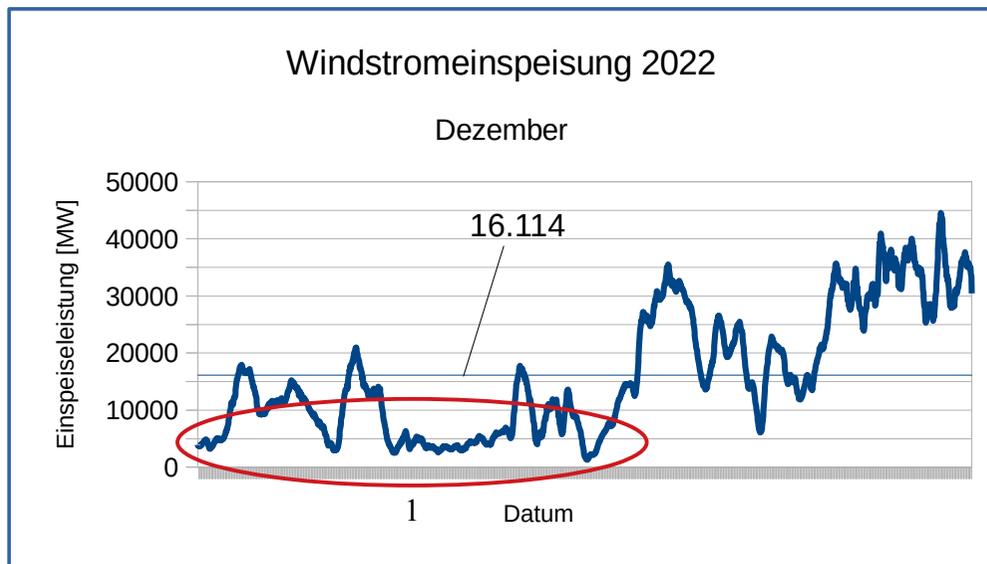


Windflauten und die Folgen 2022



(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Verlauf Dezember 2022 mit 1 ausgedehnten Schwachwindbereich (Leistung unter 5000 MW). Verhältnis Monatsdurchschnitte 2022/2021 = $16.114/16.415 = 0,98$.

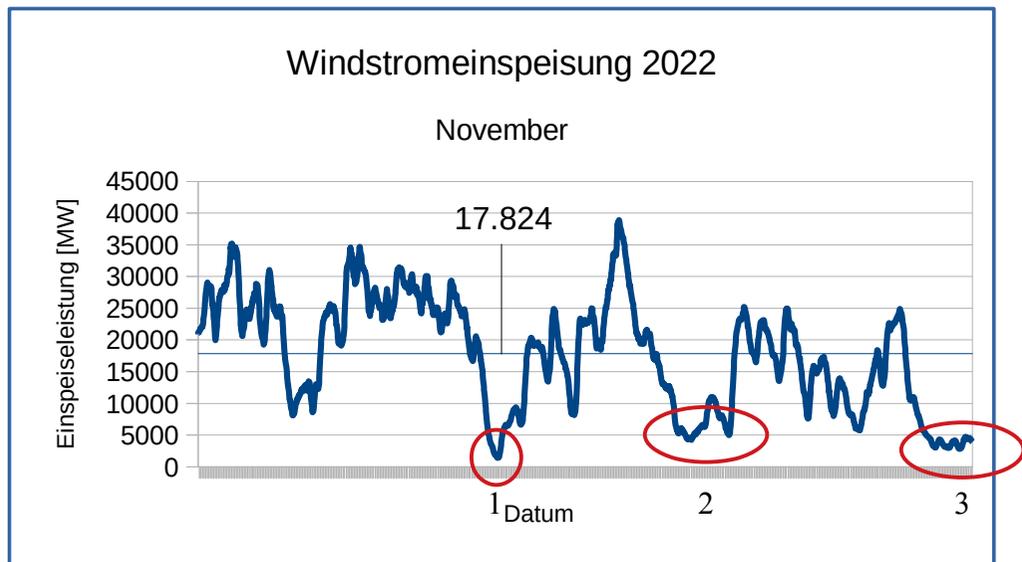
Schwachwind-		Gesamtdauer	Dunkel-Anteil
Bereiche	Datum	Std.	Std.
1	01.12.22 11:30	24,00	12,50
	02.12.22 00:00	2,00	2,00
	06.12.22 10:30	12,75	4,00
	08.12.22 20:15	10,50	7,25
	09.12.22 11:30	24,00	14,25
	10.12.22 15:00	24,00	14,25
	11.12.22 14:30	24,00	14,75
	12.12.22 17:00	21,00	11,75
	13.12.22 12:45	1,75	
	14.12.22 14:00	7,00	3,00
	16.12.22 14:30	15,50	7,25
	17.12.22 00:00	4,50	4,50
Anzahl		Summe	
1	12	171,00	95,50

Längste zusammenhängende Windflaute des laufenden Jahres: 104 Std.

Anschließende Folien, Inhalt:

- Folie 2 - 12: Monatsdiagramme = November - Januar
- Folie 13: Statistisches Ergebnis (Ersatzeinspeisung)
- Folie 14: Gesamtjahres-Prognose
- Folie 15: Zusammenfassung
- Folie 16: Vorgehensweise
- Folie 17: Quellenverzeichnis, zusätzlich laufende Netzzeitabweichung

Windflauten und die Folgen 2022

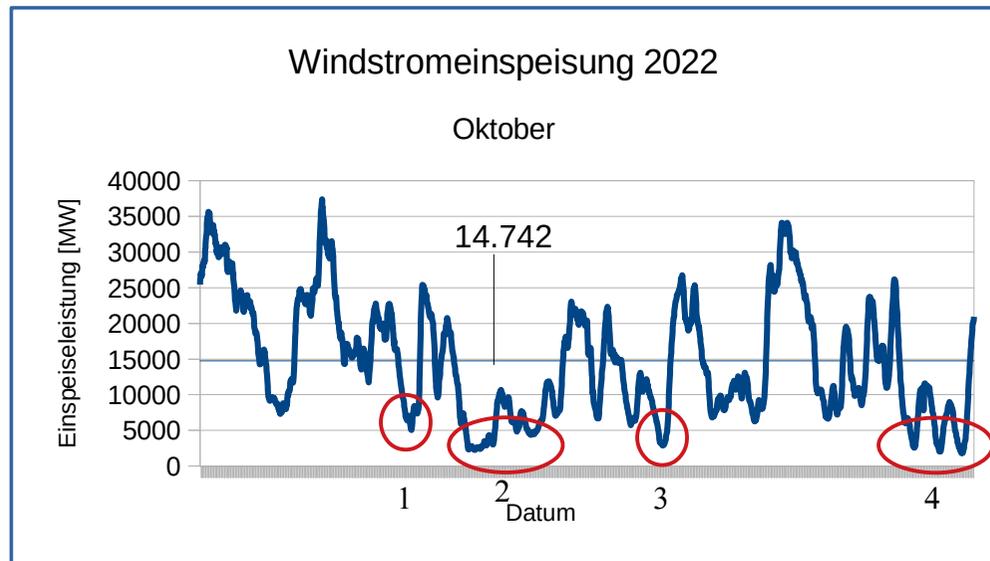


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Verlauf November 2022 mit 3 Schwachwindbereichen (Leistung unter 5000 MW).
Verhältnis Monatsdurchschnitte 2022/2021 = $17.824/14.362 = 1,24$.

Schwachwind-		Gesamtdauer	Dunkel-Anteil
Bereiche	Datum	Std.	Std.
1	12.11.22 14:45	13,50	3,75
	19.11.22 23:45	9,50	7
2	20.11.22 01:30	9,50	7,25
	21.11.22 13:45	3,00	
3	29.11.22 14:00	20,50	10,75
	30.11.22 14:00	24,00	14,50
Anzahl		Summe	
3	6	80	44

Windflauten und die Folgen 2022

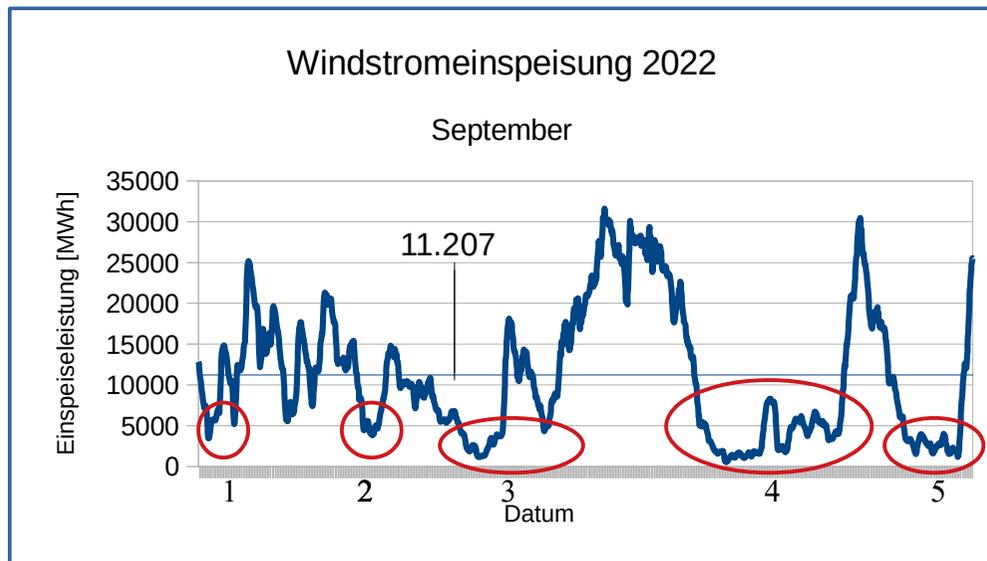


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Verlauf Oktober 2022 mit 4 Schwachwindbereichen (Leistung unter 5000 MW).
Verhältnis Monatsdurchschnitte 2022/2021 = $14.742/17.559 = 0,84$.

Bereiche	Schwachwind-	Gesamtdauer Std.	Dunkel-Anteil Std.
	Datum		
1	09.10.22 11:00	1,50	
	11.10.22 23:59	9,25	5,00
2	12.10.22 00:00	19,75	2,25
	13.10.22 16:30	2,50	
	14.10.22 06:15	11,50	5,25
3	19.10.22 13:15	8,50	
4	29.10.22 15:00	6,75	
	30.10.22 15:15	8,25	
	31.10.22 12:00	11,50	1,25
Anzahl		Summe	
4	9	80	14

Windflauten und die Folgen 2022

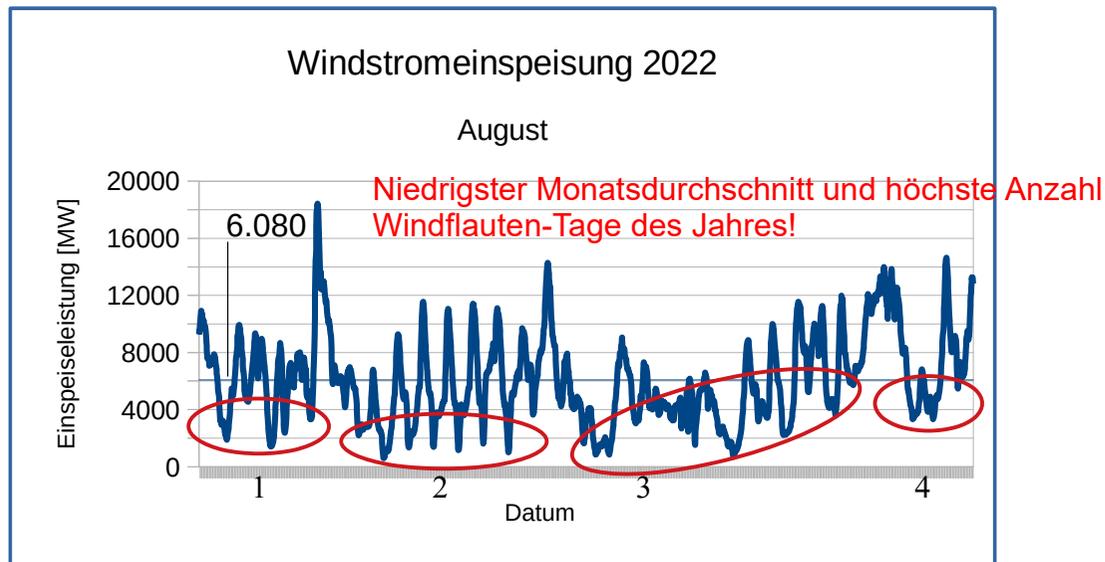


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

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
4	14.09.22 10:00	5,50	
	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

Windflauten und die Folgen 2022

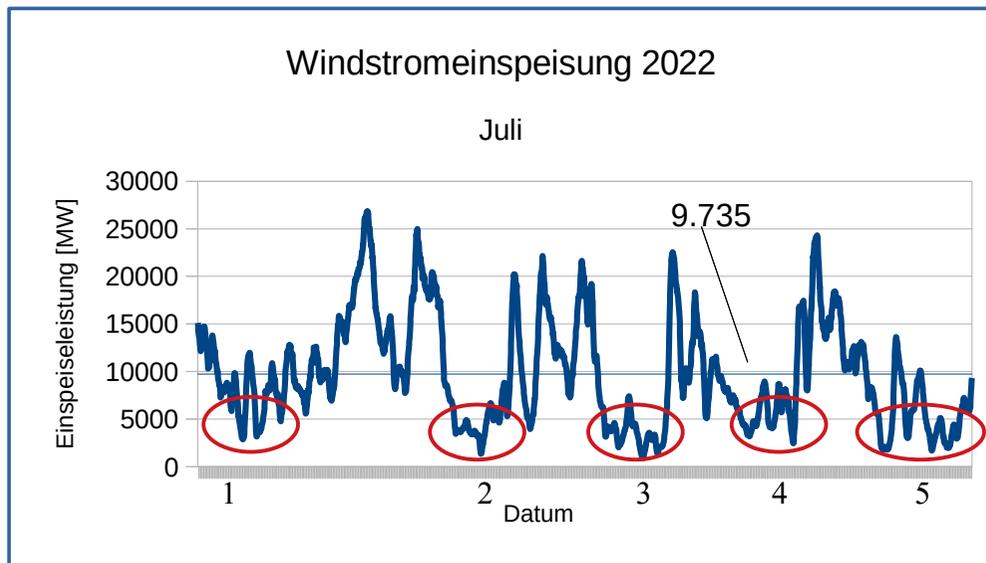


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

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

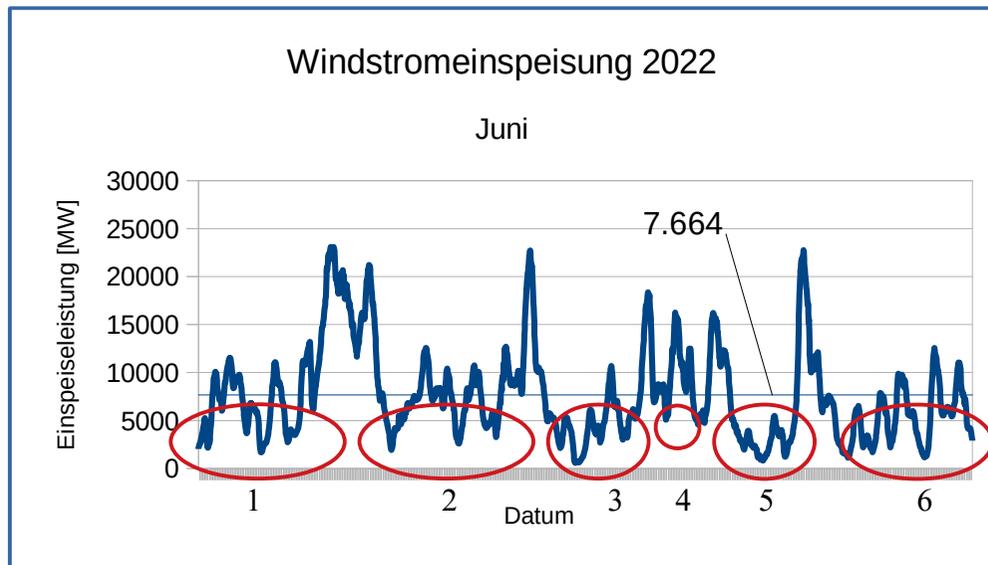


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

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

Bereiche	Schwachwind-		Gesamtdauer Std.	Dunkel-Anteil Std.
	Datum			
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

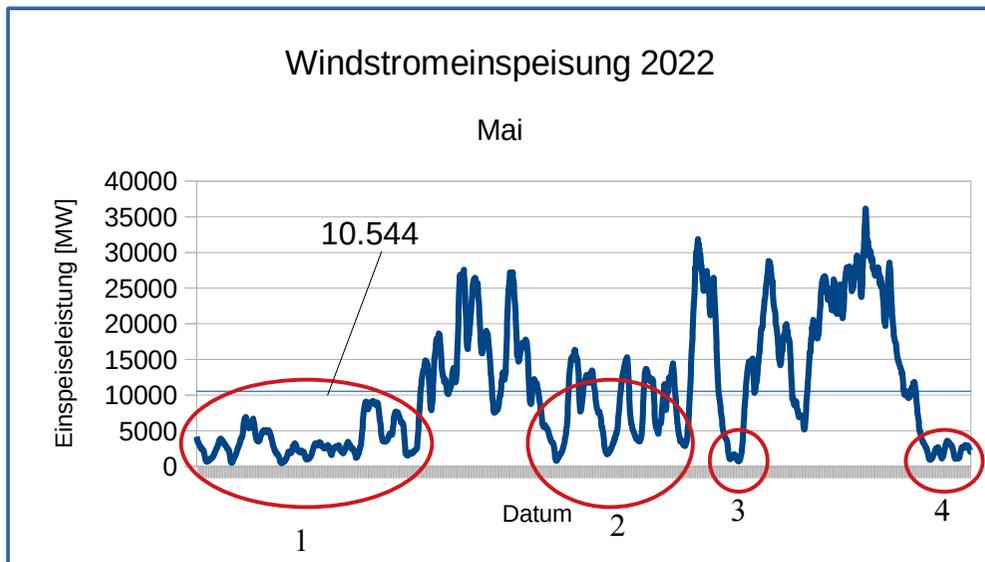


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

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
2	04.06.22 09:45	13,75	0,00
	08.06.22 08:45	17,50	1,00
	10.06.22 22:30	5,25	2,00
3	11.06.22 00:00	6,25	4,75
	12.06.22 08:30	8,75	4,50
	14.06.22 07:30	15,75	2,25
4	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
5	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
6	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

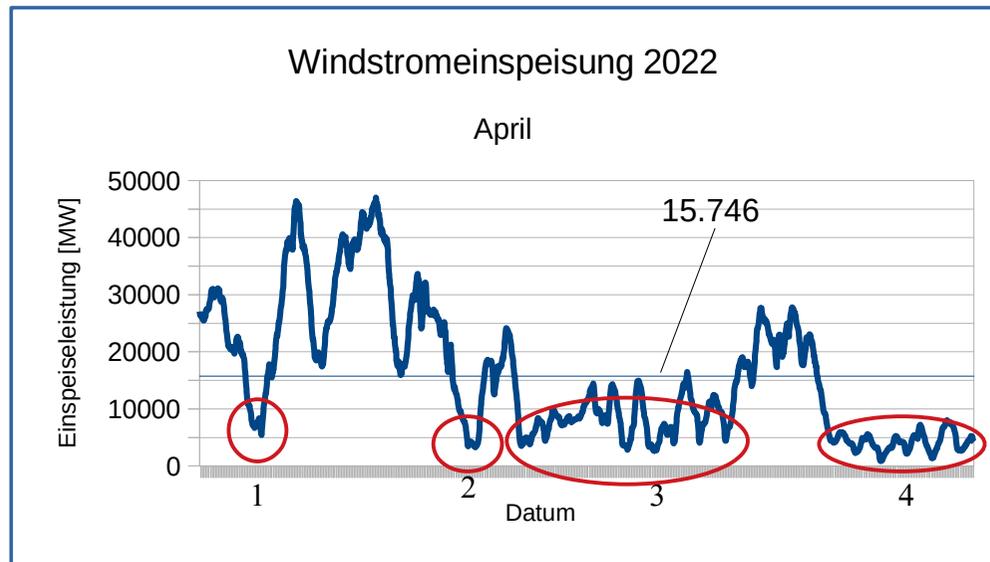


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

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

Schwachwind-		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	
4	22.05.22 08:30	20,00	3,50
	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

Windflauten und die Folgen 2022

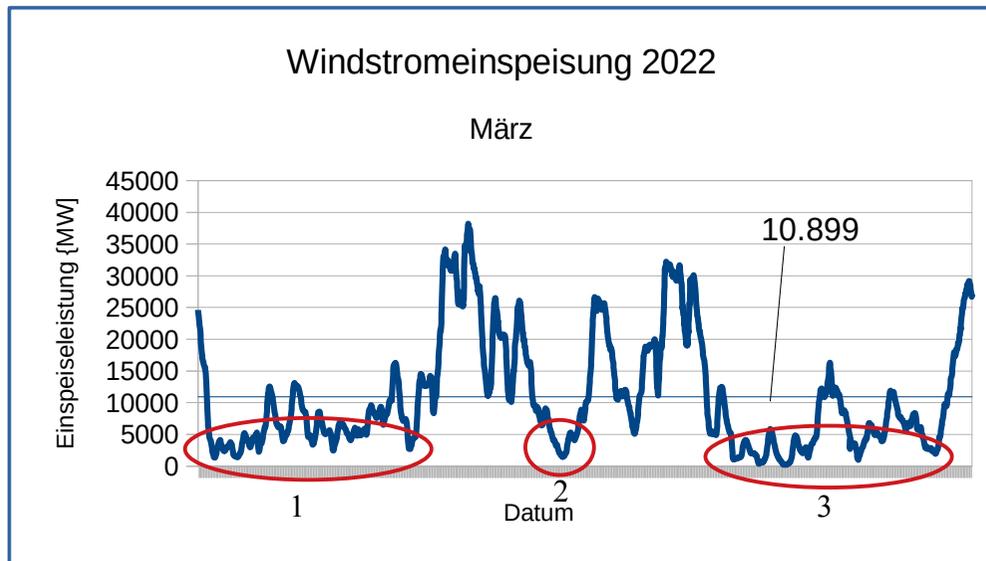


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

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



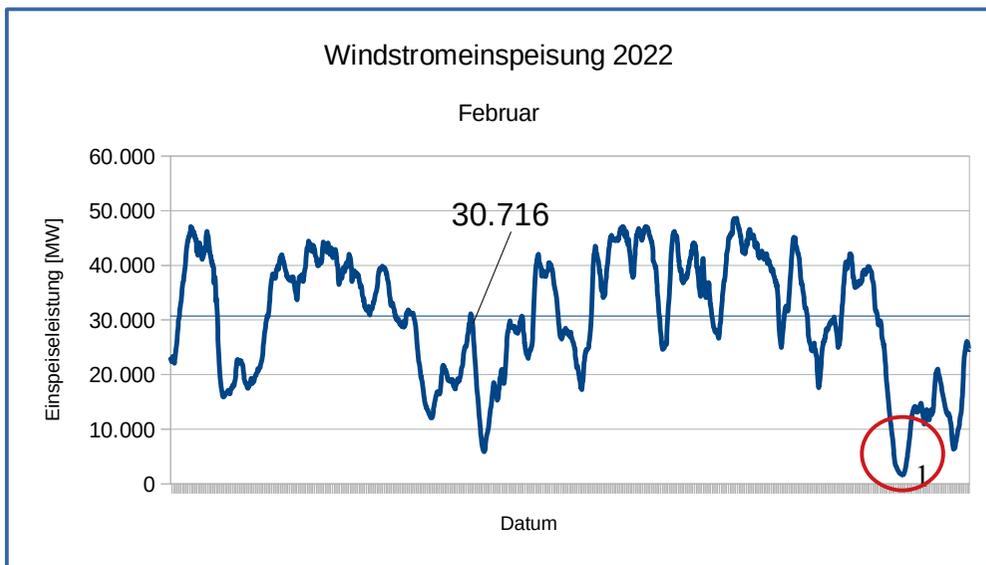
(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

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
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

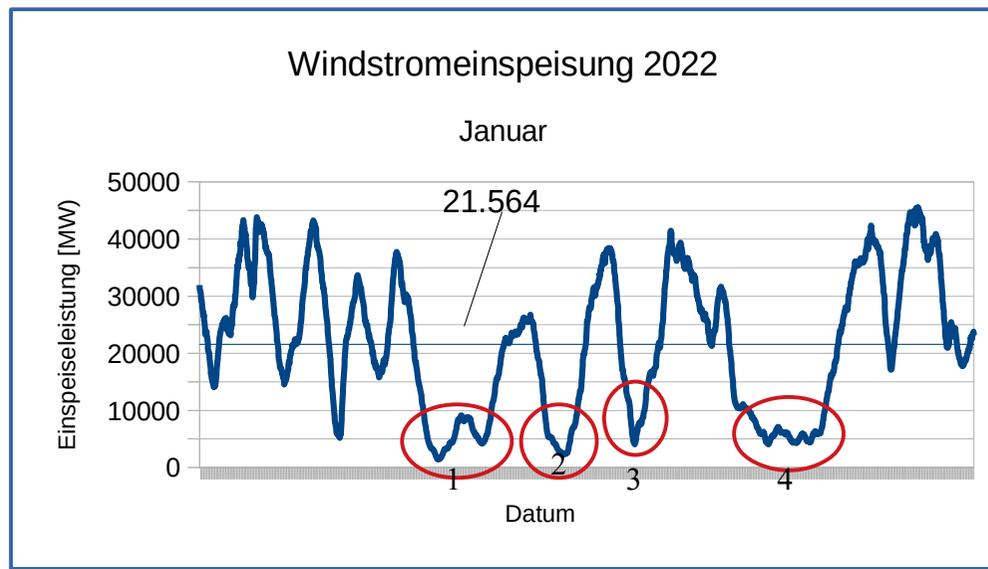


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

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



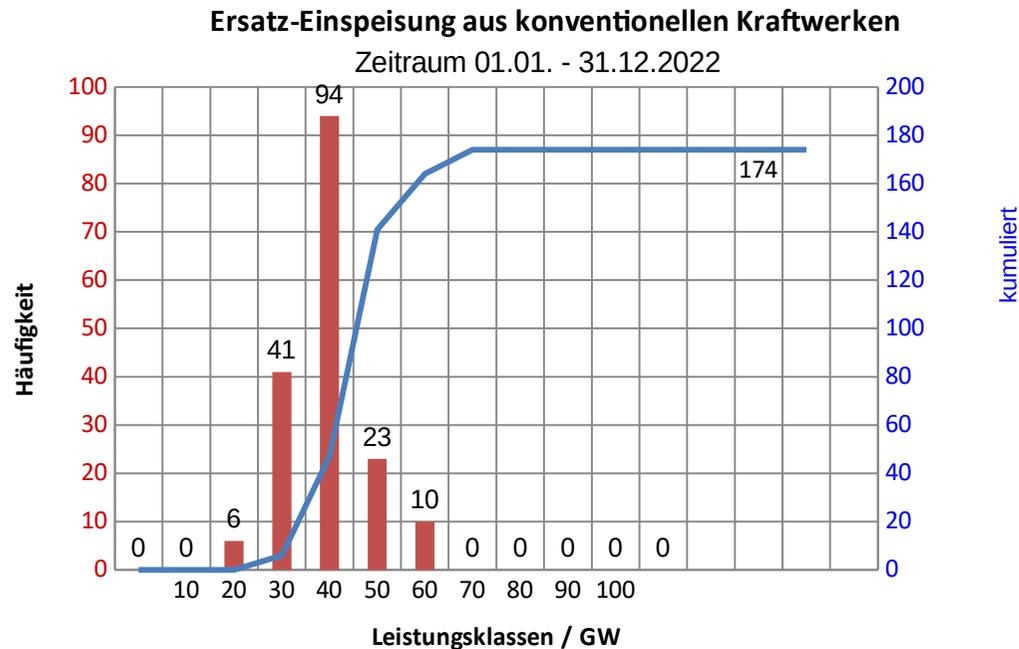
(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Bereiche	Schwachwind-Datum	Gesamtdauer Std.	Dunkel-Anteil 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 = $21.564/15.476 = 1,39$.

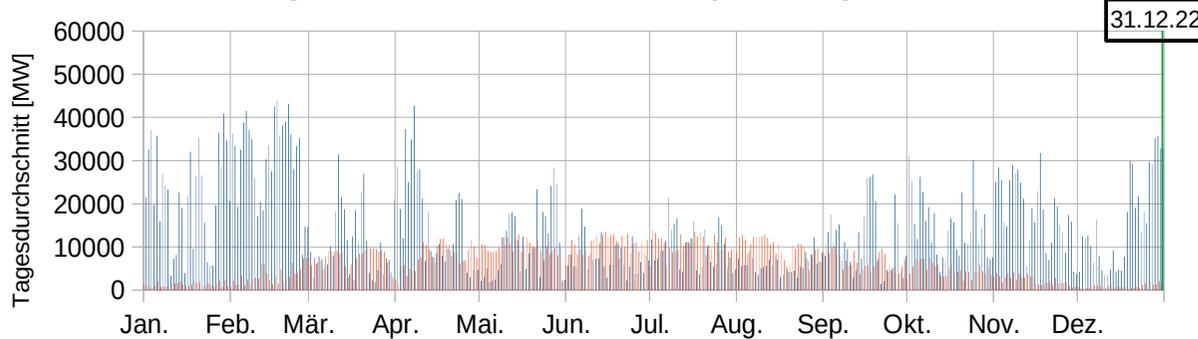
Windflauten und die Folgen 2022



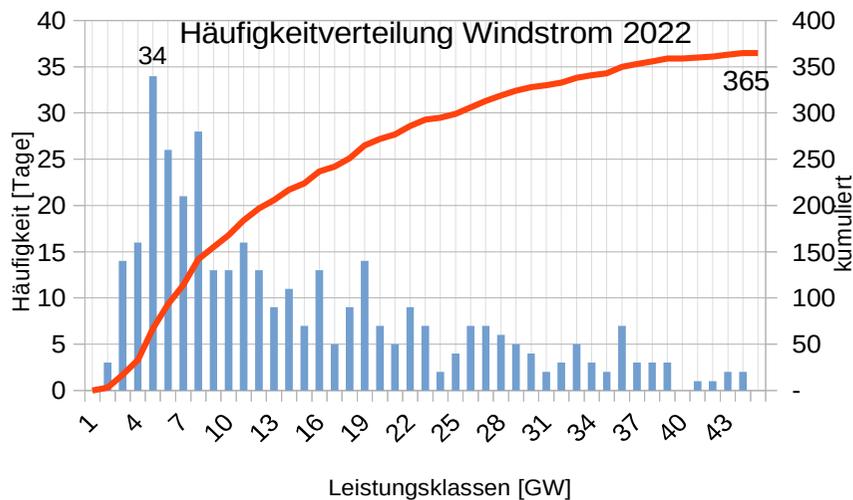
Statistisches Ergebnis von Jahresbeginn bis zum 31. Dezember 2022. An 174 Tagen trat Windleistung unter 5 GW (= 8% der installierten Leistung) auf. Der jeweils am Minimum eines Schwachwindtages ermittelte Ersatz-Leistungsbedarf abzüglich Windstromeinspeisung und abzüglich aller sonstigen EE-Einspeisungen ergibt die geforderte Ersatzkapazität, aktuell zwischen > 10 bis ≤ 60 GW. **In der Hauptsache durch Kohle-, Erdgas- und 3 Kernkraftwerke (bis 15. April 2023 ?), sowie Importstrom aufgebracht, zu lasten des deutschen Klimaschutzziels.**

Windflauten und die Folgen 2022

Vergleich Wind- /Solareinspeisung 2022



Windstromerzeugung und Vergleich mit Solar
(Quelle: Strommarktdaten smard)



Histogramm Windstromerzeugung
(Quelle: B. Zierenberg)

Oberes Diagramm: Jahresverlauf der Tagesdurchschnitte Wind (blau) + Solar (rot) für gesamtes Jahr 2022. In anderen Studien wird gezeigt, dass zur vollständigen Verstetigung dieser Einspeise-Volatilität und der ebenfalls schwankenden Residuallast eine Speicherkapazität von insgesamt 26 TWh benötigt wird [3], wobei ein vollkommen verlustloser Speicher unterstellt wird.

Unteres Diagramm: Die aus dem Jahresverlauf 2022 ermittelte Häufigkeitsverteilung zeigt ein Übergewicht geringerer Leistungen, mit Maximum von 34 Tagen bei der Leistungsklasse 5 GW (Bereich $> 4 \dots \leq 5$ GW).

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

Die zu Beginn des Jahres 2022 getroffene Schwachwindprognose für das gesamte lfd. Jahr war: an mindestens 60 Tagen wird die durchschnittliche tägliche Windstromerzeugung weniger als 5 GW betragen (Summe der Häufigkeit der ersten 4 Balken). Letzter Ist-Stand: 174 Tage (siehe Diagramm Folie 13)

Windflauten und die Folgen 2022

Zusammenfassung 2022

Windflauten-Lage: Die Dauer der 174 Windflauten (Folie 13) summierte sich auf 2154 Stunden. Im Verlauf des gesamten Jahres ist zu jeder Zeit eine Gesamt-Jahresprognose mit großer Sicherheit auf Basis der Vorjahresdaten möglich (Folie 14).
Längste ununterbrochene Schwachwindperiode = 104 Stunden vom 08.12. 13:30 bis 12.12. 21:00 Uhr

(siehe Tabelle Folie 1).

An 132 Tagen wurden die Schwachwindperioden von Dunkelflauten mit einer Gesamtdauer von 637 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 (On + Offshore). Das entspricht der Leistung von ca. 0,15 (1/6) Kernkraftwerk.

Bedarfsdeckung durch konventionelle (Ersatz-)Kapazität: erfolgte während der Schwachwindperioden in der Spitze mit 90% Deckungsgrad durch 46 GW konventionelle Kraftwerksleistung. Dies entspricht 51 % der installierten konventionellen Leistung (Kohle, Erdgas, Pumpspeicher, Kernenergie, Sonstige = 91 GW). Am häufigsten, nämlich 94 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 Dezember, Bereich: -40 bis +25 Sek. [8] = **Hinweis auf akuten Strommangel in 70% des Monats!**

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 Ersatzspeisung 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 Ersatzspeisung 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 Ersatzspeisung in Form eines Histogramms (mit Überschrift „Ersatzspeisung 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>

ca. 70 % des Monats negativ

