

# Windenergie - Viele Chancen?!

(Kommentierte Version)

## Sigismund KOBE

Institut für Theoretische Physik, Technische Universität Dresden

[sigismund.kobe@tu-dresden.de](mailto:sigismund.kobe@tu-dresden.de)

<https://tu-dresden.de/mn/physik/itp/das-institut/beschaeftigte/kobe>

Themenabend: Evangelische Tochtergemeinde Neusiedl am See, 20. Mai 2019



Foto: S. Kobe am 22.05.2019

## Energie im Burgenland:

**Vordergrund:**

**Römische Palastanlage bei  
Bruckneudorf (Carnuntum):  
4. Jh. Fußbodenheizung**

**Bildmitte (verdeckt):**

**Ostautobahn A4  
Wien-Budapest  
20. Jh. Verkehrswege**

**Hintergrund:**

**Moderne Windenergieanlage  
21. Jh. Elektroenergie**

***„Die Gesetze der Physik sind politisch  
nicht in Frage zu stellen. Trotzdem wurde es getan.“  
2013***

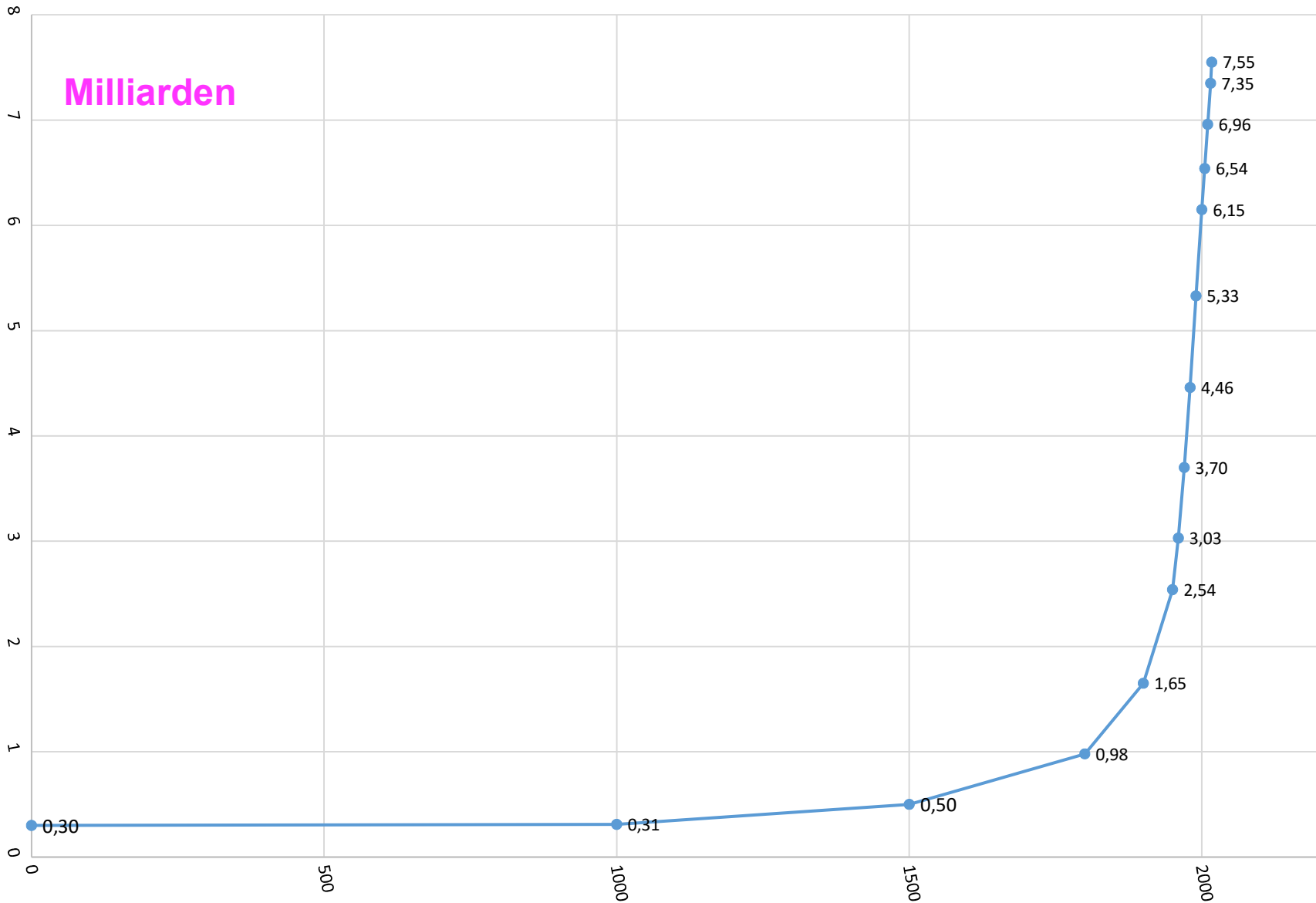
**Steven CHU**

**Nobelpreisträger für Physik 1997**

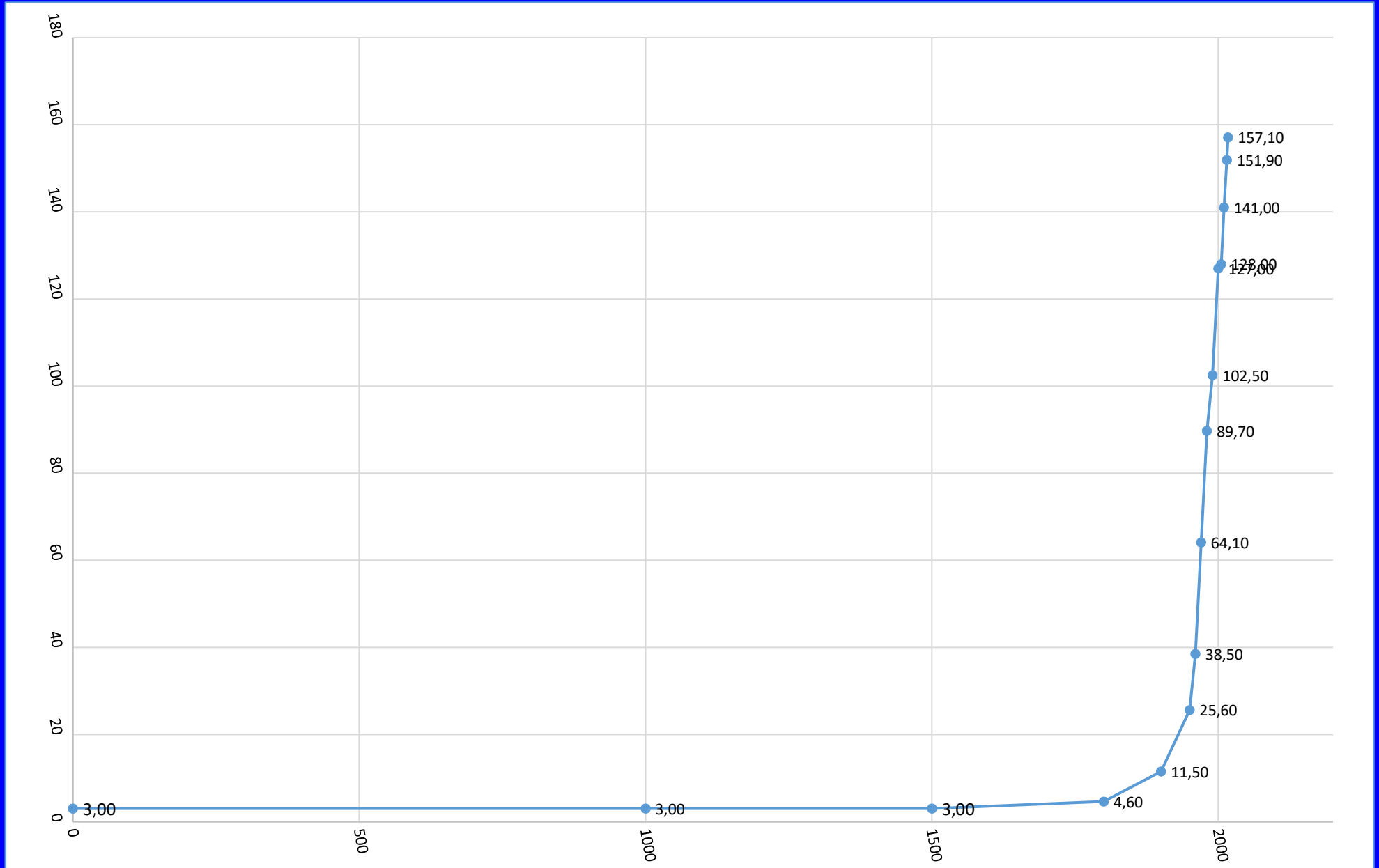
# **Prolog (1)**

## **Menschen und Energie**

# Weltbevölkerung 0 - 2017



# Primärenergie-Verbrauch zwischen 0 und 2017 (in 1000 TWh pro Jahr)



(Angaben vor 1800 sind geschätzt)

## Anteile am Primärenergie-Verbrauch

bis 1800: fast 100 % „Erneuerbare“: Biomasse, Bioenergie (s. Arbeitsleistung und Transport mit Muskelkraft von Mensch und Tier), Wasserkraft, Wind, ...

2017 (die Angaben in Klammern beziehen sich auf Elektroenergie):

Öl	34 %	( 3 %)
Kohle	28 %	(38 %)
Gas	23 %	(23 %)
Kernenergie	4,4 %	(10 %)
Wasserkraft	6,8 %	(16 %)
Andere Erneuerb.	3,6 %	( 8 %)

„Andere Erneuerbare“ : Biomasse, Wind, Sonne, Geothermie, Bioabfälle etc.

Quelle: BP Statistical Review of World Energy 2018

Ein Beispiel aus dem 17. Jahrhundert:

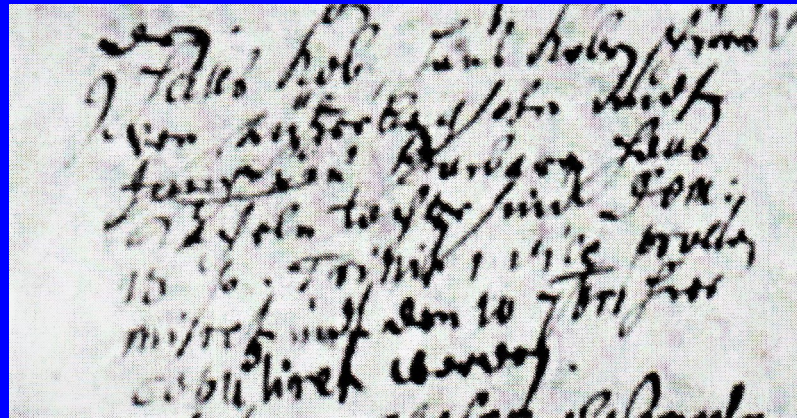
Die Vorfahren Kobe hatten einen energieintensiven Beruf im Glashandwerk:

Martin KOB (1586-1656), Schürer in Lauscha

Hans KOB (+1688), Schürer in Stützerbach

Hans KOBE (1657-1730), Schürer in Stützerbach, Ur(6)-Großvater

(Schürer waren für die Energie (Holzbeschaffung) der Glashütten zuständig.)



**Kirchenbuch Ilmenau , Trauung am 10.09.1678:**

**9 Hans Kob, Hans Koben, Schürers  
von Stützerbach Sohn und seine  
Jungfrau Barbara Hans  
Kacheln Tochter sind Dom:  
10 p. Trinit. 1 vice procla-  
miret undt den 10 7bri hier  
copuliret worden.**



# Grundumsatz (GU): 50...70 W

## Energiebedarf:

Jäger und Sammler: 5 GU

Mensch der Agrargesellschaft: 20 GU

Weltbürger (im Mittel 1800): 15 GU

Weltbürger (im Mittel heute): 40 GU

Mensch der modernen Industriegesellschaft: 75 GU

Deutscher (im Mittel): 76,8 GU,

davon bezieht er 3 GU (4 %) aus Wind und Sonne

Österreicher (im Mittel): 77,4 GU

(zum Vergleich:

Sonneneinstrahlung auf Erde im Mittel → 330000 GU pro Person)

# Prolog (2)

**Energiedichte**

**Wieviel Energie ist in einem bestimmten Volumen gespeichert?**

**(1) Mechanische Energiedichte**

$$mgh/V = \rho gh \text{ (potentielle)}$$

$$\text{Bsp. Wasser: } 1000 \times 10 \times 100 \text{ Ws/m}^3 = 0,3 \text{ kWh/m}^3$$

$$mv^2/2V = \rho v^2/2 \text{ (kinetische)}$$

$$\text{Bsp. Luft, } v=4 \text{ m/s: } 1 \times 4 \times 4 / 2 \text{ Ws/m}^3 = 0,002 \text{ kWh/m}^3$$

pro Sekunde kann (max.) die Energie von 4 Würfeln (-> v) auf das Windrad übertragen werden, damit ist die Energie pro Fläche und Zeit proportional zur dritten Potenz der Geschwindigkeit

## **(2) Chemische Energiedichte**

Bsp.

Benzin 8000 kWh/m<sup>3</sup>

Wasserstoff (fl.) 2800 kWh/m<sup>3</sup>

TNT 2000 kWh/m<sup>3</sup>

Li-Akku 500 kWh/m<sup>3</sup>

Blei-Akku 70 kWh/m<sup>3</sup>

Methan 10 kWh/m<sup>3</sup>

## **(3) Nukleare Energiedichte**

Bsp. Uran-Kernreaktor 400 000 000 000 kWh/m<sup>3</sup>

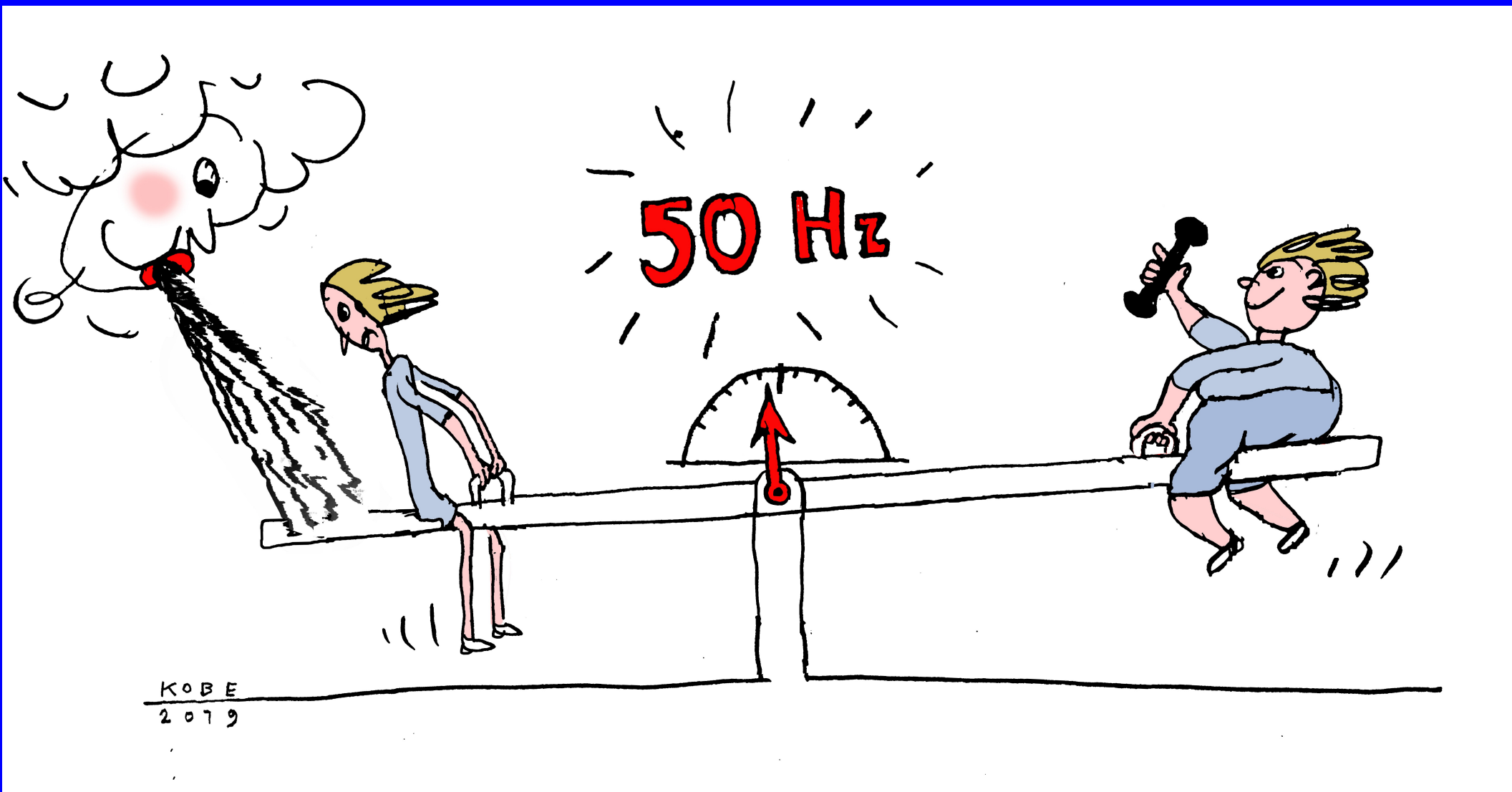
*Energiedichten stehen im Verhältnis zueinander*

*gemäß*

**(1) : (2) : (3) = 1 : 1000 : 1 Milliarde**

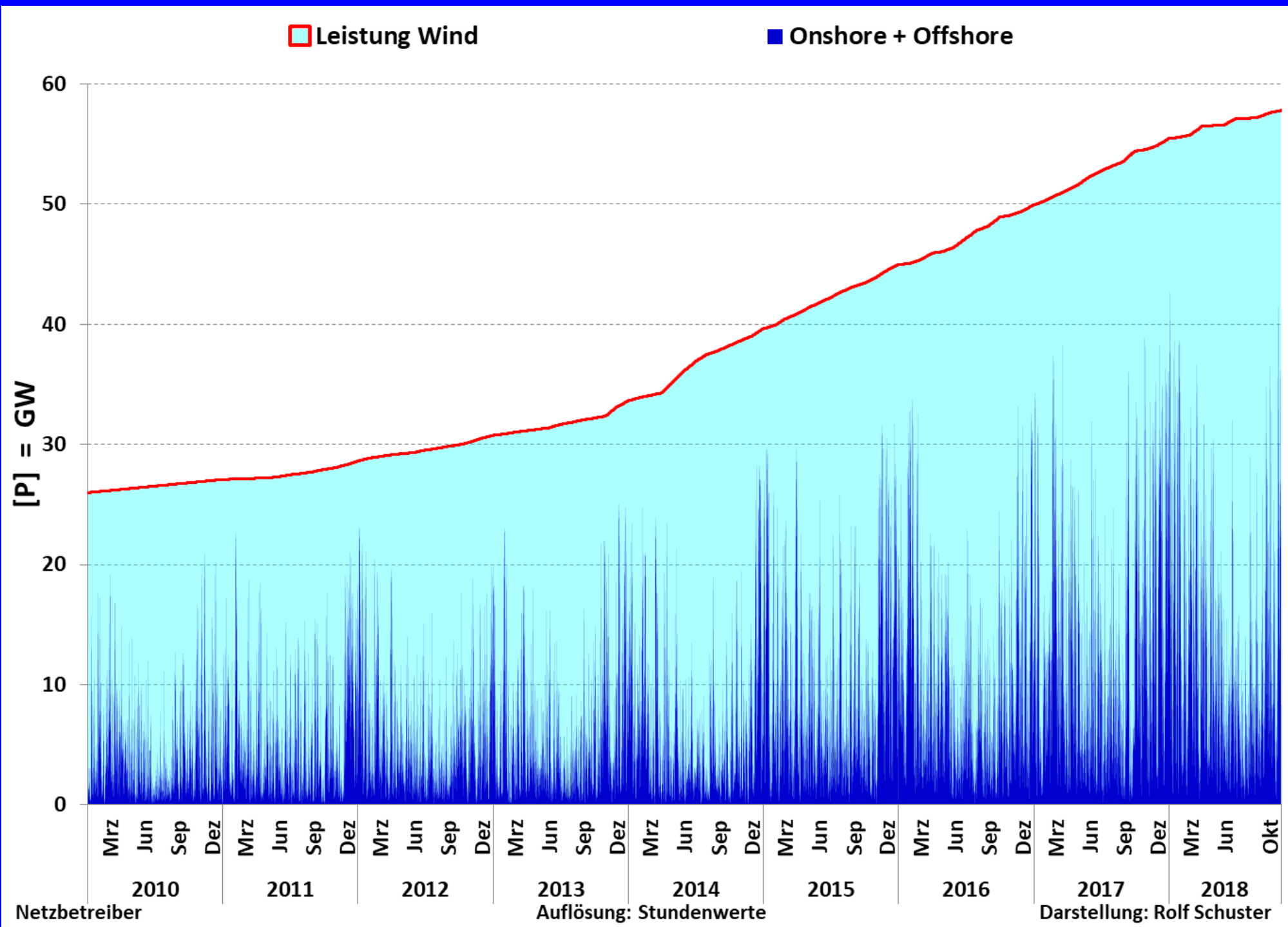
# **Prolog (3)**

## **Das Gleichgewicht**



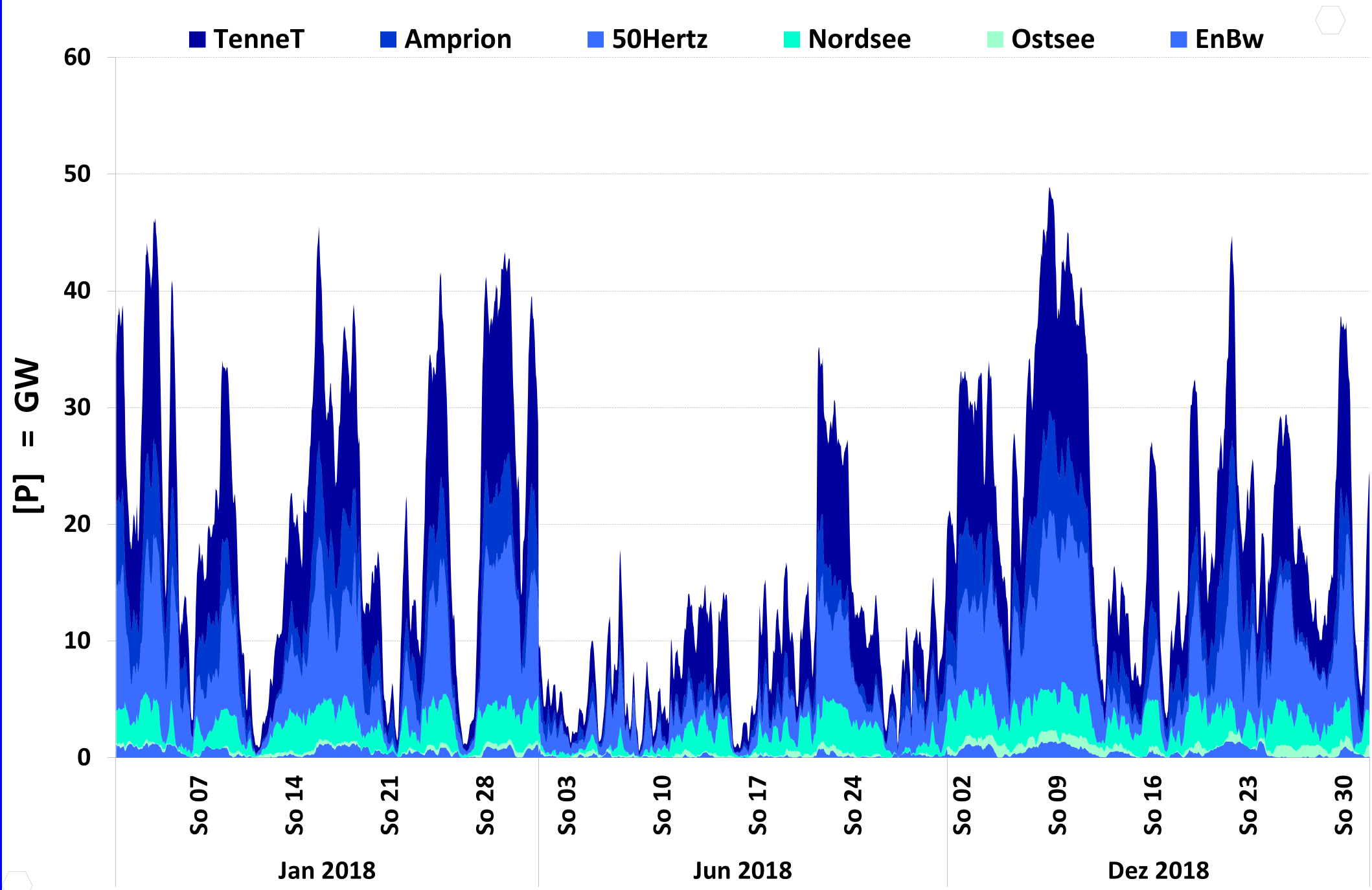
Erzeugung und Verbrauch müssen sekundengenau im Gleichgewicht sein.  
Die Einhaltung einer stabilen Netzfrequenz von 50 Hz muss gesichert werden.

**Der zeitliche Verlauf der  
Einspeiseleistung  
aller Windenergieanlagen in  
Deutschland**





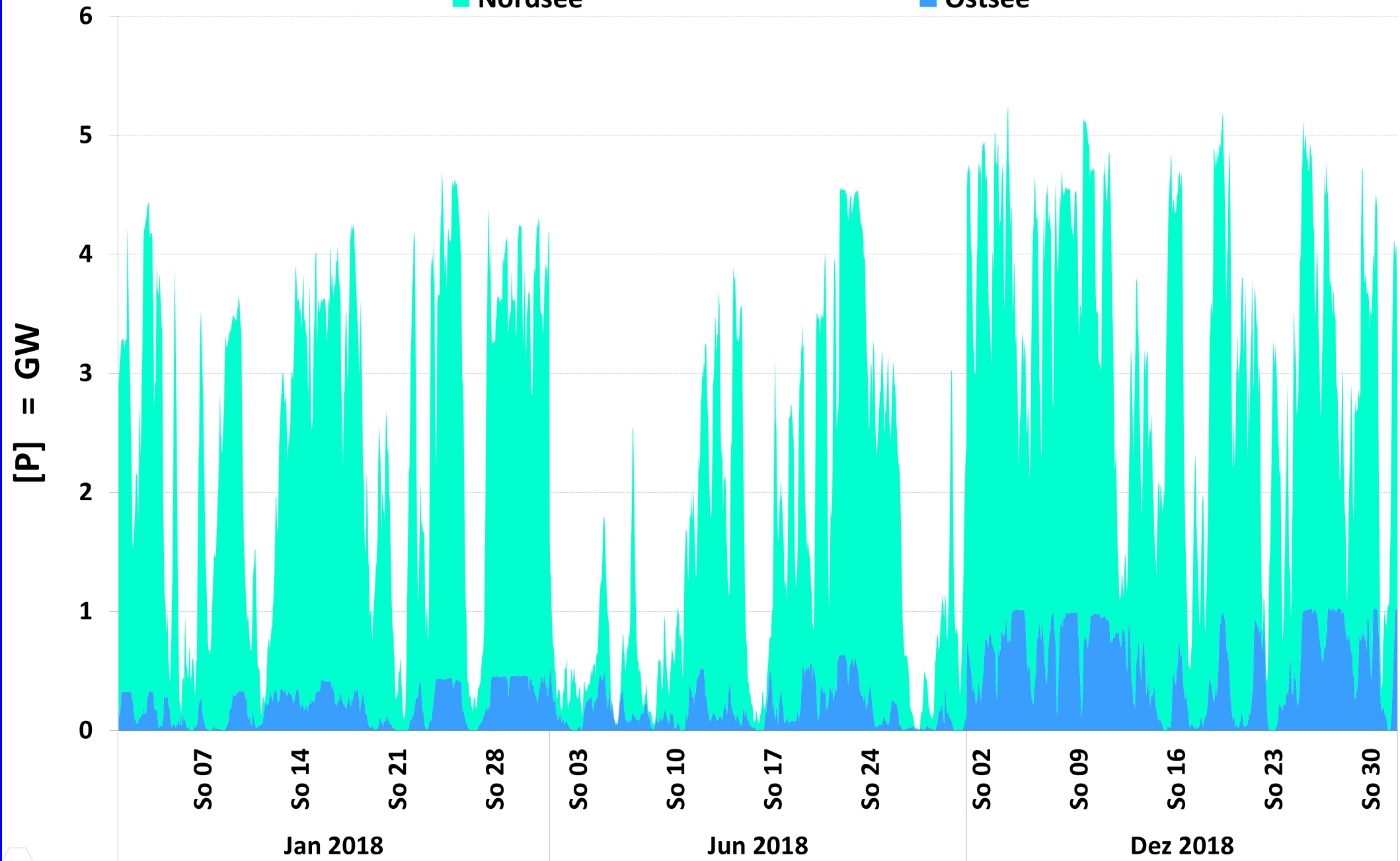
# Leistungseinspeisung aller Windenergie-Anlagen in Deutschland



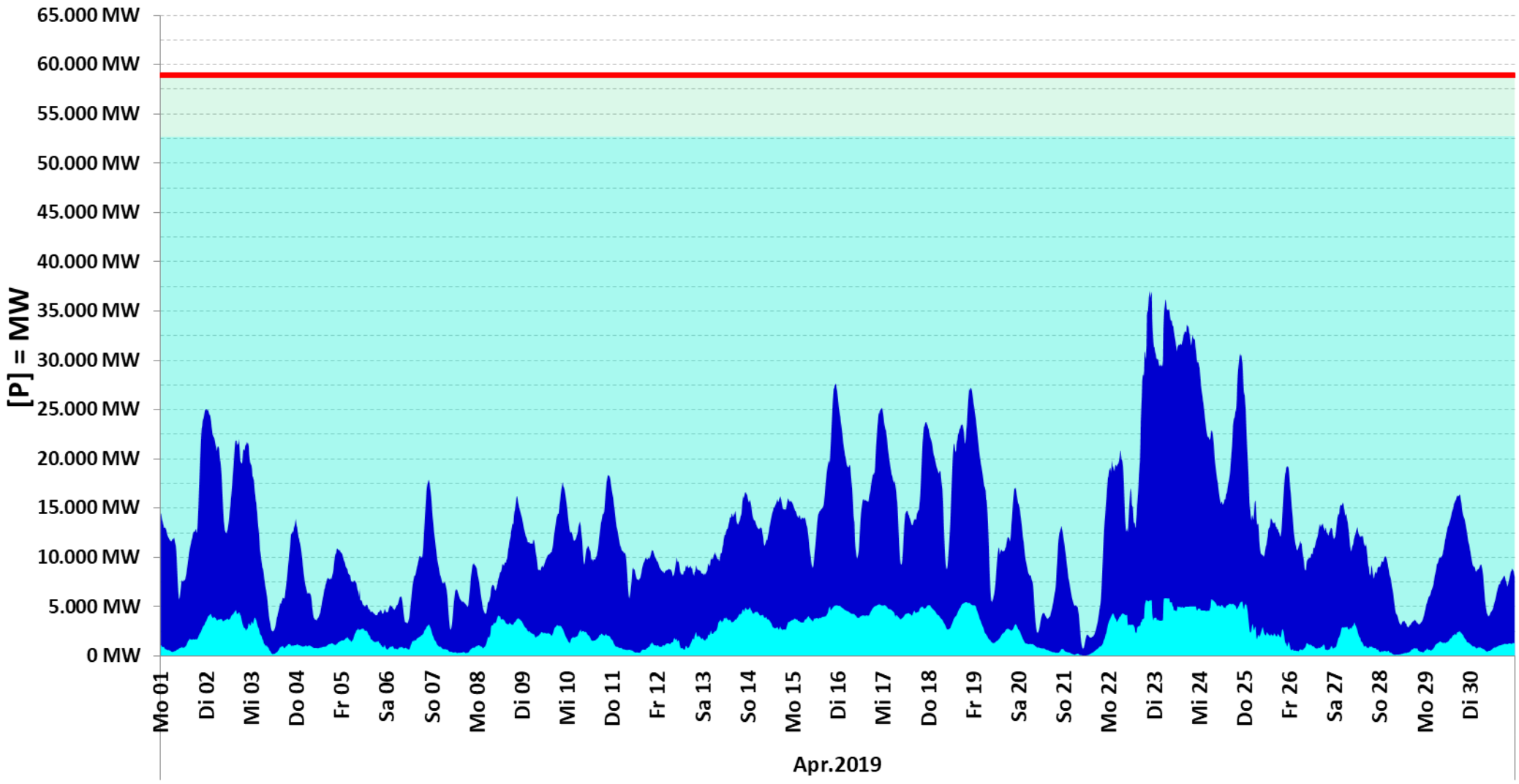
# Leistungseinspeisung aller Offshore-Anlagen in Deutschland

■ Nordsee

■ Ostsee



■ Nennleistung Offshore ■ Nennleistung Onshore ■ Einspeisung Onshore ■ Einspeisung Offshore



Apr. 2019

Datenquelle: Entso-e / Netzbetreiber

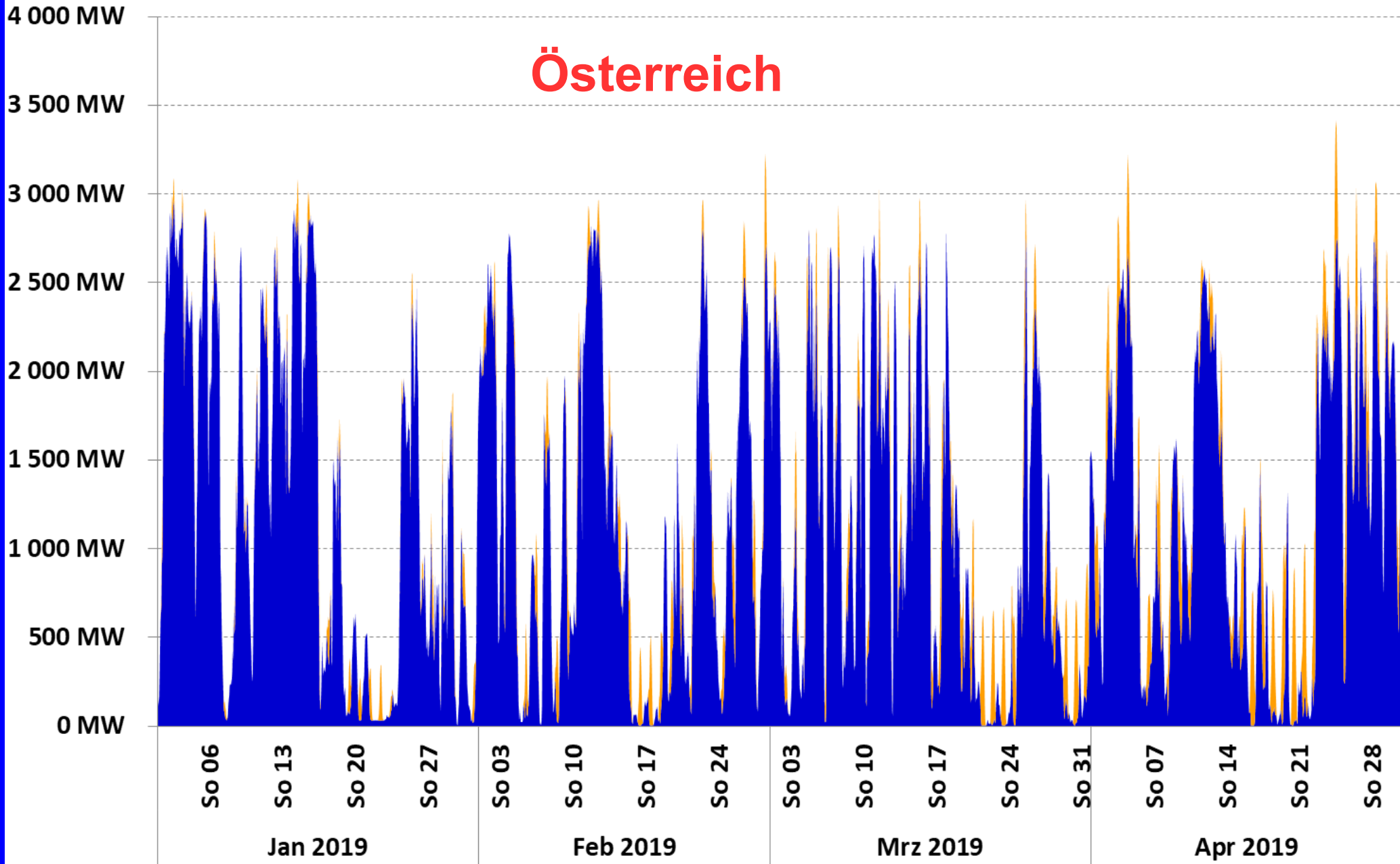
Auflösung: Viertelstundenwerte

Darstellung: Rolf Schuster

■ Solar AT

■ Wind

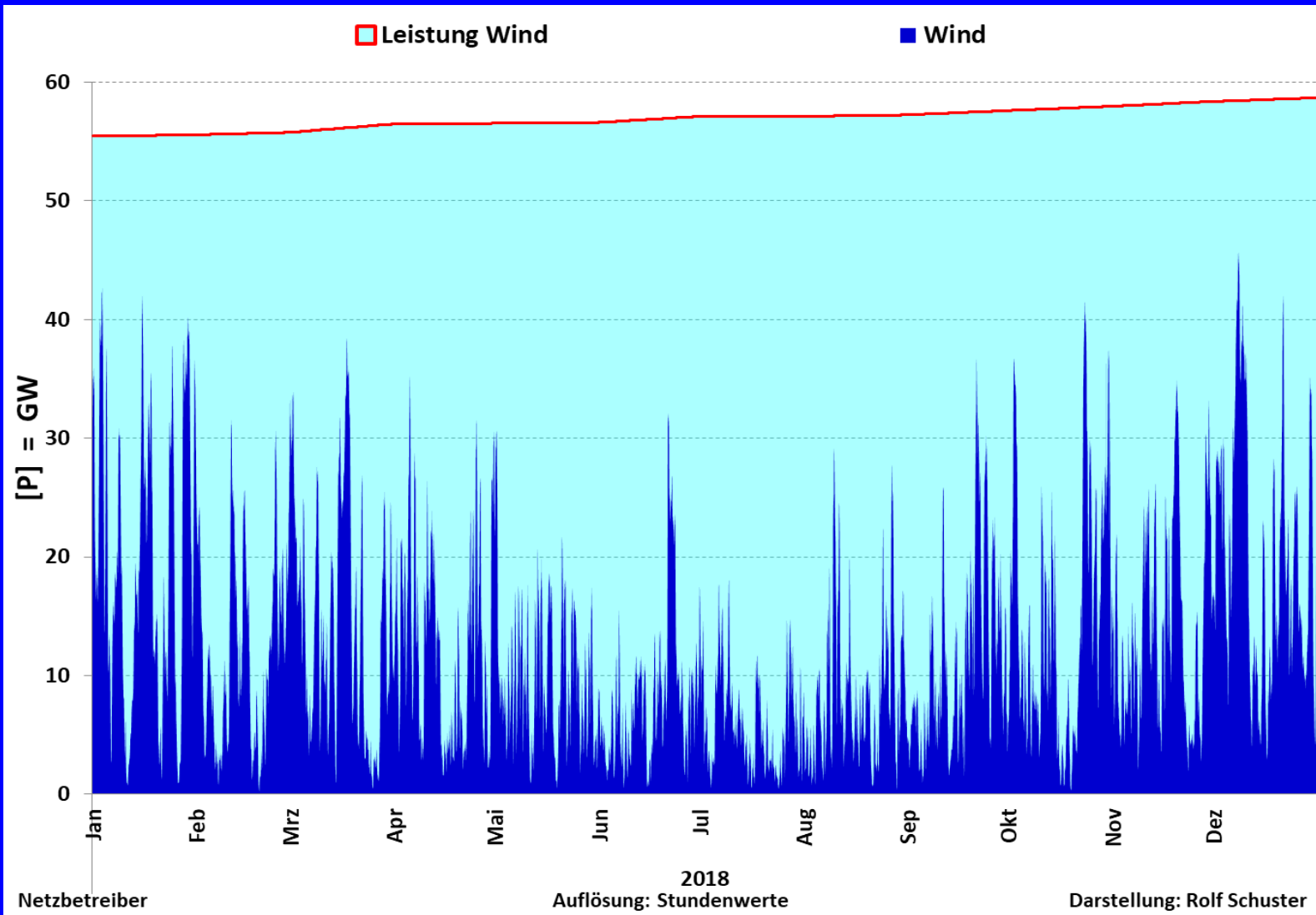
# Österreich



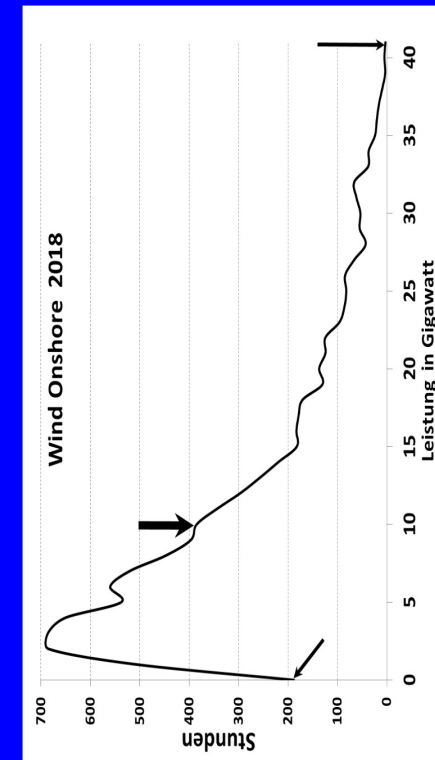
**Die Energie Burgenland betreibt  
derzeit 225 Windenergieanlagen mit  
einer Leistung von 522 MW.  
Damit können 250.000 Haushalte mit  
Energie versorgt werden.**



**FAKE: Nicht durchgängig !!!**



Anzahl der Stunden  
des Jahres mit einer  
bestimmten Leistung



# Wind Onshore 2018

Anzahl der Stunden eines Jahres  
in Abhängigkeit von der Einspeiseleistung  
(gemessen im Raster von 1 Gigawatt)

Stunden

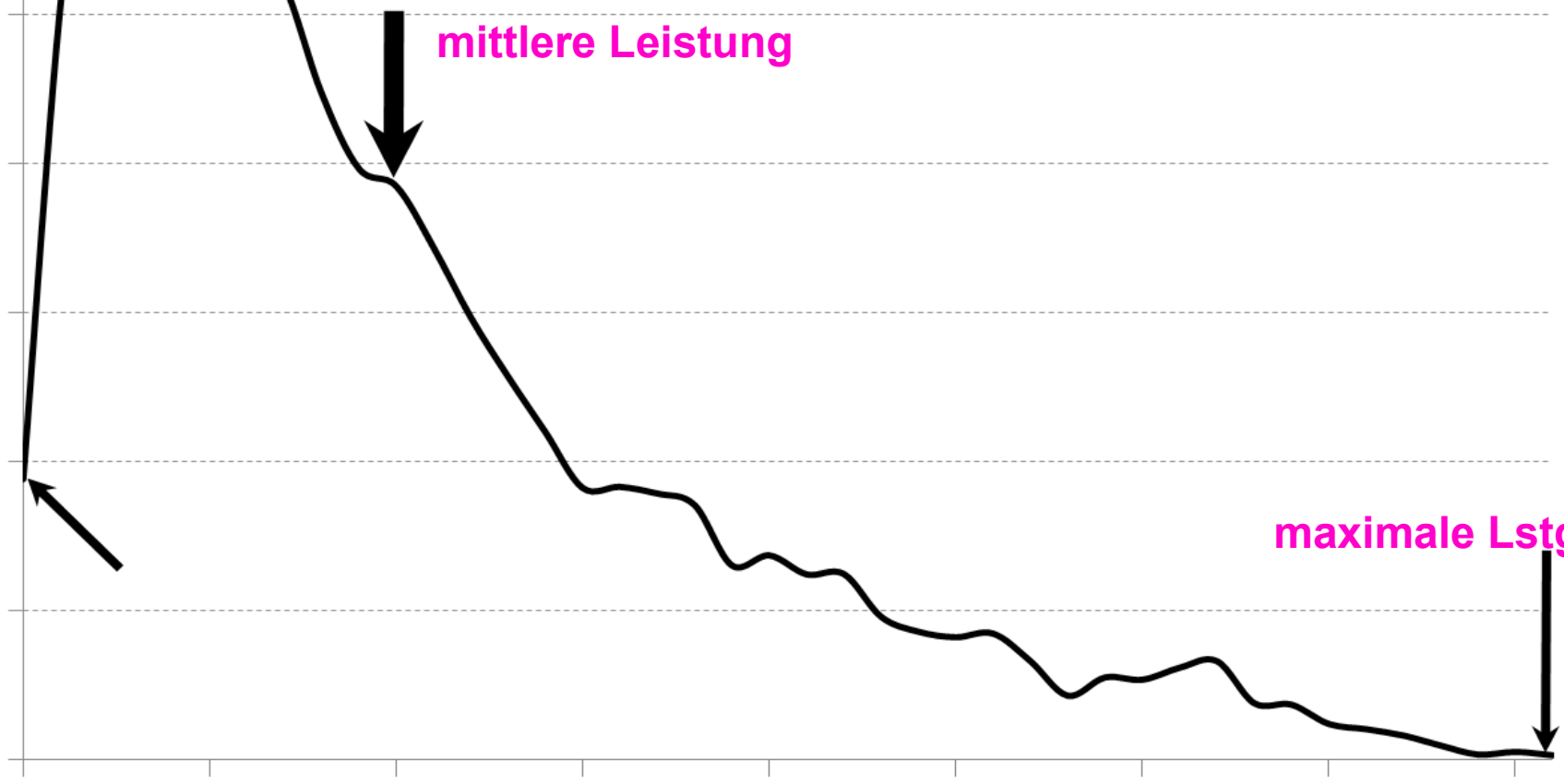
700  
600  
500  
400  
300  
200  
100  
0

0 5 10 15 20 25 30 35 40

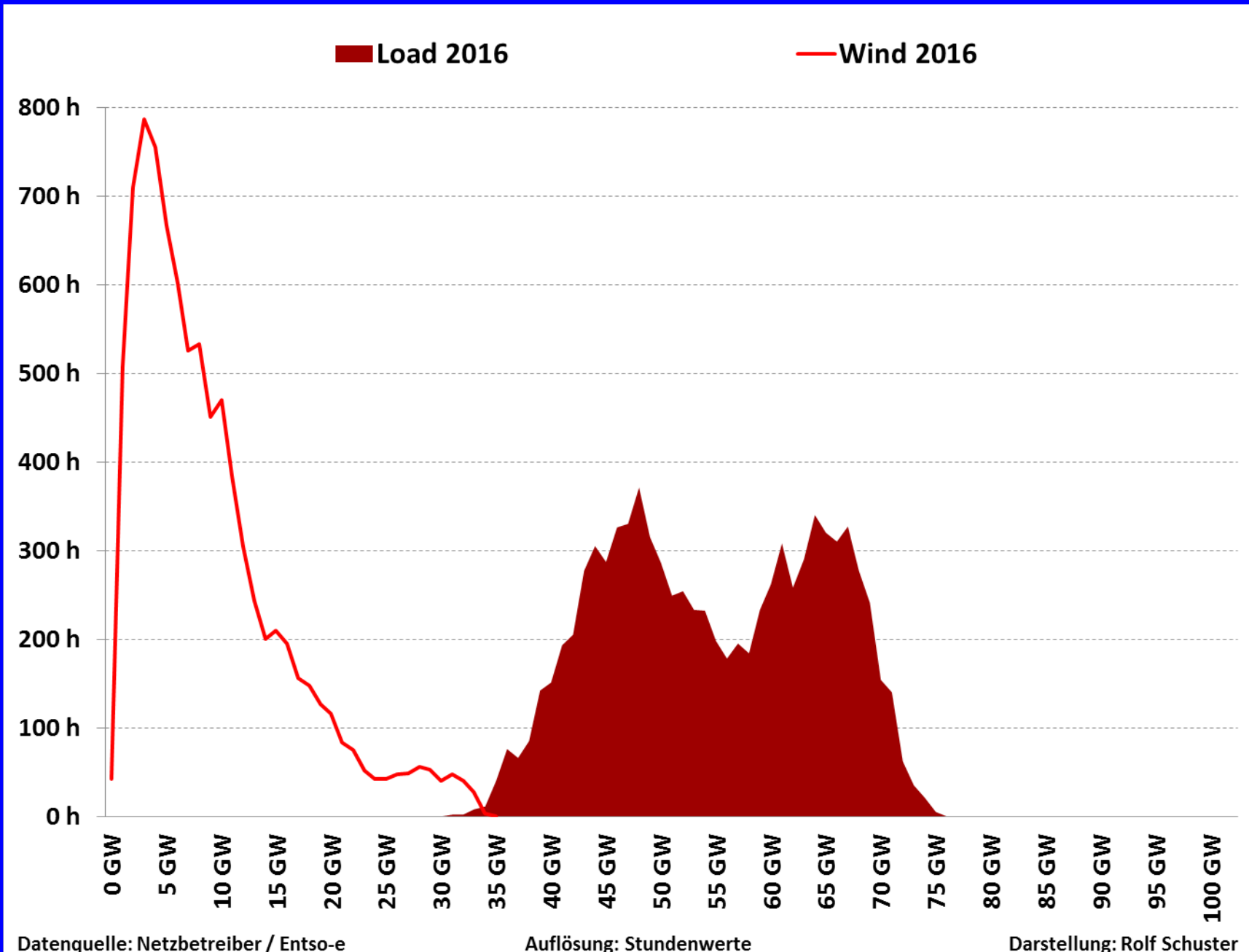
Leistung in Gigawatt

mittlere Leistung

maximale Lstg.



1 GW = 1 Mio. kW = 11364 x 88 kW

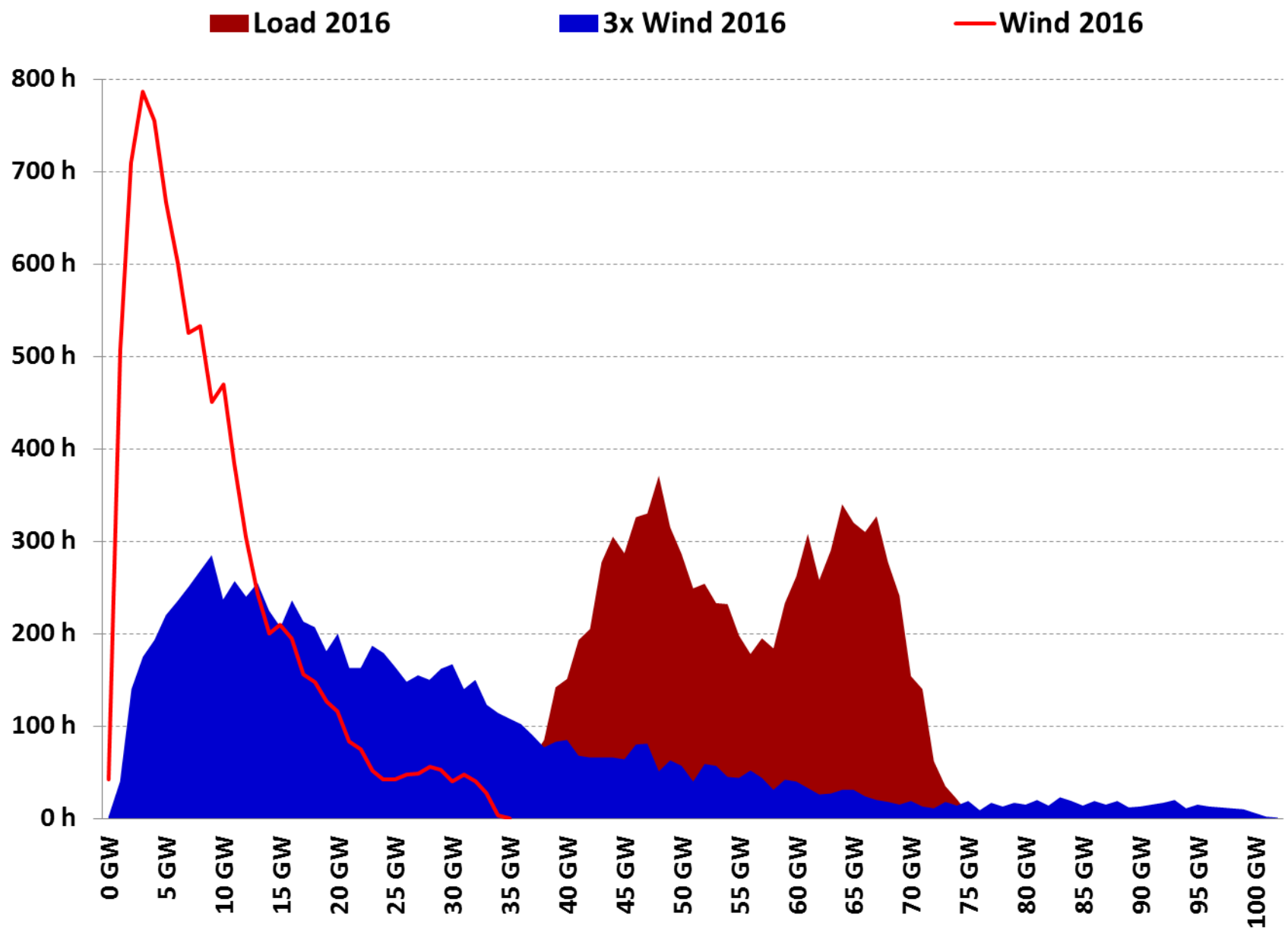


Datenquelle: Netzbetreiber / Entso-e

Auflösung: Stundenwerte

Darstellung: Rolf Schuster

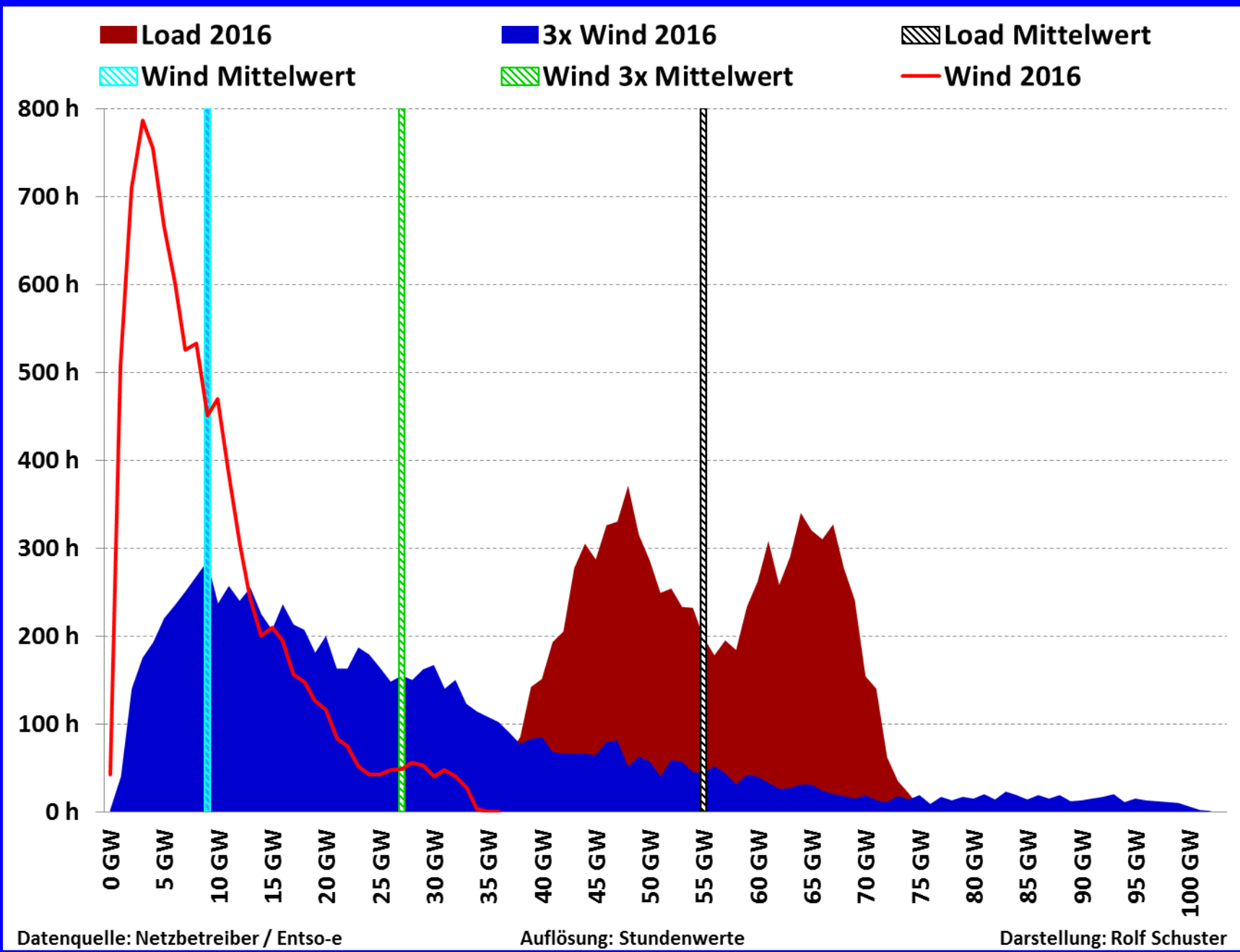




Datenquelle: Netzbetreiber / Entso-e

Auflösung: Stundenwerte

Darstellung: Rolf Schuster



Datenquelle: Netzbetreiber / Entso-e

Auflösung: Stundenwerte

Darstellung: Rolf Schuster

**Im Mittel war der Dorfteich**

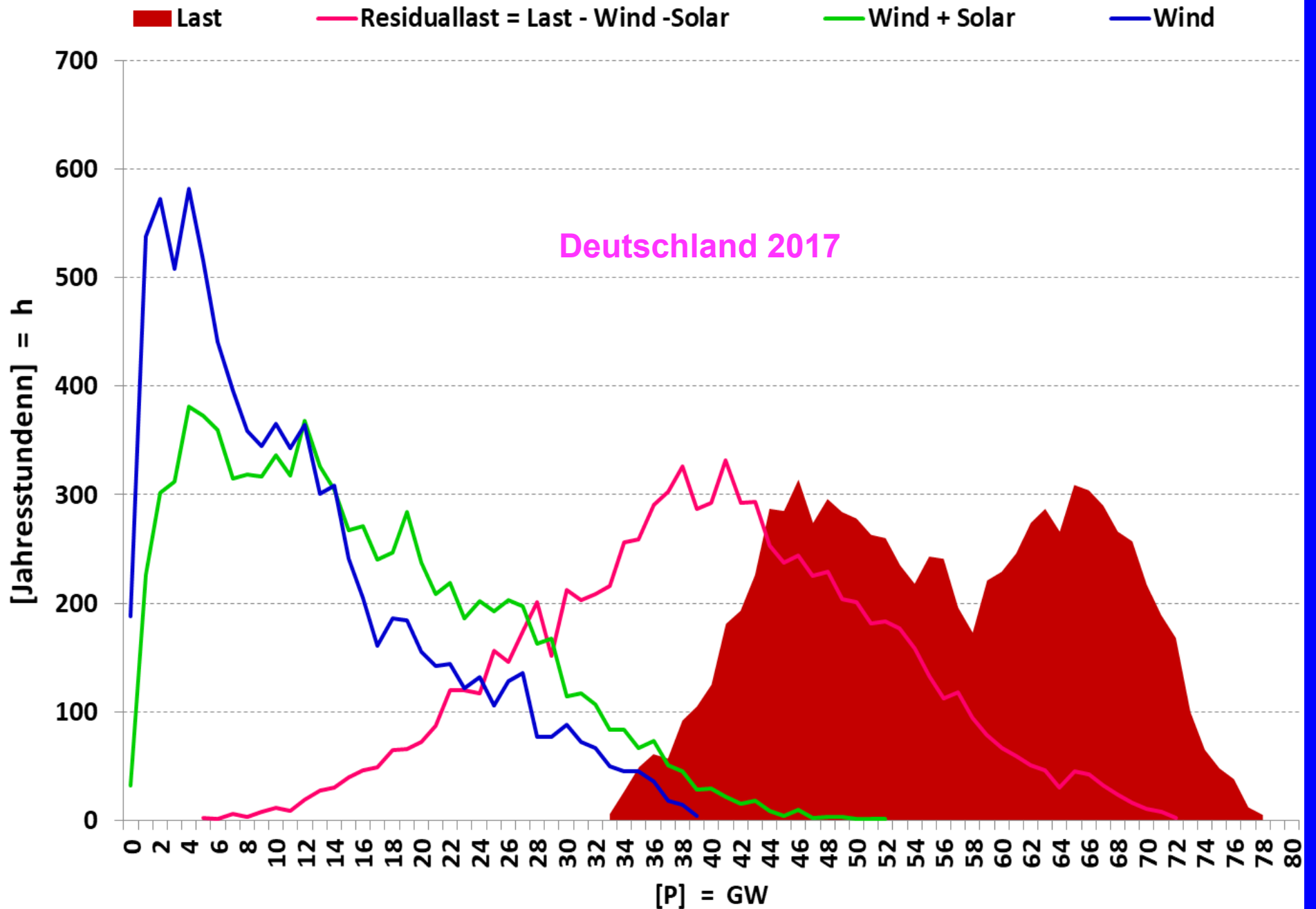
**1 Meter tief,**

**trotzdem ....**



# **Residuallast**

**Wieviel Strom aus konventionellen Quellen muss zusätzlich zum WEA- und PV-Strom eingespeist werden, um die momentane Last zu decken?**



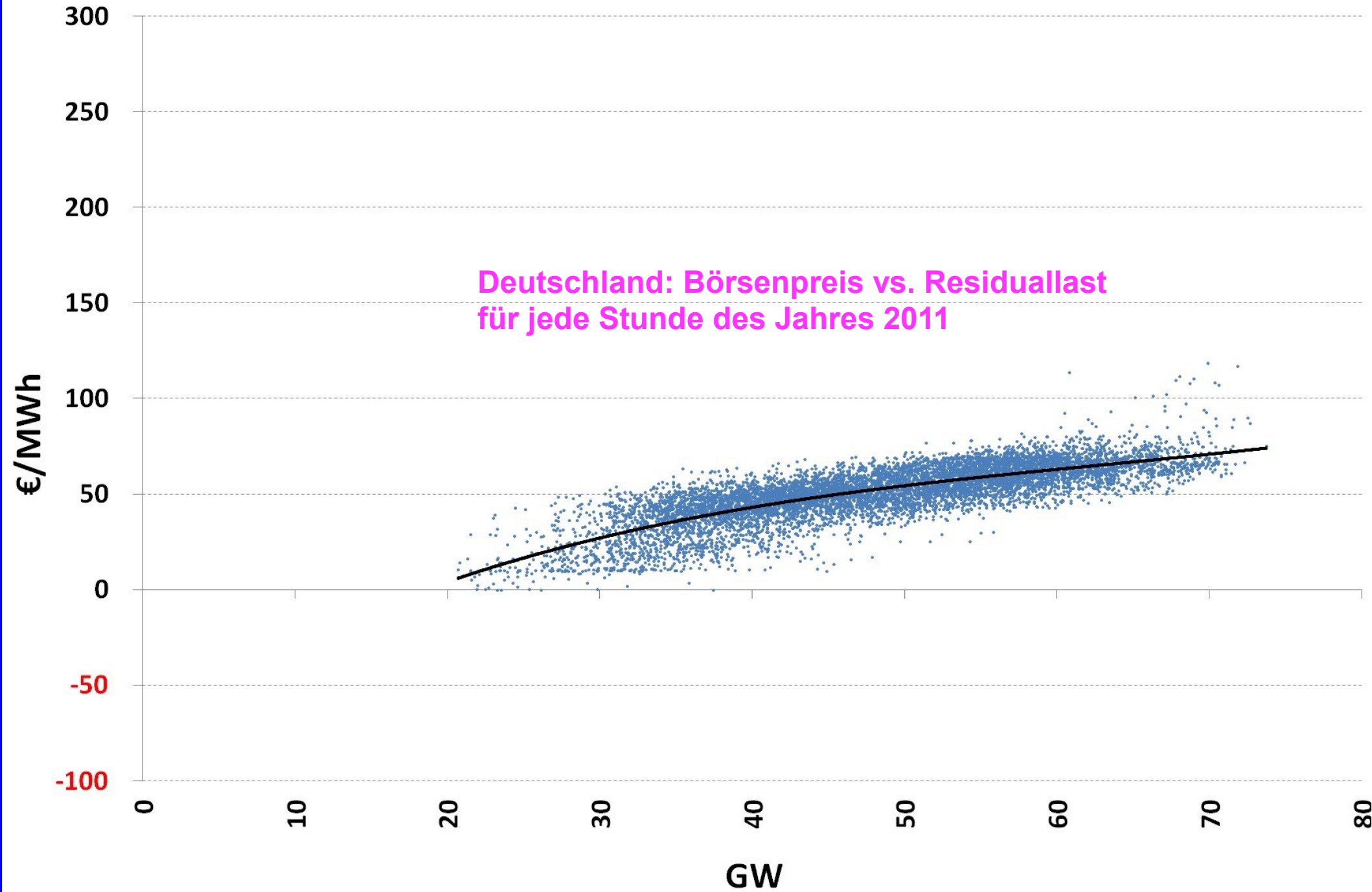
Datenquelle: Netzbetreiber / Entso e

Auflösung: Stundenwerte

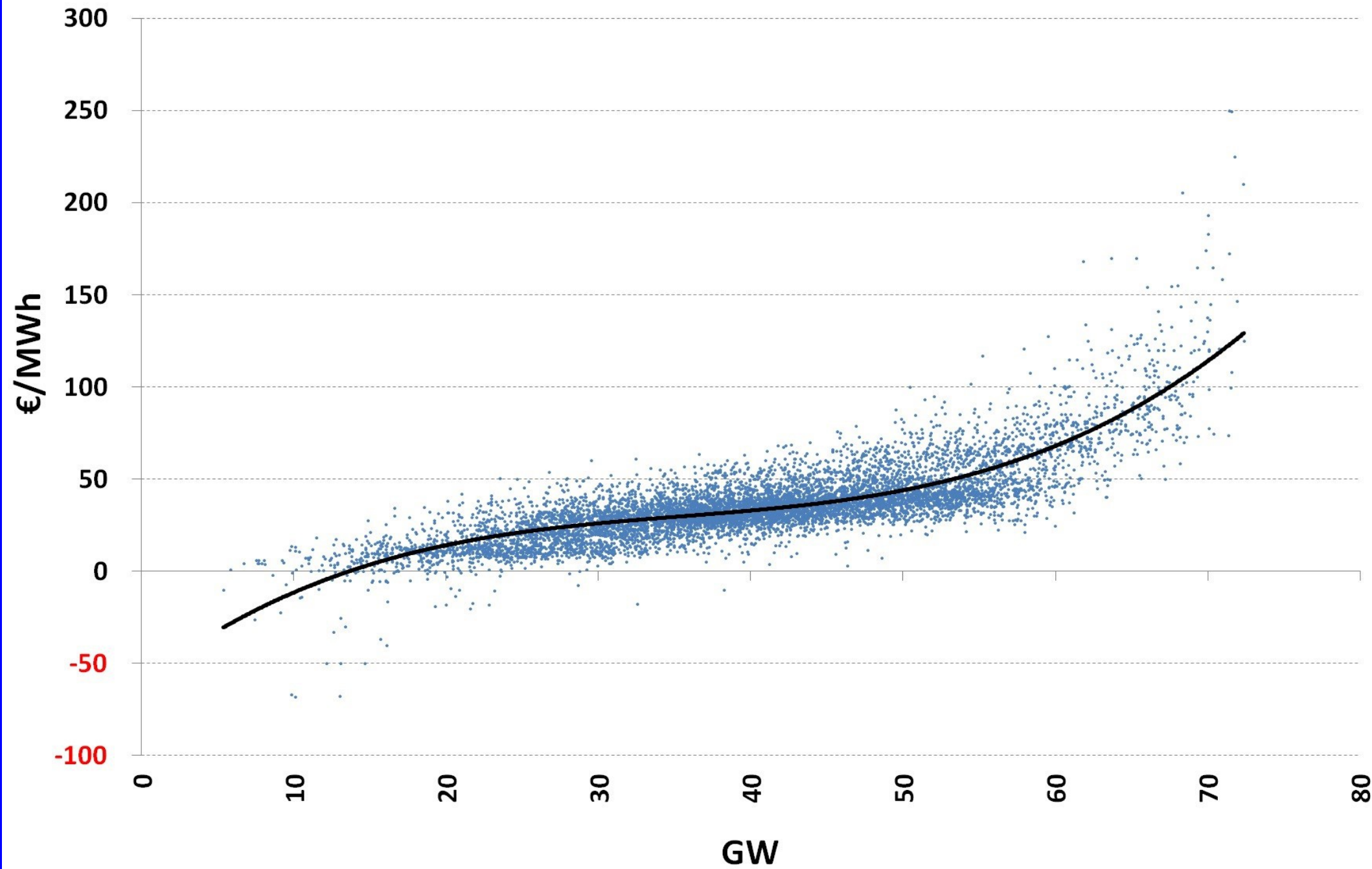
Darstellung: Rolf Schuster

2011

Deutschland: Börsenpreis vs. Residuallast  
für jede Stunde des Jahres 2011



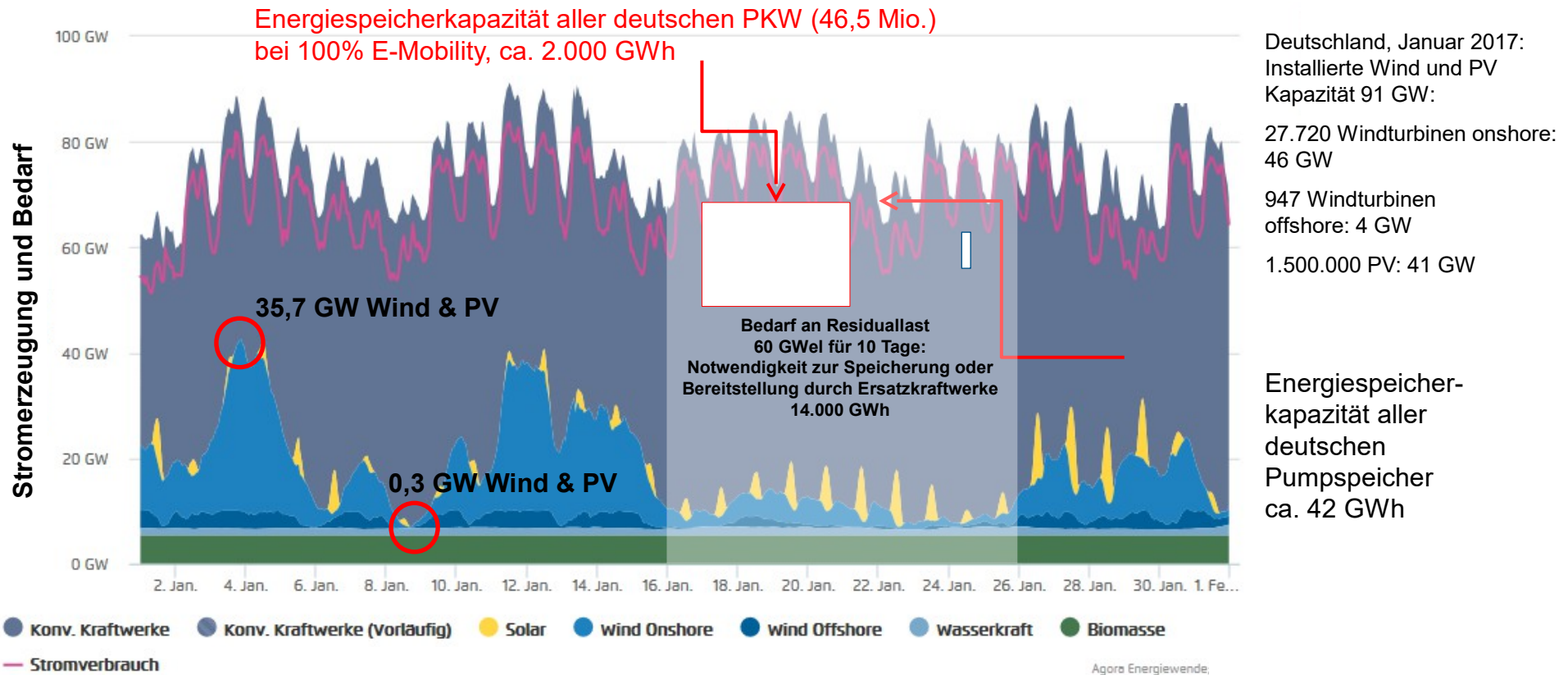
2017



**Speicher ?**



# Herausforderungen für Netzstabilität und Versorgungssicherheit



- Konventionelle Kraftwerke werden noch für Jahrzehnte benötigt, bevor ausreichende Energiespeicherkapazität vorhanden ist.
- CCU kann helfen, CO2 Emissionen zu senken und Energie über lange Zeiträume zu speichern.

**Dank an K. STAHL, RWE Essen**

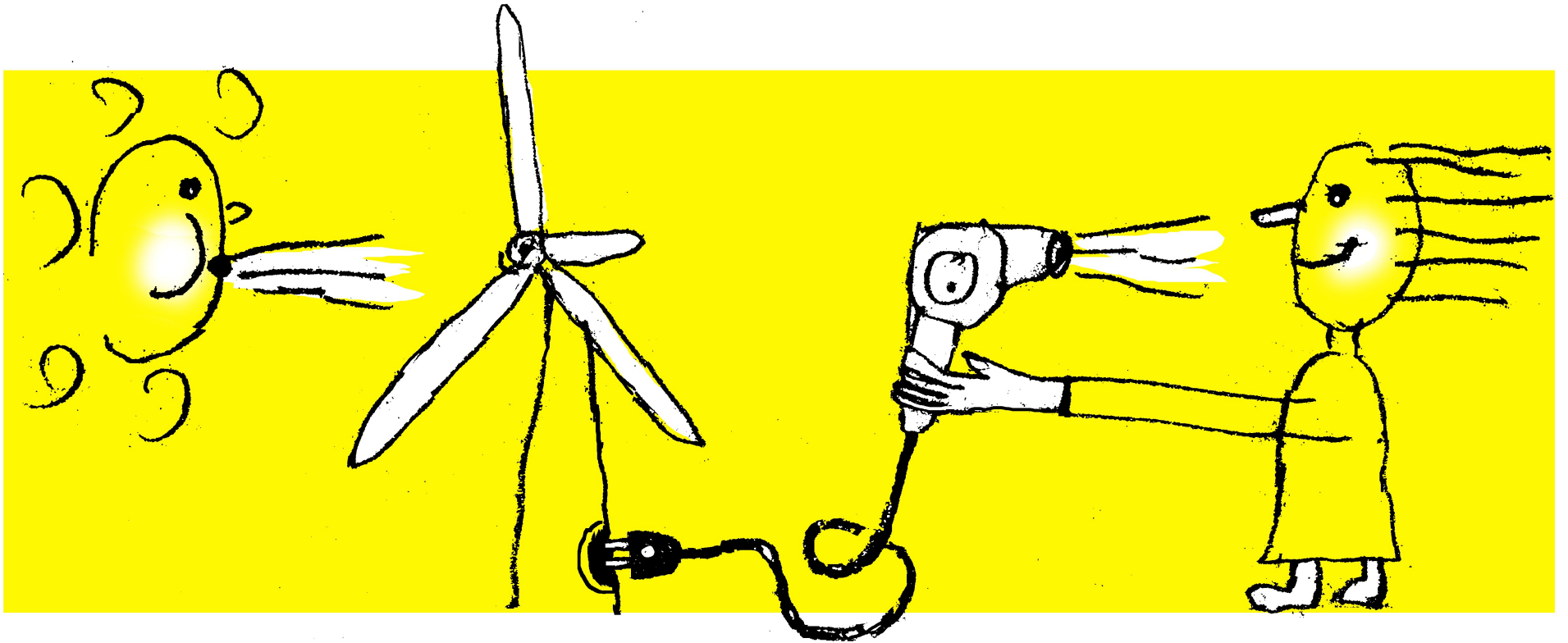
# Fazit:

**(1) Für ein hochindustrialisiertes Land in Mitteleuropa gilt:**

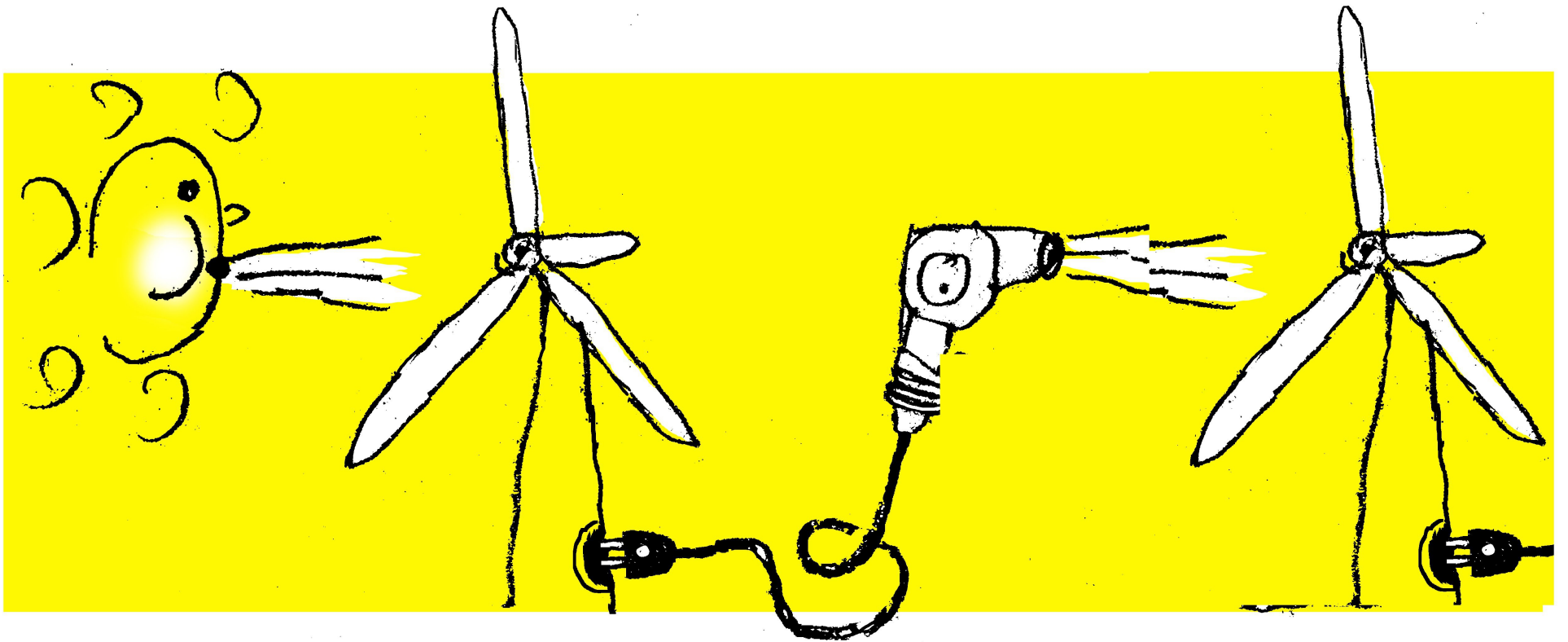
**Wegen zu geringer Energiedichte kann der Bedarf an Elektroenergie nicht durch Windenergieanlagen im Land oder auf See gedeckt werden.**

**Die zur Lösung des Problems der volatilen Erzeugung notwendigen Speicher stehen derzeit nicht zur Verfügung.**

**(2) Wird (1) akzeptiert, ergeben sich intelligente Lösungen, wie Windstrom sinnvoll in das Energiesystem integriert werden kann.**



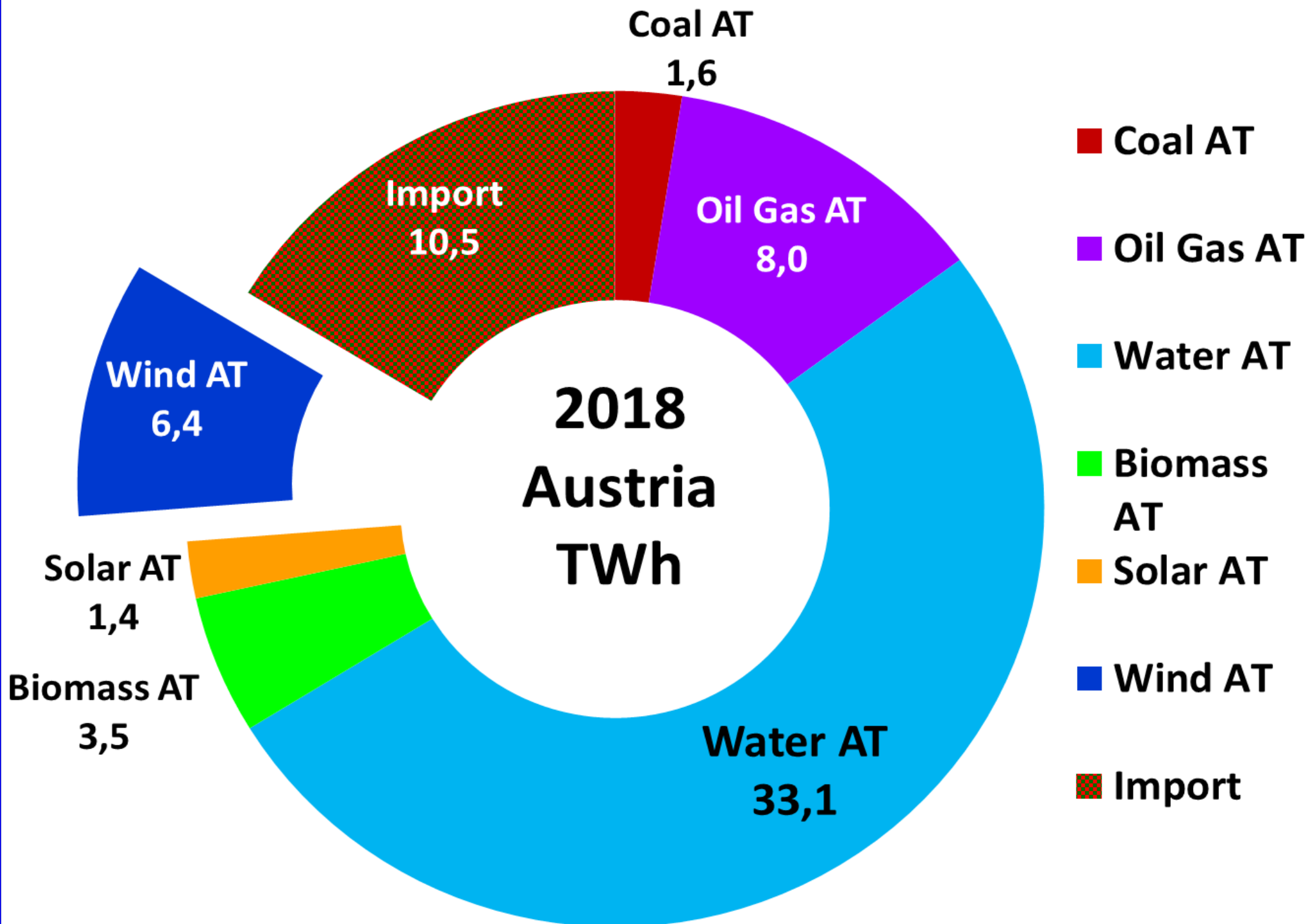
# Erneuerbare Energie?



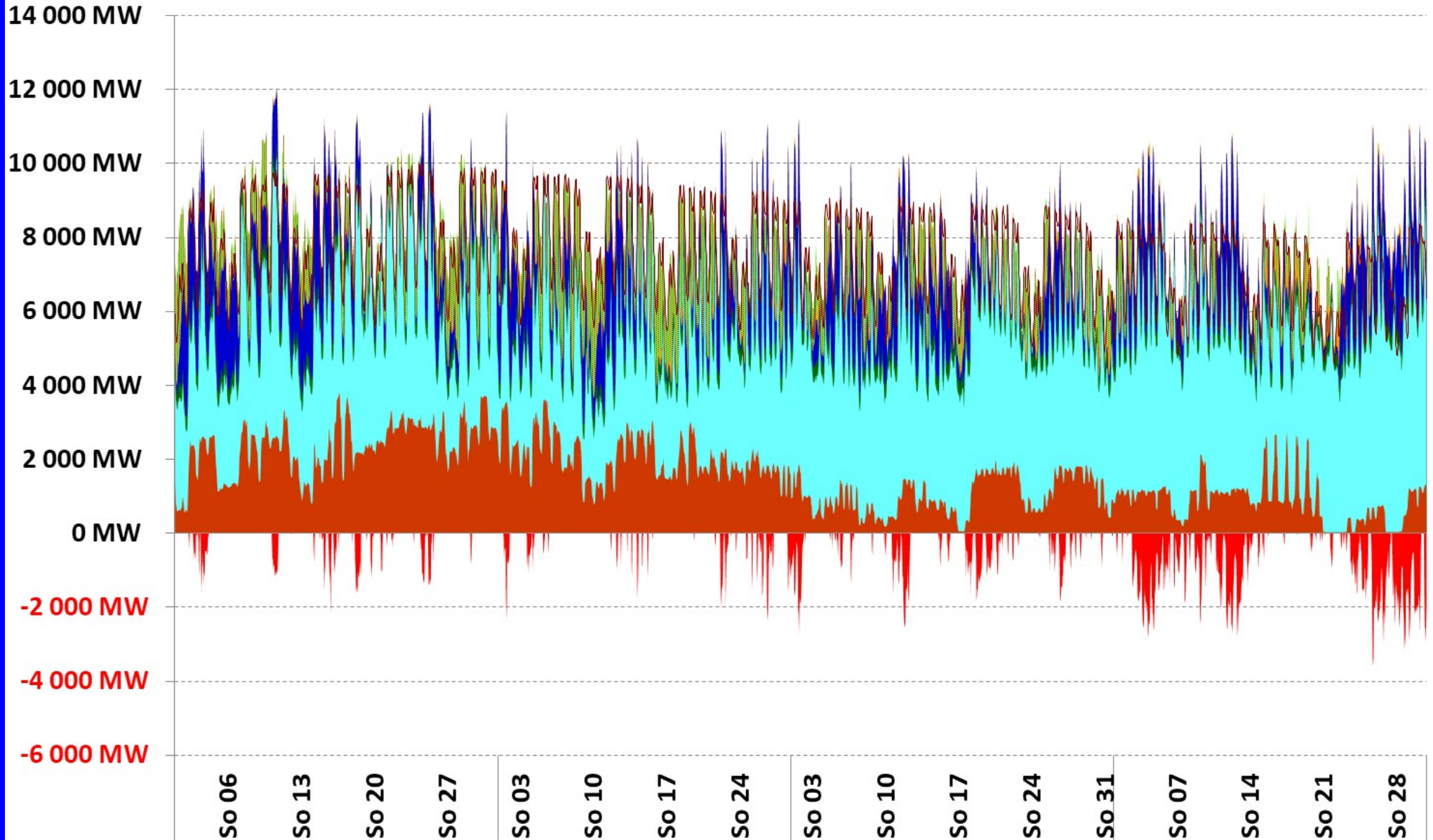
**Erneuerbare Energie?**

**Vorbild:**

**Österreich**



■ Import AT 
 ■ Export AT 
 ■ Solar AT 
 ■ Wind AT 
 ■ Oth.Renew 
 ■ Water 
 ■ Coal Gas AT 
 — Load AT



Jan 2019: So 06, So 13, So 20, So 27  
 Feb 2019: So 03, So 10, So 17, So 24  
 Mrz 2019: So 03, So 10, So 17, So 24, So 31  
 Apr 2019: So 07, So 14, So 21, So 28

Datenquelle: Entso-e Actual generation per production type Load  
 Darstellung: Rolf Schuster

# Epilog:

**„1 : 1000 : 1 000 000 000“**

**„Das Ende der Reichlichkeit“ (T. HOOF):**

**Die Zeiten der großen Bereicherung an chemischer Energie aus fossiler Quellen neigen sich dem Ende zu.**

**Alternativen ?**



**"Die erneuerbare Energie hat nur einen einzigen Feind: Die Unwissenheit über die fantastischen Möglichkeiten, die sie uns bietet."**

**Hans KRONBERGER (1951-2018), österreichischer Publizist**

**"Die Energiewende hat nur einen einzigen Feind: Die Unwissenheit über die physikalischen Gesetze, die ihr zugrunde liegen."**

**Sigismund KOBÉ (2013)**

**Dank:**

**Rolf SCHUSTER (wiss. Grafiken)**

**Rolf SCHUMANN**

**Martin BRABAND**

**Ronald KOBE (künstlerische Grafiken)**

**Heidmarien KOBE**