

universität freiburg

Ausblick

Göttinger Energietagung

Göttingen
Prof. Dr. Anke Weidlich

6. Mai 2026



Blick in die Zukunft

Das europäische Stromnetz 2045 dürfte das komplexeste physikalische Koordinationsproblem sein, das die Menschheit je betrieben hat.

- In Echtzeit
- Kontinentübergreifend
- Millionen von Akteuren
- Hohe Variabilität
- Sehr geringe Fehlertoleranz

Regeln und Betriebskonzepte haben teilweise sehr lange Bestand

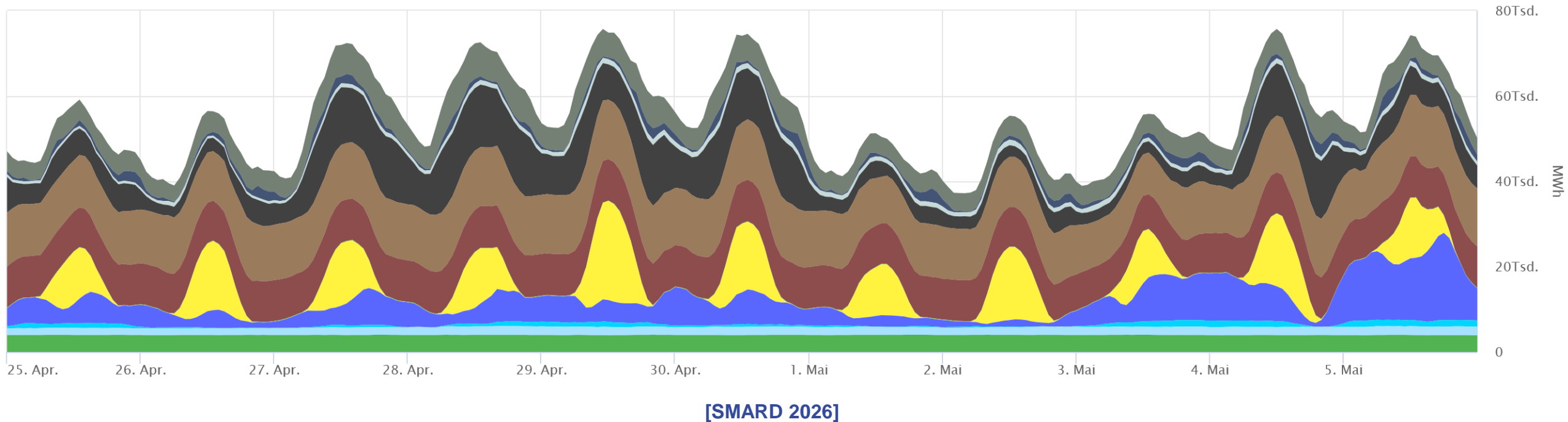
- Beispiel Netzentgeltsystematik: ~25 Jahre

→ Heute entwickelte Konzepte müssen die Komplexität von 2045 schon im Blick haben!

Wo stehen wir?

Die Erzeugungscharakteristik hat sich bereits stark geändert

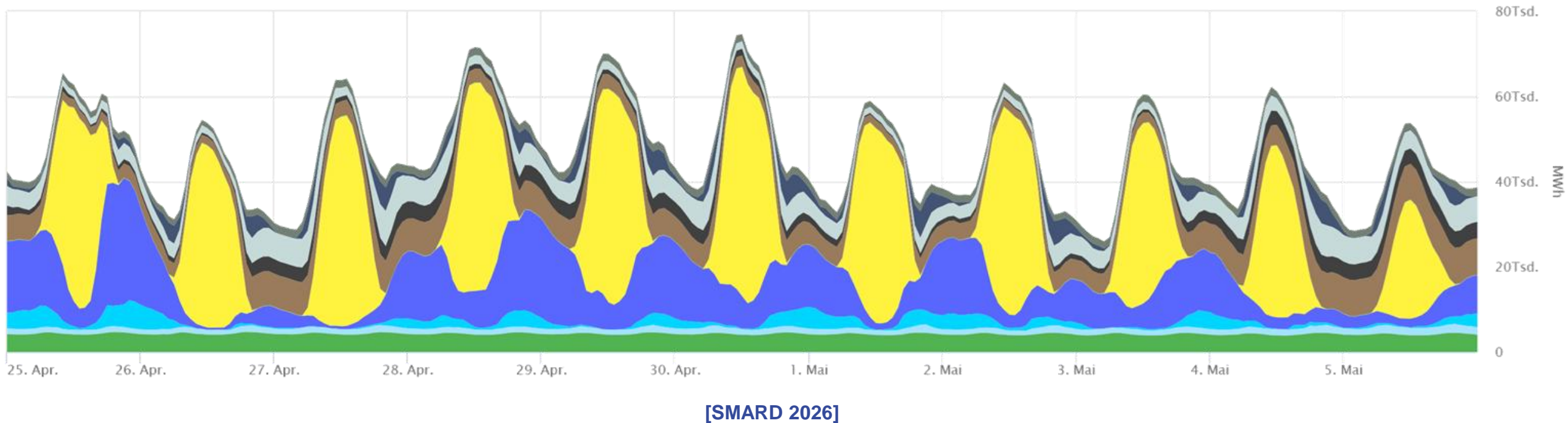
- Beispiel April/Mai 2015 vs. 2026



Wo stehen wir?

Die Erzeugungscharakteristik hat sich bereits stark geändert

- Beispiel April/Mai 2015 vs. 2026

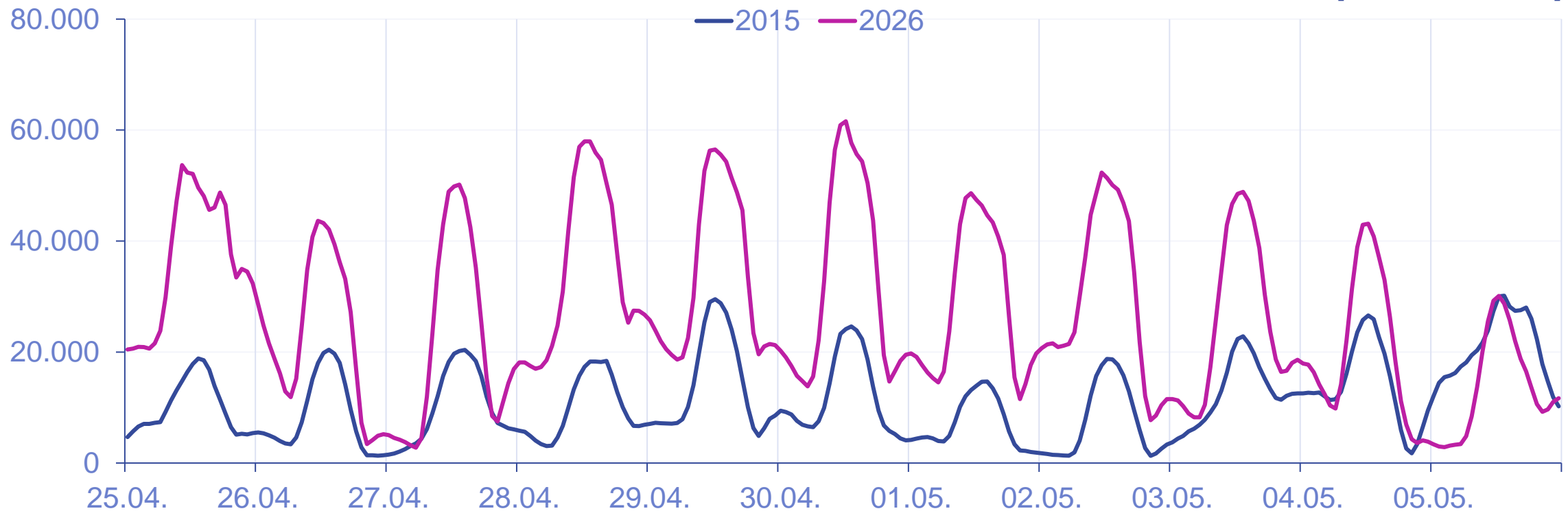


Wo stehen wir?

Die Erzeugungscharakteristik hat sich bereits stark geändert

- Beispiel April/Mai 2015 vs. 2016: Erzeugung aus Wind+PV

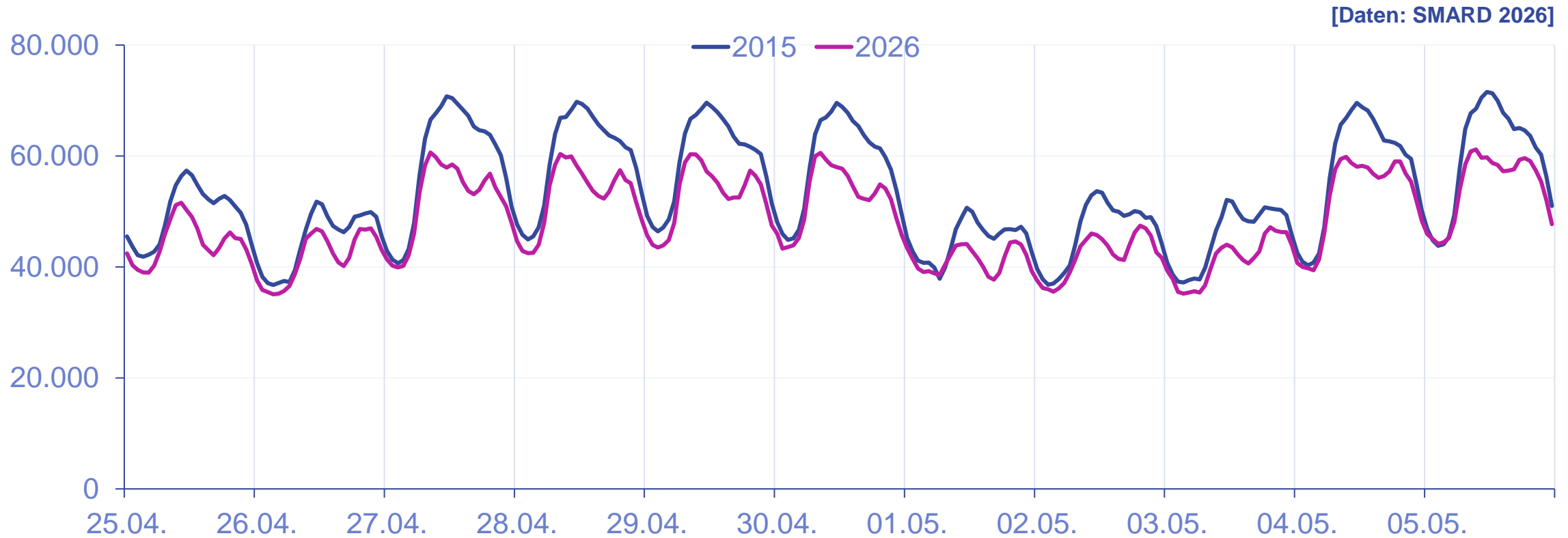
[Daten: SMARD 2026]



Wo stehen wir?

Die Lastcharakteristik hat sich allerdings wenig verändert

- Unterschiede in der Netzlast v.a. durch Eigenverbrauch



Wo wollen wir hin?

Alle Szenarien sehen großen Zubau von Flexibilität

- Elektromobilität
- Batteriespeicher
- Wärmepumpen & DSM
- Elektrolyseure

Hier: Beispiel

Netzentwicklungsplan Strom

[NEP 2025]

	2024	2037			2045		
	Referenz 2024	Szenario A 2037	Szenario B 2037	Szenario C 2037	Szenario A 2045	Szenario B 2045	Szenario C 2045
Treiber Sektorenkopplung							
Elektromobilität [Anzahl in Mio.]	2,4	27,8	33,6	37,8	36,8	44,5	44,9
Power-to-Heat [GW]	0,8	9,5	25,3	22,2	16,4	26,1	23,3
Wärmepumpen (HH und GHD) [Anzahl in Mio.]	2,0	7,7	8,7	9,5	11,3	13,3	14,0
Elektrolyse [GW]	0,2	20,0	42,0	42,0	31,6	58,5	70,0
Weitere Speicher und nachfrageseitige Flexibilitäten [GW]							
Kleinbatteriespeicher	9,9	46,7	59,5	65,3	59,7	73,7	80,9
Großbatteriespeicher	1,7	41,1	67,6	94,1	41,1	67,6	94,1
DSM (Industrie und GHD)	1,4	4,6	7,7	8,7	8,4	12,9	14,5

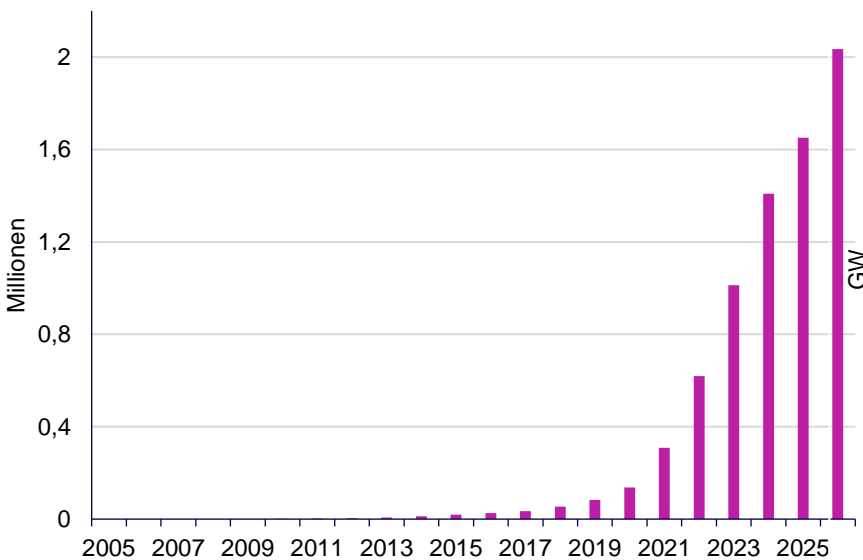
Wo wollen wir hin?

Entwicklung bisher

Elektroautos 2026: ~22 GW*

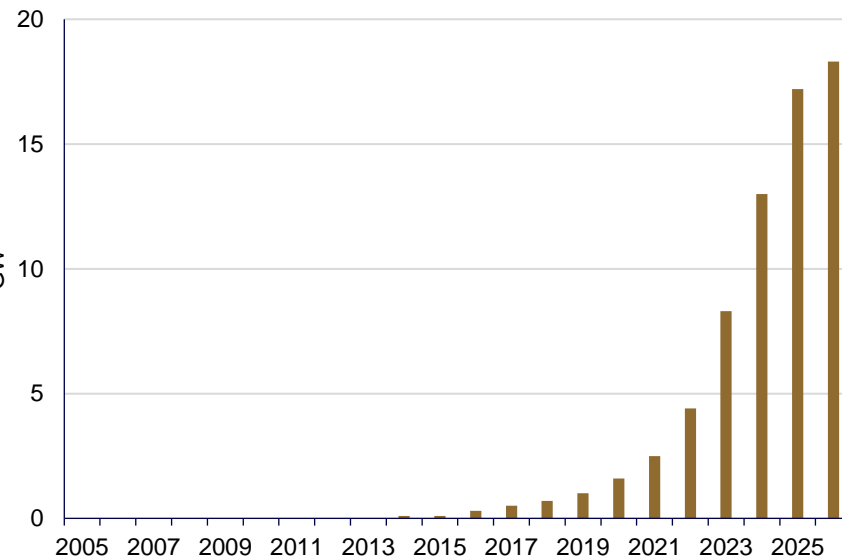
*bei ~10 kW Ladeleistung

Elektroautos



Batterien 2026: ~18 GW

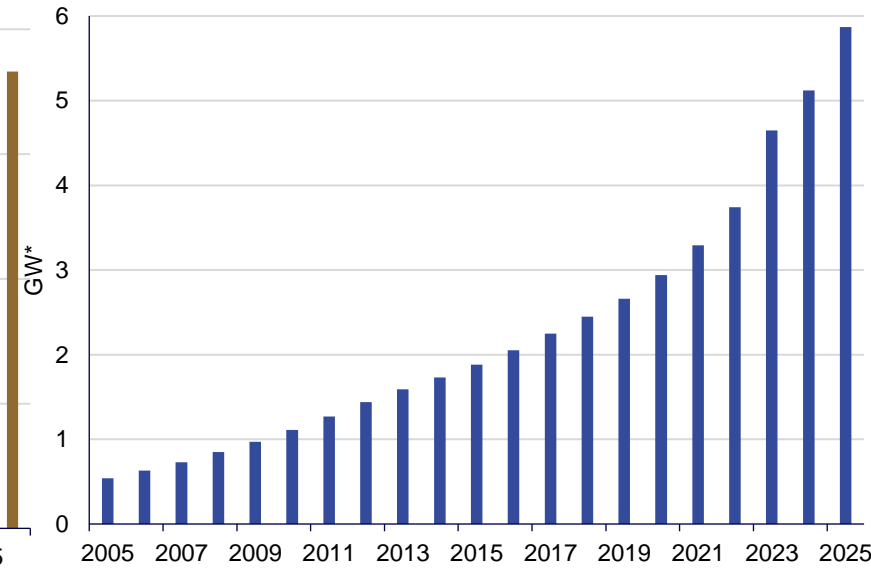
Batterien



Wärmepumpen 2025: ~6 GW**

**thermisch geteilt durch 3

Wärmepumpen



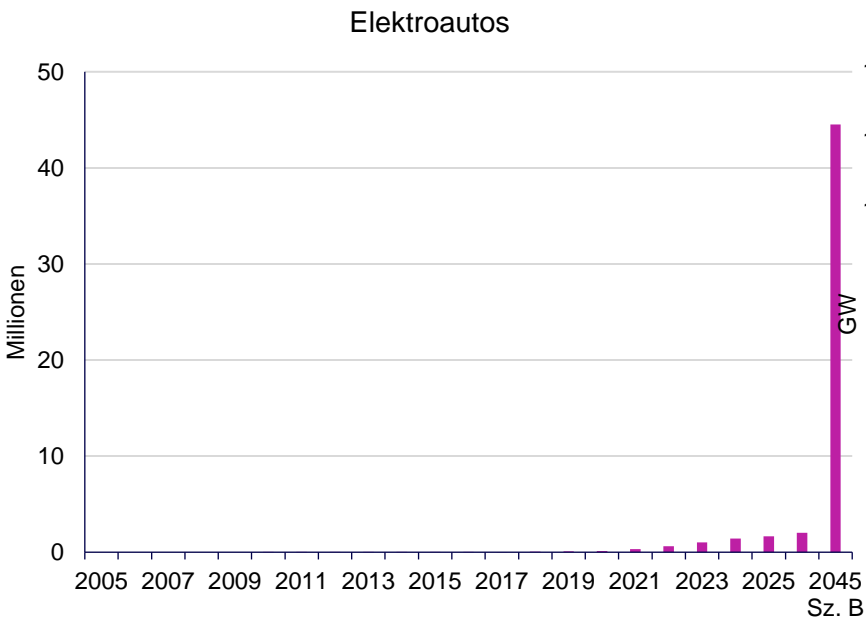
[Quellen: KBA, Battery-Charts, UBA, jeweils 2026]

Wo wollen wir hin?

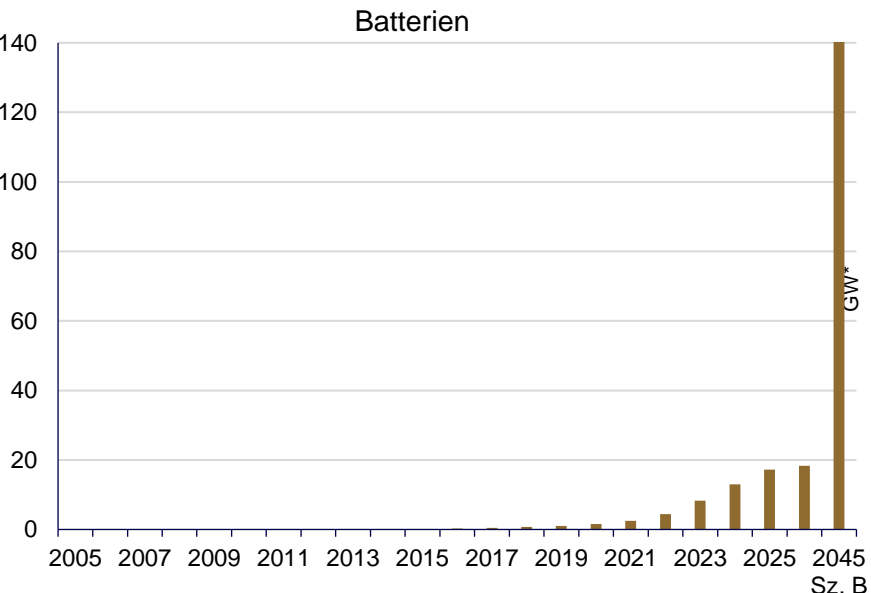
NEP 2045 (Szenario B)

Elektroautos 2045: ~450 GW*

*bei ~10 kW Ladeleistung

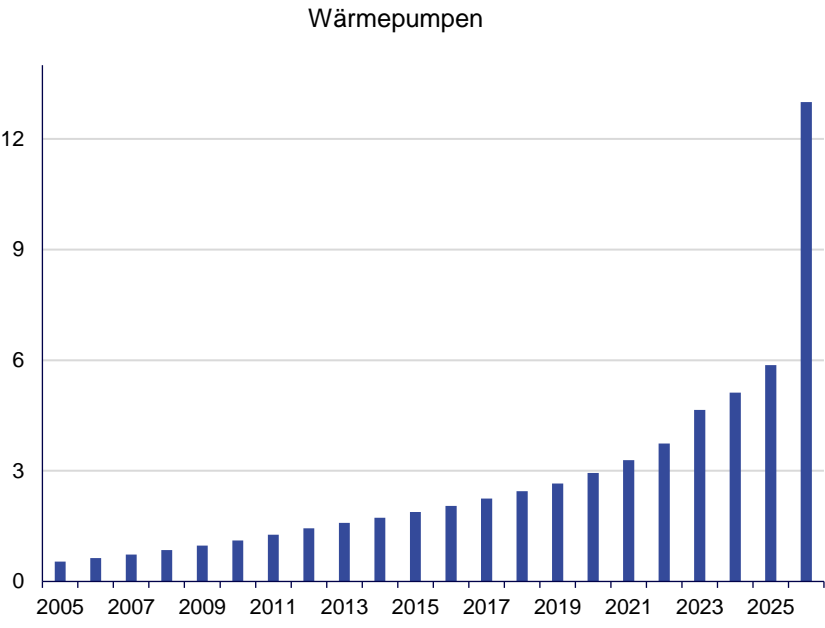


Batterien 2045 ~141 GW



Wärmepumpen 2045: ~130 GW**

**bei ~10 kW ø Leistung pro WP



[Quellen: KBA, Battery-Charts, UBA, jeweils 2026, NEP 2025]

Was brauchen wir für die Zukunft?

Die Haupt-Herausforderung (für die Regulierung) ist die Unterstützung der Koordination

Vor allem für Flexibilität und Speicher

Effiziente Koordinationsinstrumente:

- Märkte und Preissignale
- Standards und Protokolle
- Hierarchien und Subsidiarität
- Echtzeitinformationen und -kommunikation

Fokus Märkte und Preissignale

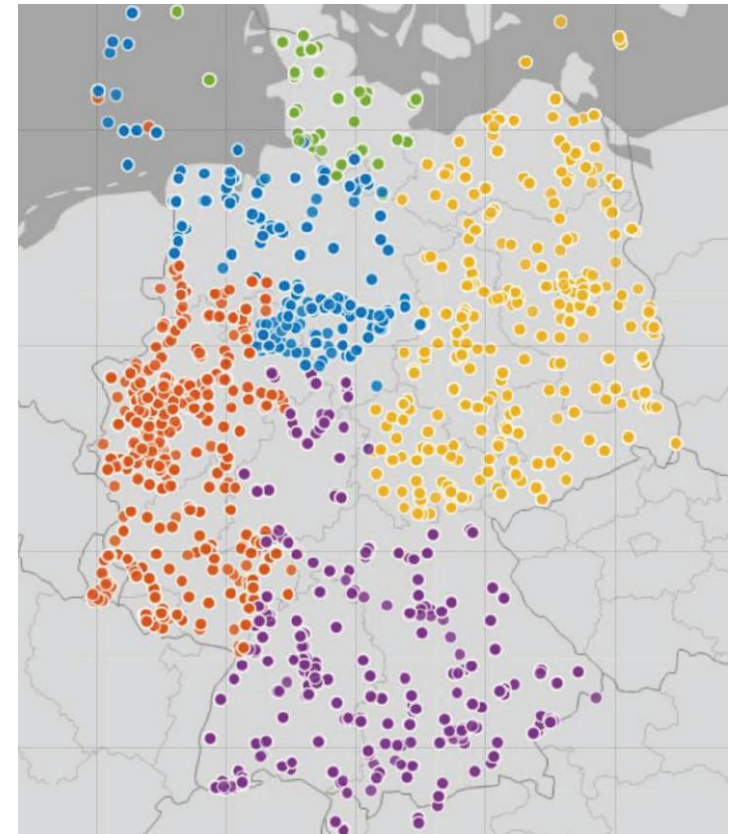
Politisch: Netzrestriktionen im Markt abbilden (aka Nodalpreise)

Großhandel ist effizient und erprobt

Kapazitätslimitierte Optimierung ist umsetzbar

- Europäisch optimiert
- Beherrschbare Komplexität, 2045-fähig
- Zusammenspiel der Work-arounds wird erheblich komplexer
- Günstigste Flexibilität wird genutzt
- Kostenreflexive Preissignale, regional differenziert

[1]



Fokus Märkte und Preissignale

Regulatorisch: Netz-Bepreisung so dynamisch wie möglich

Engpassorientierte Netzbepreisung (im Verteilnetz)

- Schrittweise Einführung mit Zielmodell im Blick
- Day-ahead-Signale sind guter erster Schritt
- Aber: Gefahr von Überreaktion mit neuen Engpässen
- Erhöhung der Dynamik bis hin zur Echtzeit-Optimierung
- Möglichst ein System für alle
- Fördermechanismen über Netzbepreisung stören effiziente Anreize

[2]

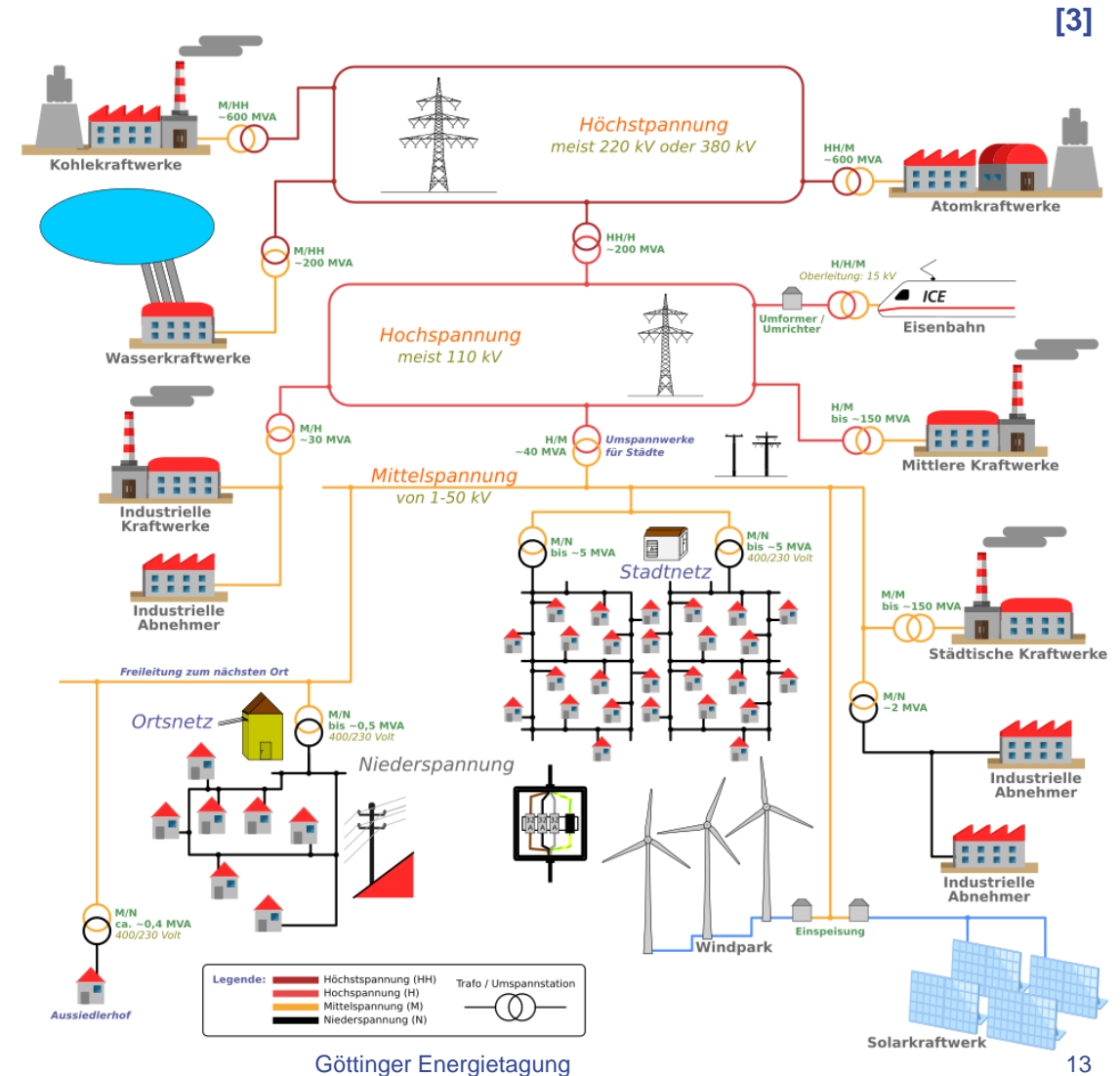


Fokus Märkte und Preissignale

Forschung: Skalenübergreifende Gesamtmodellierung

Viele neue Forschungsfragen und -perspektiven

- Fokus bisher meist auf einer Netzebene
- Oft entweder technisches Detail oder marktliches Detail
→ Stärker zusammenführen
- Lokale Optimierungen im Zusammenspiel mit globaler Systemsicht verbinden



Anke Weidlich

INATECH

Telefon +49 761 203-54011

anke.weidlich@inatech.uni-freiburg.de

Quellen

- Battery-Charts: Speicherleistung, <https://battery-charts.de/de/battery-charts-de/>, Abruf Mai 2026.
- [KBA] Kraftfahrtbundesamt: Bestand an Fahrzeugen nach Umweltmerkmalen, 2026.
- [NEP] Übertragungsnetzbetreiber: Netzentwicklungsplan Strom, Szenariorahmen, 2025.
- SMARD: Marktdaten visualisieren, <https://www.smard.de/home>, Abruf Mai 2026.
- [UBA] Umweltbundesamt: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, https://www.umweltbundesamt.de/system/files/document/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-excel_uba_deu_0_0.xlsx_0.xlsx, Stand Februar 2026.
- [1] ACER: Annex I – List of alternative bidding zone configurations to be considered for the bidding zone review, https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Individual%20Decisions_annex/ACER%20Decision%2011-2022%20on%20alternative%20BZ%20configurations%20-%20Annex%20I.pdf, 2022.
- [2] Generiert mit <https://gemini.google.com/>, 2025.
- [3] Wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/Stromnetz#/media/Datei:Stromversorgung.svg>, 2018.