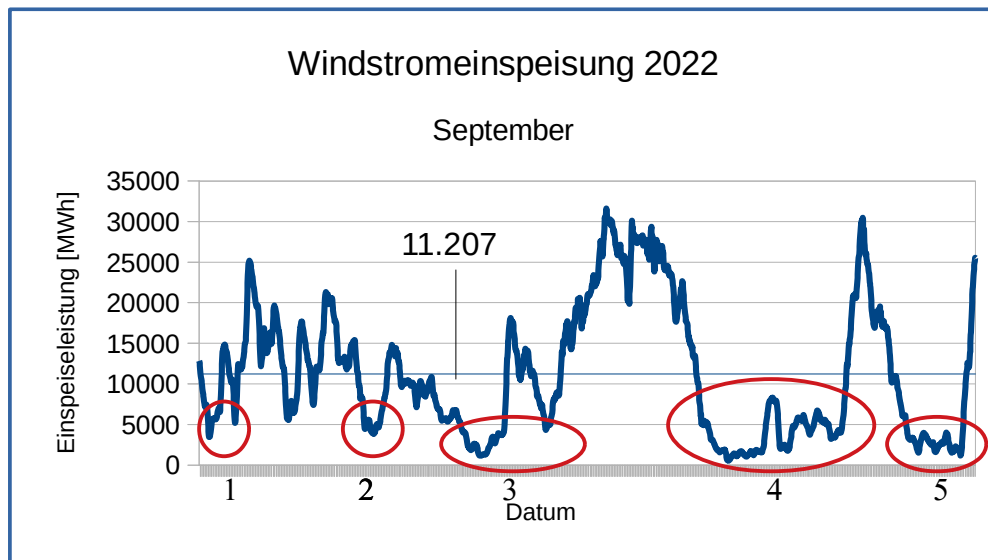


# Windflauten und die Folgen 2022



(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

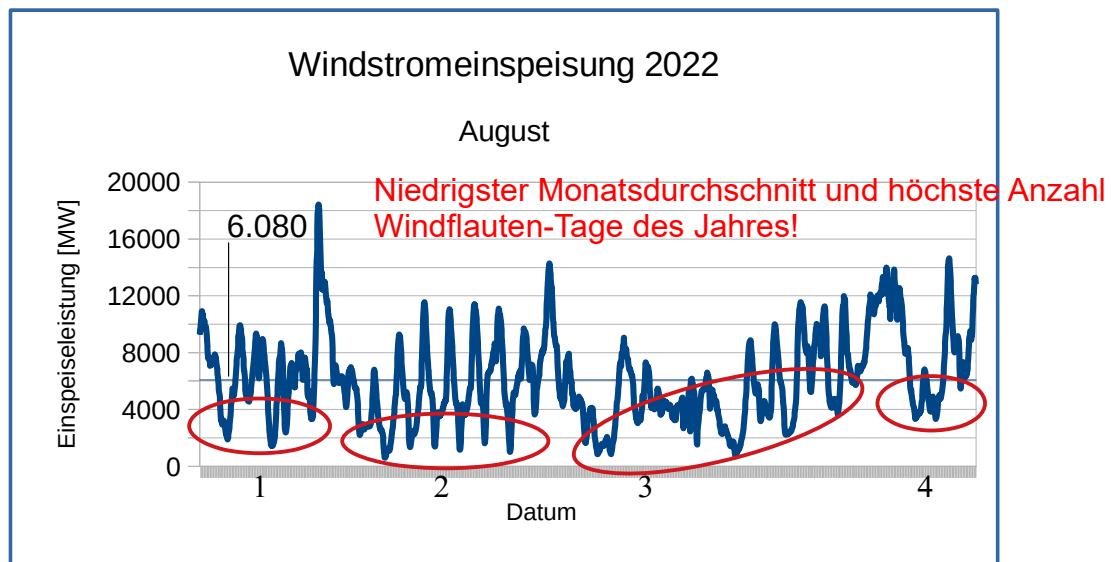
Verlauf September 2022 mit 5 Schwachwindbereichen (Leistung unter 5000 MW).  
Verhältnis Monatsdurchschnitte 2022/2021 =  $11.207/8.088 = 1,39$ .

| Schwachwind- |                | Gesamtdauer | Dunkel-Anteil |
|--------------|----------------|-------------|---------------|
| Bereiche     | Datum          | Std.        | Std.          |
| 1            | 01.09.22 09:15 | 3,75        |               |
|              | 02.09.22 09:15 | 1,50        |               |
| 2            | 07.09.22 18:15 | 15,00       | 3,75          |
| 3            | 10.09.22 14:30 | 1,25        |               |
|              | 11.09.22 20:00 | 23,00       | 10,00         |
|              | 12.09.22 01:00 | 19,25       | 6,00          |
|              | 14.09.22 10:00 | 5,50        |               |
| 4            | 20.09.22 23:59 | 14,00       | 3,75          |
|              | 21.09.22 11:15 | 24,00       | 10,50         |
|              | 22.09.22 10:30 | 22,25       | 9,00          |
|              | 23.09.22 17:45 | 14,75       | 4,50          |
|              | 24.09.22 14:30 | 11,25       | 2,50          |
|              | 25.09.22 10:15 | 20,25       | 7,25          |
|              | 28.09.22 19:15 | 16,50       | 4,50          |
| 5            | 29.09.22 10:45 | 24,00       | 11,00         |
|              | 30.09.22 10:15 | 12,75       | 6,50          |
| Anzahl       |                | Summe       |               |
| 5            | 16             | 229,00      | 79,25         |

Anschließende Folien, Inhalt:

- Folie 2 - 9: Monatsdiagramme August - Januar
- Folie 10: Statistisches Ergebnis (Ersatzeinspeisung)
- Folie 11: Gesamtjahres-Prognose
- Folie 12: Zusammenfassung
- Folie 13: Vorgehensweise
- Folie 14: Quellenverzeichnis

# Windflauten und die Folgen 2022

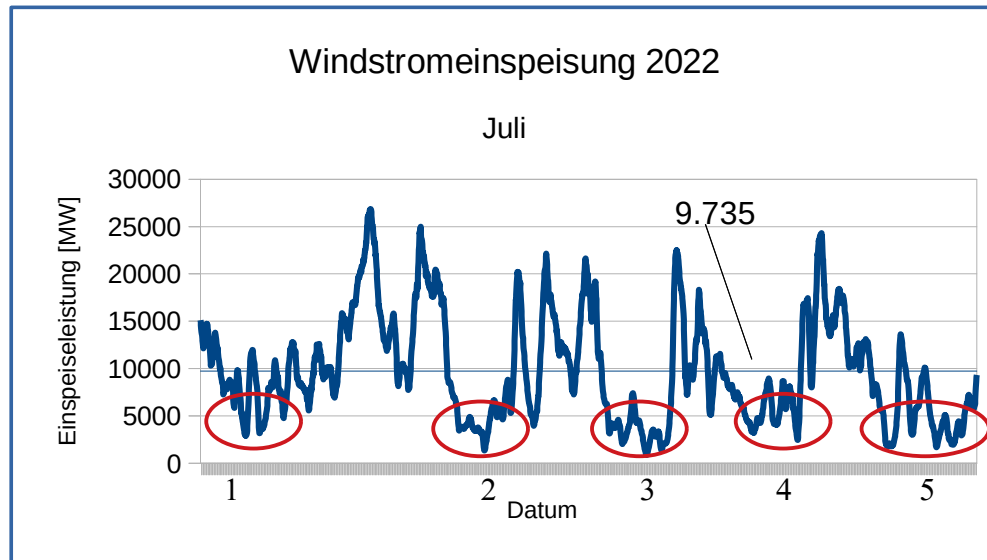


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Verlauf August 2022 mit 4 Schwachwindbereichen (Leistung unter 5000 MW).  
Verhältnis Monatsdurchschnitte 2022/2021 =  $6.080/10.829 = 0,56$ .

| Schwachwind- |                | Gesamtdauer | Dunkel-Anteil |
|--------------|----------------|-------------|---------------|
| Bereiche     | Datum          | Std.        | Std.          |
| 1            | 01.08.22 23:59 | 7,75        | 2,50          |
|              | 02.08.22 02:45 | 13,75       | 7,50          |
|              | 03.08.22 21:30 | 8,50        | 3,75          |
|              | 04.08.22 00:00 | 7,75        | 2,75          |
|              | 05.08.22 10:45 | 6,25        |               |
| 2            | 06.08.22 20:15 | 3,25        | 1,75          |
|              | 07.08.22 09:45 | 17,25       | 1,75          |
|              | 08.08.22 09:30 | 18,75       | 5,00          |
|              | 09.08.22 09:45 | 15,50       | 2,00          |
|              | 10.08.22 09:15 | 15,50       | 0,50          |
|              | 11.08.22 09:30 | 15,50       | 1,50          |
|              | 12.08.22 09:15 | 6,25        | 0,75          |
|              | 13.08.22 09:30 | 11,50       | 1,25          |
|              | 14.08.22 09:00 | 3,25        |               |
| 3            | 15.08.22 23:59 | 8,75        | 3,25          |
|              | 16.08.22 21:15 | 24,00       | 8,00          |
|              | 17.08.22 10:15 | 17,25       | 5,25          |
|              | 18.08.22 11:45 | 11,25       | 0,75          |
|              | 19.08.22 23:15 | 24,00       | 8,25          |
|              | 20.08.22 20:45 | 21,25       | 9,25          |
|              | 21.08.22 20:45 | 19,25       | 7,75          |
|              | 22.08.22 09:30 | 20,00       | 5,50          |
|              | 23.08.22 09:45 | 14,50       | 1,50          |
|              | 24.08.22 09:30 | 13,75       |               |
|              | 25.08.22 10:00 | 1,50        |               |
|              | 26.08.22 11:45 | 10,00       |               |
| 4            | 29.08.22 13:45 | 11,25       | 1,00          |
|              | 30.08.22 09:30 | 14,50       | 4,25          |
|              | 31.08.22 09:15 | 0,25        |               |
| Anzahl       |                | Summe       |               |
| 4            | 29             | 362,25      | 85,75         |

# Windflauten und die Folgen 2022

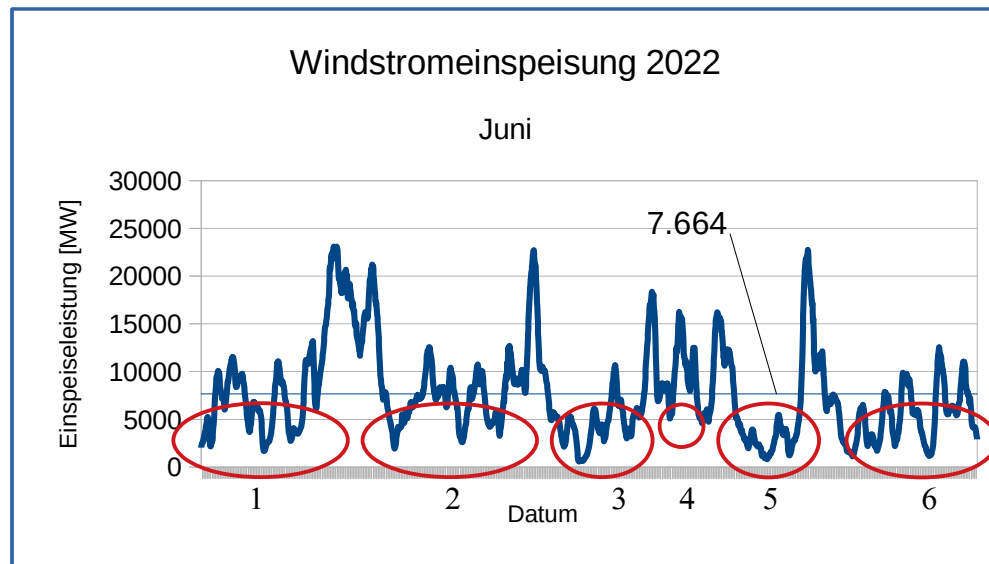


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Verlauf Juli 2022 mit 5 Schwachwindbereichen (Leistung unter 5000 MW).  
Verhältnis Monatsdurchschnitte 2022/2021 =  $9.735/7.955 = 1,22$ .

| Schwachwind- |                | Gesamtdauer | Dunkel-Anteil |
|--------------|----------------|-------------|---------------|
| Bereiche     | Datum          | Std.        | Std.          |
| 1            | 02.07.22 19:45 | 6,50        |               |
|              | 03.07.22 11:00 | 7,75        |               |
|              | 04.07.22 07:45 | 1,75        |               |
| 2            | 11.07.22 23:00 | 7,75        | 2,25          |
|              | 12.07.22 08:15 | 17,75       | 5,50          |
|              | 13.07.22 01:45 | 3,75        | 2,75          |
|              | 14.07.22 07:45 | 6,00        | 0,50          |
| 3            | 17.07.22 20:30 | 17,50       | 2,75          |
|              | 18.07.22 20:30 | 20,00       | 7,25          |
|              | 19.07.22 10:00 | 18,00       | 4,50          |
| 4            | 21.07.22 09:30 | 2,00        |               |
|              | 22.07.22 23:59 | 6,75        | 2,50          |
|              | 23.07.22 02:30 | 14,50       | 7,25          |
|              | 24.07.22 20:15 | 8,25        | 3,75          |
| 5            | 28.07.22 14:30 | 14,25       |               |
|              | 29.07.22 10:30 | 5,25        |               |
|              | 30.07.22 09:45 | 20,75       | 4,25          |
|              | 31.07.22 01:45 | 12,75       | 5,00          |
| Anzahl       |                | Summe       |               |
| 5            | 18             | 191,25      | 48,25         |

# Windflauten und die Folgen 2022



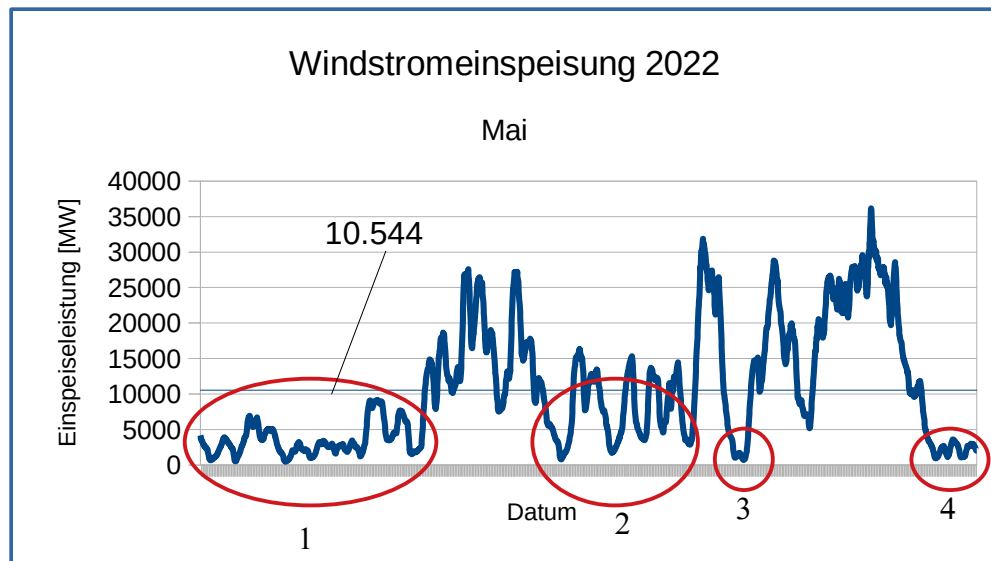
(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Verlauf Juni 2022 mit 6 Schwachwindbereichen (Leistung unter 5000 MW).  
Verhältnis Monatsdurchschnitte 2022/2021 =  $7.664/6.135 = 1,25$ .

| Schwachwind- |                  | Gesamtdauer | Dunkel-Anteil |
|--------------|------------------|-------------|---------------|
| Bereiche     | Datum            | Std.        | Std.          |
| 1            | 01.06.22 00:00   | 11,75       | 4,50          |
|              | 02.06.22 20:15   | 4           | 1             |
|              | 03.06.22 09:30   | 1,00        | 0,00          |
|              | 04.06.22 09:45   | 13,75       | 0,00          |
| 2            | 08.06.22 08:45   | 17,50       | 1,00          |
|              | 10.06.22 22:30   | 5,25        | 2,00          |
|              | 11.06.22 00:00   | 6,25        | 4,75          |
|              | 12.06.22 08:30   | 8,75        | 4,50          |
| 3            | 14.06.22 07:30   | 15,75       | 2,25          |
|              | 15.06.22 09:00   | 21,75       | 4,50          |
|              | 16.06.22 08:00   | 11,75       | 3,75          |
|              | 17.06.22 04:45 • | 12,25       | 3,00          |
| 4            | 18.06.22 20:00   | 1,50        |               |
|              | 19.06.22 23:59   | 1,50        | 1,50          |
|              | 20.06.22 01:30   | 6,25        | 4,50          |
| 5            | 21.06.22 19:45   | 15,75       | 2,00          |
|              | 22.06.22 10:30   | 24,00       | 6,25          |
|              | 23.06.22 09:15   | 18,25       | 4,50          |
| 6            | 25.06.22 18:45   | 17,50       | 2,00          |
|              | 26.06.22 07:15   | 17,50       | 1,00          |
|              | 27.06.22 09:30   | 8,00        |               |
|              | 28.06.22 16:45   | 14,25       | 0,25          |
| Anzahl       |                  | Summe       |               |
| 6            | 22               | 233         | 53            |



# Windflauten und die Folgen 2022



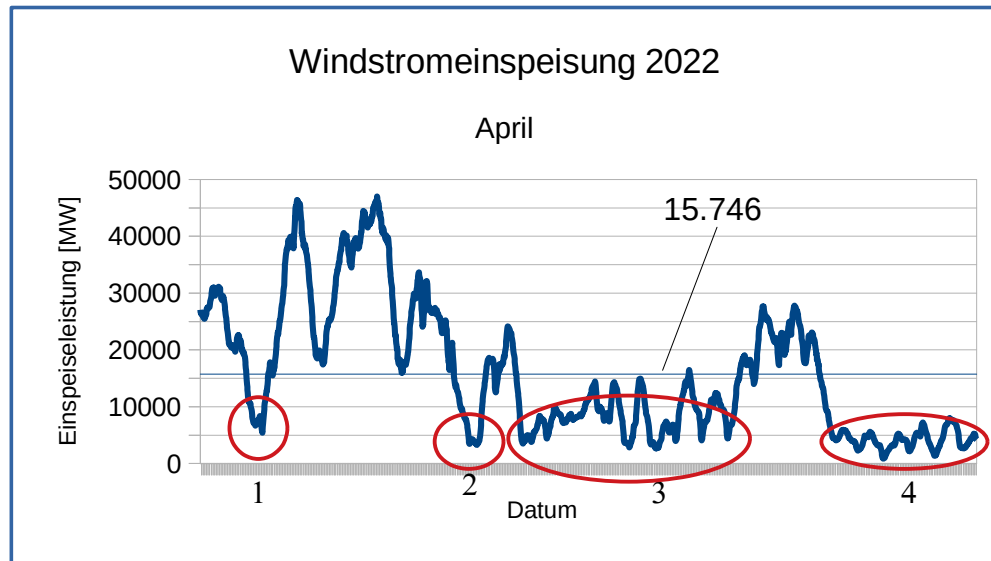
(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Verlauf Mai 2022 mit 4 Schwachwindbereichen (Leistung unter 5000 MW).  
Verhältnis Monatsdurchschnitte 2022/2021 =  $10.544/13.526 = 0,78$ .

| <del>Schwachwind-</del> |                | Gesamtdauer | Dunkel-Anteil |
|-------------------------|----------------|-------------|---------------|
| Bereiche                | Datum          | Std.        | Std.          |
| 1                       | 01.05.22 09:45 | 24,00       | 6,00          |
|                         | 02.05.22 09:45 | 21          | 5             |
|                         | 03.05.22 11:45 | 16,00       | 2,75          |
|                         | 04.05.22 09:45 | 24,00       | 8,00          |
|                         | 05.05.22 10:30 | 24,00       | 8,00          |
|                         | 06.05.22 09:30 | 24,00       | 8,00          |
|                         | 07.05.22 09:15 | 15,00       | 5,00          |
|                         | 08.05.22 11:45 | 10,50       |               |
|                         | 09.05.22 10:30 | 14,25       | 0,25          |
| 2                       | 15.05.22 09:45 | 19,50       | 4,75          |
|                         | 17.05.22 10:30 | 15,00       |               |
|                         | 18.05.22 18:00 | 9,50        | 0,00          |
| 3                       | 19.05.22 11:30 | 2,75        |               |
|                         | 20.05.22 13:45 | 9,25        |               |
|                         | 22.05.22 08:30 | 20,00       | 3,50          |
| 4                       | 25.05.22 08:00 | 0,75        |               |
|                         | 29.05.22 23:59 | 1,50        | 1,50          |
|                         | 30.05.22 08:45 | 24,00       | 5,75          |
|                         | 31.05.22 09:15 | 24,00       | 6,75          |
| Anzahl                  |                | Summe       |               |
| 4                       | 19             | 299         | 65            |

Längste zusammenhängende Windflaute des laufenden Jahres: 103 Std.

# Windflauten und die Folgen 2022

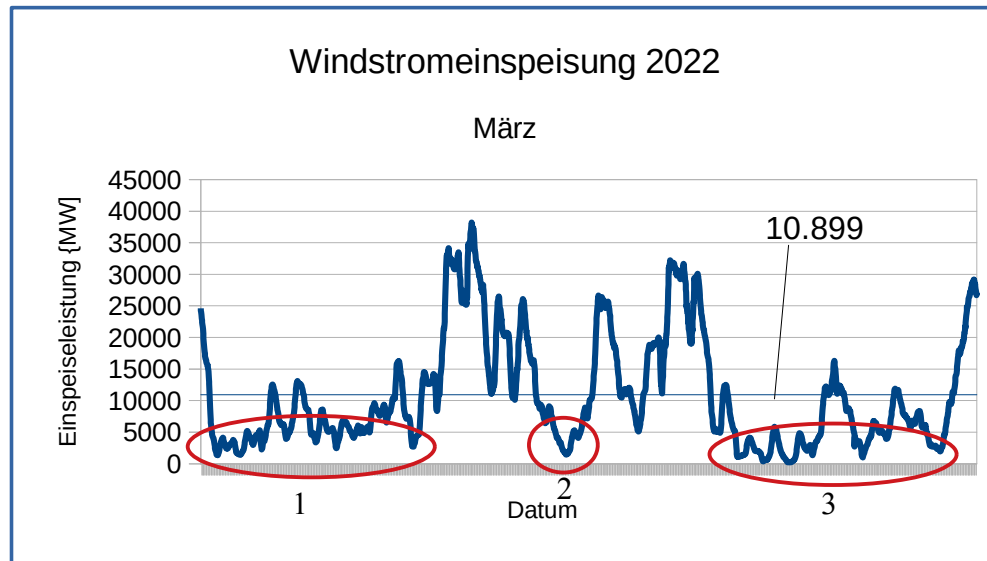


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Verlauf April 2022 mit 4 Schwachwindbereichen (Leistung unter 5000 MW).  
Verhältnis Monatsdurchschnitt 2022/2021 =  $15.746/13.231 = 1,19$ .

| Schwachwind- |                | Gesamtdauer | Dunkel-Anteil |
|--------------|----------------|-------------|---------------|
| Bereiche     | Datum          | Std.        | Std.          |
| 1            | 03.04.22 09:45 | 0,25        | 0,25          |
| 2            | 11.04.22 16:30 | 11,25       |               |
| 3            | 13.04.22 11:15 | 11,75       | 0,50          |
|              | 14.04.22 09:45 | 2,75        |               |
|              | 17.04.22 14:00 | 8,75        |               |
|              | 18.04.22 14:00 | 11,75       |               |
|              | 19.04.22 09:15 | 2,50        |               |
|              | 20.04.22 09:00 | 2,50        |               |
|              | 21.04.22 09:00 | 2,00        |               |
| 4            | 25.04.22 13:45 | 9,00        | 0,50          |
|              | 26.04.22 10:00 | 24,00       | 7,50          |
|              | 27.04.22 09:45 | 24,00       | 8,50          |
|              | 28.04.22 10:00 | 20,00       | 5,50          |
|              | 29.04.22 09:15 | 16,50       | 5,25          |
|              | 30.04.22 12:15 | 17,00       | 3,00          |
| Anzahl       |                | Summe       |               |
| 4            | 15             | 164         | 31            |

# Windflauten und die Folgen 2022



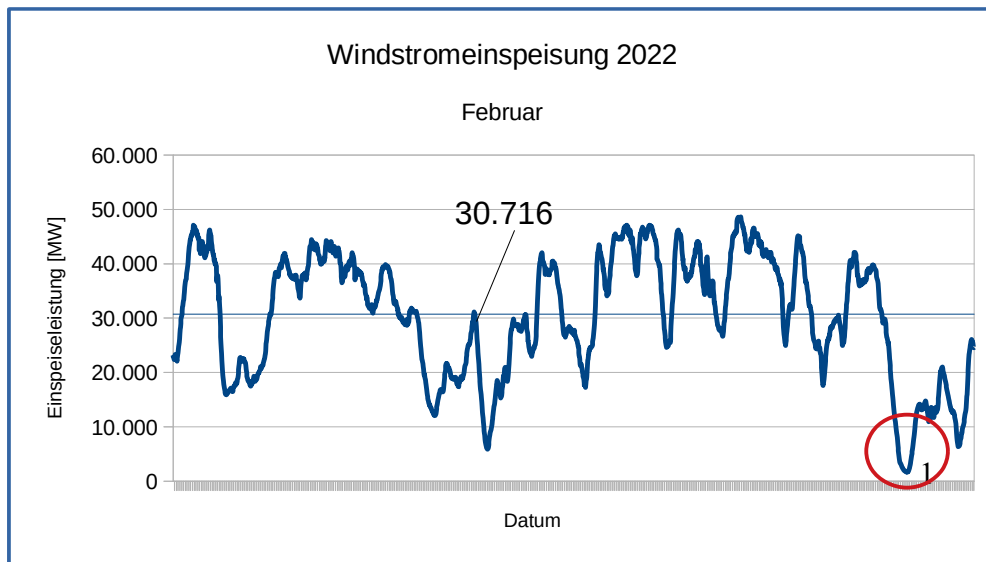
(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Verlauf März 2022 mit 3 Schwachwindbereichen (Leistung unter 5000 MW).  
Verhältnis Monatsdurchschnitt 2022/2021 =  $10.899/15.423 = 0,71$ .

| Schwachwind- |                | Gesamtdauer | Dunkel-Anteil |
|--------------|----------------|-------------|---------------|
| Bereiche     | Datum          | Std.        | Std.          |
| 1            | 01.03.22 15:45 | 13,25       | 5,75          |
|              | 02.03.22 13:45 | 24          | 12,25         |
|              | 03.03.22 10:45 | 14,50       | 6,50          |
|              | 04.03.22 10:30 | 4,00        | 0,00          |
|              | 05.03.22 14:15 | 13,25       | 0,00          |
|              | 06.03.22 10:00 | 5,75        |               |
|              | 07.03.22 02:45 | 5,00        | 4,00          |
|              | 09.03.22 11:45 | 8,00        |               |
| 2            | 15.03.22 14:00 | 18,25       | 5,75          |
|              | 16.03.22 01:30 | 3,50        |               |
| 3            | 21.03.22 17:15 | 4,50        |               |
|              | 22.03.22 10:30 | 18,00       | 5,00          |
|              | 23.03.22 10:30 | 22,00       | 8,00          |
|              | 24.03.22 10:45 | 24,00       | 10,75         |
|              | 25.03.22 09:45 | 18,00       | 5,75          |
|              | 27.03.22 10:45 | 19,00       | 6,50          |
|              | 28.03.22 09:30 | 10,50       | 6,50          |
|              | 29.03.22 23:59 | 0,25        | 0,25          |
|              | 30.03.22 12:45 | 18,00       | 6,50          |
| Anzahl       |                | Summe       |               |
| 3            | 19             | 243,75      | 83,50         |

Längste zusammenhängende Windflaute des laufenden Jahres: 82 Std.

# Windflauten und die Folgen 2022



(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

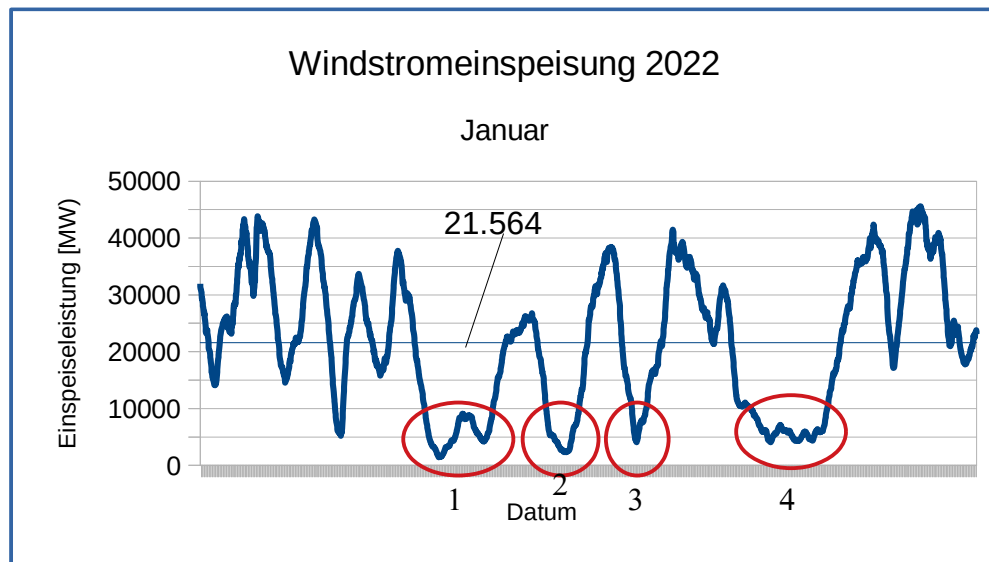
| Schwachwind-<br>Bereiche |                | Gesamtdauer | Dunkel-Anteil |
|--------------------------|----------------|-------------|---------------|
| Bereiche                 | Datum          | Std.        | Std.          |
| 1                        | 26.02.22 15:45 | 10,50       | 1,25          |

Verlauf Februar 2022 mit 1 Schwachwindbereich (Leistung unter 5000 MW).

Verhältnis Monatsdurchschnitt 2022/2021 =  $30.716/15.476 = 1,98$ .



# Windflauten und die Folgen 2022



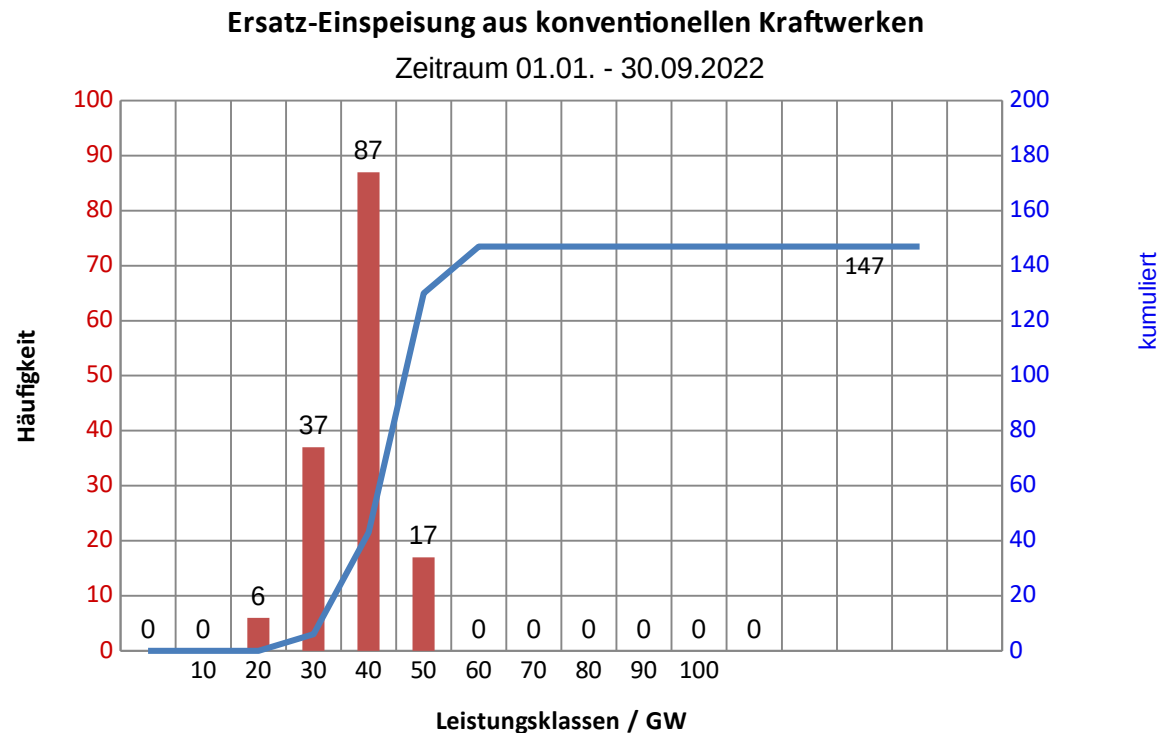
(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

| Schwachwind-Bereiche |                | Gesamtdauer | Dunkel-Anteil |
|----------------------|----------------|-------------|---------------|
|                      | Datum          | Std.        | Std.          |
| 1                    | 10.01.22 12:45 | 20,50       | 11,25         |
|                      | 11.01.22 00:00 | 4,50        | 4,50          |
|                      | 12.01.22 07:30 | 6,50        | 3,50          |
| 2                    | 15.01.22 15:00 | 17,00       | 7,00          |
| 3                    | 18.01.22 10:15 | 2,75        |               |
| 4                    | 23.01.22 18:45 | 5,00        | 3,50          |
|                      | 24.01.22 21:00 | 8,00        | 6,75          |
|                      | 25.01.22 11:00 | 5,25        | 0,50          |
| Anzahl               |                | Summe       |               |
| 4                    | 8              | 69,50       | 37,00         |

Verlauf Januar 2022 mit 4 Schwachwindbereichen (Leistungen unter 5000 MW).

Verhältnis Monatsdurchschnitt 2022/2021 =  $21.564 / 15.476 = 1,39$ .

# Windflauten und die Folgen 2022



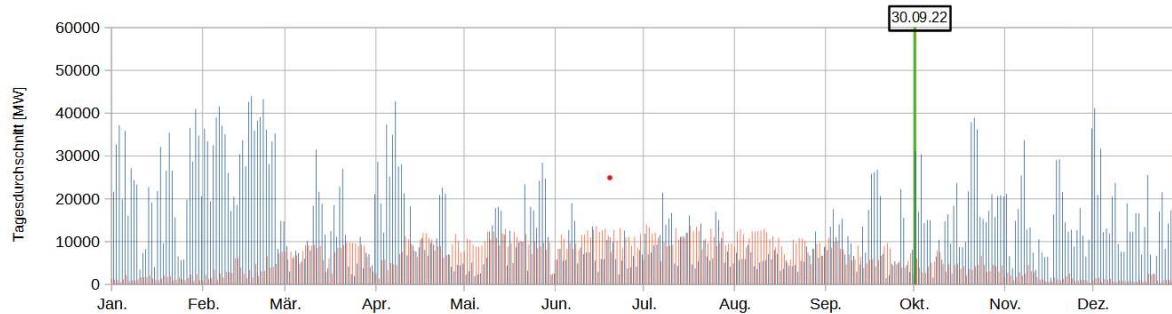
**418g**  
spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen  
(gCO<sub>2</sub>-eq/kWh)  
August

**389g**  
spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen  
(gCO<sub>2</sub>-eq/kWh)  
September

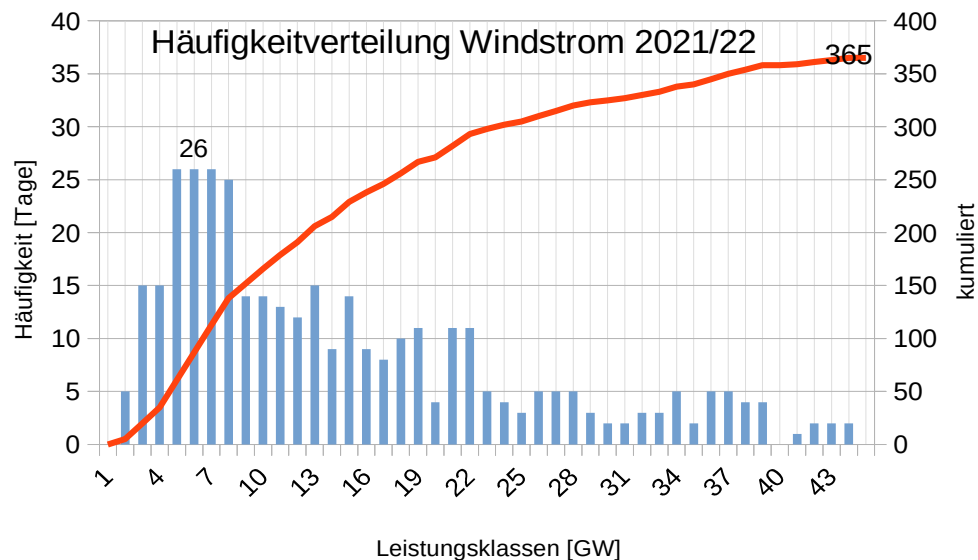
Statistisches Ergebnis von Jahresbeginn bis zum 30. September 2022. An 147 Tagen trat Windleistung unter 5 GW (= 8% der installierten Leistung) auf. Der jeweils am Minimum eines Schwachwindtages ermittelte Ersatz-Leistungsbedarf abzüglich Windstromeinspeisung und abzüglich aller sonstigen EE-Einspeisungen ergibt die geforderte Ersatzkapazität, aktuell zwischen > 10 bis ≤ 50 GW. **In der Hauptsache durch Kohle-, Erdgas- und 3 Kernkraftwerke (bis 31. Dezember ?), sowie Importstrom aufgebracht, zu lasten des deutschen Klimaschutzziels.**

# Windflauten und die Folgen 2022

Vergleich Wind- / Solareinspeisung 2021/22



Windstromeinspeisung und Vergleich mit Solar  
(Quelle: Strommarktdaten smard)



Histogramm Windstromeinspeisung  
(Quelle: B. Zierenberg)

**Oberes Diagramm:** Jahresverlauf der Tagesdurchschnitte Wind (blau) + Solar (rot) für gesamtes Jahr 2021, überschrieben mit aktuellem Verlauf 2022. In anderen Studien wird gezeigt, dass zur vollständigen Verstetigung der Einspeise-Volatilität und der ebenfalls schwankenden Residuallast eine Speicherkapazität von insgesamt 27 TWh benötigt wird [3], wobei ein vollkommen verlustloser Speicher unterstellt wird.

**Unteres Diagramm:** Die aus dem Jahresverlauf 2021/22 ermittelte Häufigkeitsverteilung, zeigt ein Übergewicht geringerer Leistungen, mit Maximum von 26 Tagen bei der Leistungsklasse 5 GW (Bereich  $> 5 \dots \leq 6$  GW).

**Die der Windstromeinspeisung zugrunde liegenden Gesetze der Physik und statistischen Mathematik lassen kein anderes Resultat erwarten! [4]**

Die im Laufe des Jahres 2022 getroffene Schwachwindprognose für das gesamte lfd. Jahr ist: an mindestens 61 Tagen wird die durchschnittliche tägliche Windstromeinspeisung weniger als 5 GW betragen (Summe der Häufigkeit der ersten 4 Balken). Letzter Ist-Stand: 147 Tage (siehe Diagramm Folie 10)

# Windflauten und die Folgen 2022

## Zusammenfassung 2022

**Windflauten-Lage:** Die Dauer der 147 Windflauten (Folie 10) summierte sich auf 1824 Stunden. Im Verlauf des gesamten Jahres ist zu jeder Zeit eine Gesamt-Jahresprognose mit großer Sicherheit auf Basis der Vorjahresdaten möglich (Folie 11).  
Längste ununterbrochene Schwachwindperiode = 103 Stunden vom 03.05. 08:00 bis 07.05. 15:15 Uhr

(siehe Tabelle Folie 4).

An 112 Tagen wurden die Schwachwindperioden von Dunkelflauten mit einer Gesamtdauer von 484 Stunden begleitet.

Die gesicherte Leistung der Windkraft betrug im Jahr 2022 **bis zum aktuellen Datum** 0,204 GW, dem am 24.03. aufgetretenen niedrigsten Einspeisewert. Das entspricht der Leistung von ca. 0,15 (1/6) Kernkraftwerk.

**Bedarfsdeckung durch konventionelle (Ersatz-)Kapazität:** erfolgte während der Schwachwindperioden in der Spitze mit 81% Deckungsgrad durch 40 GW konventionelle Kraftwerksleistung. Dies entspricht 45 % der installierten konventionellen Leistung (Kohle, Erdgas, Pumpspeicher, Kernenergie, Sonstige = 89 GW). Am häufigsten, nämlich 87 mal, kamen konventionelle Kraftwerks-Einsätze zur Bedarfsdeckung im Bereich zwischen 30 bis 40 GW vor.

**Deckungsbeitrag Kohle + Kernkraft (erstzloser Ausstieg, geplant im April 2023 = nationale Stromlücke):**  
Kohlekraftwerke deckten den Bedarf während der Schwachwindzeiten in der Spitze zu 69 % am 27.06. mit 45 GW,  
Kernkraftwerke zu **10 %** am 31.07. mit 4 GW.

**Maximaler Stromimport während Windflauten:** am 18.07. mit 8,052 GW

**Netzstabilität:** 29.01. 21:00 Uhr – Frequenzabfall um -0,118 Hz / Ausgleichsleistung 1.809 MW  
15.05. 20:31 Uhr – Frequenzabfall um -0,133 Hz / Ausgleichsleistung 2.039 MW  
Netzzeitabweichung im August, Minimum: -25 Sek. [8]



## Vorgehensweise

**Definition:** unter „Windflauten und die Folgen“ ist, im Sinne der vorliegenden Präsentation, die stark ertragsgeschwächte Windstrom-Einspeisung während Schwachwindzeiten und dem damit einhergehenden Bedarf an Ersatzkapazität zu verstehen.

### **Windstromeinspeisung:**

Aus der Aufnahme von öffentlich zugänglichen Strommarktdaten, die als Viertelstunden-Ertrags-Mittelwerte vorliegen [1], wird der monatliche Verlauf der Windstromeinspeisung ins Netz ermittelt und als Ergebnisdiagramm mit Tabelle dargestellt. Das besondere Interesse gilt hier der Hervorhebung von Einspeiseleistungen (On- + Offshore), die in Summe gleich oder kleiner als 5.000 MW sind, im Verlauf der sogenannten Schwachwindbereiche. Am Minimum einer jeden Schwachwindperiode entsteht ein erhöhter Bedarf an Ausgleichskapazität, eine Hürde, die derzeit nur mit Hilfe von Ersatzeinspeisung mittels konventioneller Kraftwerke überwunden werden kann. Das Vorgehen wird im folgenden „Schwachwindanalyse“ genannt.

**Zu den Monats-Diagrammen:** Anordnung in absteigender Reihenfolge, d.h. aktueller Monat zuerst, Januar zuletzt. Mit „Datum (und Uhrzeit)“ wird jeweils das Tagesminimum der Einspeiseleistung markiert. Unter Gesamtdauer und Dunkel-Anteil sind die entsprechenden Dauern für jeden von Schwachwind betroffenen Tag zu verstehen. Es wird dann jeweils die erforderliche Ersatzeinspeisung ermittelt, also die zur Bedarfsdeckung an diesem kritischen Zeitpunkt erforderliche Leistung, ohne Systemdienstleistung, also der Residuallast.

### **Statistische Aussage:**

Das Ergebnis der „Schwachwindanalyse“, ist eine zusammenfassende Darstellung der gesamten Ersatzeinspeisung in Form eines Histogramms (mit Überschrift „Ersatzeinspeisung aus konventionellen Kraftwerken“), das sich immer auf die aktuelle Gesamtauswertung bezieht, also zum Jahresende hin zunehmend genauer wird.

Danach wird der gesamte Jahresverlauf der Windkraft und PV-Einspeisung dargestellt mit dem Ziel, schon zu Jahresbeginn eine Gesamtjahres-Prognose zu ermöglichen und diese mit dem aktuellen Verlauf vergleichen zu können.

## Quellenverzeichnis

[1] smard strommarktdaten der Bundesnetzagentur

[2] smard und Windjournal (Windenergie-Schwankung, Sonnenenergie-Schwankung)

[3] Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Hans-Werner Sinn, ifo-Institut München, „Wieviel Zappelstrom verträgt das Netz“(2014)

[4] Vernunftkraft, Windkraft vs. Würfeln; Statistische Betrachtungen

[5] Vernunftkraft Landesverband Hessen e.V.

[6] <https://pc-projekte.lima-city.de/stromnetz-01.html>  
Netzfrequenz-Infodienst

[7] Netzfrequenzmessung  
<https://www.netzfrequenzmessung.de/aktuelles.htm>

[8] Abweichung der Netzzeit des UCTE-Stromnetzes  
<https://gridradar.net/de/netzzeit>

