



Westfälisches
Energieinstitut

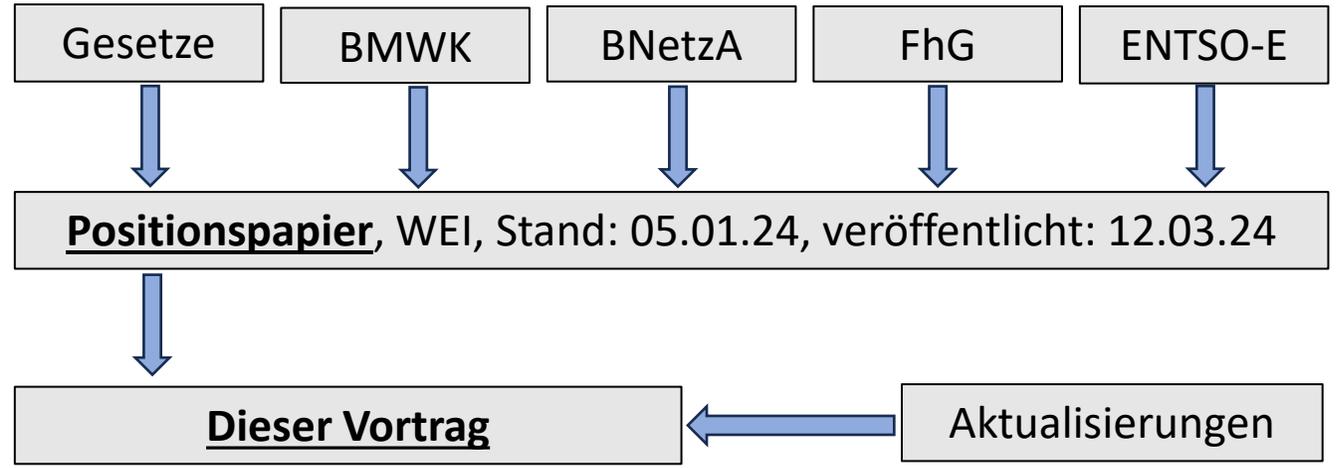
Daten der Energiewende und deren Interpretation aus systemischer Sicht

16. Branchentag Windenergie NRW,
Gelsenkirchen, Wissenschaftspark,
11./12.06.2024

Prof. Dr.-Ing. Markus J. Löffler, Professor i.R.

Energie- und Klimawende zwischen Anspruch, Wunschdenken und Wirklichkeit – Umsetzungspfade

Positionspapier aus dem Westfälischen Energieinstitut zur Energie- und Klimawende
Heinz-J. Bontrup, Michael Brodmann, Christian Fieberg, Markus Löffler, Ralf-M. Marquardt, Andreas Schneider und Andreas Wichtmann

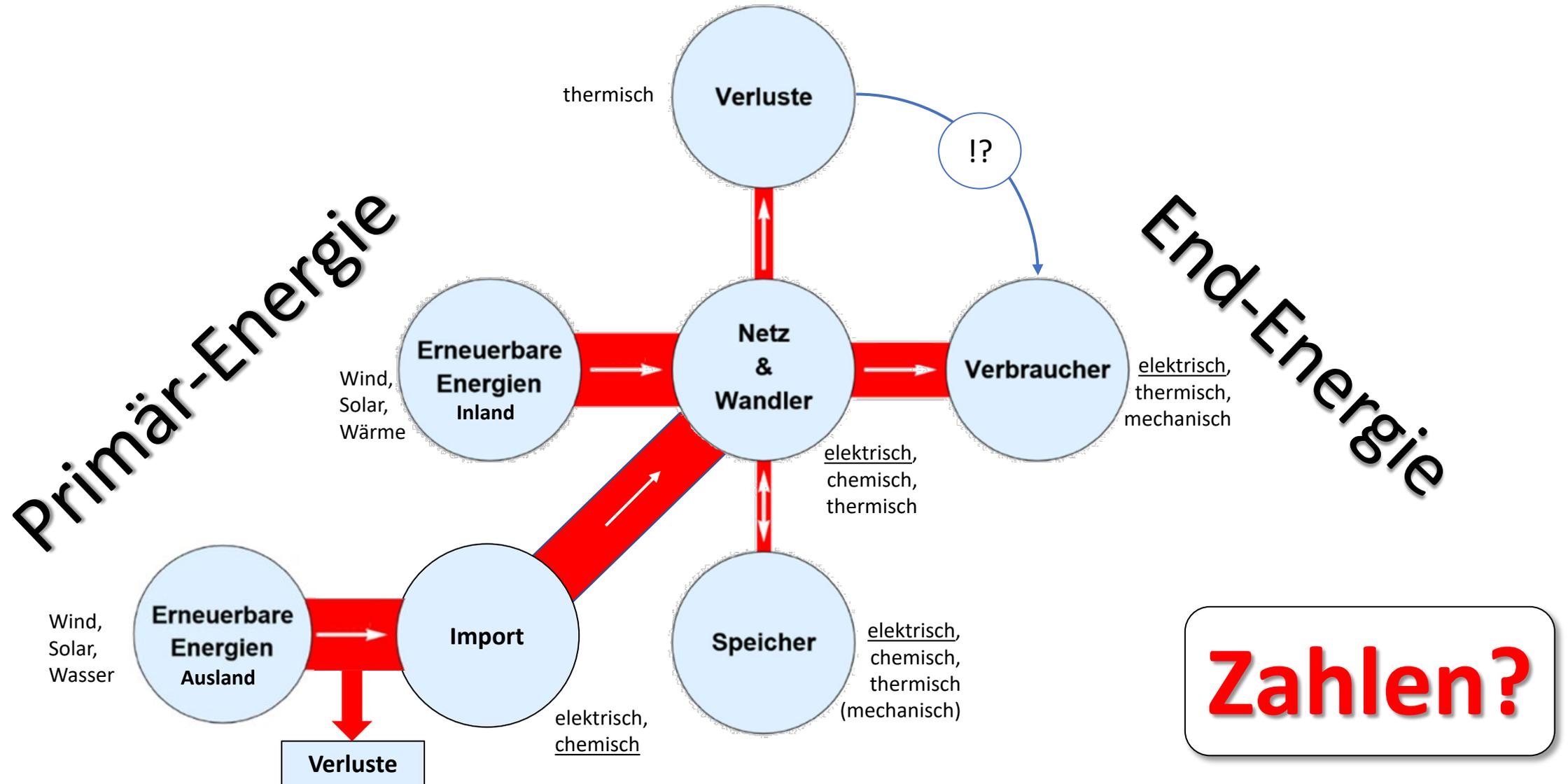


„Systemtechnische Grauzonen der Energiewende“
via <https://www.vgbe.energy/pt-journal/ausgabe-10-2023/>

Zum Planungsrahmen der Energiewende



Überblick EE-System 2045, qualitativ



EE-Zeitschiene bis 2045

BMWK 12/2023^{***)}:

→ 1.886 TWh/a Endenergie!

⇒ ≈2.350 TWh/a Primärenergie?

Jährliche Zubau-Raten „Brutto“		
	$\Delta W/T$	$\Delta P/T$
	[TWh/a]	[GW/a]
2010-2021	14,5±2,7	7,8
2023-2040	52,3	35,4
Faktor	4,5x	

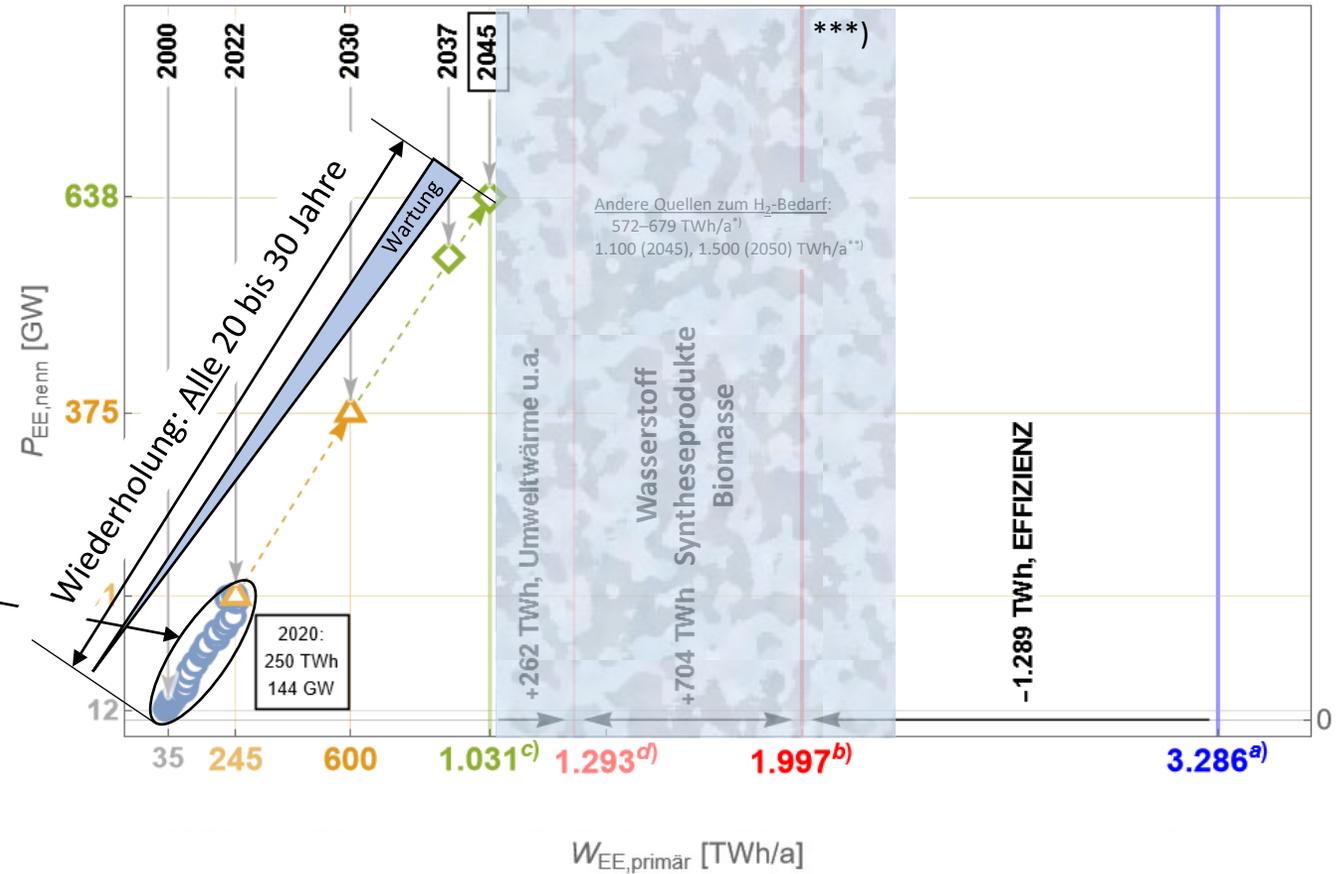
- Personal
- Material
- Logistik
- Infrastruktur

... muss gleichzeitig erneut gebaut werden („Repowering“)
⇒ Energiewende beginnt erst jetzt!!

Lebensdauer:

- Windräder: 20 bis 30 Jahre
- Photovoltaik: 20 bis 30 Jahre
- Wechselrichter: 10 bis 15 Jahre
- Batteriespeicher: 10 bis 15 Jahre

„Herausforderung“ → „Ewigkeitsherausforderung“



○ EE-Entwicklung 2000–2021 ▲ Kennwerte, EEG 2023/BNetzA (2022) ◆ Kennwerte Nettozubau, BNetzA (2022), Szenario A

Erläuterungen:

a) Istwert Primärenergieverbrauch im Jahr 2022

b) Zielwert Primärenergieverbrauch gem. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: "Energieeffizienzstrategie 2050", 12/2019

c) Zielwert EE-Primärenergieerzeugung gem. BNetzA (2022, Szenario A) (vgl. auch: Fraunhofer IEE: "Barometer der Energiewende" (2017/2019))

d) EE-Primärenergie 2045 zzgl. Umweltwärme (Wärmepumpen, Biomasse, Solarthermie)

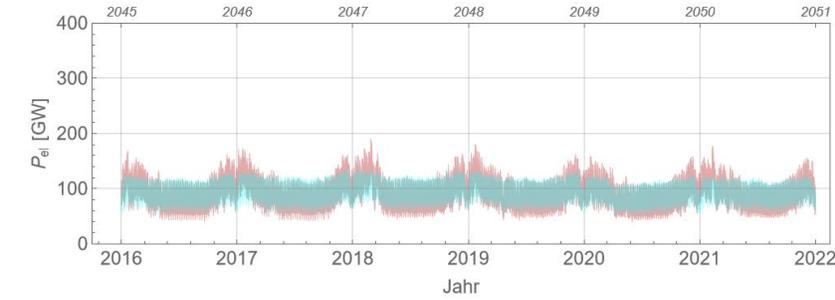
¹⁾ Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (2023)

²⁾ Deutsche Industrie- und Handelskammer Berlin (2020)

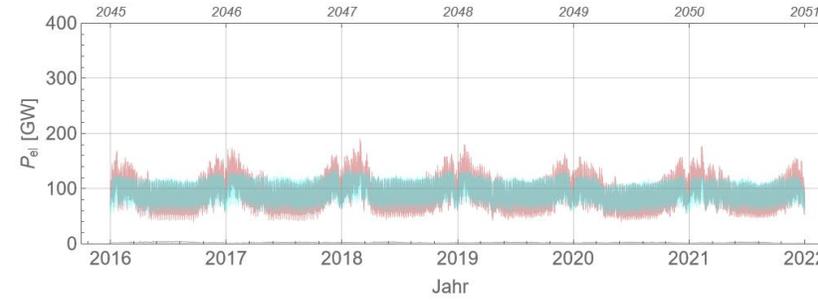
³⁾ "Endbericht Energieeffizienz für eine klimaneutrale Zukunft 2045 Roadmap Energieeffizienz", BMWK, 12/2023

Fiktive Leistungsverläufe 2045-2051 (projiziert auf 2016-2021)

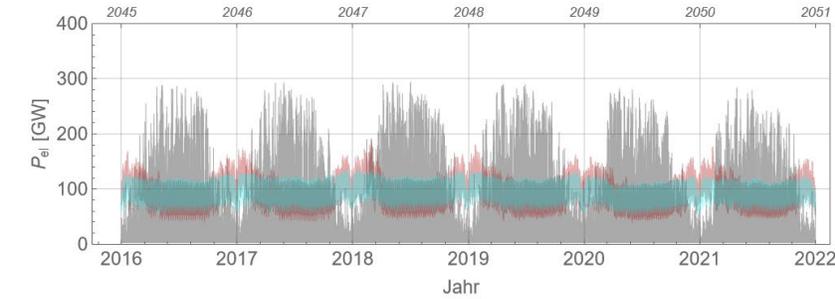
Vergleich EE-Erzeugung vs. elektrische Endverbraucher-Last (inkl. 8% Übertragungsverluste; ohne Elektrolyse und Speicher)



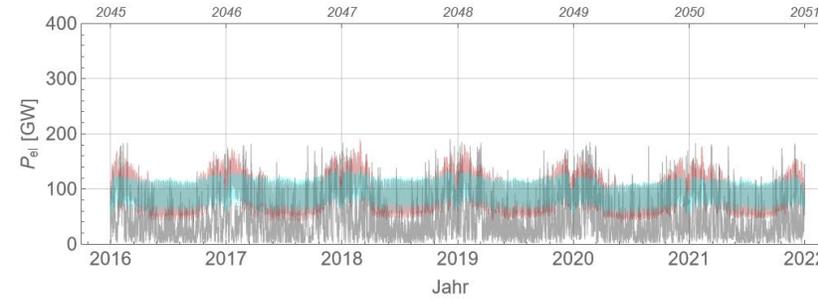
Biomasse Last, Variante 1 Last, Variante 2



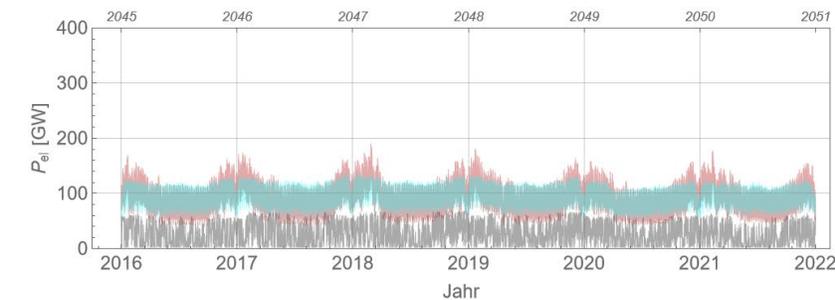
Laufwasser Last, Variante 1 Last, Variante 2



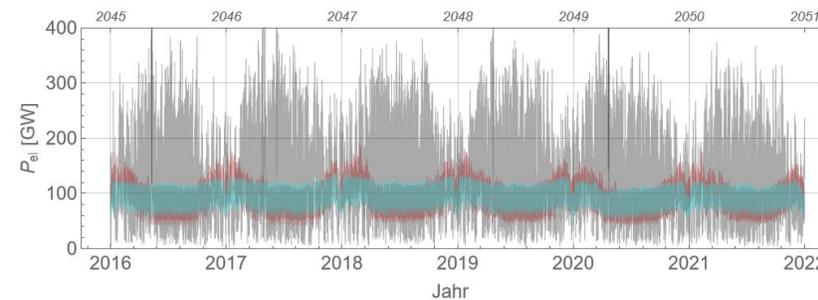
Photovoltaik Last, Variante 1 Last, Variante 2



Wind an Land Last, Variante 1 Last, Variante 2

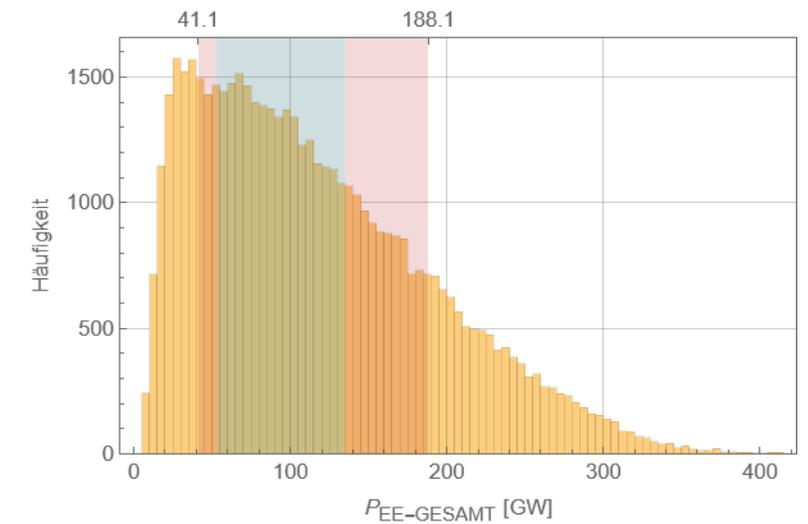


Wind auf See Last, Variante 1 Last, Variante 2



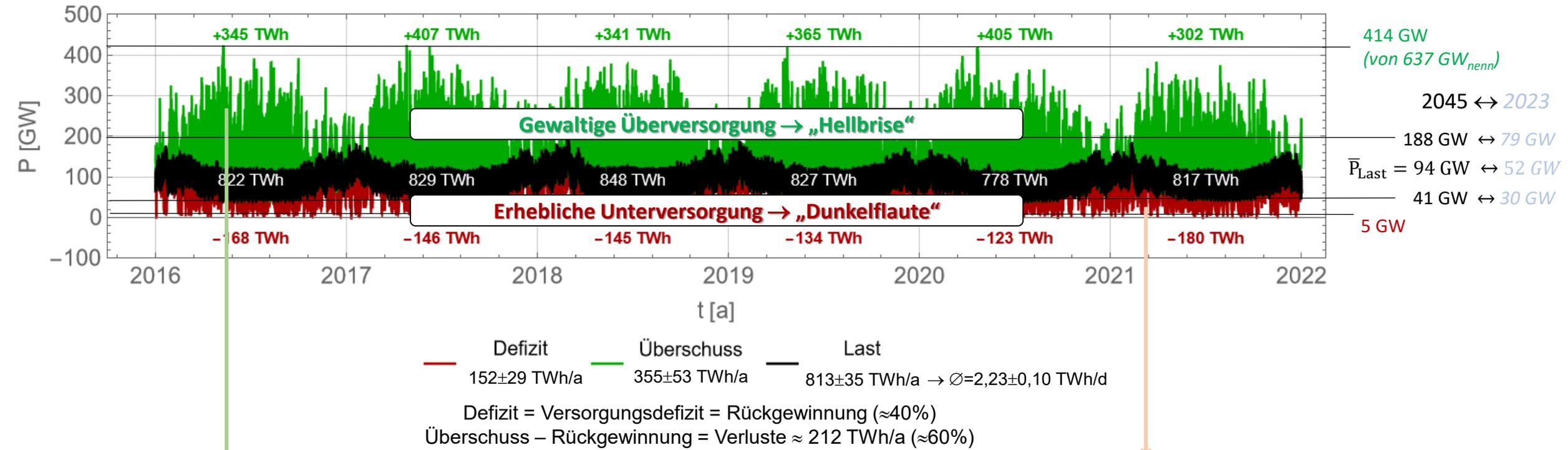
EE-GESAMT Last, Variante 1 Last, Variante 2

	P_{\min} [GW]	\bar{P} [GW]	P_{\max} [GW]
Last, Variante 1	41.1	93.5	188.1
Last, Variante 2	53.1	93.5	134.6
Biomasse	0.5	0.7	0.8
Laufwasser	1.2	2.4	4.1
Photovoltaik	0.0	42.7	292.0
Wind an Land	0.4	45.0	188.3
Wind auf See	0.0	26.3	66.6
EE-GESAMT	4.5	117.1	413.6



Leistungsbereich Lastvariante 1
Leistungsbereich Lastvariante 2

EE-GESAMT und Last im Vergleich (Lastvariante 1)



- Idealerweise:
- EE-Quelle → Elektrolyse → H₂-Speicher
 - EE-Quelle → Gleichrichter → Batterie
 - EE-Quelle → Pumpspeicher
 - EE-Quelle → Stromexport

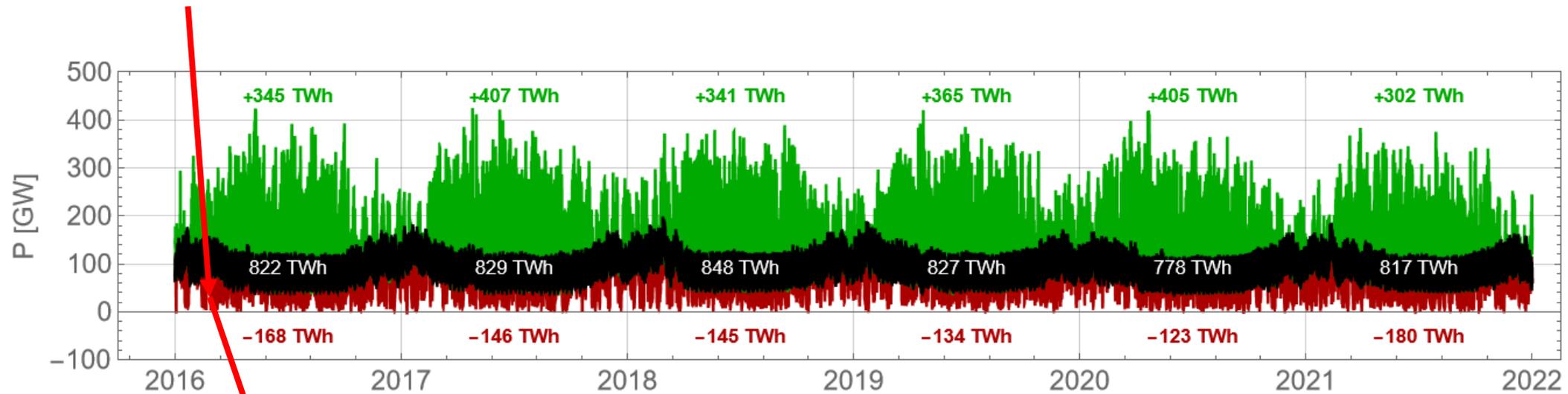
- Idealerweise:
- H₂-Speicher → H₂-Kraftwerk → Verbraucher
 - Batterie → Wechselrichter → Verbraucher
 - Pumpspeicher → Verbraucher
 - Stromimport → Verbraucher

A surreal landscape at night. In the foreground, a house with glowing windows sits on a hillside next to several solar panels. A winding road leads up the hill. In the background, wind turbines are scattered across rolling hills under a dark, blue sky. The scene is illuminated by the warm glow of the house and road lights, contrasting with the cool blue tones of the night.

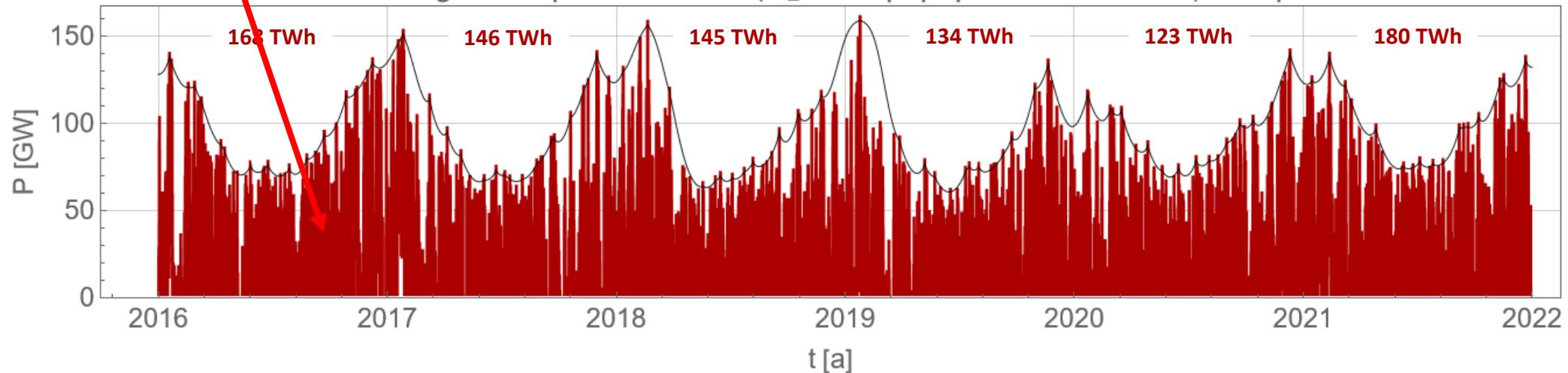
Was tun bei “Dunkelflauten”?

Backup-Leistung zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit

H₂-Kraftwerke, Batterien, Pumpspeicher, Stromimport, unpopuläre Rationierungen (=Abschalten/„Spitzenglättung“/DSM/Brownout) oder fataler Blackout



Leistung Backup-Kraftwerke (H₂, Pumpspeicher, Batterie) + Import



152±29 TWh/a

Stichwort „Dunkelflaute“

Betrachteter fiktiver Zeitraum: 01/2016-12/2021

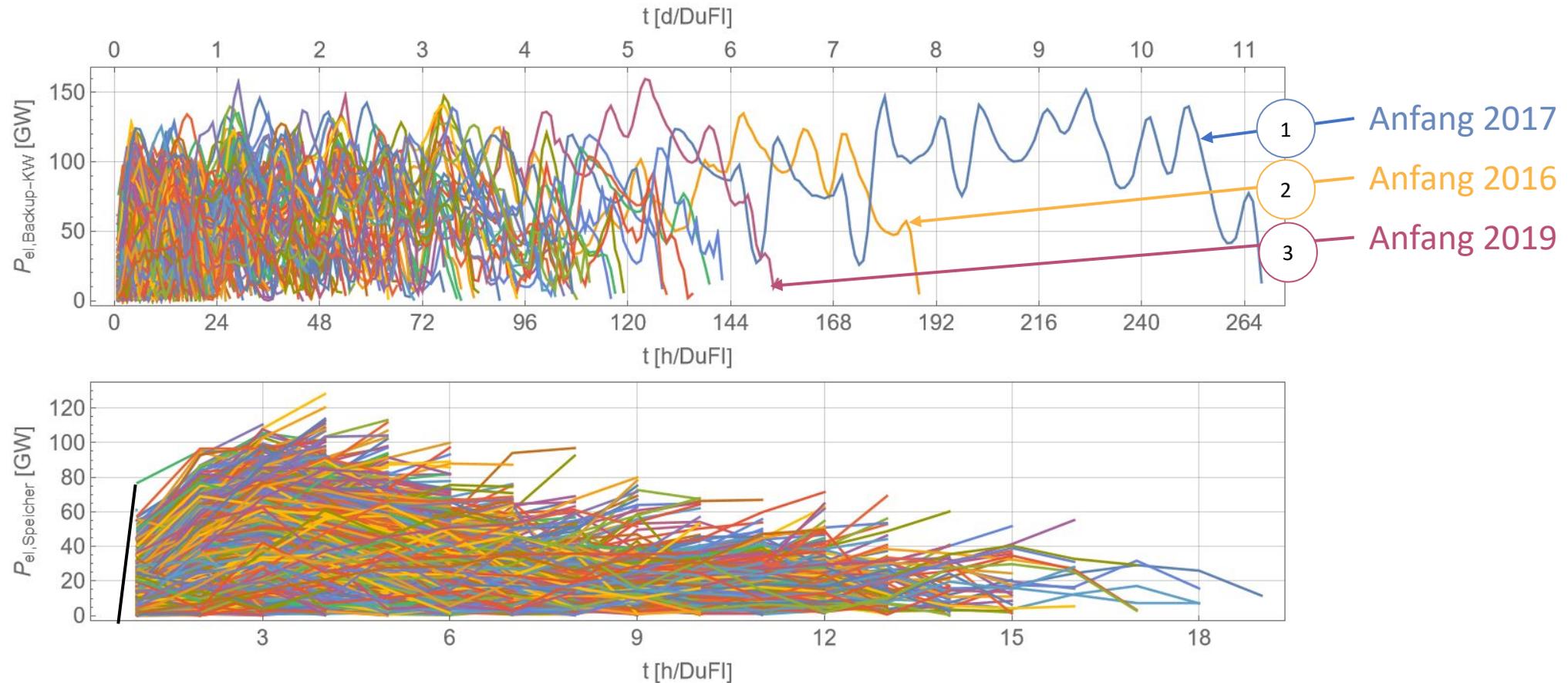
Steuerbare Kraftwerke,
insbesondere H₂-KW, die aus
H₂-Langzeitspeichern
versorgt werden.

<1.200 Volllaststunden
>570 €/MWh (Str.gest.preis)

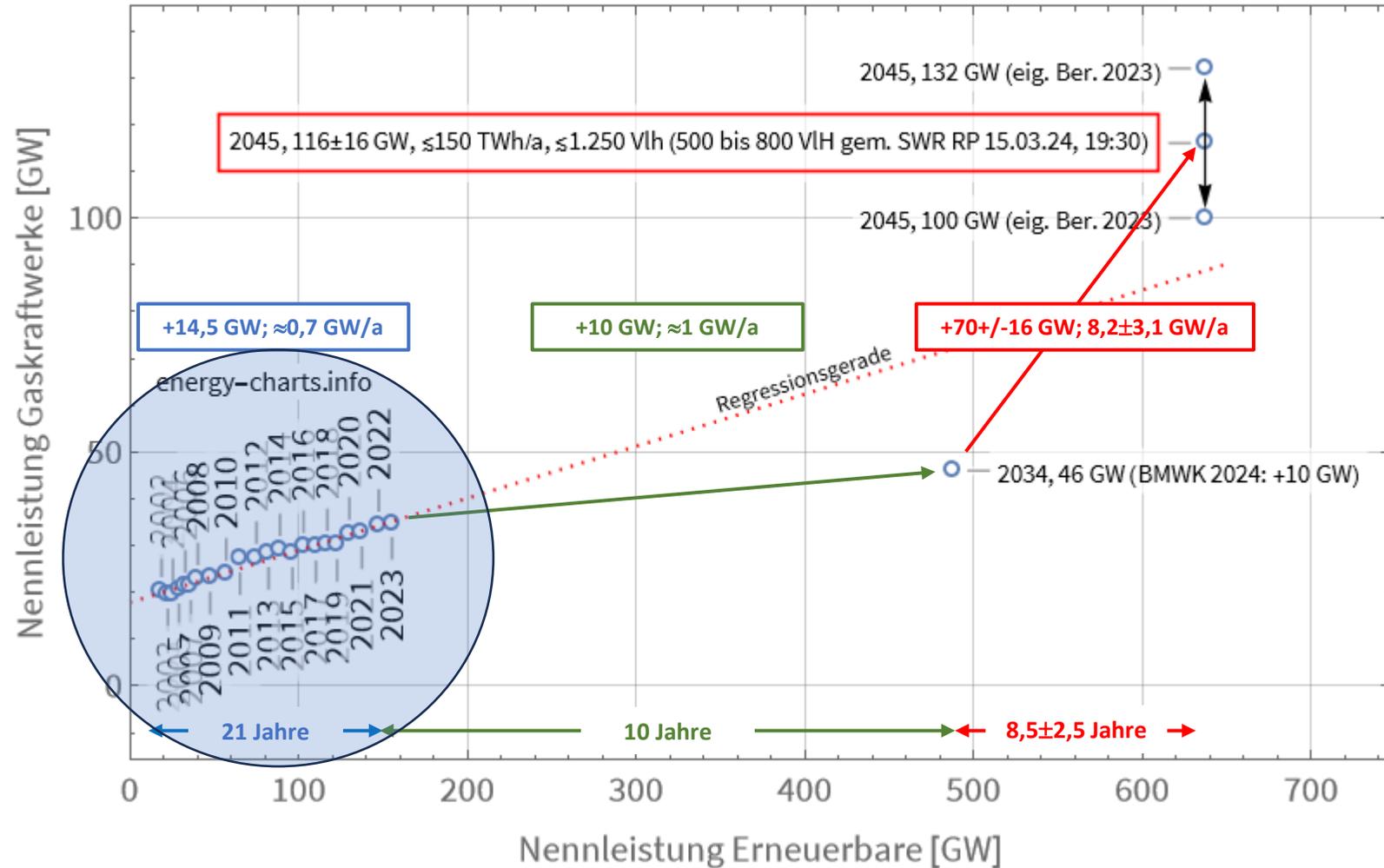
Kurzzeit-Speicher,
insbesondere Batterien und
Pumpspeicher.

Annahme:
Entladung zu Beginn einer
Dunkelflaute wie bei
heutigen Heimspeichern.

Stattdessen:
Nur Spitzenlastdeckung?
Ersparnis H₂-KW bis 40 GW?
Berechnung in Vorberei-
tung!



Fortschreibung/“Planung“ Neubau Gas-/“H₂-ready“-/H₂-Kraftwerke



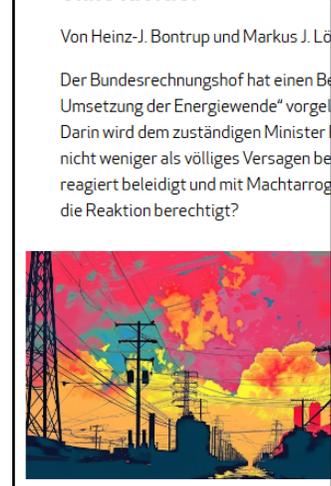
... und nicht zu vergessen:

+36 GW alte Gaskraftwerke auf H₂ umrüsten oder neu bauen!

MAKROSKOP
BERICHT ZUR ENERGIEWENDE

Kaiser Habeck und sein Ministerium ohne Kleider

Von Heinz-J. Bontrup und Markus J. Lö...

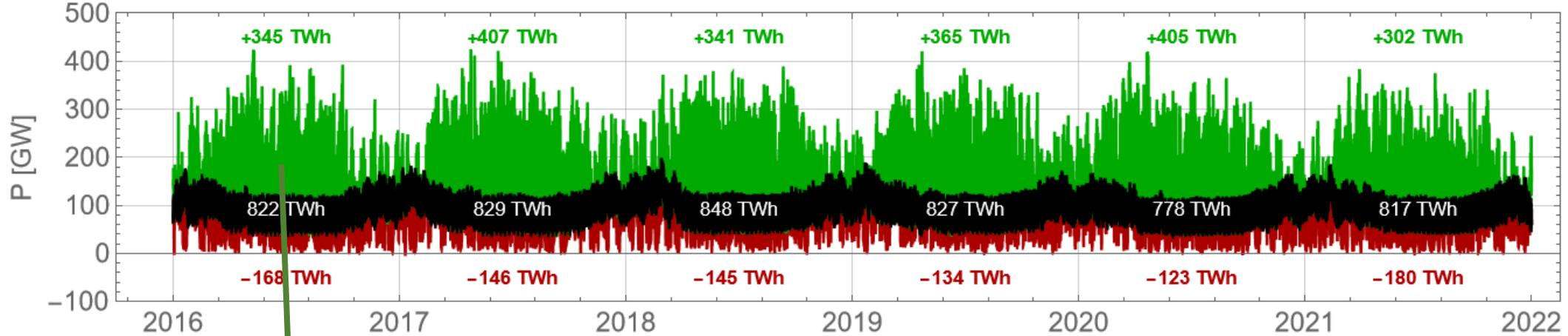


S. 53: "Weiterhin energiepolitisches Wunschdenken in der Politik – Die neue Kraftwerksstrategie ist ein ungenügendes Flickwerk"

Woher kommt das H₂ für
die H₂-Kraftwerke?

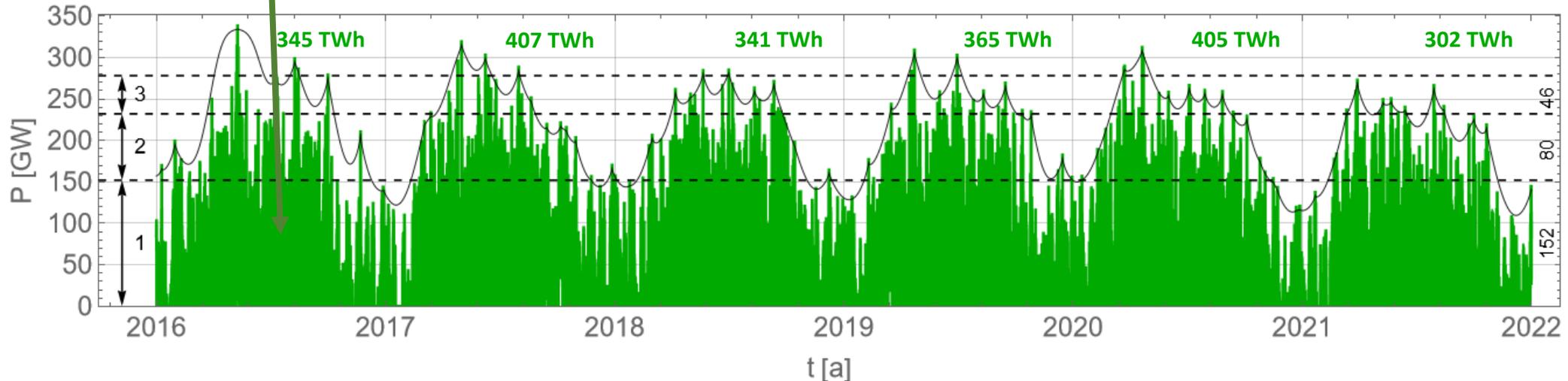


Speicher-/Exportleistung zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit



Positive Residualleistung \Rightarrow Langzeitspeicher + Kurzzeitspeicher oder Abschalten, Exportieren oder Brownout oder Blackout

Maximale Nennleistungen: 1 \rightarrow Batterien (2 h) + Pumpspeicher (6 \pm 2 h), 2 \rightarrow Elektrolyseure, 3 \rightarrow Interkonnektoren (Export)

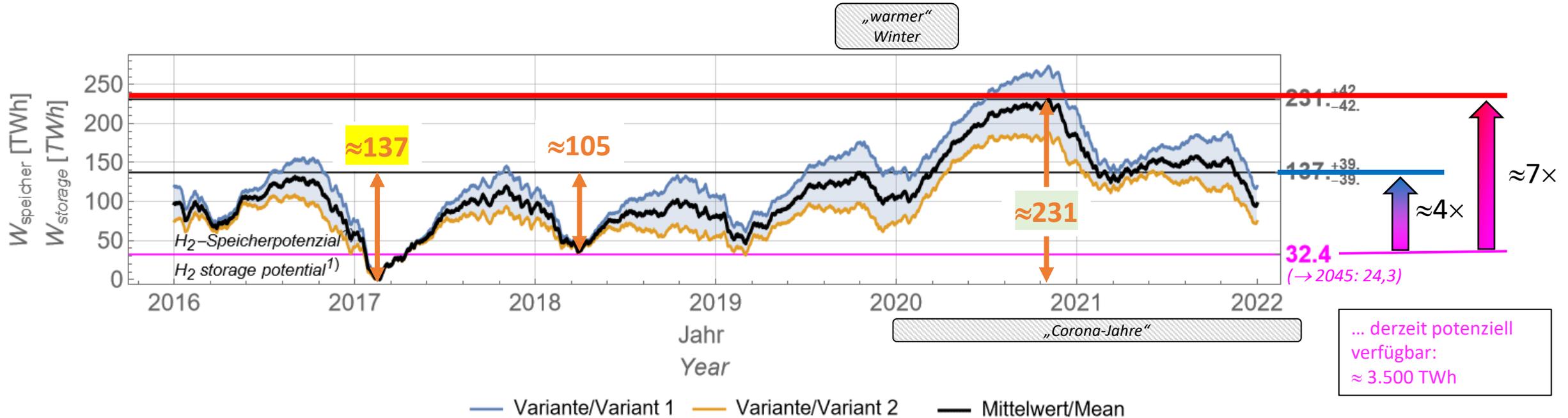
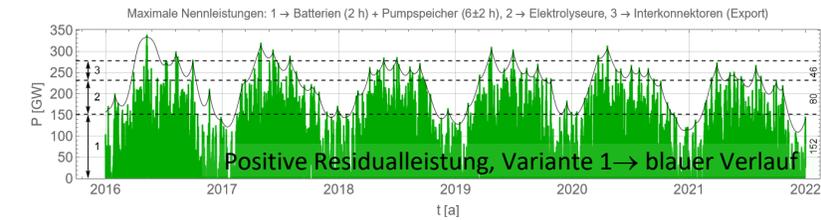


355 \pm 53 TWh/a

- Export
- Elektrolyseure \rightarrow H₂-Speicher
- Batterien + Pumpspeicher

Erforderlicher Langzeitspeicher („ η -Modell“)

... für Zwecke der Leistungsanpassung $EE \leftrightarrow Last$, ohne Speicher für H_2 -Importe



Erforderlicher Speicher (ohne Speicher für H_2 -Importe):

WEI 2023: 105, **137±39**, 231±42 TWh

BMWK¹⁾: 47 – **73** TWh

BMWK (2022b)²⁾: 64, **72, 74**, 105 TWh

Berechnet für 6 Wetterjahre
(2016 bis 2021)

Berechnet für 1 „typisches“ Wetterjahr
(2010 oder 2012?); Wintereffekte?

Gasspeicher 2023:

Erdgas: 233 TWh
→ Wasserstoff: **32,4 TWh**
(Kavernenseicher!)

105±32

¹⁾ lt. [DBI GUT, INES, BVEG, DVGW]: „Wasserstoff speichern – soviel ist sicher“, 06/2022

²⁾ BMWK (2022b): „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland“, Webinar zum Energieangebot 22.11.2022

Umrüstzeit vorhandener Kavernenspeicher (≈ 33 TWh) auf H_2 :
 ≈ 5 Jahre/Speicher

Bauzeit neuer H_2 -Kavernenspeicher:
10 bis 15 Jahre/Speicher \rightarrow Erforderlicher Baubeginn: **SOFORT!!**

... sofern hierfür während der nächsten 15-20 Jahre genügend
Ressourcen (Bautätigkeit, Baumaterial) verfügbar sind!!!



Zusammenfassung und Anmerkungen

Installierte EE-Leistung zzgl. Backup-Kraftwerke vs. Last

Fazit 2045:

Die Sicherung der Spitzenlast von 188 GW erfordert einen Gesamt-Kraftwerkspark von 950 bis 1.030 GW (Faktor $5,3 \pm 0,21$).

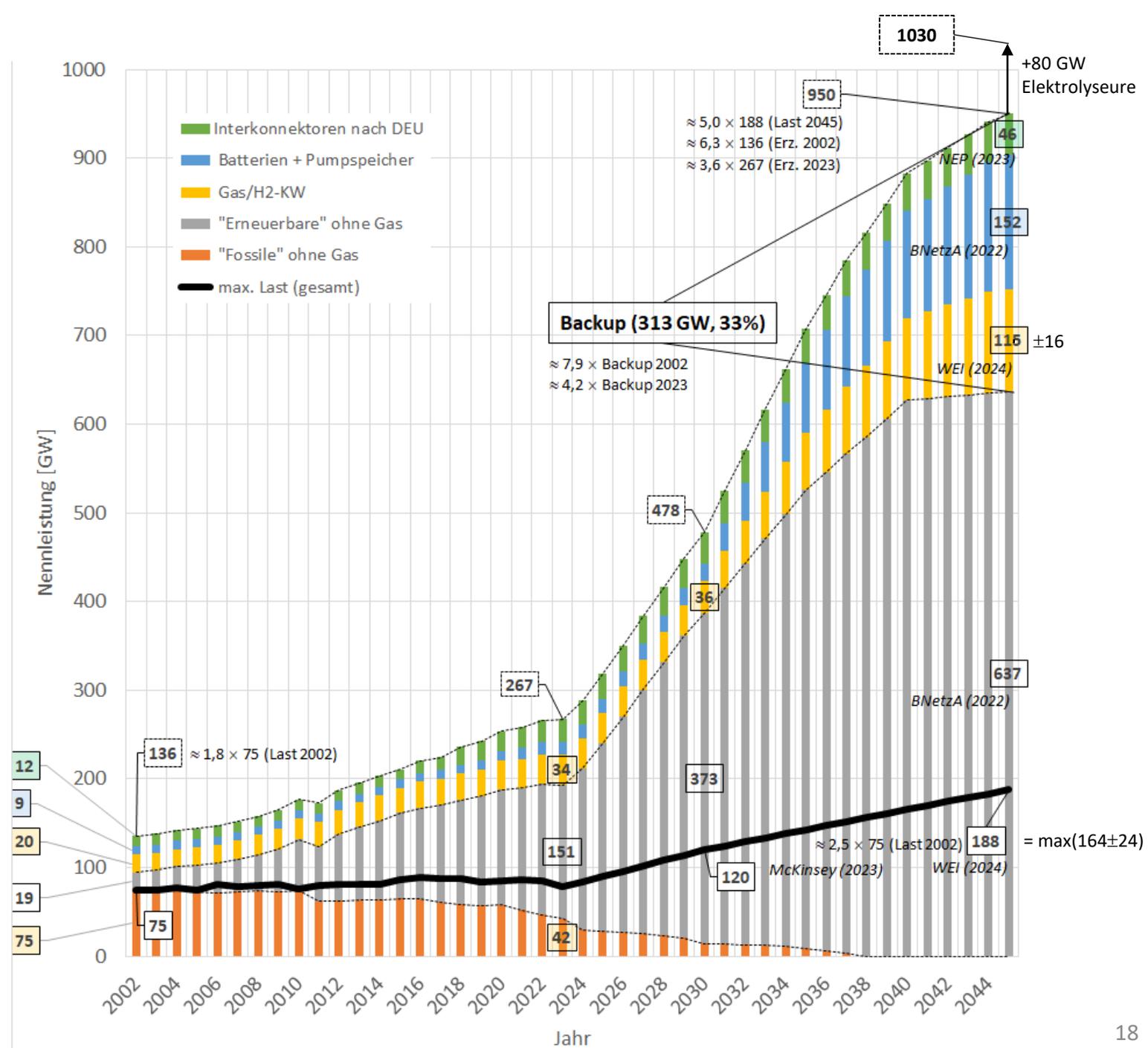
Vergleich mit 2002:

Die Sicherung einer Spitzenlast von 80 ± 5 GW erforderte einen Gesamt-Kraftwerkspark von 136 GW (Faktor $1,76 \pm 0,11$).

2045:

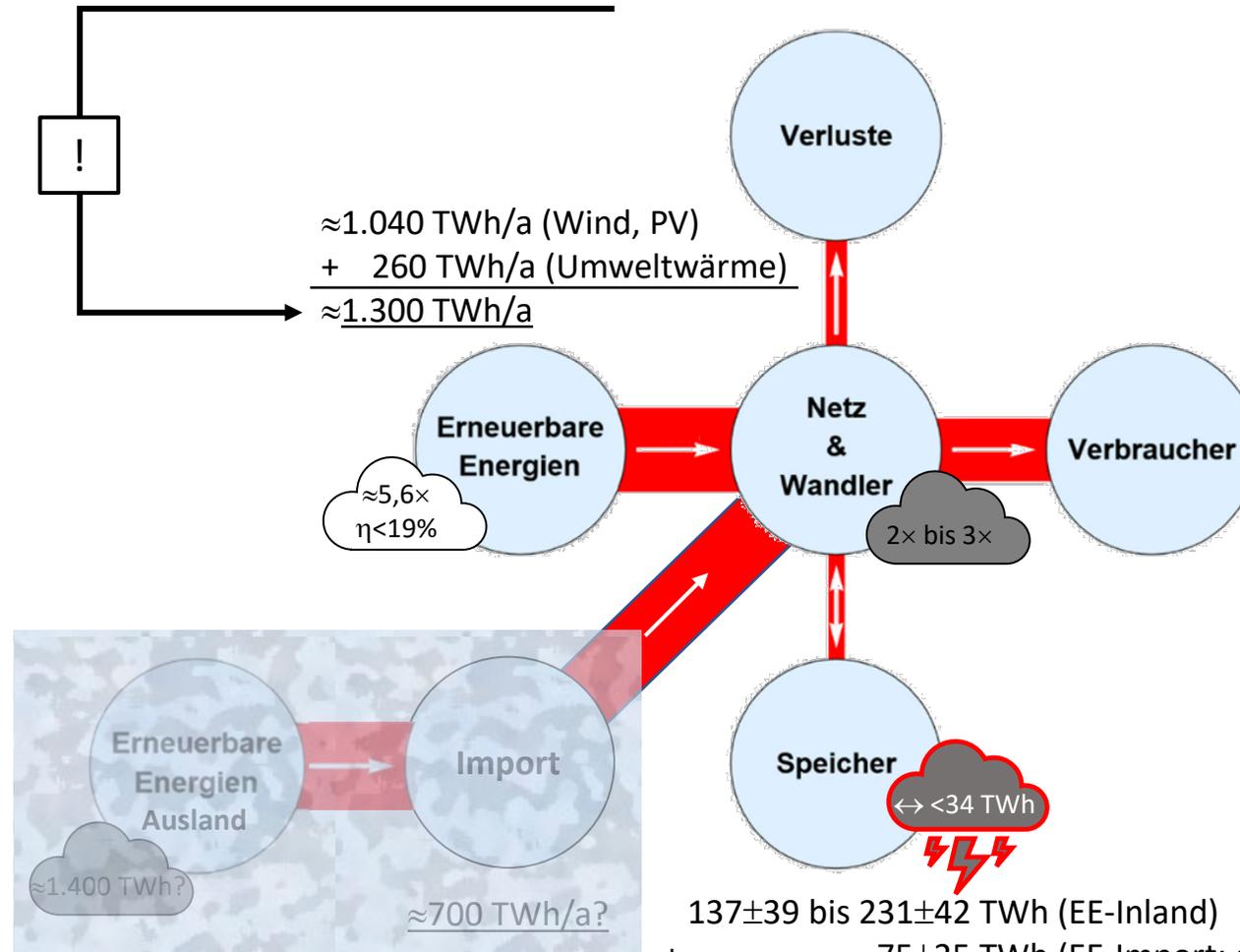
„ $\approx 20\%$ -Ingenieerspuffer“ nicht berücksichtigt (Ausfall-/Wartungszeiten, Degradation)!

990 \pm 40 GW \rightarrow 1.188 \pm 48 GW?



Überblick EE-System 2045, quantitativ

≈ 600 TWh/a Inland



UBA 11/2023¹⁾: 1.400 TWh/a
 BMWK 12/2023²⁾: 1.886 TWh/a (inkl. Biomasse)

¹⁾ Umweltbundesamt: „Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren“, 02.04.2024;
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energietraegern-sektoren#allgemeine-entwicklung-und-einflussfaktoren>
 (abgerufen am 03.06.2024)

²⁾ BMWK: "Endbericht Energieeffizienz für eine klimaneutrale Zukunft 2045 Roadmap Energieeffizienz", BMWK, 12/2023;
<https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/XYZ/endbericht-roadmap-energieeffizienz.html> (abgerufen am 03.06.2024)

137 ± 39 bis $231 \pm 42 \text{ TWh (EE-Inland)}$
 $+ 75 \pm 25 \text{ TWh (EE-Import; geschätzt, unklar)}$
 $= \underline{137} \pm 39$ bis $\underline{306} \pm 67 \text{ TWh (gesamt; geschätzt, unklar)}$

Maßnahmen? Meine sehr persönliche Auffassung:

- Energiewende sorgfältiger planen und synchron mit den CO₂-intensiven Staaten umsetzen.
- Internationale Rahmenbedingungen auch im Hinblick auf Finanzierbarkeit und Ressourcenverfügbarkeit besser berücksichtigen, wenn Deutschlands Energiewende Vorbild für alle Länder dieser Welt sein soll.
- Plan „Energiewende B“ entwerfen (z.B. durch zeitliche Streckung).
Und zwar ohne „auf Kante zu nähen“.
(z.B. Degradation, Wartungsausfälle und Störanfälligkeit der diversen EE-Kraftwerke berücksichtigen → +20-25%?)

Das war der Vortrag

Daten der Energiewende und deren Interpretation aus systemischer Sicht



Ich bedanke mich sehr für Ihre Aufmerksamkeit!