

Studierendenkonferenz im 57. Kraftwerkstechnischen Kolloquium

Zwischen Flaute und Flexibilität: Die Rolle von Dunkelflauten und Speichern im zukünftigen Energiesystem

Nora Elhaus, Maximilian Weitzer, Jürgen Karl
Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



1. Quantifizierung von Dunkelflauten

- Dunkelflauten im Energiesystem
- Quantifizierung und Häufigkeit

2. Langfristige Strompreisprognosen für den deutschen Strommarkt

- Methodik für langfristige Strompreisprognosen
- Kernveränderungen im deutschen Strommarkt
- Strompreise im Jahr 2037

3. Die Rolle von Speichern im zukünftigen Energiesystem

- Speicheraufgaben und Technologien
- Marktoptionen für Speichertechnologien
- Gewinnpotenziale von Speichern



1. Quantifizierung von Dunkelflauten

- Dunkelflauten im Energiesystem
- Quantifizierung und Häufigkeit



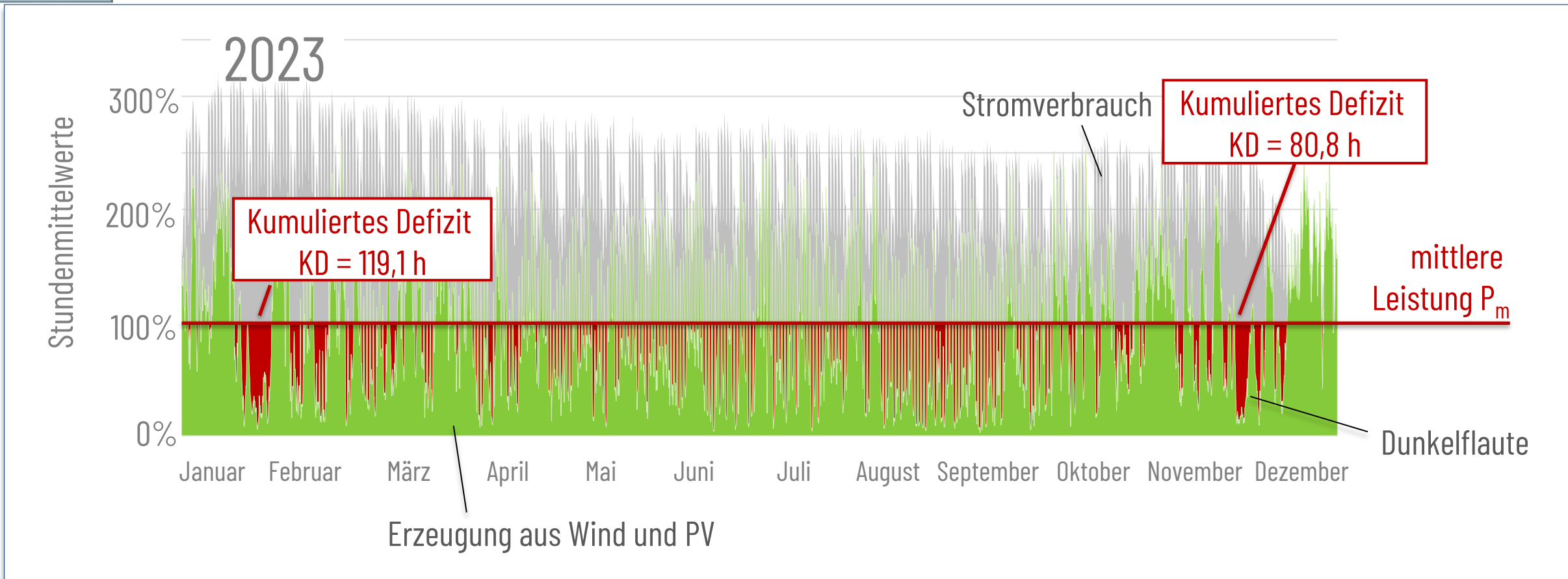
Dunkelflauten im Energiesystem

Dunkelflauten

Strompreisprognosen

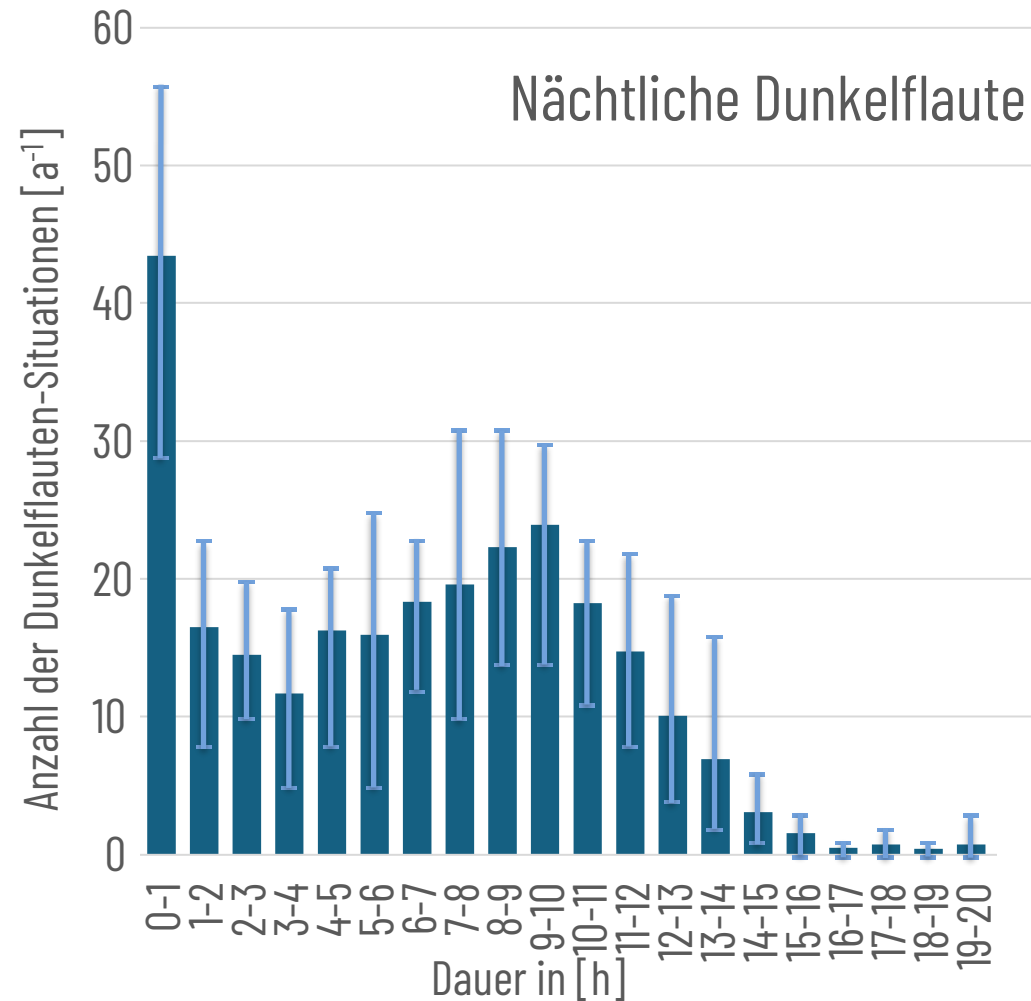
Rolle von Speichern

- Vor allem im Winter treten regelmäßig längere Perioden mit wenig PV und Winderzeugung auf ("Dunkelflauten")
- Historische Daten zeigen: Dunkelflauten dauern bis 280 Stunden bzw. 160 "Volllaststunden"

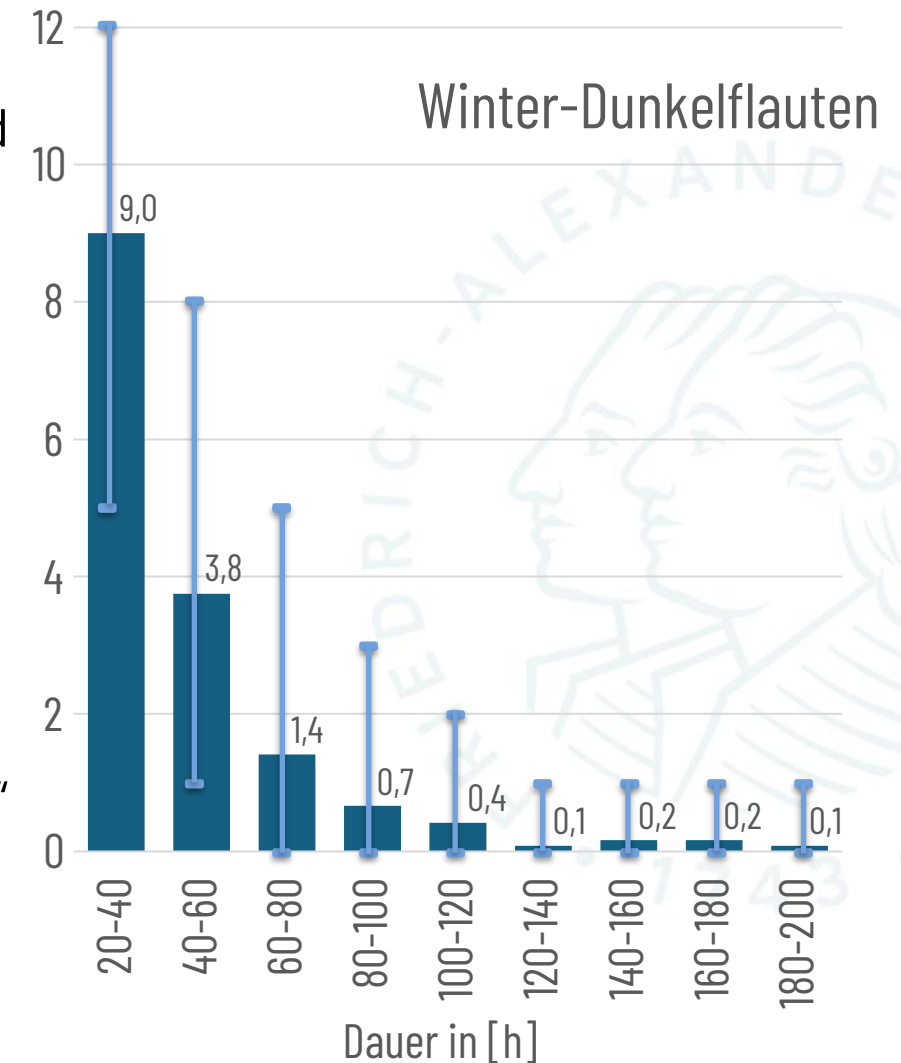


Quantifizierung & Häufigkeit von Dunkelflauten

Evaluierung der historischen Daten von 2012 bis 2023:



- Viele kurze „Dunkelflauten“ auf Grund von mangelnder PV-Einspeisung
- Längere Dunkelflauten treten regelmäßig, vor allem im Winter (November bis Februar) auf
- Längere Dunkelflauten dauern bis zu 12 Tagen bzw. 185 „Volllaststunden“



Fazit

1.

Dunkelflauten treten vor allem in den Wintermonaten auf und dauern bis zu 12 Tage

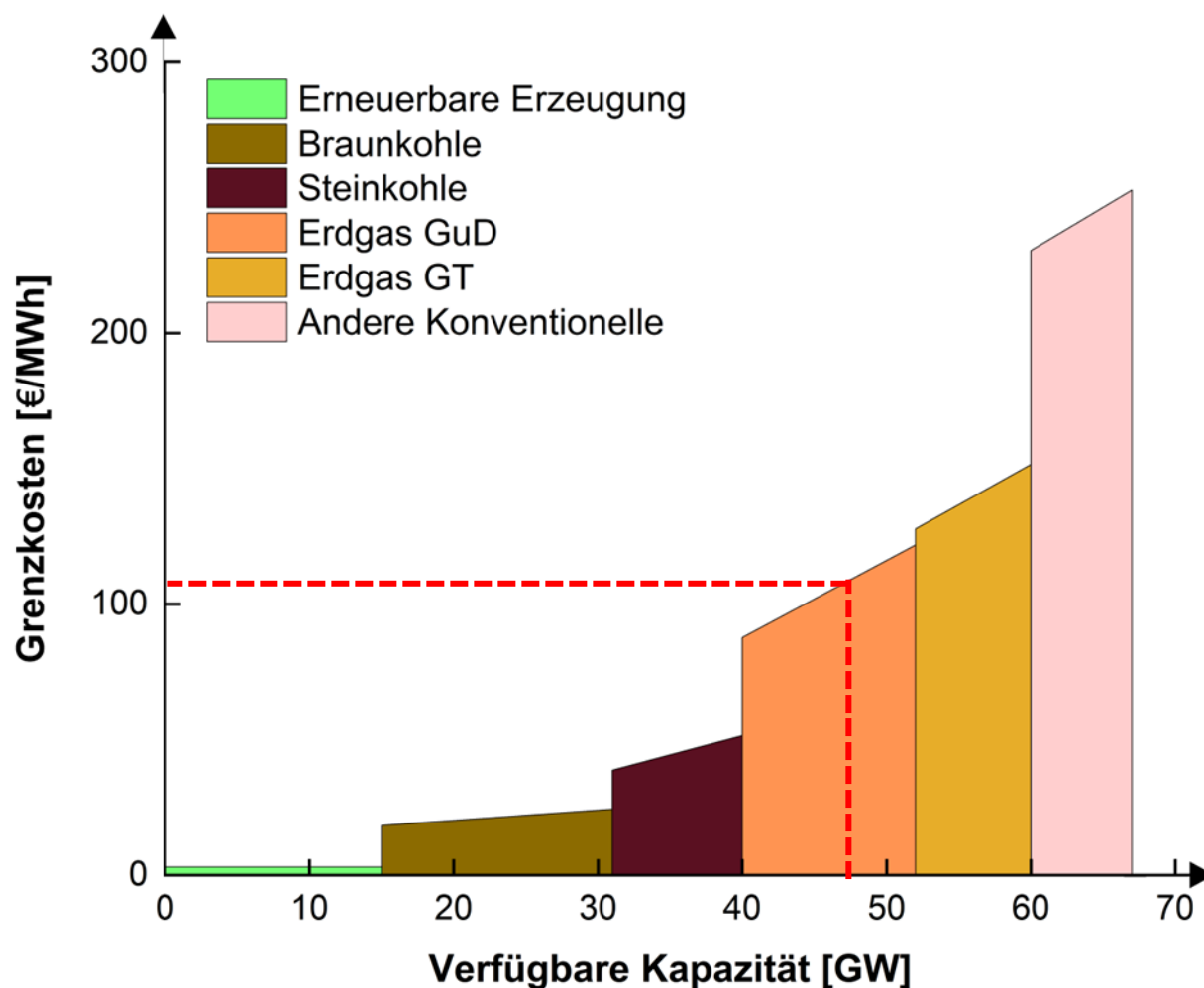


2. Langfristige Strompreisprognosen für den deutschen Strommarkt

- Methodik für langfristige Strompreisprognosen
- Kernveränderungen im deutschen Strommarkt
- Strompreise im Jahr 2037



Methodik für langfristige Strompreisprognosen



Fundamentalmodelle:

- Bilden physikalische, technische und ökonomische Zusammenhänge des Strommarkts ab
- Angebot und Nachfrage bestimmen den Preis über Marktgleichgewicht
- Wichtige Einflussgrößen auf Strompreise:
 - Erzeugungskapazitäten und Verfügbarkeiten
 - Brennstoff- und CO₂-Preise
 - Stromnachfrage
 - Wetterdaten
 - Erzeugung & Verbrauch im Ausland
 - ...

Kernveränderungen im deutschen Strommarkt bis 2037

Dunkelflauten

Strompreisprognosen

Rolle von Speichern

Kraftwerkspark (nach Netzentwicklungsplan 2023)

- Ausstieg aus der Kohle (bis 2037)
- Signifikanter Ausbau von Windkraft (105 GW Onshore; 54,4 GW Offshore) und Photovoltaik (280 GW)
- Wasserstoffkraftwerke als neuer Kraftwerkstyp (23,8 GW basierend auf der Kraftwerksstrategie)
- Signifikanter Zubau an Speichertechnologien (40 GW Kleinbatteriespeicher, 18 GW Großbatteriespeicher)

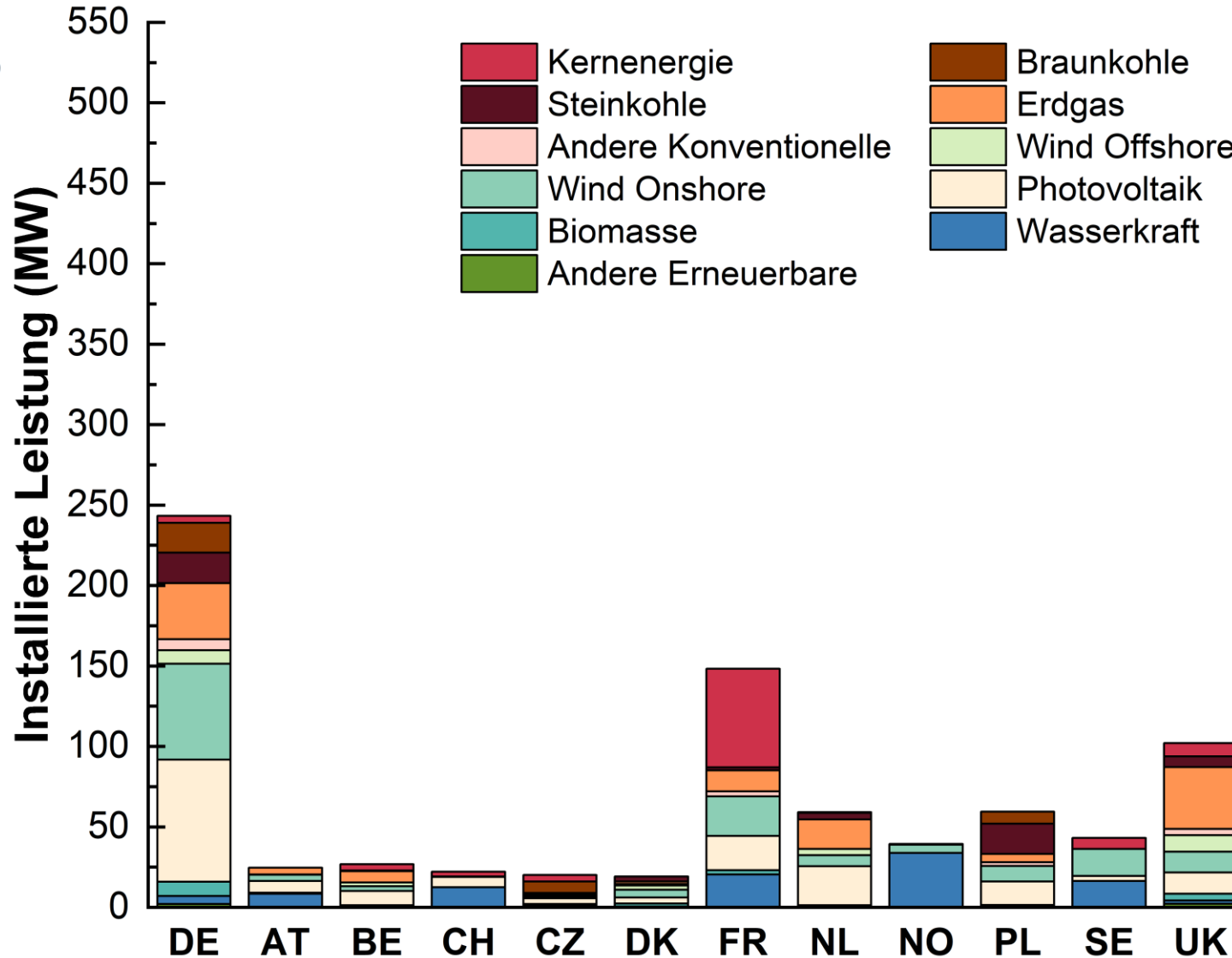
Außerdem:

- Signifikante Zunahme des Strombedarfs von ca. 550 TWh/a auf 844 TWh/a (v.a. durch Wärme, Mobilität, Elektrolyse)
- Zunahme der Nachfrageflexibilität
- Brennstoffpreisentwicklung + Zunahme CO₂-Preis
- Deutliche Zunahme des Stromhandels (Netzausbau innerhalb Europas)

Installierte Kraftwerksleistung in DE und „Nachbarländern“ 2023

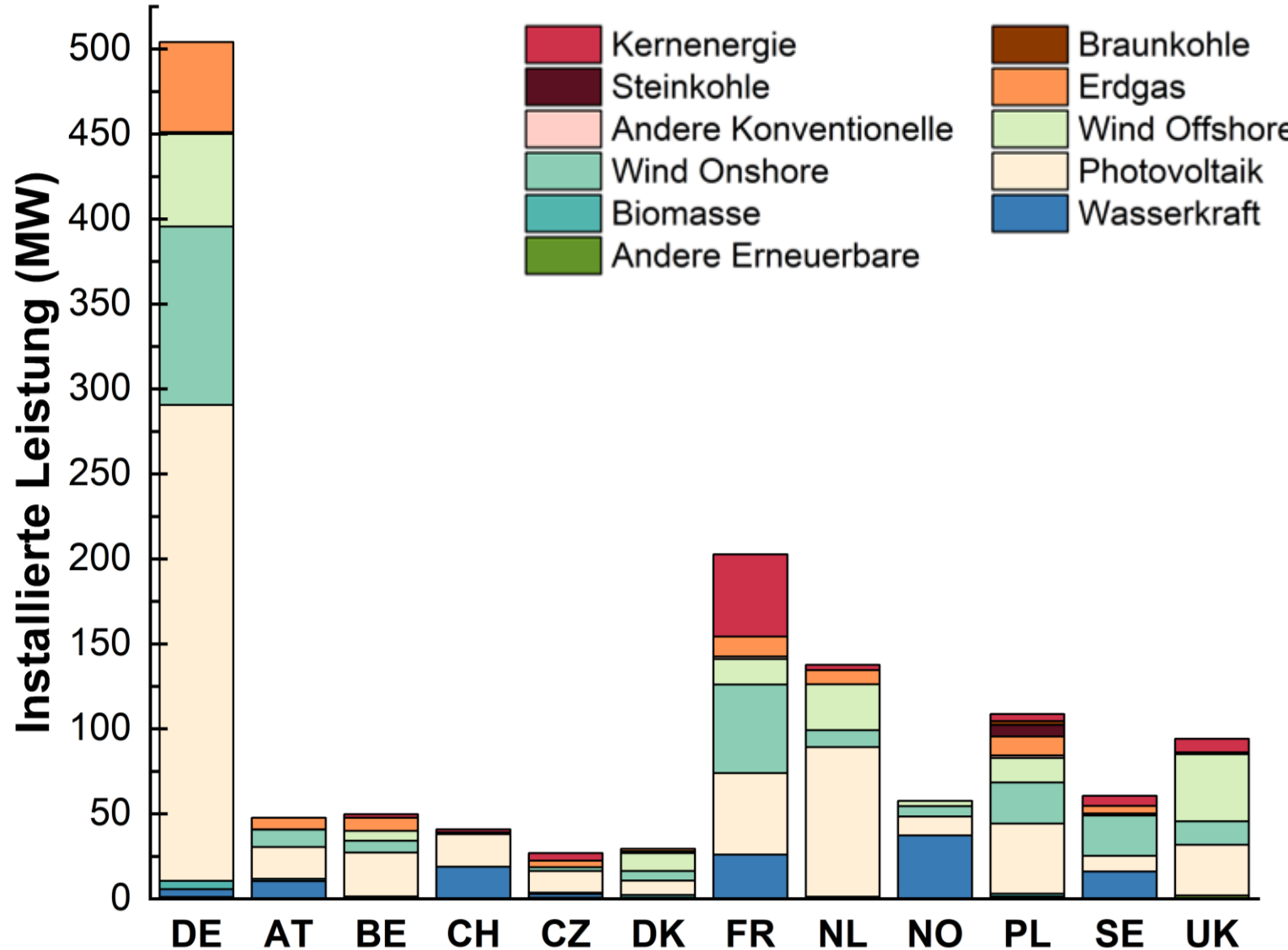
- Dunkelflauten
- Strompreisprognosen
- Rolle von Speichern

2023



Installierte Kraftwerksleistung in DE und „Nachbarländern“ 2037

2037

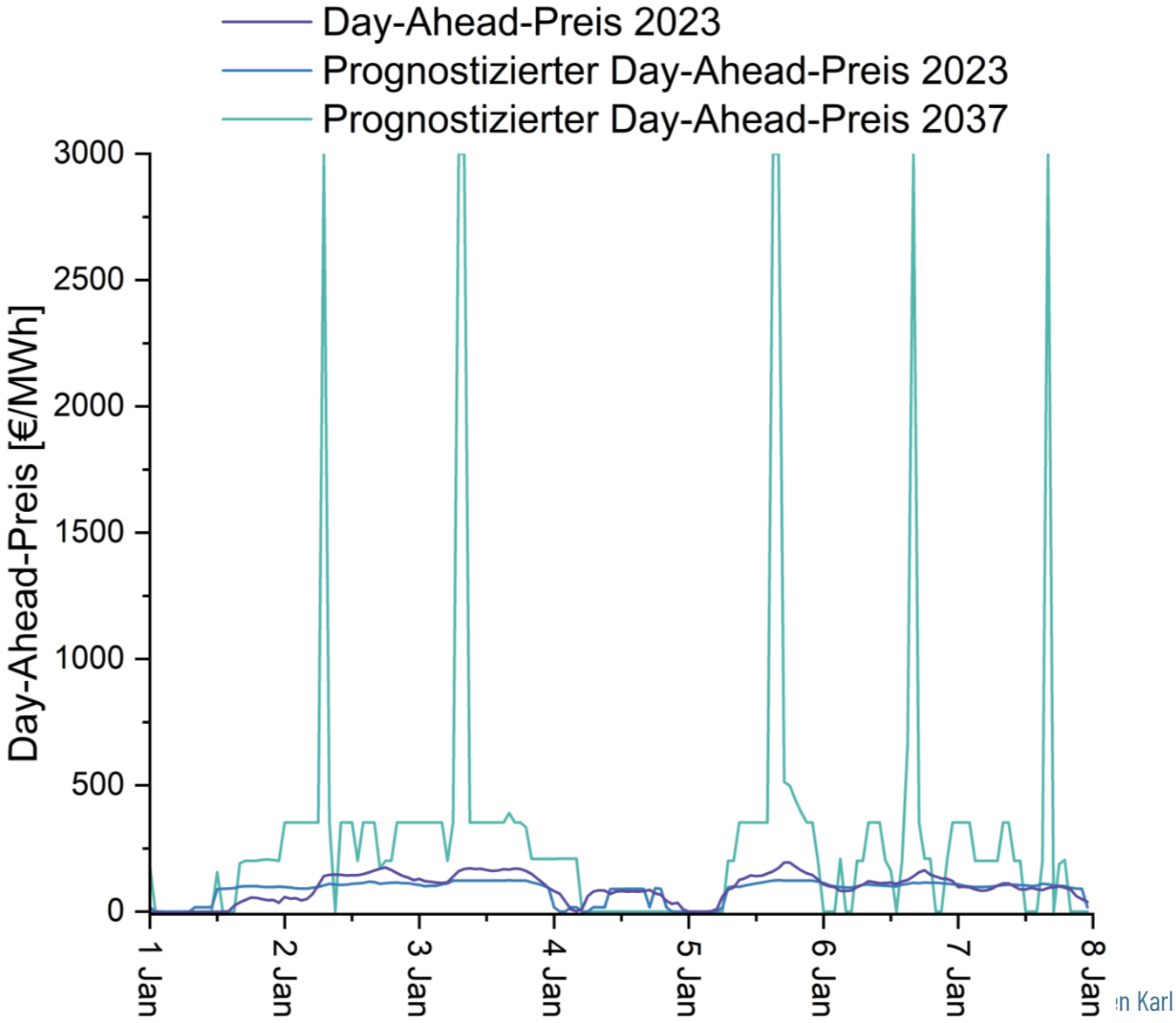


Dunkelflauten

Strompreisprognosen

Rolle von Speichern

Strompreise 2023 & 2037



- Strommarktmodell erzielt in der Validierung gute Ergebnisse

2023:

- ca. 500 h mit Strompreisen < 5 €/MWh
- 1 h mit Strompreis > 500 €/MWh
- Mittlerer Strompreis: 95 €/MWh

2037 nach Prognose des Fundamentalmodells:

- ca. 2200 h mit Strompreisen < 5 €/MWh
- ca. 1000 h mit Strompreisen > 500 €/MWh



Strompreise werden zukünftig volatiliter und im Mittel ansteigen

Reservekapazitäten sind dringend notwendig

Fazit

1.

Dunkelflauten treten vor allem in den Wintermonaten auf und dauern bis zu 12 Tage

2.

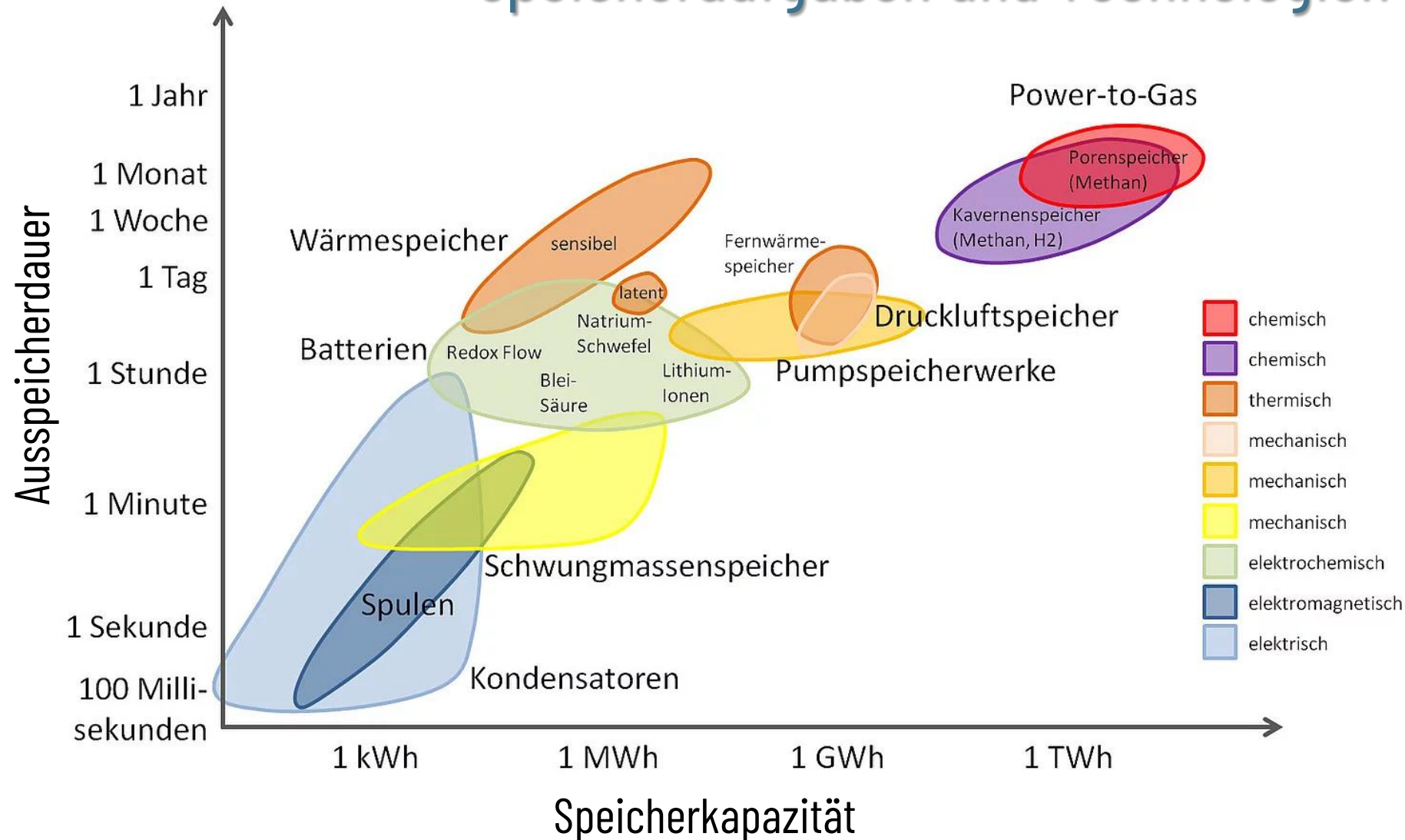
Strompreise werden volatiler und im Mittel steigen. Flexible Verbraucher profitieren. Reservekraftwerke sind dringend notwendig, um Preissteigerungen zu begrenzen.

3. Die Rolle von Speichern im zukünftigen Energiesystem

- Speicheraufgaben und Technologien
- Marktoptionen für Speichertechnologien
- Gewinnpotenziale von Speichern



Speicheraufgaben und Technologien



- Quantifizierung von Dunkelflauten hat Bedarf für unterschiedliche Speichertechnologien gezeigt
- Unterschiedliche Speichertechnologien partizipieren in unterschiedlichen Märkten

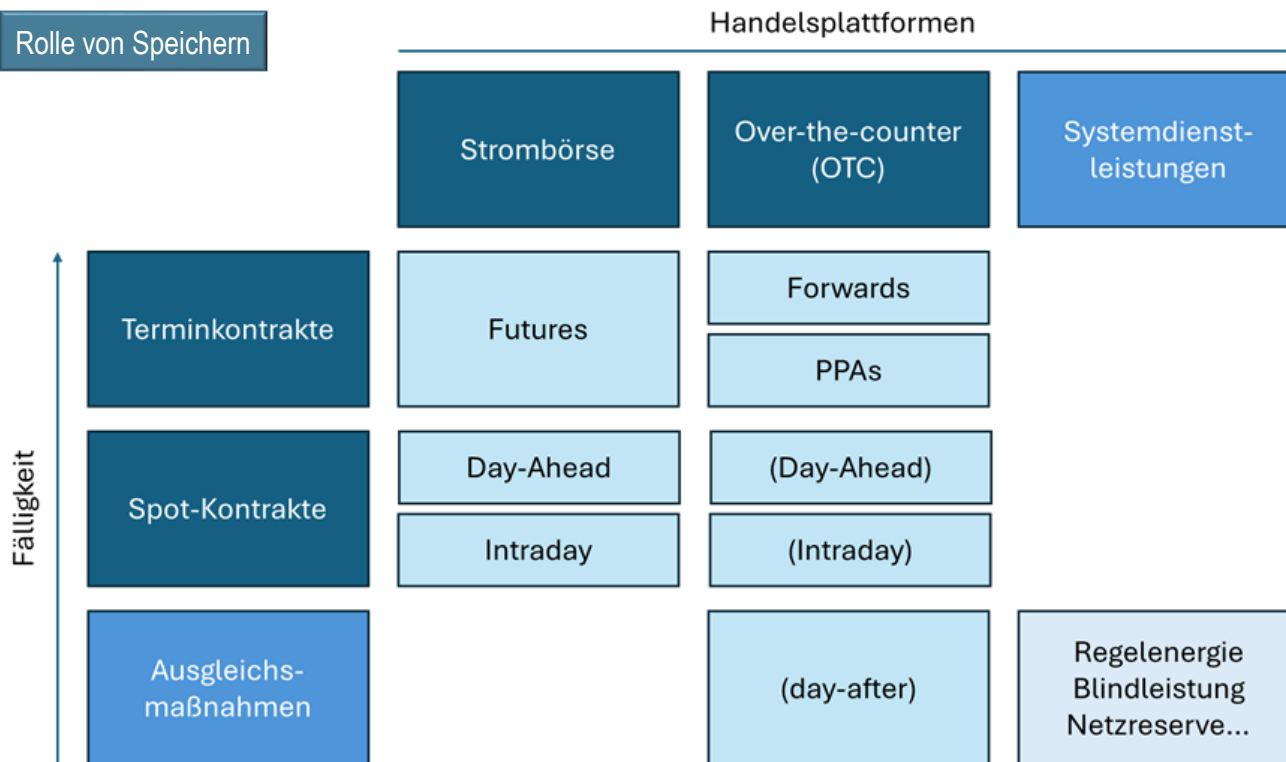
Marktoptionen für Speichertechnologien

Dunkelflauten

Strompreisprognosen

Rolle von Speichern

Struktur des deutschen Strommarkts:



- Derzeit nehmen Speicher vor allem im Bereich der Systemdienstleistungen (insb. Regelenergiebereitstellung) sowie an der Strombörse (Day-Ahead und Intraday) teil
- Häufig Vermarktung in mehreren Märkten
- Alte Bundesregierung hat 2024 angekündigt, einen Kapazitätsmechanismus einzuführen, der ab 2028 operativ tätig wird
- Im Vorgriff auf diesen Kapazitätsmechanismus sollen im Rahmen des Kraftwerkssicherheitsgesetzes bis 2028 12,5 GW Gas-Kraftwerkskapazität und 500 MW Langzeitspeicher geschaffen werden

Bild adaptiert von: Lion Hirth, Part 3: The spot market (2022)

Gewinnpotenziale von Speichern

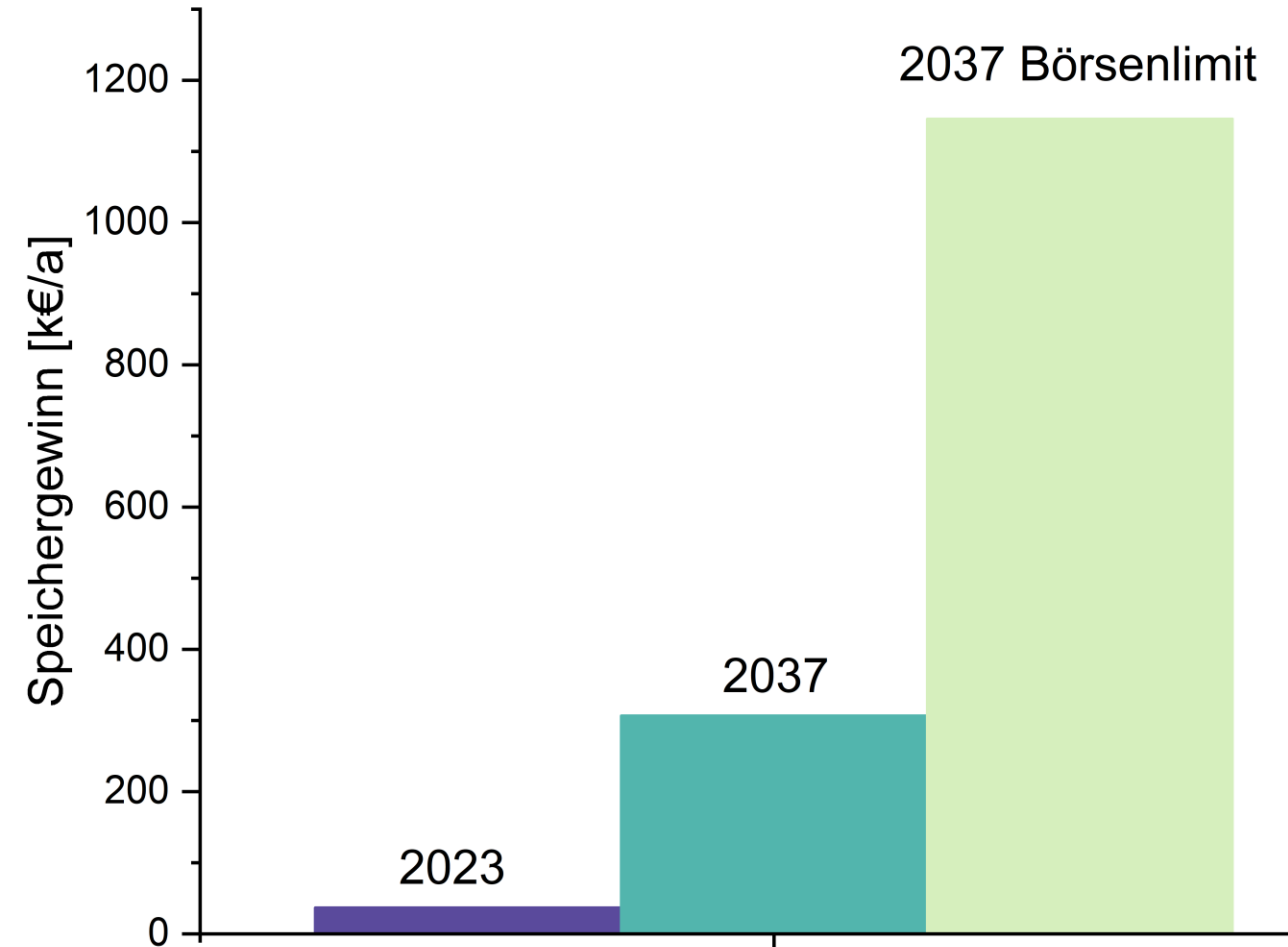
Dunkelflauten

Strompreisprognosen

Rolle von Speichern

- Speichertechnologien profitieren grundsätzlich von den volatileren Preisen. Wie stark hängt ab von:
 - Verfügbarer Kraftwerksleistung
 - Verfügbaren Importen
 - Nachfrageflexibilität
 - Konkurrenz unter Speichern
 - Etc.
- Insbesondere für Speicher zur Überbrückung von Dunkelflauten (hohe Kapazitäten) gewinnt die mittelfristige Strompreisprognose an Bedeutung

Speichergewinn eines exemplarisch 1 MW Batteriespeicher:



Fazit

1.

Dunkelflauten treten vor allem in den Wintermonaten auf und dauern bis zu 12 Tage

2.

Strompreise werden volatiler und im Mittel steigen. Flexible Verbraucher profitieren. Reservekraftwerke sind dringend notwendig, um Preissteigerungen zu begrenzen.

3.

Speicher profitieren von der zunehmenden Volatilität in den Strompreisen. Mittelfristige Strompreisprognosen gewinnen an Bedeutung.

