich, dass der Beitrag der Windenergie mit 113 TWh im Jahre 2021 ca .2,4x Mal so groß war wie der Beitrag der Sonnenenergie mit 46,6 TWh.

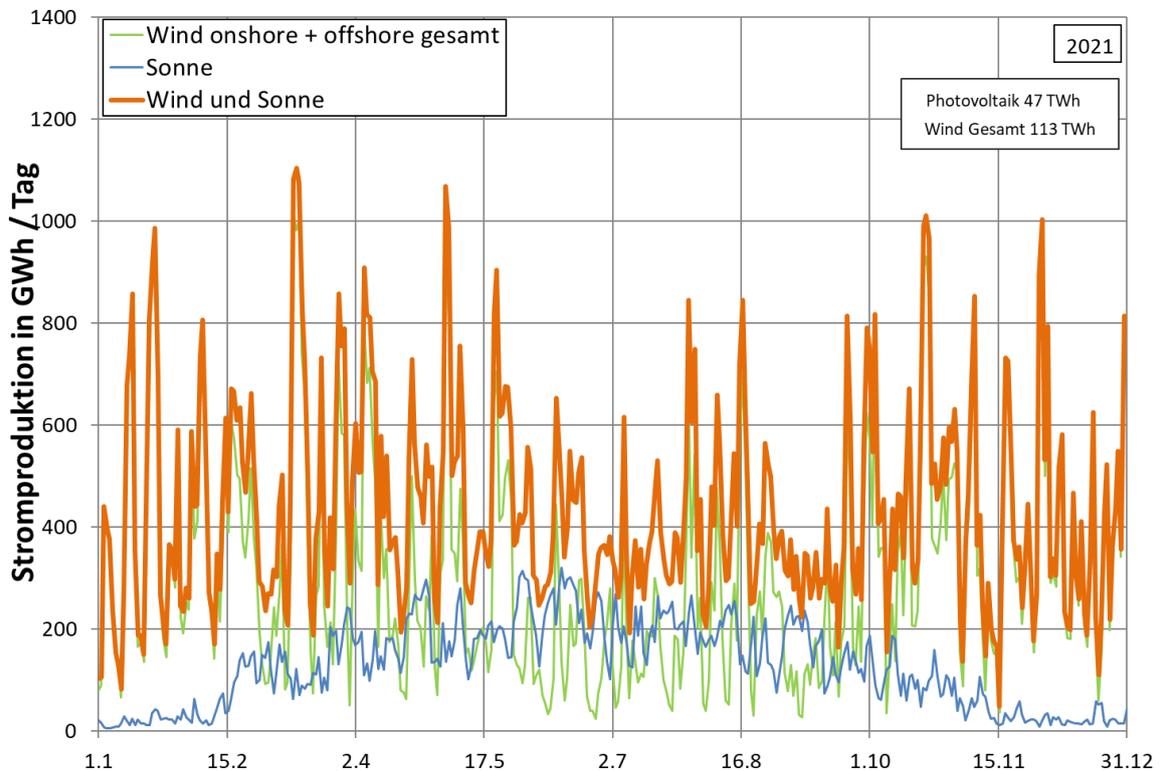


Abbildung 6 Tagessummenwerte des produzierten Solar- und Windstromes

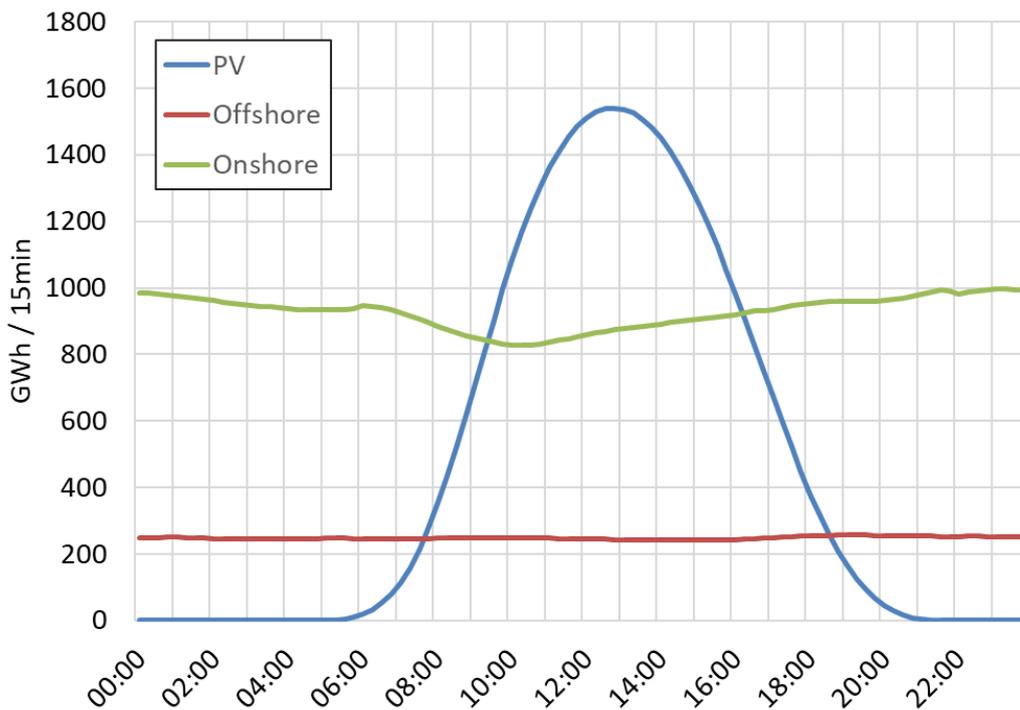


Abbildung 7 Summe aller 15 min Werte des Jahres 2021 im Tagesverlauf

In Abbildung 2 wurde die produzierte Solarenergie im Tagesverlauf ausgewählter Tage dargestellt. In Abbildung 7 sind nun die produzierten Strommengen E der Sonnenenergie, Wind

onshore und Wind offshore dargestellt. Zur Ermittlung dieser Energiemengen wurden mit Hilfe eines Excel – Makros die $i = 96$ 15min Einzelwerte aller Tage d des Jahres aufsummiert.

$$E_i = \sum_{d=1}^{365} E_{id}$$

Mit

$i = 15$ min Einzelwert eines Tages. $i = 1 \dots 96$

$d =$ Nummer des Tages

Wie zu erwarten war, ist die größte produzierte Strommenge aus Sonnenenergie während der Mittagszeit gegen 12:30 aufgetreten. Die Mitteleuropäische Zeit (MEZ) ist auf den Längengrad 15° bezogen, der im Osten von Deutschland die Stadt Görlitz ($14^\circ 59' 18''$) streift. Da die Sonne von Osten nach Westen wandert ist unter Berücksichtigung der 15min Auflösung das Sonnenenergie-Maximum zeitversetzt erst um 12:30.

Bezogen auf die Stromproduktion aus Windenergie gibt es für die Offshore-WEA kein Extrema. In der Summe aller 15min – Werte ist die Stromproduktion konstant.

Bei den Onshore-WEA gibt es mit ca. 1000 GWh/15min ein Maximum gegen 24:00 und ein um ca. 200 GWh/15min geringeres Minimum um 10:00 am Vormittag. Es stellt sich allerdings die Frage, ob dieser Verlauf den meteorologischen Gegebenheiten in Deutschland geschuldet ist, oder ob der Verlauf auf ein tageszeitliches Abregeln der WEA zurückzuführen ist.

Angebot der Wind- und Sonnenenergie im Verhältnis zur gesamten Stromproduktion aller Energieträger

Abbildung 8 zeigt die Tagessummenwerte des gesamten in Deutschland produzierten und verbrauchten Stromes im Jahresverlauf 2021 sowie die Tagessummenwerte des produzierten Stromes aus Wind- und Sonnenenergie. Dabei fallen die regelmäßigen Amplituden im Verlauf des Gesamtstromverbrauchs von ca. 400 GWh / Tag auf. Diese regelmäßigen „Ausreißer“ nach unten sind auf die Wochenenden zurückzuführen, an denen die Industrieproduktion reduziert wird und damit der Strombedarf sinkt. Siehe auch Abbildung 1.

In den Herbst- und Wintermonaten ist der Strombedarf mit 1200 – 1600 GWh / Tag um 100 – 200 GWh höher als in den Monaten Mai bis August mit 1100 – 1400 GWh / Tag. Dies ist auf einen geringeren Heizwärmebedarf und Lichtbedarf in den Sommermonaten zurückzuführen. In den Sommermonaten werden aber vermehrt Kühlaggregate und Klimaanlage angeschaltet, was den Vorteil wieder reduziert. In den Wintermonaten wird in Deutschland mehr Strom produziert als verbraucht wird. Im Frühjahr und im Sommer hingegen wurde in Deutschland teilweise mehr Strom verbraucht als produziert.

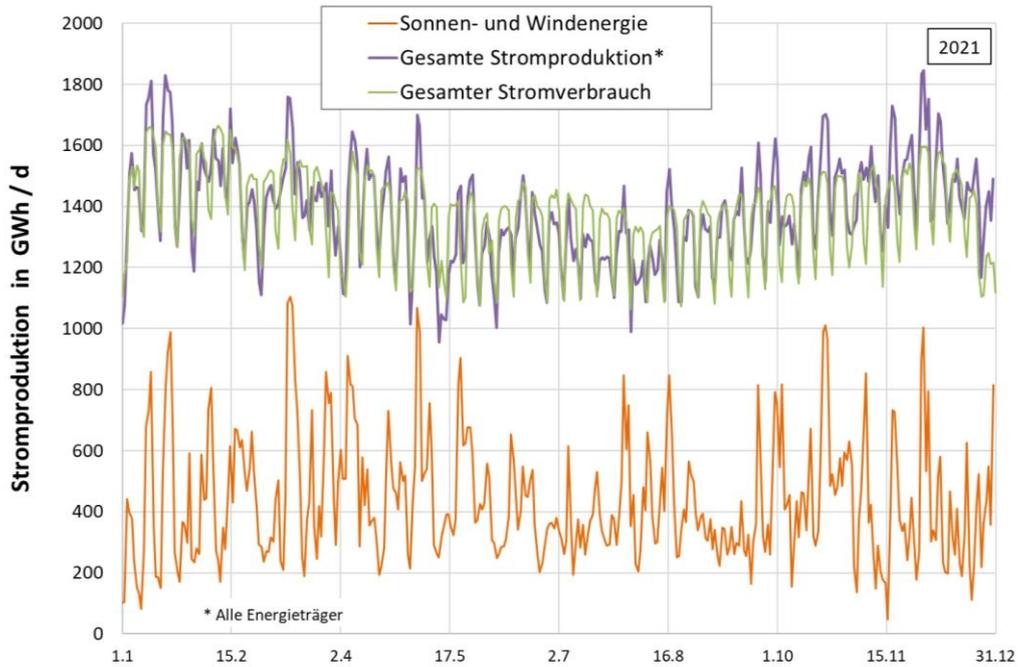


Abbildung 8 Tagessummenwerte des produzierten und verbrauchten Stromes in 2021

Anteil der Wind- und Sonnenenergie über die Jahre

In den Abbildung 9 bis Abbildung 12 sind die Tagessummenwerte der Wind- und Sonnenenergie der Jahre 2016 – 2021 dargestellt. Es wird deutlich, dass der Anteil der Sonnenenergie von 2016 bis 2021 in den Sommermonaten von max. 220GWh/Tag stetig auf 320GWh/Tag gestiegen ist. Das Minimum von <10GWh/Tag verbleibt aber in den Wintermonaten auf niedrigem Niveau.

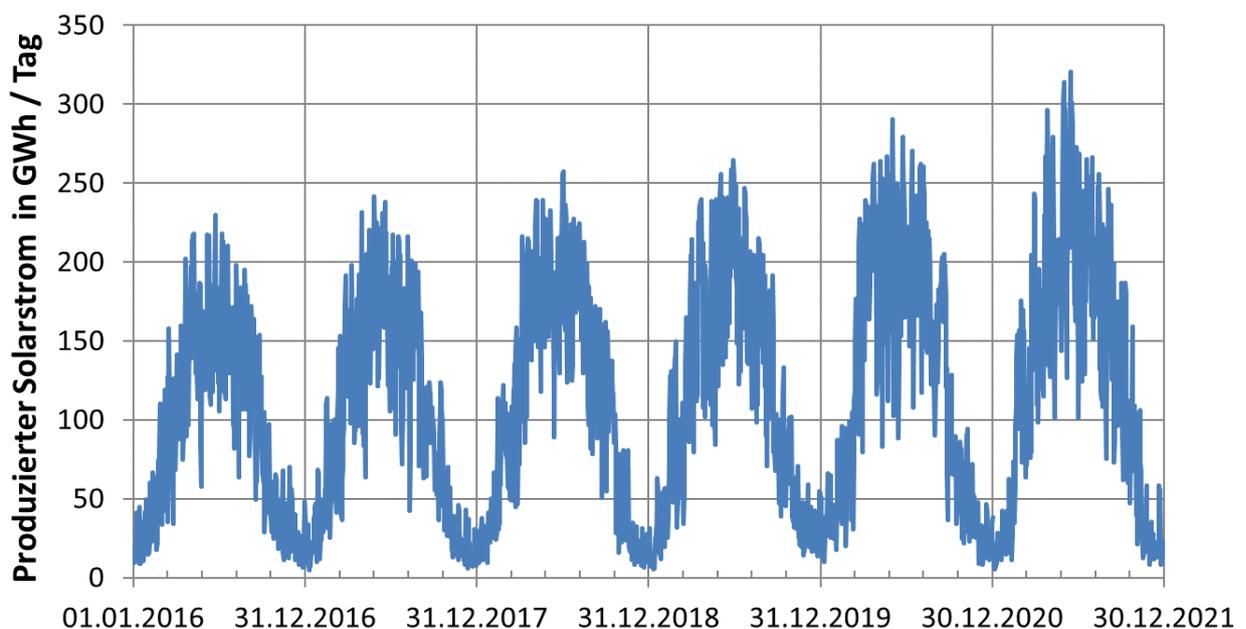


Abbildung 9 Tagessummenwerte des produzierten Solarstromes 2016 - 2021

Über die Jahre hinweg verzeichnet auch die Menge an produziertem Strom aus Wind einen Zuwachs. Allerdings steigen damit auch die absoluten Amplituden von Tagen mit einer hohen Stromproduktion und Tagen einer niedrigen Stromproduktion. Daraus ergeben sich nach Abbildung 11 Differenzen der Stromproduktion zum Vortag im Jahre 2016 von 300GWh/Tag und im Jahre 2021 500 – 600GWh/Tag. Diese Differenzen müssen durch andere Energieträger ausgegelt werden.

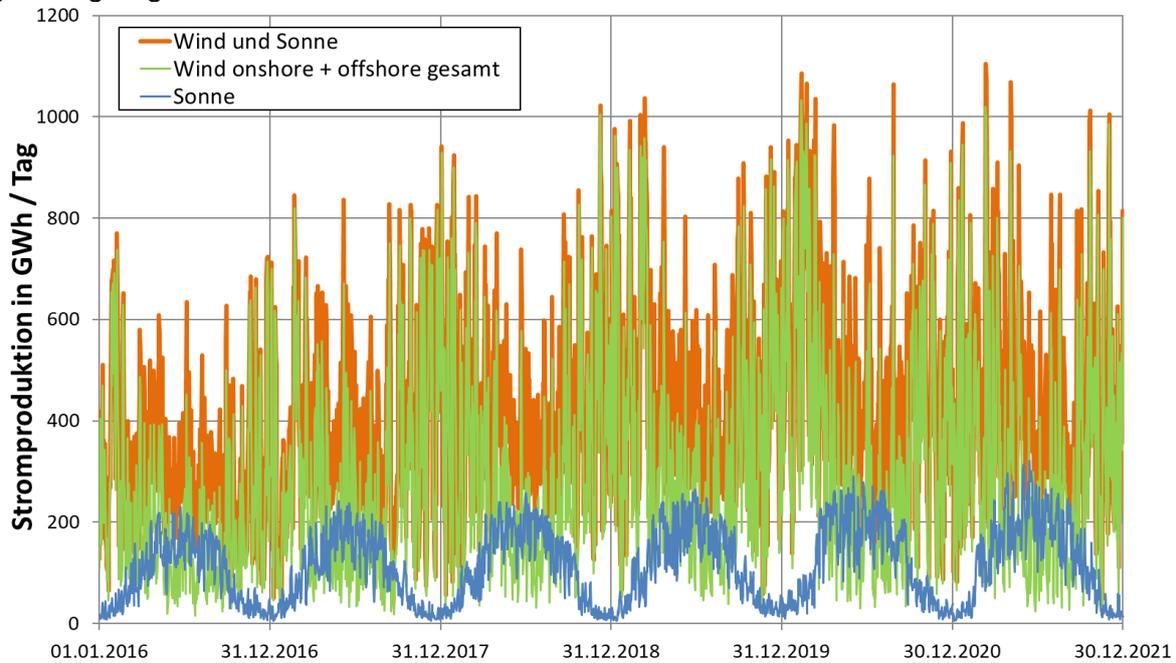


Abbildung 10 Tagessummenwerte von Wind- und Sonnenenergie 2016 - 2021

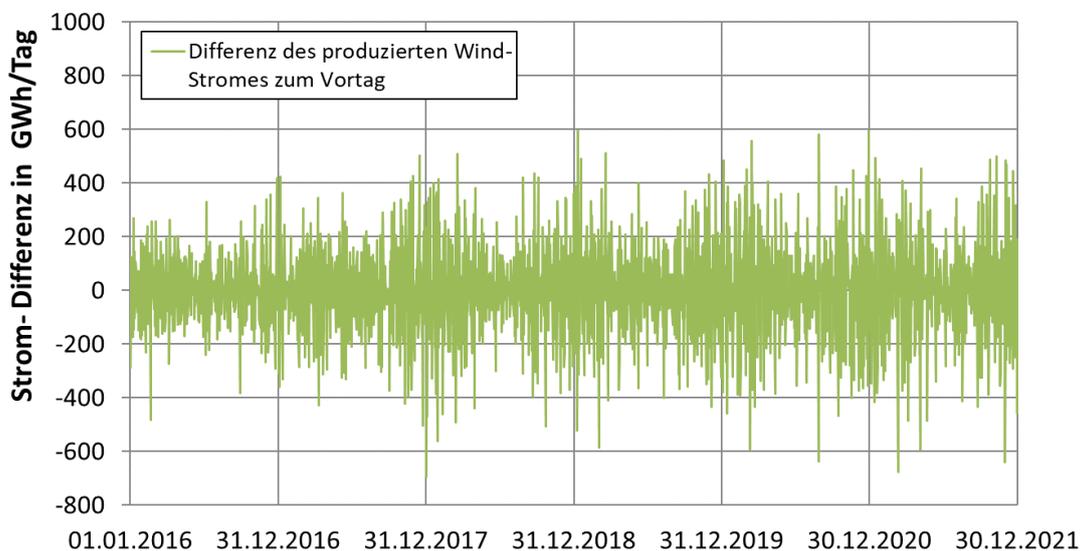


Abbildung 11 Differenz des produzierten Windstromes zum Vortag der Jahre 2016 - 2021

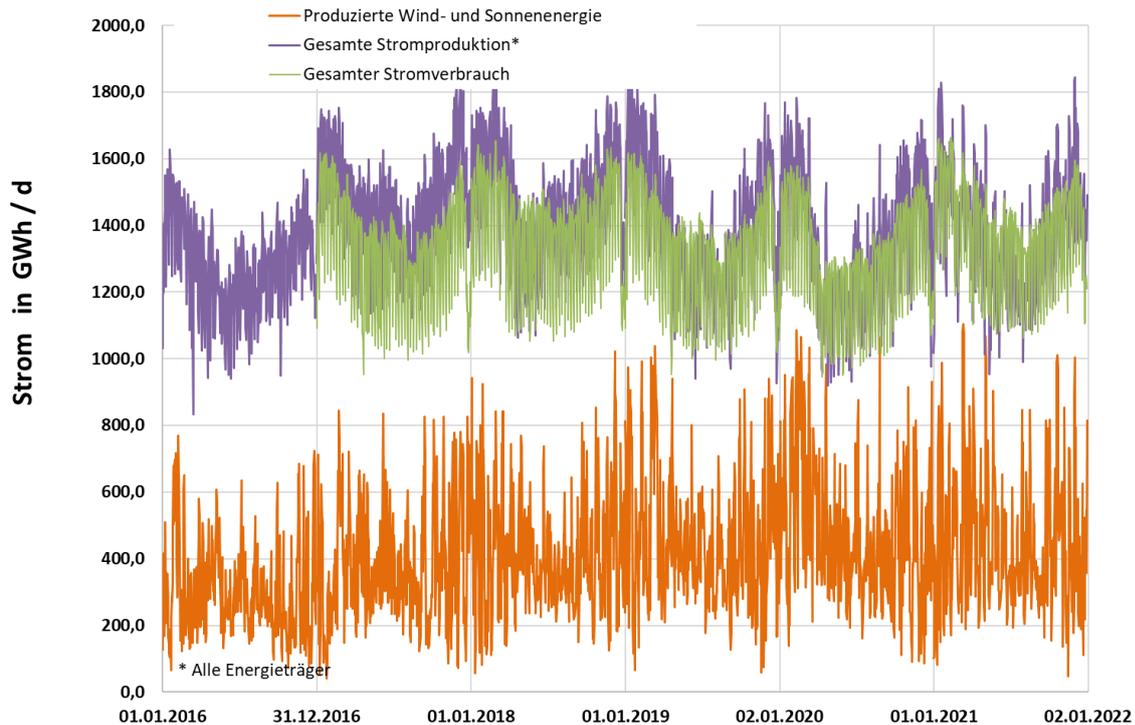


Abbildung 12 Tagessummenwerte des produzierten und verbrauchten Stromes 2016 - 2021

Jahresbilanz der Stromproduktion aller Energieträger

Abbildung 13 zeigt die Jahresbilanz des produzierten Stromes 2021 in Deutschland, aufgeteilt nach Energieträgern. Die gesamte produzierte Strommenge in Deutschland betrug 505,3TWh und die verbrauchte Strommenge betrug 503,8 TWh. Das bedeutet, dass Deutschland im Jahre 2021 eine geringe Strommenge von ca. 1,5 TWh in andere Länder exportiert hat. Am produzierten Strom haben die Wind- und Sonnenenergie mit 160,2 TWh zusammen einen Anteil von 31,7%. Nimmt man die weiteren erneuerbaren Energieträger Biomasse (39,2 TWh), Wasserkraft (14,5 TWh), Pumpspeicher (9,1 TWh) und sonstige Erneuerbaren (1,5 TWh) hinzu, dann ergibt sich ein Anteil von 44,4% an erneuerbaren Energieträgern an der Gesamtstromerzeugung in Deutschland. Die Stromerzeugung aus Braunkohle (98,2 TWh) und Steinkohle (51,8 TWh) ergab einen Anteil von 29,7 % an der Gesamtstromerzeugung in Deutschland.

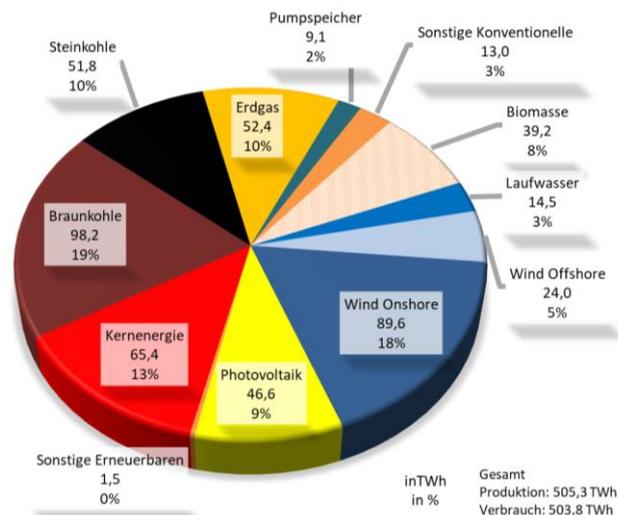


Abbildung 13 Jahresbilanz des produzierten Stromes 2021 in Deutschland

Zur Überprüfung der Jahressummenwerte, wurde die Auswertung des FhG-ISE⁶ herangezogen und die Werte in Tabelle 1 der Auswertung basierend auf den SMARD Daten gegenübergestellt. Dementsprechend unterscheiden sich die Ergebnisse in der Jahresstromerzeugung mit 2,9% nur sehr gering. Im Jahresstromverbrauch sind die Summenwerte identisch. Es ergeben sich allerdings Unterschiede infolge dessen, dass in der Datenbasis des SMARD der Bundesnetzagentur drei zusätzliche Rubriken für „sonstige Erneuerbare“, „sonstige Konventionelle“ und Pumpspeicher vorhanden sind. Durch diese unterschiedliche Einteilung wird die produzierte Strommenge der Wasserkraft um 34,1%, die der Biomasse um 10,2% und die der Sonnenenergie um 4,1% unterbewertet.

Basierend auf den Zahlen des FhG-ISE hätten die Sonnen- und Windenergie zusammen einen Anteil von 33,0% am produzierten Strom in Deutschland gegenüber von 31,7% entsprechend der SMARD Zahlen. Der gesamte Anteil der Erneuerbaren entsprechend der FhG-ISE Zahlen beträgt mit 224,6 TWh oder 45,7% an der Stromproduktion, wogegen dieser Anteil entsprechend der SMARD Daten 44,4% beträgt.

Die Unterschiede der Summenwerte zwischen dem FhG-ISE und den SMARD Daten sind also mit 1,3%-Punkten gering.

	SMARD in TWh	ISE in TWh	Δ in TWh	Δ in %
Biomasse	39,2	43,2	-4,0	-10,2
Laufwasser	14,5	19,4	-4,9	-34,1
Wind Offshore	24,0	24	0,0	0,0
Wind Onshore	89,6	89,5	0,1	0,2
Photovoltaik	46,6	48,5	-1,9	-4,1
Sonstige Erneuerbaren	1,5	0	1,5	100,0
Kernenergie	65,4	65,4	0,0	0,0
Braunkohle	98,2	99,1	-0,9	-0,9
Steinkohle	51,8	46,4	5,4	10,5
Erdgas	52,4	51,2	1,2	2,3
Pumpspeicher	9,1	0	9,1	100,0
Sonstige Konventionelle	13,0	3,99	9,0	69,2
Wind Gesamt	113,6	113,5	0,1	0,1
Wind + PV gesamt	160,2	162,0	-1,8	-1,1
Gesamte Stromerzeugung 2021 in Deutschland	505,3	490,7	14,7	2,9
Gesamter Stromverbrauch 2021 in Deutschland	503,8	503,8	0,0	0,0

Tabelle 1: Unterschiede zwischen den Datenbasen des FhG-ISE und der Bundesnetzagentur SMARD

⁶ „Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2021“; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

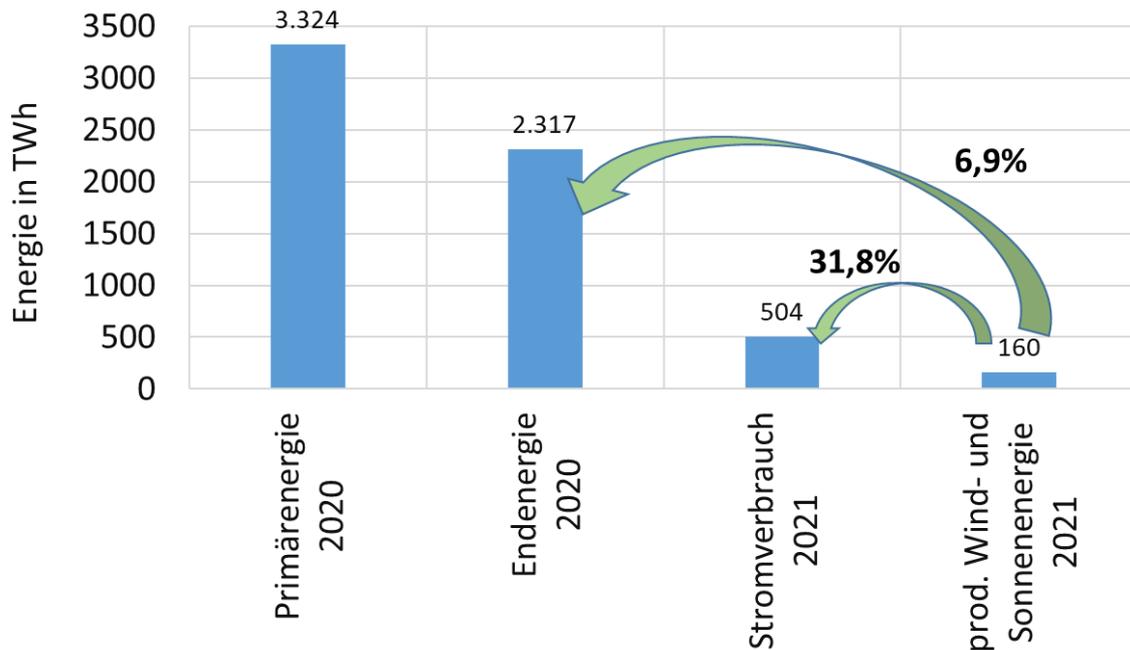


Abbildung 14 Wind- und Sonnenenergie im Verhältnis zur Endenergie aller Sektoren in Deutschland.

Abbildung 14 zeigt den Anteil der produzierten Wind- und Sonnenenergie im Verhältnis zur gesamten Endenergie des Jahres 2020 nach Daten von SMARD und der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.⁷. Darin wird deutlich, dass nur ein sehr kleiner Anteil von 6,9% der verbrauchten Endenergie aus der Wind- und Sonnenkraft stammt.

Viele haben aus der Presse sehr viel höhere Werte in Erinnerung, doch diese Werte, stammen meist

- aus dem Verhältnis der verbrauchten elektrischen Strommenge zur erzeugten Wind- und Sonnenenergie bzw.
- aus dem Verhältnis der verbrauchten Strommenge zur erzeugten Strommenge aller regenerativen Energieträger (Wind, Sonne, Biomasse, Wasserkraft, etc.)

Ganz krass wird die Darstellung genau dann, wenn in der Presse Bilder von Windrädern gezeigt werden und dann als Zahlenwert das Verhältnis der produzierten Strommenge in Deutschland zur gesamten erneuerbaren Strommenge aus Wasserkraft, Biomasse sowie Wind- und Sonnenenergie aufgezeigt wird. Hierbei kommt man dann wie oben beschrieben auf einem Beitrag aller erneuerbaren Energieträger von 44,4% in 2021.

Dabei wird außer Acht gelassen, dass der Anteil aller erneuerbaren Energieträger⁸ in 2020 (Wind, Sonne, Biomasse, Abfälle, Deponiegas, Wasserkraft, sonstige) zur Stromerzeugung und zur Wärme- und Kälteerzeugung und für den Verkehr an der Endenergie von 2317 TWh, in Deutschland nur 472 TWh oder 20,4% betragen hat. Da aber ein Ausbau der Wasserkraft und die Nutzung der Biomasse nur noch begrenzt umsetzbar ist, würden die fehlenden 79,6% oder 1845 TWh auf die Wind- und Sonnenkraft entfallen. Wie soll das gehen? Das sind nochmals 11,5x der erzeugten Energiemenge von Wind- und Sonne wie bereits heute.

⁷ Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB) Stand 01.09.2021, „Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland 1990 bis 2020“

⁸ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, Stand 09 / 2021

Also ca. 350.000 Windräder und das entsprechend vielfache der Fläche an Fotovoltaik.

Jahresbilanz der Stromproduktion der Energieträger über die Jahre

Aus Abbildung 15 wird deutlich, dass der Stromverbrauch im Mittel mit ca. 495 TWh in Deutschland relativ stabil ist. In 2020 sieht man einen Ausreiser mit 475 TWh nach unten, der durch den Corona bedingten Lockdown im März / April 2020 verursacht wurde. Die Stromproduktion geht aber von 540 TWh in 2017 ausgehend kontinuierlich zurück auf 505 TWh in 2021.

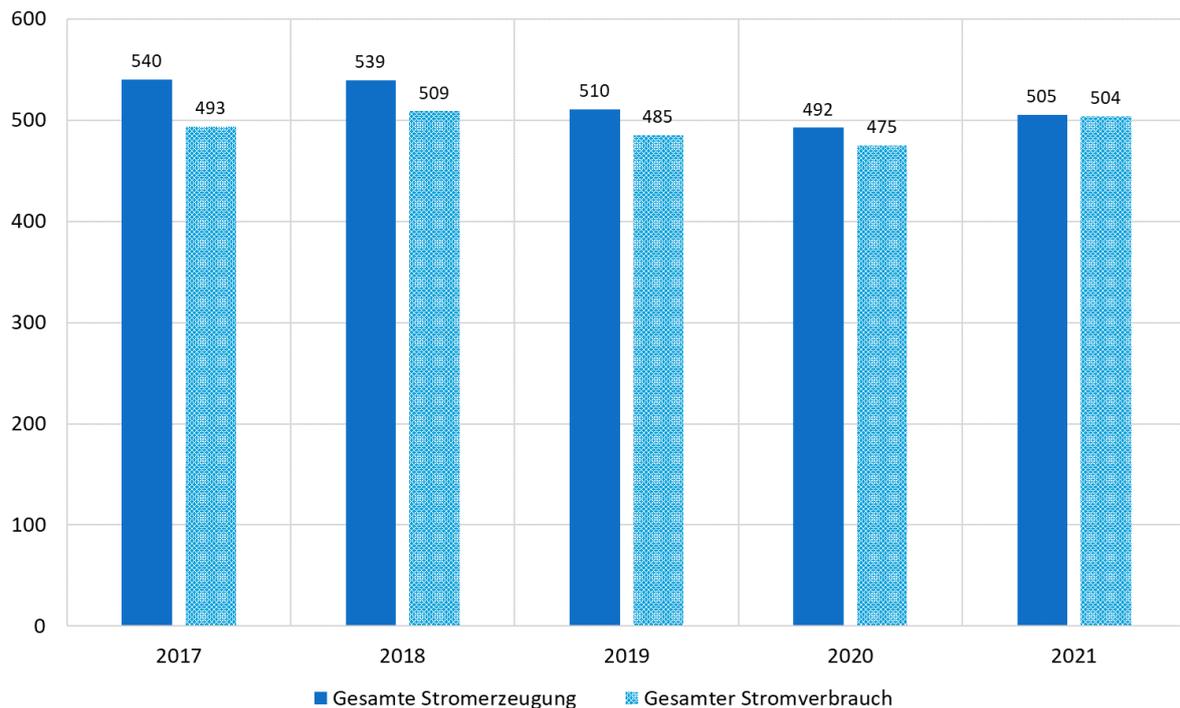


Abbildung 15 Strombilanzen der Jahre 2017 – 2018 für Deutschland

Die Anteile der einzelnen Energieträger an der Gesamtstromproduktion kann Abbildung 16 entnommen werden. Daraus wird deutlich, dass sich an der Stromproduktion aus Biomasse, Laufwasser und Pumpspeicher und sonstige Erneuerbaren über die Jahre keine signifikante Änderung ergeben hat.

Dagegen ist der Anteil der Stromproduktion aus Sonnenenergie kontinuierlich gestiegen. Der Anteil der Windenergie ist zwar tendenziell seit 2017 gestiegen, aber in 2021 in Folge schlechter Windverhältnisse annähernd wieder auf das Niveau von 2018 gefallen.

Die fehlenden Strommengen aus der Windenergie wurden in 2021 durch erhöhte Beiträge der konventionellen Energieträger Kernenergie, Braunkohle und Steinkohle ausgeglichen.

Stromproduktion und -verbrauch in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2021

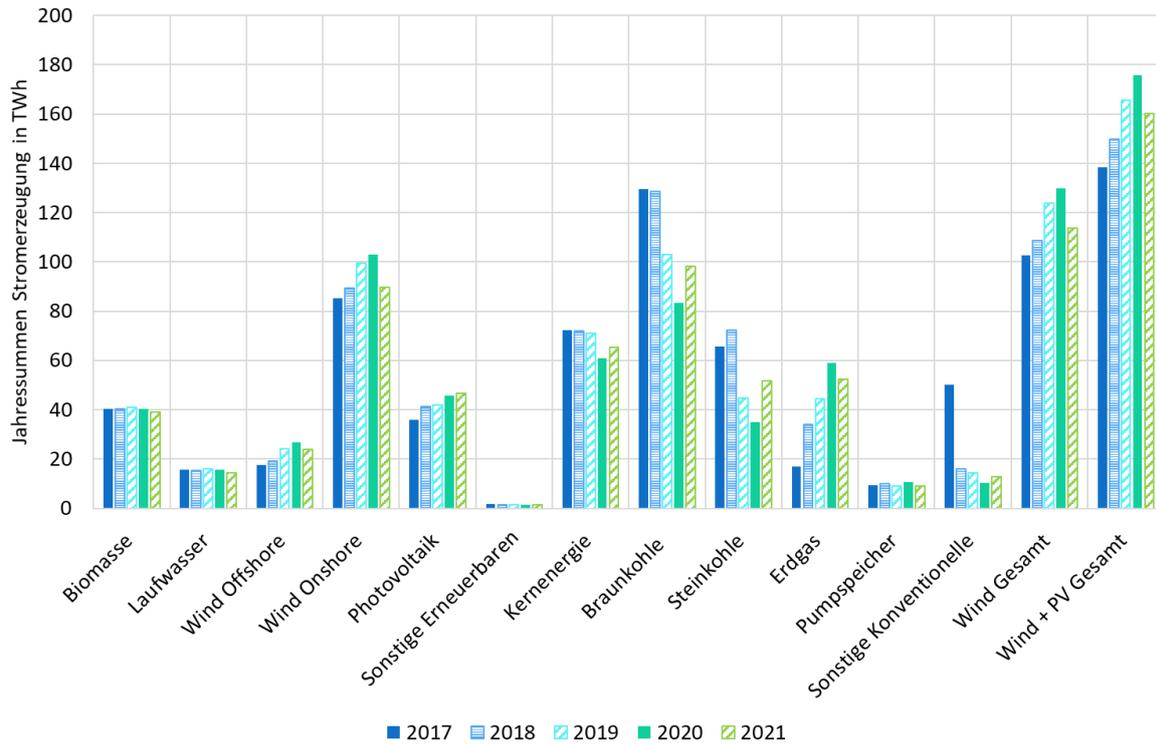


Abbildung 16 Jahressummen der Energieträger 2017 - 2021

Deckungsanteil und normierte Werte

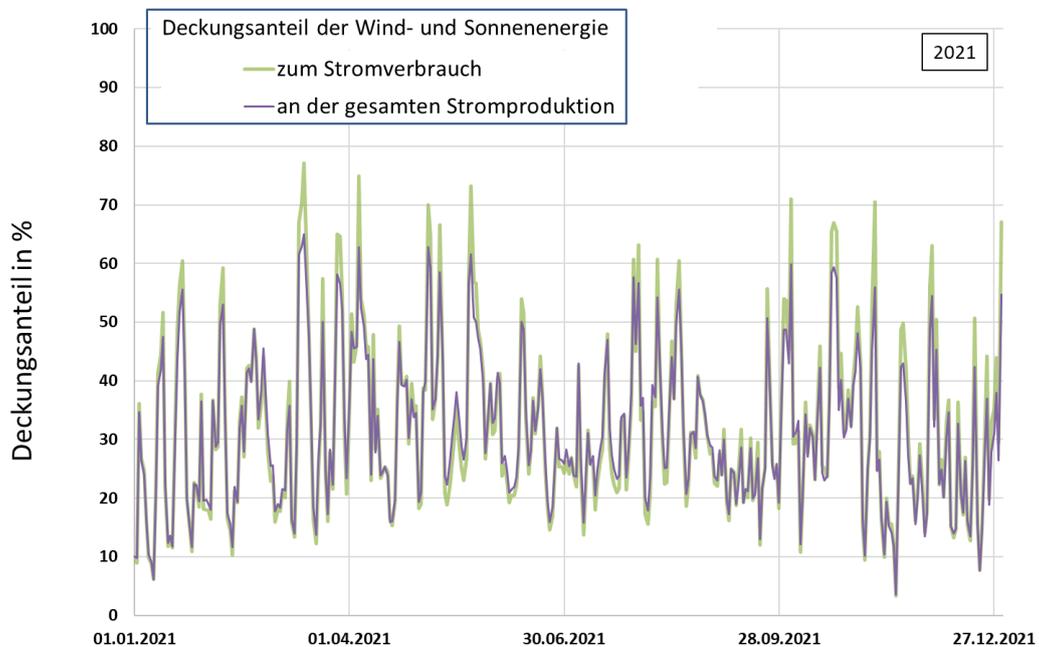


Abbildung 17 Deckungsanteil von Wind- und Sonnenenergie

Abbildung 17 zeigt den Deckungsanteil der Wind- und Sonnenenergie an der Gesamtstromerzeugung und am Gesamtstromverbrauch in Deutschland im Jahre 2021. Hier wird deutlich, dass der Deckungsteil an manchen Tagen, bezogen auf die Stromproduktion bereits über

Stromproduktion und -verbrauch in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2021

60% und bezogen auf den Stromverbrauch bereits über 70% betragen hat. Auf der anderen Seite wird deutlich, dass es auch häufig Tage mit einem Deckungsanteil von nur 10 % gegeben hat.

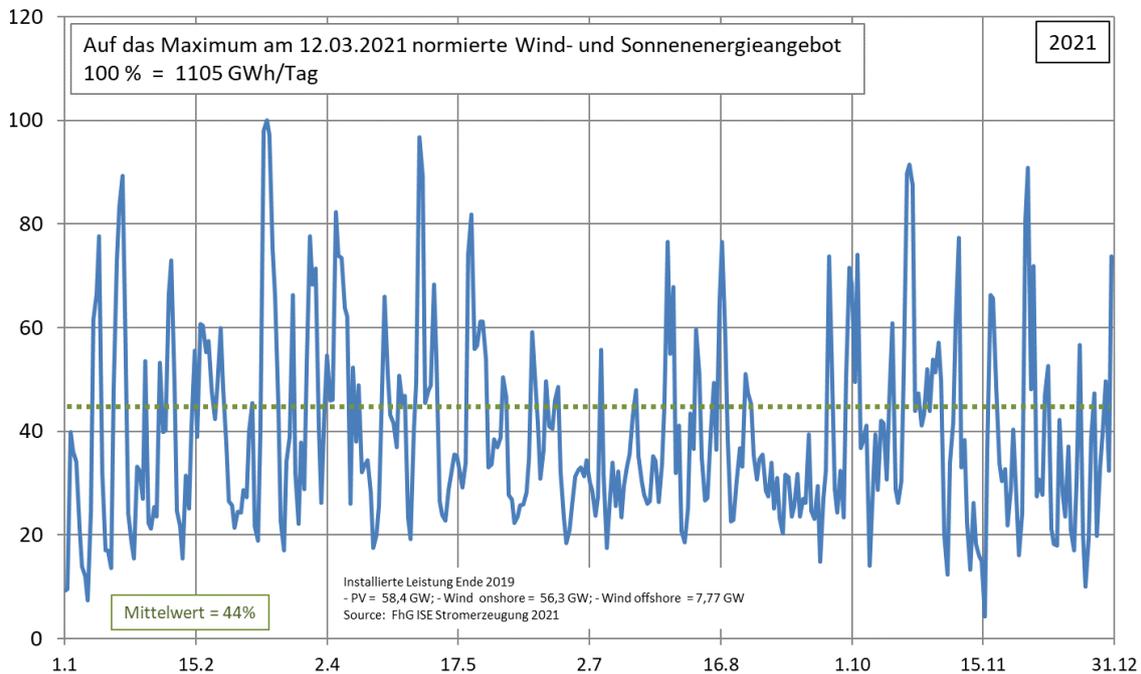


Abbildung 18 Normiertes Wind- und Sonnenenergie-Angebot in Deutschland

Abbildung 18 zeigt das normierte Wind- und Sonnenenergie-Angebot in Deutschland für das Jahr 2021. Es ist bezogen auf den 12.03.2021, an dem der höchste Wind- und Sonnenenergieertrag mit 1105 GWh / Tag vorhanden war. Durch die Normierung wird die Größe der installierten Leistung ausgeklammert und es wird die für Deutschland typische Wetterlage sichtbar. Egal, ob man eine Auswertung für das Jahr 2021 erstellt oder für das Jahr 2050 erstellen würde, die Amplituden einer solchen Auswertung wären immer ähnlich. Die Frequenzen und die Amplituden des Wetters und damit die Wind- und Sonnenenergie werden sich für den Standort Deutschland immer ähnlich verhalten.

Wenn man von der 100% Spitze am 12.03.2021 ausgeht und annimmt, dass an diesem Tag ganz Deutschland zu 100% mit Wind- und Sonnenenergie versorgt worden wäre, dann kann man damit das Defizit an den anderen Tagen abschätzen. Das bedeutet, dass wenn einmal so viele Windmühlen- und Photovoltaikanlagen installiert sein werden, um ganz Deutschland an einem Tag zu 100% mit Wind- und Sonnenstrom zu versorgen, dann werden trotzdem immer noch viele Tage dabei sein, an denen die Wind- und Sonnenenergie nur 20% betragen wird. An diesen Tagen muss der Strom durch andere Energieträger gedeckt werden.

Bei einer 100% Auslegung von Windmühlen und Photovoltaikanlagen wird die Gesamtstrommenge im Mittel aufgrund der Wetterverhältnisse in Deutschland nach Abbildung 19 aber nur 44% betragen. Das heißt, es müssen ca. **230 %** Überkapazitäten installiert werden, um den Strombedarf im Mittel zu decken.

Wenn man die Tage mit Windflaute heranzieht, an denen die Wind- und Sonnenenergie nur zu 20% vorhanden ist, dann müssten sogar **500%** Überkapazitäten installiert werden.

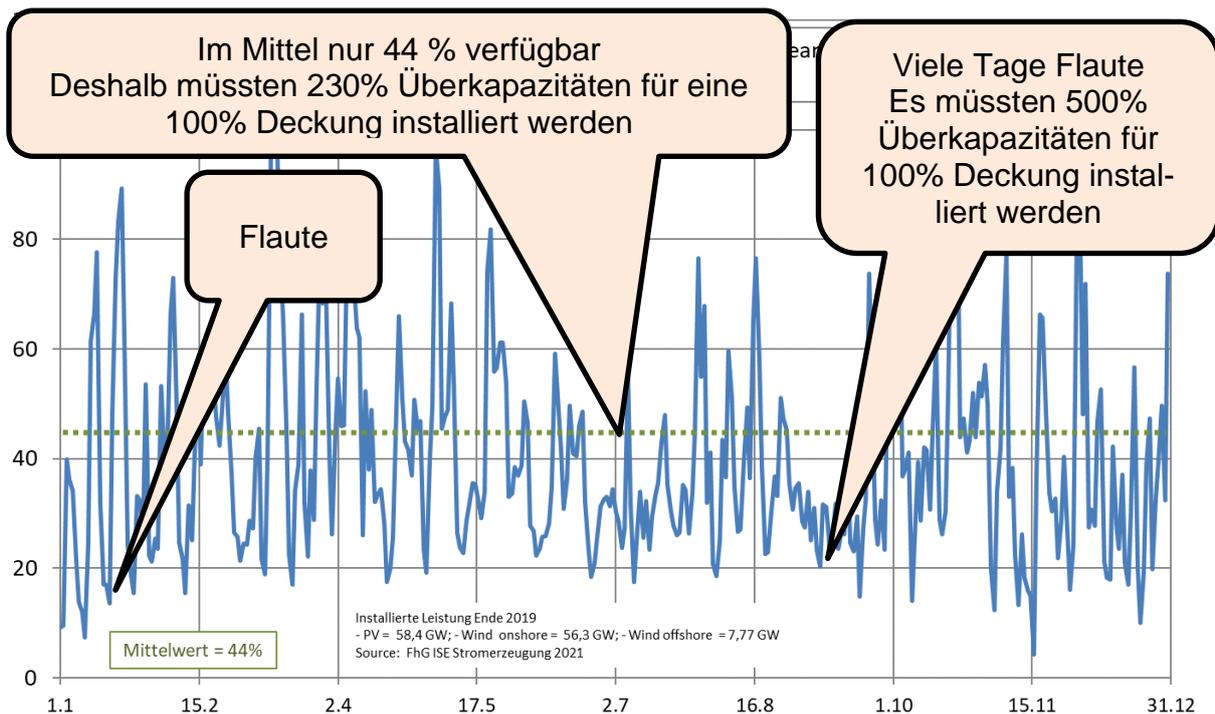


Abbildung 19 Normiertes Wind- und Sonnenenergie-Angebot in Deutschland

In Abbildung 20 ist das normierte Wind- und Sonnenenergieangebot für ganz Deutschland auf der Basis von 15 Minuten Werten dargestellt, mit einem Spitzenwert am 12.03.2021. Der Mittelwert betrug nur 30%. Darin sind auch die Tag- und Nachtunterschiede enthalten. Damit wird die Situation in Bezug auf die Dynamik und Fluktuation der erneuerbaren Wind- und Solarstromes noch angespannter. Das meteorologische und zeitliche (= Tag/ Nacht) Energieangebot reduziert sich in manchen Zeiträumen auf weniger als 5%. Zur Realisierung müssten riesige Überkapazitäten installiert werden oder große Pufferspeicher.

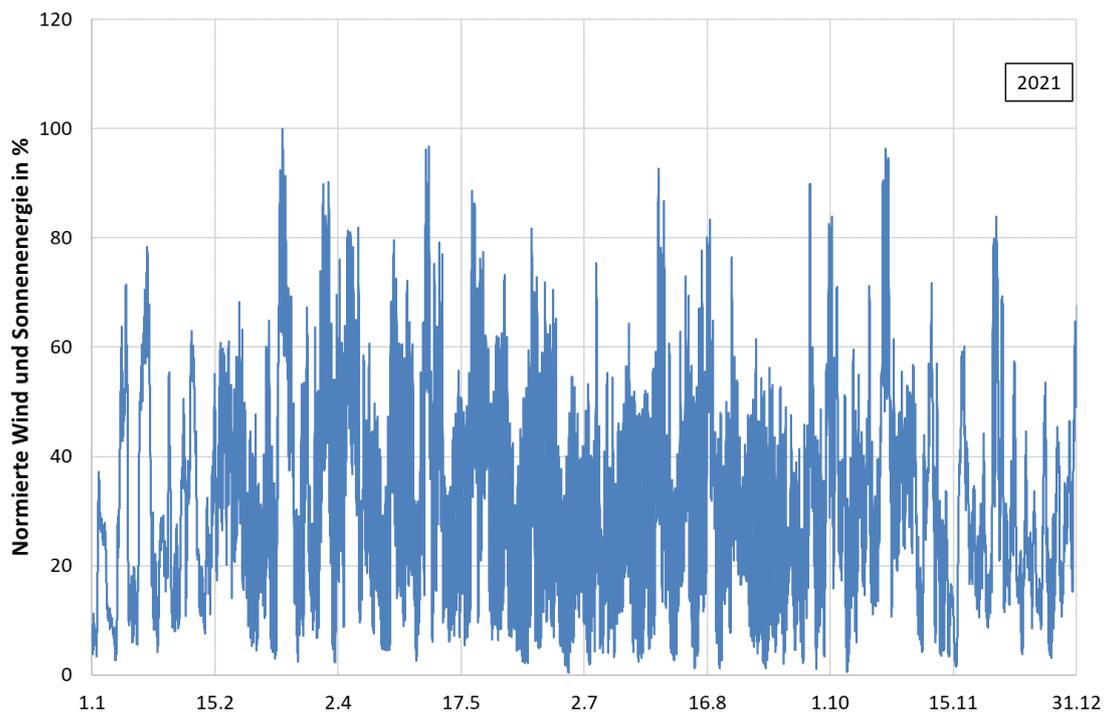


Abbildung 20 Normiertes Wind- und Sonnenenergie-Angebot in Deutschland, Basis 15 Minuten Werten

Es macht aber keinen Sinn, solch große Überkapazitäten zu installieren.

Das bedeutet,

- dass man einen Stromspeicher benötigt,
- dass man Strom - Überschüsse in chemisch gebundenen Energieträgern speichern muss,
- dass man Kohlenstoff recyceln muss und über Power to X (PtX) in chemisch gebundene Energieträger wandeln muss.

Das bedeutet:

Es kann in Deutschland keine Energiewende ohne PtX geben !

Doch wie schon Abbildung 14 gezeigt hat, wird es unmöglich sein die fehlenden Energiemengen von 1845 TWh zur Aufrechterhaltung der Energieversorgung in Deutschland, aus eigener Biomasse, Wasser-, Wind- und Sonnenkraft zu erzeugen. Das bedeutet, dass Energieträger, die über PtX in flüssiger oder gasförmiger Form erzeugt wurden nach Deutschland importiert werden müssen.

Das bedeutet, dass Deutschland ein Energieimportland ist und auch bleiben wird.

Zusammenfassung

- Wind- und Sonnenkraft werden in der Zukunft die wesentlichen Lieferanten von erneuerbarer Energie sein. Leider ist ihre Verfügbarkeit aufgrund der Wetterbedingungen und der Tageszeit sehr wechselhaft.
- Strom aus Wind- und Sonnenenergie hatten im Jahre 2021 mit 160,2 TWh einen Anteil von 31,7% an der Gesamtstromproduktion und 31,8% am Gesamtstromverbrauch in Deutschland.
- Der Stromanteil aus allen erneuerbaren Energieträger, Biomasse, Wasserkraft, Wind- und Sonnenenergie an der Stromproduktion in Deutschland betrug 44,4%.
- Gegenwärtig beträgt der Anteil der Wind- und Sonnenenergie an der gesamten in Deutschland benötigten Endenergie aber nur 6,9%.
- Durch die Normierung der erzeugten Wind- und Sonnenenergie auf den Tag mit maximaler Erzeugung werden die zeitlichen und wetterbedingten Randbedingungen in Deutschland sichtbar. Dabei wird deutlich, dass bei einer 100% jährlichen Deckung nur ca. 44% der installierten Wind- und Solarenergie im Mittel direkt nutzbar sind. Der Überschuss muss ins Ausland verkauft oder gespeichert werden.
- Zur Bereitstellung von 100% der Gesamtstrommenge in Deutschland mit Wind- und Sonnenstrom wären 230 % Überkapazitäten notwendig.
- Zur Bereitstellung von 100 % der Gesamtstrommenge in Deutschland mit Wind- und Sonnenstrom an Tagen mit einer Windflaute wären 500 % Überkapazitäten notwendig.
- Um die Überkapazitäten zu vermeiden, müssen Stromspeicher auf Basis chemisch gebundener Energieträger und recyceltem Kohlenstoff herangezogen werden.
- **Es wird in Deutschland nur eine Energiewende mit PtX geben können.**
- Deutschland ist ein Energieimportland.
- Flüssige und gasförmige Energieträger, die über PtX hergestellt wurden müssen nach Deutschland importiert werden, um den gesamten Endenergiebedarf zu decken.