

Stromproduktion und Stromverbrauch im Jahre 2024 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
14.02.2025

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 2024. Also insgesamt $366 \times 24 \times 4 = 35136$ 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.

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

¹ Kontakt: harry.schuele@t-online.de

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

³ „Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2024“; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE; 13.01.2025

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 2024. 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

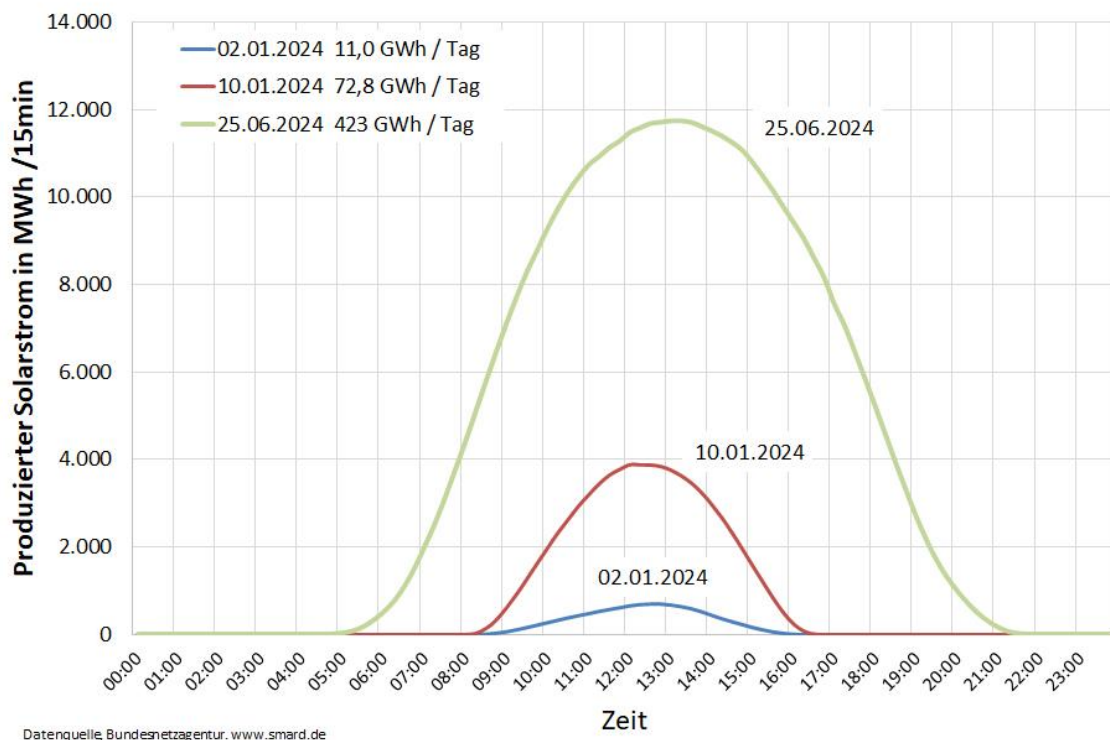


Abbildung 1 Produzierter Solarstrom an ausgewählten Tagen

Abbildung 1 zeigt den in ganz Deutschland produzierten Solarstrom an drei ausgewählten Tagen im Jahre 2024. 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 25.06. wurde die höchste Energiemenge von 423 GWh Solarstrom in 2024 erzeugt, wohingegen es am 02.01. nur 11,0 GWh waren. Das ist ein Verhältnis von ca. 1:38.

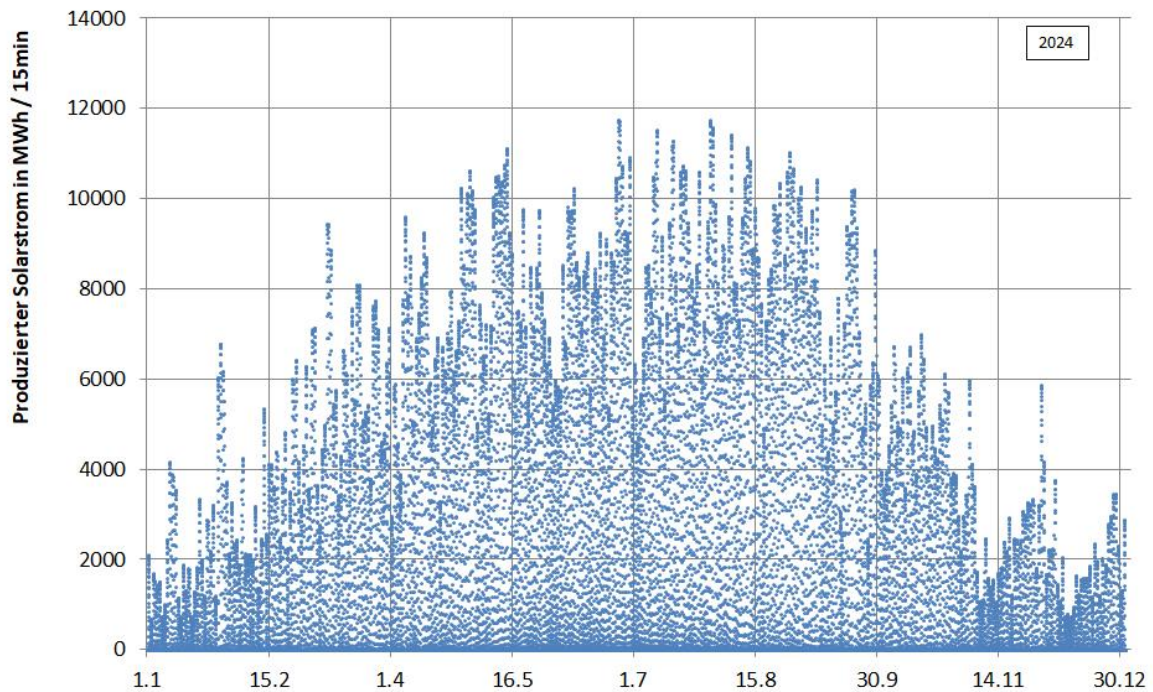


Abbildung 2 15 Minuten Werte des produzierten Solarstromes im Jahresverlauf 2024

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 11.000 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 9000 MWh / 15min in der Tagessumme nur 220 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.

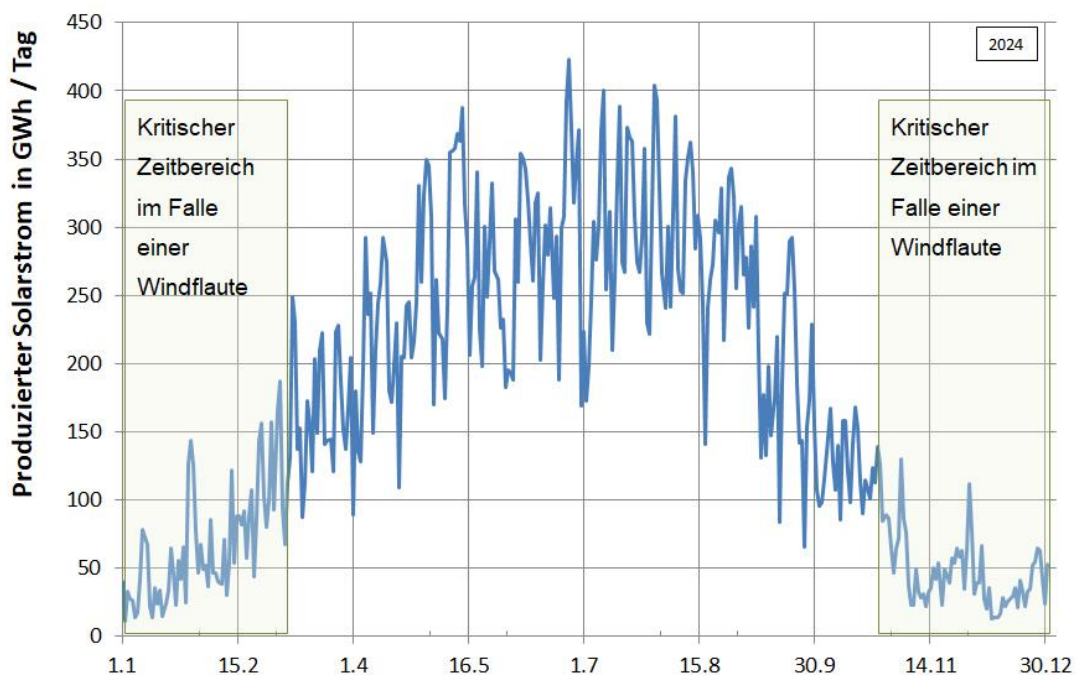


Abbildung 3 Tagessummenwerte des produzierten Solarstromes im Jahresverlauf 2024

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

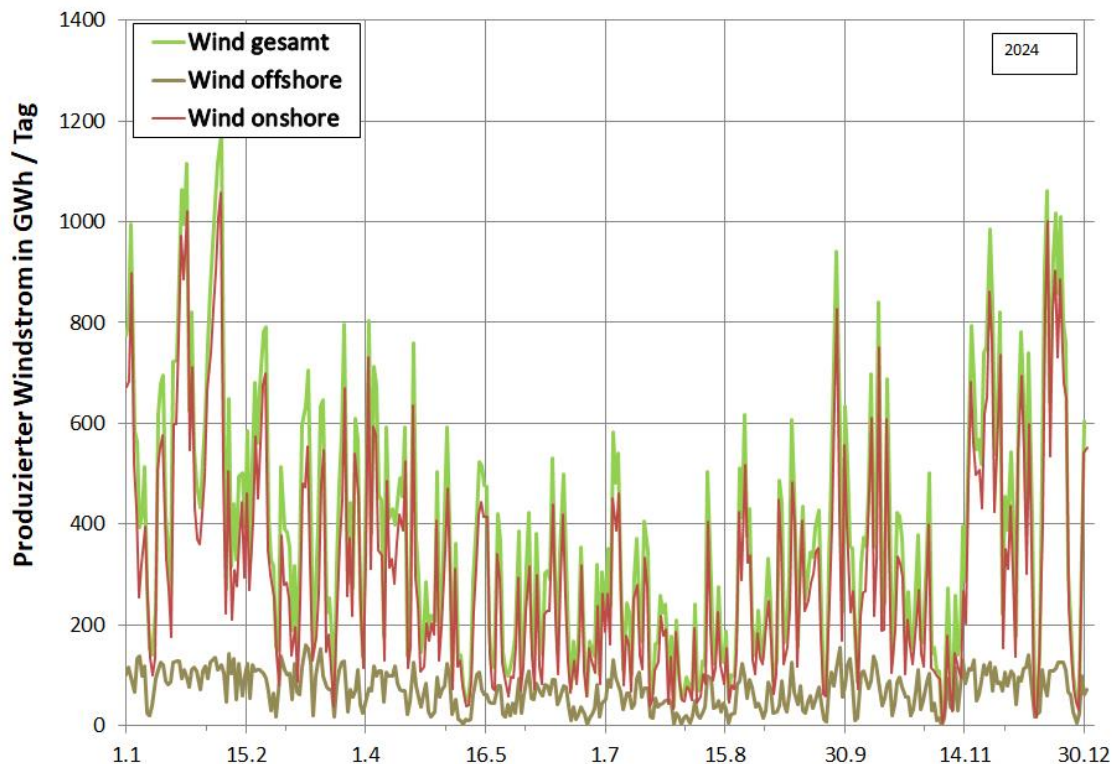


Abbildung 4 Tagessummenwerte des produzierten Windstromes im Jahresverlauf 2024

Abbildung 4 zeigt die Tagessummenwerte des produzierten Windstromes im Jahresverlauf 2024 für ganz Deutschland. Dieser Windstrom wurde aus knapp 30.00 onshore und offshore Windenergieanlagen (WEA) entsprechend der folgenden Tabelle erzeugt.

	onshore ⁴	offshore ⁵
Anzahl	28.717	1639
Installierte Leistung	63551 GW	9,2 GW
Geplante kumulierte Leistung bis 2030	110 GW	22 GW

Es ist augenscheinlich, dass in den Herbst, Winter und Frühjahrsmonaten die produzierte Strommenge durch Windenergie höher sein kann 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

⁴ Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland im Jahr 2024; Deutsche Winguard GmbH

⁵ Status des Offshore Windenergieausbaus in Deutschland 2024; Deutsche Winguard GmbH.

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 2024 für ganz Deutschland. Hier werden die sehr hohen Fluktuationen in den Tagessummen sichtbar. Am 11.01. betrug die Tagessumme aus Sonnen- und Windenergie zum Beispiel nur 207 GWh und wenige Tage später, am 24.01. wieder 1157 GWh. Das ist ein Verhältnis von 1:5,6. Es sind aber auch lange Perioden von bis zu 11 Tagen (02.11.-13.11.) ersichtlich, an denen die mittlere Stromproduktion aus Sonnen- und Windenergie weit unter 300 GWh / Tag betragen hat. Oder der sehr lange Zeitraum von annähernd einem Monat im Sommer vom 18.07. – 08.08. mit unter 500GWh/Tag.

Desweiteren wird deutlich, dass der Beitrag der Windenergie mit 137 TWh im Jahre 2024 ca. 2,2x Mal so groß war wie der Beitrag der Sonnenenergie mit 63 TWh.

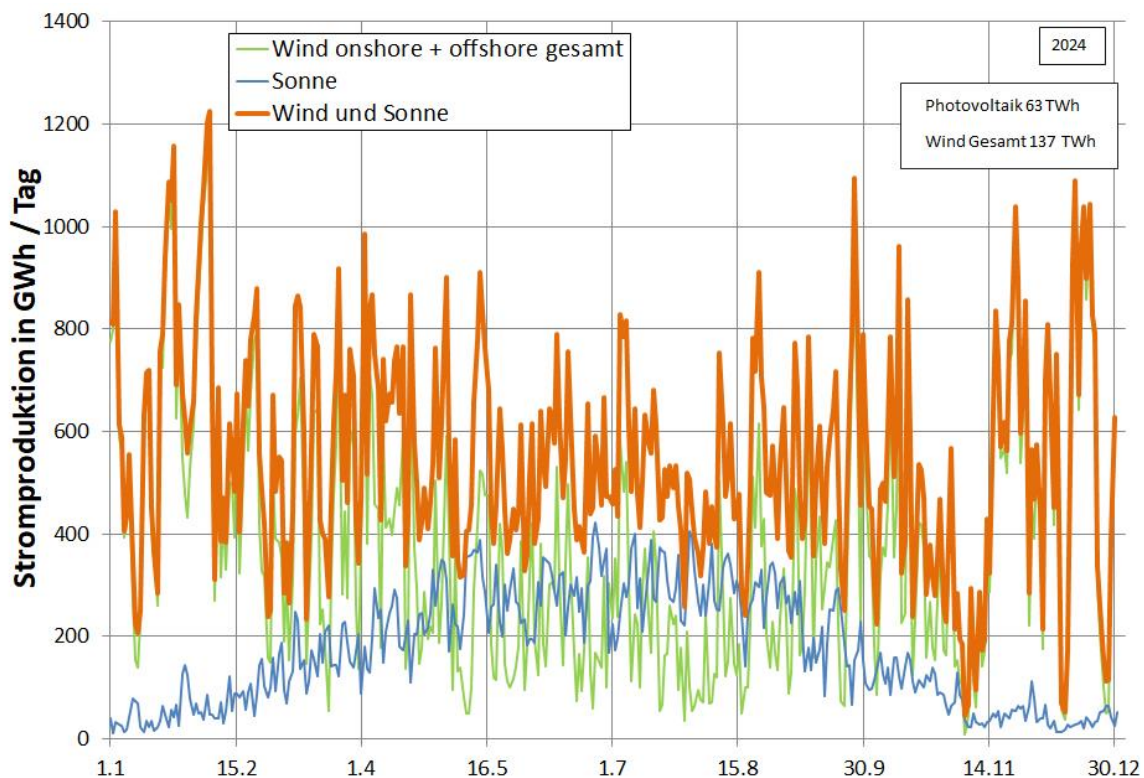


Abbildung 5 Tagessummenwerte des produzierten Solar- und Windstromes

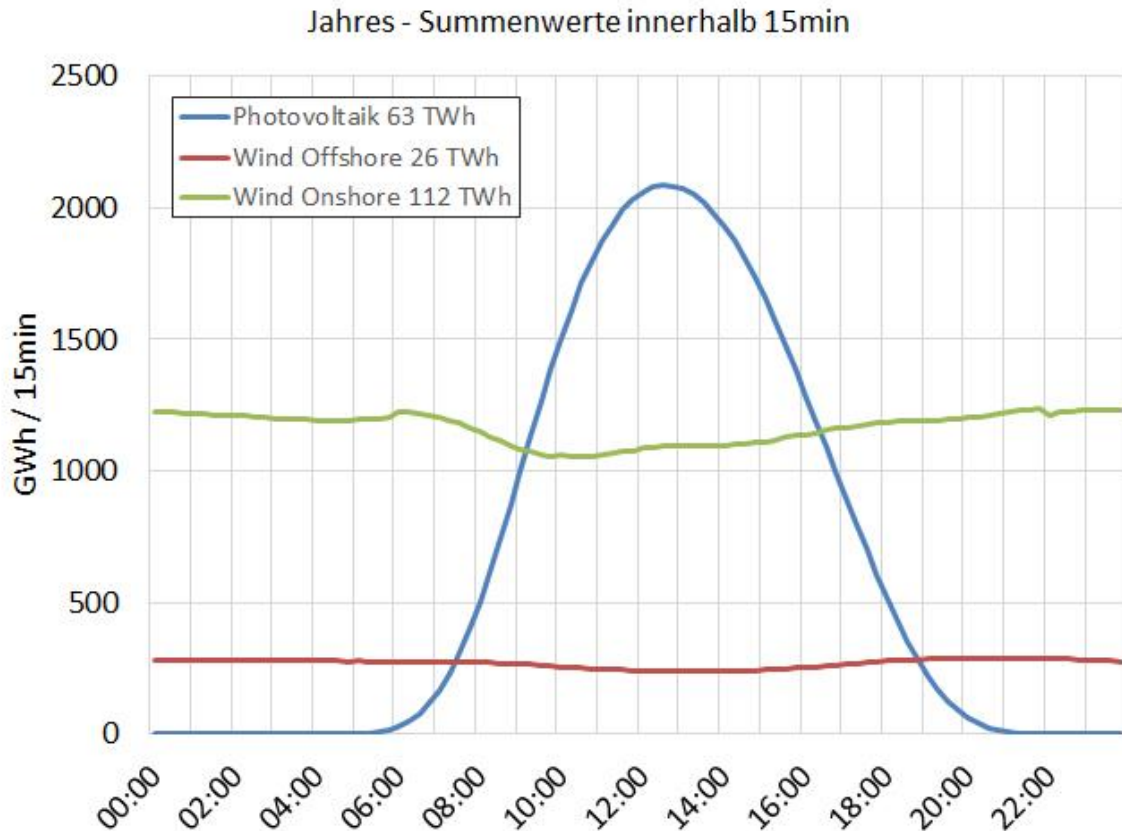


Abbildung 6 Summe aller 15 min Werte des Jahres 2024 im Tagesverlauf

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

$i = 15$ 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 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.

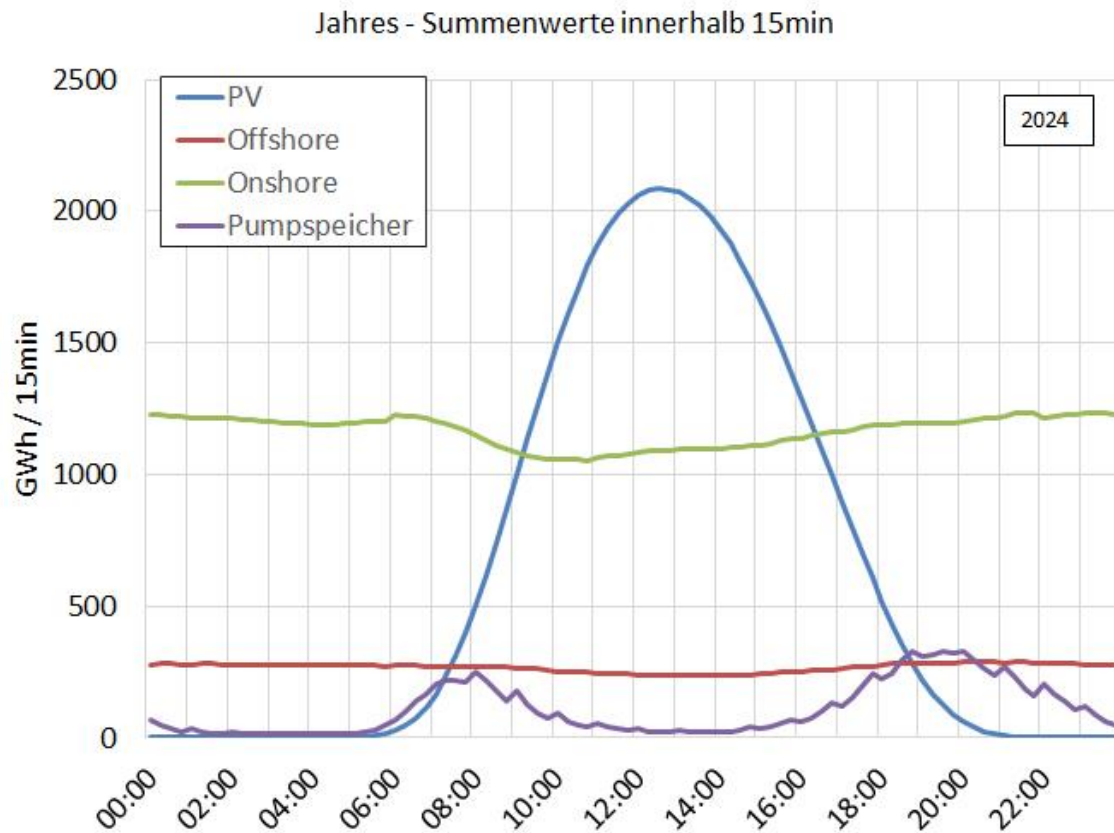


Abbildung 7 Summe aller 15 min Werte des Jahres 2024 im Tagesverlauf, zusätzlich mit den Pumpspeichern

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 2024 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. Am Ostersonntag, der 31.03.2024 war der Stromverbrauch in 2024 mit 864 GWh/d am geringsten.

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 1000 – 1300 GWh / Tag. Dies ist auf einen geringeren Heizwärmebedarf und Lichtbedarf in den Sommermonaten zurückzuführen. In den Sommermonaten werden aber vermehrt Kälteaggregate und Klimaanlage angeschaltet, was den Vorteil wieder reduziert.

Interessant ist auch, dass an einem der Tage mit dem höchsten Stromverbrauch (1565 GWh/d), dem 18.01., mit einem Tag von sehr geringem Windenergieangebot (nur 260 GWh/d) zusammenfällt.

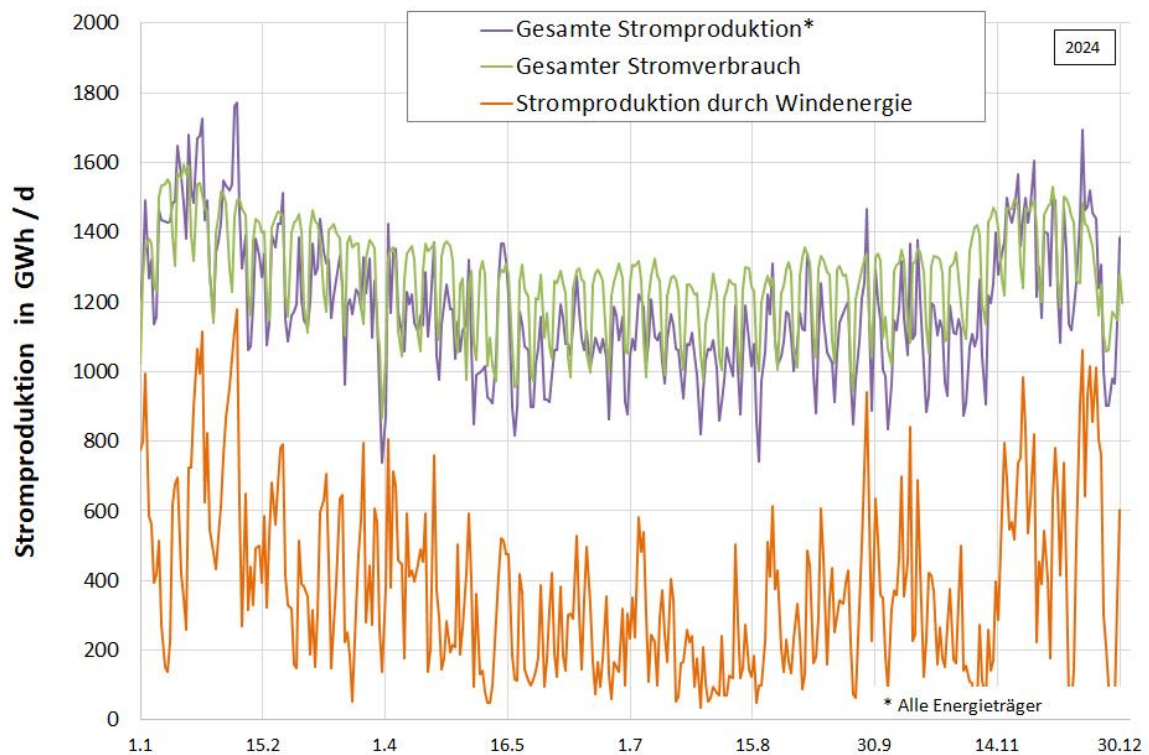


Abbildung 8 Tagessummenwerte des produzierten und verbrauchten Stromes in 2024

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 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. 15% geringer ist als an den Werktagen mit 18.500 MWh/15min.

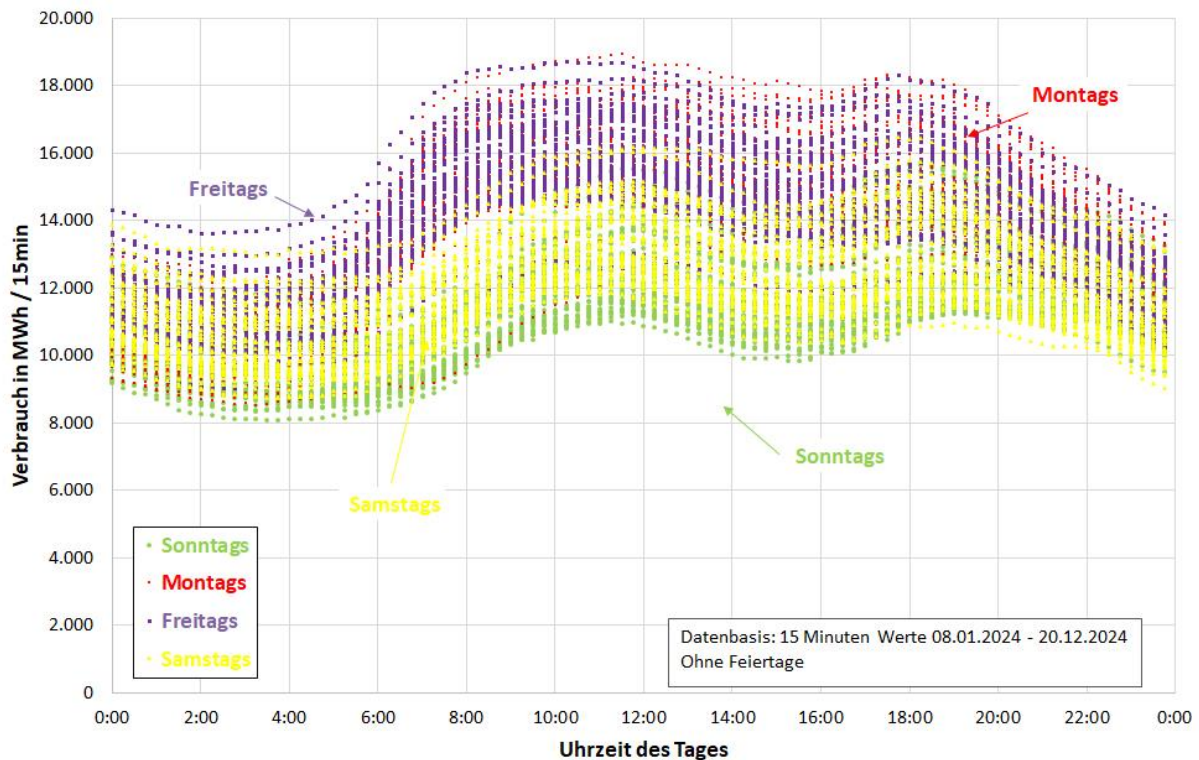


Abbildung 9 Stromverbrauch in Deutschland in Abhängigkeit der Tageszeit

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 51GW. Die Stromerzeugung aus Wind- und Sonnenkraft ist tageszeitlich sehr abhängig von der Sonneneinstrahlung und erreicht ihr Maximum um ca. 13:00. Durch die Schichtarbeit in der Produktion wird in den Morgen- und Abendstunden viel Energie benötigt wodurch es zu einem Defizit durch die Bereitstellung von Wind- und Sonnenkraft kommen wird. Dieses Defizit wird durch Pumpspeicher ausgeglichen.

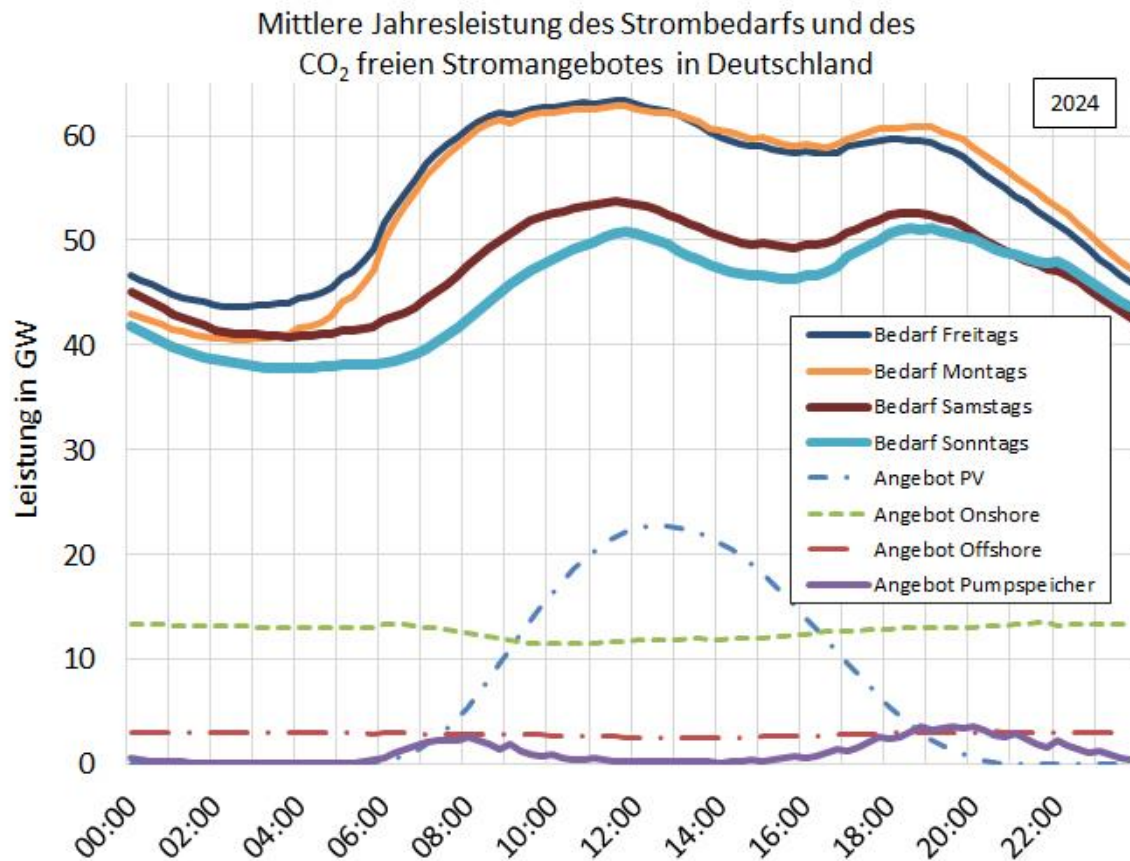


Abbildung 10 Leistungswerte im Jahresmittel in Abhängigkeit der Tageszeit

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 – 2024 dargestellt. Es wird deutlich, dass der Anteil der Sonnenenergie von 2016 bis 2024 in den Sommermonaten von max. 220 GWh/Tag stetig auf 423 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 trübem, 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.

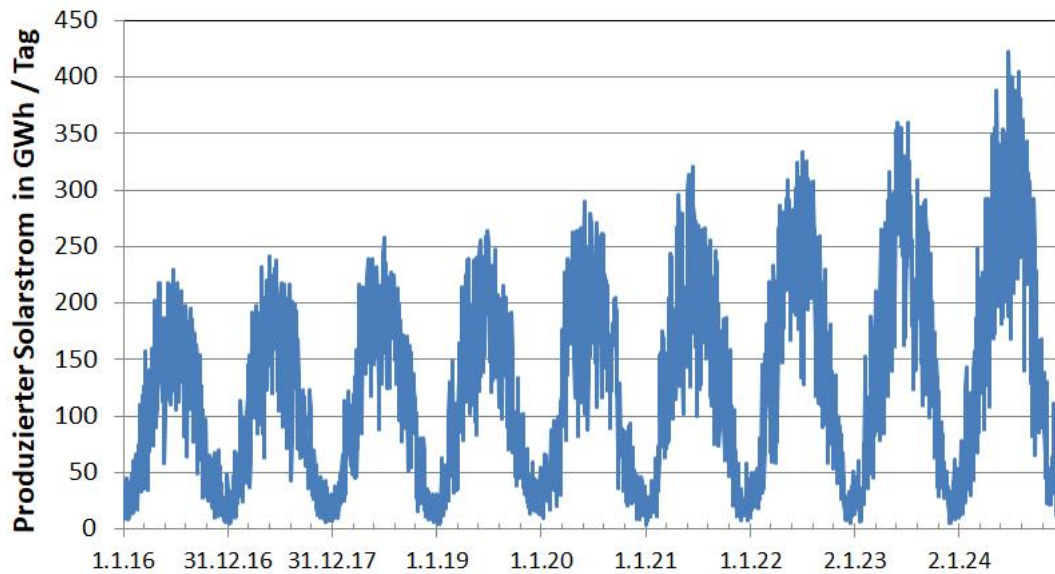


Abbildung 11 Tagessummenwerte des produzierten Solarstromes 2016 - 2024

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.

Deutlich sichtbar ist in Abbildung 13 auch das Abschalten der letzten Kernkraftwerke Mitte 2023, wodurch die Stromproduktion in Deutschland abgefallen ist.

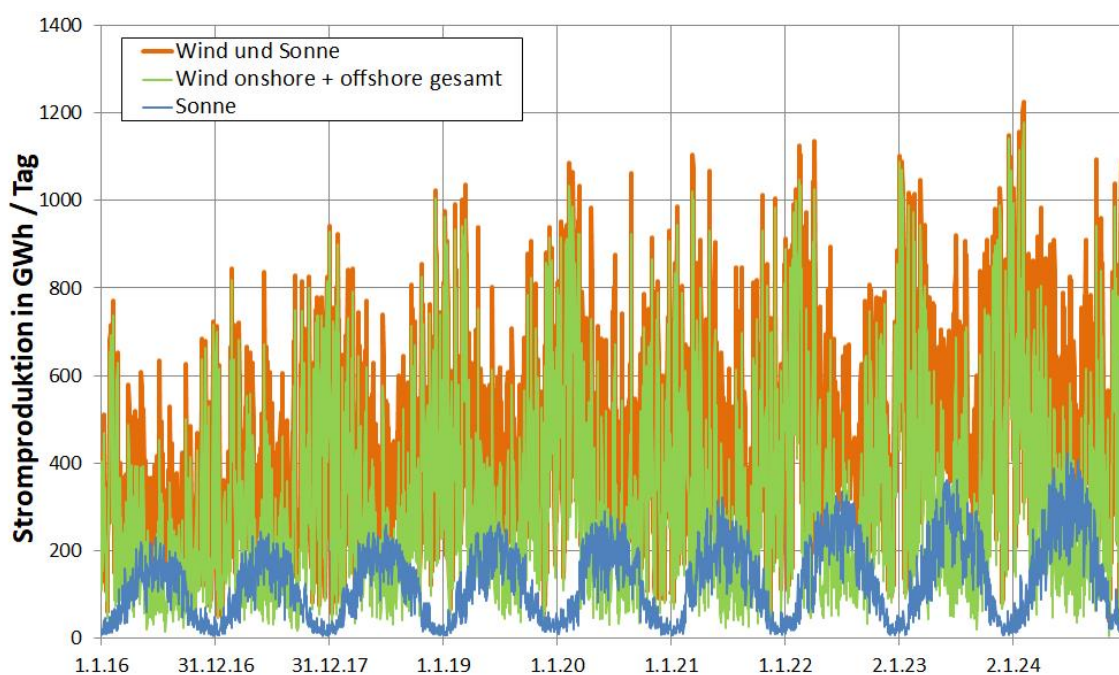


Abbildung 12 Tagessummenwerte von Wind- und Sonnenenergie 2016 - 2024

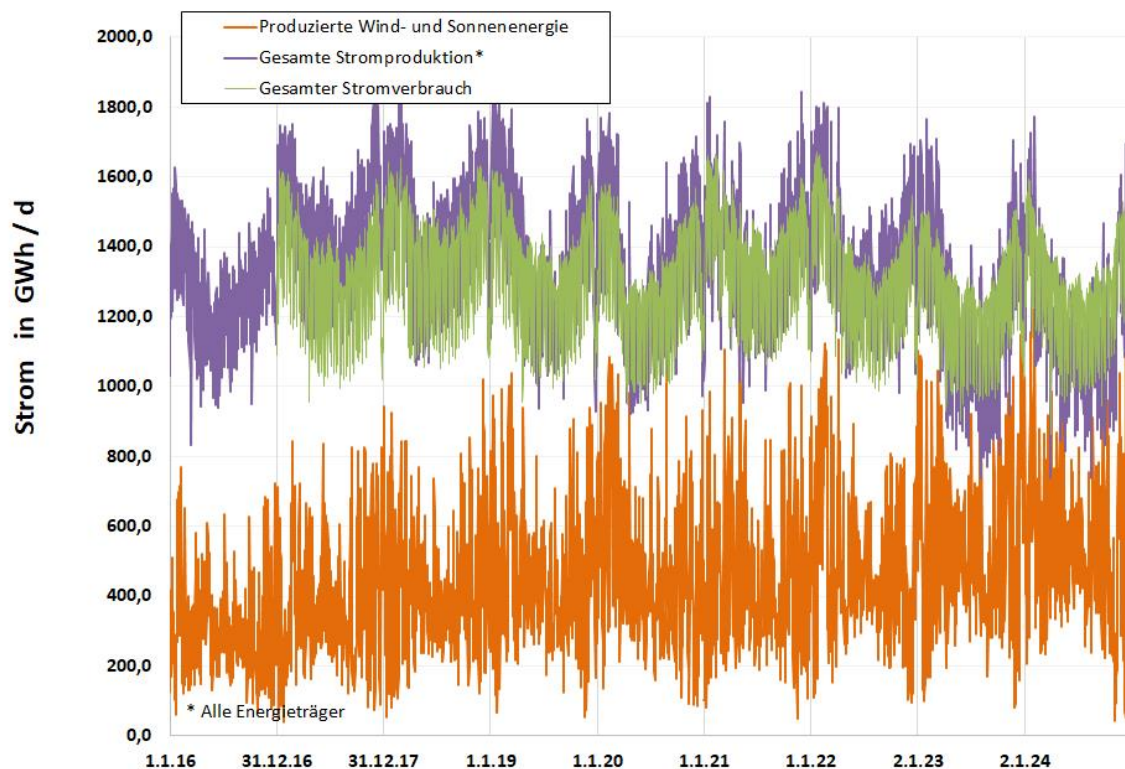


Abbildung 13 Tagessummenwerte des produzierten und verbrauchten Stromes 2016 - 2024

Jahresbilanz der Stromproduktion aller Energieträger

Abbildung 14 zeigt die Jahresbilanz des produzierten Stromes 2024 in Deutschland, aufgeteilt nach Energieträgern. Die gesamte produzierte und ins Netz eingespeiste Strommenge in Deutschland betrug 430 TWh und die verbrauchte Strommenge betrug 464 TWh. Das bedeutet, dass Deutschland im Jahre 2024 in der Summe eine Strommenge von ca. 34 TWh aus anderen Ländern importiert hat.

Das zeigt nun einen Trend, denn wie Abbildung 17 zeigt, konnte Deutschland bis 2022 im Jahresmittel Strom exportieren aber seit 2023 musste Strom importiert werden.

Am produzierten Strom, der ins öffentliche Stromnetz eingespeist wurde, haben die Wind- und Sonnenenergie mit 200,1 TWh zusammen einen Anteil von 46%. Nimmt man die weiteren erneuerbaren Energieträger Biomasse (36,0 TWh), Wasserkraft (17,1 TWh), Pumpspeicher (11,2 TWh) und sonstige Erneuerbaren (0,9 TWh) hinzu, dann ergibt sich ein Anteil von 61% an erneuerbaren Energieträgern an der Gesamtstromerzeugung in Deutschland. Die Stromerzeugung aus Braunkohle (71,0 TWh) und Steinkohle (27,3 TWh) ergab einen Anteil von 22,8 % an der Gesamtstromerzeugung in Deutschland. Die Ära des Stroms aus Kernenergie, endete am 15.4.2023.

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-ISE⁶ wurden in 2024 12,4TWh PV-Strom in privaten Haushalten selbst genutzt und verbraucht.

⁶ „Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2024“; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

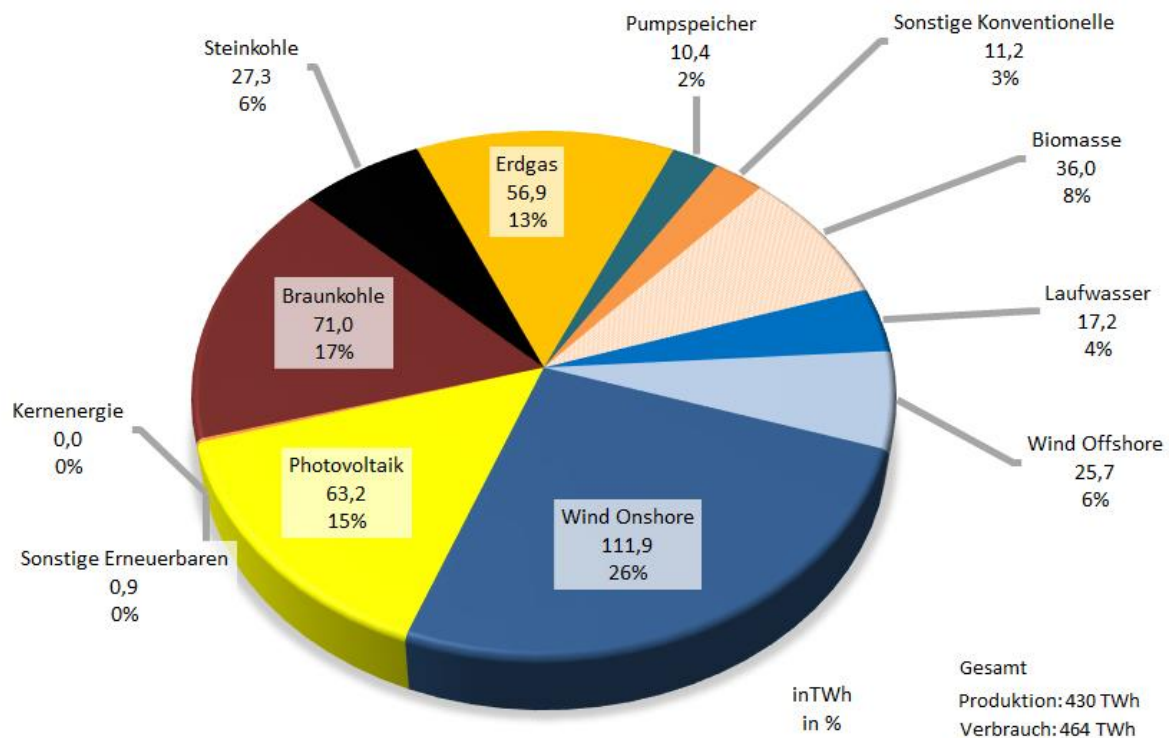


Abbildung 14 Jahresbilanz des produzierten Stromes 2024 in Deutschland

Zur Überprüfung der Jahressummenwerte, wurde die Auswertung des FhG-ISE⁷ herangezogen und die Werte in Tabelle 1 der Auswertung basierend auf den SMARD Daten gegenübergestellt. Dementsprechend unterscheiden sich die Ergebnisse in der Jahresstromerzeugung mit 4,4% 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 und diese Aufteilung beim FhG-ISE etwas anders ist..

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 258 TWh oder 62,7% an der Stromproduktion (FhG-ISE = 411 TWh), wogegen dieser Anteil entsprechend der SMARD Daten 61% beträgt.

Die Unterschiede der Summenwerte zwischen dem FhG-ISE und den SMARD Daten sind also mit 1,7%-Punkten gering.

⁷ „Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2024“; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

	SMARD in TWh	ISE in TWh	Δ in TWh	Δ in %
Biomasse	36,0	36,8	-0,8	-2,2
Laufwasser	17,2	20,56	-3,4	-19,9
Wind Offshore	25,7	25,7	0,0	-0,1
Wind Onshore	111,9	110,7	1,2	1,1
Photovoltaik	63,2	59,76	3,5	5,5
Sonstige Erneuerbaren	0,9	4,4	-3,5	-384,5
Kernenergie	0,0			
Braunkohle	71,0	71,1	-0,1	-0,2
Steinkohle	27,3	24,2	3,1	11,5
Erdgas	56,9	48,44	8,5	14,9
Pumpspeicher	10,4	0	10,4	100,0
Sonstige Konventionelle	11,2	9,58	1,6	14,4
Wind Gesamt	136,9	136,4	0,5	0,4
Wind + PV gesamt	200,1	196,2	4,0	2,0
Gesamte Stromerzeugung 2024 in Deutschland	430,4	411,2	19,1	4,4
Gesamter Stromverbrauch 2024 in Deutschland	464,4	462	2,4	0,5

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

Abbildung 15 zeigt den Anteil der produzierten Wind- und Sonnenenergie 2024 im Verhältnis zur gesamten Endenergie des Jahres 2024 nach Daten von SMARD und der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.⁸. Darin wird deutlich, dass nur ein sehr kleiner Anteil von 9,0% der verbrauchten Endenergie aus der Wind- und Sonnenkraft stammt.

⁸ Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB) Stand 09 / 2024, „Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland 1990 bis 2023

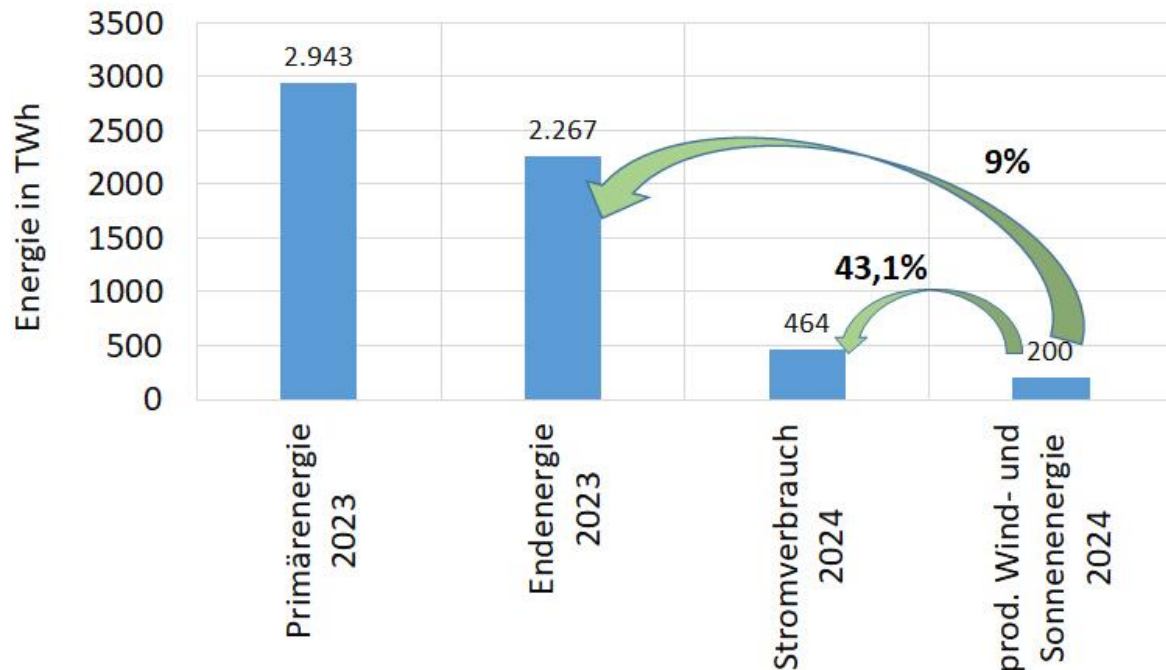


Abbildung 15 Wind- und Sonnenenergie im Verhältnis zur Endenergie aller Sektoren

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 61% in 2024.

Dabei wird außer acht gelassen, dass für alle Sektoren der Anteil aller erneuerbaren Energieträger⁹ in 2023 (Wind, Sonne, Biomasse, Abfälle, Deponiegas, Wasserkraft, sonstige) zur Stromerzeugung, zur Wärme- und Kälteerzeugung und für den Verkehr an der Endenergie von 2267 TWh, in Deutschland nur 574 TWh oder 25,3% betragen hat. Da aber ein Ausbau der Wasserkraft und die Nutzung der Biomasse nur noch begrenzt umsetzbar ist, würden die fehlenden 74,7% oder 1693 TWh auf die Wind- und Sonnenkraft entfallen.

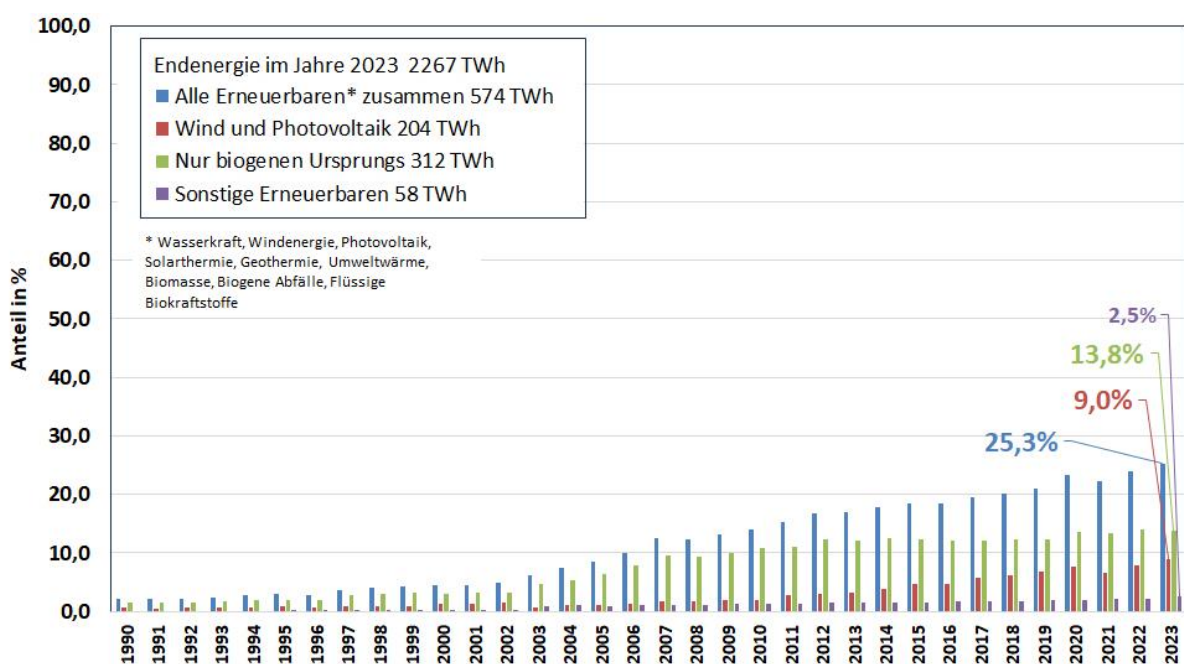
In Abbildung 16 wird die Entwicklung des Anteils der erneuerbaren Energien und auch der Wind- und Sonnenenergie an der Endenergie von 1990 - 2023 dargestellt. Darin zeigt sich, dass der Anteil an Biomasse seit dem Jahre 2012 bei ca. 14% stagniert. Der Anteil der Wind- und Sonnenenergie steigt zwar stetig an, aber sehr langsam und beträgt im Jahre 2023 ca. 9%. In der Summe beträgt der Anteil der erneuerbaren an der Endenergie in 2023 gerade mal 25,3%

⁹ Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB) Stand 09 / 2024, „Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland 1990 bis 2023

Daraus abgeleitet stellt sich die Frage, wie bis zum Jahre 2045, also innerhalb von gerade mal 20 Jahren eine Energiewende gelingen soll und Deutschland CO₂ neutral zu 100% aus erneuerbaren Energieträgern versorgt werden soll.

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-IEE¹⁰ 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.



Grafik: H. Schüle, Datenquelle: awt_2023_d.xlsx; ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN e.V.

Abbildung 16 Anteil erneuerbare Energieträger im Verhältnis zur Endenergie aller Sektoren

Jahresbilanz der Stromproduktion der Energieträger über die Jahre

Aus Abbildung 17 wird deutlich, dass sich der Stromverbrauch in 2024 mit 464 TWh gegenüber 2023 mit 457 TWh kaum verändert hat. Im langfristigen Trend hat sich der Verbrauch aber verringert

Es bleibt zu analysieren, ob der Rückgang des Verbrauches in 2024 durch Einsparmaßnahmen hervorgerufen wurde oder durch einen Rückgang der Wirtschaftsleistung in Deutschland. Der Rückgang ist auch deshalb verblüffend, weil zusätzliche Stromverbraucher wie e-Fahrzeuge (3,6TWh⁹) und Wärmepumpen hinzugekommen sind.

Die Stromproduktion ging von 540 TWh in 2017 ausgehend kontinuierlich zurück auf 430

¹⁰ https://www.herkulesprojekt.de/de/Barometer/barometer_2018/Endenergiebedarf2050.html

Stromproduktion und -verbrauch in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2024

TWh in 2024. Hier zeigt sich auch das sukzessive Abschalten, der aus Kernkraft erzeugten Stromes. Des weiteren setzt sich der Trend seit 2023 fort, dass Strom im Jahresmittel importiert werden muss.

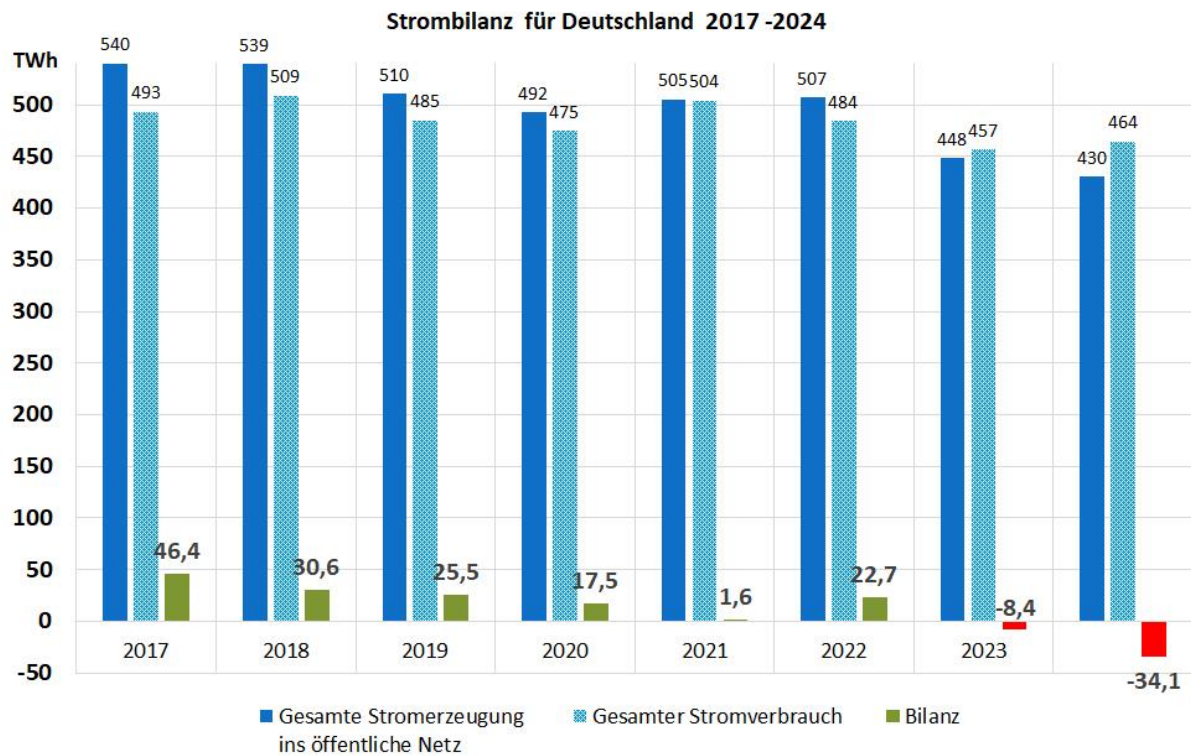


Abbildung 17 Strombilanzen der Jahre 2017 – 2024

Die Anteile der einzelnen Energieträger an der Gesamtstromproduktion kann Abbildung 18 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.

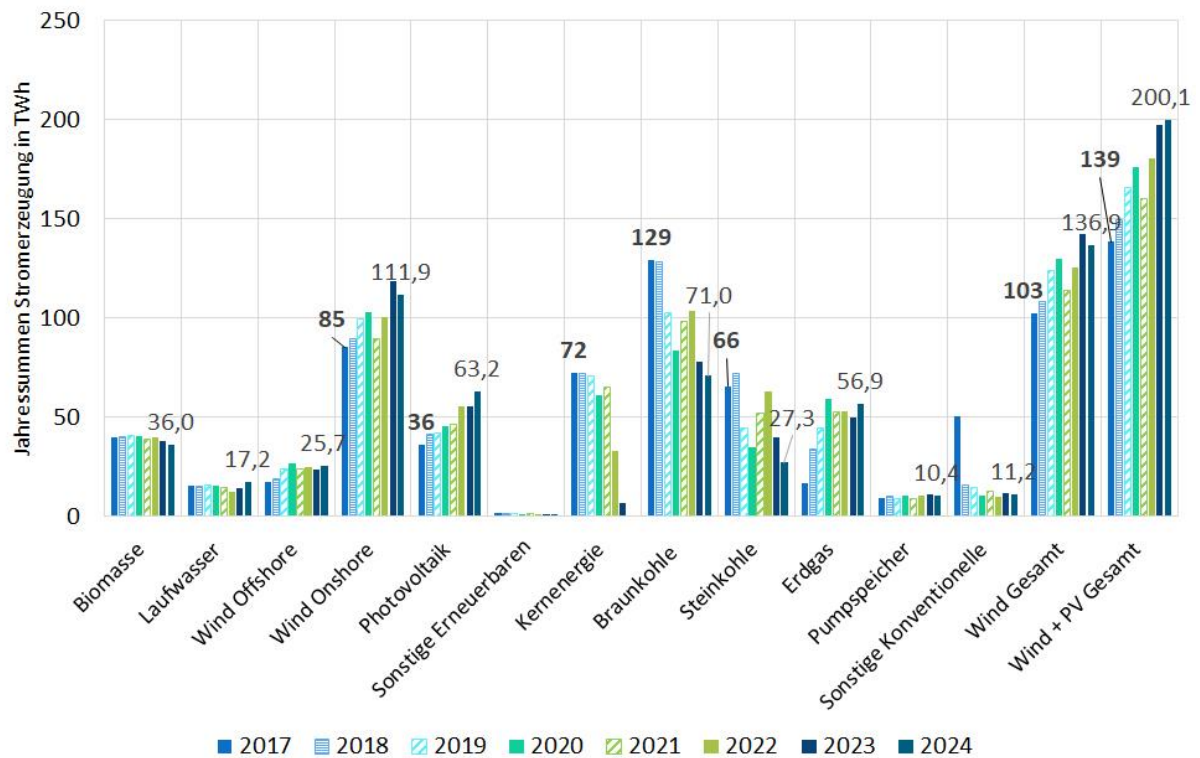


Abbildung 18 Jahressummen der Energieträger 2017 - 2024

Deckungsanteil und normierte Werte

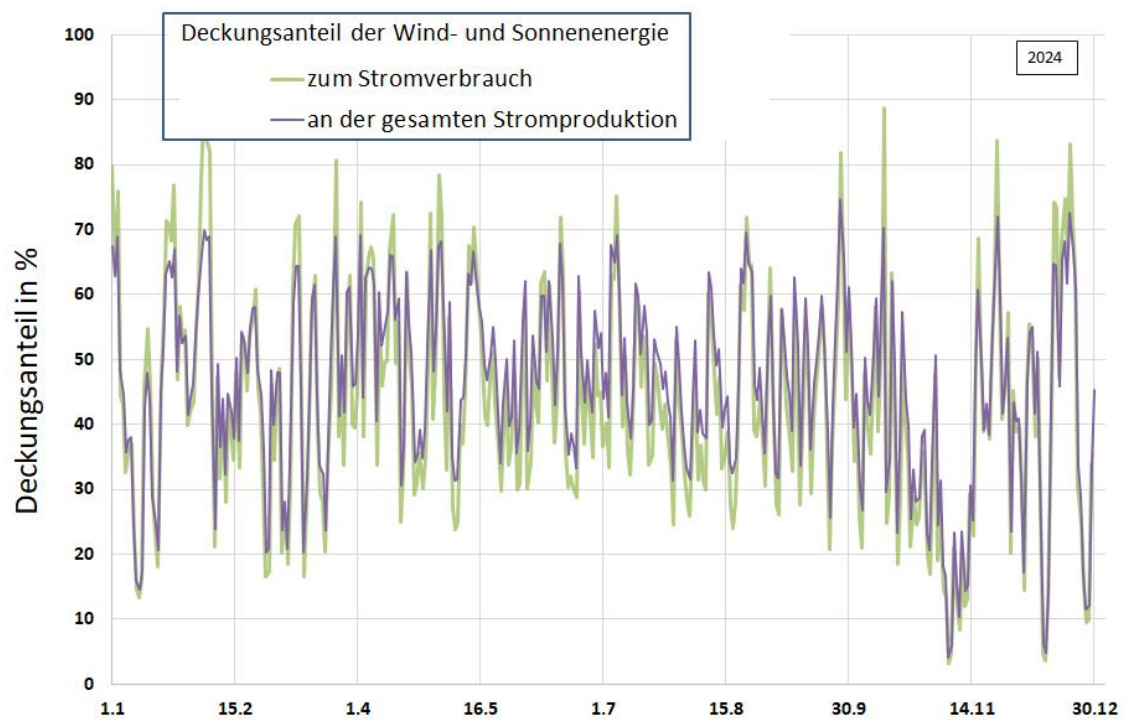


Abbildung 19 Deckungsanteil von Wind- und Sonnenenergie

Abbildung 19 zeigt den Deckungsanteil der Wind- und Sonnenenergie an der Gesamtstromerzeugung und am Gesamtstromverbrauch in Deutschland im Jahre 2024. Hier wird deutlich, dass der Deckungsanteil an manchen Tagen, bezogen auf die Stromproduktion bereits über 70% und bezogen auf den Stromverbrauch bereits bis zu 90% betragen hat. Auf der anderen Seite wird deutlich, dass es auch Tage mit einem Deckungsanteil von nur 10 % gegeben hat.

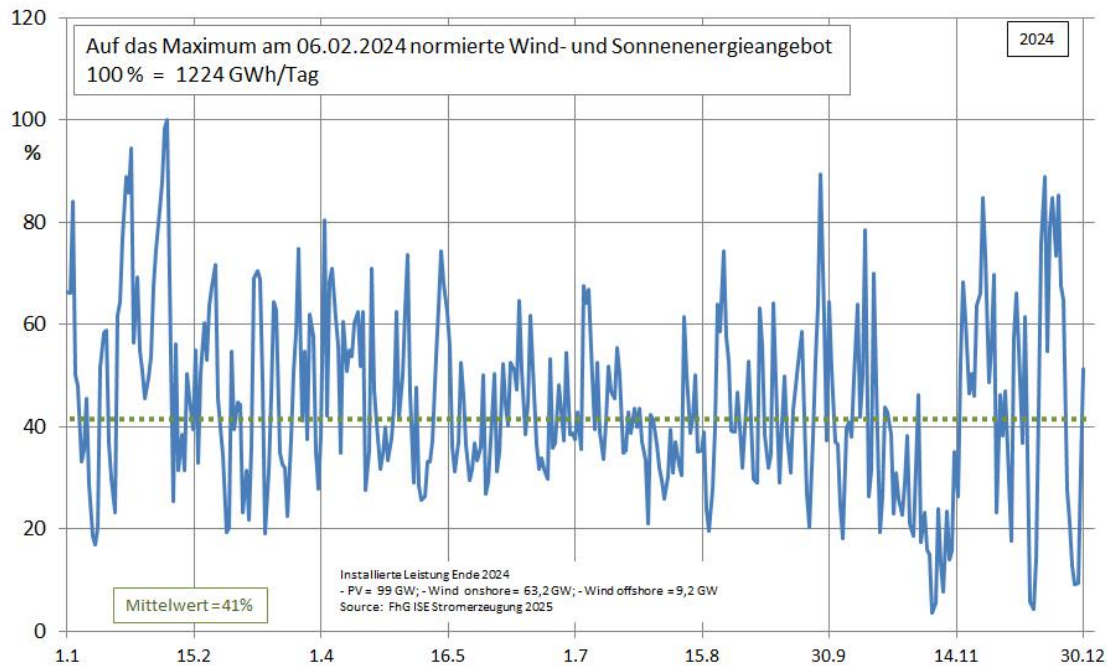


Abbildung 20 Normiertes Wind- und Sonnenenergie-Angebot in Deutschland

Abbildung 20 zeigt das normierte Wind- und Sonnenenergie-Angebot in Deutschland für das Jahr 2024. Es ist bezogen auf den 06.02.2024, an dem der höchste Wind- und Sonnenenergieertrag mit 1224 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 2024 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 06.02.2024 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 21 aber nur 41% betragen. Das heißt, es müssen annähernd **250 %** 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.

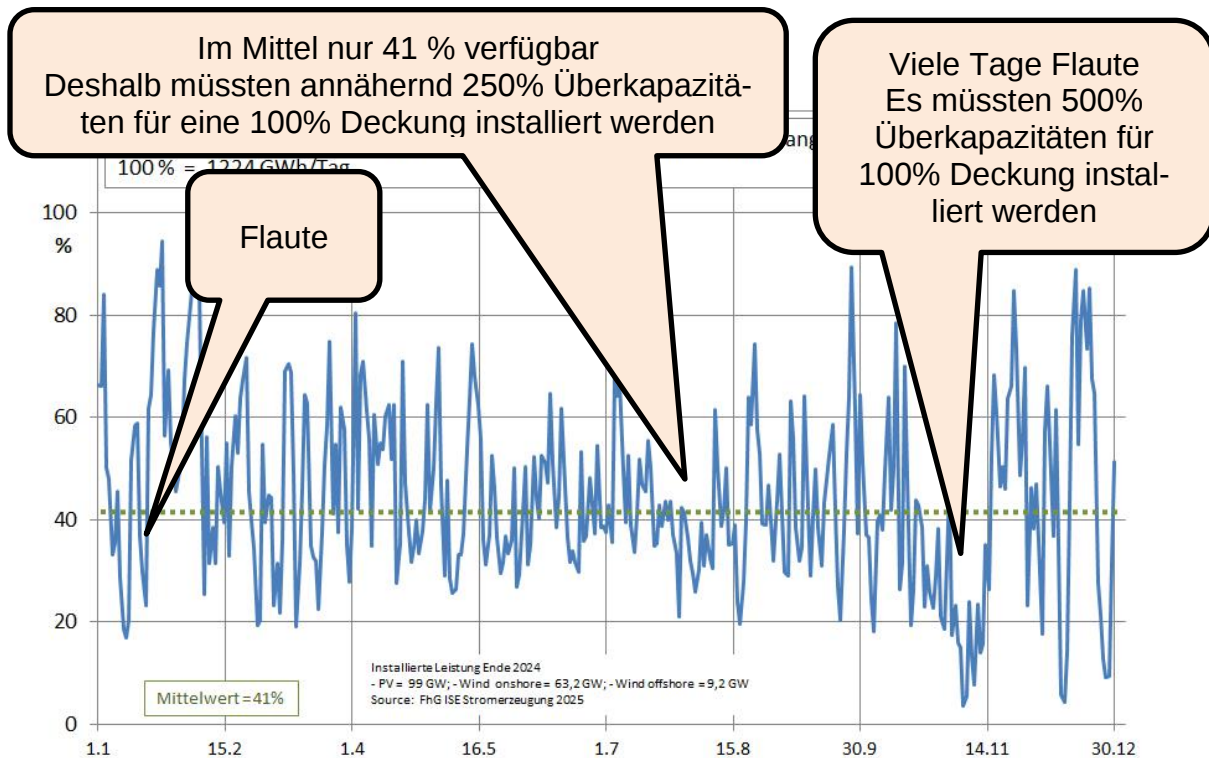
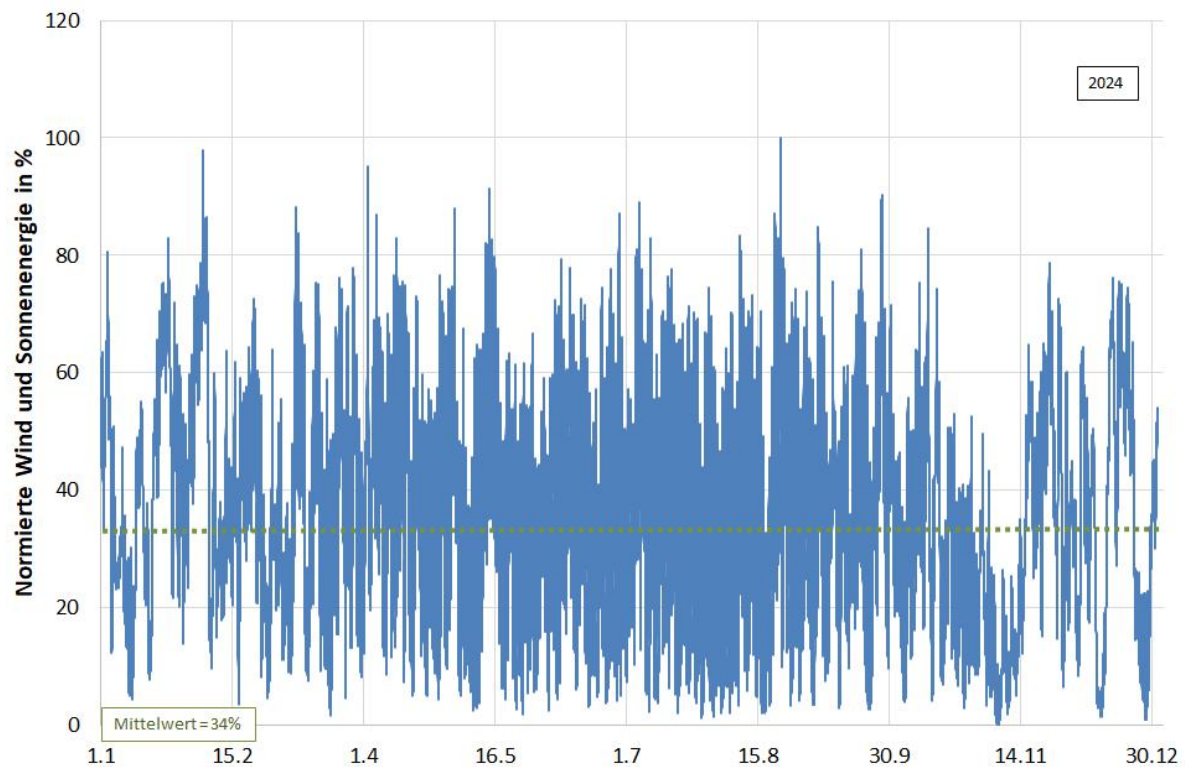


Abbildung 21 Normiertes Wind- und Sonnenenergie-Angebot in Deutschland

In Abbildung 22 ist das normierte Wind- und Sonnenenergieangebot für ganz Deutschland auf der Basis von 15 Minuten Werten dargestellt, mit einem kurzzeitigen Spitzenwert am 23.08.2024. Der Mittelwert betrug nur 34%. 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. Im November, am 7.11. lag der Anteil der Wind- und Sonnenenergie in der Nacht sogar unter 1% !



*Abbildung 22 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 1751 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 2024 mit 200,1 TWh einen Anteil von 46,5% an der Gesamtstromproduktion und von 43,1% am Gesamtstromverbrauch in Deutschland.
- Der Stromanteil aus allen erneuerbaren Energieträger, Biomasse, Wasserkraft, Wind- und Sonnenenergie an der Stromproduktion in Deutschland betrug 61%.
- Gegenwärtig beträgt der Anteil der Wind- und Sonnenenergie an der gesamten in Deutschland benötigten Endenergie aber nur 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. 41% 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 250 % 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.