



Hochschule **RheinMain**

# HERAUSFORDERUNGEN FÜR UNSER STROMNETZ

Möglichkeiten und Grenzen zur  
Stabilisierung unseres Stromnetzes  
(mit Fokus auf Batteriespeicher)

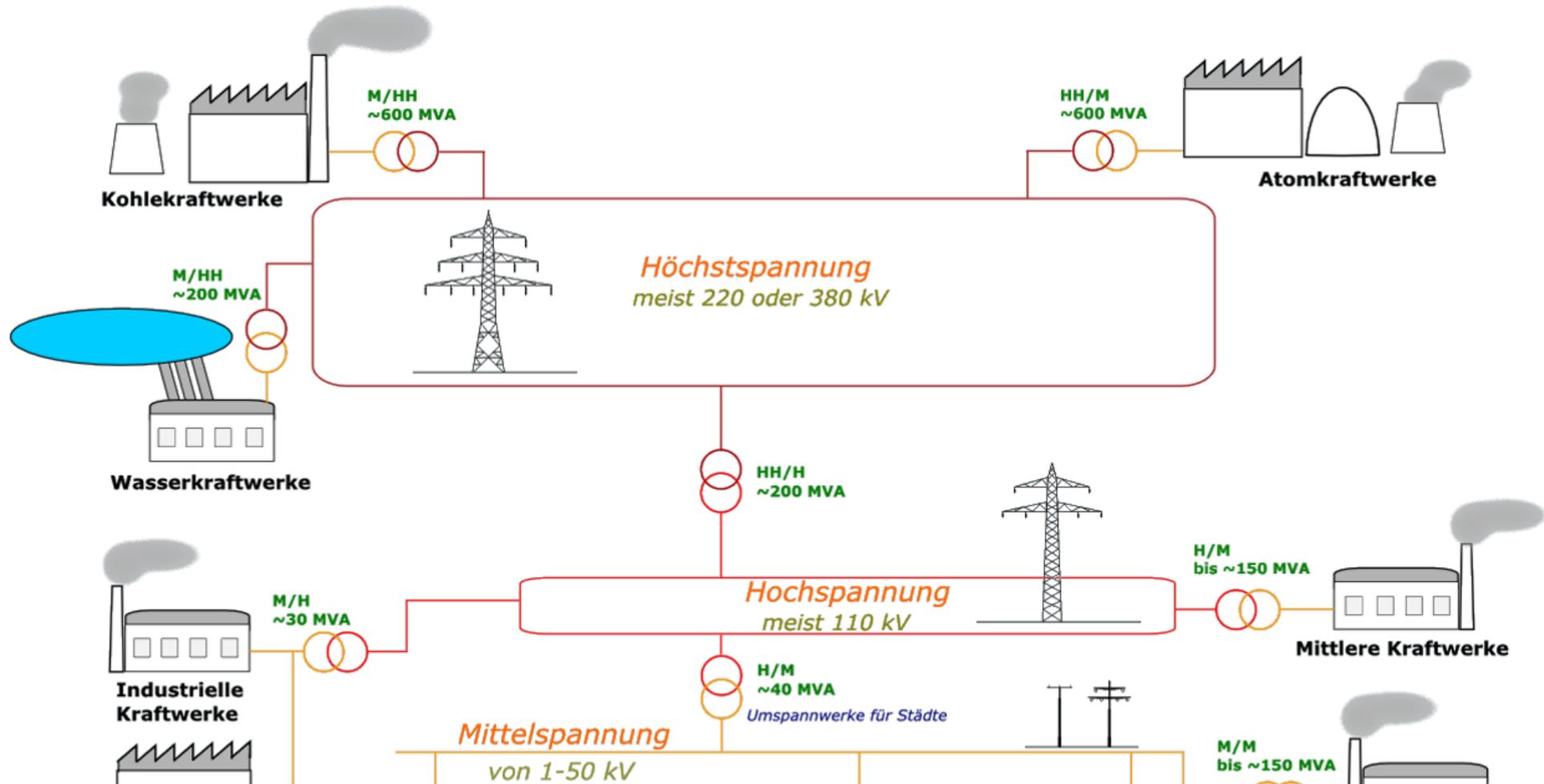
Prof. Dr. Heinz Werntges

# STROMNETZE: GRUNDLAGEN

# HOCHSPANNUNGSNETZE: ÜBERTRAGUNG



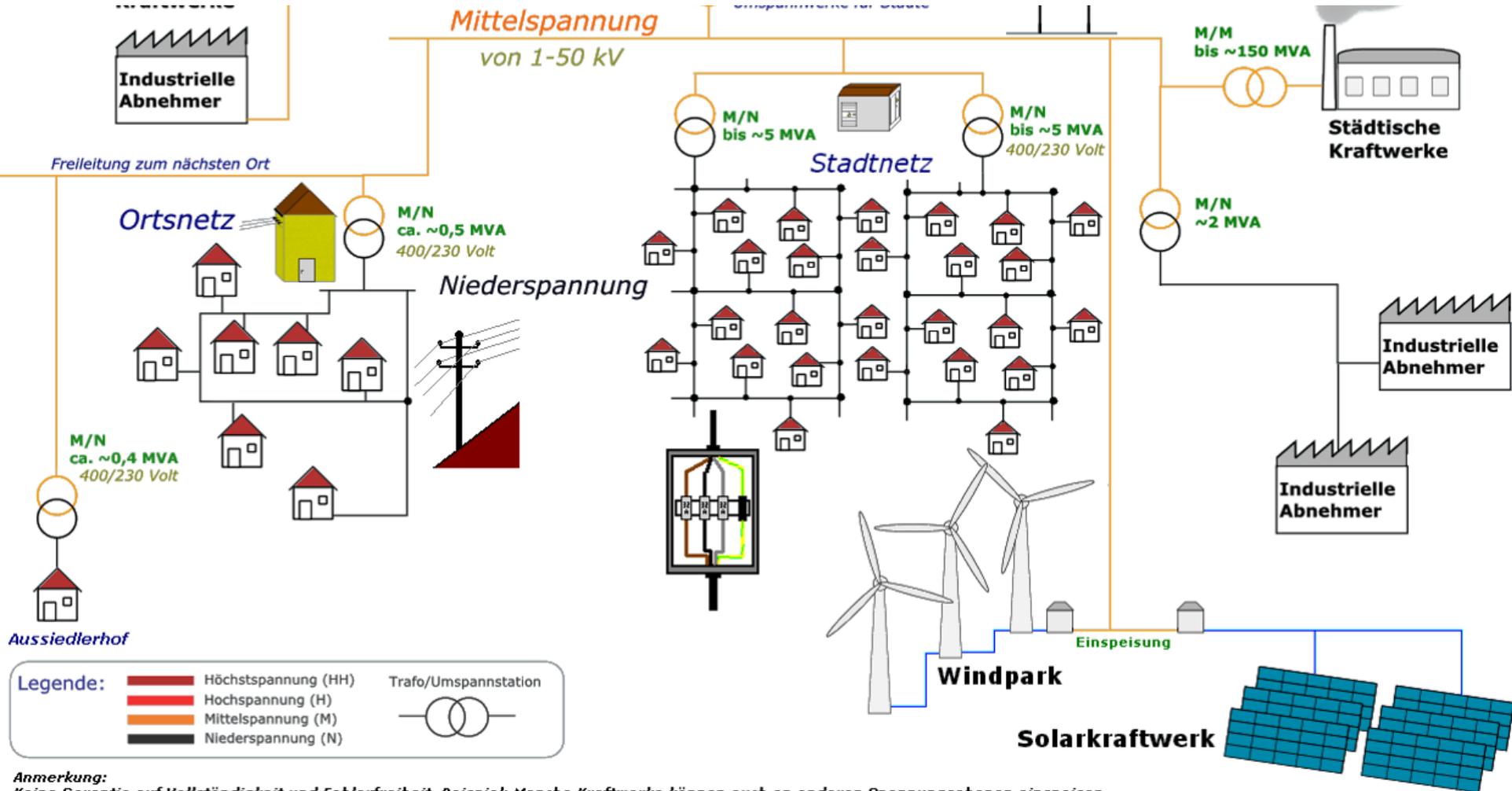
Hochschule RheinMain



# MITTEL- UND NIEDERSPANNUNGSNETZE: VERTEILUNG

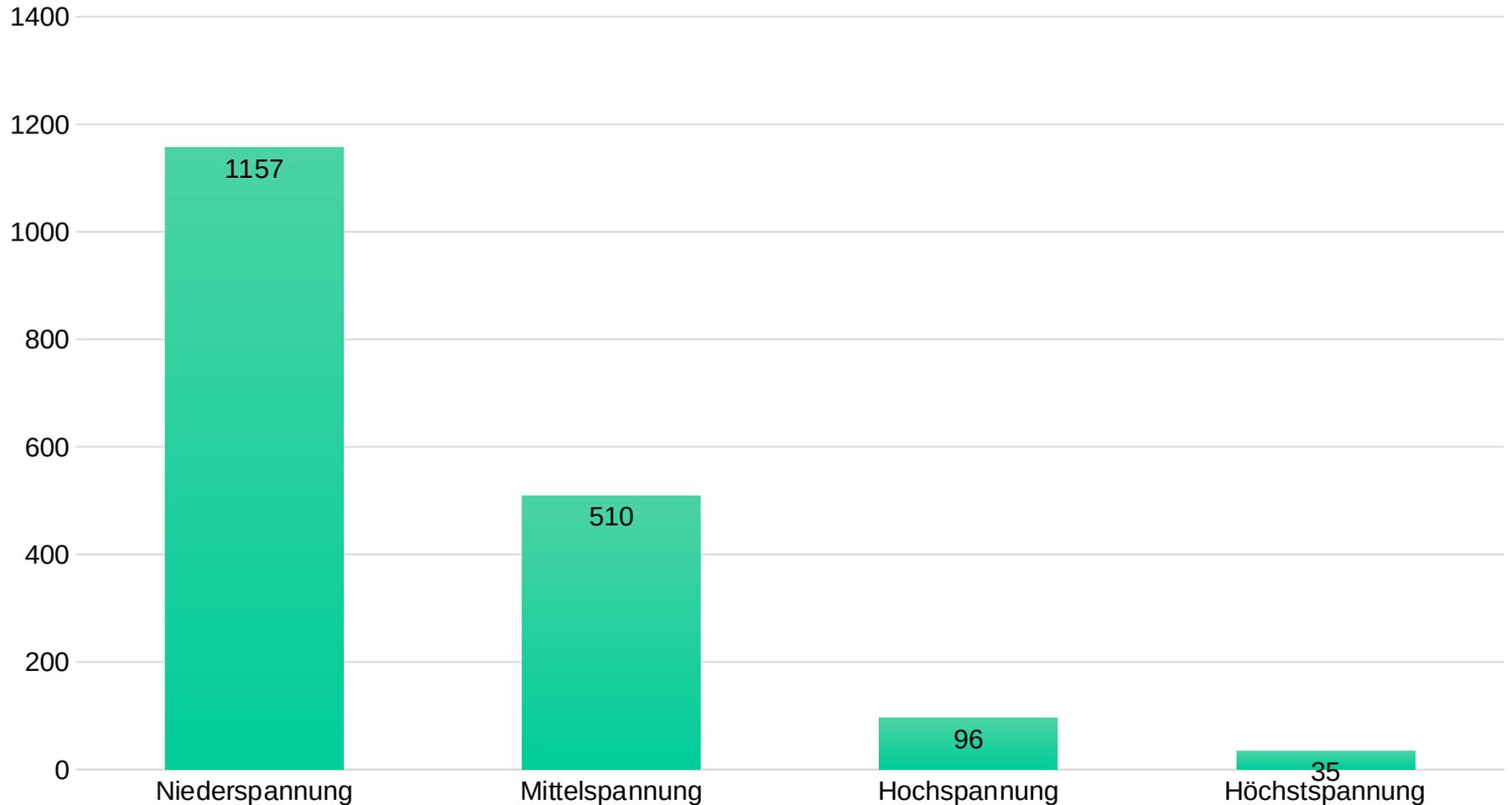


Hochschule RheinMain



# STROMNETZE: BEDEUTUNG DER MS- UND NS-EBENEN

## Längen der Stromnetze



# DAS DEUTSCHE HÖCHSTSPANNUNGSNETZ



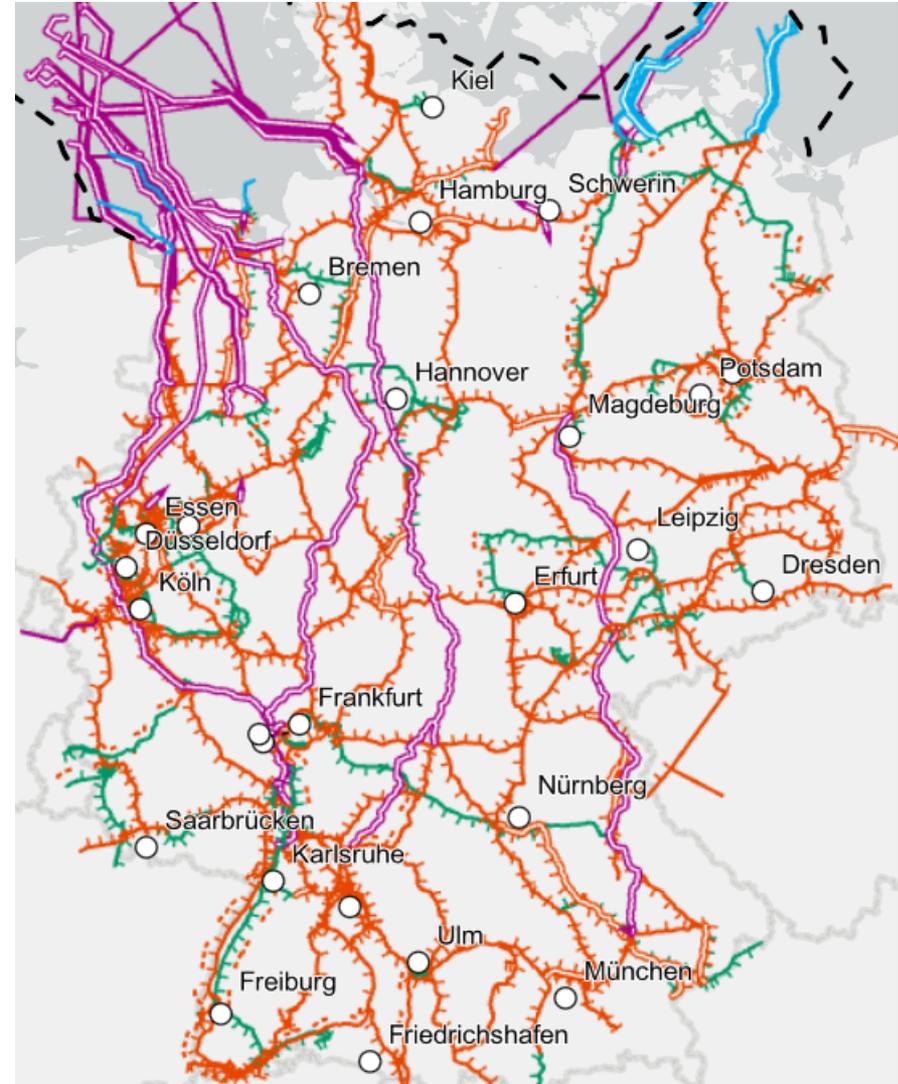
Hochschule RheinMain



19.06.2025

(2020)

Quellennachweis: Forum Netztechnik / Netzbetrieb im VDE

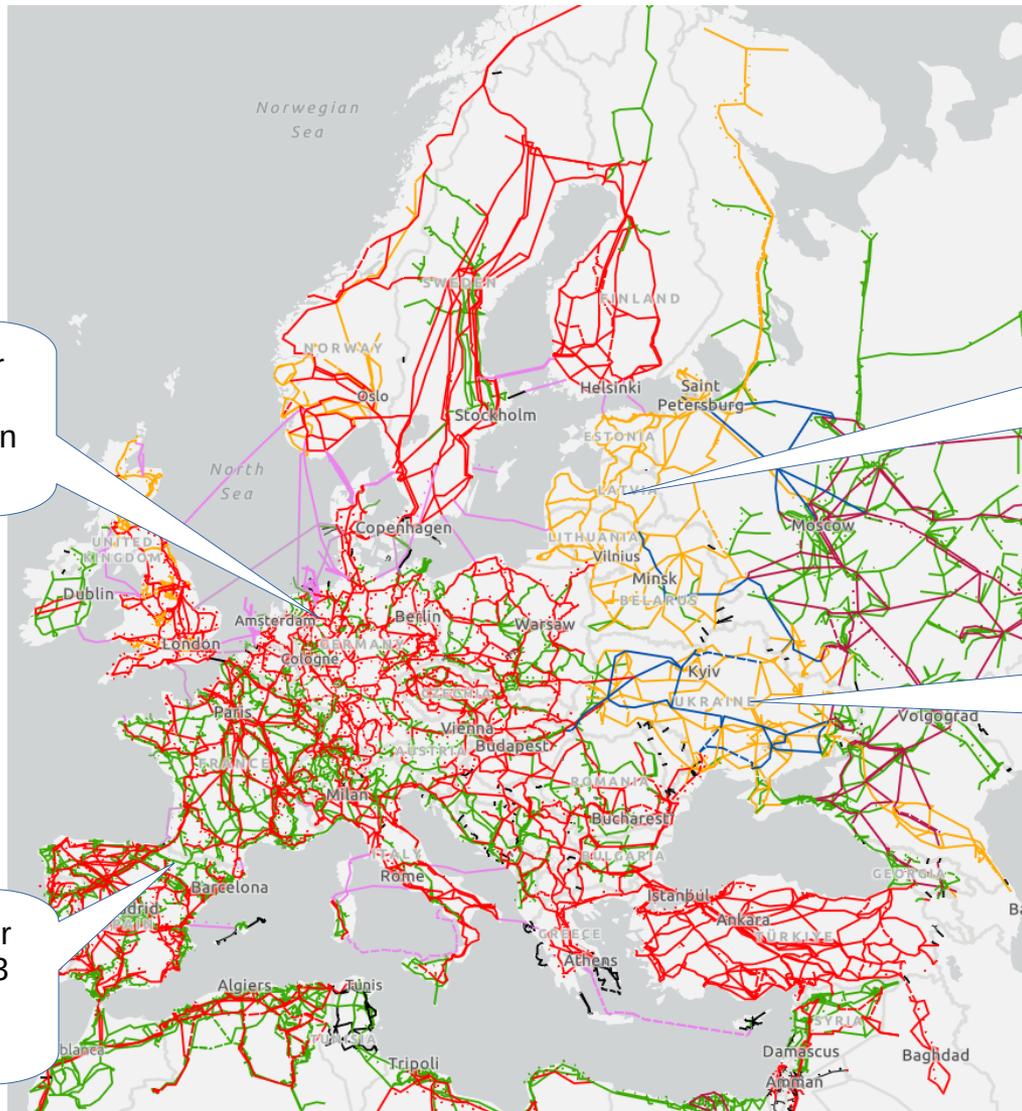


(2025)

# ENTSO-E: NETZ



Hochschule RheinMain



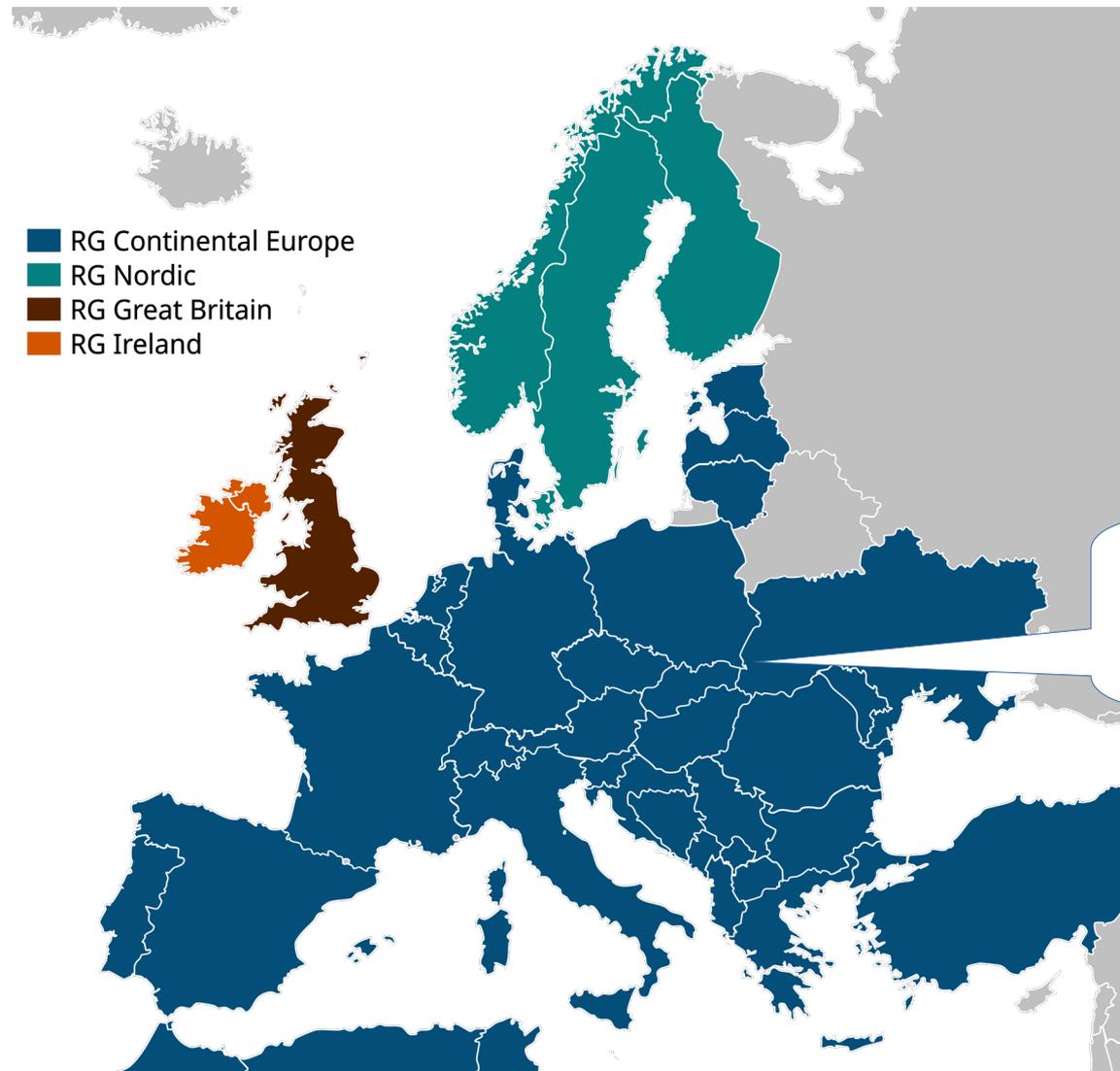
**Deutschland** ist über viele Leitungen und insg. **20 GW** mit seinen Nachbarn verbunden

**9.2.2025:**  
Baltische Staaten an ENTSO-E angeschlossen, zuvor Trennung von IPS/UPS

**16.3.2022:**  
Ukraine und Moldawien mit ENTSO-E synchronisiert

**Spanien + PT** ist über nur 3 Leitungen und 3 **GW** mit Frankreich verbunden

# ENTSO-E: REGELZONEN



# „PRODUKTIONSPLANUNG“ IM STROMNETZ

Lastprofile

„Fahrpläne“

Day-ahead-Handel

Herausforderungen durch Volatilität der „Erneuerbaren“ / Planbarkeit?

# ✱ Elektrische Leistung, Tagesverlauf

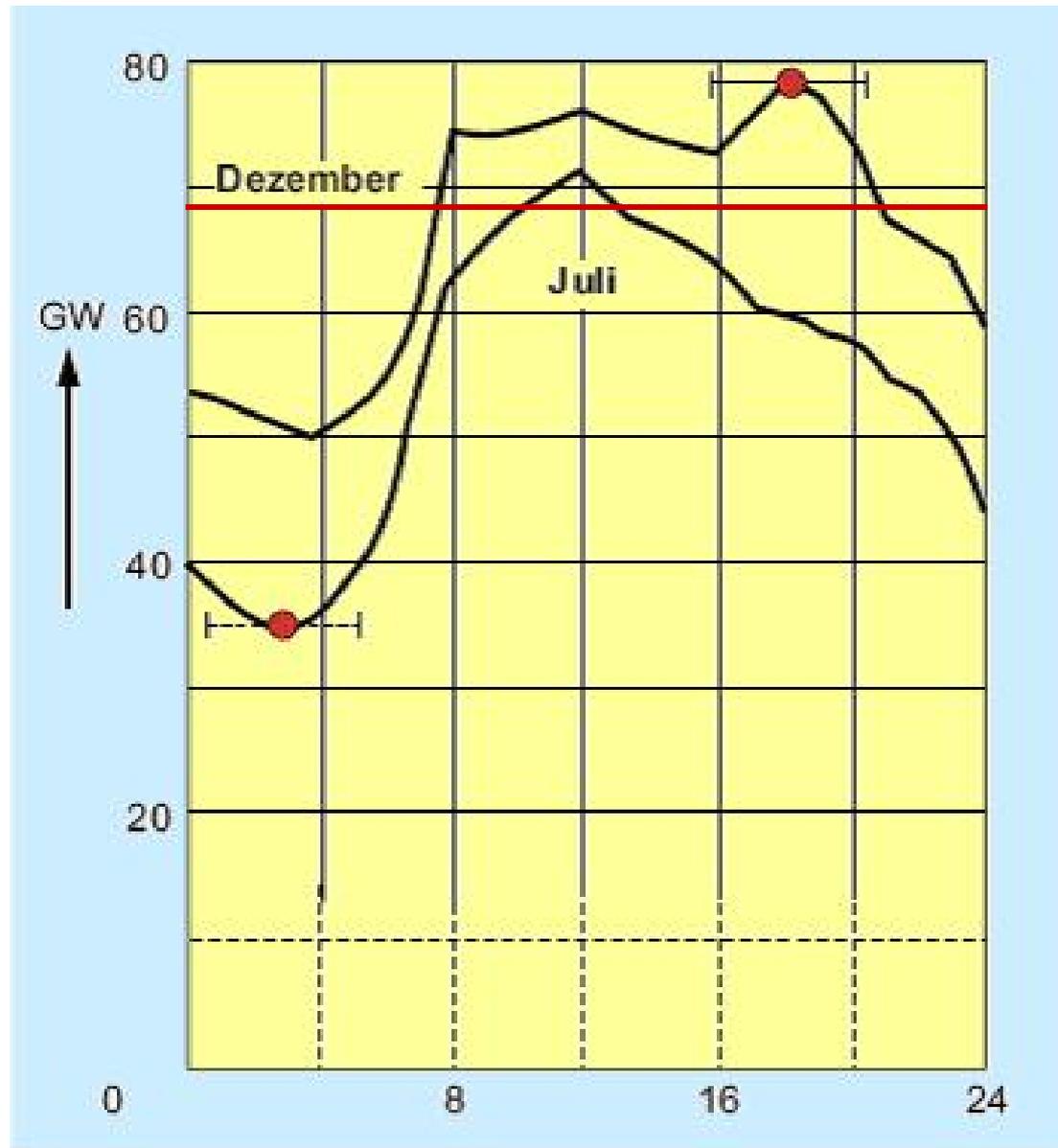
- **Mittlere Last?**

- Höchstlast: **80 GW**

$P = 600 \text{ TWh/a}$

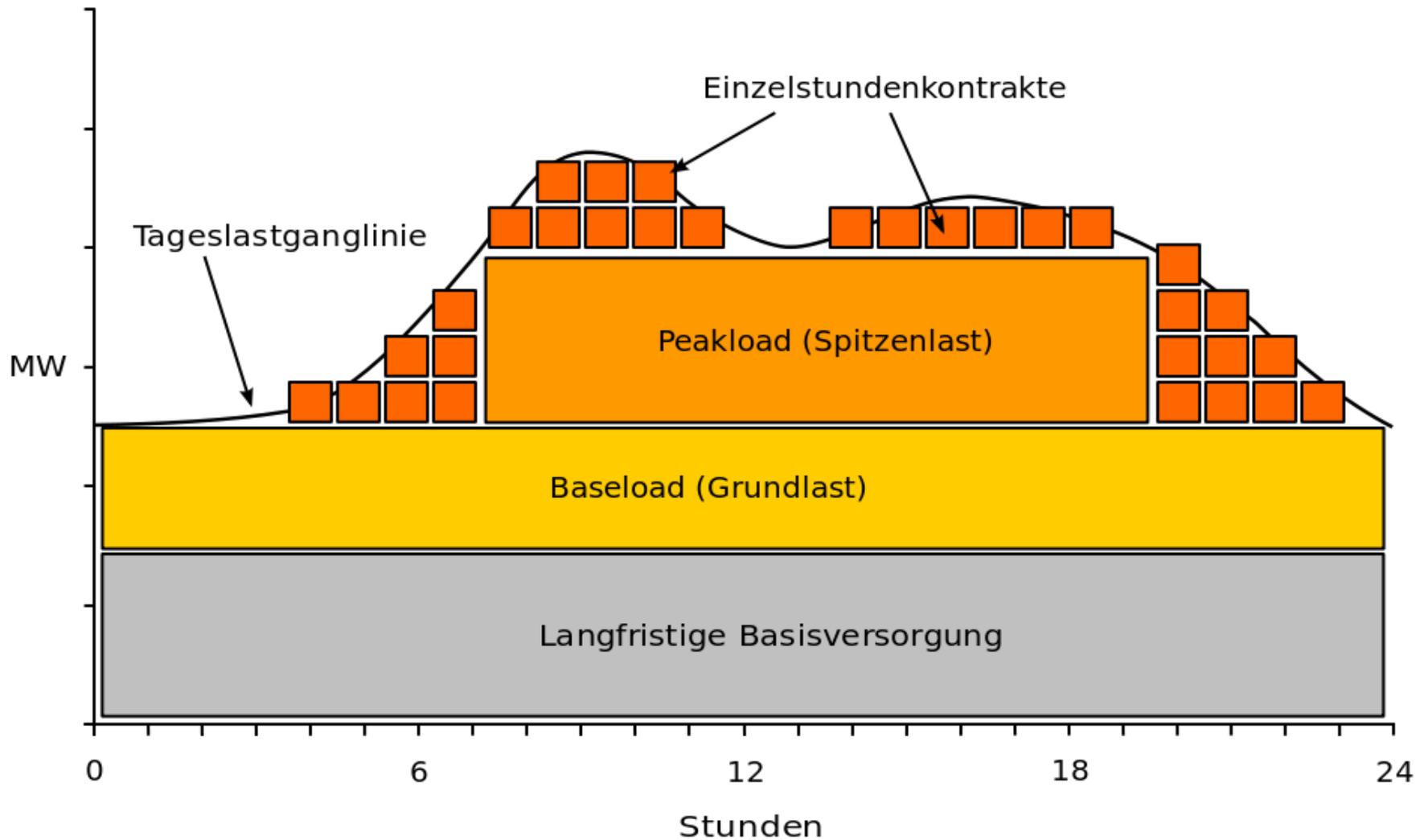
$P = 6 \cdot 10^5 \text{ GWh} /$   
 $365 \cdot 24 \text{ h}$

$\langle P \rangle = \mathbf{68,5 \text{ GW}}$



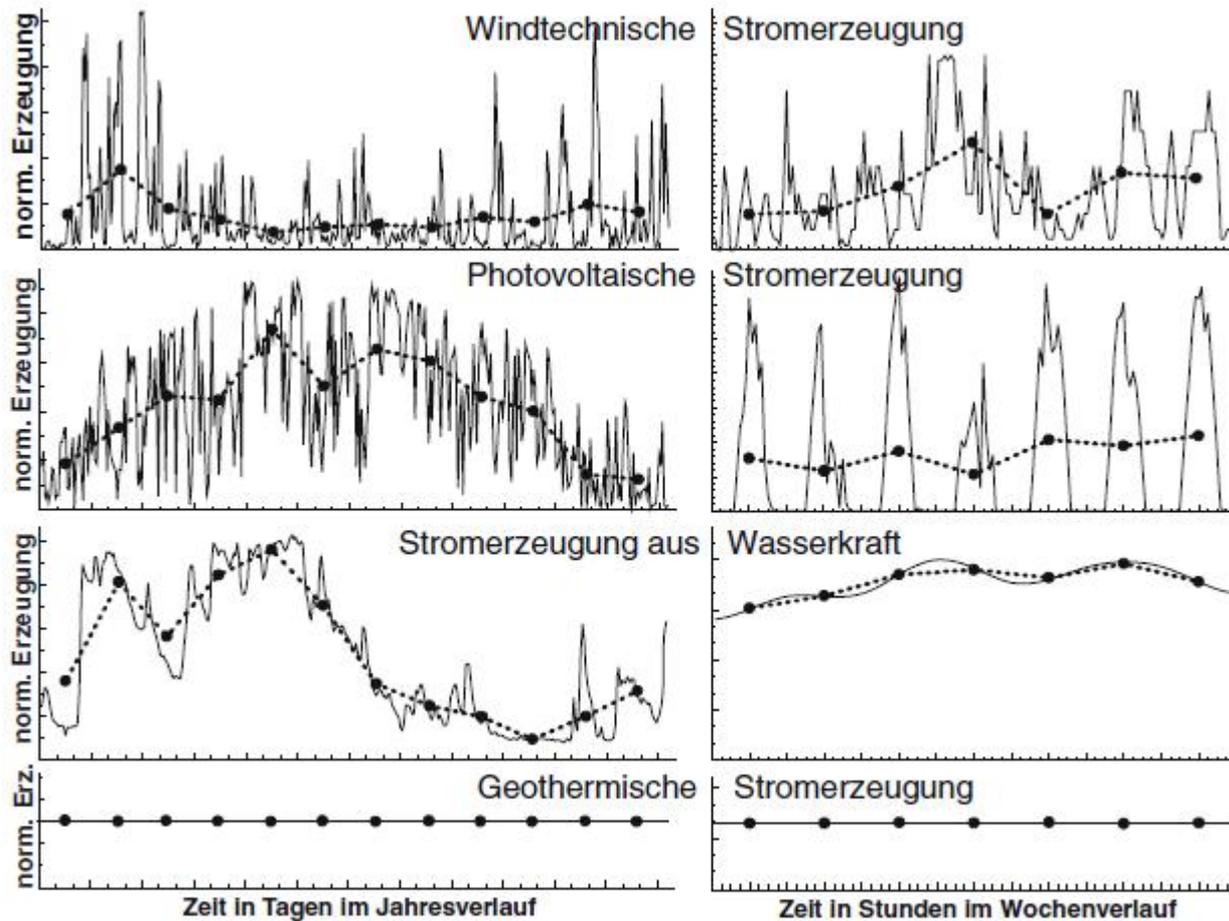
Q.: Schwab, A. J. (2009)

# \* Grundlast – Mittellast – Spitzenlast



# ✱ Erneuerbare Energien

- Volatilität einiger EE-Quellen, Beispiele



Q.: Kaltschmitt, M., Streicher, W., Wiese, A. (2005)

# \* Regelzonen

---

- **Regelzonen**
  - Meistens eine Zone pro Land
  - In Deutschland: 4 Zonen
- **Aufgaben**
  - System- und Betriebsführung
  - Frequenzhaltung
  - Spannungshaltung
  - Versorgungswiederaufbau



# \* Bilanzkreise

- **Bilanzkreise, -verantwortliche (7.10.16: 5485 EIC)**
  - Einspeisestellen
  - Entnahmestellen
- **Aufgaben**
  - Meldung der Einspeise- und Entnahmestellen
  - **Fahrplan**-Erstellung
  - Lieferung Vortagsfahrpläne
  - Bilanzausgleich
- **Grundlagen**
  - Ertragsprognosen (Wind! Sonne!)
  - Bestehende Kontrakte
  - Bedarfsprognosen



# WIE WIRD EIN STROMNETZ GEREGET?

Oder: Wenn Plan und Wirklichkeit voneinander abweichen...

## Grundsatz für Stromnetze:

Zu jedem Zeitpunkt  $t$  gilt: **Verbrauch(t) = Einspeisung(t)**

### Optionen auf Einspeise-Seite (bei Überschuss)

- Wärmekraftwerke: Reduzierung der Heizleistung
- Wasserkraftwerke: Minderung des Turbinendurchflusses
- Windenergie: Abschaltung von Windgeneratoren
- PV-Energie: Abschaltung bzw. Begrenzung von Solargeneratoren

### Optionen auf Verbrauch-Seite

- „Fahrpläne“ für Großverbraucher
- „Lastabwurf“ (gestaffelt, bei Mangel)
- Neue, flexible Großverbraucher (bei Überschuss): Elektrolyseure

### Pufferspeicher

- Pumpspeicher-Kraftwerke (teuer, begrenzte Kapazität)
- Groß-Batterien (Heutiger Schwerpunkt)

Günstiger: Zeitlich flexible Verbraucher an variable Erzeugung anpassen!

# UNSER STROMNETZ

## Frequenzregelung



Hochschule RheinMain

- **Momentanreserve**

- I.w. aus Rotationsenergie der großen Generatoren und Dampfturbinen, +Synchronmotoren
- Bereich:  $\pm 20$  mHz, sofort wirksam

- **Primärregel-Energie**

- ENTSO-E:  $\pm 3000$  MW ständig vorgehalten
- P-Regler, zwischen  $\pm 20 \dots 200$  mHz, Einsatz nach max. 30 Sek, mind. 15 Min. zu erbringen

- **Sekundärregel-Energie**

- PI-Regler, nach max. 15 Min. aktiv
- Spez. Kraftw.: Wasser, Pumpspeicher, Gasturbinen

- **Tertiärregelung** („Minutenreserve“):

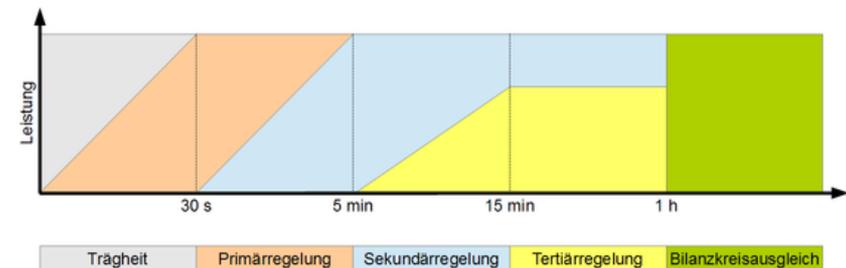
Div. Kraftw. möglich, Entlastung der S. jenseits 15 Min.

- **Quartärregelung:**

Langfristiger Ausgleich der mittleren Netzfrequenz, z.B. für Synchronuhren



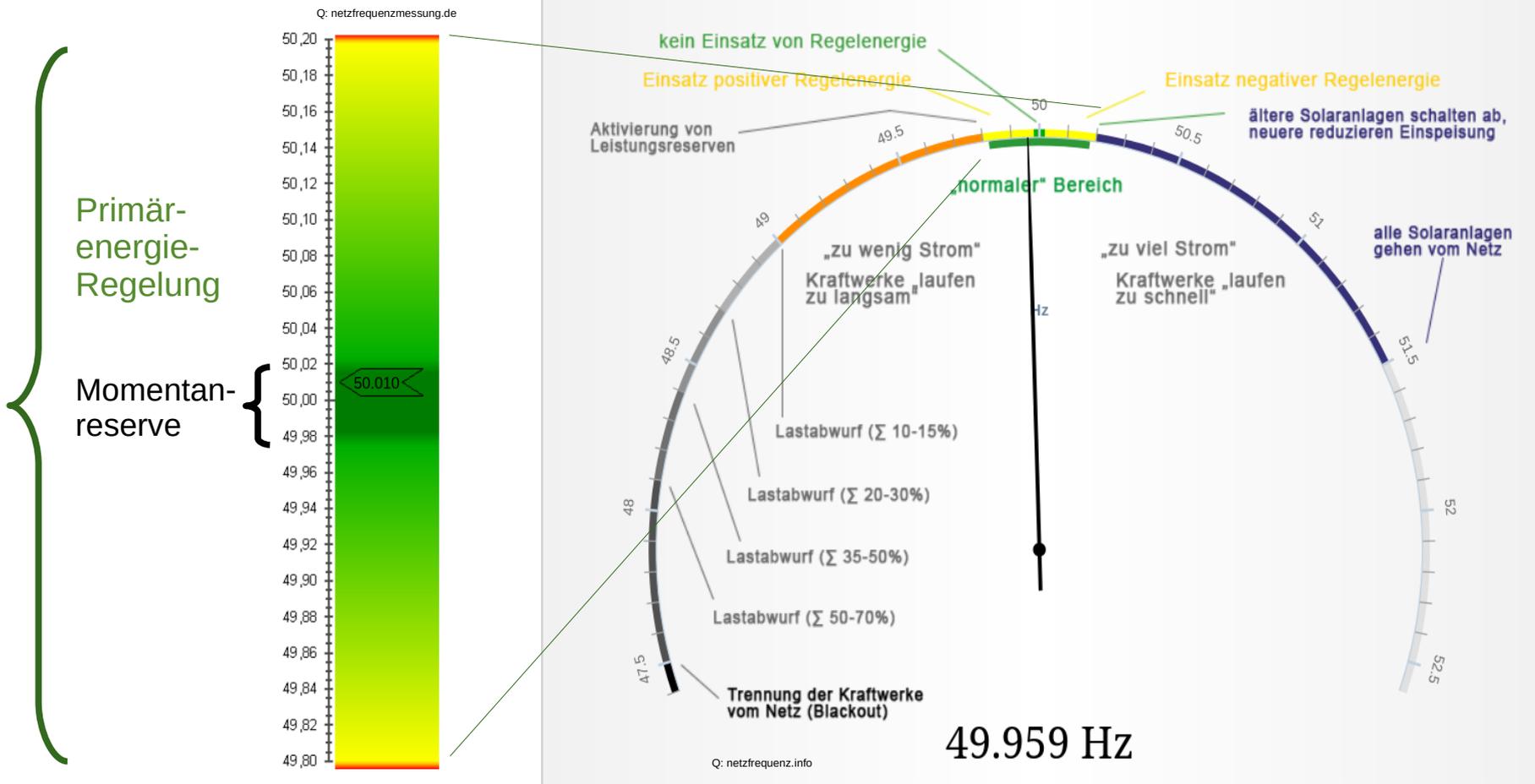
Q: <https://www.saurugg.net/das-europaeische-stromversorgungssystem/vertiefende-informationen/momentanreserve>



Q: <https://commons.wikimedia.org/wiki/User:DF5GO>

# UNSER STROMNETZ

## Frequenzregelung

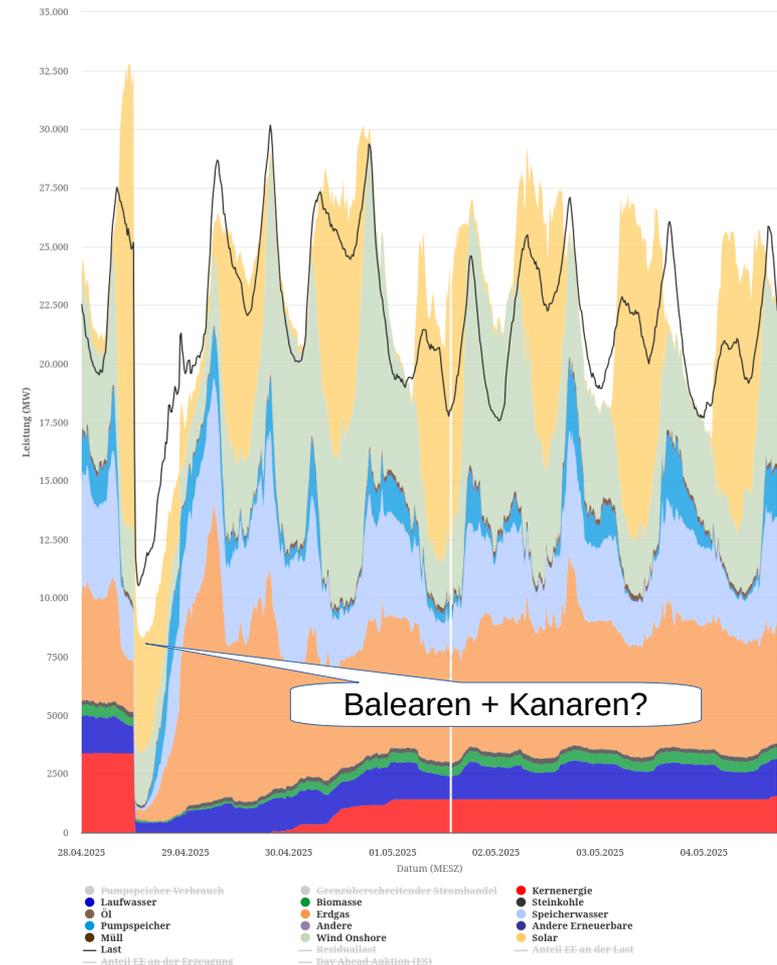


# AKTUELL: DER BLACKOUT IN SPANIEN

Was derzeit zum 28.4.25 bekannt ist:

- Hoher PV-Anteil in Spanien (19,3 GW, ca. 60%)  
„Nicht ungewöhnlich“.
- Viel Export nach Frankreich (nur 3 GW Kap.)
- 12:33 Uhr: Netzstörung oder Ausfall eines größeren PV-Parks, Provinz Granada
- Sekunden später: Weitere Ausfälle, Sevilla und Provinz Bajadoz. Defizit ges.: 2,2 GW
- → Kettenreaktion, insb.: nach insgesamt 5 Sekunden: Leitungen nach Frankreich automatisch getrennt
- → Iberisches Netz bildete eine Insel mit hohem Überschuss. → Frequenzanstieg bis Abschaltung (offenbar vieler) Erzeuger (PV?)
- Dadurch plötzlich Leistungsdefizit, Frequenz sackte ab, Trennung aller Erzeuger wegen Unterfrequenz

Öffentliche Nettostromerzeugung in Spanien in Woche 18 2025  
Originaldaten ENTSO-E



Quellen: netzfrequenzmessung.de, energy-charts.info,

<https://www.br.de/nachrichten/deutschland-welt/spanien-und-portugal-stromausfall-was-wissen-wir-faktenfuchs,UkKJHlw> (7.6.25)

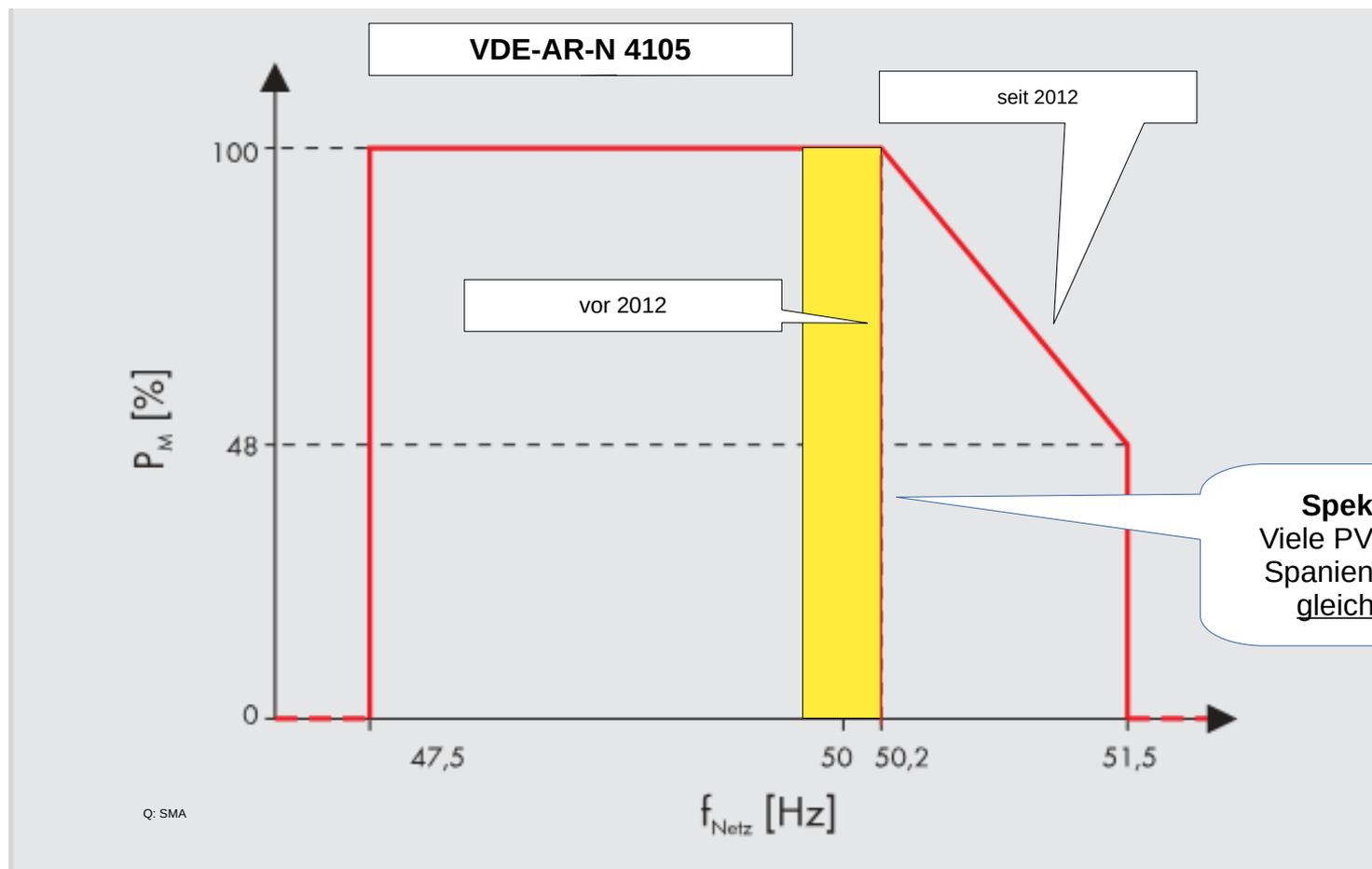
19.06.2025

Herausforderungen für unser Stromnetz – WiTechWi, Schwalbach, 11.06.2025

19

# UNSER STROMNETZ

## Abschaltverhalten von PV-Wechselrichtern



# AKTUELL: DER BLACKOUT IN SPANIEN

## Nachtrag: Ein sachkundiges Erklär-Video (3 Teile)

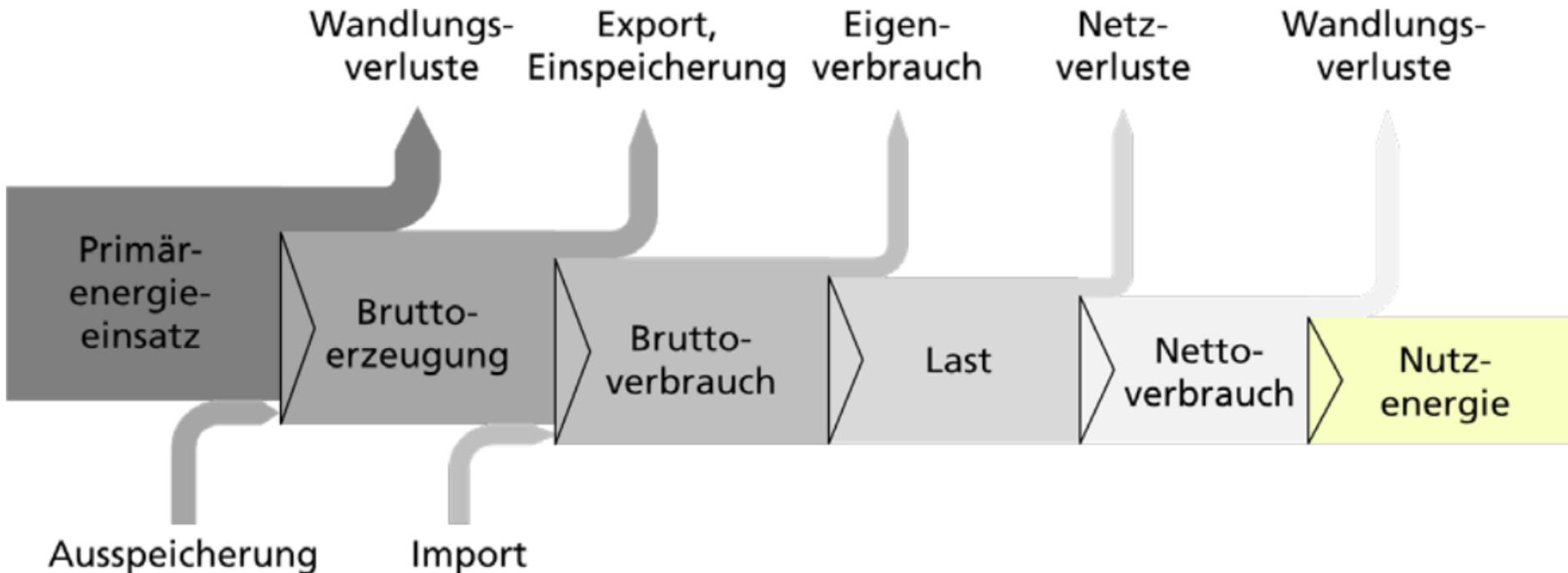
- <https://www.youtube.com/watch?v=oF5rHr0qapg&t=4s>
- <https://www.youtube.com/watch?v=DYY-yckLM4Q>
- <https://www.youtube.com/watch?v=0ImPnGyjhGw>

Etwas einfacher erklärt, vom „Akku-Doktor“:

- <https://www.youtube.com/watch?v=gOLfiv04h8E>

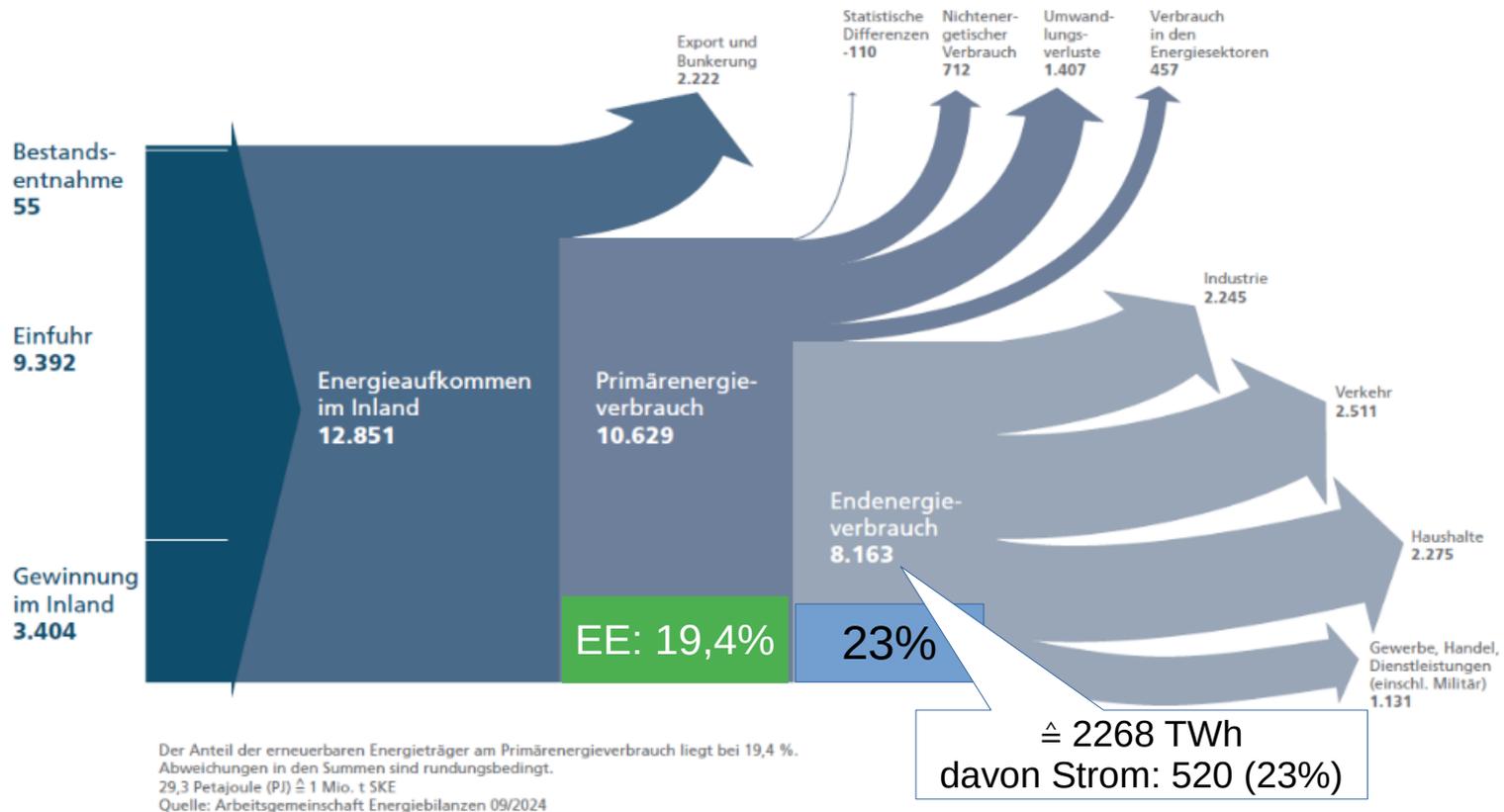
# KLIMAWANDEL UND ENERGIEWENDE

Kleine Zusammenfassung wichtiger Eckdaten



Quelle: FhG ISE (wenn nicht anders genannt: Immer „www.pv-fakten.de“)

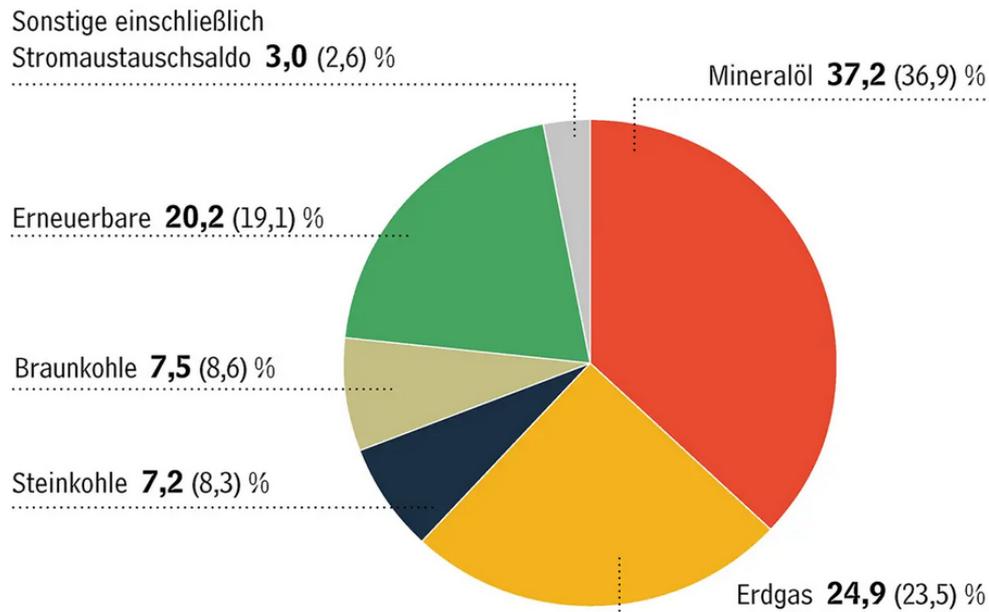
# ENERGIEFLUSSBILD, DEUTSCHLAND 2023



# PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH 2024 NACH QUELLEN

1.-3. Quartal 2024  
(Studie von 10/2024)

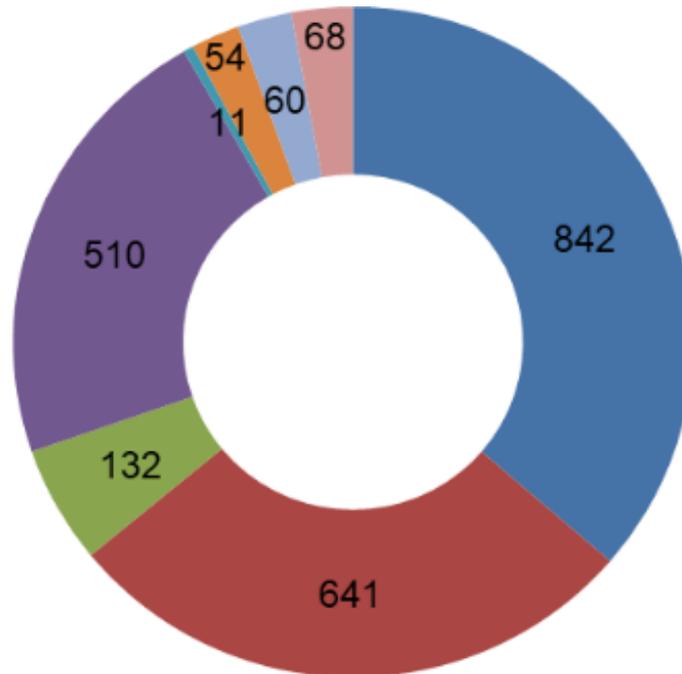
**AGEB**  
AG Energiebilanzen e.V.



Quelle: AGEB

# PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH 2020 NACH ANWENDUNGSGEBIETEN

Q: BMWK, FhG ISE

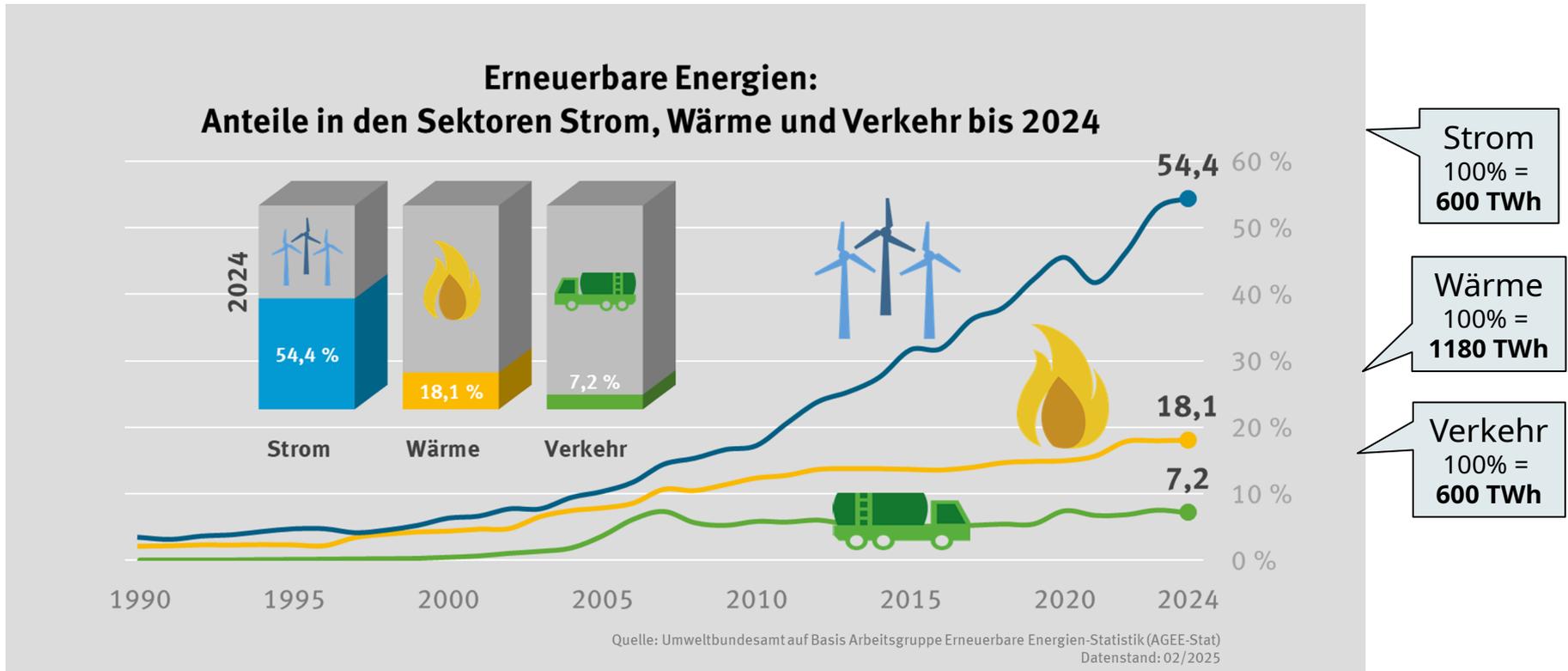


## Endenergieverbrauch [TWh]

- Mechanische Energie
- Raumwärme
- Warmwasser
- Prozesswärme
- Klimakälte
- Prozesskälte
- IKT
- Beleuchtung

# EE-ANTEILE, SEKTOREN IM VERGLEICH

Stagnation – Strom ist die positive Ausnahme!



# EE-AUSBAU: ZIELE DER BUNDESREGIERUNG BIS 2030

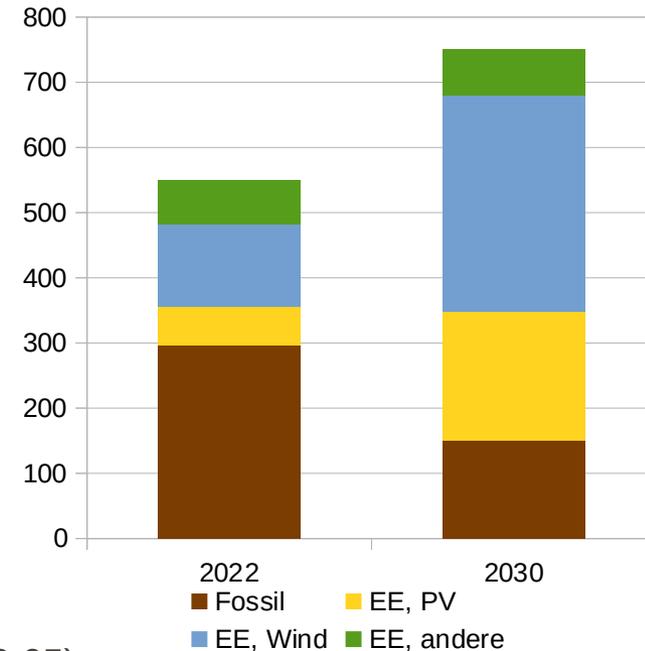
## Stand 2022

- Bruttostromverbrauch: **549,70 TWh**
- EE-Anteil: 253,96 TWh = **46,2%**
- ... am Bruttoendenergieverbrauch: 20,3%
- ... am Primärenergieverbrauch: 17,2%
- Davon PV: 67,4 GW<sub>p</sub> / 60,79 TWh  
(= 23,9% aller EE-Quellen = 11,1% des Bruttostromverbrauchs)
- Steigerbar: i.w. nur Wind und PV:  
 $100,16 + 25,12 + 60,79 = 186,07 \text{ TWh}$

## Ziel 2030

- Bruttostromverbrauch: **750 TWh**
- EE-Anteil: 600 TWh = **80%**
- Lücke also:  $600 - 254 = 346 \text{ TWh}$
- Folgerung: **Fast Verdreifachung** des Wind- (x 2,65) und PV-Sektors (x 3,26) bis 2030 erforderlich

Bruttostromverbrauch, D [TWh]



Q: AGEE-Stat, [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare\\_Energien\\_in\\_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html)

**Konsequenz: SEHR rascher Ausbau der „Erneuerbaren“ erforderlich!**

## Ausblick auf 2045

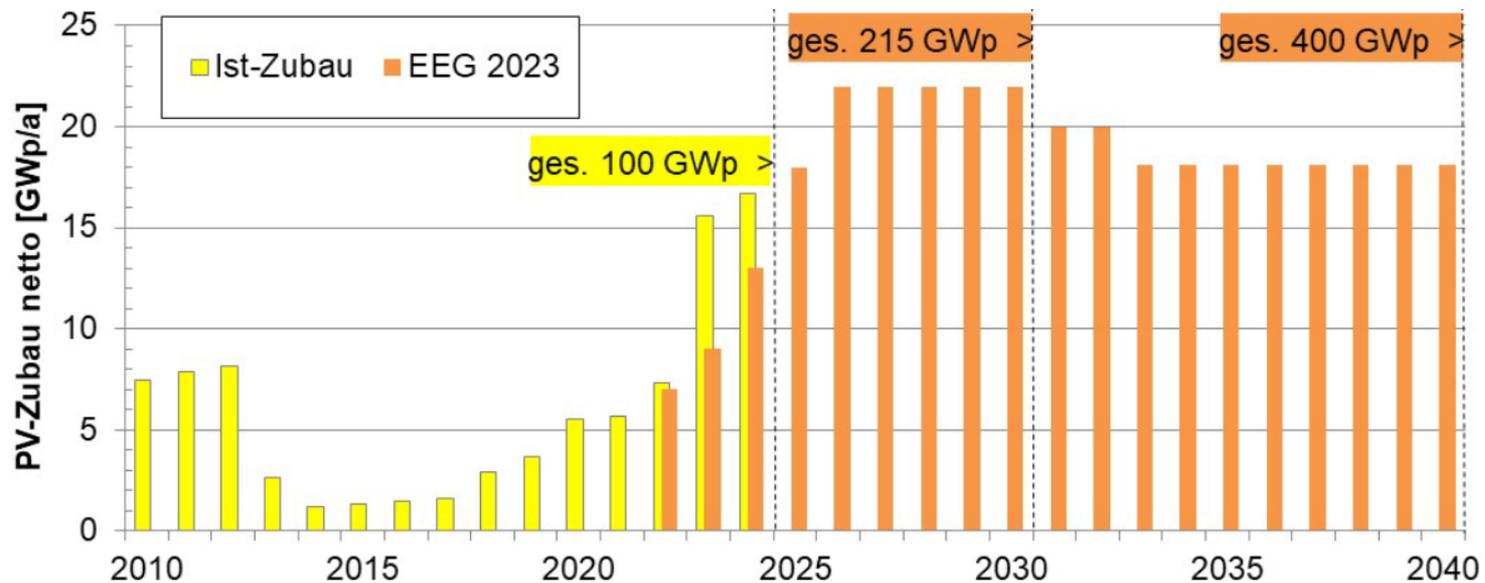
- Der gesamte Endenergieverbrauch (heute **2400 TWh**) muss klimaneutral werden
- Erreichbarkeit über Effizienzgewinne, Importe – und weiteren massiven EE-Ausbau!

# EE-AUSBAU: PLÄNE DER BUNDESREGIERUNG



Q: FhG ISE, BSW, EEG2023

2024: 100 GWp,  
4.8 Mio Anlagen  
(0.8 Mio. Stecker-Solar)



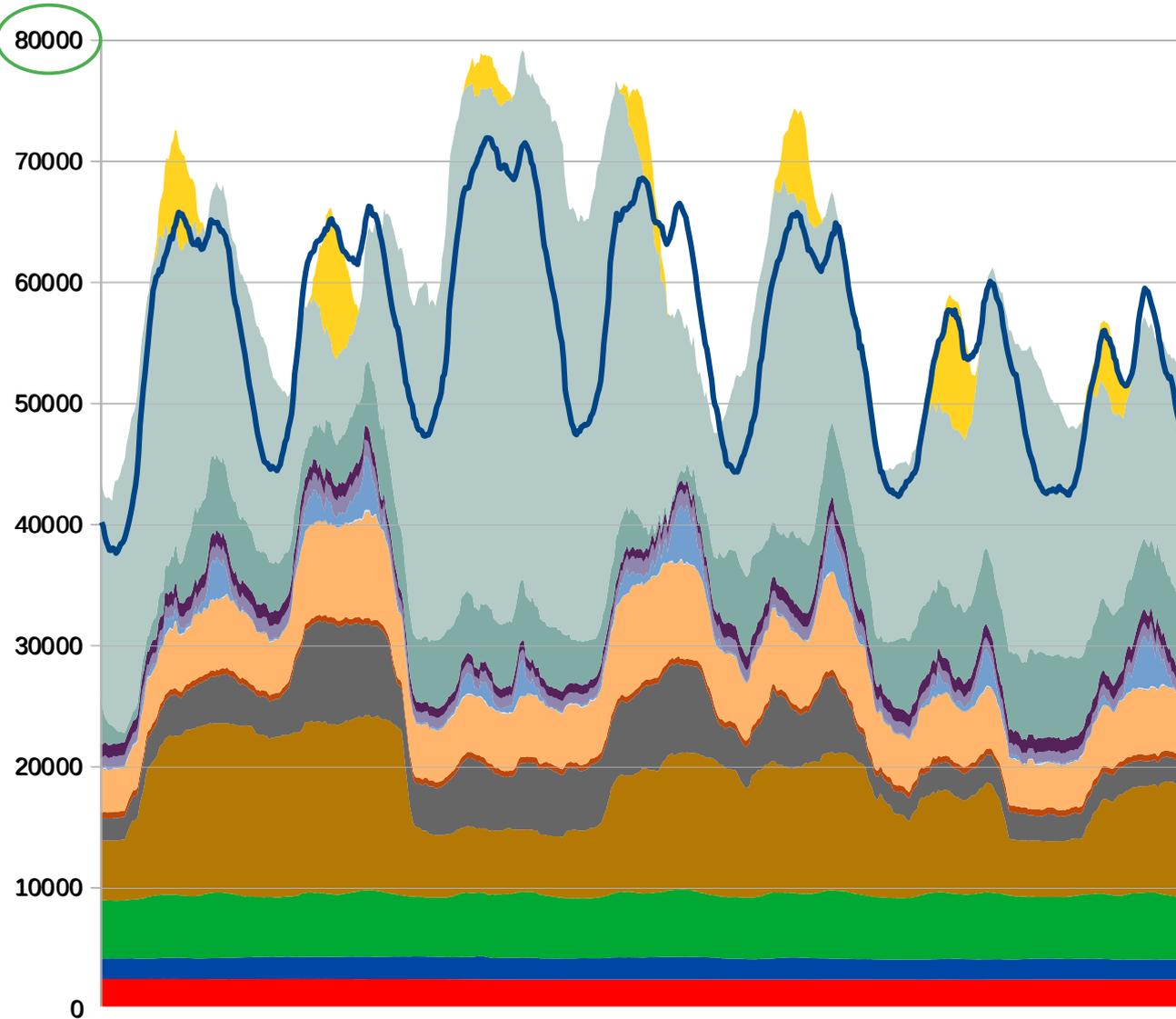
# FOLGEN DES EE-AUSBAUS FÜR DAS STROMNETZ

Eine naheliegende Extrapolation

# NETTOSTROMERZEUGUNG D 2023, WINTER



Hochschule RheinMain



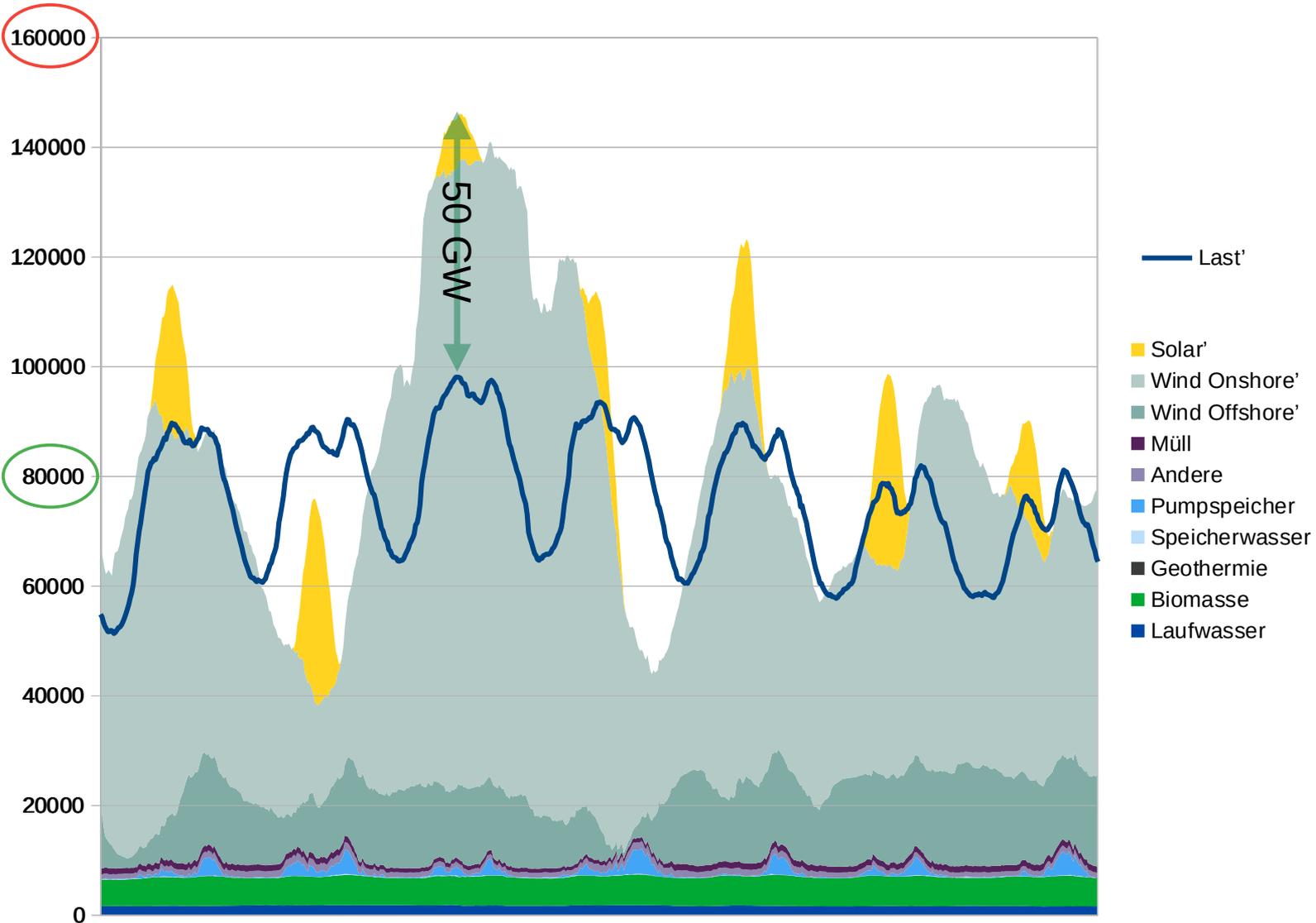
Gesamte Nettostrom-  
erzeugung, in MW

2023, Woche 1

Q: energy-charts.info

- Last
- Solar
- Wind Onshore
- Wind Offshore
- Müll
- Andere
- Pumpspeicher
- Speicherwasser
- Geothermie
- Erdgas
- Öl
- Steinkohle
- Braunkohle
- Biomasse
- Laufwasser
- Kernenergie

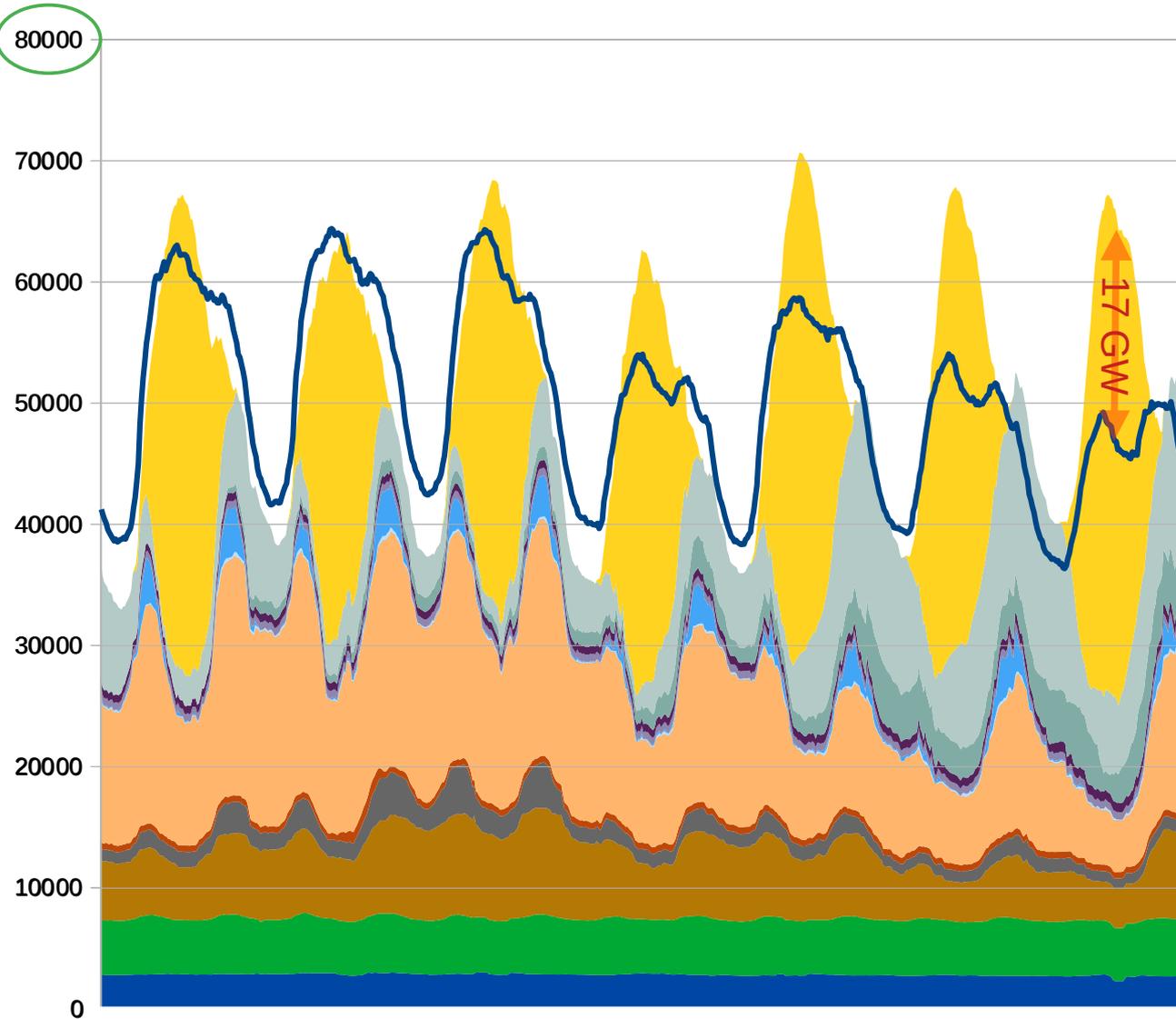
# EXTRAPOLATION FÜR 2030, WINTER



# NETTOSTROMERZEUGUNG D 2023, SOMMER



Hochschule RheinMain



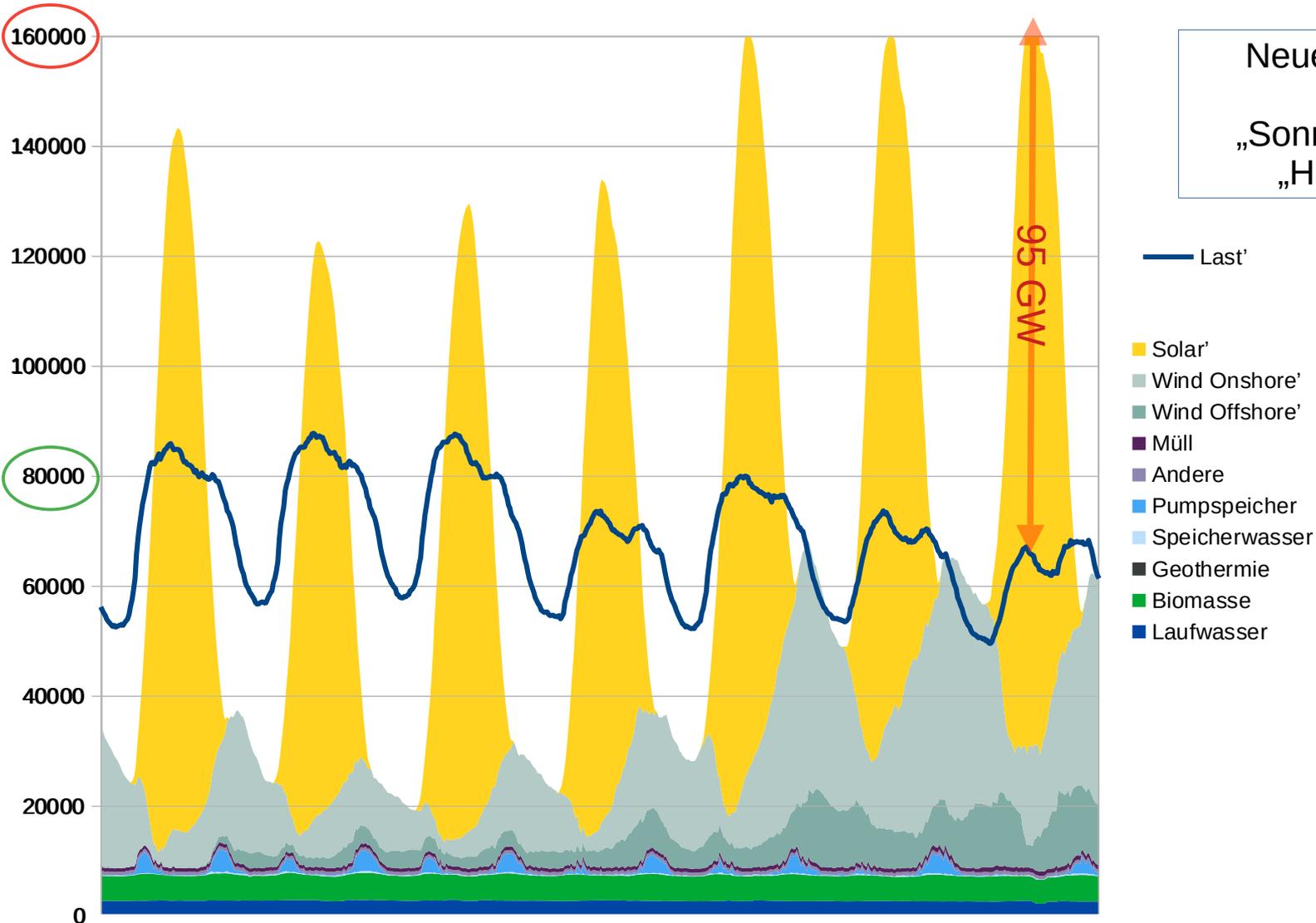
Gesamte Nettostromerzeugung, in MW

2023, Woche 23

Q: energy-charts.info

- Last
- Solar
- Wind Onshore
- Wind Offshore
- Müll
- Andere
- Pumpspeicher
- Speicherwasser
- Geothermie
- Erdgas
- Öl
- Steinkohle
- Braunkohle
- Biomasse
- Laufwasser
- Kernenergie

# EXTRAPOLATION FÜR 2030, SOMMER

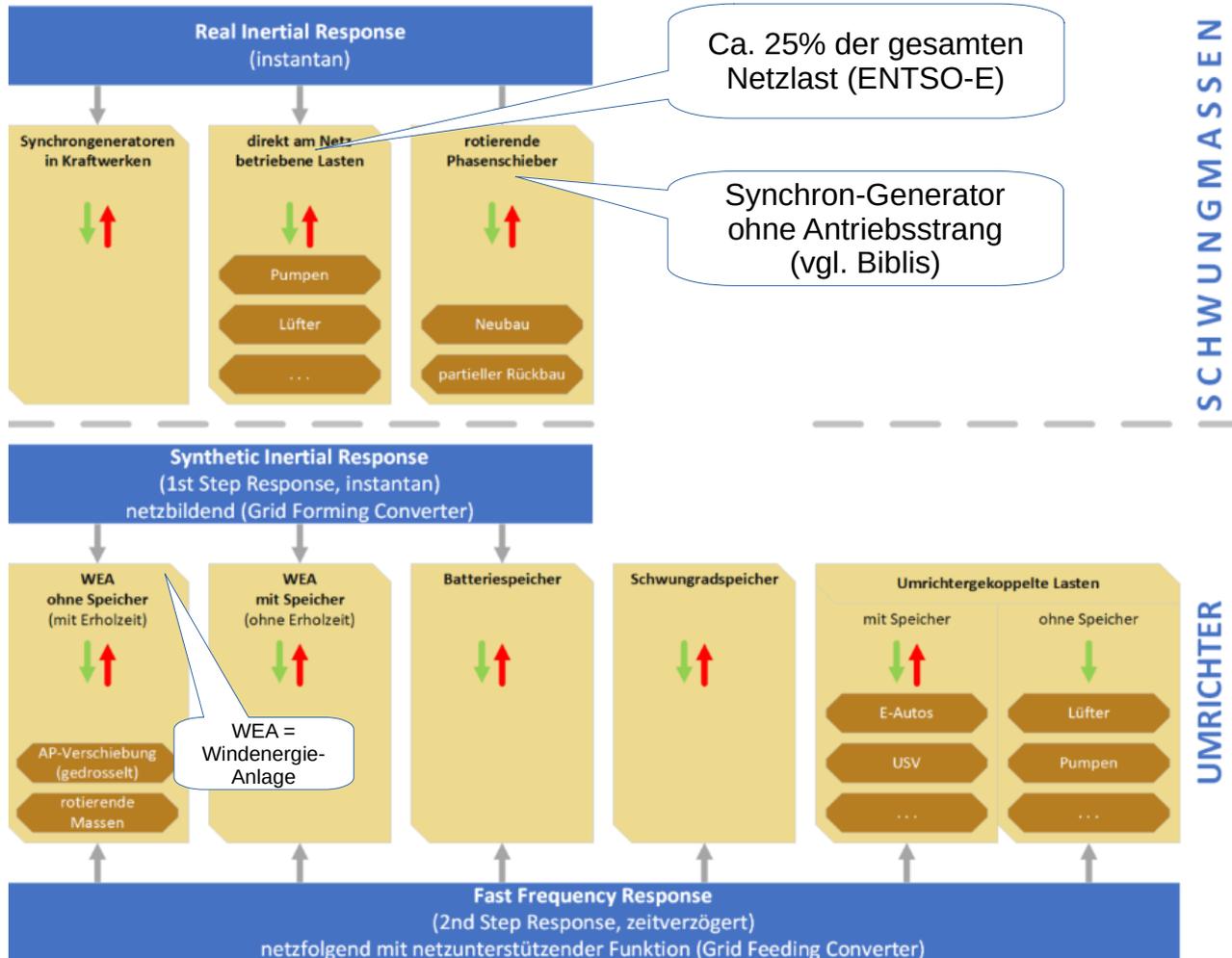


# EE-AUSBAU: AUSWIRKUNGEN AUF DAS STROMNETZ?

Naheliegende Fragen:

- **Was ersetzt die Anteile der großen Wärmekraftwerke an Momentanreserve und Primärenergie?**
  - Momentanreserve heute i.w. durch träge Massen in Turbinen/Generatoren/Synchronmotoren
  - Primärenergie: ENTSO-E: 3000 MW, davon in D: 700 MW
- **Wie lassen sich die zu erwartenden enormen Leistungsüberschüsse an sonnenreichen Tagen nutzen?**
  - Ins Ausland verkaufen? (D: 20 GW max. Leitungs-Kap. / EE-Ausbau auch bei den Nachbarn!)
  - **Zentral** zwischenspeichern (Großbatterien? Pumpspeicherkraftwerke, z.B. in Norwegen?)
  - Chemisch speichern (insb. Elektrolyse mit  $\approx 100$  GW Spitzenleistung?)
    - Kosten? Wirtschaftlichkeit? (nicht heutiges Thema)
  - **Dezentral** zwischenspeichern (Gebäudeakkus; BEV-Akkus, bi-di, V2G?)
    - Heutiger Schwerpunkt! Kernfrage:
    - Wie lässt sich die Bereitstellung solcher Flexibilitäten erreichen?

# OPTIONEN BEI DER MOMENTANRESERVE



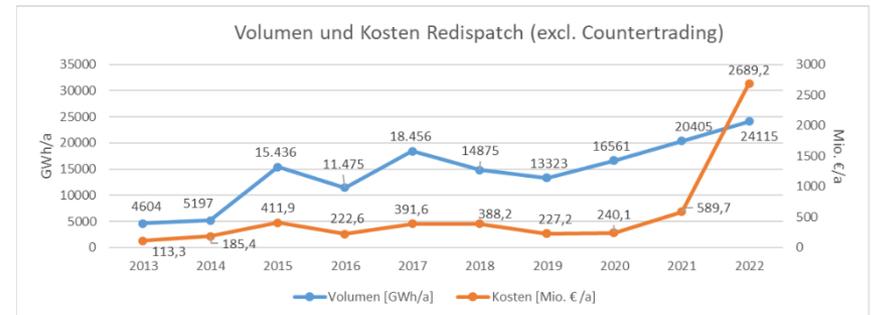
Q: U Rostok, urn:nbn:de:gbv:9-aa-000008-8  
[https://www.researchgate.net/publication/351457310\\_Momentanreserve\\_in\\_einem\\_uberwiegend\\_EE-basierten\\_Stromsystem\\_-\\_Eine\\_interdisziplinare\\_Einfuehrung\\_unter\\_Beruecksichtigung\\_technischer\\_ekonomischer\\_und\\_juristischer\\_Aspekte](https://www.researchgate.net/publication/351457310_Momentanreserve_in_einem_uberwiegend_EE-basierten_Stromsystem_-_Eine_interdisziplinare_Einfuehrung_unter_Beruecksichtigung_technischer_ekonomischer_und_juristischer_Aspekte)

Ideal für:

- **Großbatterien**
  - Zentral planbar, gesicherte Verfügbarkeit, ausreichende Leistung und Zeitdauer, sehr schnell
  - Besonders leicht ins Netz integrierbar an bisherigen Standorten von Wärmekraftwerken (HS-Netz!)
- **Virtuelle Kraftwerke**
  - Zentrale Steuerung einer Vielzahl kleiner stationärer Batterien
  - Bündelung vieler kleiner Anlagen zu einzelnen Bilanzkreisen, damit Teilnahme am Energiemarkt
  - Dezentrale Netzeinbindung, daher automatische Lastverteilung
- **Trend:** Preisverfall durch steigenden Batterie-Anteil

## Schutz vor Netzüberlastungen:

- Situation:
  - Es gibt zwar insgesamt ausreichend elektrische Energie im Stromnetz, aber keine ausreichende Leitungskapazitäten auf dem Weg zwischen Erzeugungs- und Verbrauchsorten
- Maßnahmen:
  - Abregelung von Erzeugungsanlagen in der Überschuss-Zone
  - Hochfahren von Reservekapazitäten nahe der Verbrauchsorte
- Beispiel:
  - Windenergie-Anlagen im Norden, hoher Verbrauch im Süden
- Nachteile:
  - Kosten (Entschädigung für abgeregelte Anlagen, höhere Strompreise der Ersatz-Erzeuger)
  - Bilanzkreis-Ausgleich, Kostenausgleich erforderlich, oft Verringerung des EE-Anteils
  - Trend: Stark zunehmend!
- Abhilfe:
  - Netzausbau!



Q: [https://www.bdew.de/media/documents/BDEW-Redispatch\\_Bericht\\_2023\\_zum\\_Berichtsjahr\\_2022.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/BDEW-Redispatch_Bericht_2023_zum_Berichtsjahr_2022.pdf)

# AKKUS: POTENZIALE FÜR KURZZEIT-SPEICHERUNG

Eckdaten und Schätzungen  
Heim-Speicher  
Elektromobilität

# AKKUS: STATUS, BEDARF, POTENZIAL

## Großspeicher (typ. 2 Std. zum Be- bzw. Entladen)

03/2025: **1,8** GWh  
 Projekte: Aquila Clean Energy, Kyon Energy, Eco-Stor, LEAG...  
 2026: **7** GWh (Enervis-Studie) [3,5 GW?]

1,8

7

## Heim- und Gewerbespeicher:

2024: **13** (Heim) + **1,1** (Gewerbe) GWh

14,1

## Alle stationären Speicher in D:

2024: **18** GWh, 12 GWp

18

## Vergleich: Pumpspeicherwerke (Q: Wikipedia, Energy Charts):

2024: **37,7** GWh, 7 (10) GW  
 Typ. 2 Vollzyklen pro Tag, 70..79% Wirkungsgrad

37,7

## Vergleich: Alle 1,6 Mio BEV in D:

2024: ca. **64** GWh (bei 40 kWh pro Fahrzeug)

64

## FhG ISE-Studie („erforderliche Kapazität“)

Bis 2030: **83** GWh  
 Ende 2045: 178 GWh

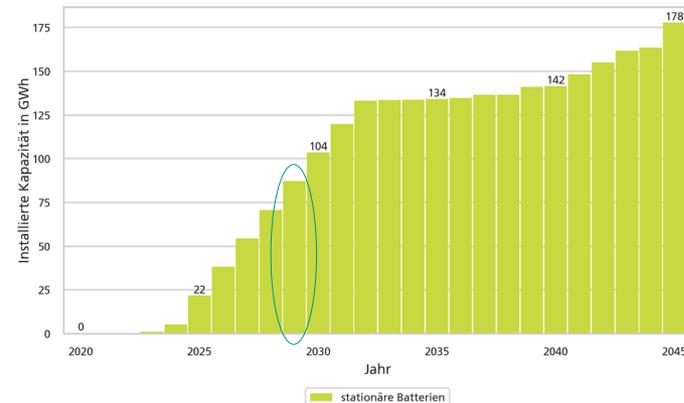
83

## Abschätzung zum Potenzial, Heim (WE = Wohneinheit)

Bis 2045: 43,4 Mio WE \* 5 kWh/WE = **217** GWh

## Abschätzung zum Potenzial, PKW (BEV)

Bis 2045: 40 Mio BEV \* 75 kWh/BEV = 3000 GWh  
 20% „parkende“ Kapazität netzdienlich einbeziehen:  
 3000 GWh \* 95% \* 20% = **570** GWh

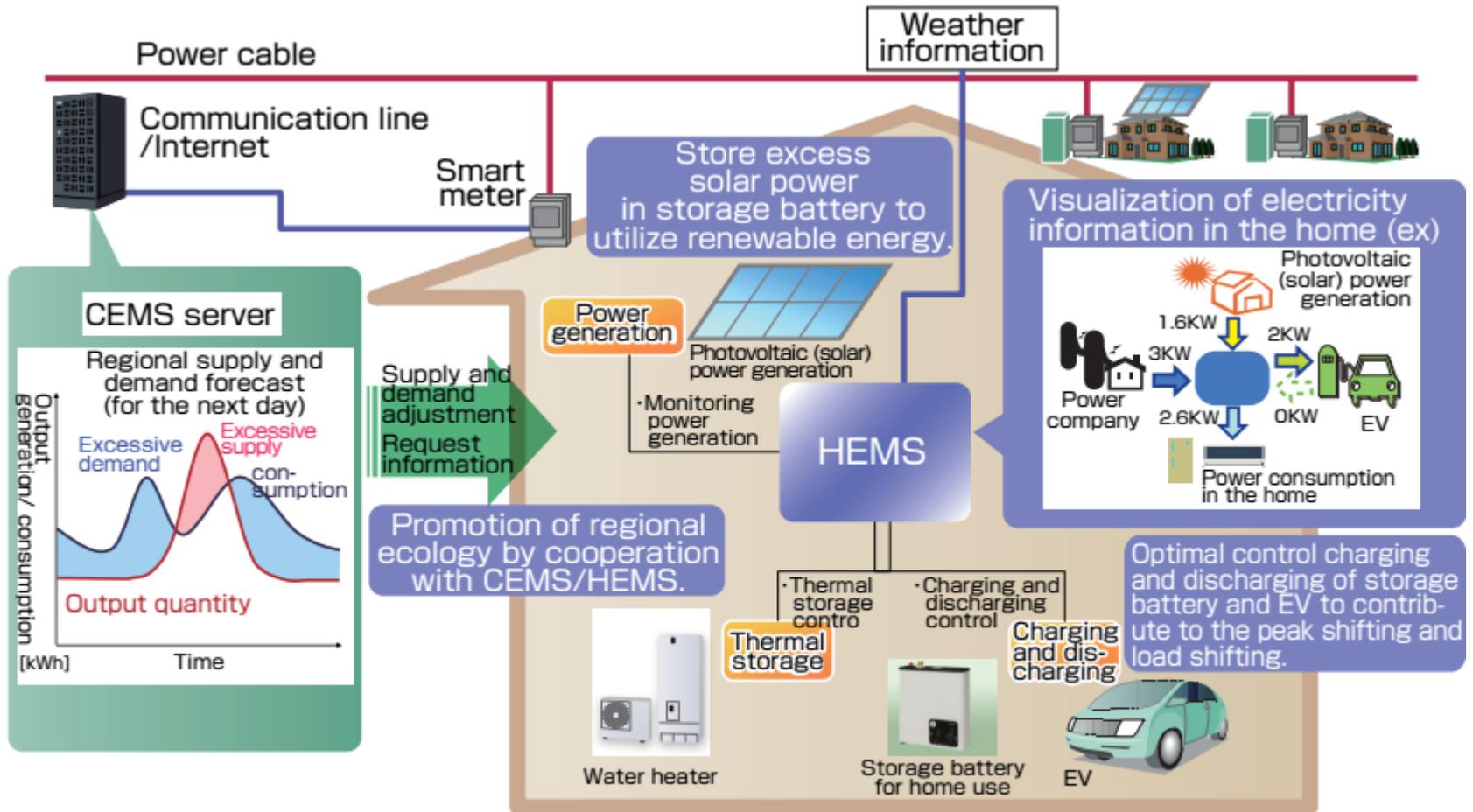


Q: ingenieur.de, FhG ISE, <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2022/fraunhofer-ise-kurzstudie-batteriegrossspeicher-an-ehemaligen-kraftwerksstandorten-sinnvoll.html>

# STATIONÄRE SPEICHER FÜR DAHEIM

Gesamt-Szenario  
Heim-Speicher für PV-Anlagen; Autarkie  
Smart Meter

# STATIONÄRE SPEICHER DAHEIM: SZENARIO

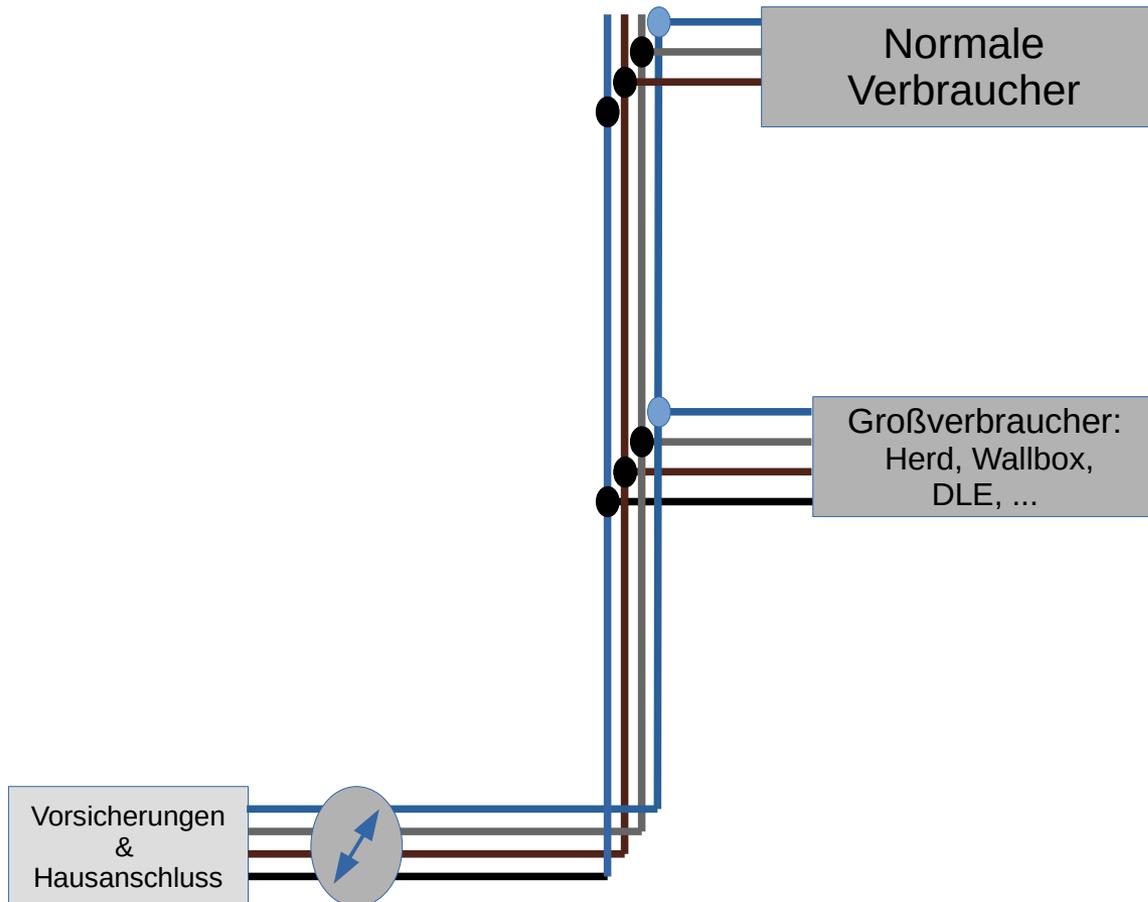


CEMS: Community Energy Management System  
 EV: Electric Vehicle  
 HEMS: Home Energy Management System

# NORMALE HAUSHALTE:

Netzdienlichkeit nur durch zeitflexibles Verhalten

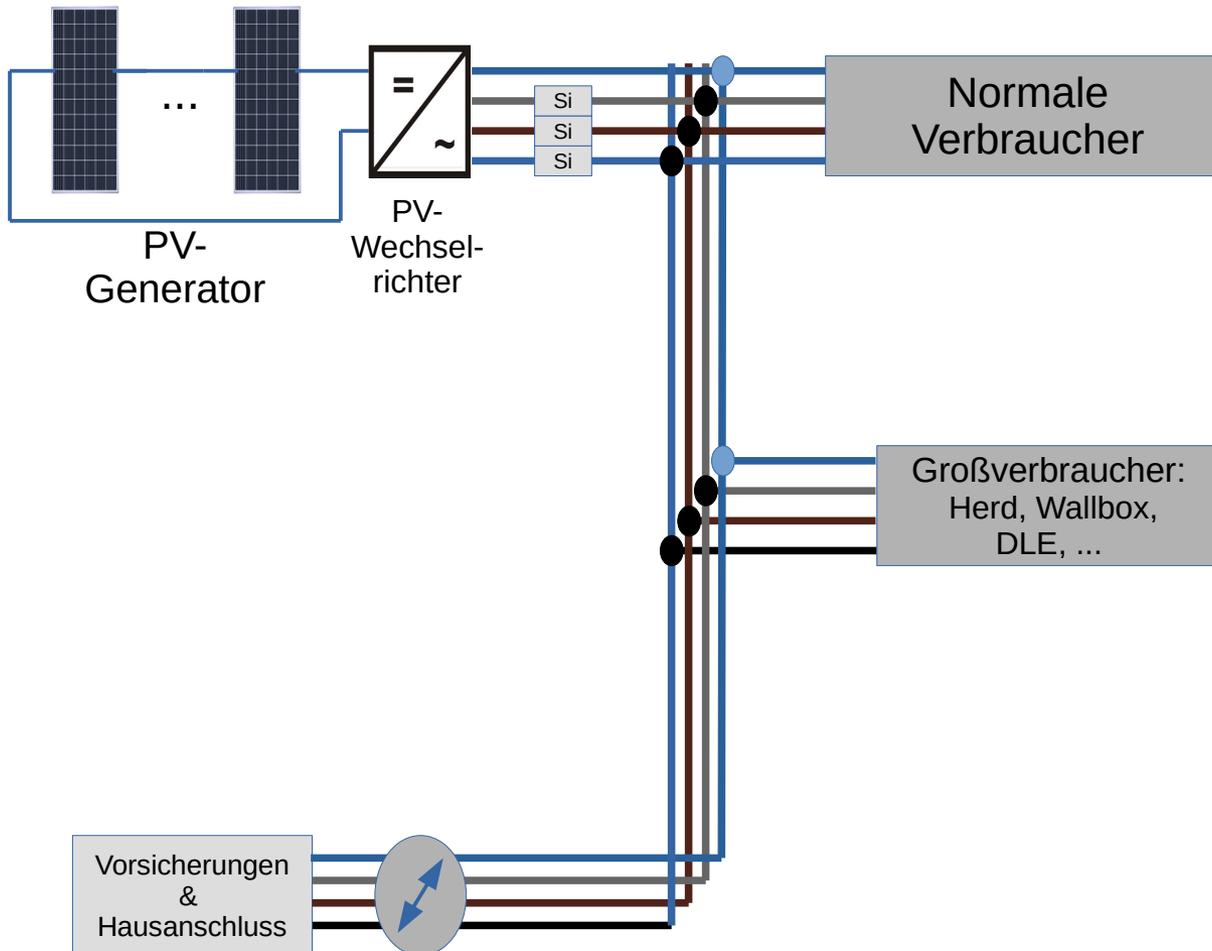
→ Zeitabhängige Stromtarife (und möglichst auch Netzentgelte!)



# HAUSHALTE MIT PV-ANLAGE

Netzdienlichkeit ebenfalls nur durch zeitflexibles Verhalten

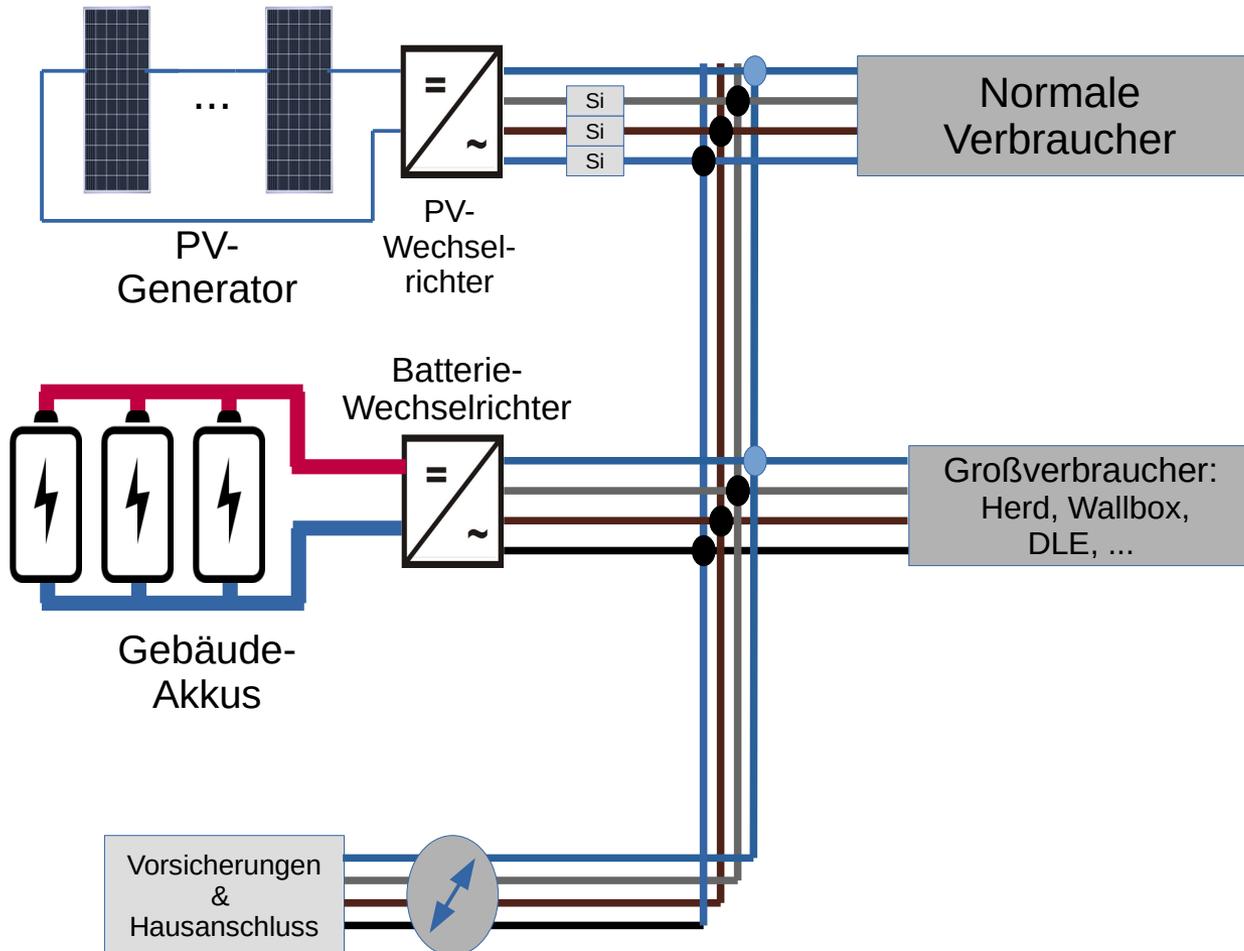
Netzentlastung, aber auch -belastung durch PV-Anteil möglich



# HAUSHALTE MIT PV-ANLAGE UND AKKU

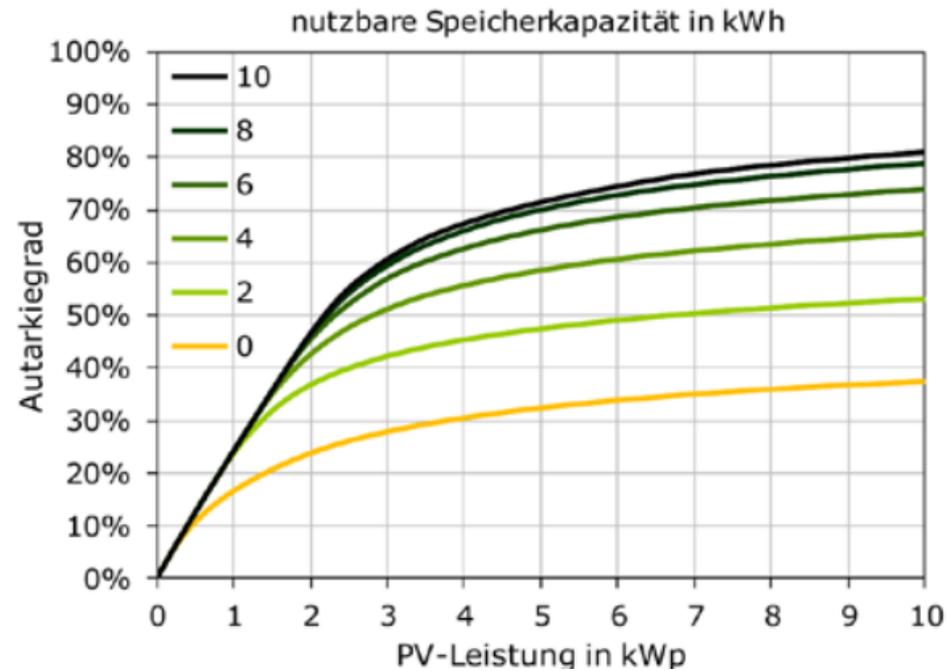
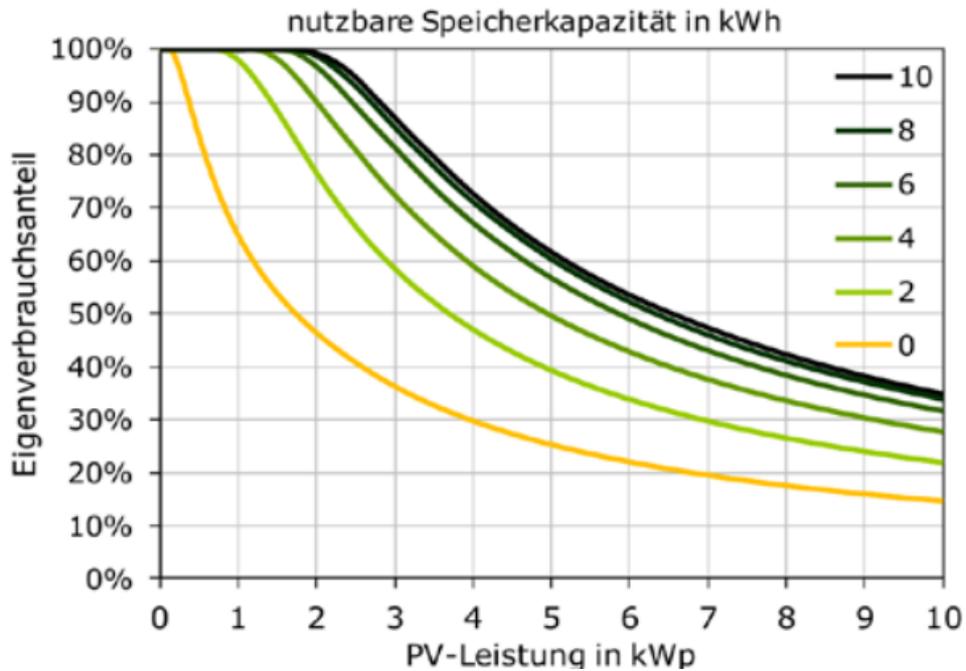


Netzdienlichkeit und Komfort besser vereinbar, aber  
Akku muss dazu auch netzdienlich gesteuert werden!



# WAHL DER RICHTIGEN HEIMAKKU-GRÖßE

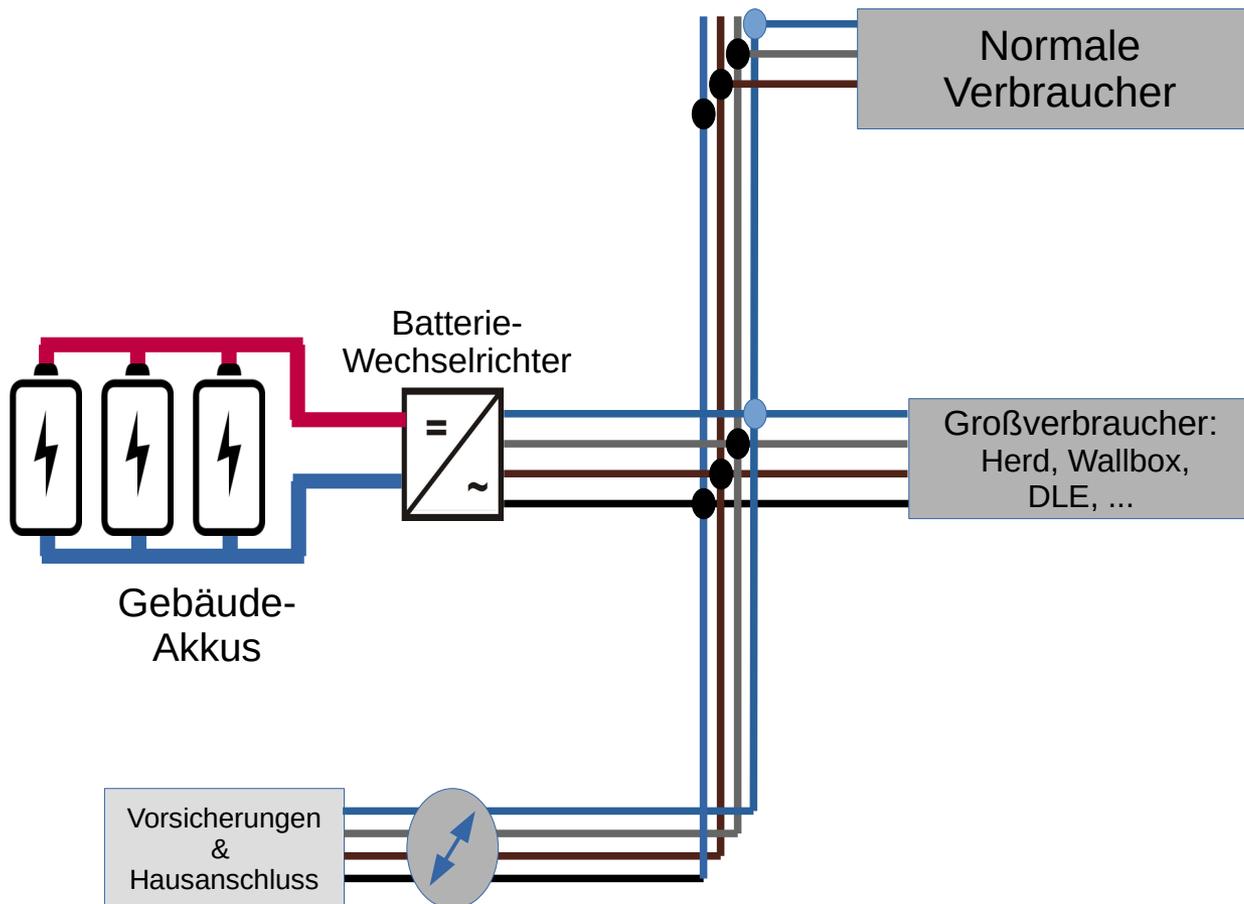
Q: HTW, FhG ISE



Eigenverbrauchsanteil (l) (Annahme: Jahresverbrauch: 4000 kWh) Autarkiegrad (r)

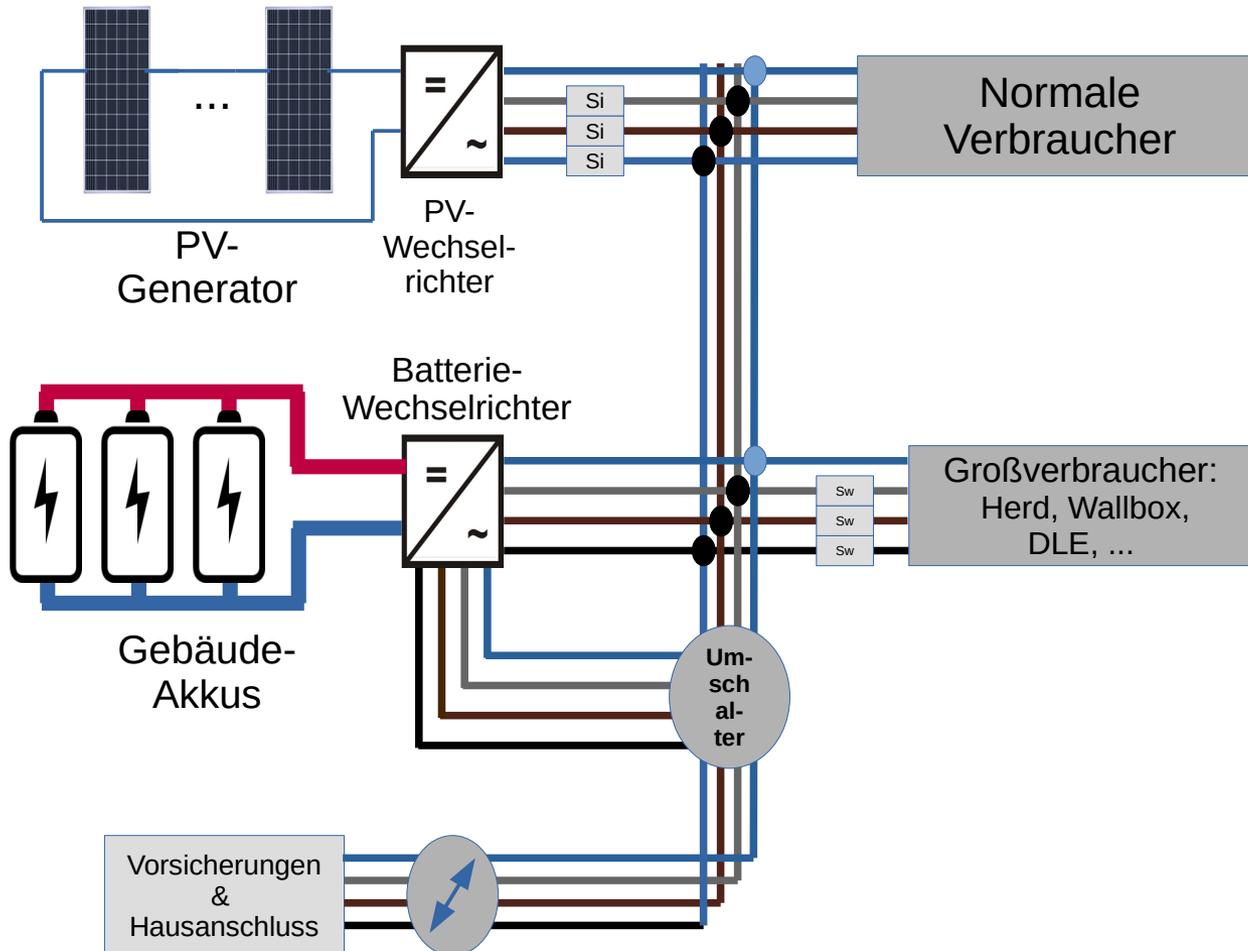
# HAUSHALTE MIT AKKU, OHNE PV:

Akkubetrieb kann auch z.B. bei Mietwohnungen sinnvoll sein, etwa zur Nutzung von variablen Stromtarifen



# RESILIENTE HAUSHALTE:

„Inselfähige“ Anlagen aus Solaranlagen + Batteriespeichern können auch lang andauernden Blackouts den Schrecken nehmen



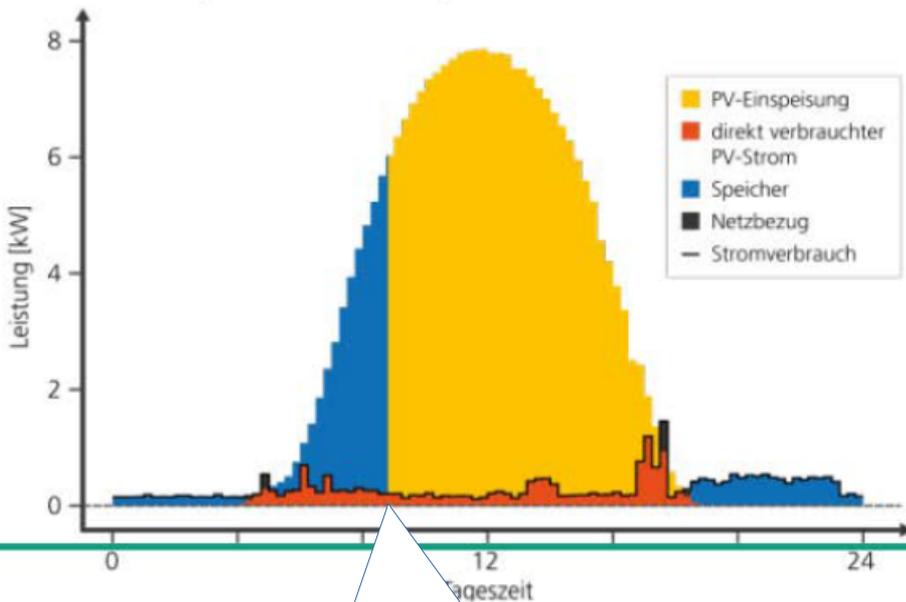
# „PROGNOSEBASIERTE“ BATTERIESTEUERUNG



Hochschule RheinMain

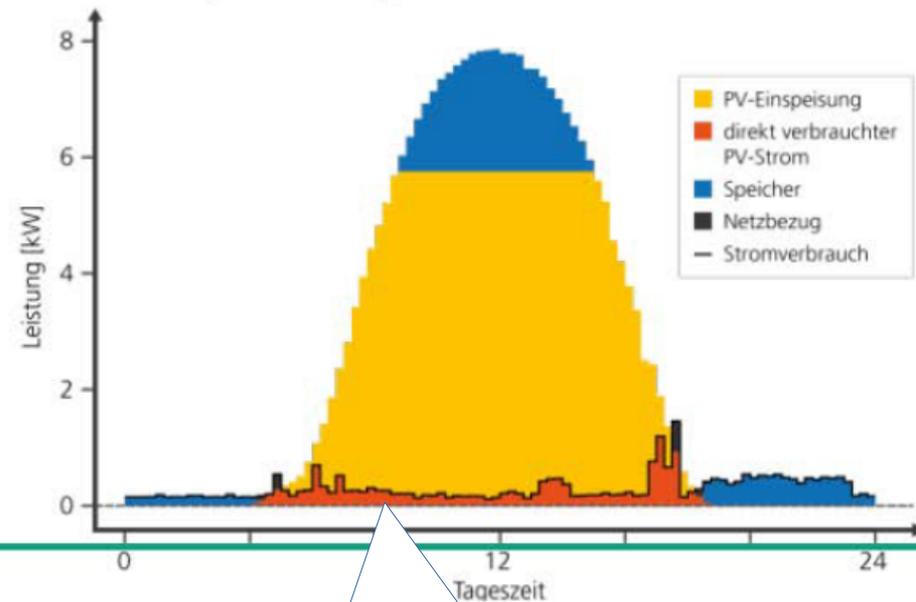
Q: FhG ISE

BATTERIEBETRIEB (NICHT NETZOPTIMIERT)



**Heutiger Normalfall:**  
Akkus laden mit Morgenlicht  
Volle PV-Einspeisung ab Mittag

BATTERIEBETRIEB (NETZOPTIMIERT)



**Gewünscht: Prognosebasiert**  
Akkus absorbieren die  
„Mittagsspitze“ (je nach Wetter)

# SOLARSPITZENGESETZ, SEIT 25.02.2025



## PV-Anlagen ohne iMSys („Smart Meter“):

Kappung der Einspeiseleistung auf 60% der max. Pannelleistung  
 Lokale Nutzung des Rests (insb. zum Akku-Laden) ok  
 Anlagen bis 2 kWp ausgenommen (insb. Steckersolaranlagen)  
 Realisierung?

## PV-Anlagen mit iMSys:

Keine EEG-Vergütung zu Zeiten negativer Strompreise  
 Abschaltung durch Netzbetreiber mit „Steuerbox“ möglich  
 Anlagen ab 7 kWp: Smart Meter-Pflicht!

## Zweck:

Kostenneutrale Maßnahme zur Reduktion von zu viel PV-Strom  
 im Netz, Anreize zur lokalen zeitflexiblen Nutzung der PV-Erträge

## Mögliche Hindernisse:

IMSys-Verbreitung zu langsam, zu teuer  
 Einfach bei Hybrid-Wechselrichtern, aber schwierig bei  
 gemischten Anlagen, Wallbox-Steuerungen etc. (s.o.)  
 IMSys-Schnittstellen kaum verwendbar:

- Veraltete HTML-Schnittstelle:  
<https://192.168.1.200/cgi-bin/hanservice.cgi>
- Daten lokal nur im 15-Minuten-Takt verfügbar
- REST API erst 12/2024 vom BSI spezifiziert, davor „TrUDI“ (PTB)
- API sehr kompliziert!

Q: ingenieur.de, FhG ISE, <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2022/fraunhofer-ise-kurzstudie-batteriegrossspeicher-an-ehemaligen-kraftwerksstandorten-sinnvoll.html>



„Moderne  
 Mess-  
 einrichtung  
 (mME)“

Opt. D0-  
 Schnittstelle

Q: <https://www.waz.de/staedte/gladbeck/article209949693/verbraucherzentrale-die-digitalen-stromzaehler-kommen.html>



„Smart  
 Meter  
 Gateway  
 (SMGW)“

HAN-Anschluss

Q: <https://www.ppc-ag.de>

„Intelligentes  
 Mess-System“  
 (iMSys),  
 „Smart Meter“

Opt.: „Steuerbox“  
 (S1, S2, W3, W4)

Q: <https://www.theben.de>



# POTENZIAL MOBILER SPEICHER

Eckdaten  
Hindernisse

# BEV-SPEICHER: SMART CHARGING

## Potenzial:

KBA, 2024: > 49 Mio. zugelassene PKW in Deutschland  
„Verbrenner-Verbot“ ab 2035, mittl. PKW-Alter 2024: 10,3 Jahre  
→ In 2045 bilden BEV die überwiegenden Mehrheit

## Akku-Größen:

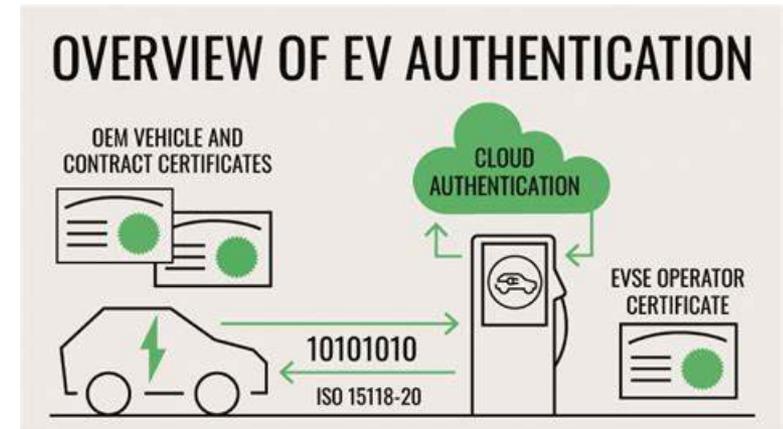
Umfragen: Mehr als 600 km Reichweite nur selten gefordert  
Mittelklasse, 15 kWh/100km → Akkus bis 100 kWh genügen!  
Mittelwert wird geringer ausfallen: Stadtautos, günstige Autos  
Preisentwicklung: Spekulativ!  
2024: 115USD/kWh, 2026 um 100 USD (95€) /kWh erwartet  
Also: < 5000 € für 50kWh-Paket in Sicht

## Szenario 2045 (ohne LKW):

40 Mio BEV mit im Mittel 75 kWh-Akku = 3000 GWh, > 400 GW  
KBA: PKW parken mehr als 23 Stunden pro Tag!  
Wenn auch nur 10% davon am Netz sind und je 20% ihrer  
Akku-Kapazität für Stromhandel/Netzdienstlichkeit einbringen:  
**60 GWh, 40 GW** (Mehrfaches aller Pumpspeicher-Kraftwerke!)

## Mögliche Hindernisse:

Zu wenige Ladepunkte (EVSE)  
- Geeignet: EVSE für geringe Leistung, aber lange Standzeiten  
Falsche Technik zwischen BEV und EVSE  
- **ISO 15118-20** erforderlich  
Fehlende Regelungen für V2G (Netzentgelte, Steuern?)  
Keine Prozesse im „OPCC 2.x Backend“  
Kein bi-direktionaler Betrieb (BEV muss es zulassen, DC-Laden!)  
- AC oder DC? BEV-Hersteller sind sich noch nicht einig  
Ökonomischer Anreiz fehlt  
Einfache Nutzung im Alltag erforderlich (Plug&Charge)



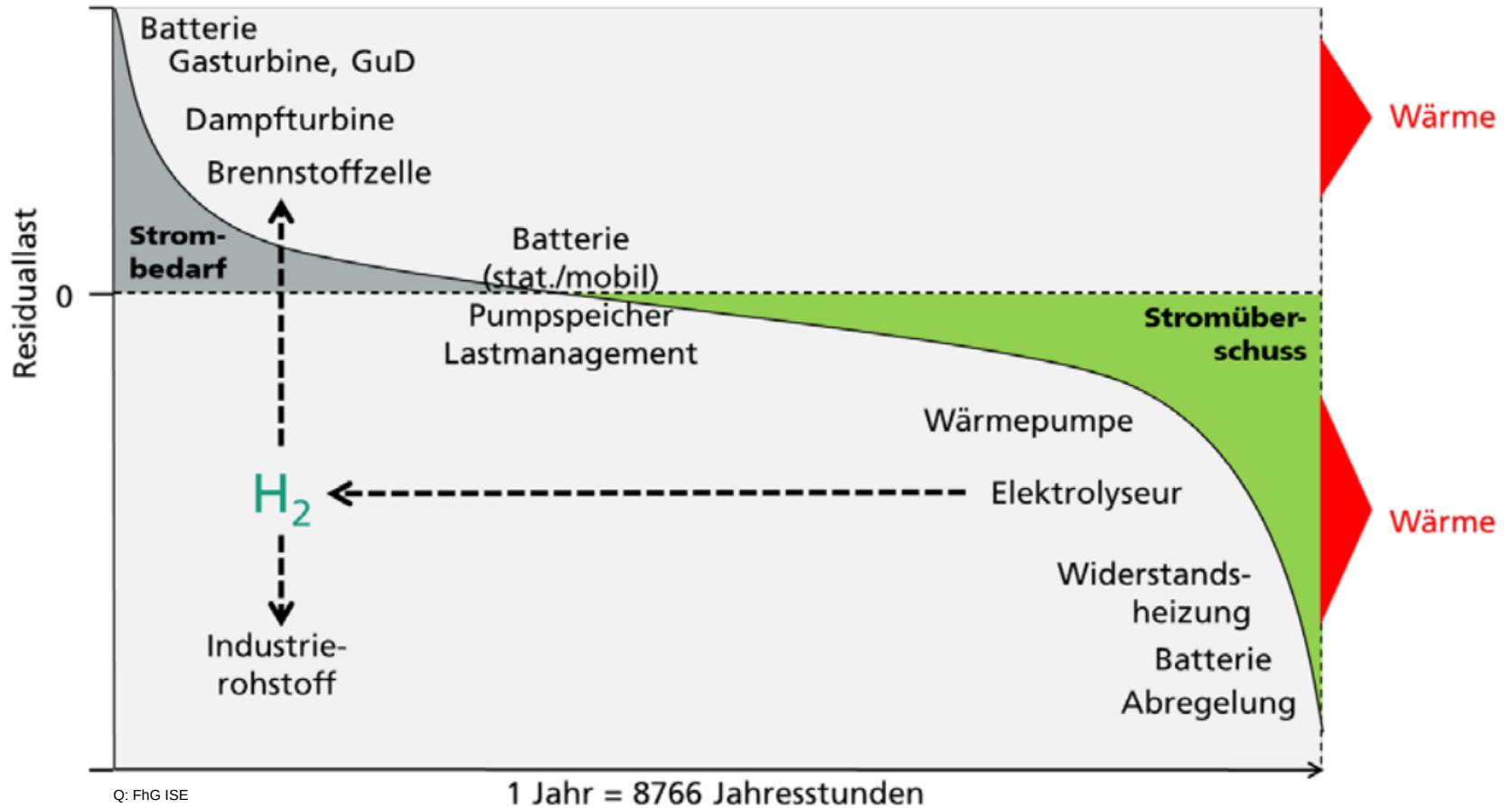
Q: <https://electronics-sourcing.com/2022/08/05/a-global-view-on-ev-charging/>

**Fazit:** Großes Potenzial ohne  
Zusatzinvestitionen in Akkus,  
aber besonders viele Komponenten  
und Beteiligte einzubeziehen

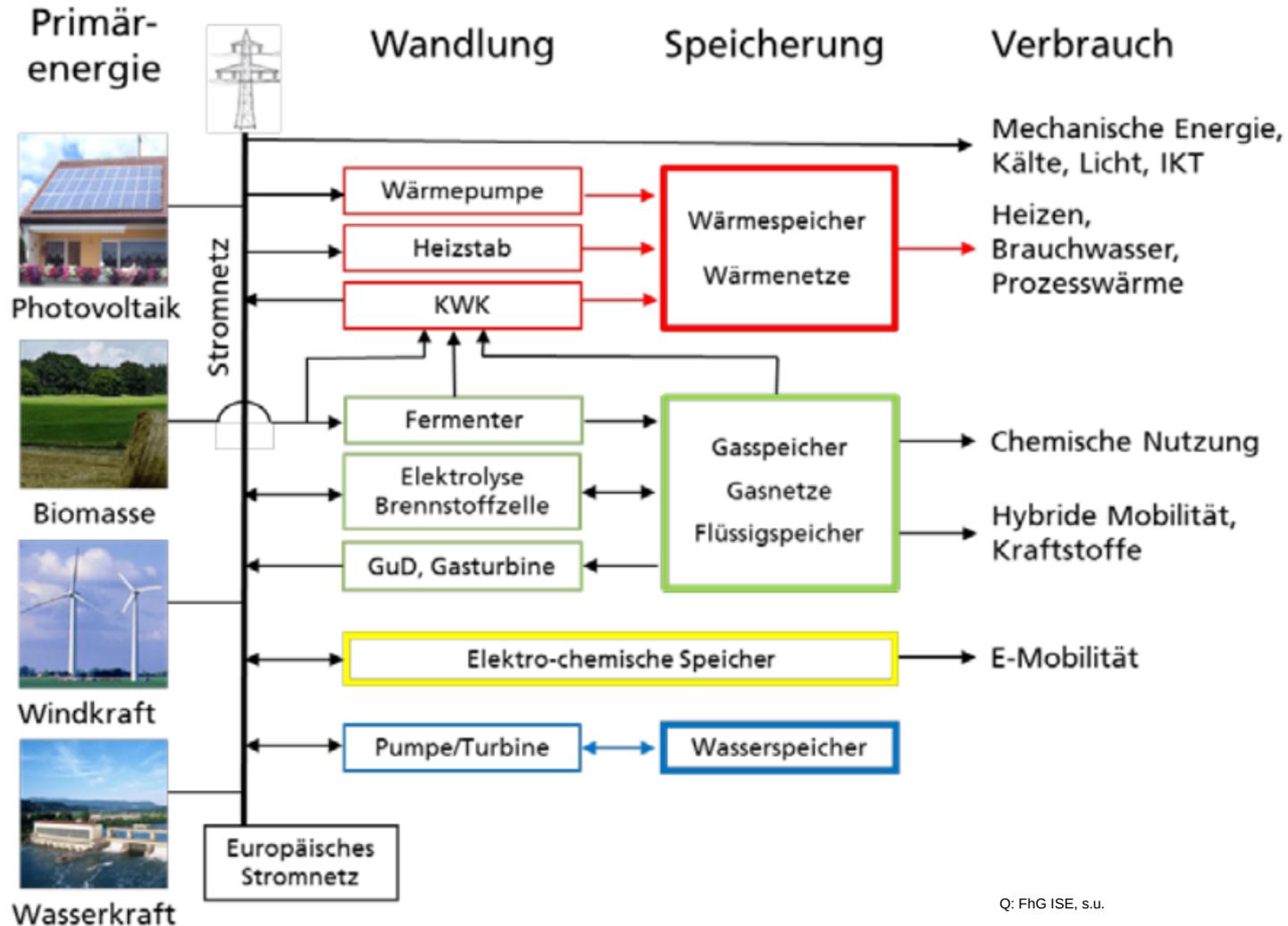
# ZUM SCHLUSS: SZENARIO 2045

Eckdaten vom Fraunhofer ISE

# RESIDUALLAST-KURVE BEI 100% EE



# SZENARIO 2045, ÜBERSICHT



Q: FhG ISE, s.u.

# SZENARIO 2045: AUSBAUZIELE

Nennleistung	2024		2045 Szenario „Technologieoffen“
<b>1. Primärerzeugung</b>	100 GW <sub>p</sub>	➡	471 GW <sub>p</sub> PV, im Netz max. 329 GW (70%)
	73 GW <sub>p</sub>	➡	308 GW <sub>p</sub> Wind, Land + See
<b>2. Gaskraftwerke</b>	37 GW <sub>p</sub>	➡	146 GW <sub>p</sub> H <sub>2</sub> -ready, auch GuD, KWK
<b>3. Batterien</b>	12 GW <sub>p</sub>	➡	[397 GW <sub>p</sub> ] [Nennleistung ≈ Kapazität / 1 h]
<b>4. Wärmepumpen</b>	[10 GW <sub>p,el</sub> ]	➡	[75 GW <sub>p,el</sub> ] [im Mittel 5 kWh <sub>el</sub> für 15 kW <sub>th</sub> , COP = 3]
<b>5. Elektrolyse</b>	0,25 GW <sub>p</sub>	➡	68 GW <sub>p</sub> Kapazität 9400 TWh H <sub>2</sub> in Salzkavernen

Q: FhG ISE, Thelen C, Nolte H, Kaiser M, Jürgens P, Müller P, Senkpiel C, Kost C: „Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem: Bundesländer im Transformationsprozess“, 2024, Fraunhofer ISE.

# DANKE FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

## **Kontakt**

FB Design Informatik Medien  
Angewandte Informatik

Unter den Eichen 5  
65195 Wiesbaden

+49 611 9495-1200  
informatik@hs-rm.de



Prof. Dr. Heinz Werntges  
T +49(0)611 9495-1205  
heinz.werntges@hs-  
rm.de