

Stromproduktion und Stromverbrauch im Jahre 2019 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
26.01.2020

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 2019. 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.

¹ Kontakt: harry.schuele@t-online.de

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

³ „Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2019“; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Einleitung

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

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

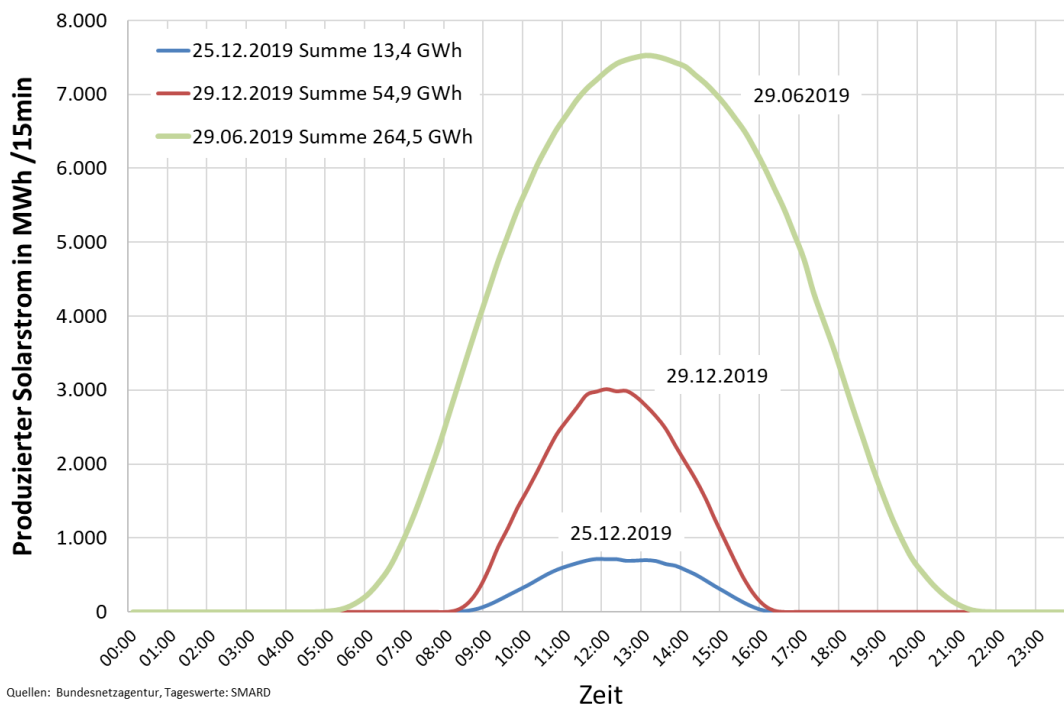


Abbildung 1: Produzierter Solarstrom an ausgewählten Tagen

Abbildung 1 zeigt den in ganz Deutschland produzierten Solarstrom an drei ausgewählten Tagen im Jahre 2019. 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 29.06. wurde eine Energiemenge von 264,5 GWh Solarstrom erzeugt, wohingegen es am 25.12. nur 13,4 GWh waren. Das ist ein Verhältnis von 1:20.

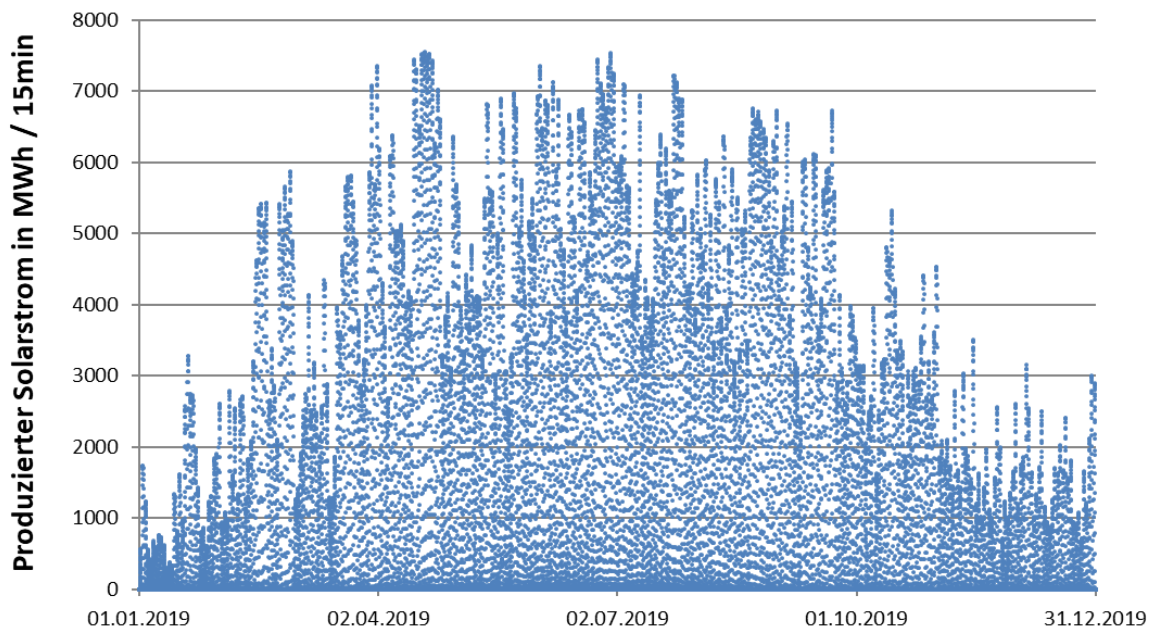


Abbildung 2: 15 Minuten Werte des produzierten Solarstromes im Jahresverlauf 2019

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 7000 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 im März mit 15min Spitzenwerten von bis zu 7000 MWh / 15min in der Tagessumme nur 150 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.

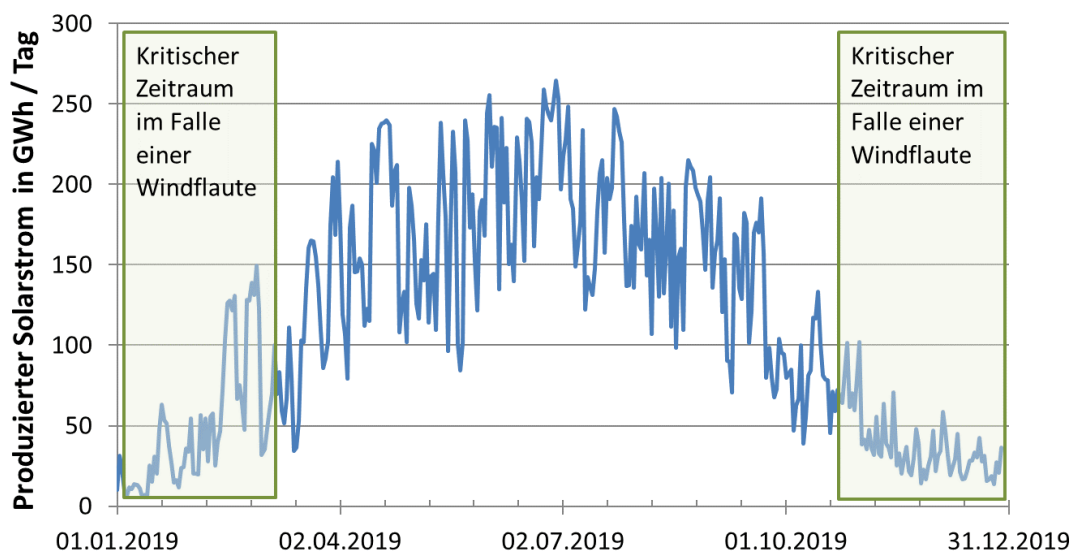


Abbildung 3: Tagessummenwerte des produzierten Solarstromes im Jahresverlauf 2019

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 Sonnen- und Windenergie ausgerichteten Energiewirtschaft, zu Versorgungslücken kommen wird.

Angebot der Windenergie

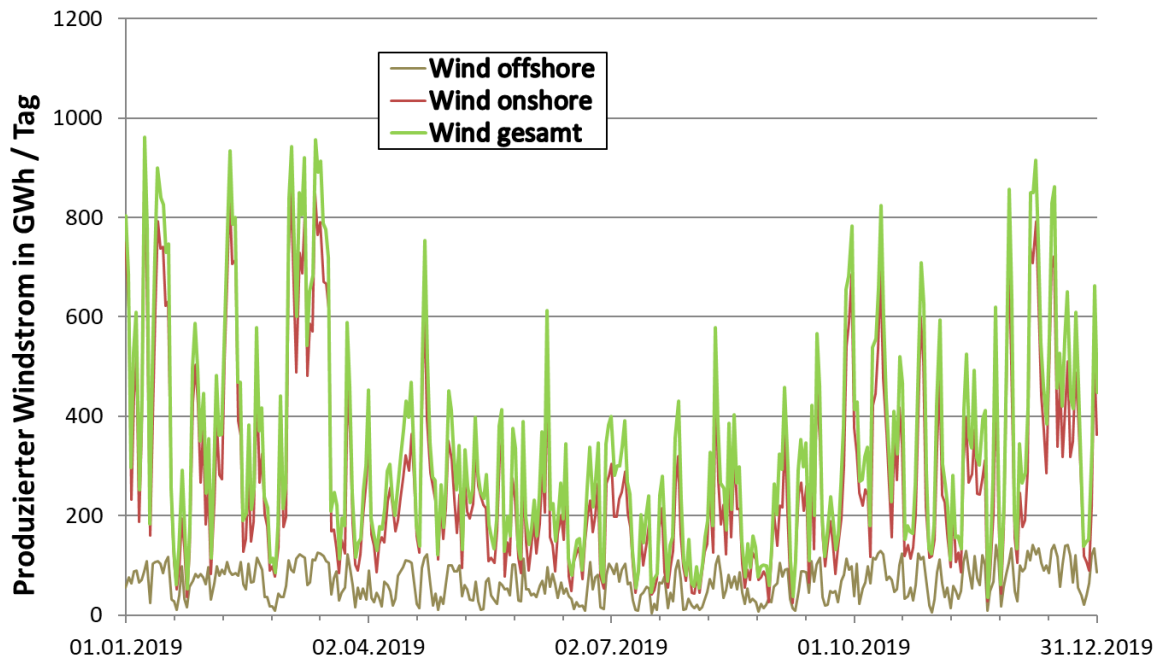


Abbildung 4: Tagessummenwerte des produzierten Windstromes im Jahresverlauf 2019

Abbildung 4 zeigt die Tagessummenwerte des produzierten Windstromes im Jahresverlauf 2019 für ganz Deutschland. Dieser Windstrom wurde aus 29456 Windenergieanlagen (WEA) an Land⁴ und 1469 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 5 zeigt die Stromproduktion aus regenerativer Wind- und Sonnenenergie im Jahresverlauf 2019 für ganz Deutschland. Hier werden die sehr hohen Fluktuationen in den Tagessummen sichtbar. Am 24.01. betrug die Tagessumme aus Sonnen- und Windenergie zum Beispiel nur 67 GWh und wenige Tage später, am 9.02. wieder 991,5 GWh. Das ist ein Verhältnis von 1:14,7. Es sind aber auch Perioden von bis zu sieben Tagen (19.01. -25.01.) ersichtlich, an denen die mittlere Stromproduktion aus Sonnen- und Windenergie gerade mal 200 GWh / Tag betragen hat.

⁴ Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland im Jahr 2019; Deutsche Winguard GmbH

⁵ Status des Offshore Windenergieausbaus in Deutschland im Jahr 2019; Deutsche Winguard GmbH

Desweiteren wir deutlich, dass der Beitrag der Windenergie mit 123,8 TWh im Jahre 2019 3x Mal so groß war wie der Beitrag der Sonnenenergie mit 41,9 TWh.

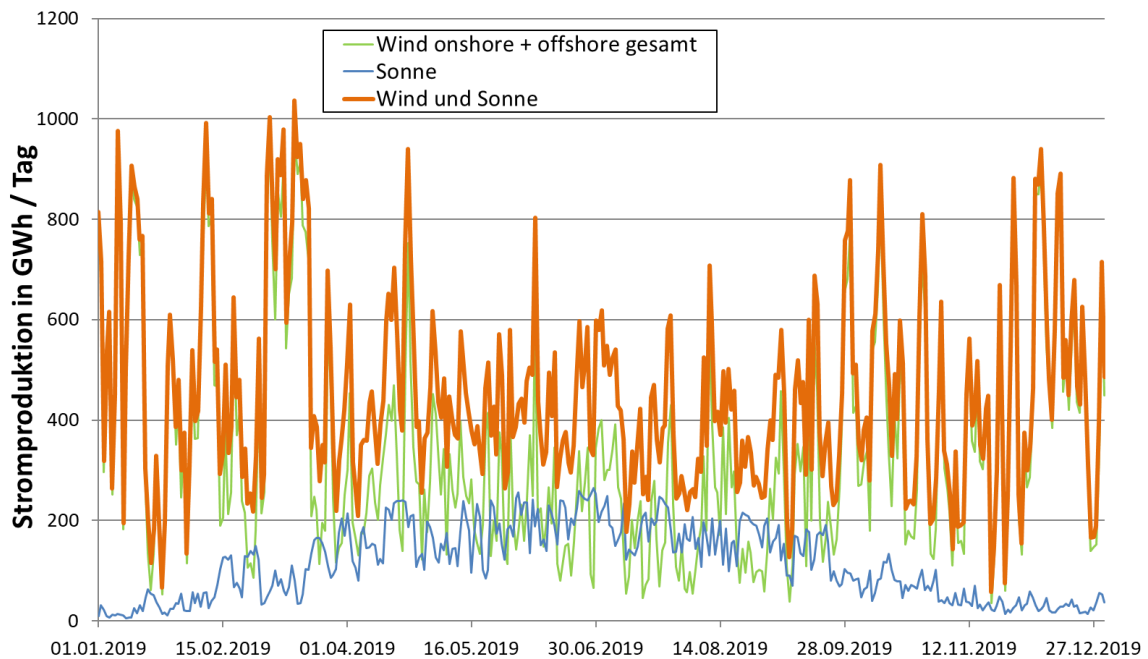


Abbildung 5: Tagessummenwerte des produzierten Solar- und Windstromes

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

Abbildung 6 zeigt die Tagessummenwerte des gesamten in Deutschland produzierten und verbrauchten Stromes im Jahresverlauf 2019 sowie die Tagessummenwerte des produzierten Stromes aus Sonnen- und Windenergie. Dabei fallen die regelmäßigen Amplituden im Verlauf der Gesamtstromproduktion 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.

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 – 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.

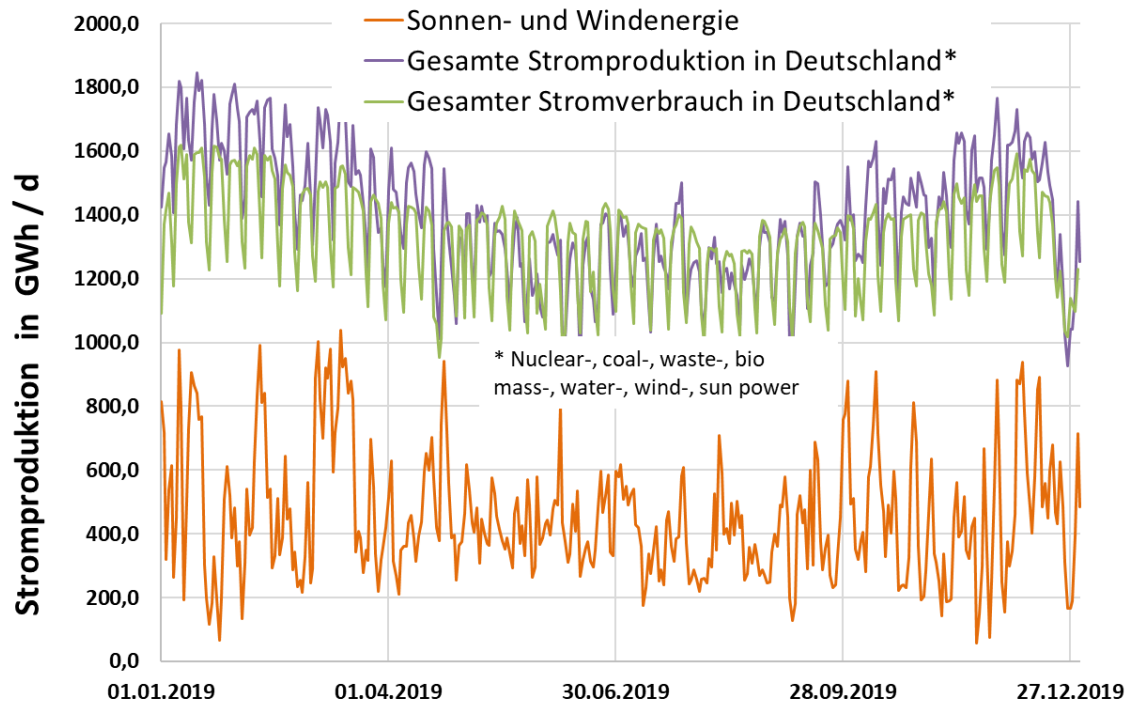


Abbildung 6: Tagessummenwerte des produzierten und verbrauchten Stromes in 2019

Jahresbilanz der Stromproduktion aller Energieträger

Abbildung 7 zeigt die Jahresbilanz des produzierten Stromes 2019 in Deutschland, aufgeteilt nach Energieträgern. Die gesamte produzierte Strommenge in Deutschland betrug 510 TWh und die verbrauchte Strommenge betrug 485 TWh. Das bedeutet, dass Deutschland im Jahre 2019 eine Strommenge von ca. 25 TWh oder 5,1% in andere Länder exportiert hat. Am produzierten Strom haben die Sonnen- und Windenergie mit 165,7 TWh zusammen einen Anteil von 32,5%. Nimmt man die weiteren erneuerbaren Energieträger Biomasse (41 TWh), Wasserkraft (15,8 TWh), Pumpspeicher (9 TWh) und sonstige Erneuerbaren (1,3 TWh) hinzu, dann ergibt sich ein Anteil von 45,6% an erneuerbaren Energieträgern an der Gesamtstromerzeugung in Deutschland. Die Stromerzeugung aus Braunkohle (102,9 TWh) und Steinkohle (44,9 TWh) ergab einen Anteil von 28,9 % an der Gesamtstromerzeugung in Deutschland.

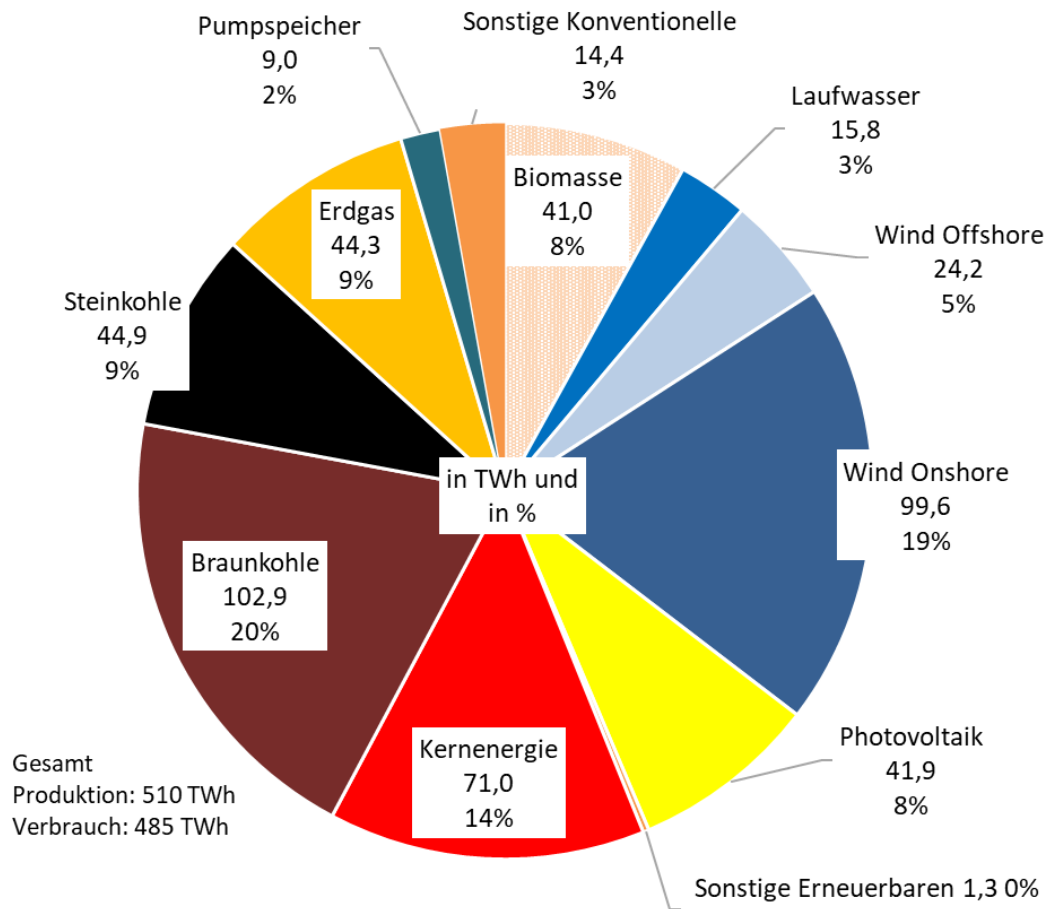


Abbildung 7: Jahresbilanz des produzierten Stromes 2019 in Deutschland

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 und dem Jahresstromverbrauch mit 1,1% nur unwesentlich. 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 Windenergie um 2,6%, die der Wasserkraft um 21,2% und die der Sonnenenergie um 10,9% unterbewertet.

Basierend auf den Zahlen des FhG-ISE hätten die Sonnen- und Windenergie zusammen einen Anteil von 33,6% am produzierten Strom in Deutschland anstatt von 32,5% entsprechend der SMARD Zahlen. Der gesamte Anteil der erneuerbaren entsprechend der FhG-ISE Zahlen beträgt mit 237,1 TWh oder 46% an der Stromproduktion wogegen dieser Anteil entsprechend der SMARD Daten 45,6% beträgt.

Die Unterschiede der Ergebnisse zwischen dem FhG-ISE und den SMARD Daten sind also sehr gering.

⁶ „Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2019“; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Stromproduktion und -verbrauch in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2019

	SMARD in TWh	ISE in TWh	Δ in TWh	Δ in %
Biomasse	41,0	44,4	-3,4	-8,2
Laufwasser	15,8	19,2	-3,4	-21,2
Wind Offshore	24,2	24,4	-0,2	-0,9
Wind Onshore	99,6	102,6	-3,0	-3,0
Photovoltaik	41,9	46,5	-4,6	-10,9
Sonstige Erneuerbaren	1,3	0	1,3	100,0
Kernenergie	71,0	71,1	-0,1	-0,1
Braunkohle	102,9	102,2	0,7	0,6
Steinkohle	44,9	48,7	-3,8	-8,5
Erdgas	44,3	54	-9,7	-21,9
Pumpspeicher	9,0	0	9,0	100,0
Sonstige Konventionelle	14,4	2,9	11,5	79,9
Wind Gesamt	123,8	127,0	-3,2	-2,6
Wind + PV Gesamt	165,7	173,5	-7,8	-4,7
Gesamte Stromerzeugung 2019 in Deutschland	510,4	516,0	-5,6	-1,1
Gesamter Stromverbrauch 2019 in Deutschland	484,9	484	0,9	0,2

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

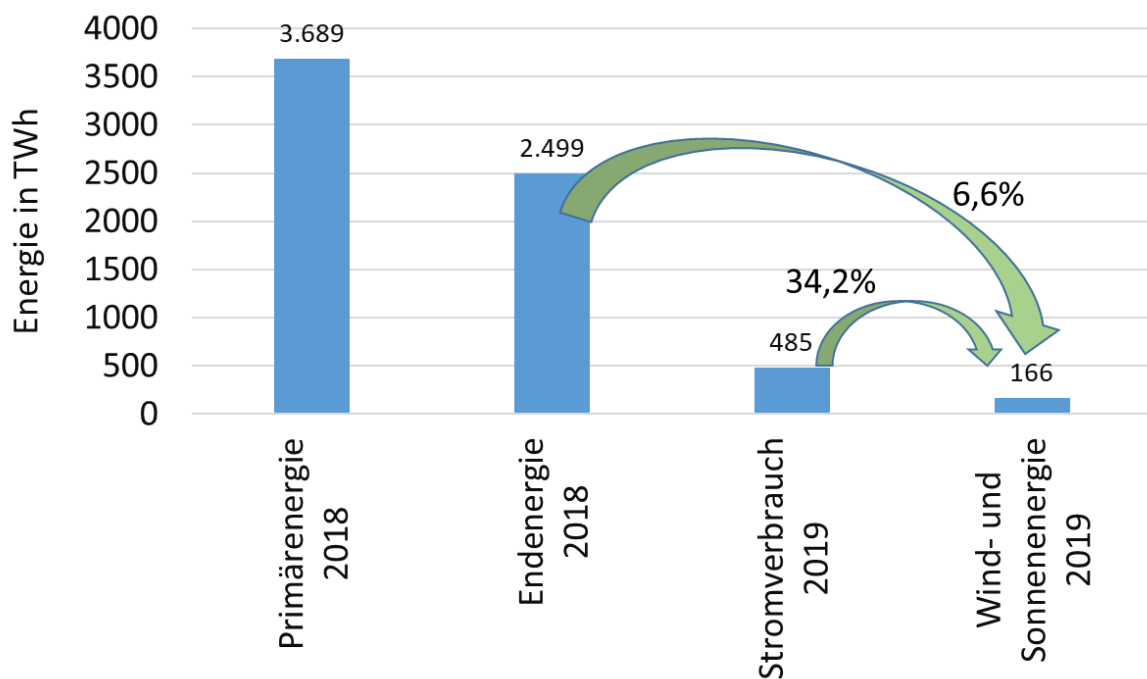


Abbildung 8: Wind- und Sonnenenergie im Verhältnis zur Endenergie aller Sektoren in Deutschland.

Abbildung 8 zeigt die produzierte Wind- und Sonnenenergie im Verhältnis zur gesamten Endenergie des Jahres 2018 nach Daten von SMARD und des Bundesministeriums für Wirtschaft⁷. Darin wird deutlich, dass nur ein sehr kleiner Anteil von nur 6,6% 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. 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 ca. 46% mit einem Beitrag der erneuerbaren Energieträger.

Dabei wird außer Acht gelassen, dass der Anteil aller erneuerbaren Energieträger an der Endenergie in Deutschland nur 9,5% betragen. Dieser setzt sich laut BMWi⁷ aus 6,4% feste und gasförmige Biomasse, 0,9% flüssige Biokraftstoffe, 1% Abfälle und Deponiegas, 0,5% Wasserkraft und 0,7% Sonstige zusammen. 9,5% von 2499TWh ergeben 237TWh. Da aber ein Ausbau an der Wasserkraft und die Nutzung der Biomasse nur noch begrenzt umsetzbar ist, würden die fehlenden 90,5% oder 2261 TWh auf die Wind- und Sonnenkraft entfallen. Wie soll das gehen? Das sind nochmals 13,6x die erzeugte Energiemenge von Wind- und Sonne wie bereits heute. Also ca. 421000 Windräder und das entsprechend vielfache der Fläche an Fotovoltaik.

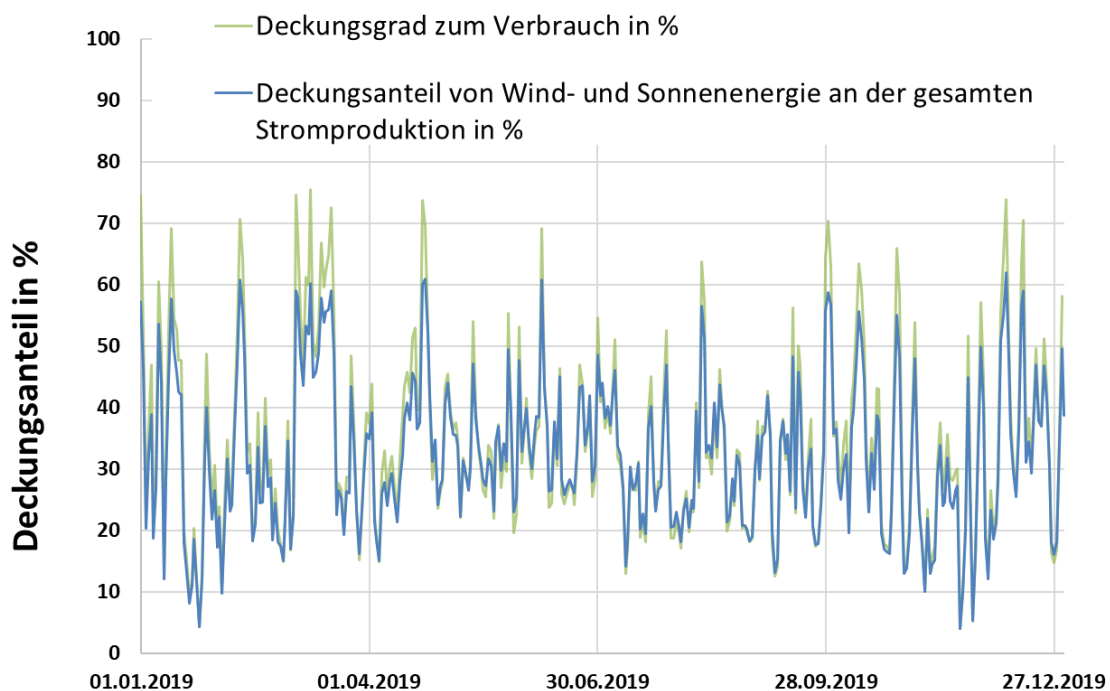


Abbildung 9: Deckungsanteil von Wind- und Sonnenenergie

Abbildung 9 zeigt den Deckungsanteil der Wind- und Sonnenenergie an der Gesamtstromerzeugung und am Gesamtstromverbrauch in Deutschland von 2019. Hier wird deutlich, dass der Deckungsteil an manchen Tagen, bezogen auf die Stromproduktion bereits über 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.

⁷ Bundesministerium für Wirtschaft, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) Stand 06.09.2019, Energiedaten Gesamtausgabe

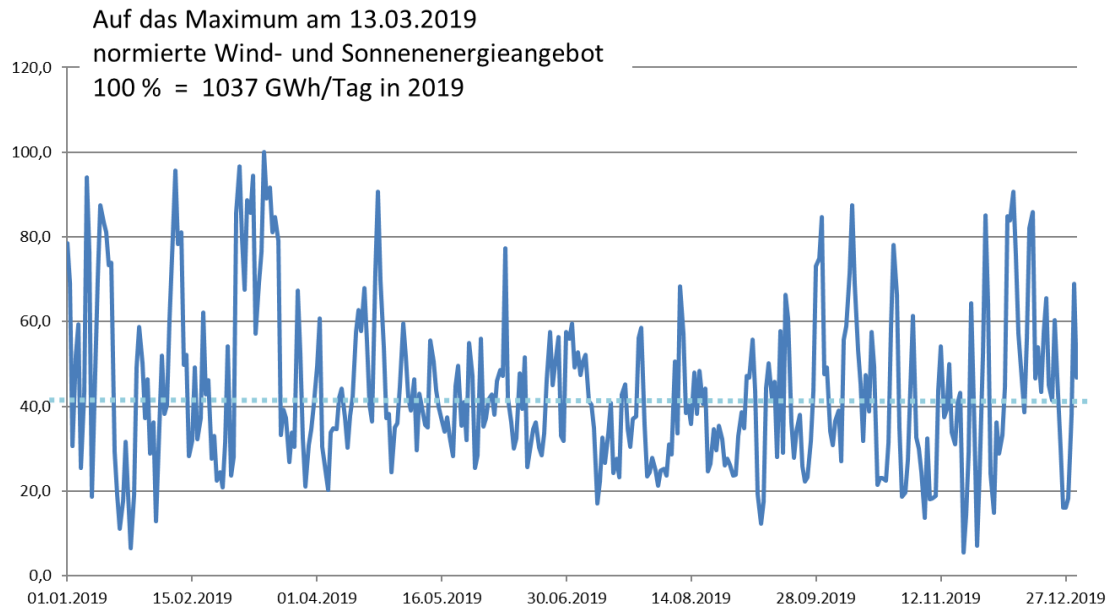


Abbildung 10: Normiertes Wind- und Sonnenenergie-Angebot in Deutschland

Abbildung 10 zeigt das normierte Wind- und Sonnenenergie-Angebot in Deutschland für das Jahr 2019. Es ist bezogen auf den 13.03.2019, an dem der höchste Wind- und Sonnenenergieertrag mit 1037 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 2019 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 immer ähnlich verhalten.

Wenn man von der 100% Spitze am 13.03.2019 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 10 aber nur 40% betragen. Das heißt, es müssen **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.

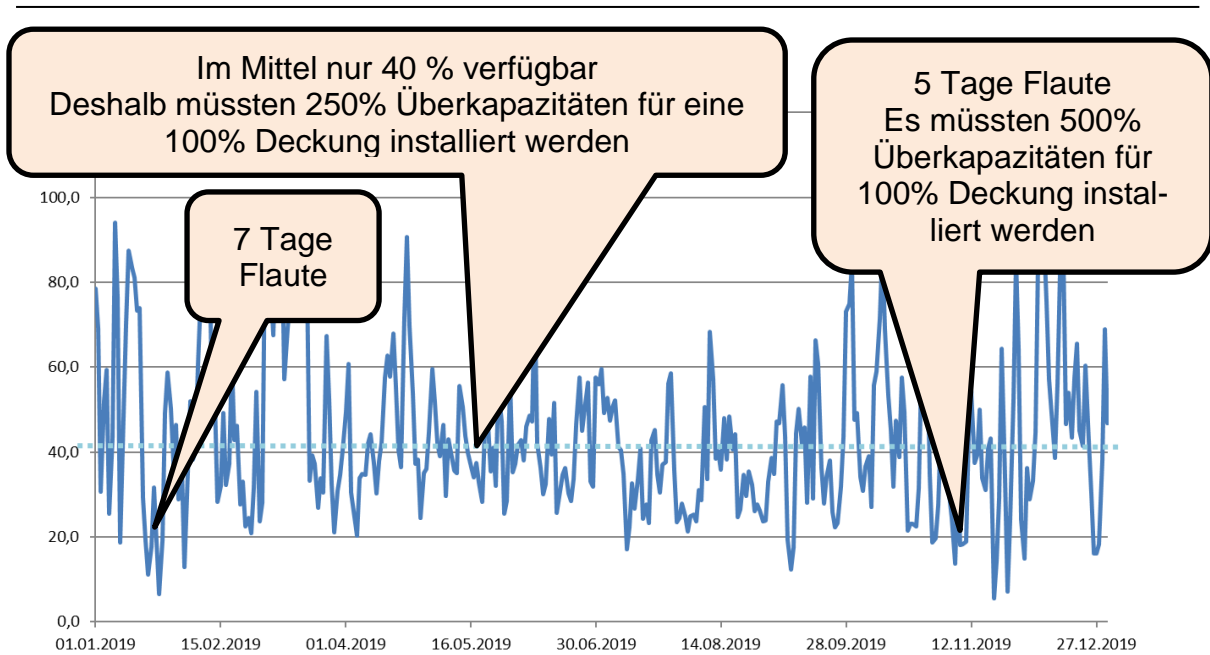


Abbildung 11: Normiertes Wind- und Sonnenenergie-Angebot in Deutschland

In Abbildung 12 ist das normierte Wind- und Sonnenenergieangebot für ganz Deutschland auf der Basis von 15 Minuten Werten dargestellt. 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.

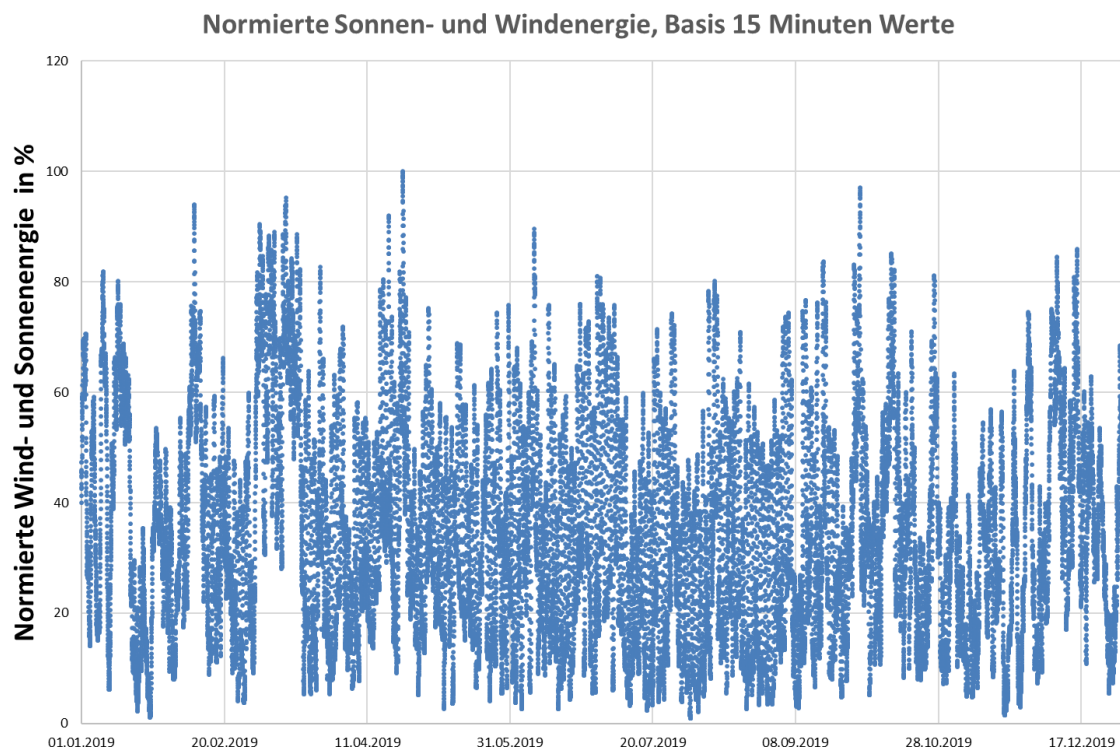


Abbildung 12: Normiertes Wind- und Sonnenenergie-Angebot in Deutschland, Basis 15 Minuten Werten

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 !

Dabei bietet es sich an, das vorhandene Erdgasnetz als Pufferspeicher für das synthetisch hergestellte eMethan (CH_4) zu nutzen. In diesem Netz lassen sich auch begrenzte Mengen Wasserstoff, eH₂, speichern, wodurch das eMethan verdünnt wird. Laut der FVV Kraftstoffstudie⁸ ist eMethan der am kostengünstigsten und effizientesten herstellbare kohlenstoffhaltige Energieträger.

eMethan bietet alle Vorteile, von einer kostengünstigen und effizienten Herstellung, von vorhandenen Pufferspeichern und einer vorhandenen Infrastruktur bis hin zu vorhandenen Anwendungen.

Doch wie schon Abbildung 8 gezeigt hat, wird es unmöglich sein die fehlenden Energiemengen von 2736 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.

Wenn aber ein CO₂ neutraler Kraftstoff nach Deutschland importiert wird, dann könnte er auch direkt in einem Fahrzeug verwendet werden, anstatt umständlich in einem Kraftwerk Strom herzustellen, diesen zu übertragen, diesen in einem Transformator auf das richtige Spannungsniveau zu bringen, in einer Batterie zu speichern und dann zu fahren oder die Kabine zu heizen.

⁸ FVV Studie: Defossilisierung des Transportsektors, Ulrich Kramer et al, 2019

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.
- Die Sonnenenergie ändert ihren Beitrag im Tagesverlauf von 0 % auf max. 100 %. Das Verhältnis zwischen einem sehr schönen Tag und einem sehr schlechten Tag beträgt 1:20.
- Strom aus Wind- und Sonnenenergie hatten im Jahre 2019 mit 165,7 TWh einen Anteil von 32,5% an der Gesamtstromproduktion und 34,2% am Gesamtstromverbrauch in Deutschland.
- Gegenwärtig beträgt der Anteil der Wind- und Sonnenenergie an der gesamten in Deutschland benötigten Endenergie nur 6,6%.
- 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. 40% 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 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 Stromspeicher auf Basis chemisch gebundener Energieträger und recyceltem Kohlenstoff herangezogen werden.
- **Es wird in Deutschland nur eine Energiewende mit PtX geben können.**
- Der kostengünstigste und effizienteste Energieträger ist eMethan.
- Mit eMethan lassen sich das bestehende Gasnetz, Gasspeicher und Gasanwendungen weiterverwenden.
- Weitere flüssige und gasförmige Energieträger, die über PtX hergestellt wurden müssen nach Deutschland importiert werden, um den gesamten Endenergiebedarf zu decken.
- Deutschland ist ein Energieimportland.