

# Stromproduktion und Stromverbrauch im Jahre 2023 in der Bundesrepublik Deutschland

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

Von

Harry Schüle<sup>1</sup>

Neunburg vorm Wald  
14.01.2024

### 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 – Server<sup>2</sup> 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 2023. 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 Nettostromerzeugung<sup>3</sup> des FhG-ISE herangezogen und die Werte verglichen.

Es ist zu beachten, dass die selbstgenutzte Strommenge aus privaten oder firmen PV- oder Windenergieanlagen in den Daten der Bundesnetzagentur nicht berücksichtigt sind.

---

<sup>1</sup> Kontakt: [harry.schuele@t-online.de](mailto:harry.schuele@t-online.de)

<sup>2</sup> Daten der Bundesnetzagentur, SMARD – Server: [www.smard.de](http://www.smard.de)

<sup>3</sup> „Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2023“; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE; 03.01.2024

## 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 2023. 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.

## Angebot der Sonnenenergie

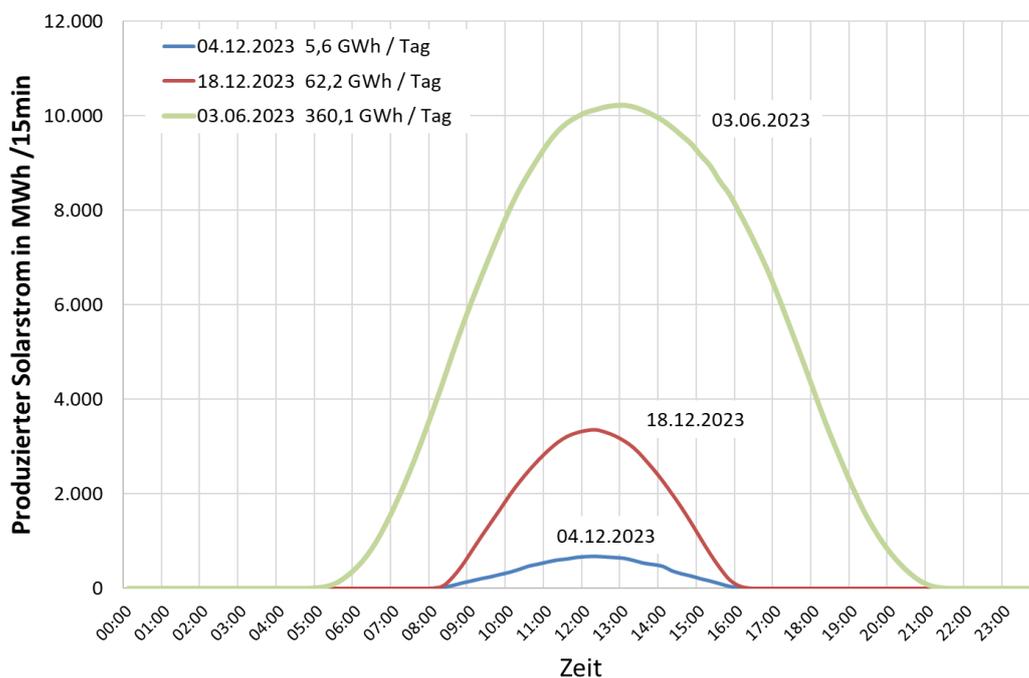
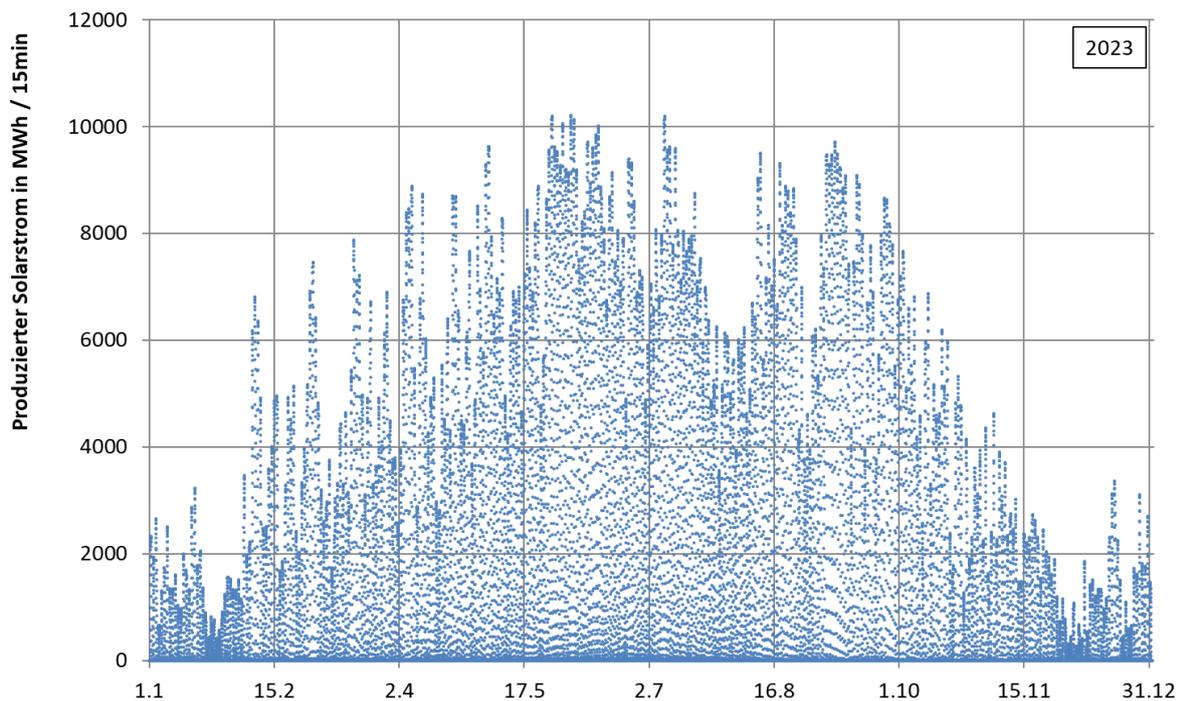


Abbildung 1 Produzierter Solarstrom an ausgewählten Tagen

Abbildung 1 zeigt den in ganz Deutschland produzierten Solarstrom an drei ausgewählten Tagen im Jahre 2023. 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 03.06. wurde eine Energiemenge von 360,1 GWh Solarstrom erzeugt, wohingegen es am 04.12. nur 5,6 GWh waren. Das ist ein Verhältnis von ca. 1:64.



*Abbildung 2 15 Minuten Werte des produzierten Solarstromes im Jahresverlauf 2023*

Abbildung 2 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 10.000 MWh / 15min nur zu sehr wenigen Zeitpunkten im Jahr aufgetreten waren. Zusammen mit Abbildung 3, in der die Tagessummenwerte über das Jahr aufgetragen sind, wird deutlich, dass selbst an schönen sonnigen Frühjahrstagen Anfang März mit 15min Spitzenwerten annähernd bis zu 8000 MWh / 15min in der Tagessumme nur 211 GWh / Tag erzeugt werden können. Dies liegt vor allem daran, dass die Tage im März im Vergleich zum Juni noch kürzer sind und die Sonne flacher steht.

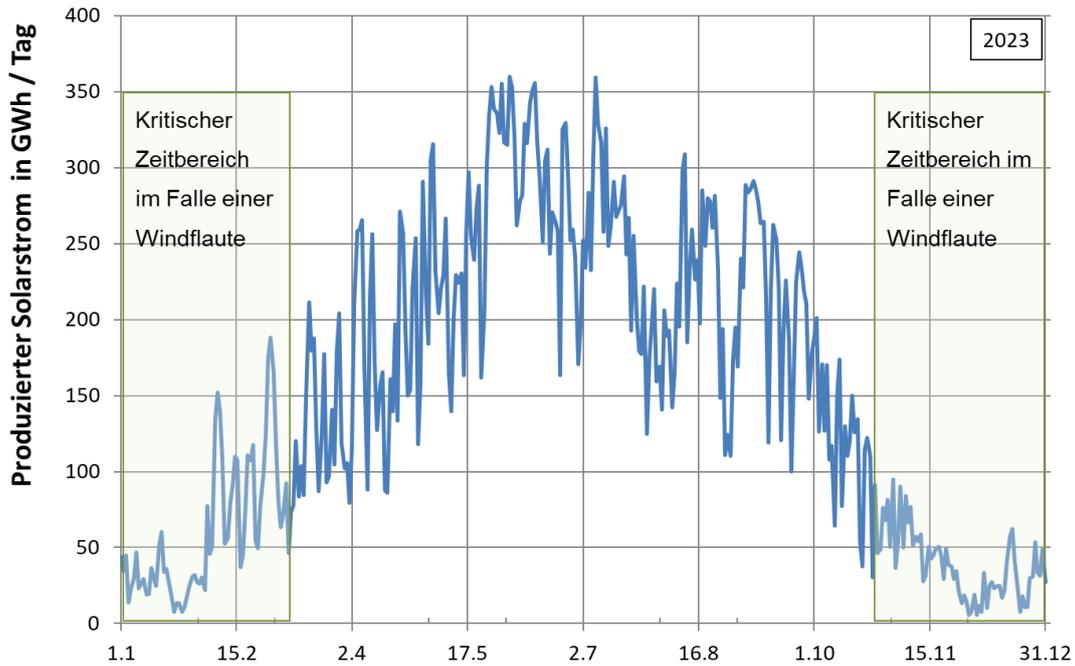


Abbildung 3 Tagessummenwerte des produzierten Solarstromes im Jahresverlauf 2023

Der Zeitraum in den Herbst- und Wintermonaten, also zwischen Mitte Oktober und Mitte März, ist entsprechend Abbildung 3 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

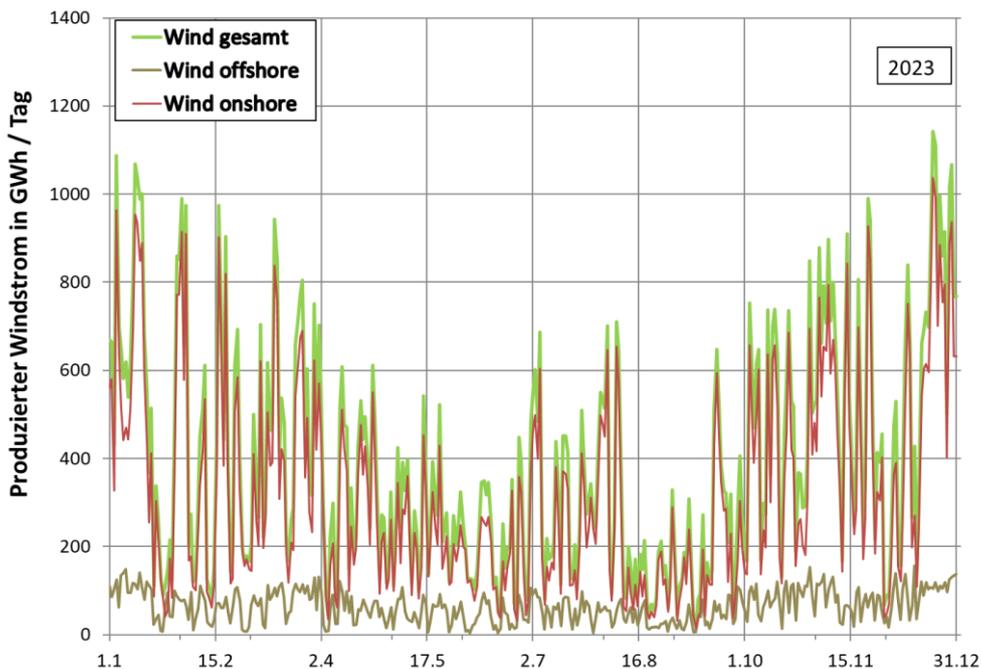


Abbildung 4 Tagessummenwerte des produzierten Windstromes im Jahresverlauf 2023

Abbildung 4 zeigt die Tagessummenwerte des produzierten Windstromes im Jahresverlauf 2023 für ganz Deutschland. Dieser Windstrom wurde aus knapp 30.00 onshore und offshore Windenergieanlagen (WEA) entsprechend der folgenden Tabelle erzeugt.

	onshore <sup>4</sup>	offshore <sup>5</sup>
Anzahl	28.517	1563
Installierte Leistung	59.343 GW	8,4 GW
Geplante kumulierte Leistung bis 2030	110 GW	30 GW

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 5 zeigt die Stromproduktion aus regenerativer Wind- und Sonnenenergie im Jahresverlauf 2023 für ganz Deutschland. Hier werden die sehr hohen Fluktuationen in den Tagessummen sichtbar. Am 25.01. betrug die Tagessumme aus Sonnen- und Windenergie zum Beispiel nur 116 GWh und wenige Tage später, am 13.02. wieder 996 GWh. Das ist ein Verhältnis von 1:8,6. Es sind aber auch lange Perioden von bis zu 8 Tagen (20.01. – 28.01.) ersichtlich, an denen die mittlere Stromproduktion aus Sonnen- und Windenergie weit unter 400 GWh / Tag betragen hat. Oder der sehr lange Zeitraum von über einem Monat im Sommer vom 11.08. – 17.09. mit unter 500GWh/Tag.

Desweiteren wird deutlich, dass der Beitrag der Windenergie mit 142 TWh im Jahre 2023 ca .2,6x Mal so groß war wie der Beitrag der Sonnenenergie mit 55 TWh.

---

<sup>4</sup> Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland im Jahr 2023 (1. Halbjahr); Deutsche Winguard GmbH

<sup>5</sup> Status des Offshore Windenergieausbaus in Deutschland (1. Halbjahr 2023); Deutsche Winguard GmbH.

# Stromproduktion und -verbrauch in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2023

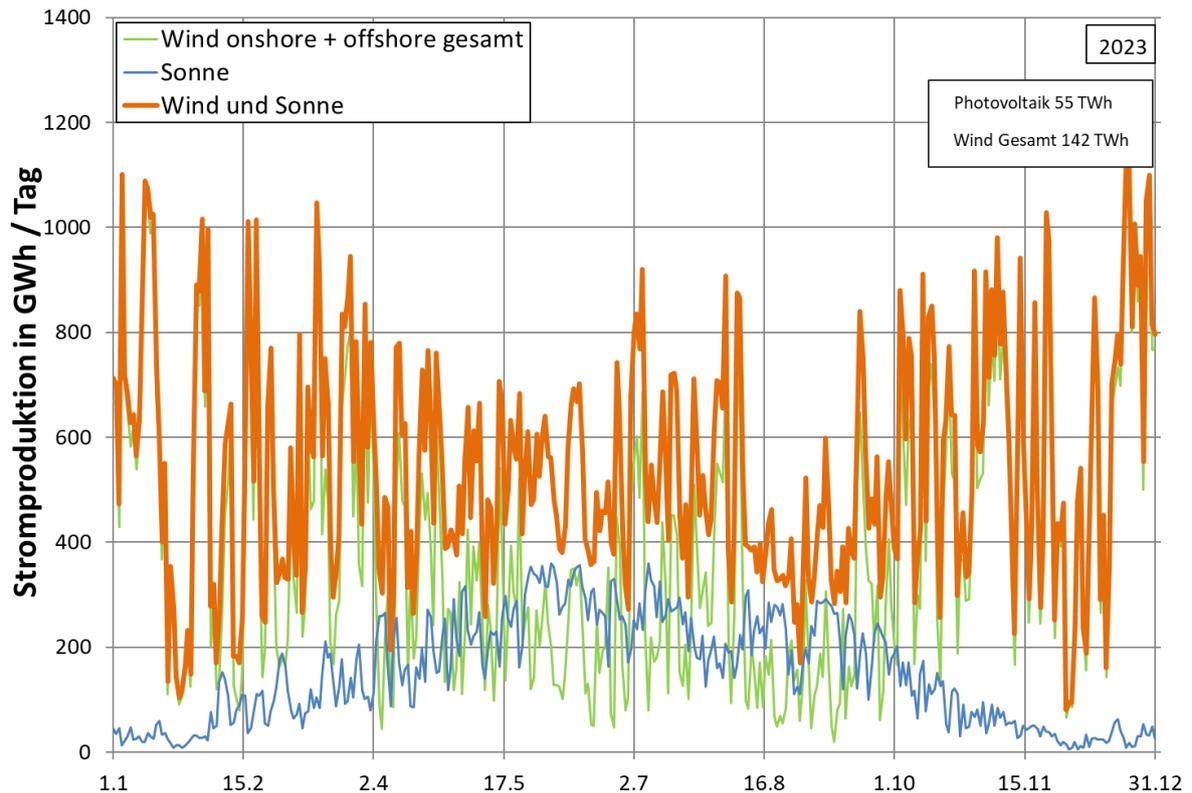


Abbildung 5 Tagessummenwerte des produzierten Solar- und Windstromes

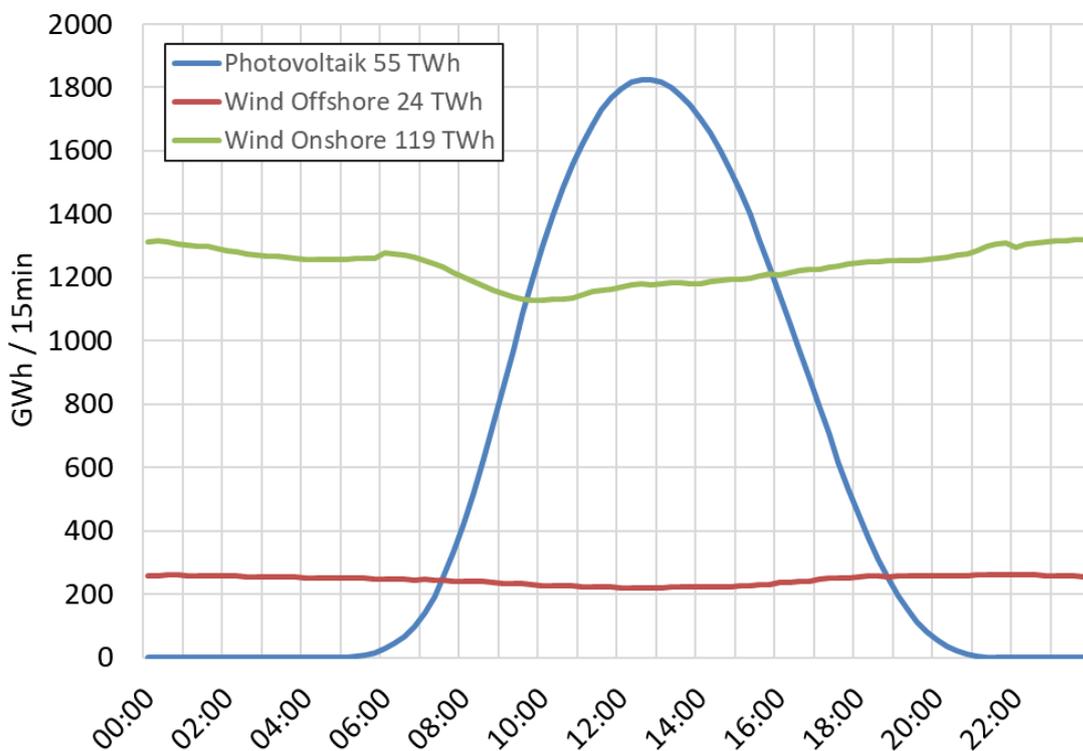


Abbildung 6 Summe aller 15 min Werte des Jahres 2023 im Tagesverlauf

In Abbildung 1 wurde die produzierte Solarenergie im Tagesverlauf ausgewählter Tage dargestellt. In Abbildung 6 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

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

$d = \text{Nummer des Tages}$

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  $15^\circ$  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 ausgeprägtes Extrema. In der Summe aller 15min – Werte ist die Stromproduktion nahezu konstant.

Bei den Onshore-WEA gibt es mit ca. 1300 GWh/15min in der Nacht zwischen 22:00 – 01:00 ein leichtes Maximum 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. Wenn aber in Abbildung 7 gegenüber Abbildung 6 die erzeugten Strommengen aus Pumpspeicherkraftwerken hinzugefügt werden, dann ist ersichtlich dass gerade am Vormittag zwischen 6:00-10:00 zusätzliche Energie benötigt wird. Aus diesem Grunde ist davon auszugehen, dass das Minimum der Stromerzeugung bei Onshore WEA am Vormittag meteorologisch bedingt ist und nicht durch das Abregeln der Anlagen.

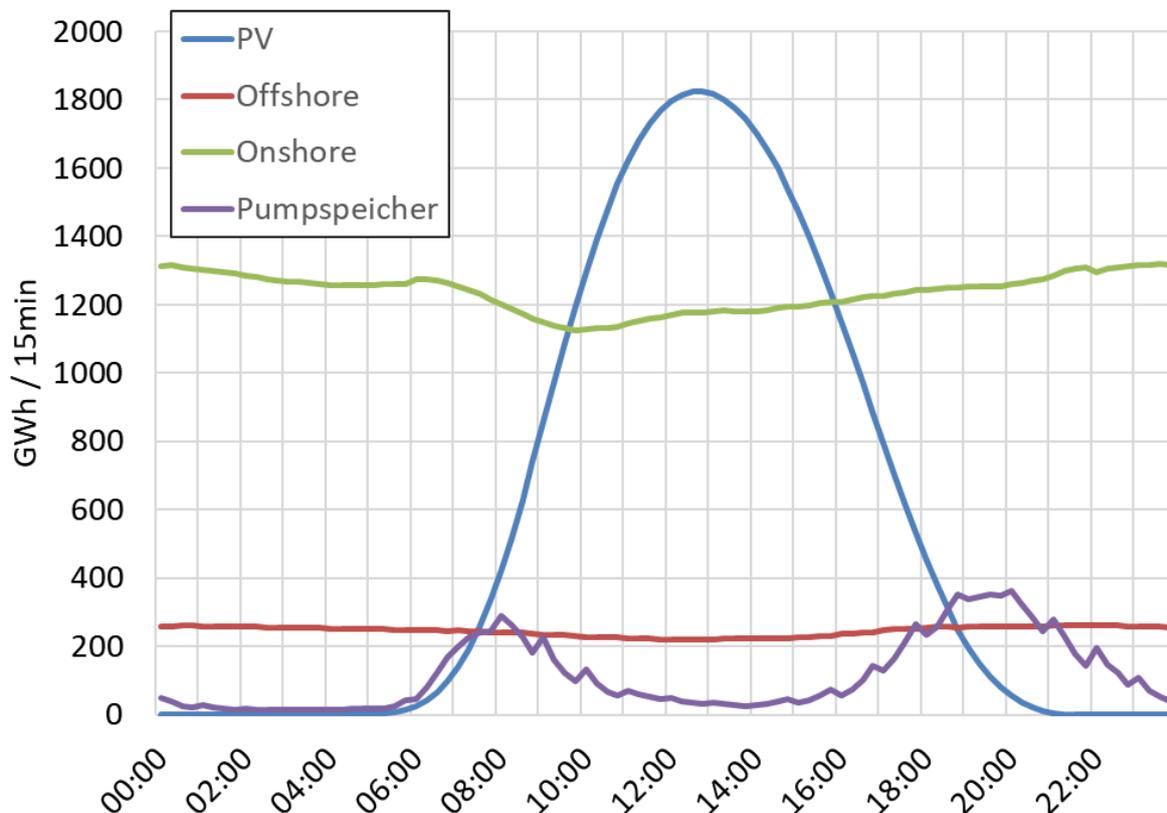


Abbildung 7 Summe aller 15 min Werte des Jahres 2023 im Tagesverlauf, zusätzlich mit den Pumpspeichern

## 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 2023 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 9.

In den Herbst- und Wintermonaten ist der Strombedarf mit 1200 – 1500 GWh / Tag um 100 – 200 GWh höher als in den Monaten Mai bis August mit 1000 – 1300 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.

Ersichtlich ist auch das Abschalten der letzten drei Atomkraftwerke in Deutschland zum 15.4.2023. Bis zu diesem Datum wurde mehr Strom produziert als verbraucht und damit exportiert. Seither wird an den meisten Tagen mehr Strom verbraucht als erzeugt.

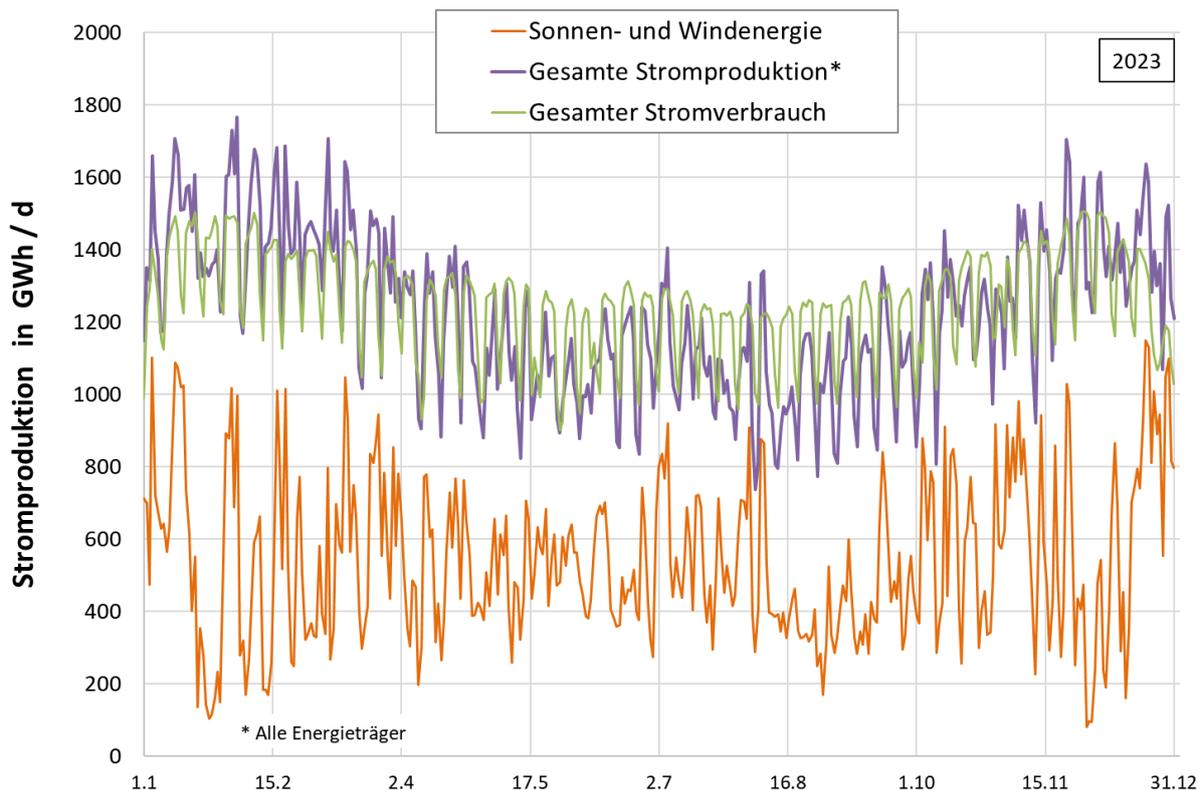


Abbildung 8 Tagessummenwerte des produzierten und verbrauchten Stromes in 2023

## Strombedarf in Deutschland in Abhängigkeit der Tageszeit

Der Strombedarf in Deutschland in Abhängigkeit der Tageszeit kann Abbildung 9 entnommen werden. Darin kann man deutlich die Verbrauchsanforderung in Abhängigkeit der

## Stromproduktion und -verbrauch in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2023

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 11 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 16000 MWh/15min ca. 12% geringer ist als an den Werktagen mit 18.200 MWh/15min.

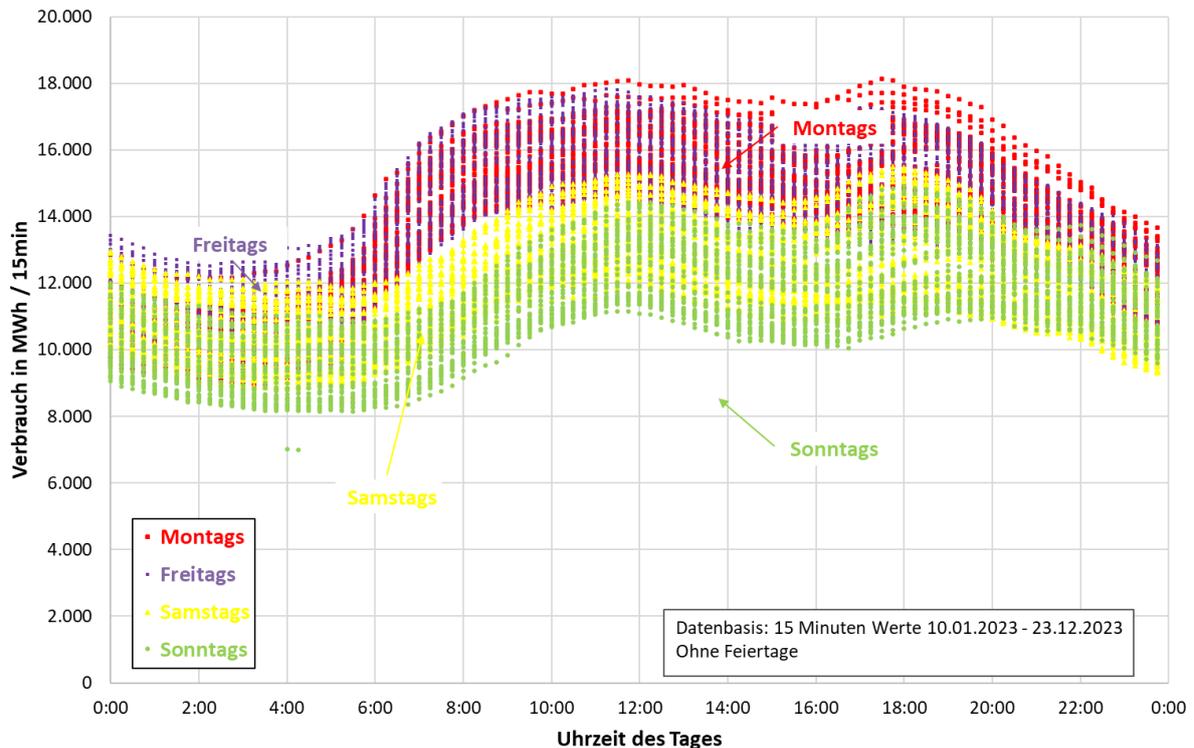


Abbildung 9 Stromverbrauch in Deutschland in Abhängigkeit der Tageszeit

Die Energiemengen aus Abbildung 9 können zu Leistungswerten umgerechnet werden, wobei

$$\begin{aligned} \text{Energieverbrauch in 15min} \times 4 &\rightarrow \text{Leistung} \\ 1\text{MWh}/15\text{min} \times 4 &= 1 \text{ MW} \end{aligned}$$

Die Leistungswerte für den Stromverbrauch und die Stromerzeugung aus Wind- und Sonnenkraft sind in Abbildung 10 dargestellt. Im Jahresmittel ist der höchste Stromverbrauch in Deutschland um 12:00 Mittags. Es gibt aber einen erheblichen Unterschied von Werktagen mit einer benötigten Leistung von 63GW, an denen die Industrieproduktion viel Strom verbraucht und den Wochenenden mit nur 50GW. Die Stromerzeugung ist tageszeitlich sehr abhängig von der Sonneneinstrahlung und erreicht ihr Maximum von ca. 35GW um ca. 13:00. Das heißt, im Jahresmittel fehlen in Deutschland an Werktagen in der Nacht um 00:00 der Faktor 2,7 an Sonnen- und Windeistung und am Tage um 12:00 der Faktor 1,8.

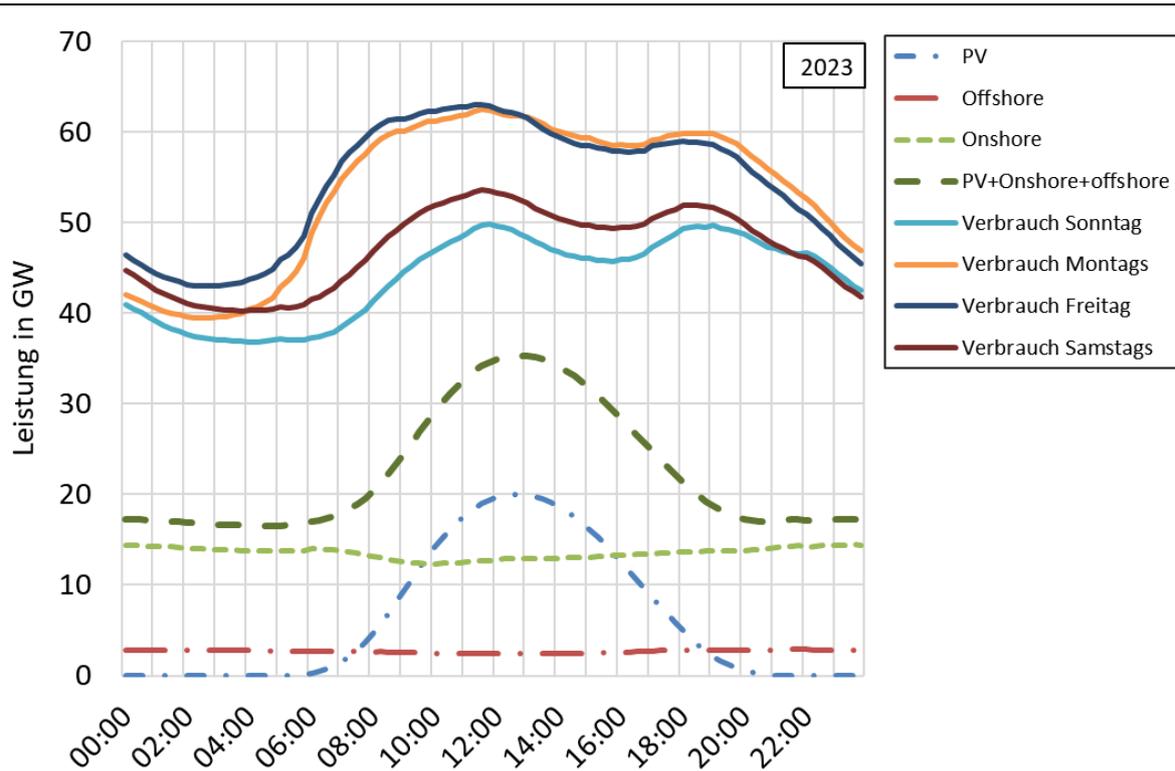


Abbildung 10 Leistungswerte im Jahresmittel in Abhängigkeit der Tageszeit

## Anteil der Wind- und Sonnenenergie über die Jahre

In den Abbildung 11 bis Abbildung 13 sind die Tagessummenwerte der Wind- und Sonnenenergie der Jahre 2016 – 2023 dargestellt. Es wird deutlich, dass der Anteil der Sonnenenergie von 2016 bis 2023 in den Sommermonaten von max. 220 GWh/Tag stetig auf 356 GWh/Tag gestiegen ist.

Das Minimum von <10 GWh/Tag verbleibt aber in den Wintermonaten auf niedrigem Niveau. Das bedeutet, dass auch bei einem extremen Ausbau der Sonnenenergie an trüben, regnerischen oder verschneiten Wintertagen auch in der Zukunft keine solare Ernte zu erwarten ist. Der klimaneutrale Strom muss dann von anderen nachhaltigen Energieträgern zur Verfügung gestellt werden.

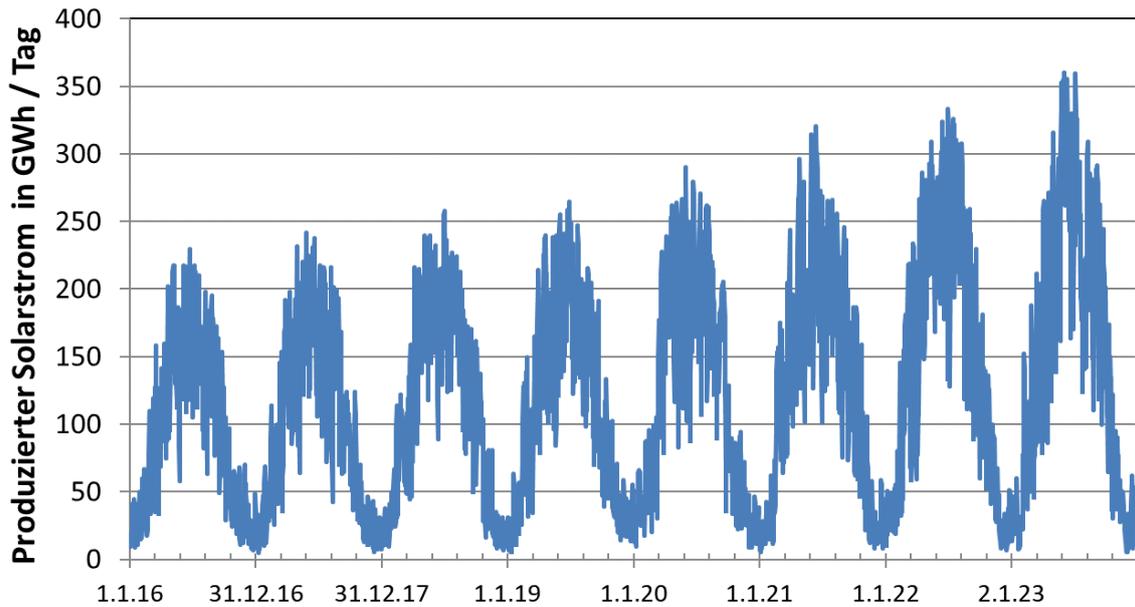


Abbildung 11 Tagessummenwerte des produzierten Solarstromes 2016 - 2023

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.

Doch auch hier gilt, dass sich das Minimum von Wind <20 GWh/Tag über die Jahre auf niedrigem Niveau verbleibt. Der klimaneutrale Strom muss dann von anderen nachhaltigen Energieträgern zur Verfügung gestellt werden.

Es wird deutlich, dass die Windflauten im Winter gefährlicher sind als im Sommer, da sie am Tage nicht durch Strom aus Sonnenenergie ersetzt werden können.

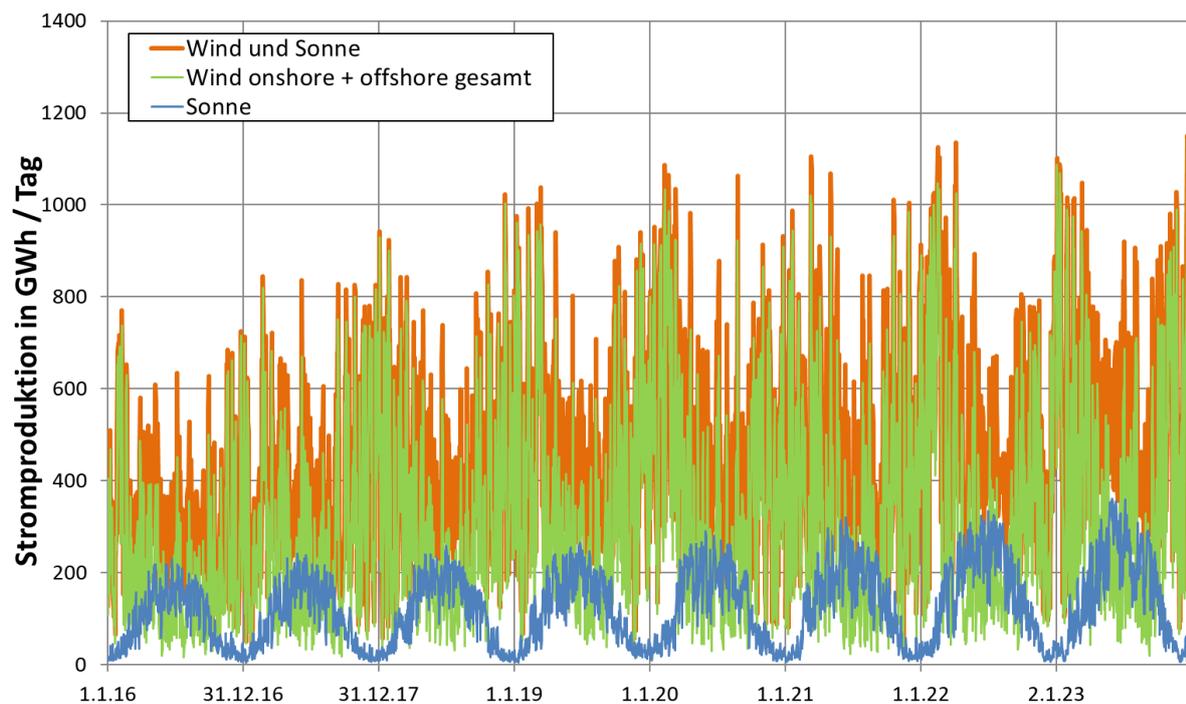


Abbildung 12 Tagessummenwerte von Wind- und Sonnenenergie 2016 - 2023

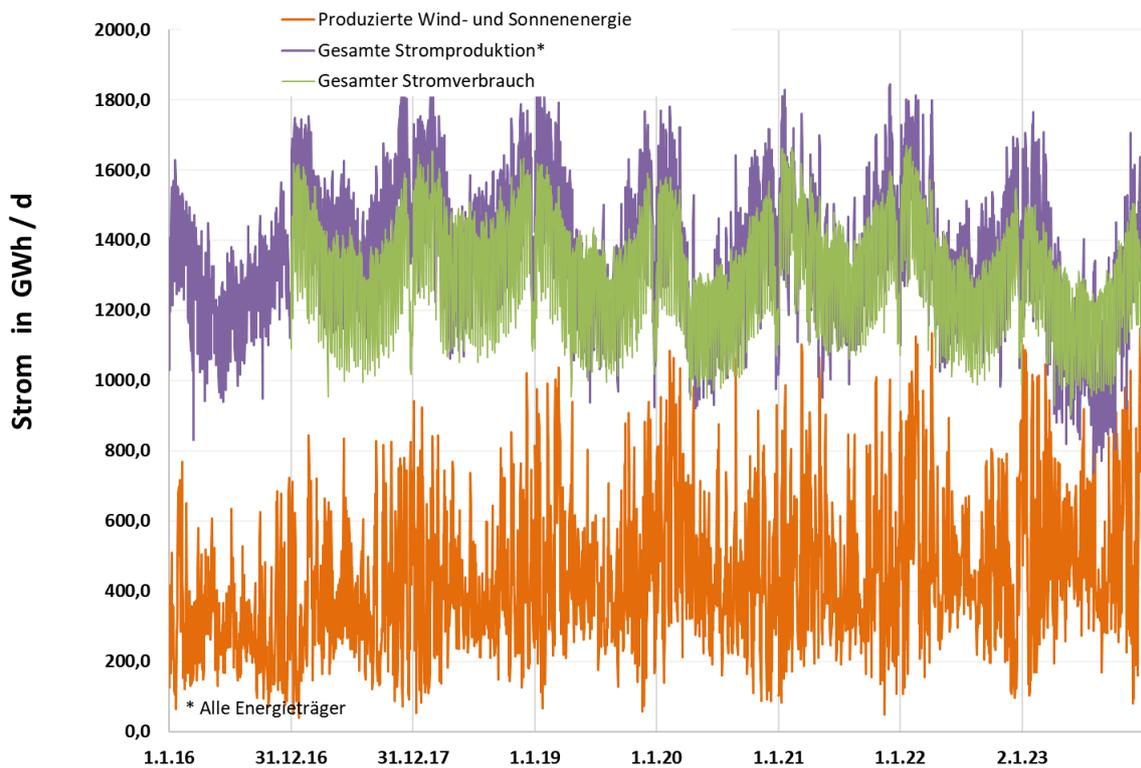


Abbildung 13 Tagessummenwerte des produzierten und verbrauchten Stromes 2016 - 2023

## Jahresbilanz der Stromproduktion aller Energieträger

Abbildung 14 zeigt die Jahresbilanz des produzierten Stromes 2023 in Deutschland, aufgeteilt nach Energieträgern. Die gesamte produzierte und ins Netz eingespeiste Strommenge in Deutschland betrug 448 TWh und die verbrauchte Strommenge betrug 457 TWh. Das bedeutet, dass Deutschland im Jahre 2023 in der Summe eine geringe Strommenge von ca. 9 TWh aus anderen Ländern importiert hat.

Das ist eine Trendwende, denn wie Abbildung 16 zeigt, konnte Deutschland in der Vergangenheit im Jahresmittel Strom exportieren aber in 2023 musste Strom importiert werden.

Am produzierten Strom, der ins öffentliche Stromnetz eingespeist wurde, haben die Wind- und Sonnenenergie mit 197,4 TWh zusammen einen Anteil von 44%. Nimmt man die weiteren erneuerbaren Energieträger Biomasse (38,2 TWh), Wasserkraft (11,4 TWh), Pumpspeicher (11,1 TWh) und sonstige Erneuerbaren (1,2 TWh) hinzu, dann ergibt sich ein Anteil von 59% an erneuerbaren Energieträgern an der Gesamtstromerzeugung in Deutschland. Die Stromerzeugung aus Braunkohle (77,8 TWh) und Steinkohle (39,8 TWh) ergab einen Anteil von 26,2 % an der Gesamtstromerzeugung in Deutschland. Die Ära des Stroms aus Kernenergie, endete am 15.4.2023. Ihr Anteil erreichte nur noch 6,7%.

Es ist zu beachten, dass die **selbstgenutzte** Strommenge aus privaten oder firmen PV- oder Windenergieanlagen in den Daten der Bundesnetzagentur nicht berücksichtigt sind. Diese Anteile sind also auch nicht in dieser gezeigten Bilanz enthalten. Laut FhG-ISE<sup>6</sup> wurden in 2023 6,4TWh PV-Strom in privaten Haushalten selbst genutzt und verbraucht.

<sup>6</sup> „Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2023“; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

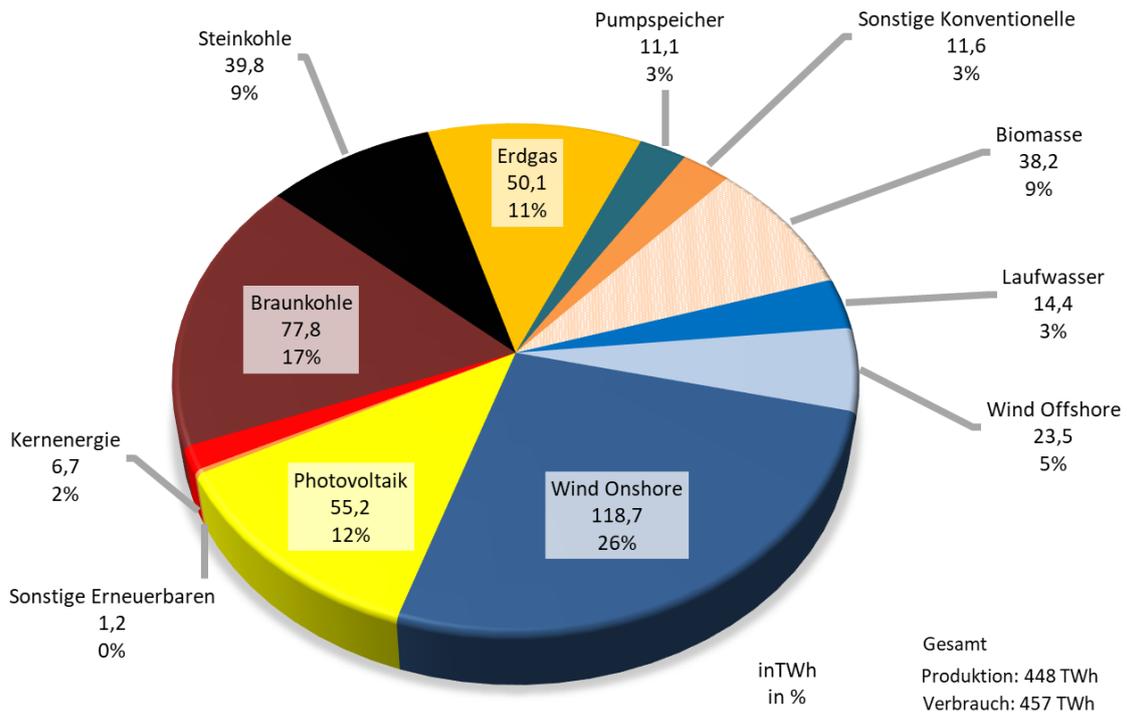


Abbildung 14 Jahresbilanz des produzierten Stromes 2023 in Deutschland

Zur Überprüfung der Jahressummenwerte, wurde die Auswertung des FhG-ISE<sup>7</sup> herangezogen und die Werte in Tabelle 1 der Auswertung basierend auf den SMARD Daten gegenübergestellt. Dementsprechend unterscheidet sich das Ergebnisse in der Jahresstromerzeugung mit 2,6% 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 42,2%, die der Biomasse um 10,6% unterbewertet und die der Sonnenenergie um 3,1% überbewertet.

Der Unterschied zwischen den Ergebnissen für die Sonnen- und Windenergie des FhG-ISE und SMARD Daten beträgt lediglich 2,1%. Der gesamte Anteil der Erneuerbaren entsprechend der FhG-ISE Zahlen beträgt mit 260,6 TWh oder 59,7% an der Stromproduktion (FhG-ISE = 436,7 TWh), wogegen dieser Anteil entsprechend der SMARD Daten 59% beträgt.

Die Unterschiede der Summenwerte zwischen dem FhG-ISE und den SMARD Daten sind also mit 0,7%-Punkten gering.

<sup>7</sup> „Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2023“; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

	SMARD in TWh	ISE in TWh	Δ in TWh	Δ in %
Biomasse	38,2	42,3	-4,1	-10,6
Laufwasser	14,4	20,5	-6,1	-42,2
Wind Offshore	23,5	23,52	0,0	0,0
Wind Onshore	118,7	116,25	2,4	2,0
Photovoltaik	55,2	53,5	1,7	3,1
Sonstige Erneuerbaren	1,2	4,5	-3,3	-287,5
Kernenergie	6,7	6,7	0,0	0,6
Braunkohle	77,8	77,5	0,3	0,4
Steinkohle	39,8	36,1	3,7	9,2
Erdgas	50,1	45,8	4,3	8,7
Pumpspeicher	11,1	0	11,1	100,0
Sonstige Konventionelle	11,6	10,04	1,6	13,4
Wind Gesamt	142,2	139,8	2,4	1,7
Wind + PV gesamt	197,4	193,3	4,2	2,1
<hr/>				
Gesamte Stromerzeugung 2023 in Deutschland	448,5	436,7	11,8	2,6
Gesamter Stromverbrauch 2023 in Deutschland	456,8	456,8	0,0	0,0

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

Abbildung 15 zeigt den Anteil der produzierten Wind- und Sonnenenergie 2023 im Verhältnis zur gesamten Endenergie des Jahres 2022 nach Daten von SMARD und der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.<sup>8</sup>. Darin wird deutlich, dass nur ein sehr kleiner Anteil von 9,3% der verbrauchten Endenergie aus der Wind- und Sonnenkraft stammt.

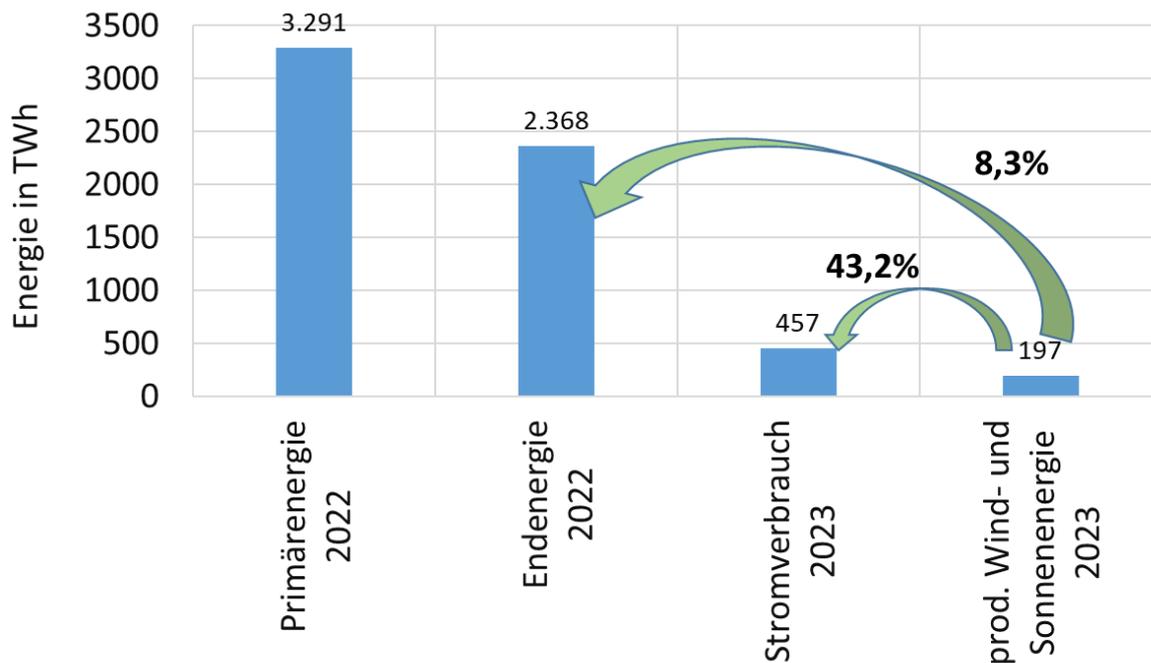


Abbildung 15 Wind- und Sonnenenergie im Verhältnis zur Endenergie aller Sektoren

<sup>8</sup> Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB) Stand 11 / 2023, „Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland 1990 bis 2022“

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 59% in 2023.

Dabei wird außer acht gelassen, dass für alle Sektoren der Anteil aller erneuerbaren Energieträger<sup>9</sup> in 2022 (Wind, Sonne, Biomasse, Abfälle, Deponiegas, Wasserkraft, sonstige) zur Stromerzeugung, zur Wärme- und Kälteerzeugung und für den Verkehr an der Endenergie von 2368 TWh, in Deutschland nur 507 TWh oder 21,4% betragen hat. Da aber ein Ausbau der Wasserkraft und die Nutzung der Biomasse nur noch begrenzt umsetzbar ist, würden die fehlenden 79,6% oder 1861 TWh auf die Wind- und Sonnenkraft entfallen.

Wie soll das gehen? Das sind nochmals ca. 10x der erzeugten Energiemenge von Wind- und Sonne wie bereits heute. Also ca. 300.000 Windräder (ohne der Berücksichtigung von Repowering bestehender WEA und der Möglichkeit von größeren WEA als heute) und das entsprechend vielfache der Fläche an Photovoltaik.

Ein Vorschlag des FhG-IEE<sup>10</sup> zielt darauf ab, den Endenergieverbrauch in 2050 auf 1850 TWh zu begrenzen und ca. 1000 TWh in Deutschland durch Wind- und Sonnenenergie zu produzieren. Das wären dann aber immer noch in der Summe ca. 200.000 WEA und eine entsprechende PV Vergrößerung. Die restlich benötigte Energiemenge müsste aus dem Ausland importiert werden.

## Jahresbilanz der Stromproduktion der Energieträger über die Jahre

Aus Abbildung 16 wird deutlich, dass sich der Stromverbrauch in 2023 mit 457 TWh um 5% gegenüber 2022 mit 484 TWh verringert hat. Damit liegt der Verbrauch sogar noch unterhalb dem Verbrauch des „Corona Jahres“ 2020 mit 475 TWh. Im Corona Jahr 2020 war er damals durch den Corona bedingten Lockdown im März / April 2020 deutlich niedriger als gegenüber den Vorjahren.

Es bleibt zu analysieren, ob der Rückgang des Verbrauches in 2023 durch Einsparmassnahmen hervorgerufen wurde oder durch einen Rückgang der Wirtschaftsleistung in Deutschland. Der Rückgang ist auch deshalb verblüffend, weil zusätzliche Stromverbraucher wie e-Fahrzeuge (6,1 TWh<sup>9</sup>) und Wärmepumpen hinzugekommen sind.

Die Stromproduktion ging von 540 TWh in 2017 ausgehend kontinuierlich zurück auf 457 TWh in 2023. Hier zeigt sich auch das Abschalten, der aus Kernkraft erzeugten Stromes. Das ist eine Trendwende, denn bisher konnte Deutschland im Jahresmittel Strom exportieren. Aber in 2023 musste erstmalig Strom importiert werden.

---

<sup>9</sup> Umweltbundesamt; Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, Stand 09 / 2023

<sup>10</sup> [https://www.herkulesprojekt.de/de/Barometer/barometer\\_2018/Endenergiebedarf2050.html](https://www.herkulesprojekt.de/de/Barometer/barometer_2018/Endenergiebedarf2050.html)

## Stromproduktion und -verbrauch in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2023

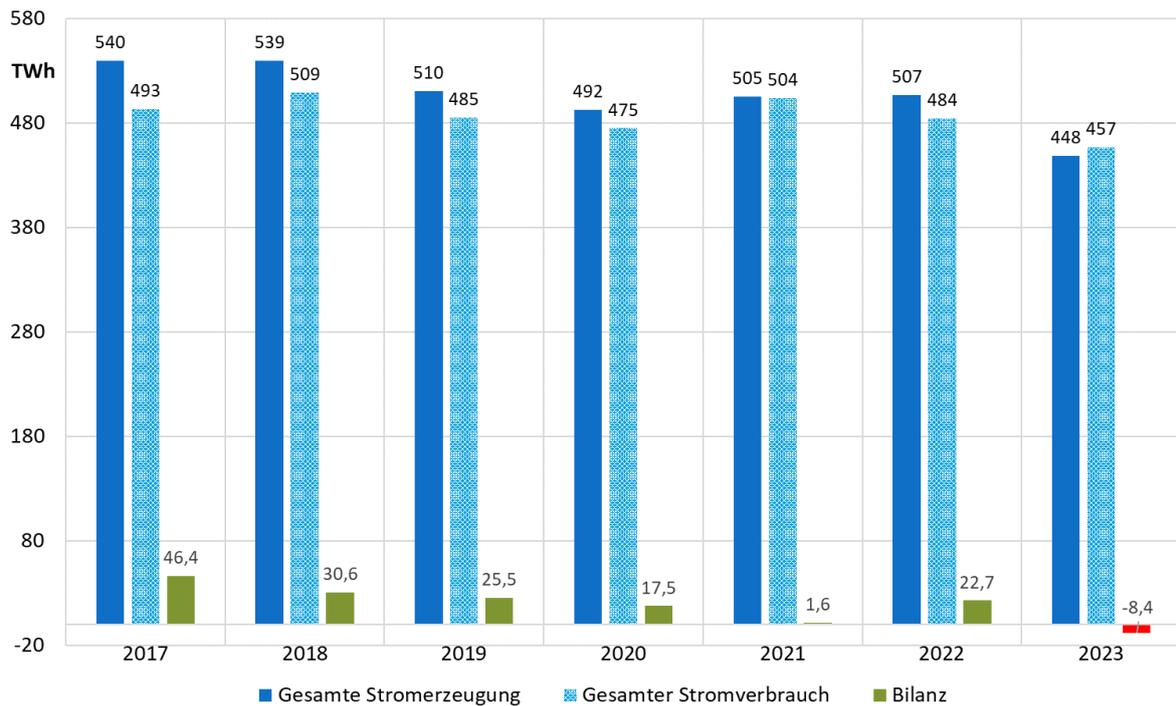


Abbildung 16 Strombilanzen der Jahre 2017 – 2023

Die Anteile der einzelnen Energieträger an der Gesamtstromproduktion kann Abbildung 17 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 Onshore Windenergie zeigte einen deutlichen Zuwachs, wohingegen die Offshore Windenergie nahezu gleich blieb.

Der Anteil an Braunkohle und Steinkohle war gegenüber den Vorjahren deutlich geringer.

# Stromproduktion und -verbrauch in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2023

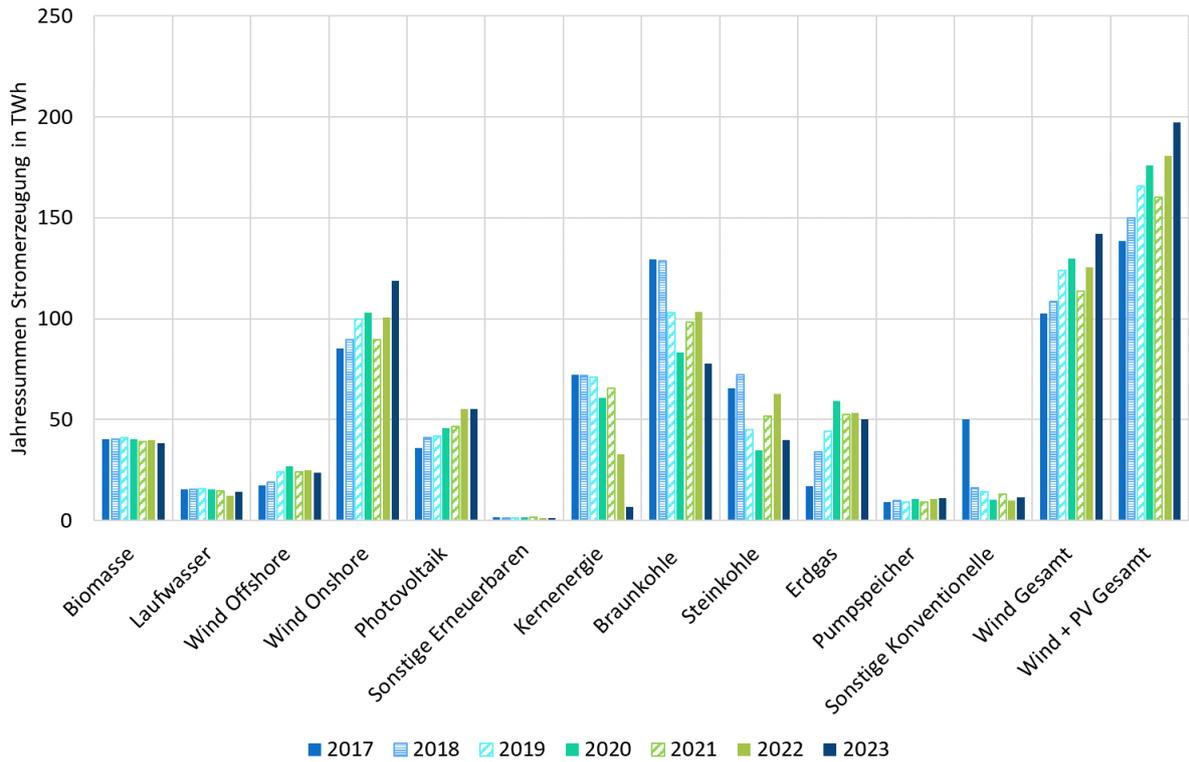


Abbildung 17 Jahressummen der Energieträger 2017 - 2023

## Deckungsanteil und normierte Werte

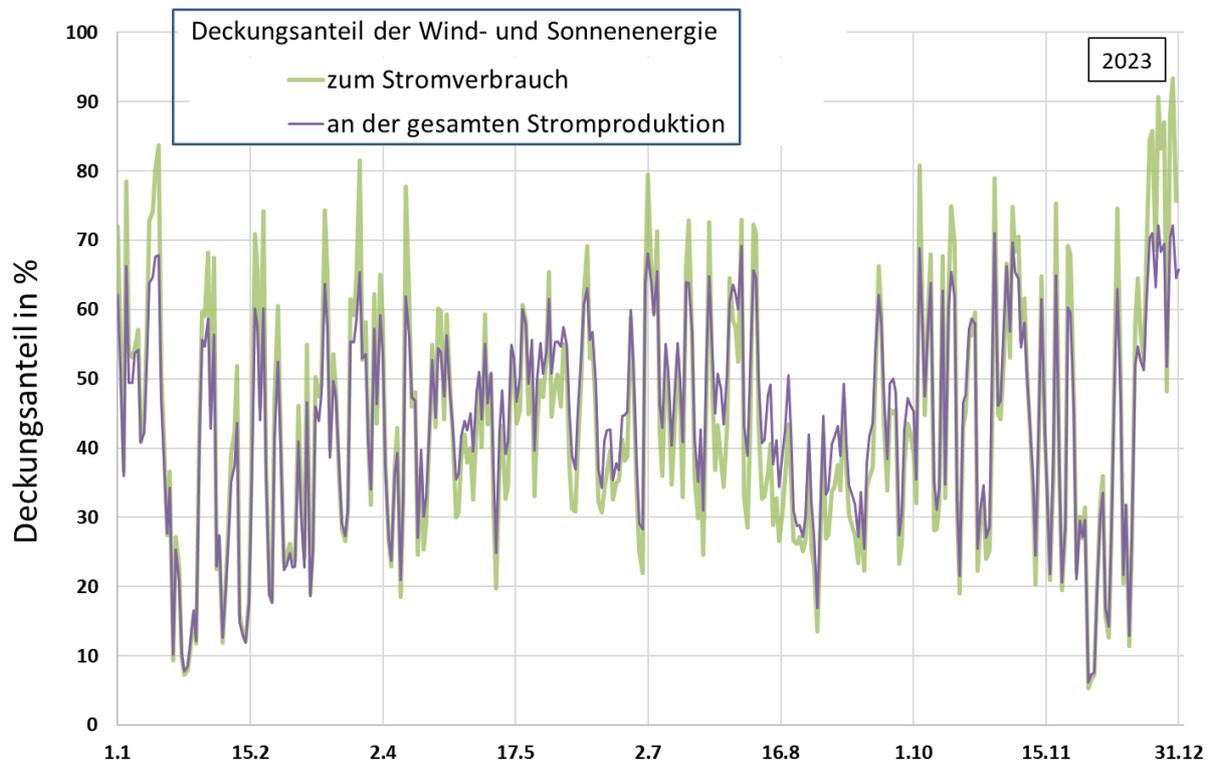


Abbildung 18 Deckungsanteil von Wind- und Sonnenenergie

Abbildung 18 zeigt den Deckungsanteil der Wind- und Sonnenenergie an der Gesamtstromerzeugung und am Gesamtstromverbrauch in Deutschland im Jahre 2023. Hier wird deutlich, dass der Deckungsanteil an manchen Tagen, bezogen auf die Stromproduktion bereits über 70% und bezogen auf den Stromverbrauch bereits sogar über 90% betragen hat. Auf der anderen Seite wird deutlich, dass es auch häufig Tage mit einem Deckungsanteil von nur 10 % gegeben hat.

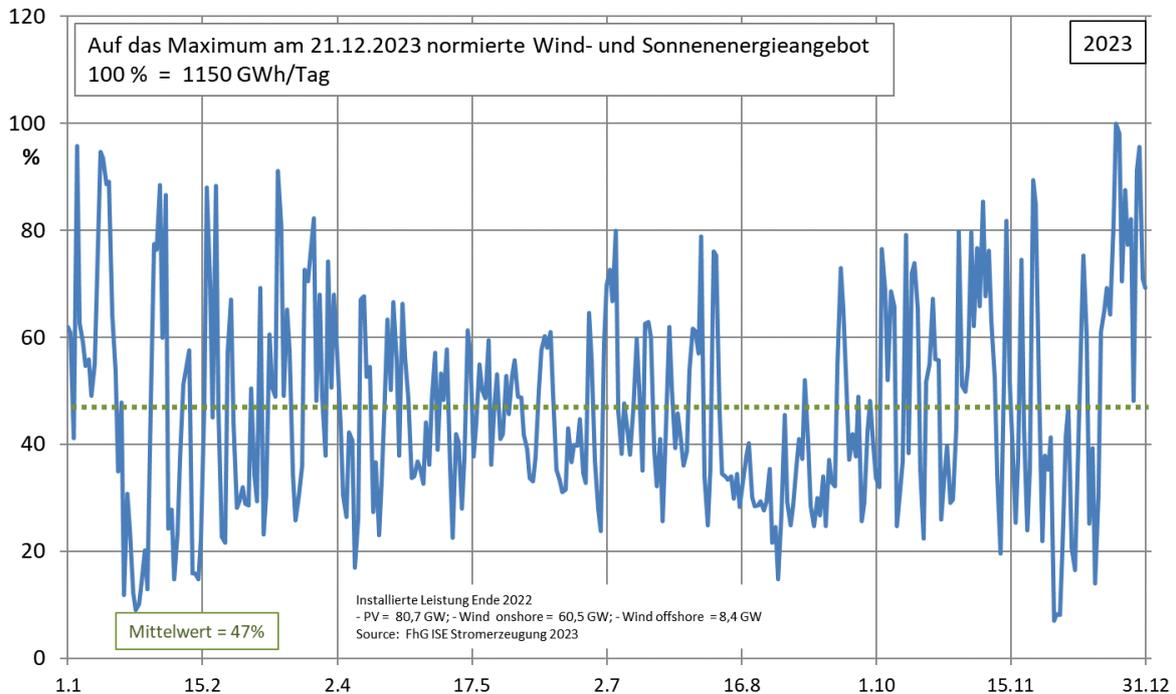


Abbildung 19 Normiertes Wind- und Sonnenenergie-Angebot in Deutschland

Abbildung 19 zeigt das normierte Wind- und Sonnenenergie-Angebot in Deutschland für das Jahr 2023. Es ist bezogen auf den 21.12.2023, an dem der höchste Wind- und Sonnenenergieertrag mit 1150 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 2023 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 7.04.2023 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 Windenergie- und Photovoltaikanlagen wird die Gesamtstrommenge im Mittel aufgrund der Wetterverhältnisse in Deutschland nach Abbildung 20 aber nur 47% betragen. Das heißt, es müssen über **200 %** 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.

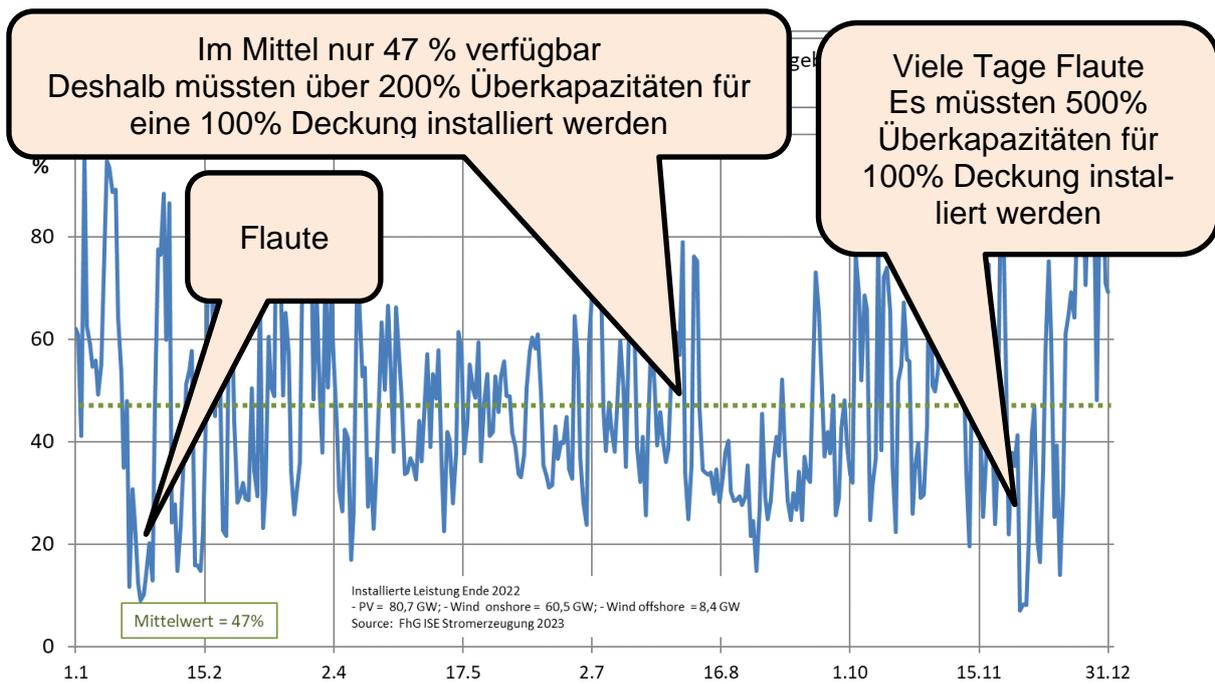


Abbildung 20 Normiertes Wind- und Sonnenenergie-Angebot in Deutschland

In Abbildung 21 ist das normierte Wind- und Sonnenenergieangebot für ganz Deutschland auf der Basis von 15 Minuten Werten dargestellt, mit einem kurzzeitigen Spitzenwert am 20.02.2023. Der Mittelwert betrug nur 38%. 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.

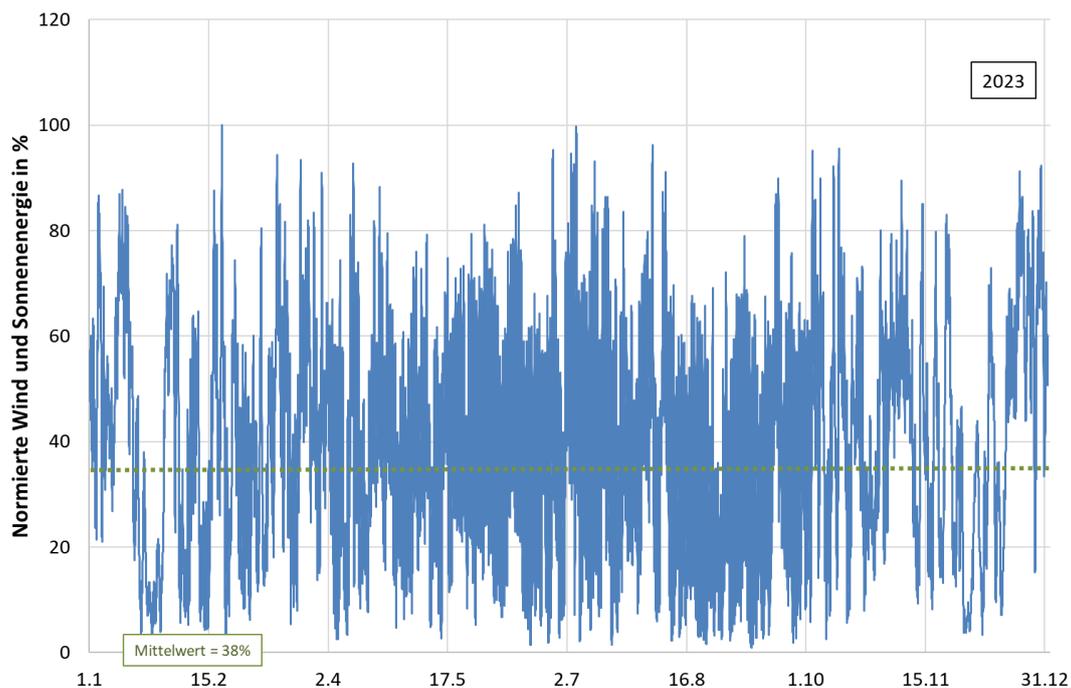


Abbildung 21 Normiertes Wind- und Sonnenenergie-Angebot, Basis 15 Minuten Werten

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

Das bedeutet,

- dass man Kurzzeit- und Langzeit-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 15 gezeigt hat, wird es unmöglich sein die fehlenden Energiemengen von 1861 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 2023 mit 197,4 TWh einen Anteil von 44,0% an der Gesamtstromproduktion und von 43,2% am Gesamtstromverbrauch in Deutschland.
- Der Stromanteil aus allen erneuerbaren Energieträger, Biomasse, Wasserkraft, Wind- und Sonnenenergie an der Stromproduktion in Deutschland betrug 59%.
- Gegenwärtig beträgt der Anteil der Wind- und Sonnenenergie an der gesamten in Deutschland benötigten Endenergie aber nur 8,3%.
- 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. 47% 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 über 200 % 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 batteriebasierte Kurzzeit-Stromspeicher und Langzeit-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.