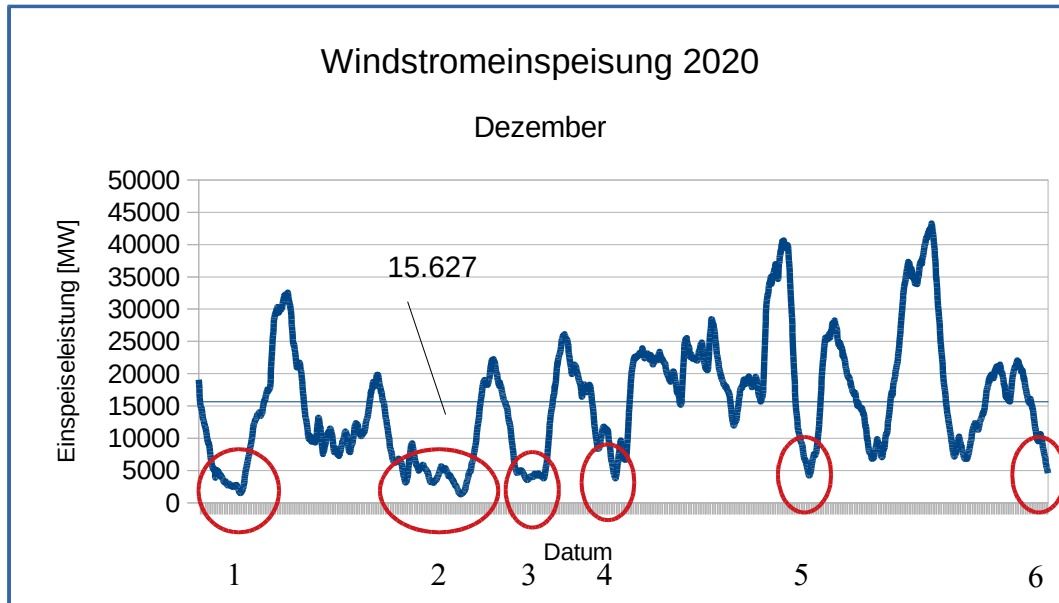


# Windflauten und die Folgen 2020



(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

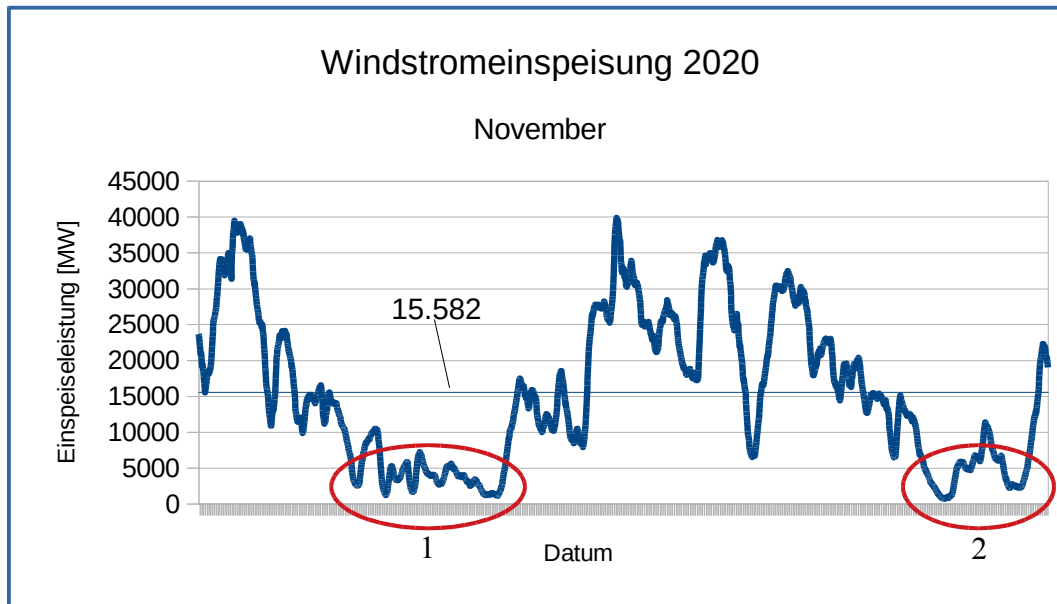
Bereiche	Schwachwind-Datum	Gesamtdauer Std.	Dunkel-Anteil Std.
1	01.12.20 23:00	9,25	7,50
	02.12.20 12:15	17	7,75
2	08.12.20 13:15	4,5	
	09.12.20 13:45	11,5	2,75
3	10.12.20 13:30	20,75	13,00
	12.12.20 23:59	10	7,50
4	13.12.20 23:59	15,75	7,50
	16.12.20 05:00	3	3
5	23.12.20 06:45	2,25	1,75
6	31.12.20 23:59	0,25	0,25
Anzahl		Summe	
6	10	94	51

Verlauf Dezember 2020 mit 6 Schwachwindbereichen (Leistungen unter 5000 MW).  
Verhältnis Monatsdurchschnitte 2020/2019 =  $15.627 / 20.400 = 0,77$

Anschließende Folien Inhalt:

- Folien 2 – 12 zurückliegende Monatsdiagramme,
- Folie 13 Statistisches Ergebnis (Ersatzeinspeisung)
- Folie 14 Gesamtjahres-Prognose
- Folie 15 Zusammenfassung
- Folie 16 Vorgehensweise
- Folie 17 Quellenverzeichnis

# Windflauten und die Folgen 2020



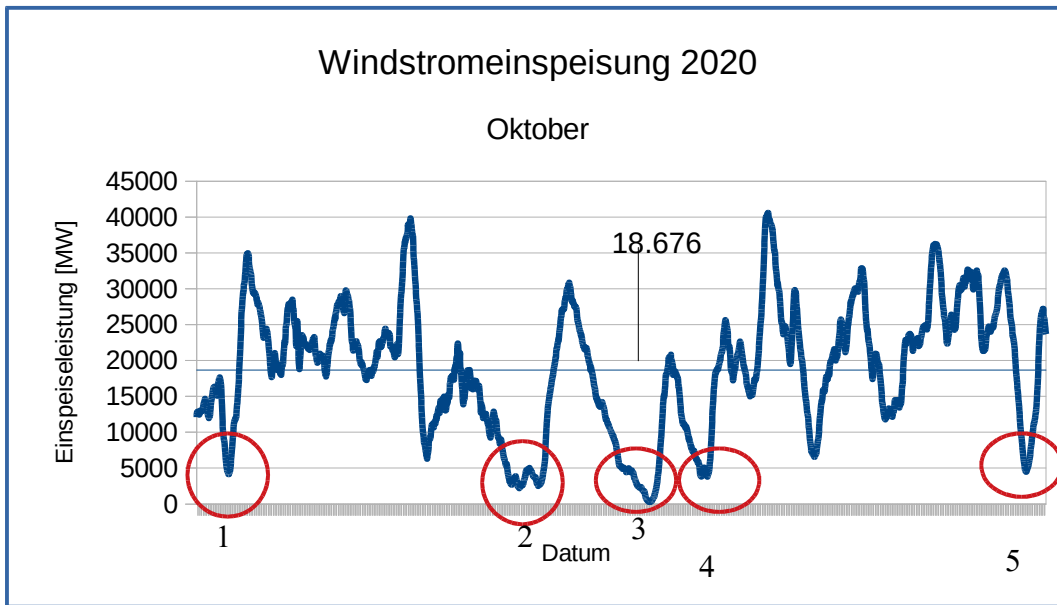
(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Bereiche	Schwachwind-	Gesamtdauer	Dunkel-Anteil
	Datum	Std.	Std.
1	06.11.20 14:15	7,5	0,50
	07.11.20 14:45	11,75	5,25
	08.11.20 13:30	7,25	6,50
	09.11.20 12:00	18,25	7,75
	10.11.20 14:00	24	13,75
	11.11.20 03:30	19,5	9,50
2	26.11.20 23:59	8,5	7,25
	27.11.20 07:15	18,75	9,25
	28.11.20 06:15	7,25	7,25
	29.11.20 23:45	13,5	7,50
	30.11.20 23:45	6,25	6,25
	Anzahl		Summe
2	11	142,5	80,75

Verlauf November 2020 mit 2 Schwachwindbereichen (Leistungen unter 5000 MW).

Verhältnis Monatsdurchschnitte 2020/2019 =  $15.582 / 14.064 = 1,11$

# Windflauten und die Folgen 2020

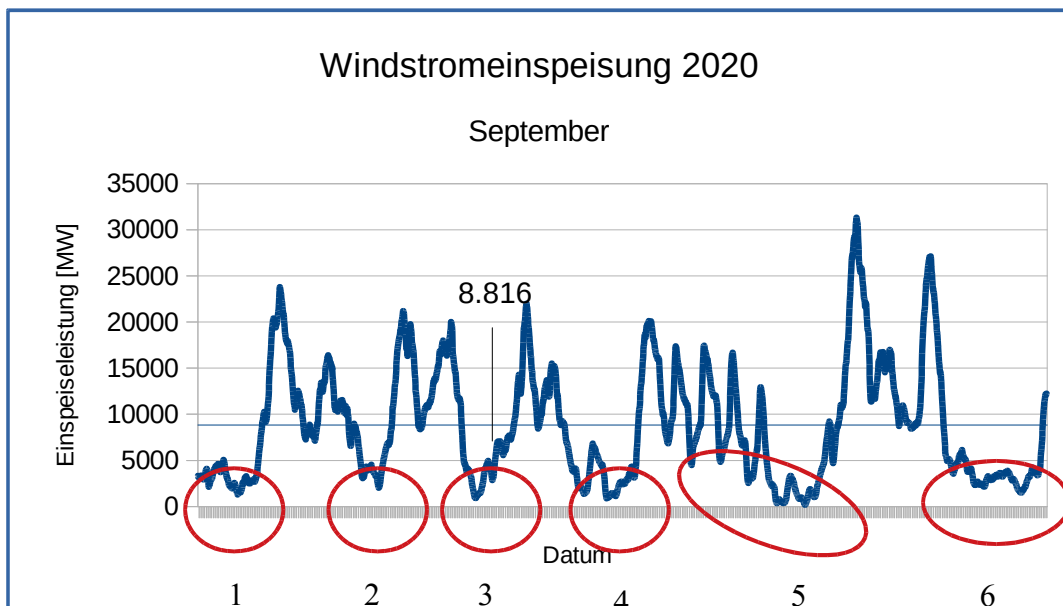


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Bereiche	Schwachwind-Datum	Gesamtdauer Std.	Dunkel-Anteil Std.
1	02.10.20 04:15	2,75	2,75
2	12.10.20 19:00	15,25	5
	13.10.20 11:45	16,5	6,75
3	16.10.20 23:59	9	5,50
	17.10.20 13:15	21,5	9,75
4	19.10.20 11:00	8,25	
5	31.10.20 06:30	2	0,75
Anzahl		Summe	
5	7	75,25	30,5

Verlauf Oktober 2020 mit 5 Schwachwindbereichen (Leistungen unter 5000 MW).  
Verhältnis Monatsdurchschnitte 2020/2019 =  $18.676 / 15.615 = 1,20$

# Windflauten und die Folgen 2020

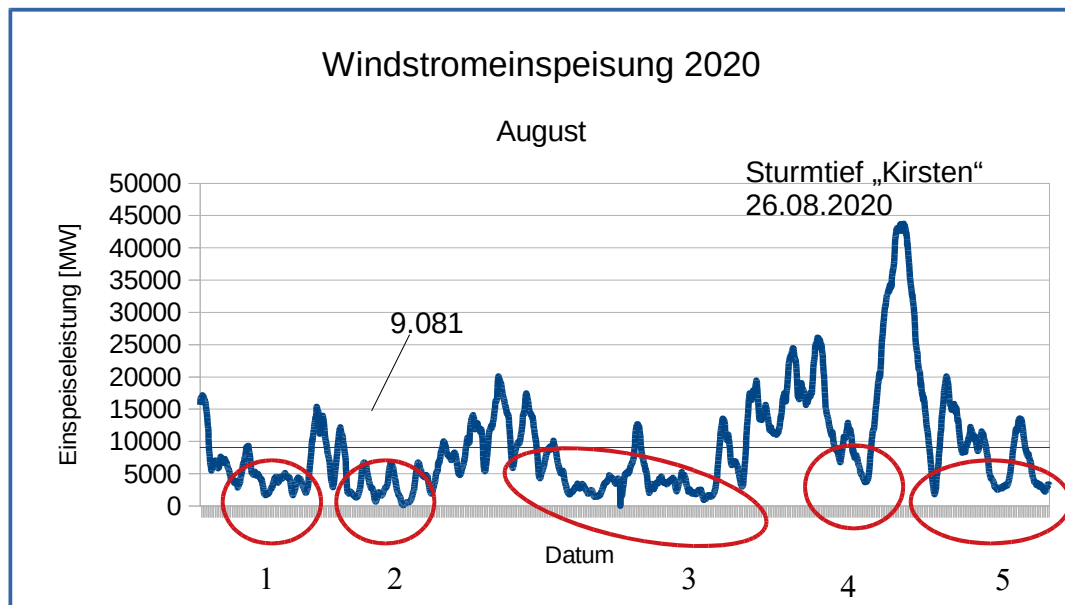


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Verlauf September 2020 mit 6 Schwachwind-  
bereichen (Leistungen unter 5000 MW). Verhältnis  
Monatsdurchschnitte 2020/2019 =  $8.816 / 12.657 = 0,70$

Schwachwind-		Gesamtdauer	Dunkel-Anteil
Bereiche	Datum	Std.	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

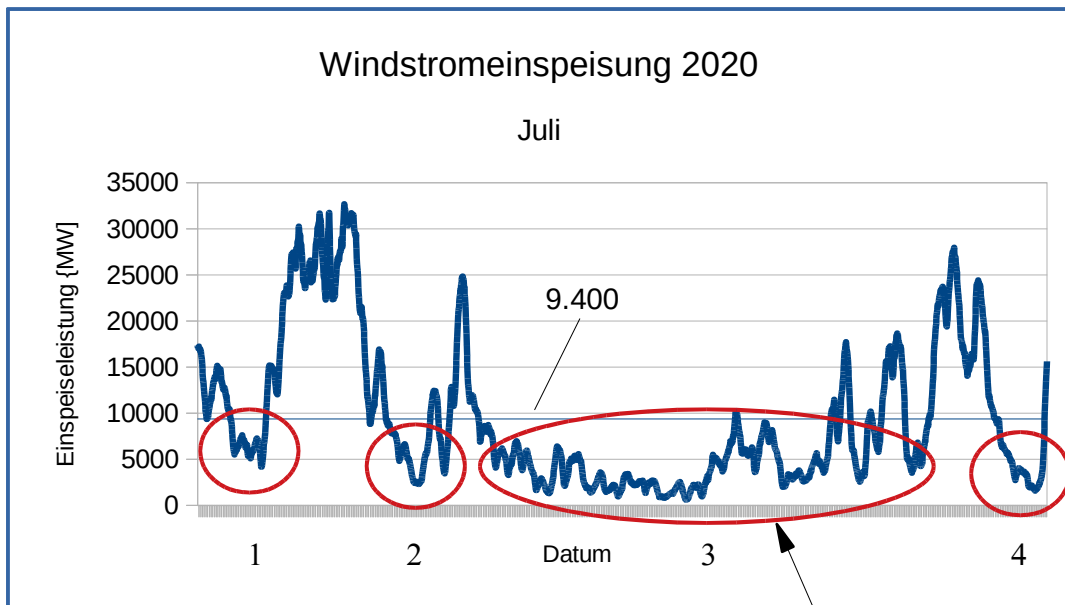


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Verlauf August 2020 mit 5 Schwachwind-  
bereichen (Leistungen unter 5000 MW). Verhältnis  
Monatsdurchschnitte 2020/2019 =  $9.081 / 7774 = 1,17$

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		
	4	25.08.20 07:00	6,75	2,50
		27.08.20 19:30	4,5	1,25
5	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



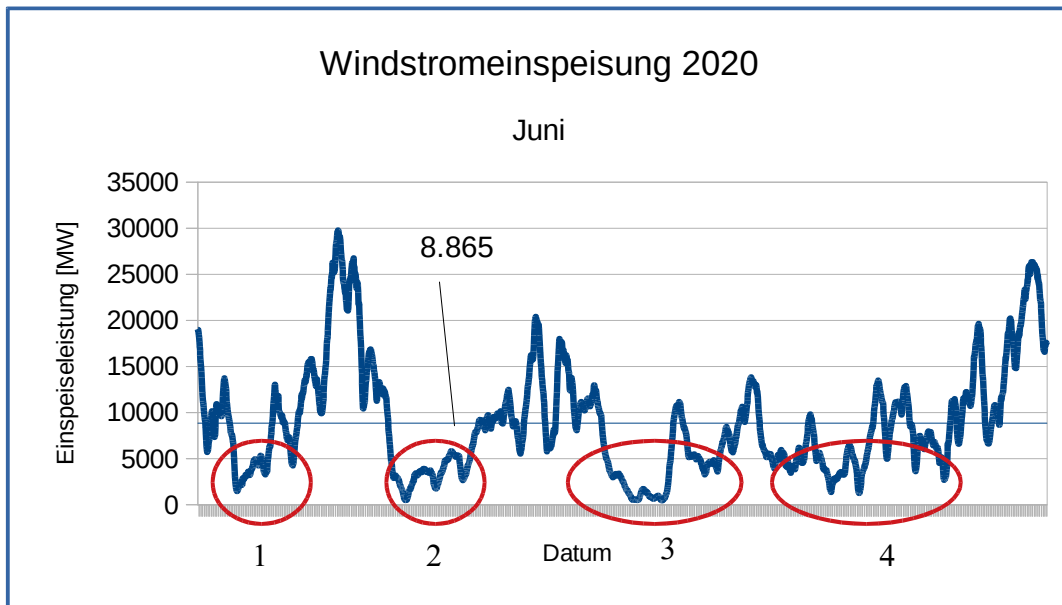
(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

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

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

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

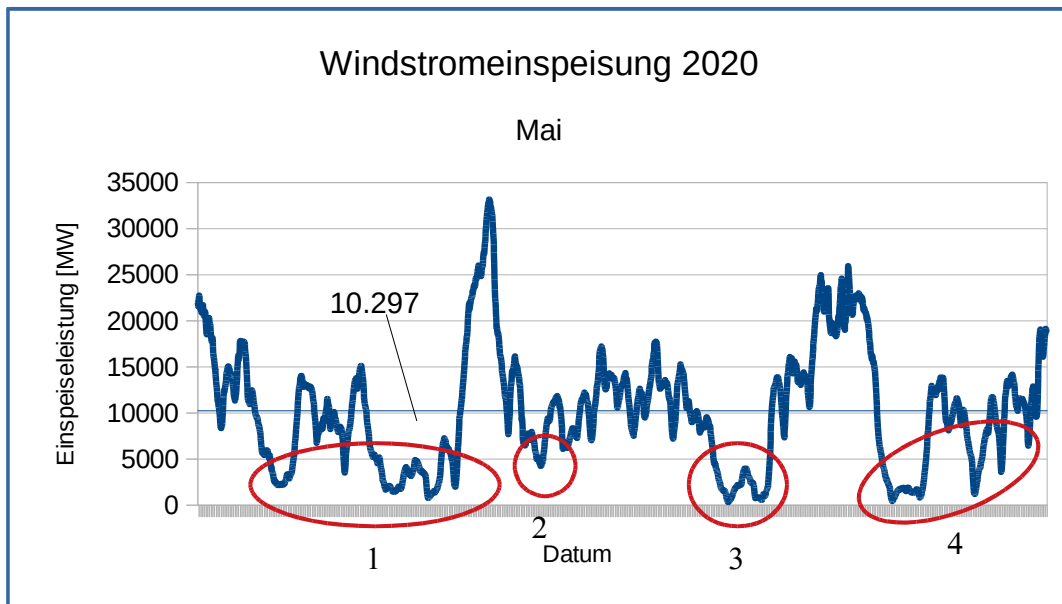


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

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**.

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
	20.06.20 08:45	10,25	4,50
4	21.06.20 23:00	9,75	2,00
	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	
	27.06.20 09:00	5,75	
Anzahl		Summe	
4	18	209	48

# Windflauten und die Folgen 2020



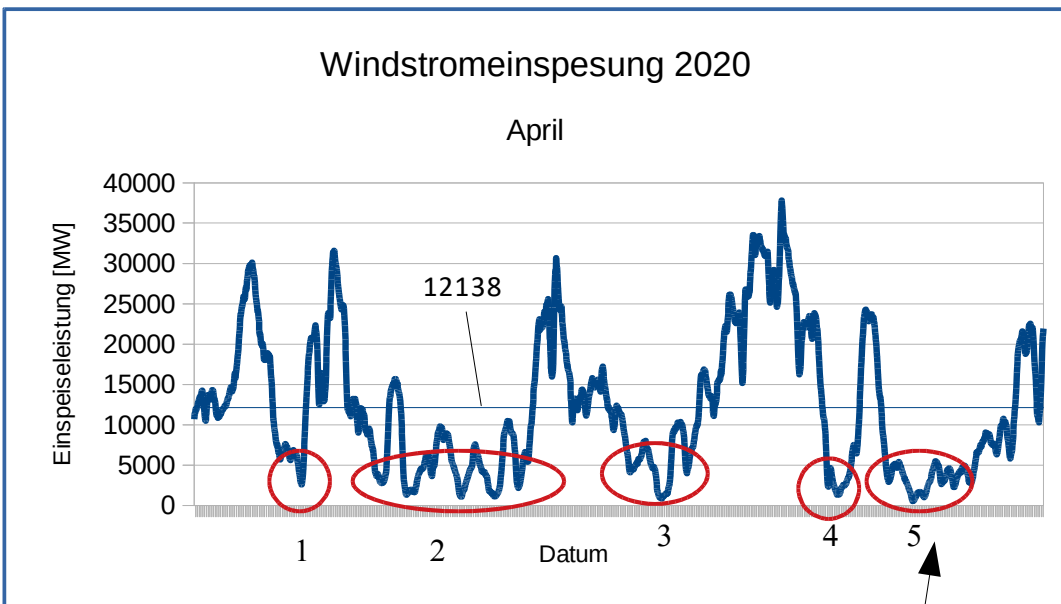
(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

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

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



# Windflauten und die Folgen 2020



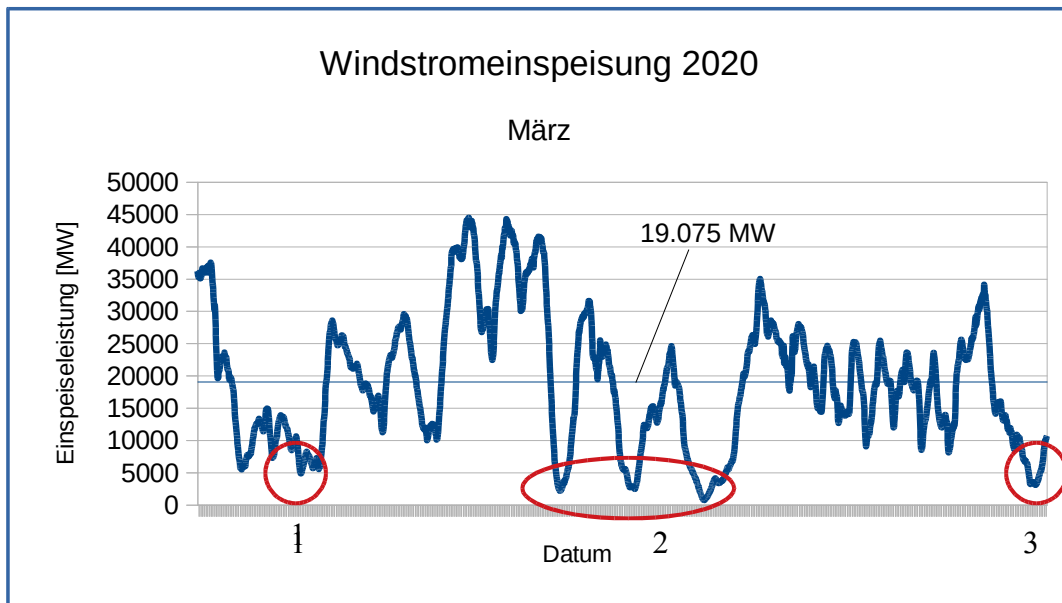
(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

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

Bereiche	Schwachwind-	Gesamtdauer Std.	Dunkel-Anteil Std.
	Datum		
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
4	18.04.20 09:45	2,5	
	23.04.20 17:30	11,5	3,00
5	24.04.20 00:00	4,75	4,75
	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

Verlauf April 2020 mit 5 Schwachwindbereichen (Leistungen unter 5000 MW). Verhältnis  
Monatsdurchschnitte 2020/2019 = 12.138 / 12.478 MW = 0,98

# Windflauten und die Folgen 2020

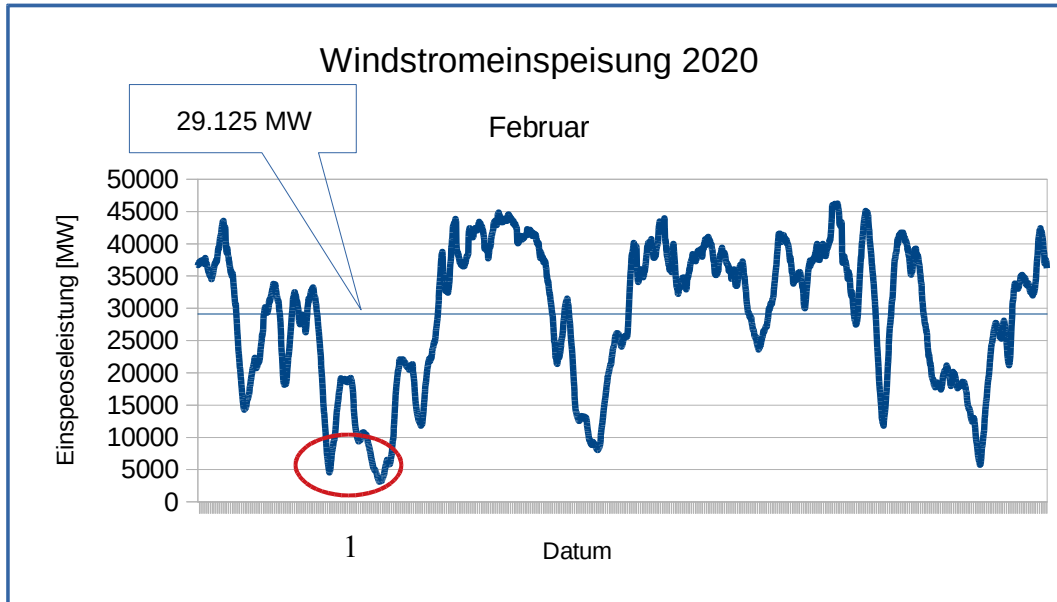


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

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
	20.03.20 00:00	5,75	5,75
3	31.03.20 13:45	17,75	
	Anzahl	Summe	
3	7	66,25	24,5

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

# Windflauten und die Folgen 2020

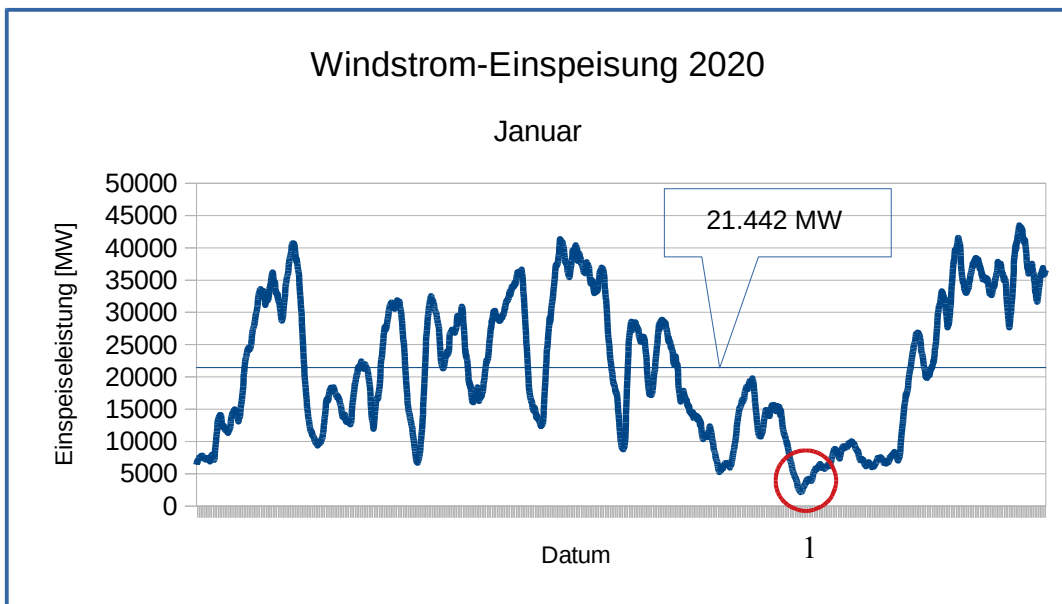


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

Schwachwind-		Gesamtdauer	Dunkel-Anteil
Bereiche	Datum	Std.	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

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

# Windflauten und die Folgen 2020

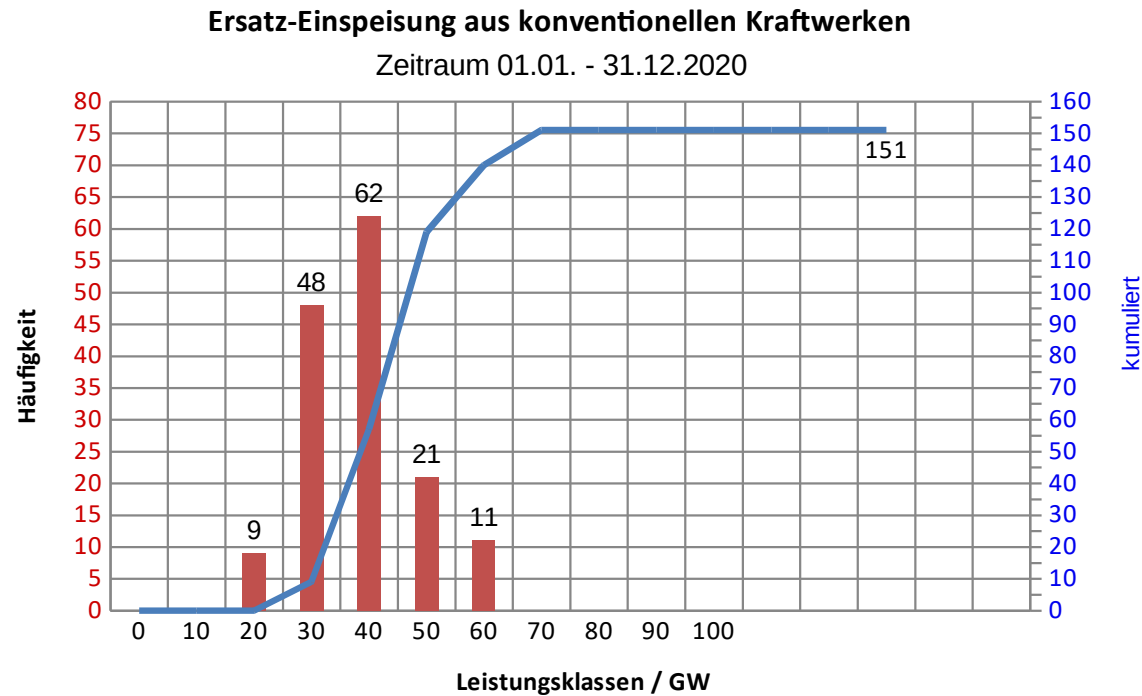


(Quelle: SMARD Strommarktdaten)

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

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

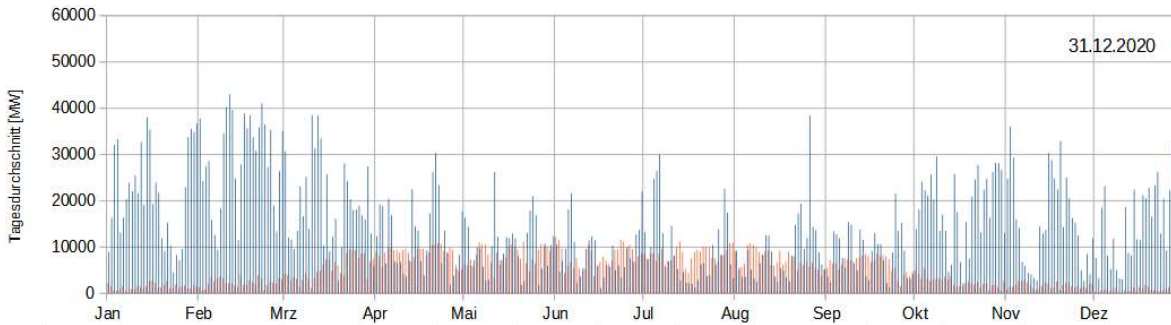
# Windflauten und die Folgen 2020



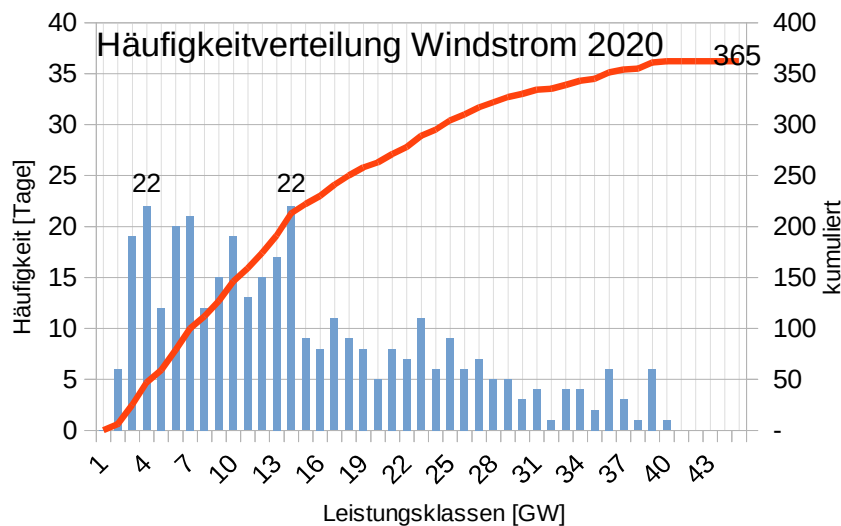
Statistisches Ergebnis von Jahresbeginn bis zum 31. Dezember 2020. An 151 Tagen trat Windleistung unter 5 GW auf. Der jeweils am Minimum eines Schwachwindtages ermittelte Leistungsbedarf abzügl. Windstrom einspeisung und abzüglich aller sonstigen EE-Einspeisungen ergibt die geforderte Ersatzkapazität, aktuell zwischen  $>10$  bis  $\leq 60$  GW.

# Windflauten und die Folgen 2020

Vergleich Wind- /Solareinspeisung 2020



Windstromerzeugung und Vergleich mit Solar  
(Quelle: Windjournal)



Histogramm Windstromerzeugung  
(Quelle: B. Zierenberg)

Oberes Diagramm: Jahresverlauf der Tagesdurchschnitte Wind (blau) + Solar (rot) für gesamtes Jahr 2020. In anderen Studien wird gezeigt, dass zur vollständigen Verstetigung dieser Volatilität eine Speicherkapazität von 16 TWh benötigt wird [3]. Unterstellt wird ein vollkommen verlustloser Speicher.

Unteres Diagramm: Die aus dem Jahresverlauf ermittelte Häufigkeitsverteilung, zeigt ein Übergewicht geringerer Leistungen, mit Maximum bei der Klasse 4 GW (Bereich  $3 \dots \leq 4$  GW). **Die der Windstromerzeugung zugrunde liegenden Gesetze der Physik und statistischen Mathematik lassen kein anderes Resultat erwarten! [4]**

Die im Laufe des Jahres 2020 getroffene Schwachwindprognose für das laufende und das folgende Jahr ist Ende Dezember: an mindestens 59 Tagen wird die durchschnittliche tägliche Windstromerzeugung weniger als 5 GW betragen (Summe der Häufigkeit der ersten 4 Balken). Aktueller Ist-Stand am 31.12.2020: 151 Tage (siehe Diagramm Folie 13)

# Windflauten und die Folgen 2020

## Zusammenfassung Jahresbeginn – Ende November 2020

An 151 Windflauten-Tagen sank die gesamte Windstrom-Einspeiseleistung (On + Offshore) unter 5 GW, also 8 % der installierten Leistung.

Die Dauer aller Windflauten summierte sich auf 1810 Stunden. Im Verlauf des gesamten Jahres war zu jeder Zeit eine Gesamt-Jahresprognose mit großer Sicherheit auf Basis der Vorjahresdaten möglich (Folie 14)

Längste ununterbrochene Schwachwindperiode = 129 Stunden vom 14.07. 07:15 bis 19.07. 20:45 Uhr (siehe Folie 6)

An 126 Tagen wurden die Schwachwindperioden von Dunkelflauten mit einer Gesamtdauer von 623 Stunden begleitet.

Die Bedarfsdeckung während der Schwachwindperioden erfolgte in der Spitze mit 58 GW konventioneller Kraftwerksleistung, bei 82% Deckungsgrad. Dies entspricht 58 % der installierten konventionellen Leistung (Kohle, Erdgas, Pumpspeicher, Kernenergie, Sonstige = 100 GW). Der maximale Deckungsgrad, abh. Vom Verbrauch, war 99%.

Am häufigsten, nämlich 62 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. November** 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 – 50,135 Hz, Lastausgleichs-Bereich - 2,116 bis 1,917 GW [6]

## 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, das sich immer auf die aktuelle Gesamtauswertung bezieht, also zum Jahresende hin zunehmend genauer wird (aktuell siehe Folie 13).

Am Schluss (Folie 14) 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>

—