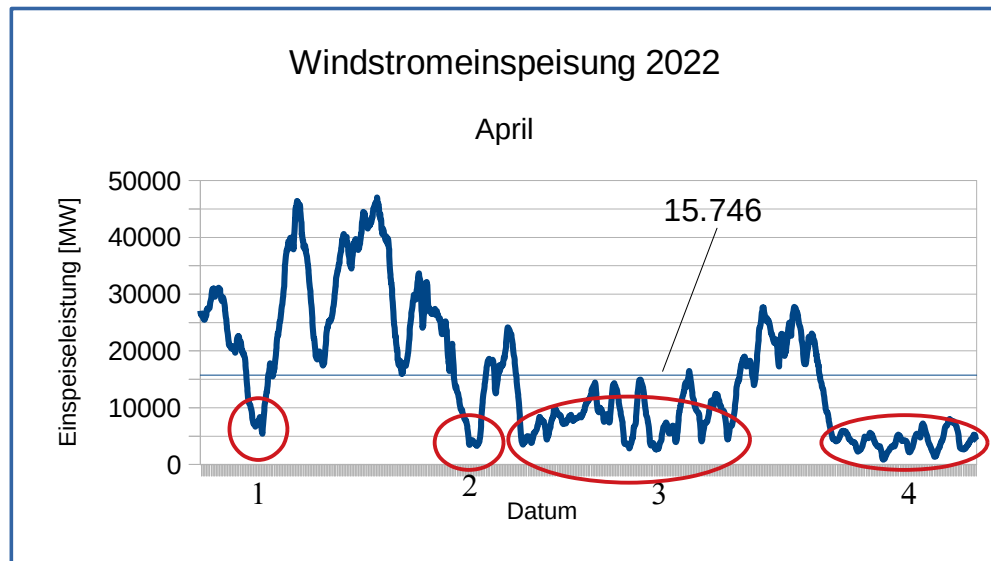


# Windflauten und die Folgen 2022



(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

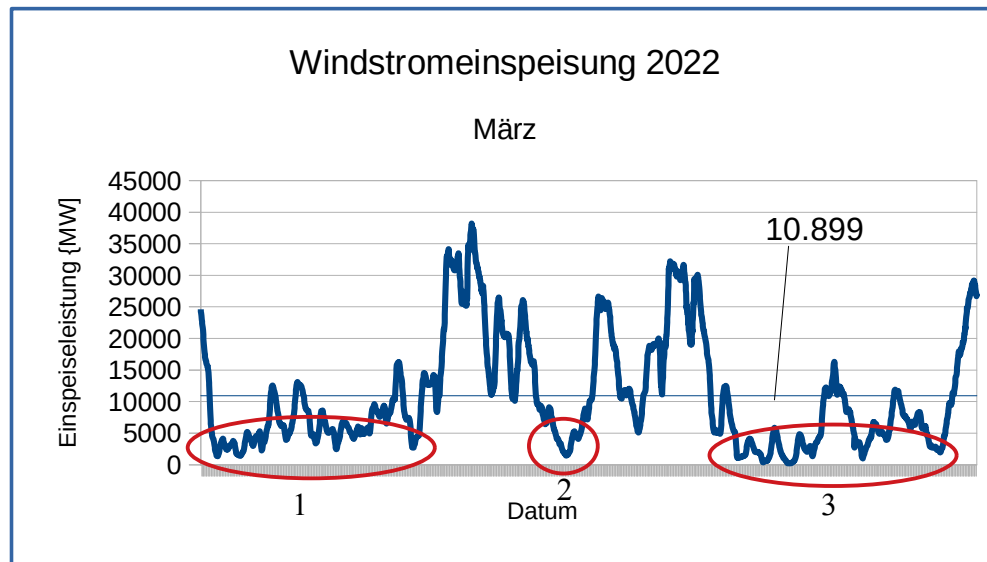
Verlauf März 2022 mit 4 Schwachwindbereichen (Leistung unter 5000 MW).  
Verhältnis Monatsdurchschnitt 2022/2021 =  $15.746/13.231 = 1,19$ .

| 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            |

Anschließende Folien, Inhalt:

- Folie 2 - 4: Monatsdiagramme März - Januar
- Folie 5: Statistisches Ergebnis (Ersatzeinspeisung)
- Folie 6: Gesamtjahres-Prognose
- Folie 7: Zusammenfassung
- Folie 8: Vorgehensweise
- Folie 9: Quellenverzeichnis

# Windflauten und die Folgen 2022



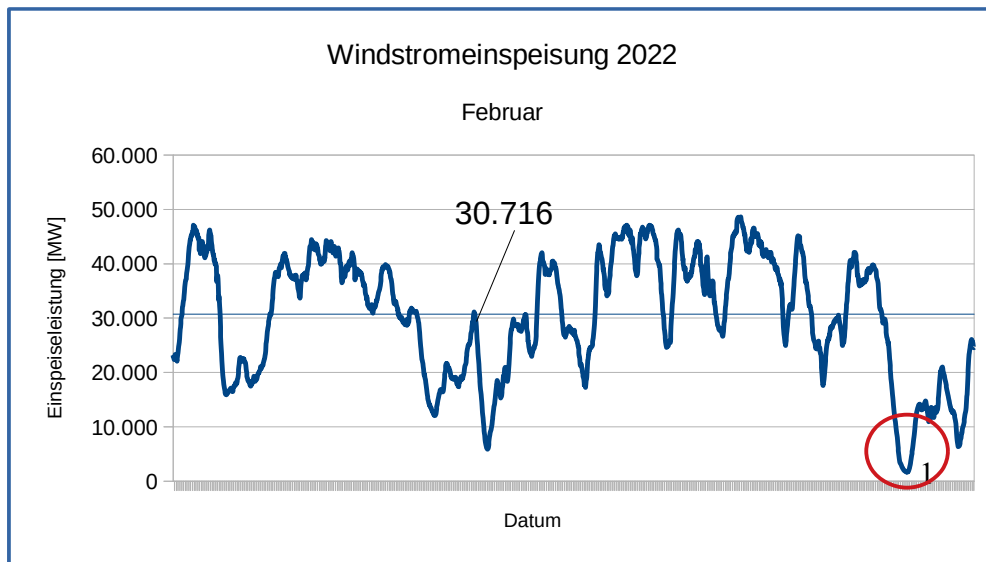
(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

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



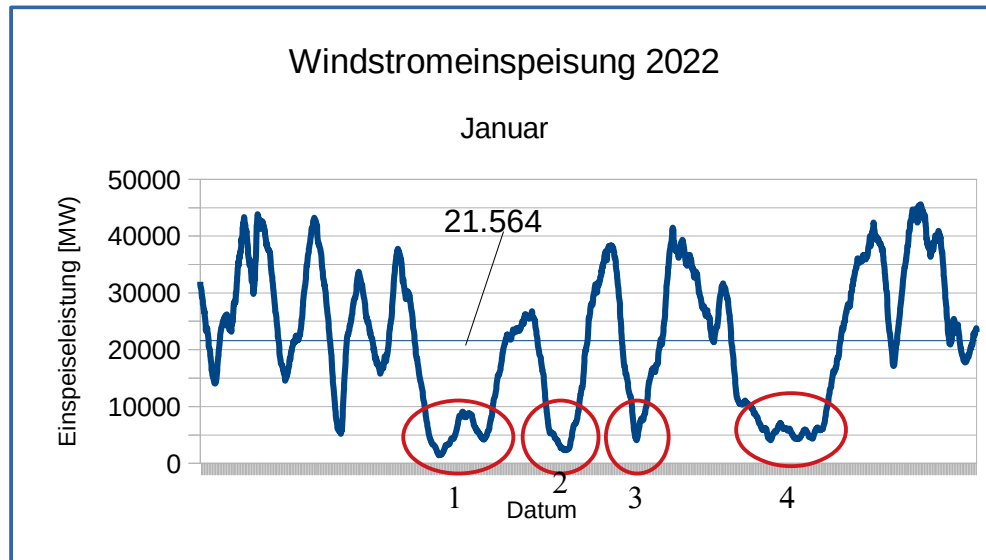
(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

| Schwachwind- |                | 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



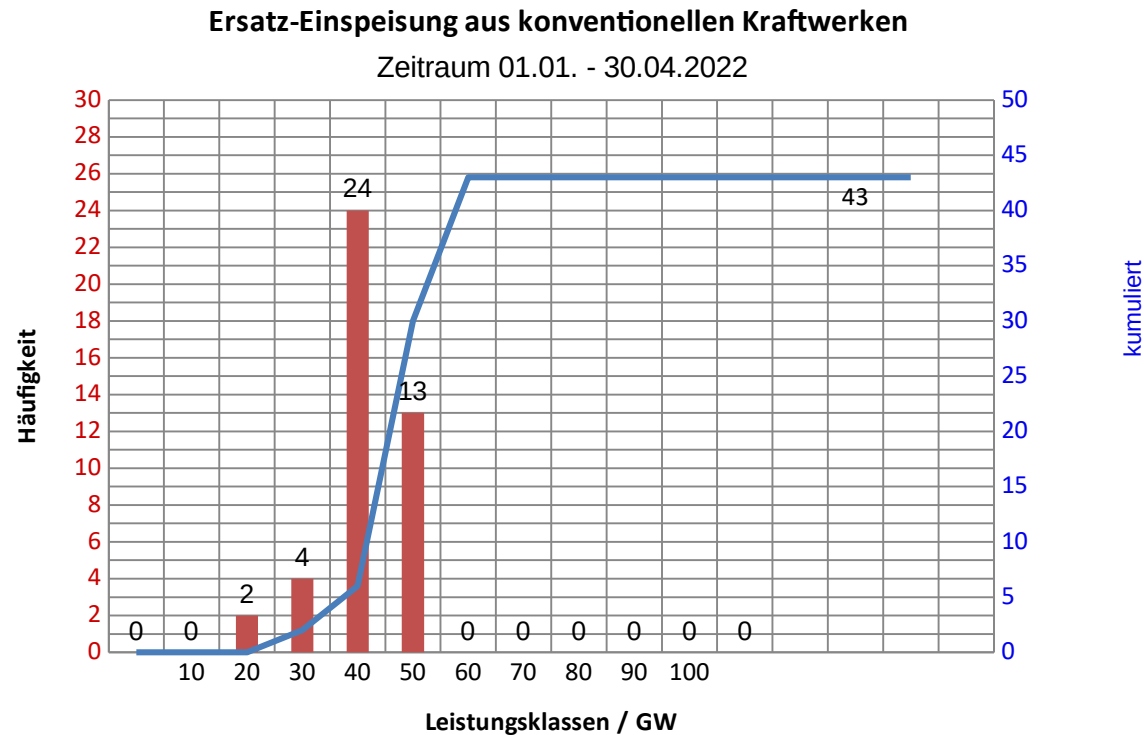
(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

| 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 =  $21.564 / 15.476 = 1,39$ .

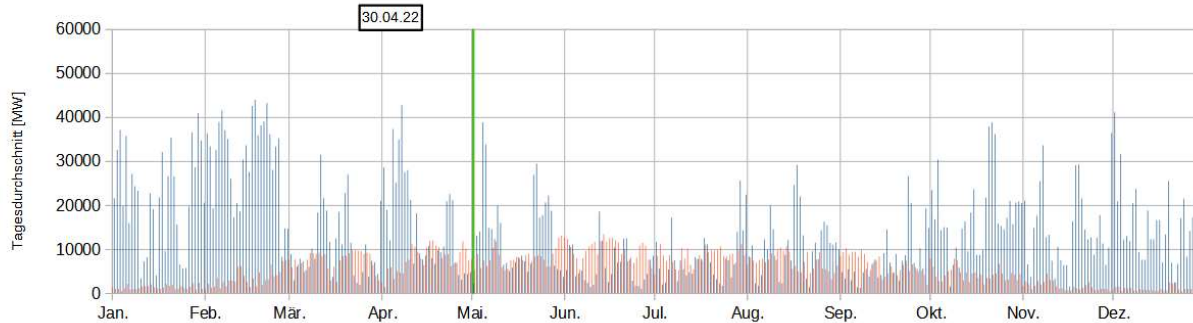
# Windflauten und die Folgen 2022



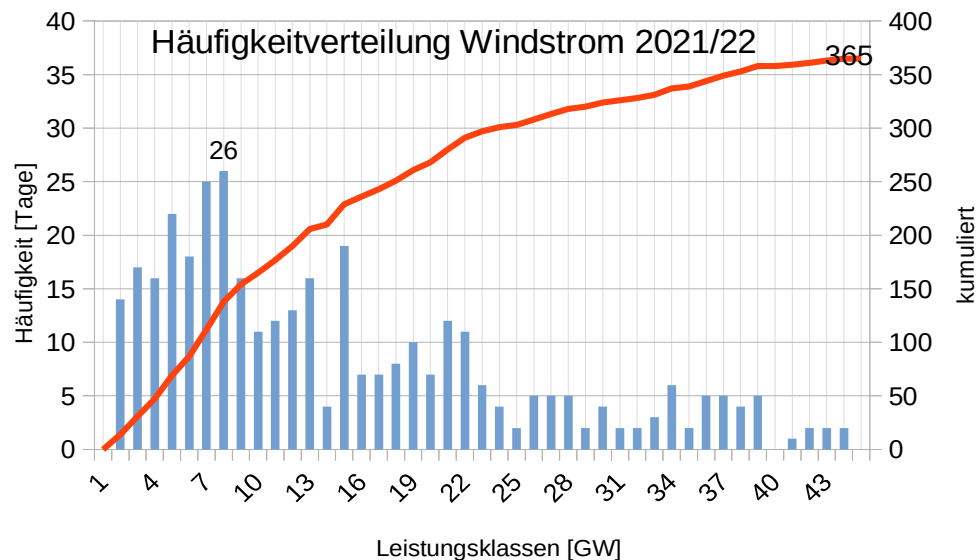
Statistisches Ergebnis von Jahresbeginn bis zum 30. April 2022. An 43 Tagen trat Windleistung unter 5 GW (= 8% der installierten Leistung) auf. Der jeweils am Minimum eines Schwachwindtages ermittelte Leistungsbedarf abzüglich Windstromeinspeisung und abzüglich aller sonstigen EE-Einspeisungen ergibt die geforderte Ersatzkapazität, aktuell zwischen > 10 bis  $\leq$  50 GW.

# Windflauten und die Folgen 2022

Vergleich Wind- /Solareinspeisung 2021/22



Windstromeinspeisung und Vergleich mit Solar  
(Quelle: Windjournal)



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 dieser Einspeise-Volatilität und der ebenfalls schwankenden Residuallast eine Speicherkapazität von insgesamt 16 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 8 GW (Bereich  $> 8 \dots \leq 9$  GW).

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

Die schon im Laufe des Jahres 2022 getroffene Schwachwindprognose für das gesamte lfd. Jahr war: an mindestens 69 Tagen wird die durchschnittliche tägliche Windstromeinspeisung weniger als 5 GW betragen (Summe der Häufigkeit der ersten 5 Balken). Letzter Ist-Stand: 43 Tage (siehe Diagramm Folie 5)

## Zusammenfassung 2022

**Windflauten-Lage:** Die Dauer der 43 Windflauten (Folie 5) summierte sich auf 488 Stunden. Im Verlauf des gesamten Jahres ist zu jeder Zeit eine Gesamt-Jahresprognose mit großer Sicherheit auf Basis der Vorjahresdaten möglich (Folie 6).

Längste ununterbrochene Schwachwindperiode = 82 Stunden vom 22.03. 06:00 bis 25.03. 18:00 Uhr (siehe Tabelle Folie 2).

An 31 Tagen wurden die Schwachwindperioden von Dunkelflauten mit einer Gesamtdauer von 153 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 40 GW konventioneller Kraftwerksleistung, bei 81% Deckungsgrad. Dies entspricht 45 % der installierten konventionellen Leistung (Kohle, Erdgas, Pumpspeicher, Kernenergie, Sonstige = 89 GW). Am häufigsten, nämlich 24 mal, kamen konventionelle Kraftwerks-Einsätze zur Bedarfsdeckung im Bereich zwischen 30 bis 40 GW vor.

**Deckungsbeitrag Kohle + Kernkraft (bei erstzlosem Ausstieg = nationale Stromlücke):** Kohlekraftwerke deckten den Bedarf während der Schwachwindzeiten in der Spitze zu 55 % am 07.03. mit 25 GW, Kernkraftwerke zu 9 % am 07.03. mit 4,1 GW.

**Maximaler Stromimport während Windflauten:** am 10.01. mit 8 GW

**Netzstabilität:** 29.01. 21:00 Uhr – Frequenzabfall um -0,118 Hz / Ausgleichsenergie 1.809 MW

## 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] 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>