

100 % Erneuerbare Energieversorgung in Deutschland

(Wie) Geht das? PKlafka@gmx.net

Dr.-Ing. Peter Klafka

Aachen
PKlafka@gmx.net

Peter Klafka

Studiert: Elektrotechnik RWTH Aachen

Promoviert: Energiewirtschaft: langfristige Planung KWK-Systeme

1994 – 1998 **Beratung:** Ausbauplanung KWK und regenerative Energien

1998 **Gründung** eigenes Beratungsunternehmen Klafka & Hinz GbR
Strategie, Liberalisierung, Marktregeln

Seit 2000 **Klafka & Hinz Energie-Informationssysteme GmbH**
heute 150 Mitarbeiter

Software für die Energiewirtschaft:

Energiedaten-Management, Bilanzkreismanagement, Direktvermarktung,
Angebotskalkulation, Portfoliomanagement, Prognose, CRM,
finanzielle Abrechnung

Geschäftsprozesse

Energiewirtschaftliche Fragestellungen

Basiswissen

Leistung

GW

Leistung: die Fähigkeit etwas zu tun

Energie

TWh

Energie: das Maß für das, was man wirklich tut

Zeit

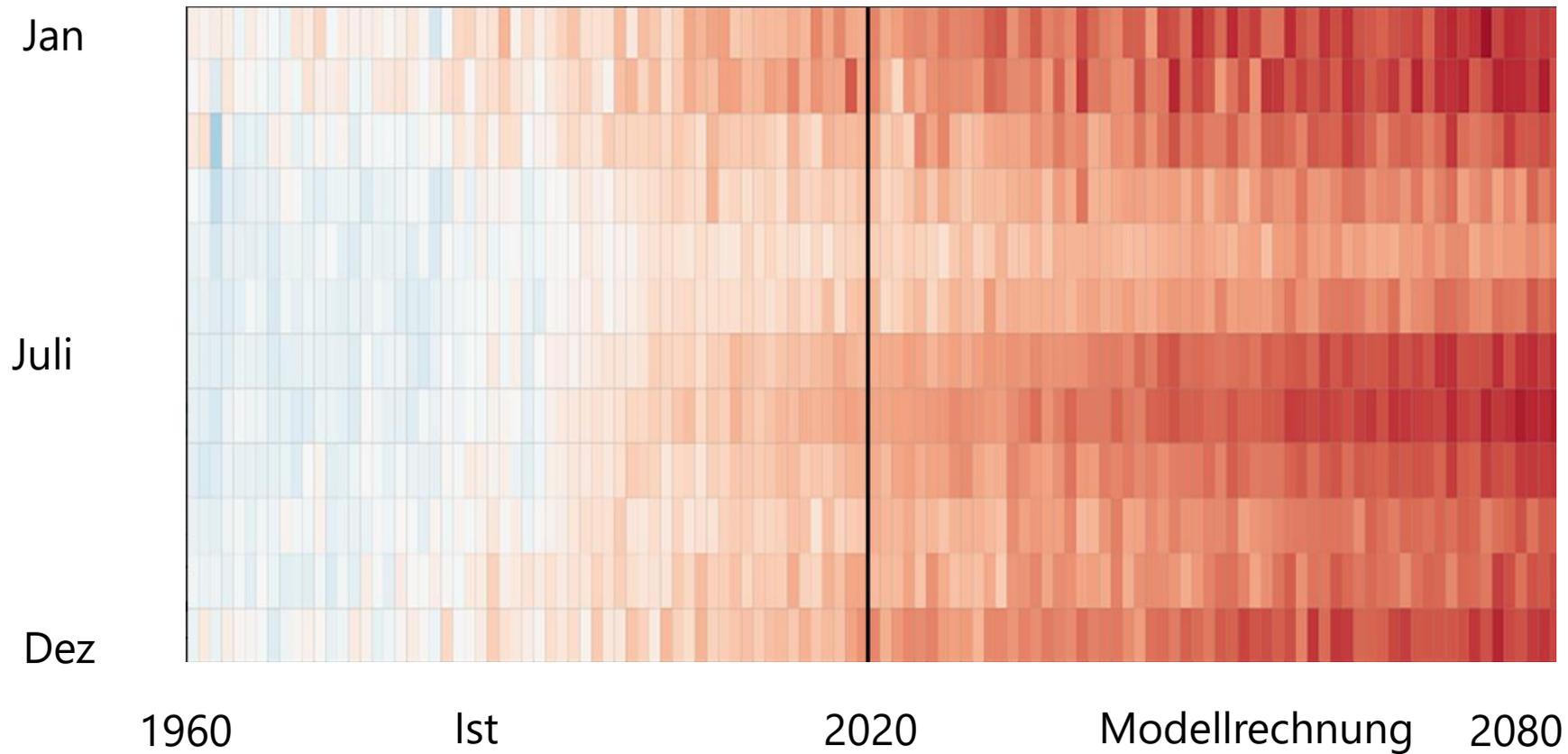
ein Jahr hat 8760 Stunden.

"pro Jahr" wird abgekürzt mit "/a"

Emissionen

1 Gt CO₂ = 1 Mrd. Tonnen CO₂

**notwendige
Geschwindigkeit
des Wandels**



IPCC:

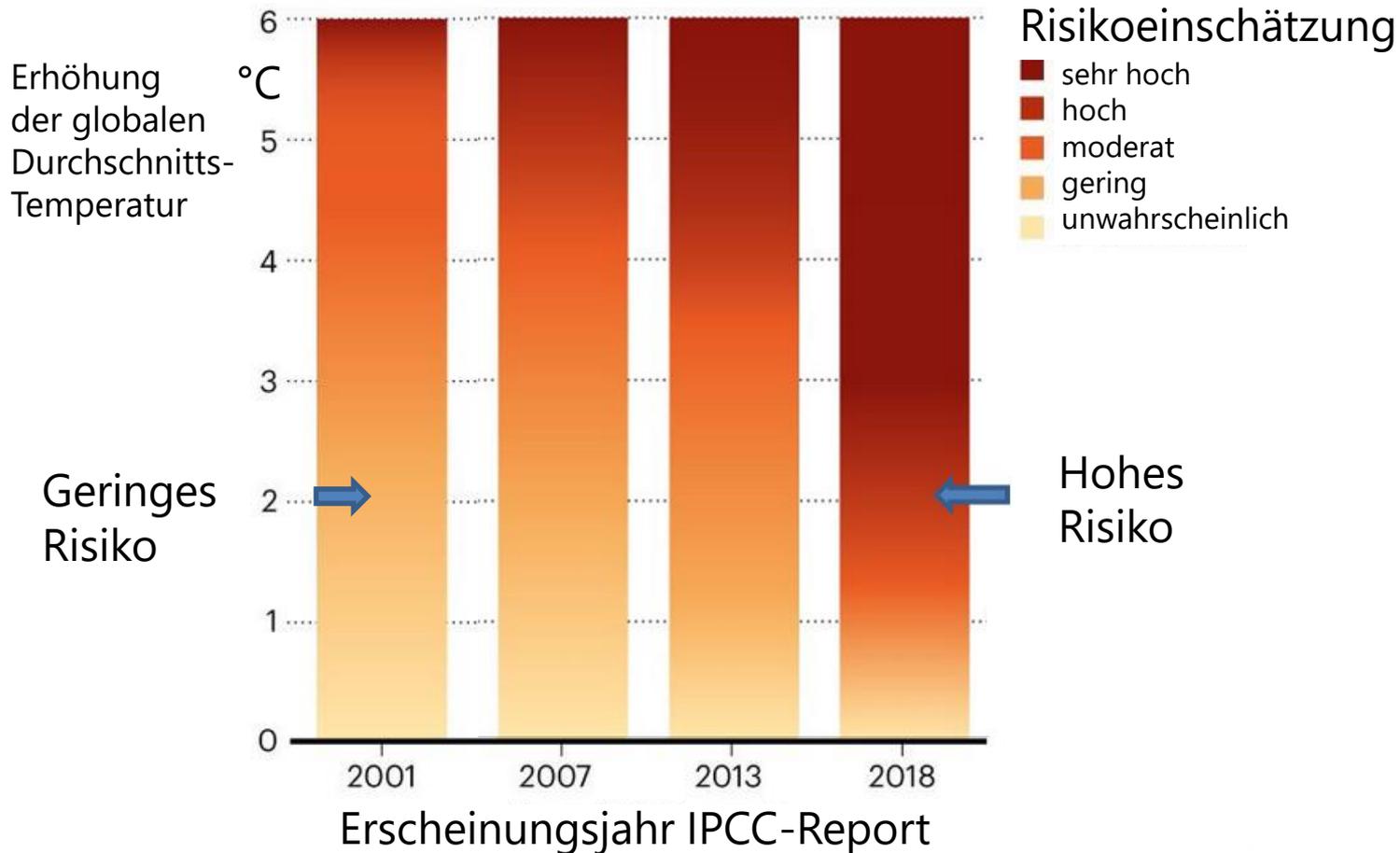
fasst weltweites Expertenwissen zusammen

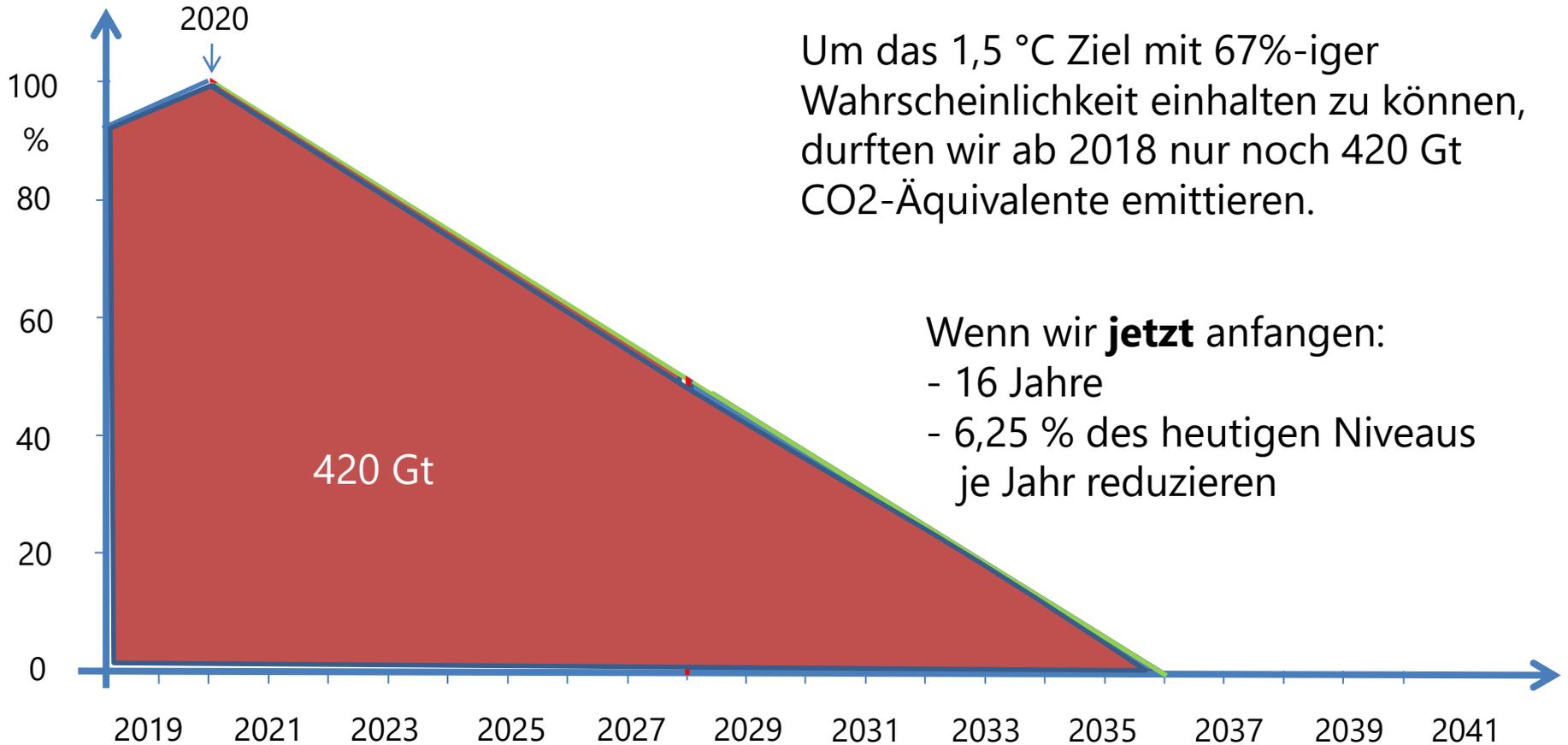
CO₂-Emissionen und wahrscheinliche Erwärmung
mit **Stand Anfang 2018**

Additional Warming since 2006–2015 [°C] ⁽¹⁾	Approximate Warming since 1850–1900 [°C] ⁽¹⁾	Remaining Carbon Budget (Excluding Additional Earth System Feedbacks ⁽⁵⁾) [GtCO ₂ from 1.1.2018] ⁽²⁾		
		Percentiles of TCRE *(3)		
		<i>33rd</i>	<i>50th</i>	<i>67th</i>
0.3		290	160	80
0.4		530	350	230
0.5		770	530	380
0.53	~1.5°C	840	580	420
0.6		1010	710	530
0.63		1080	770	570
0.7		1240	900	680
0.78		1440	1040	800
0.8		1480	1080	830
0.9		1720	1260	980
1		1960	1450	1130
1.03	~2°C	2030	1500	1170
1.1		2200	1630	1280
1.13		2270	1690	1320
1.2		2440	1820	1430

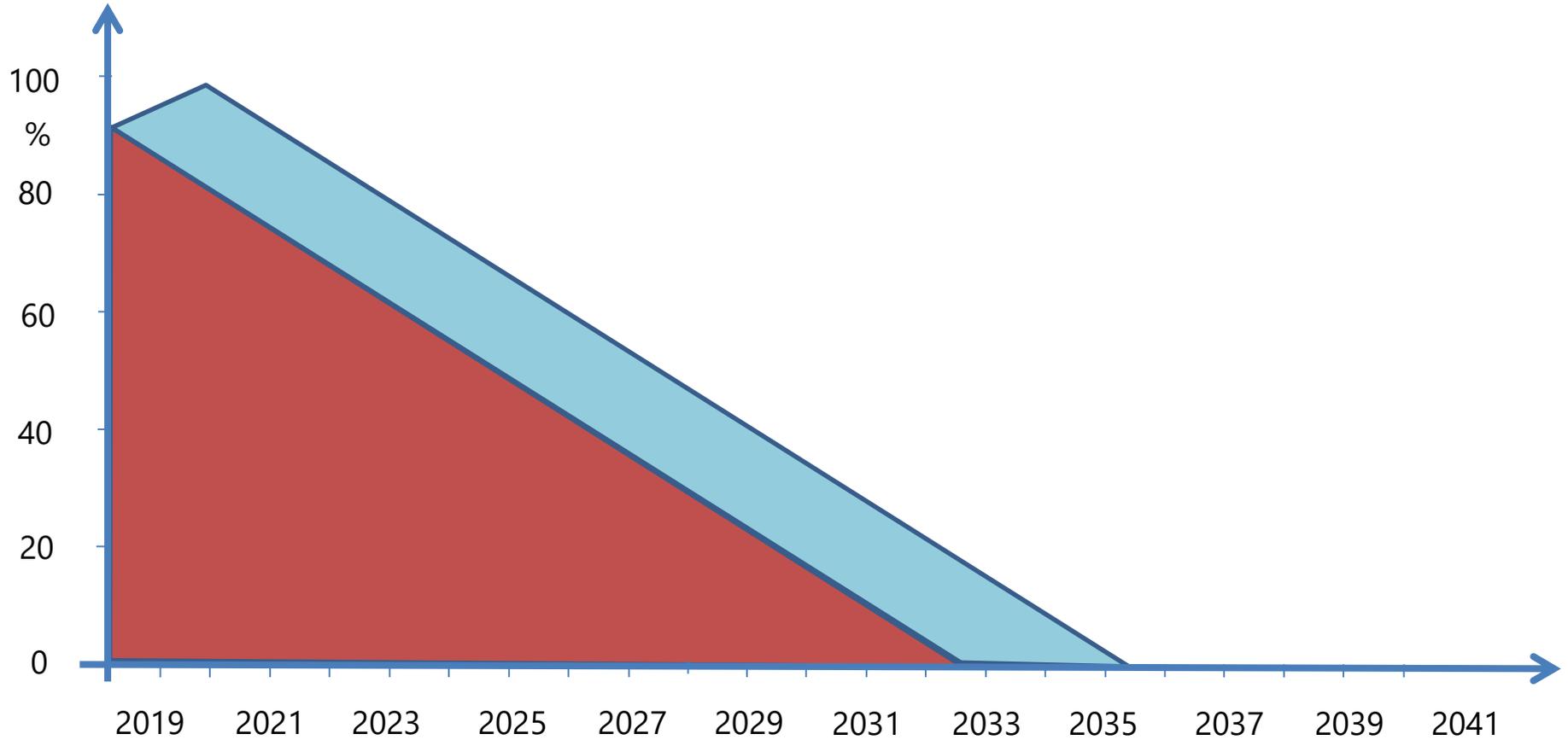


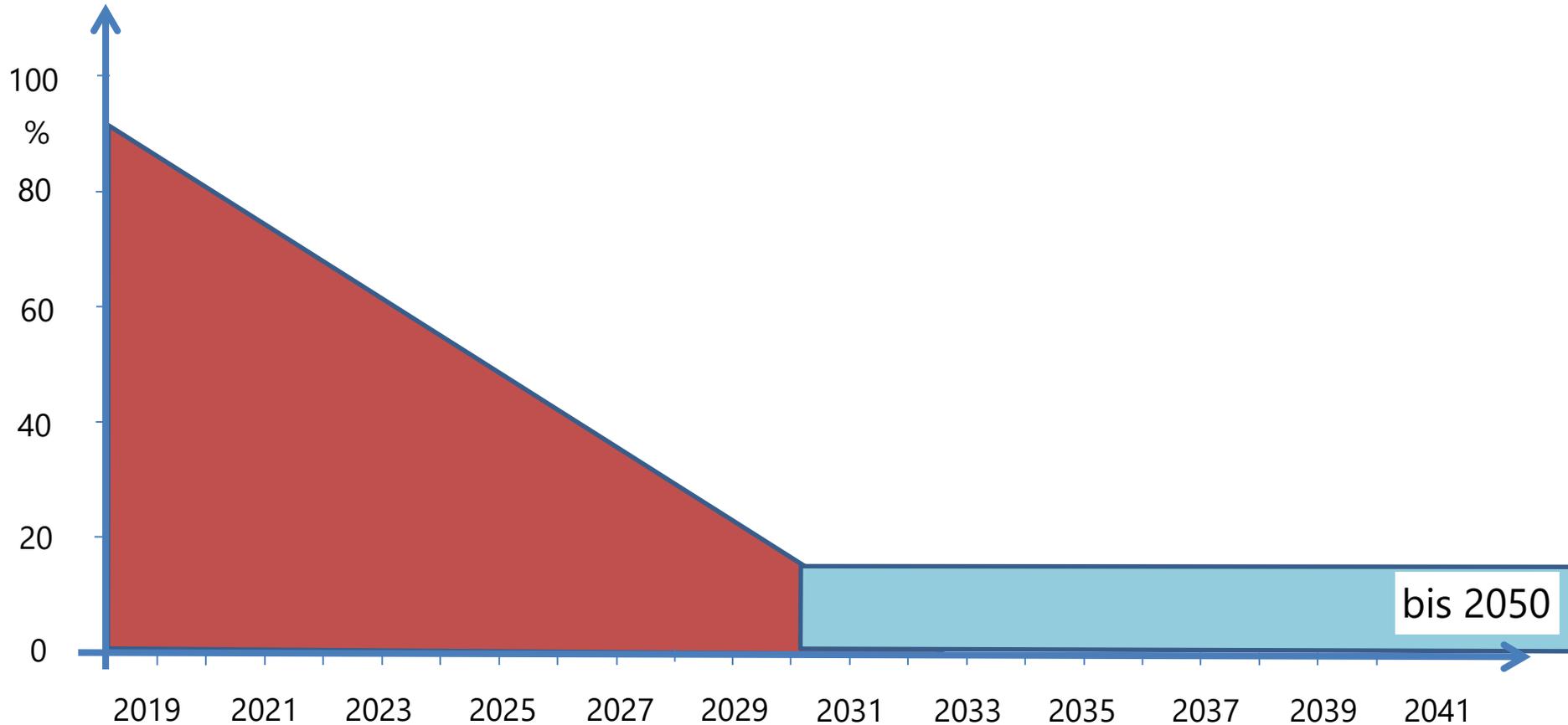
- A) Amazonas
- B) Arktisches Polareis
- C) Atlantische Zirkulation
- D) Boreale Wälder
- F) Korallen-Riffe
- G) Grönland-Eisbedeckung
- H) Permafrost
- I) Westantarktis
- J) Ostantarktis

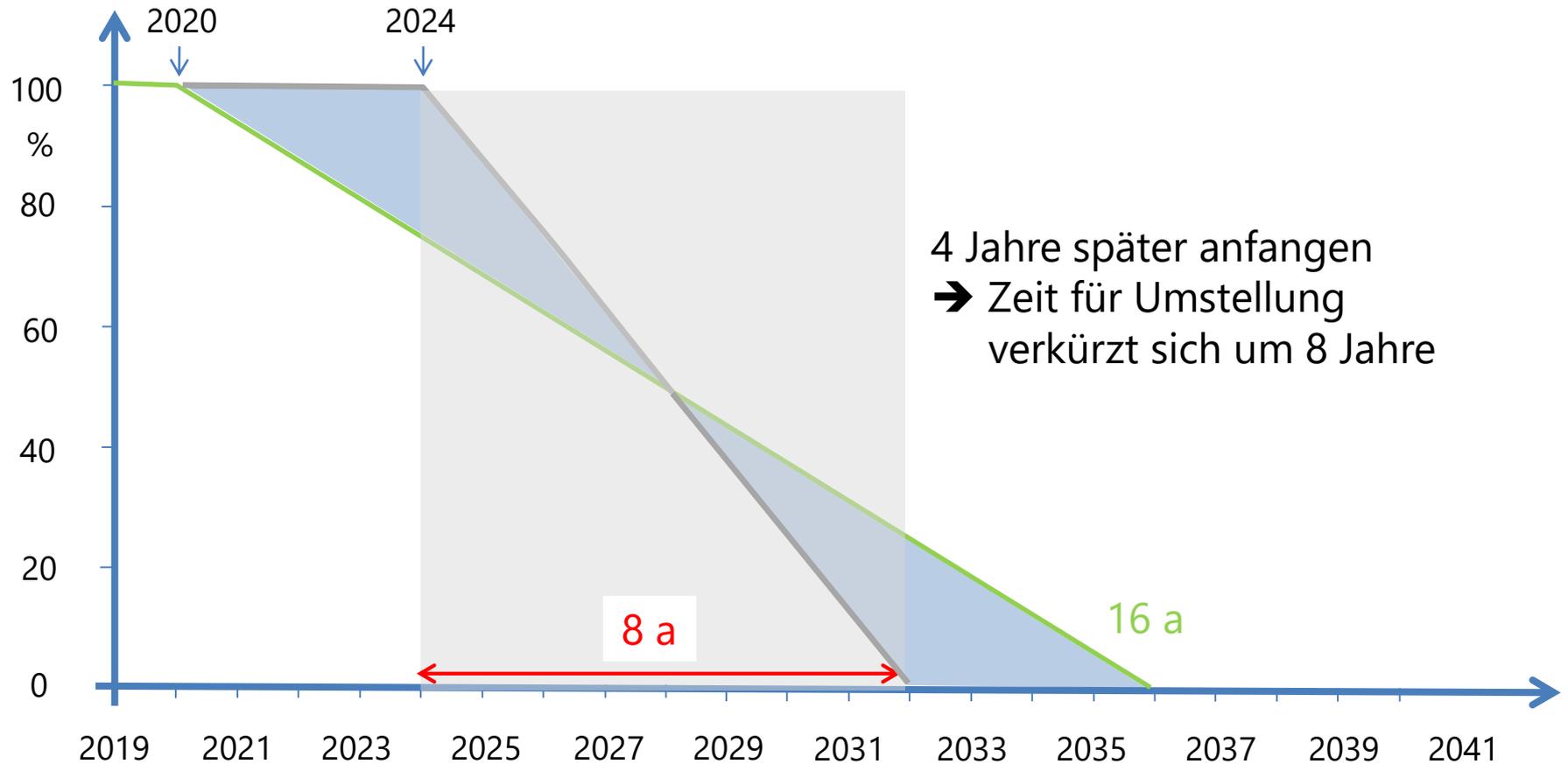




Folgen von Abwarten, Verzögern, Langsamkeit, ...







Beschluss Paris 2015

Restbudget ab Anfang 2016 für 1,5°-Ziel mit 66% Wahrscheinlichkeit: 500 Gt

Deutscher Anteil: 83 Mio. Personen sind 1,1 % der Weltbevölkerung
→ 5,5 Gt = 5.500 Mio. t

Deutsche Emissionen nach Parisbeschluß:

2016	800 Mio. t
2017	786 Mio. t
2018	755 Mio. t
2019	710 Mio. t
2020	720 Mio. t

Restbudget: 1.700 Mio. t

**Dieses Budget wird ab ca. April 2023
verbraucht sein!**

**Geschwindigkeit
technische Entwicklung
von Neuerungen
in der Energiewirtschaft**

Markt-
reife

— 3 – 5 a —> — 3 – 5 a —>

- Planung
- Geldbeschaffung
- Bau
- Betrieb
- Auswertung

Kleine
Versuchs-
anlagen

Große
Versuchs-
anlagen

Labortests

- Beispiel offshore Wind
- Tripod oder Einmast
 - Abdichtung Gondel
 - Transport Wartungspersonal
 - Korrosionsbeständigkeit Turm

1. kommerzielle
Anlage

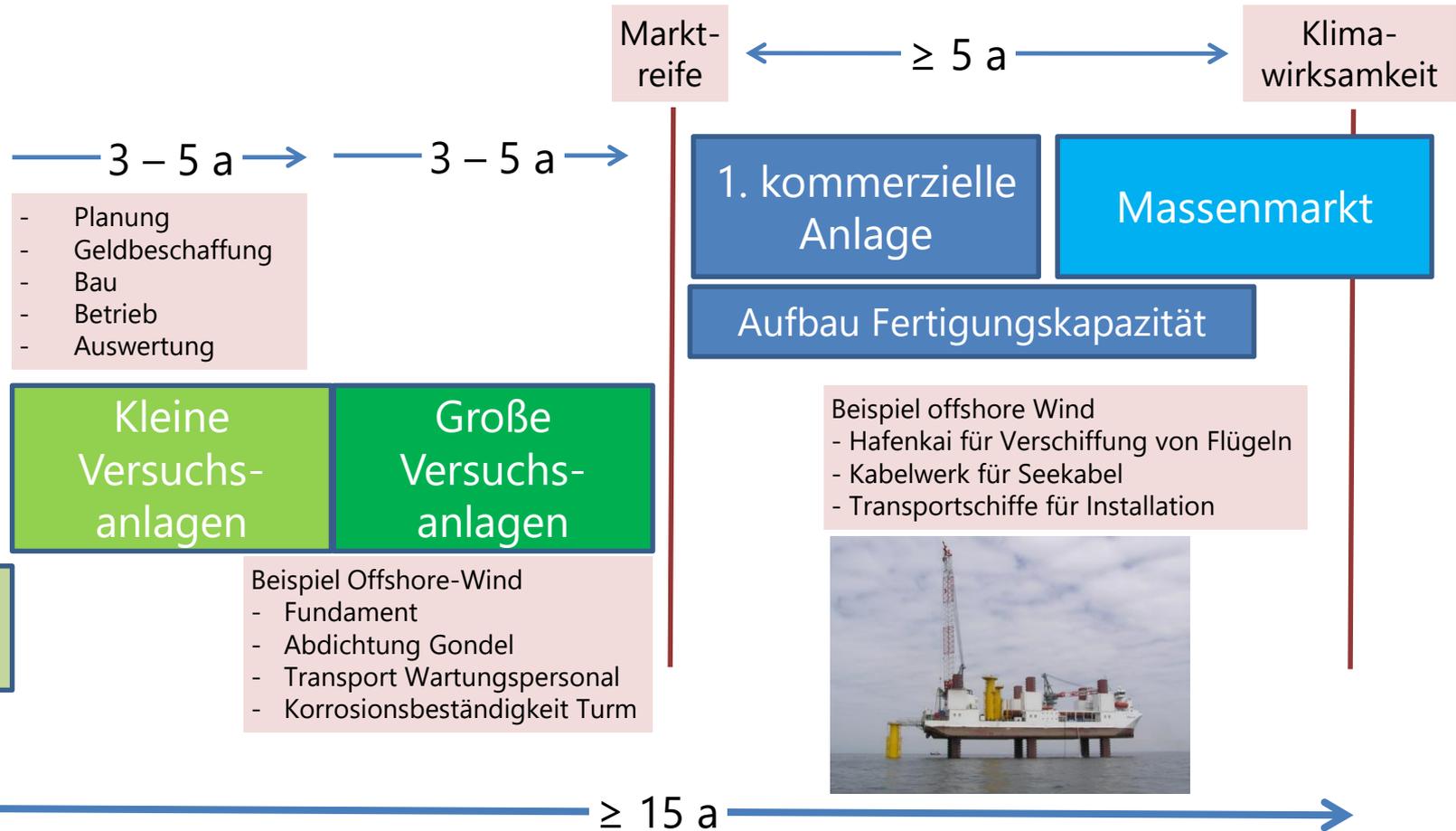
Aufbau Fertigungskapazität

Beispiel offshore Wind

- Hafenkai für Verschiffung von Flügeln
- Kabelwerk für Seekabel
- Transportschiffe für Installation







Nicht verfügbare Techniken

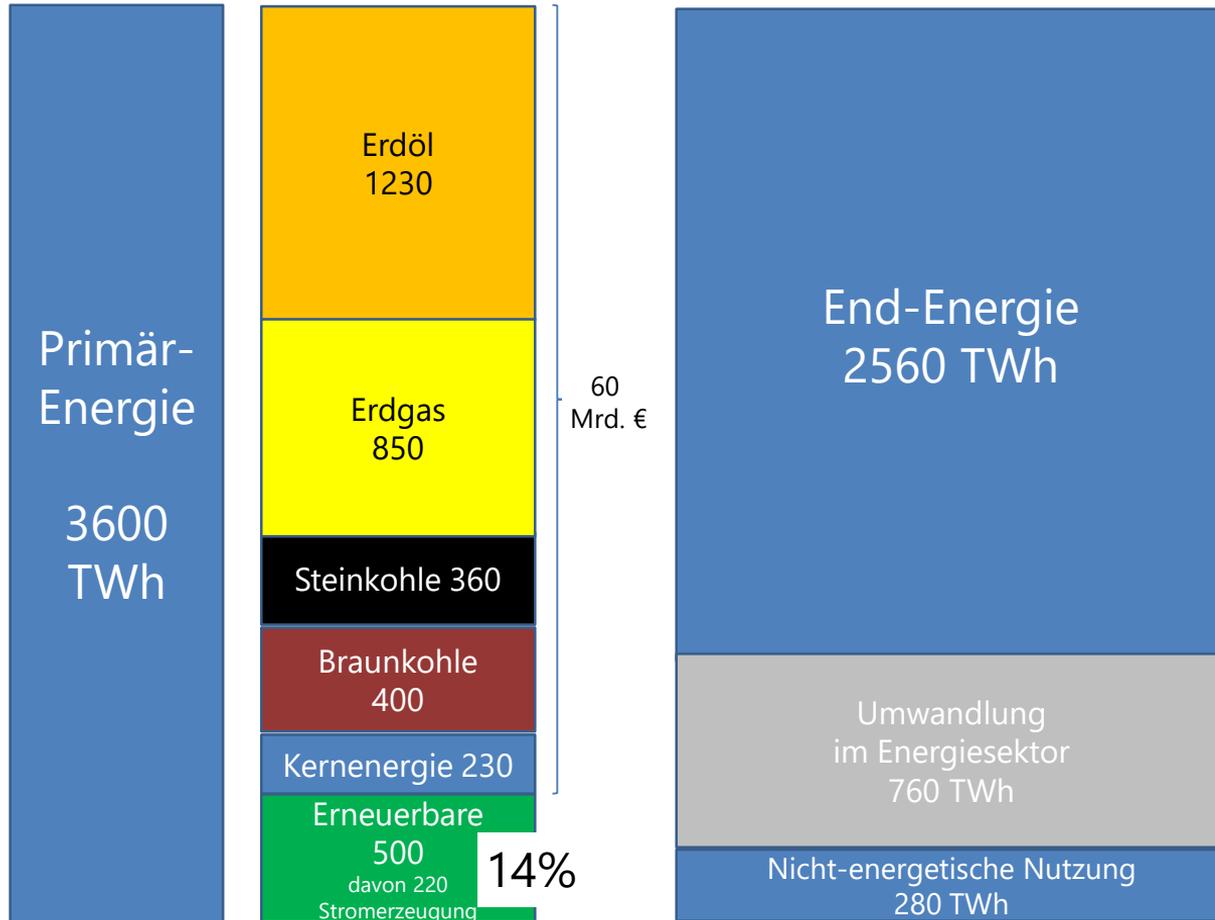
Kernfusion: Marktreife erst in 30 Jahren angekündigt

CCS: nicht marktreif, Lagerstätten unklar, + 30 % Energiebedarf

Wasserstoff-Import: Transport ungeklärt, Großtechnik fehlt
keine Länder mit 100 % regenerativer Stromversorgung

Kernenergie: lange Bauzeiten, fehlendes Know-How in Europa,
zu teuer

Energiebedarf in Deutschland



Übergabe an Endverbraucher
Haushalte, Gewerbe, Industrie:

- Hausanschluss
- Tankstelle

Verluste in:
Kohle-, Gas- und Kernkraftwerken
und Raffinerien

stoffliche Bindung, u.a.: Plastik



Primär-Energie

3600 TWh

Übergabe an Endverbraucher Haushalte, Gewerbe, Industrie:
- Hausanschluss
- Tankstelle

End-Energie 2560 TWh

Umwandlungsverluste in Kraftwerken und Raffinerien 760 TWh

Nicht-energetische Nutzung 280 TWh

Ist

PKW: 440

LKW: 205

Flugverkehr: 120

Strom: 550

Raumwärme, Warmwasser: 840

Prozesswärme: 450

Entfällt durch E-Autos: 310 TWh

Strom: 130

Entfällt d. E-LKW

Strom: 30

E-Fuels: 200

Strom: 550

Entfällt d. Dämmung u. Wärmepumpen : 550 TWh

Strom: 35

Prozesswärme: 450
Strom / H2

Entfällt durch Stilllegung in Kraftwerken und Raffinerien 760 TWh

Umstellung auf Biomasse 280 TWh

Zukunft

Verluste bei E-Fuel-Erzeugung

130 TWh

Verluste bei H2-Erzeugung

85 TWh

Verluste bei H2-Erzeugung für Dunkelflauten

130 TWh

Einsparung fossil PE durch Technologiewandel: 50 %

Verhaltensänderungen	Radfahren statt PKW	95 %
	ÖPNV statt PKW	70 - 90 %
	Nachtzug statt Flugzeug	90 %
	Vegan statt Fleisch, Fisch, Milch	90%
	Pullover statt 22° in Wohnung	15 % - 50%
Technische Maßnahmen	Stromerzeugung mit Wind, Sonne, Wasser statt Kohle, Gas	95 %
	Heizen mit Wärmepumpe statt Kessel	70 %
	Haltbar statt schnell kaputt	? %
	Batterie-E-Auto statt Verbrenner	75 %
	Mehrweg statt Einweg	60 %
Konsumverzicht		

E-Auto mit Batterie

Strom → Batterie → Elektromotor:

81%

E-Auto mit Brennstoffzelle

Strom → Wasserstoff (H₂) → Tank
→ Brennstoffzelle → Elektromotor:

36%

Wasserstoff-Auto

Strom → H₂ → Tank → Verbrennungsmotor:

17%

Methangas-Auto

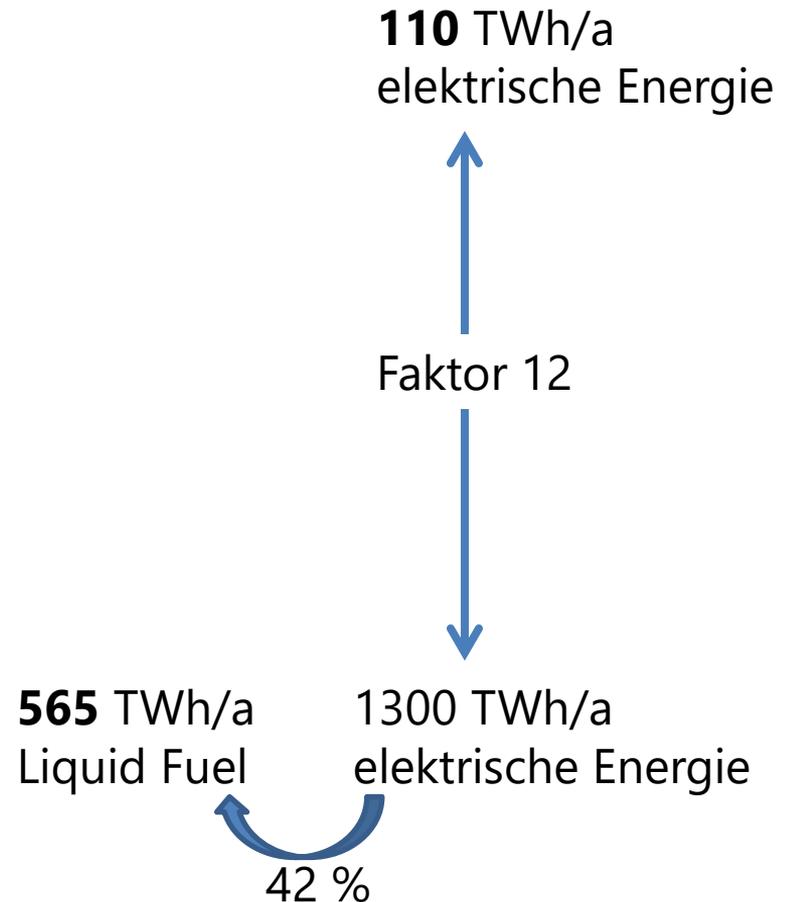
Strom → H₂ → Methan → Tank → Verbrennungsmotor:

14%

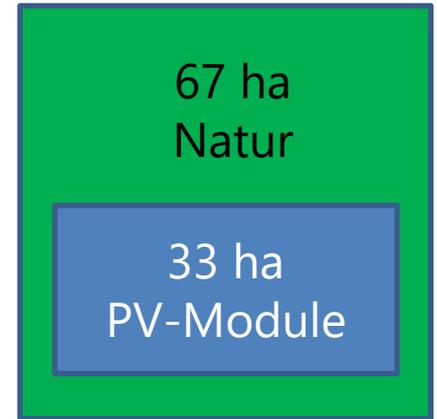
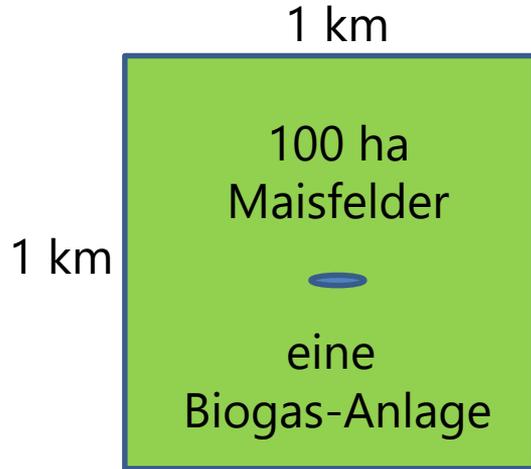
Erzeugung von flüssigem Treibstoff

Strom → H₂ → flüssiger Treibstoff
→ Verbrennungsmotor

10 %



Quelle	schnell verfügbar	Ausbau-potential	Kosten
Wasserkraft	✓	☹	€€
Biomasse	✓	☹	€€
Wind	✓	✓	€
Photovoltaik	✓	✓	€
Wellen	-	✓	€€€
Gezeiten	-	☹☹	€€€
Kernenergie	-	☹	€€€
(Wasserstoff)Import	-	✓	€€€



jährl. el. Energie 2 Mio. kWh

40 Mio. kWh

60 Mio. kWh

Preis 2020 14 c/kWh

5 c/kWh

5 c/kWh

Preis 2021 17 c/kWh

6 c/kWh

5 c/kWh

1.350.000 ha für Energiepflanzen für Biogasanlagen
Davon 866.000 ha Mais

806.000 ha für Bio-Treibstoffe
Davon 560.000 ha Raps

Insgesamt: 2,15 Mio. ha

Wind: 500.000 ha

PV: 1.000.000 ha

1.000 TWh/a

Bedarf el. Energie heute:

500 TWh/a

Jährlicher Zubau an installierter Leistung

Solar

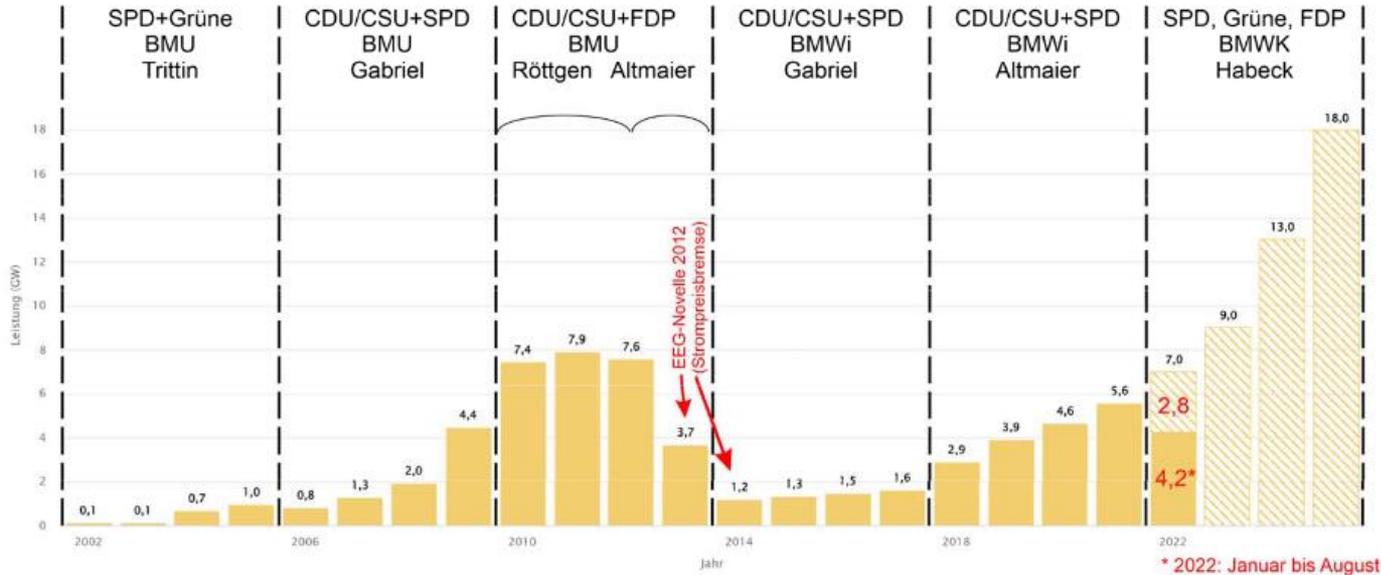
Kernenergieausstieg



Pariser
Klima-
Schutz-
abkommen



Kohleausstiegsgesetz



Jährlicher Zubau an installierter Leistung

Wind onshore

Kernenergieausstieg



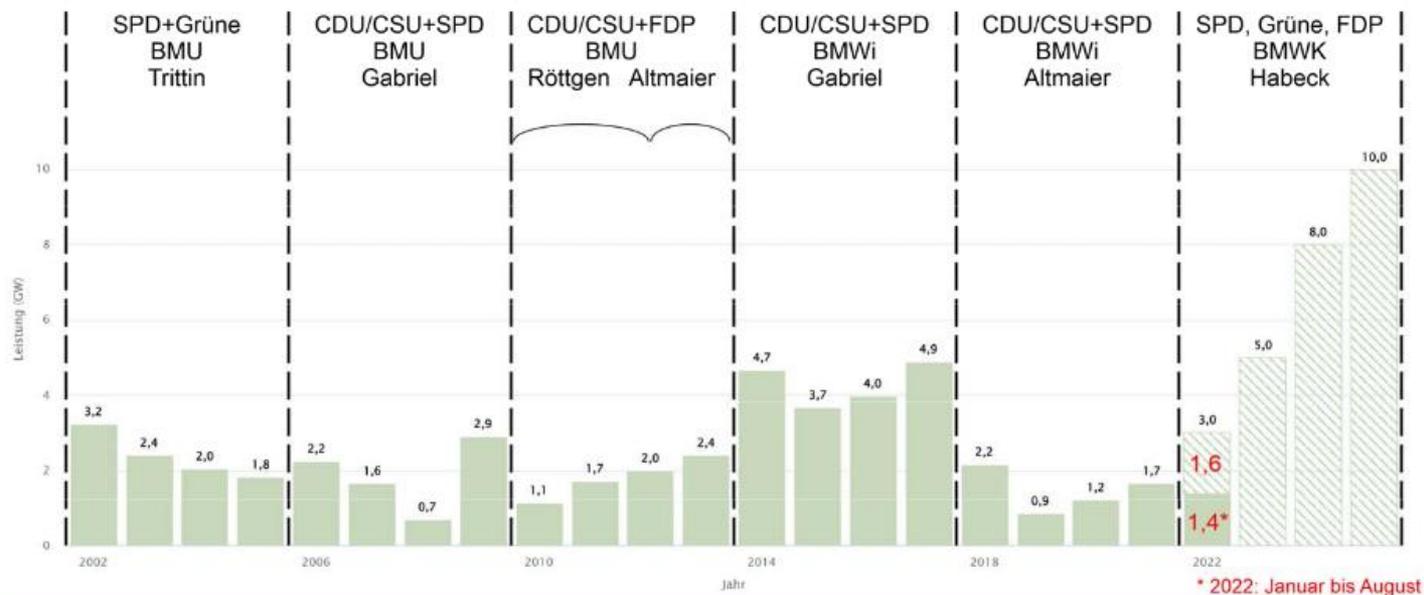
Pariser Klima-

Schutz-

abkommen



Kohleausstiegsgesetz



Jährlicher Zubau an installierter Leistung

Wind offshore

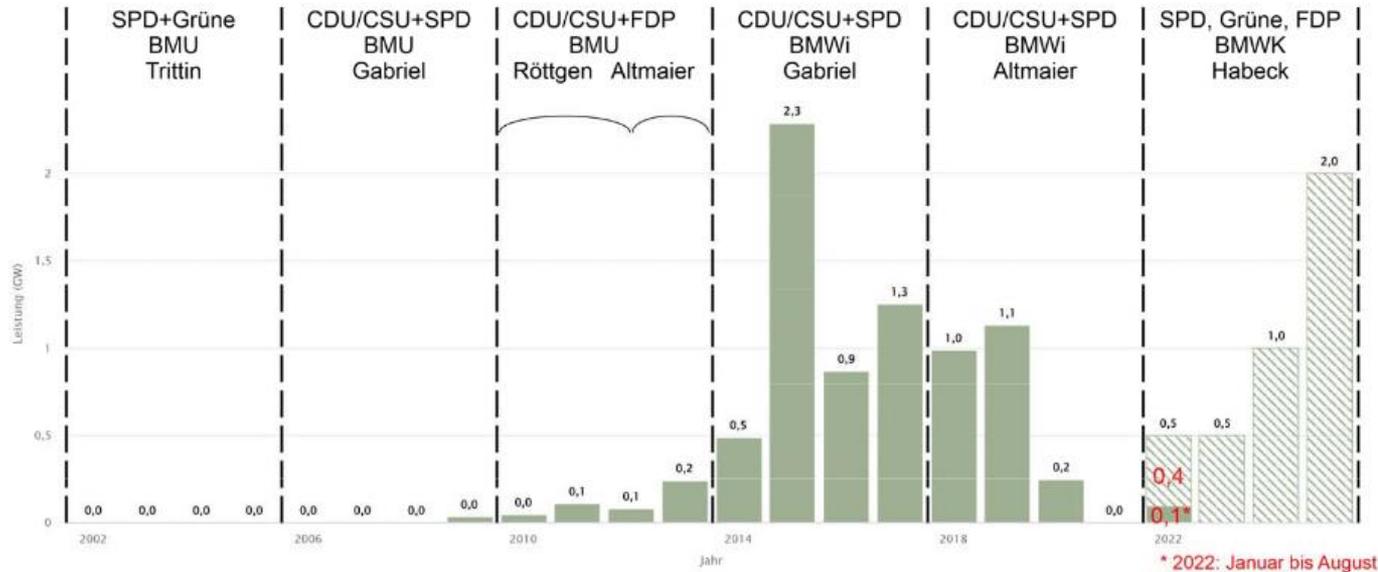
Kernenergieausstieg



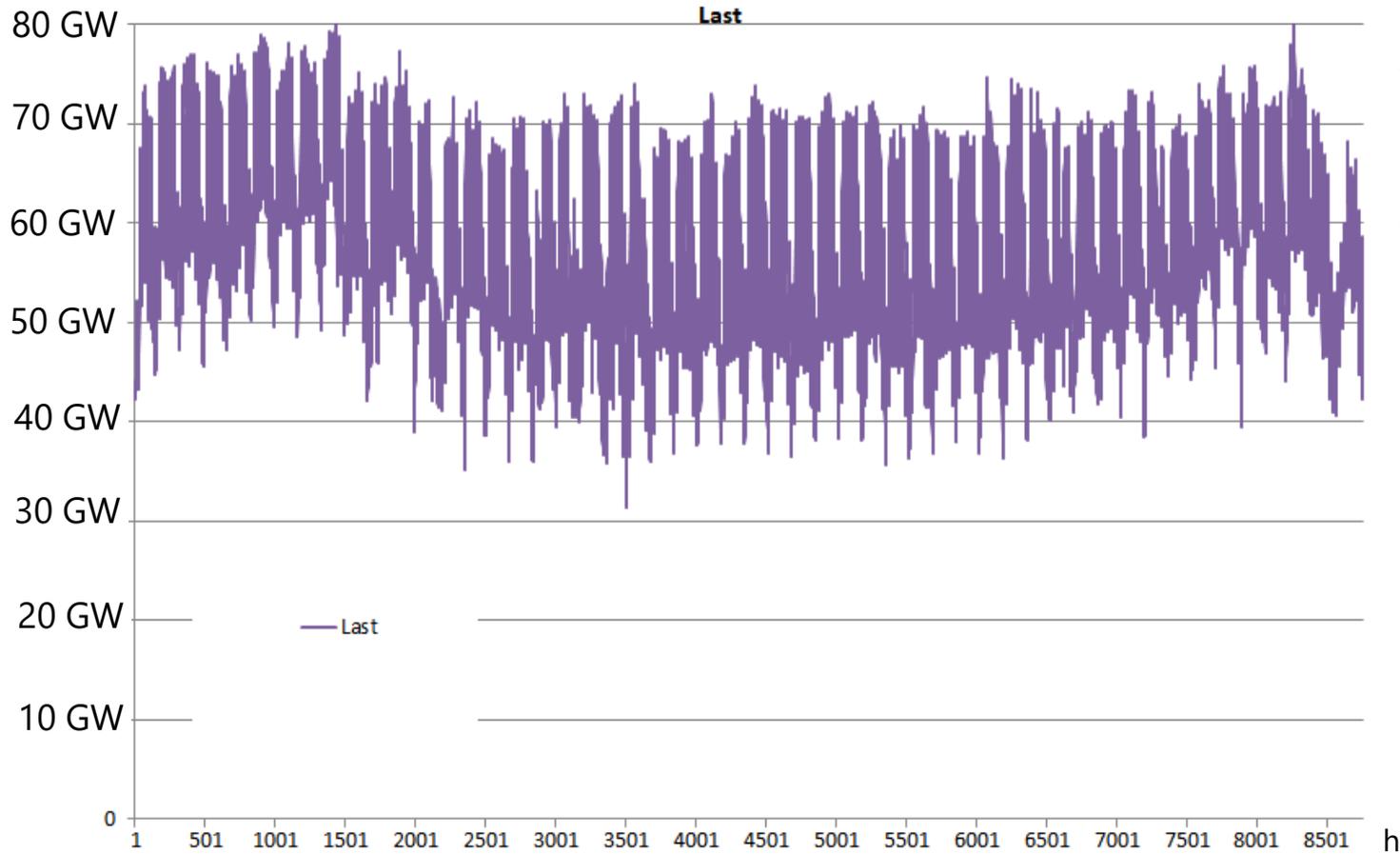
Pariser
Klima-
Schutz-
abkommen



Kohleausstiegsgesetz



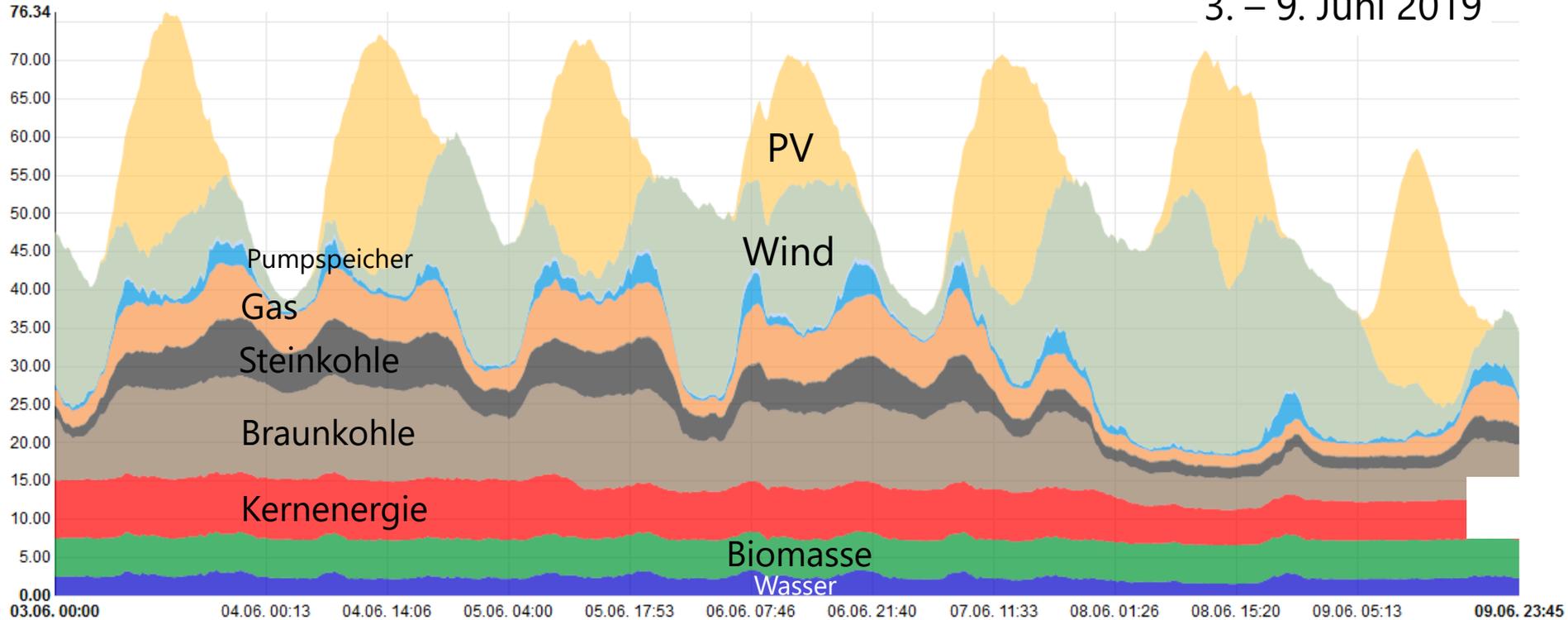
Stromerzeugung

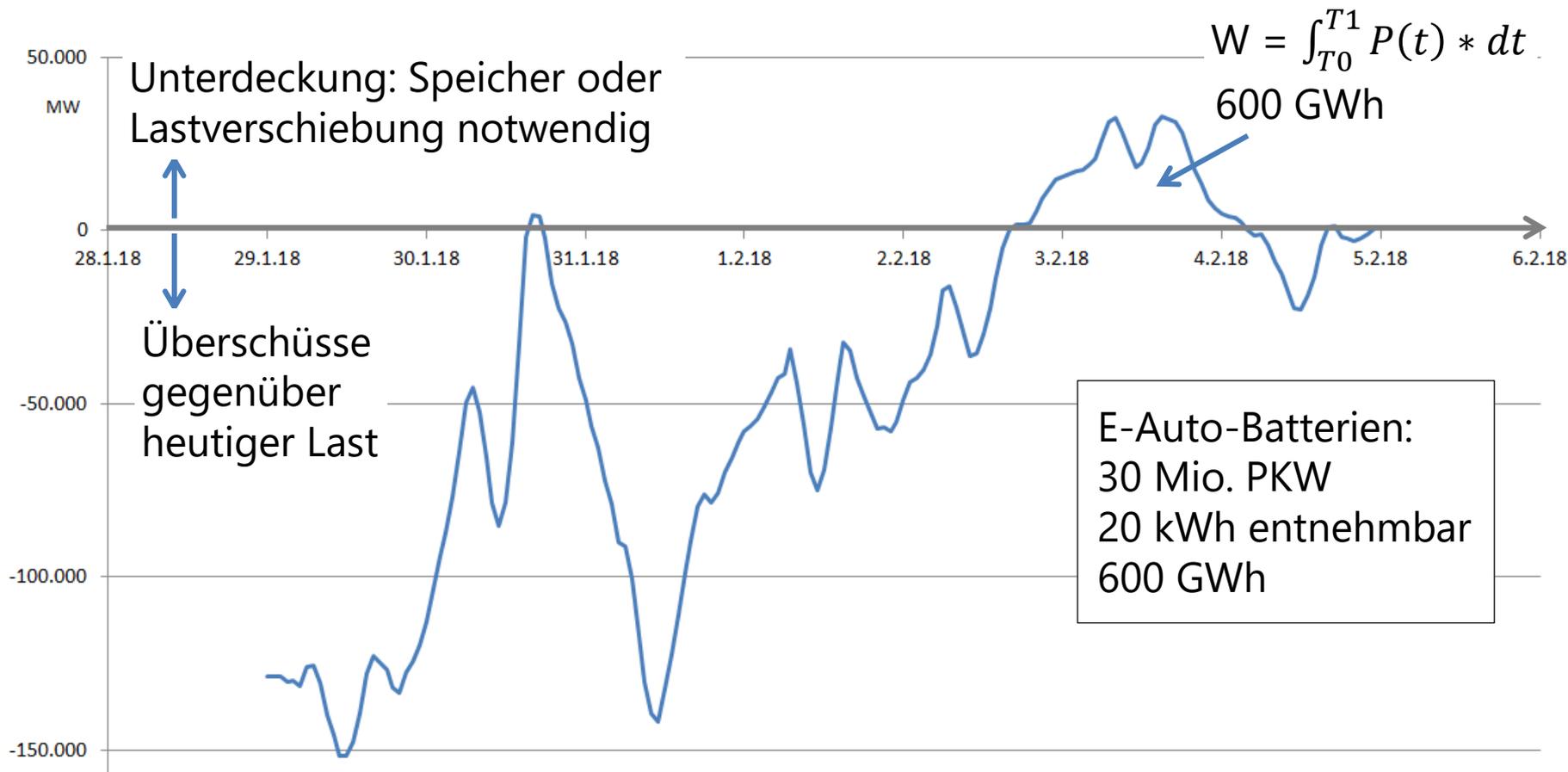


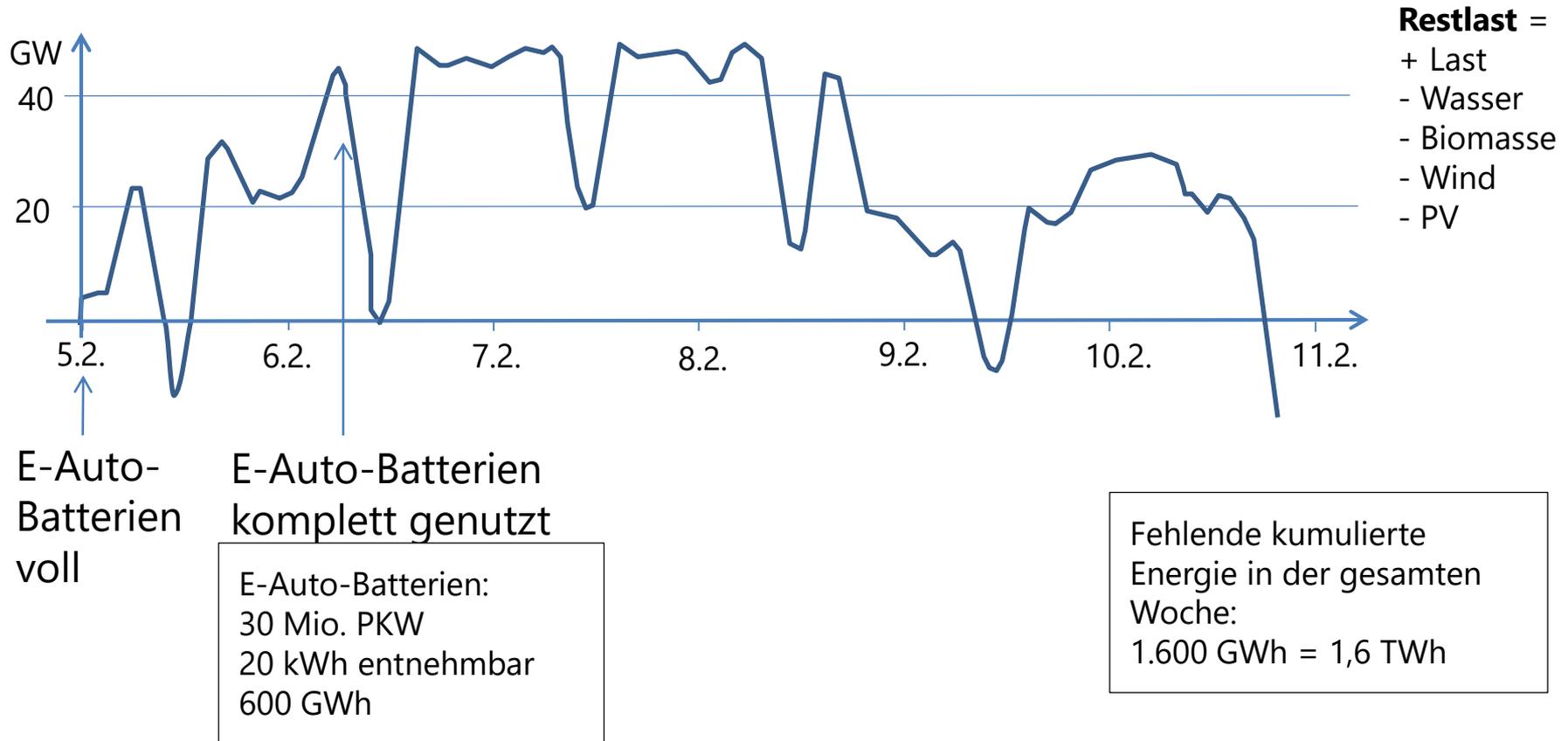
- Last analysieren über ein Jahr 8760 h
- Bildschirm hat horizontal nur 1.600 Punkte

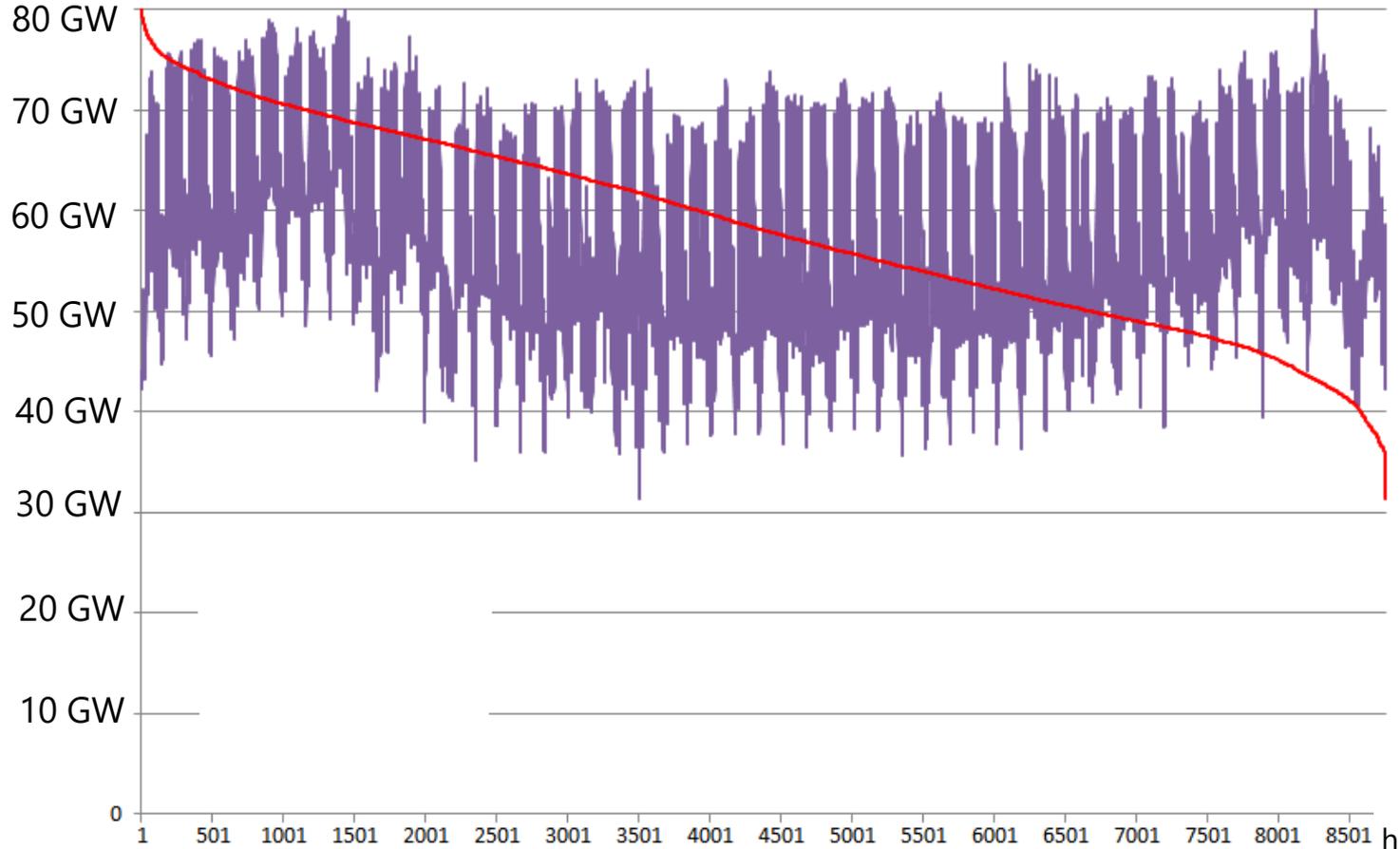
GW

3. – 9. Juni 2019

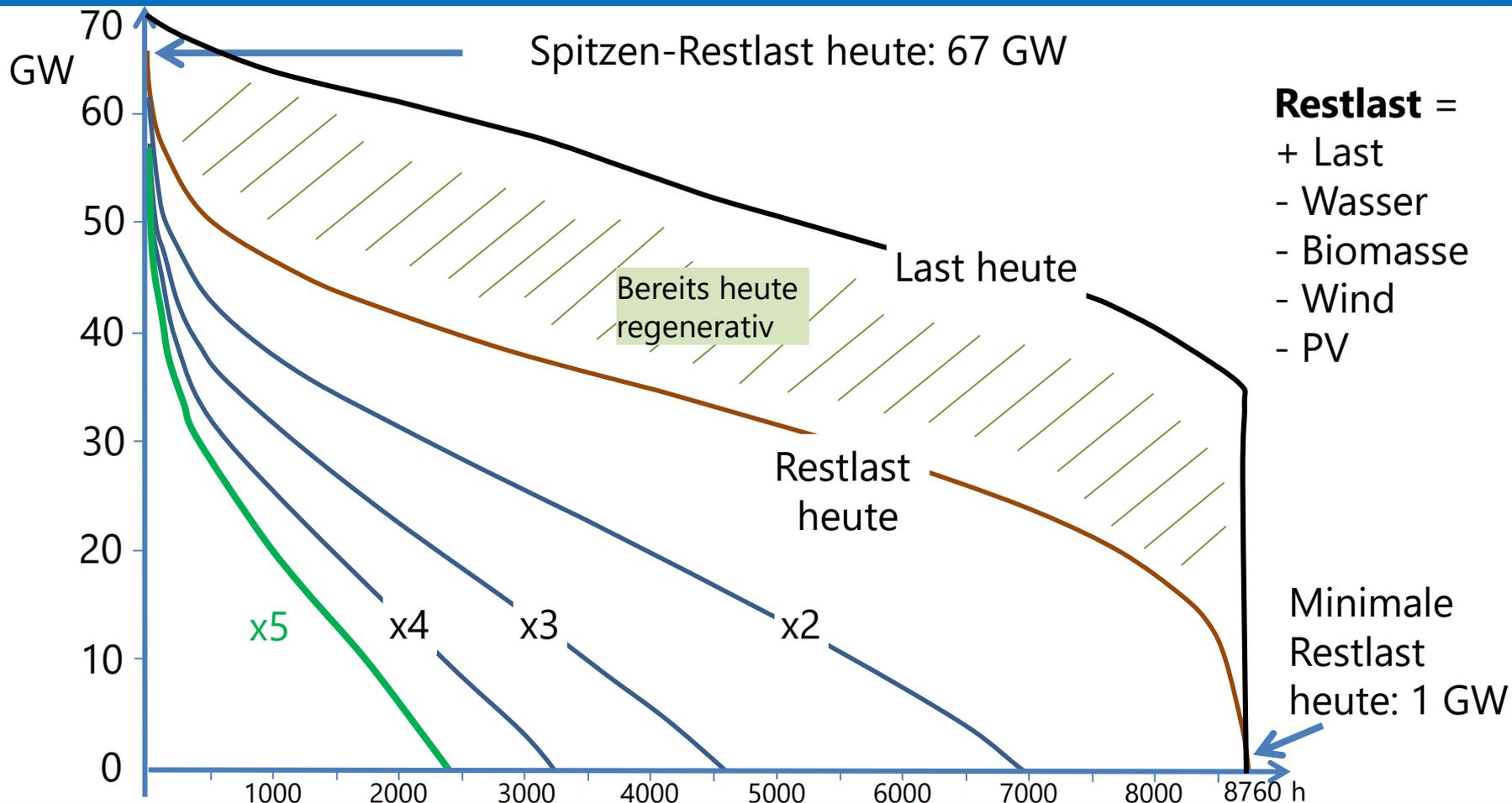


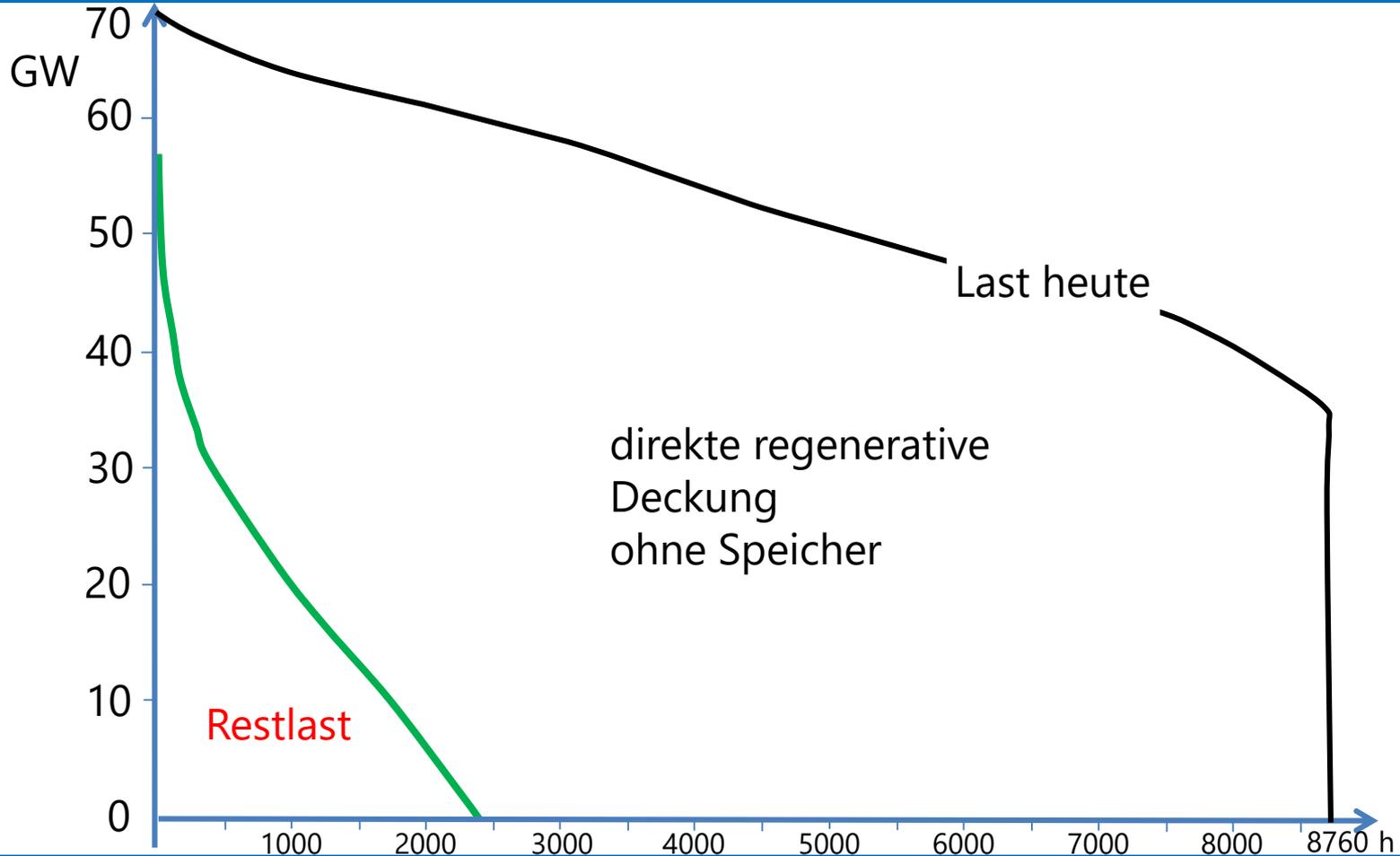


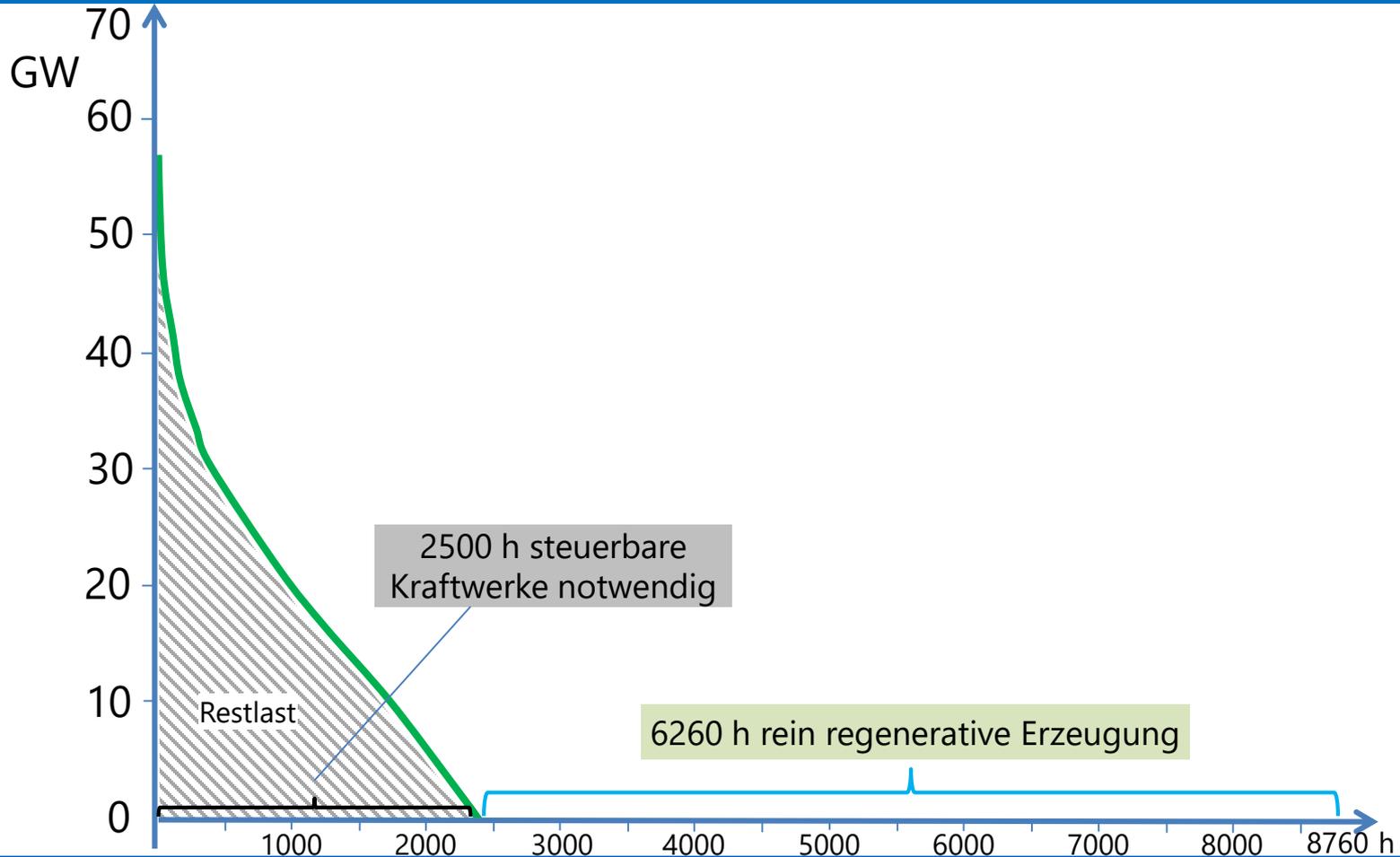


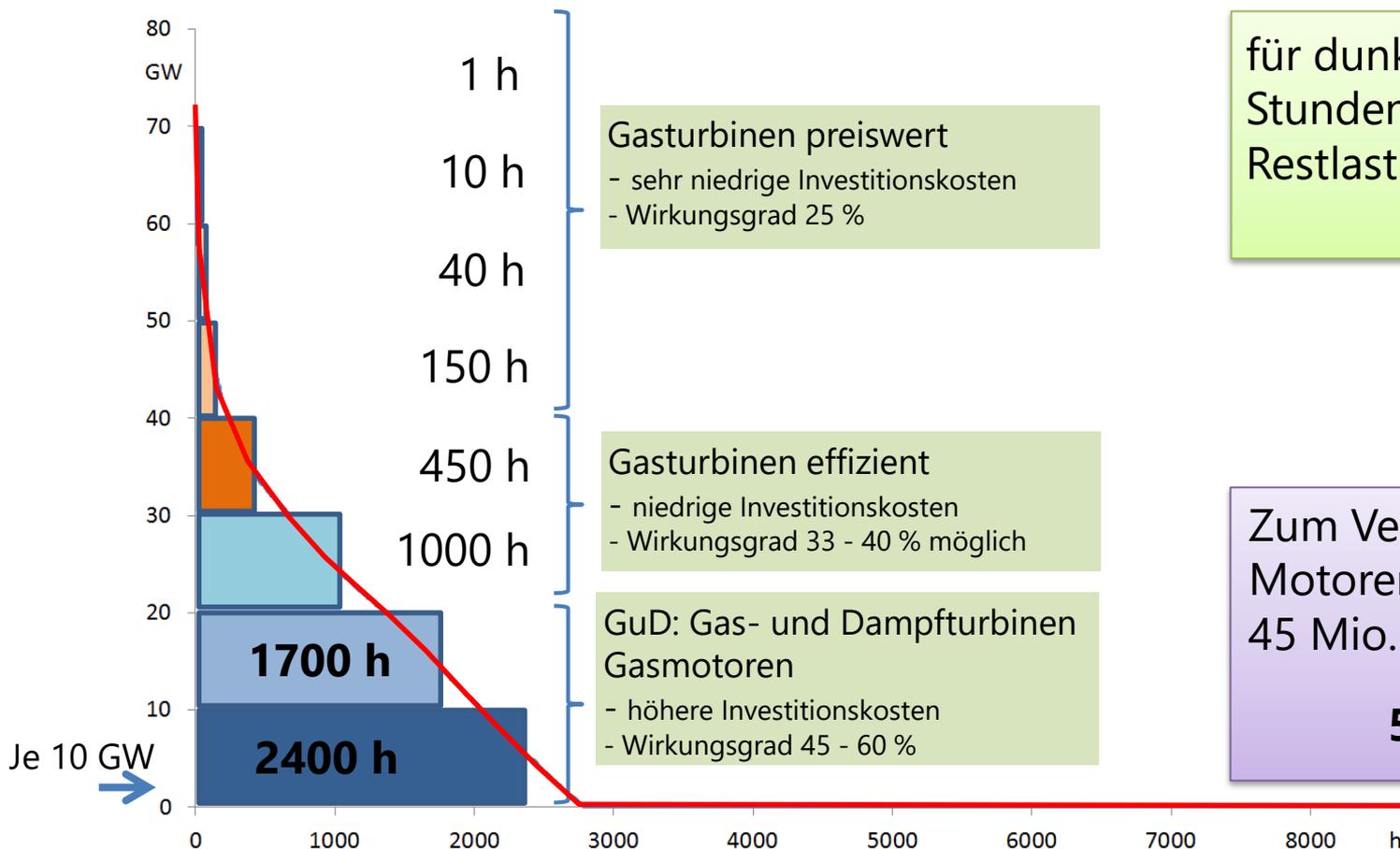


- Rote Linie:
Dauerlinie:
sortierte Last der
Höhe nach
absteigend
- Nur zur
Ergebnis-
Darstellung
- Berechnungen
alle im
Stundenraster in
korrekter
zeitlicher
Reihenfolge
(wichtig für
Speicher)









für dunkle windarme Stunden notwendige Restlastkraftwerke:
80 GW

Zum Vergleich:
Motorenleistung PKW:
45 Mio. PKW, 110 kW
5000 GW