

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.

Vorgehensweise:

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.

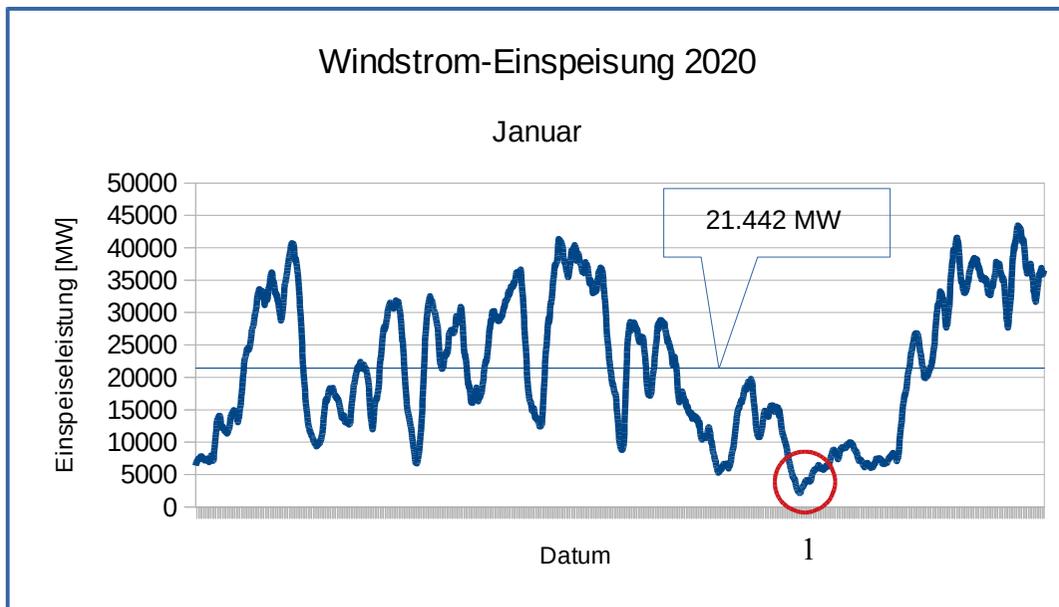
Zu den Diagrammen: Mit „Datum (und Uhrzeit)“ wird jeweils das Tagesminimum der Einspeiseleistung markiert. Unter Gesamtdauer und Dunkel-Anteil sind die entsprechenden Dauern für jeden von Schwachwind betroffenen Tag zu verstehen. Es wird dann jeweils die erforderliche Ersatzeinspeisung ermittelt, also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

Statistische Aussage:

Nach der zuletzt dargestellten Monatsauswertung, aktuell der September 2020, erfolgt dann, als Resultat der „Schwachwindanalyse“, eine zusammenfassende Darstellung der gesamten Ersatzeinspeisung in Form eines Histogramms.

Am Schluss wird der gesamte Jahresverlauf der Windkraft und PV-Einspeisung dargestellt mit dem Ziel, eine Gesamtjahres-Prognose zu erhalten und diese mit dem aktuellen Verlauf vergleichen zu können.

Windflauten und die Folgen 2020



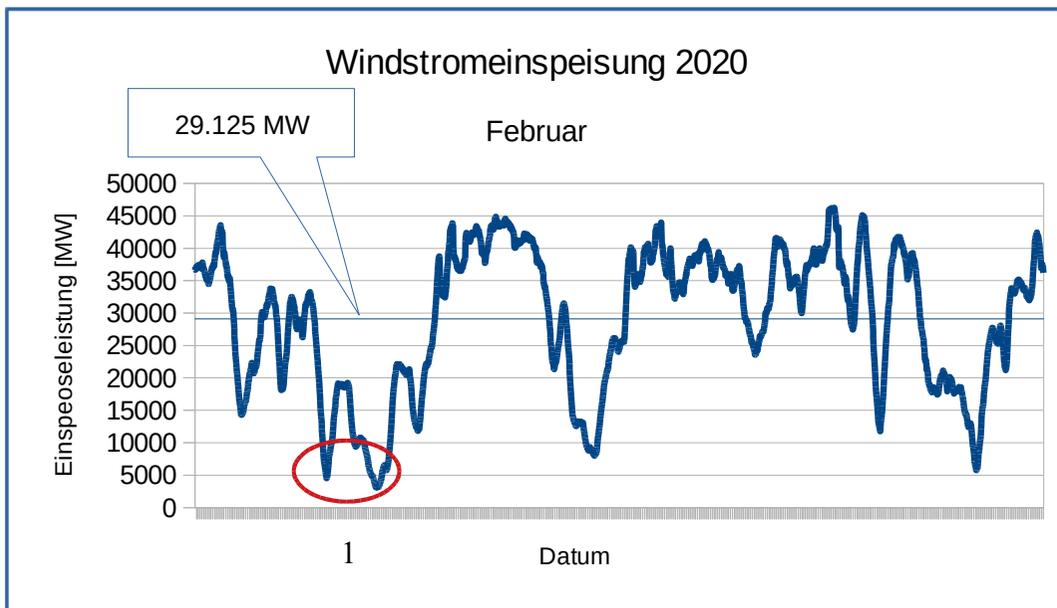
(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Schwachwind-		Gesamtdauer	Dunkel-Anteil
Bereiche	Datum	Std.	Std.
1	22.01.20 23:59	4,5	4,50
	23.01.20 01:45	12,25	7,75
Anzahl		Summe	
1	2	16,75	12,25

Diagramm 1: Verlauf Januar 2020 mit 1 Schwachwindbereich (Leistungen unter 5000 MW). Verhältnis Monatsdurchschnitt 2020/2019 = $21.442/19.755 = 1,085$

Hinweis: siehe Folie 1, Vorgehensweise, Zu den Diagrammen

Windflauten und die Folgen 2020



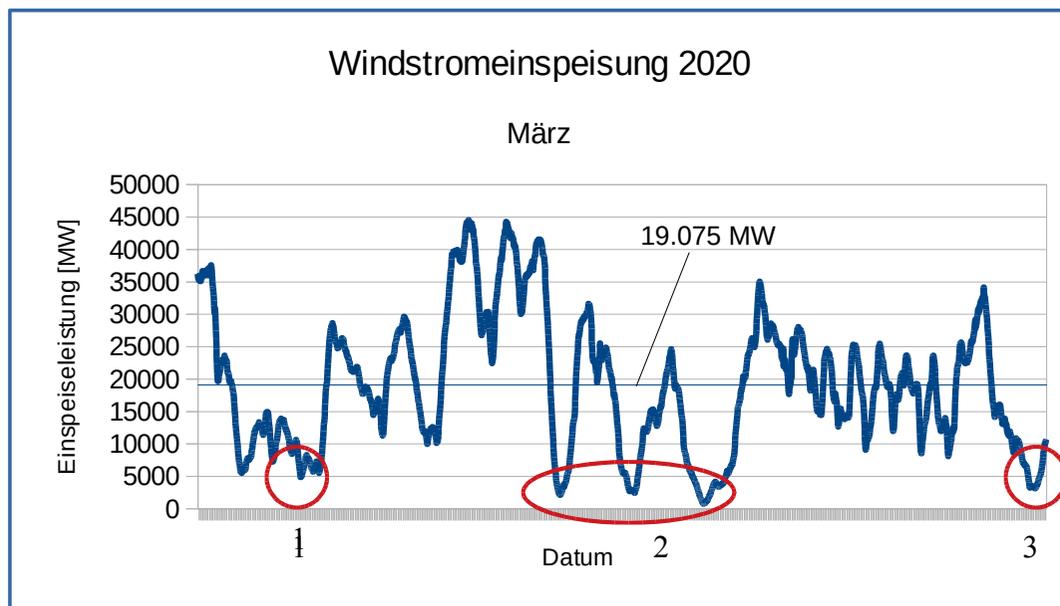
	Schwachwind- Bereiche	Datum	Gesamtdauer Std.	Dunkel-Anteil Std.
1		05.02.20 12:00	0,75	
		07.02.20 05:00	8,5	6,50
	Anzahl		Summe	
1	2		9,25	6,5

(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Diagramm 2: Verlauf Februar 2020 mit 1 Schwachwindbereich (Leistungen unter 5000 MW). Verhältnis Monatsdurchschnitte 2020/2019 = $29.125 / 16.936 = 1,72$

Hinweis: siehe Folie 1, Vorgehensweise, Zu den Diagrammen

Windflauten und die Folgen 2020



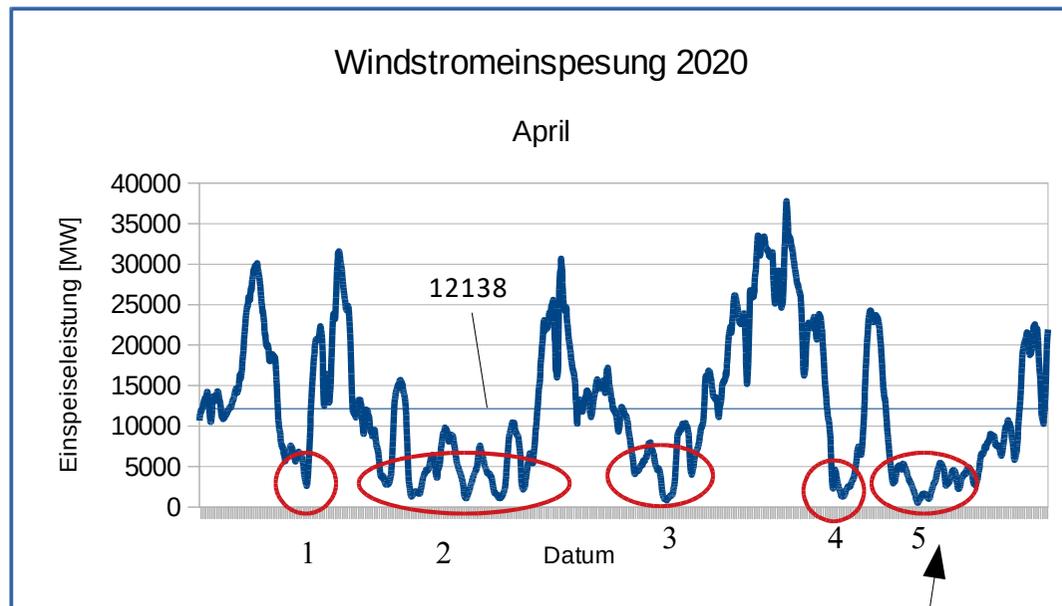
(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Bereiche	Schwachwind-Datum	Gesamtdauer Std.	Dunkel-Anteil Std.
1	04.03.20 18:00	0,5	
	14.03.20 05:00	9,25	4
2	16.03.20 19:45	8,75	3,50
	17.03.20 00:00	1,25	1,25
	19.03.20 11:15	23	10,00
3	20.03.20 00:00	5,75	5,75
	31.03.20 13:45	17,75	
Anzahl		Summe	
3	7	66,25	24,5

Diagramm 3: Verlauf März 2020 mit 3 Schwachwindbereichen (Leistungen unter 5000 MW). Verhältnis Monatsdurchschnitte 2020/2019 = $19.075 / 21.790 = 0,88$

Hinweis: siehe Folie 1, Vorgehensweise, Zu den Diagrammen

Windflauten und die Folgen 2020



(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Mehrtägige zusammenhängende Schwachwind-Dauer
25 - 28.04. = 67,5 Std.

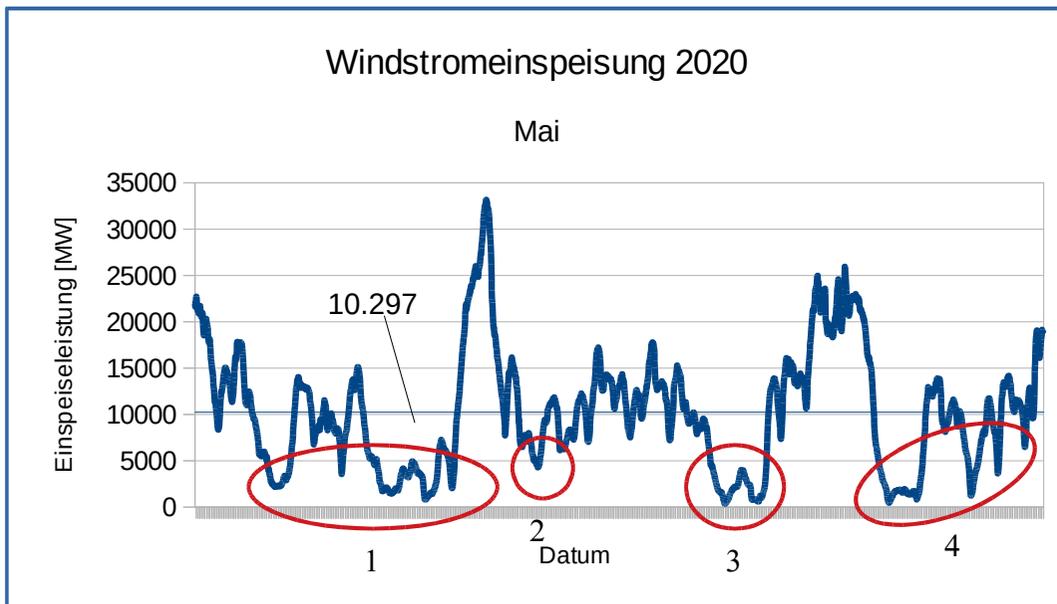
Schwachwind-Bereiche	Datum	Gesamtdauer	Dunkel-Anteil
		Std.	Std.
1	04.04.20 19:00	4	0,25
	07.04.20 15:00	10,25	
2	08.04.20 12:00	14,75	3,75
	09.04.20 09:30	6,5	3,00
	10.04.20 10:45	15,75	2,00
	11.04.20 14:15	18,25	6,00
	12.04.20 14:15	5,5	
3	16.04.20 09:45	5,5	
	17.04.20 12:45	16,25	1,75
	18.04.20 09:45	2,5	
4	23.04.20 17:30	11,5	3,00
	24.04.20 00:00	4,75	4,75
5	25.04.20 12:45	9	1,50
	26.04.20 09:15	24	8,50
	27.04.20 09:30	20,75	6,50
	28.04.20 10:30	13,75	5,25
Anzahl		Summe	
5	16	183	46,25

Diagramm 4: Verlauf April 2020 mit 5 Schwachwindbereichen (Leistungen unter 5000 MW).

Verhältnis Monatsdurchschnitte 2020/2019 = $12.138 / 12.478 \text{ MW} = 0,98$

Hinweis: siehe Folie 1, Vorgehensweise, Zu den Diagrammen

Windflauten und die Folgen 2020



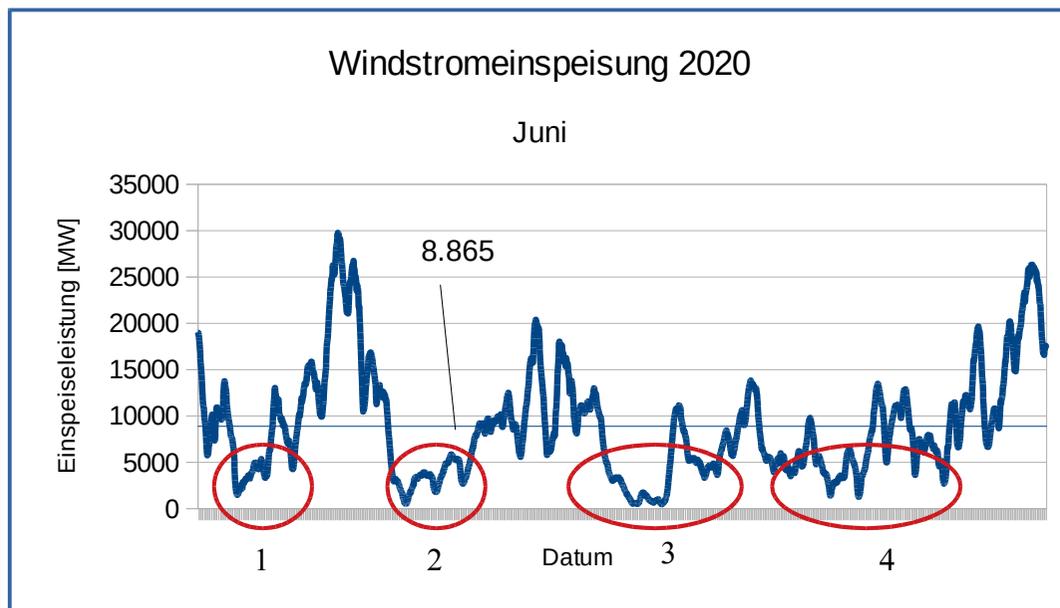
(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Bereiche	Schwachwind-Datum	Gesamtdauer Std.	Dunkel-Anteil Std.
1	03.05.20 23:59	8,5	3,00
	04.05.20 00:00	11,75	5,00
	06.05.20 08:45	1,5	
	07.05.20 21:00	11,5	2,75
	08.05.20 04:15	24	7,5
	09.05.20 04:15	11,25	5,25
2	10.05.20 09:45	4,75	
	13.05.20 13:15	4	
3	19.05.20 13:23	3,75	2,50
	20.05.20 09:00	24	7,25
	21.05.20 14:15	21,25	4,45
4	25.05.20 23:59	0,5	0,50
	26.05.20 08:30	24	7,25
	27.05.20 08:45	14	4,50
	29.05.20 08:45	8,75	
Anzahl		Summe	
4	15	174	50

Diagramm 5: Verlauf Mai 2020 mit 4 Schwachwindbereichen (Leistungen unter 5000 MW).
Verhältnis Monatsdurchschnitte 2020/2019 = $10.297 / 11.005 \text{ MW} = 0,94$

Hinweis: siehe Folie 1, Vorgehensweise, Zu den Diagrammen

Windflauten und die Folgen 2020

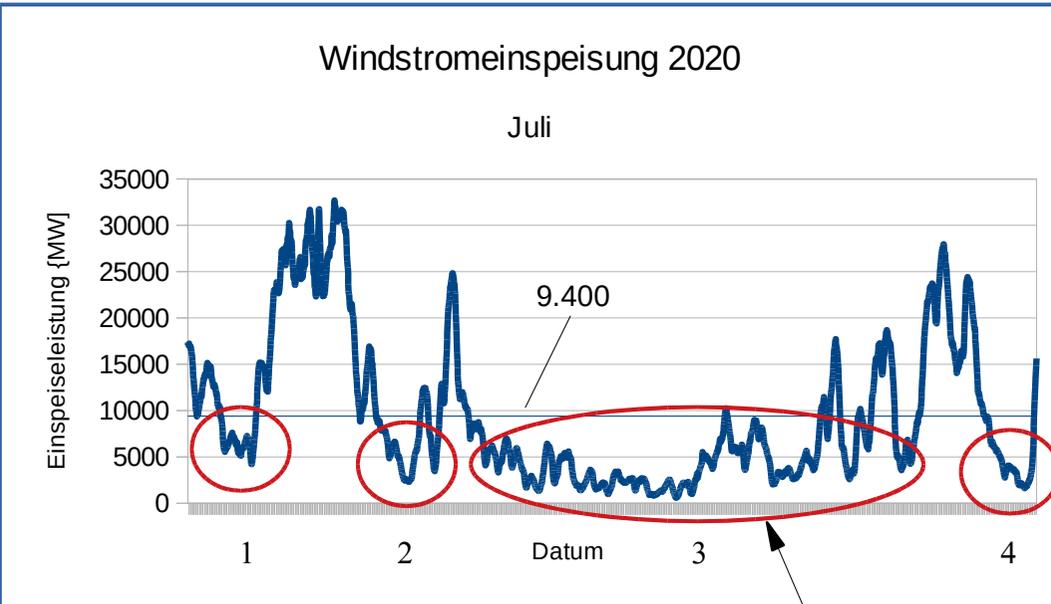


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Diagramm 6: Verlauf Juni 2020 mit 4 Schwachwindbereichen (Leistungen unter 5000 MW). Verhältnis Monatsdurchschnitte 2020/2019 = $8.865 / 9.129 \text{ MW} = 0,97$; bis jetzt **schwächster Monat des Jahres**. Hinweis: siehe Folie 1, Vorgehensweise, Zu den Diagrammen

Bereiche	Schwachwind-	Gesamtdauer	Dunkel-Anteil
	Datum	Std.	Std.
1	02.06.20 09:30	16,75	2,25
	03.06.20 03:30	5	4,25
	04.06.20 08:45	2	
2	07.06.20 22:15	4	2,00
	08.06.20 08:15	24	6,25
	09.06.20 10:15	22	4,50
	10.06.20 08:45	8,75	
3	15.06.20 23:59	12,25	2,00
	16.06.20 13:15	24	6,25
	17.06.20 02:30	17	4,25
	18.06.20 22:00	7	2,00
	19.06.20 08:45	10,25	4,50
	21.06.20 23:00	9,75	2,00
4	22.06.20 02:15	6,75	3,50
	23.06.20 09:00	20,75	4,25
	24.06.20 08:45	10,75	
	26.06.20 08:45	2	
	27.06.20 09:00	5,75	
	Anzahl		Summe
4	18	209	48

Windflauten und die Folgen 2020



(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

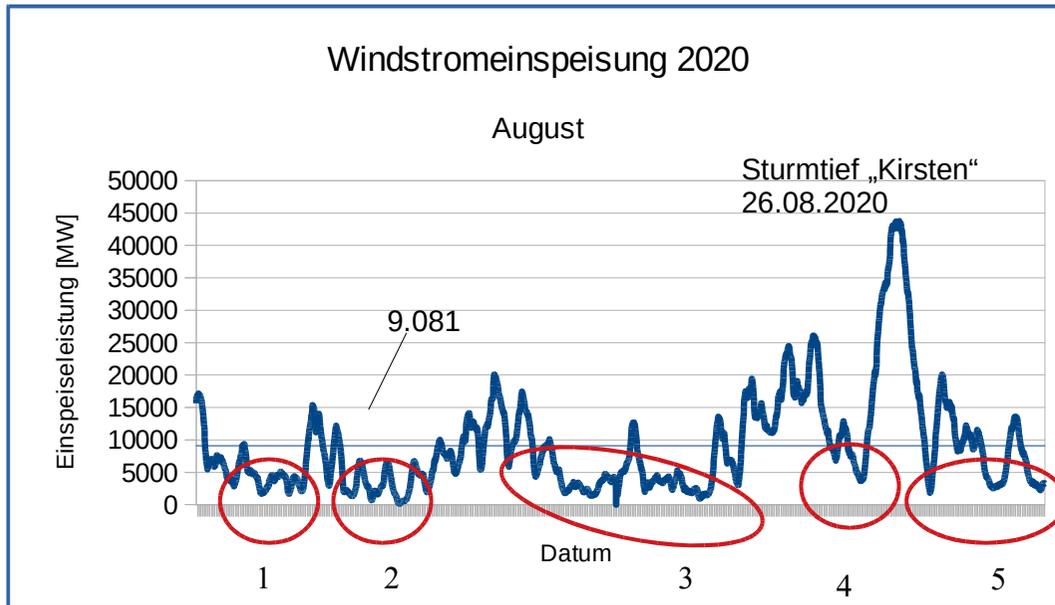
Bisher längste zusammenhängende Schwachwind-Dauer
14 - 19.07. = 129 Std.

Diagramm 7: Verlauf Juli 2020 mit 4 Schwachwind-bereichen (Leistungen unter 5000 MW). Verhältnis Monatsdurchschnitte 2020/2019 = $9.400 / 8827 = 1,06$.

Hinweis: siehe Folie 1, Vorgehensweise, zu den Diagrammen

Bereiche	Schwachwind-Datum	Gesamtdauer Std.	Dunkel-Anteil Std.
1	03.07.20 08:15	1,75	
	08.07.20 22:30	6,50	2,25
2	09.07.20 02:00	8,00	6,00
	10.07.20 00:30	2,00	2,00
3	11.07.20 21:00	2,5	0,50
	12.07.20 08:15	8,75	0,50
	13.07.20 08:45	21,75	4,50
	14.07.20 09:45	13,25	3,25
	15.07.20 08:15	24	6,50
	16.07.20 08:30	24	6,75
	17.07.20 08:30	24	6,75
	18.07.20 20:45	24	6,75
	19.07.20 10:00	19,75	5,50
	20.07.20 04:00	6,5	4,75
	22.07.20 08:45	19,75	2,25
4	23.07.20 03:00	20,5	7,50
	25.07.20 04:15	9,5	4,75
	26.07.20 23:59	1,0	1,00
	27.07.20 01:45	8,0	4,50
	30.07.20 20:30	8	2,50
	31.07.20 15:30	20,75	5,50
	Anzahl	Summe	
4	21	274,25	84

Windflauten und die Folgen 2020



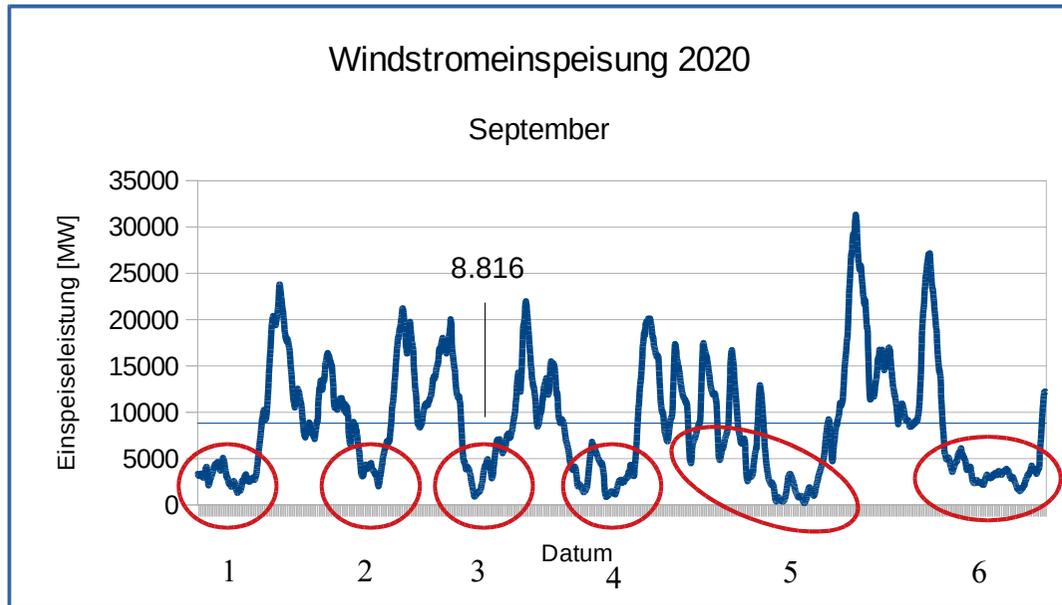
(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Diagramm 8: Verlauf August 2020 mit 5 Schwachwindbereichen (Leistungen unter 5000 MW). Verhältnis Monatsdurchschnitte 2020/2019 = $9.081 / 7774 = 1,17$

Hinweis: siehe Folie 1, Vorgehensweise, zu den Diagrammen

Schwachwind-		Gesamtdauer	Dunkel-Anteil
Bereiche	Datum	Std.	Std.
1	02.08.20 09:00	10,75	6,00
	03.08.20 09:15	23	6,75
	04.08.20 09:15	23,5	7,25
	05.08.20 20:30	3,5	0,75
2	06.08.20 16:45	12,25	0,25
	07.08.20 10:00	18,5	5,00
	08.08.20 10:15	19	5,25
	09.08.20 10:30	12,5	5,25
	10.08.20 11:30	1	
3	13.08.20 09:45	2,25	
	14.08.20 11:15	17,25	3,00
	15.08.20 11:15	24	8,25
	16.08.20 09:15	13,25	5,25
	17.08.20 09:30	16,5	3,00
	18.08.20 22:45	24	8,50
	19.08.20 09:30	21	5,75
	20.08.20 18:45	4,5	
	25.08.20 07:00	6,75	2,50
5	27.08.20 19:30	4,5	1,25
	29.08.20 23:59	4,25	3,50
	30.08.20 02:45	13,75	4,75
	31.08.20 20:15	15	3,50
Anzahl		Summe	
5	22	291	85,75

Windflauten und die Folgen 2020



(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Diagramm 9: Verlauf September 2020 mit 6 Schwachwindbereichen (Leistungen unter 5000 MW). Verhältnis Monatsdurchschnitte 2020/2019 = $8.816 / 12.657 = 0,70$

Hinweis: siehe Folie 1, Vorgehensweise, zu den Diagrammen

	Schwachwind-Bereiche	Datum	Gesamtdauer Std.	Dunkel-Anteil Std.
1		01.09.20 09:30	24	9,00
		02.09.20 09:45	24	9,25
		03.09.20 00:30	3,25	3,25
2		06.09.20 20:45	6	3,75
		07.09.20 09:30	13,25	6,00
3		10.09.20 19:30	14,25	4,00
		11.09.20 00:00	12	6,00
4		14.09.20 15:30	17	3,25
		15.09.20 11:45	19,75	6,00
		16.09.20 00:30	11,75	6,25
5		18.09.20 10:45	1	
		19.09.20 11:30	1	
		20.09.20 10:45	7,25	
		21.09.20 11:15	21,5	8,25
		22.09.20 11:00	24	10,75
		23.09.20 00:00	3,75	3,25
6		27.09.20 16:45	8	1,75
		28.09.20 18:30	20,75	6,00
		29.09.20 23:45	24	10,50
		30.09.20 02:00	18,5	6,50
	Anzahl		Summe	
6	20	275	103,75	

Windflauten und die Folgen 2020

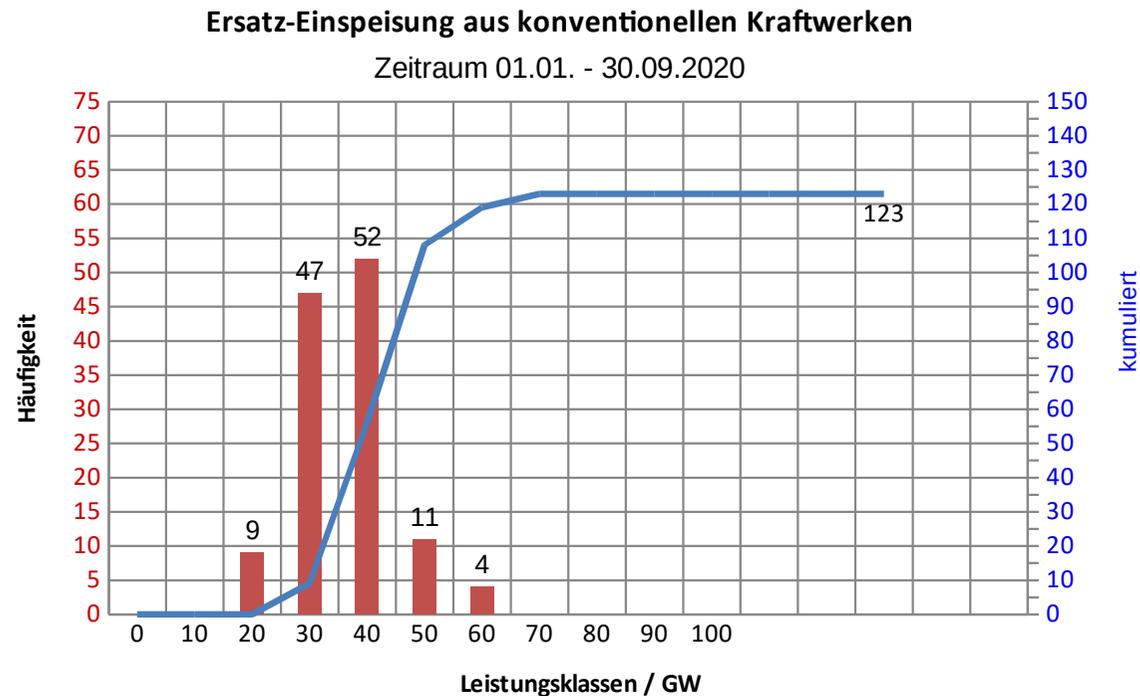


Diagramm 10: Statistisches Ergebnis von Jahresbeginn bis zum 30. September 2020. An 123 Tagen trat Windleistung unter 5 GW auf. Der jeweils am Minimum eines Schwachwindtages ermittelte Leistungsbedarf abzüglich Windstromeinspeisung und abzüglich aller sonstigen EE-Einspeisungen ergibt die geforderte Ersatzkapazität, aktuell zwischen >10 bis \leq 60 GW.

Windflauten und die Folgen 2020

Zusammenfassung Jahresbeginn – Ende September 2020

An 123 Windflauten-Tagen sank die gesamte Windstrom-Einspeiseleistung (On + Offshore) unter 5 GW, also 8 % der installierten Leistung.

Die Dauer aller Windflauten summierte sich auf 1498 Stunden. Im Verlauf des gesamten Jahres war zu jeder Zeit eine Gesamt-Jahresprognose mit großer Sicherheit auf Basis der Vorjahresdaten möglich (siehe vorletzte Folie)

Längste ununterbrochene Schwachwindperiode = 129 Stunden vom 14.07. 07:15 bis 19.07. 20:45 Uhr (siehe Folie 8, Diagramm 7)

An 100 Tagen wurden die Schwachwindperioden von Dunkelflauten mit einer Gesamtdauer von 461 Stunden begleitet.

Die Bedarfsdeckung während der Schwachwindperioden erfolgte in der Spitze mit 54 GW konventioneller Kraftwerksleistung, bei 91% Deckungsgrad. Dies entspricht 54 % der installierten konventionellen Leistung (Kohle, Erdgas, Pumpspeicher, Kernenergie, Sonstige = 100 GW). Der maximale Deckungsgrad, abh. Vom Verbrauch, war 94%.

Am häufigsten, nämlich 52-mal, kamen konventionelle Kraftwerks-Einsätze zur Bedarfsdeckung im Bereich zwischen 30 bis 40 GW vor. Kohlekraftwerke deckten den Bedarf während der Schwachwindzeiten in der Spitze zu 54 % am 23.01. mit 28 GW, Kernkraftwerke zu 23 % am 30.08. mit 7,912 GW. Maximaler Stromimport: 30.07. mit 9,68 GW

Die gesicherte Leistung der Windkraft betrug **bis zum 30. September 2020** 0,128 GW, dem am 08.08. aufgetretenen niedrigsten Einspeisewert. Das entspricht der Leistung von ca. 1/10 Kernkraftwerk.

Netzstabilität: Schwankungsbereich der Netzfrequenz 49,852 – 50,133 Hz, Lastausgleichs-Bereich - 2,116 bis 1,886 GW [6]

Windflauten und die Folgen 2020

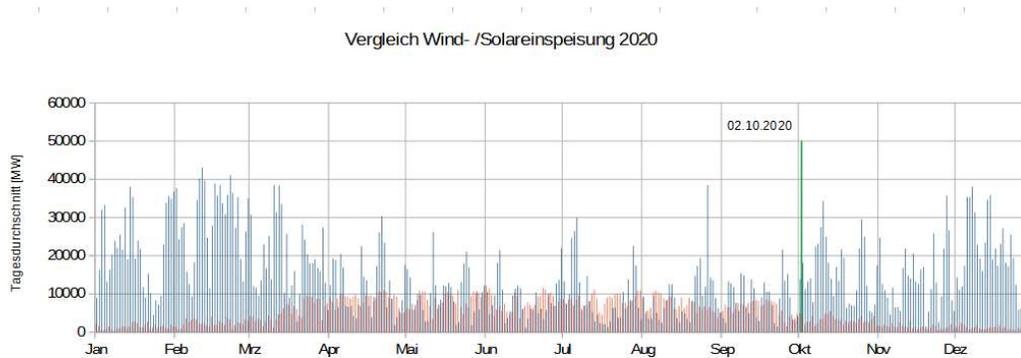


Diagramm 11: Windstromeinspeisung und Vergleich mit Solar (Quelle: Windjournal)

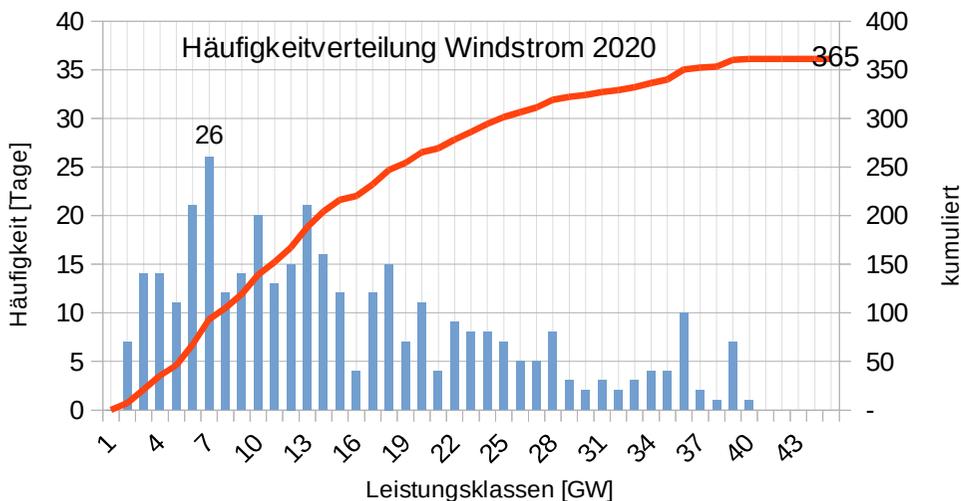


Diagramm 12: Histogramm Windstromeinspeisung (Quelle: B. Zierenberg)

Diagramm 11: Jahresverlauf der Tagesdurchschnitte Wind (blau) + Solar (rot) für gesamtes Jahr 2019, überschrieben mit Verlauf 2020 bis Stichtag 30.09.2020. In anderen Studien wird gezeigt, dass zur vollständigen Verstetigung dieser Volatilität eine Speicherkapazität von 17 TWh benötigt wird [3]

Die darauf basierende Häufigkeitsverteilung, Diagr. 12, zeigt ein Übergewicht geringerer Leistungen, mit Maximum bei der Klasse 7 GW (Bereich $> 6 \dots \leq 7$ GW).

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

Die im Laufe des Jahres 2020 getroffene Schwachwindprognose für das gesamte Jahr ist Ende September: an mindestens 50 Tagen wird die durchschnittliche tägliche Windstromeinspeisung weniger als 5 GW betragen (Summe der Häufigkeit der ersten 4 Balken). Aktueller Ist-Stand am 30.09.2020 : 123 Tage (siehe Diagramm 10)

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>

—