

# Langfristiger Speicher- und Flexibilitätsbedarf in Europa

Eine Analyse des Einflusses unterschiedlicher energiewirtschaftlicher Rahmenbedingungen

## EUM Fachtagung

Europa Universität Flensburg, 31. März 2016

Dipl. Wi.-Ing. Felix Cebulla

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Institut für Technische Thermodynamik

Systemanalyse und Technikbewertung



Wissen für Morgen

# Agenda

- I. Motivation und Ziel
  - a. Forschungsfrage
- II. Methodik
  - a. Energiesystemmodell REMix
  - b. Szenario- und Modellannahmen
- III. Ergebnisse
  - a. Referenzszenario 2050
  - b. Szenarienvergleich
- IV. Zusammenfassung und Ausblick



# Forschungsfrage

## Speicherbedarf in Langfristszenarien

### Unsicherheit zukünftiger Stromspeicherbedarf

- Integration hoher Anteile erneuerbarer Energien (EE): Studien resultieren in großen Bandbreiten bzgl. Lade-/Entladeleistung & Speicherkapazität
- Beispiel Deutschland (100% EE-Anteil)<sup>1</sup>  $\approx$  20-94GW, 15-140TWh
- Beispiel Europa (100% EE-Anteil)<sup>1</sup>  $\approx$  500-900GW, 80-400TWh

### Unterschiede bei Daten und Methoden signifikant

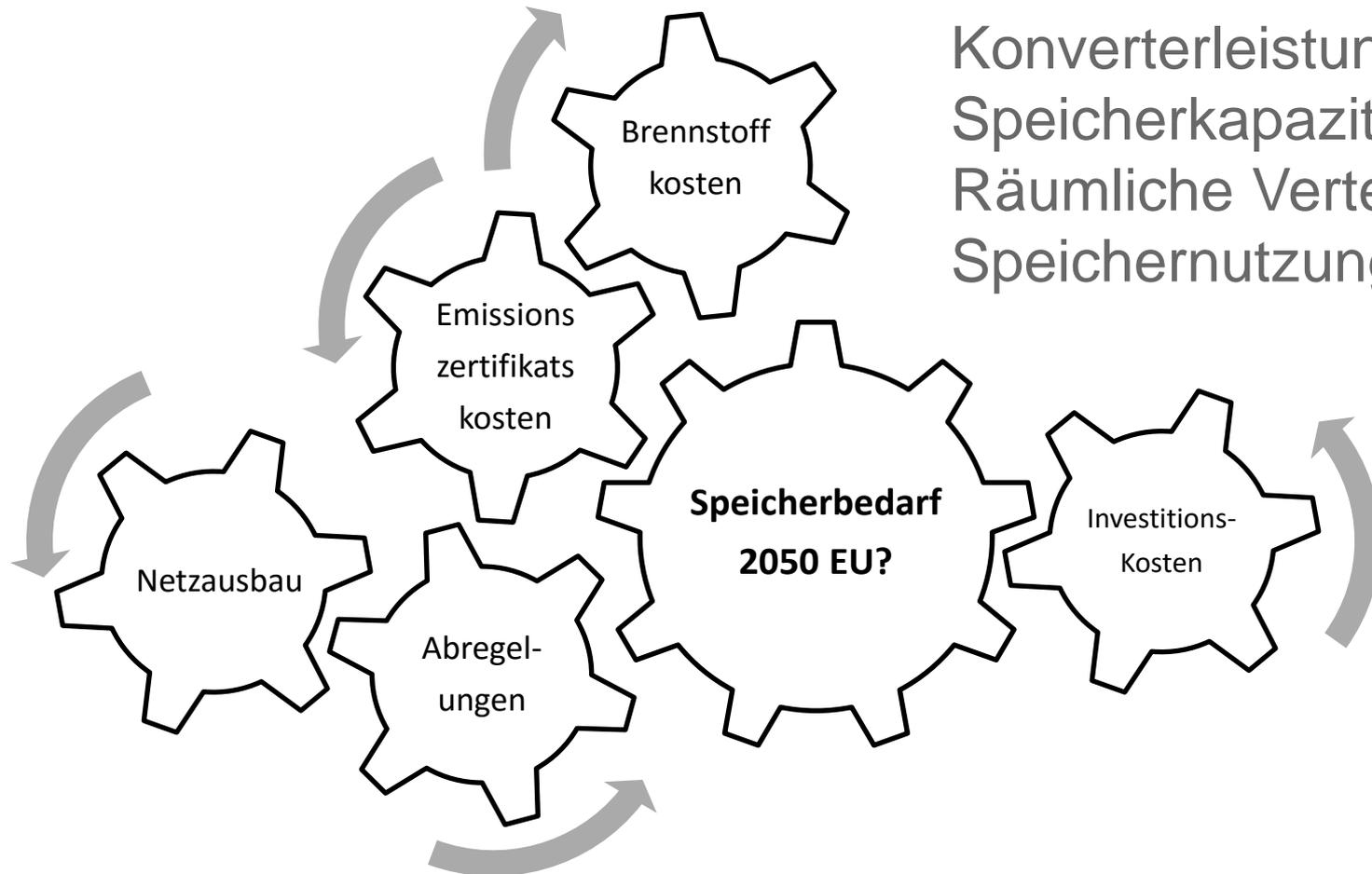
- Techno-ökonomische Eingangsparameter (Investitions- und Betriebskosten, Wirkungsgrade, Lebensdauer, ...)
- Technischer, räumlicher und zeitlicher Detaillierungsgrad
- Modellierung (innerhalb von Optimierungsansätzen: LP/MILP, Stützjahre, myopisch, Pfadoptimierung, Stochastik)

### Transparenz/Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, Methodik und Daten schwierig

- Vergleichbarkeit der Ergebnisse zum Speicherbedarf nur eingeschränkt möglich und innerhalb des jeweiligen Annahmenkonstruktes belastbar!

# Forschungsfrage

## Speicherbedarf in Langfristszenarien



Konverterleistung?  
Speicherkapazität?  
Räumliche Verteilung?  
Speichernutzung?



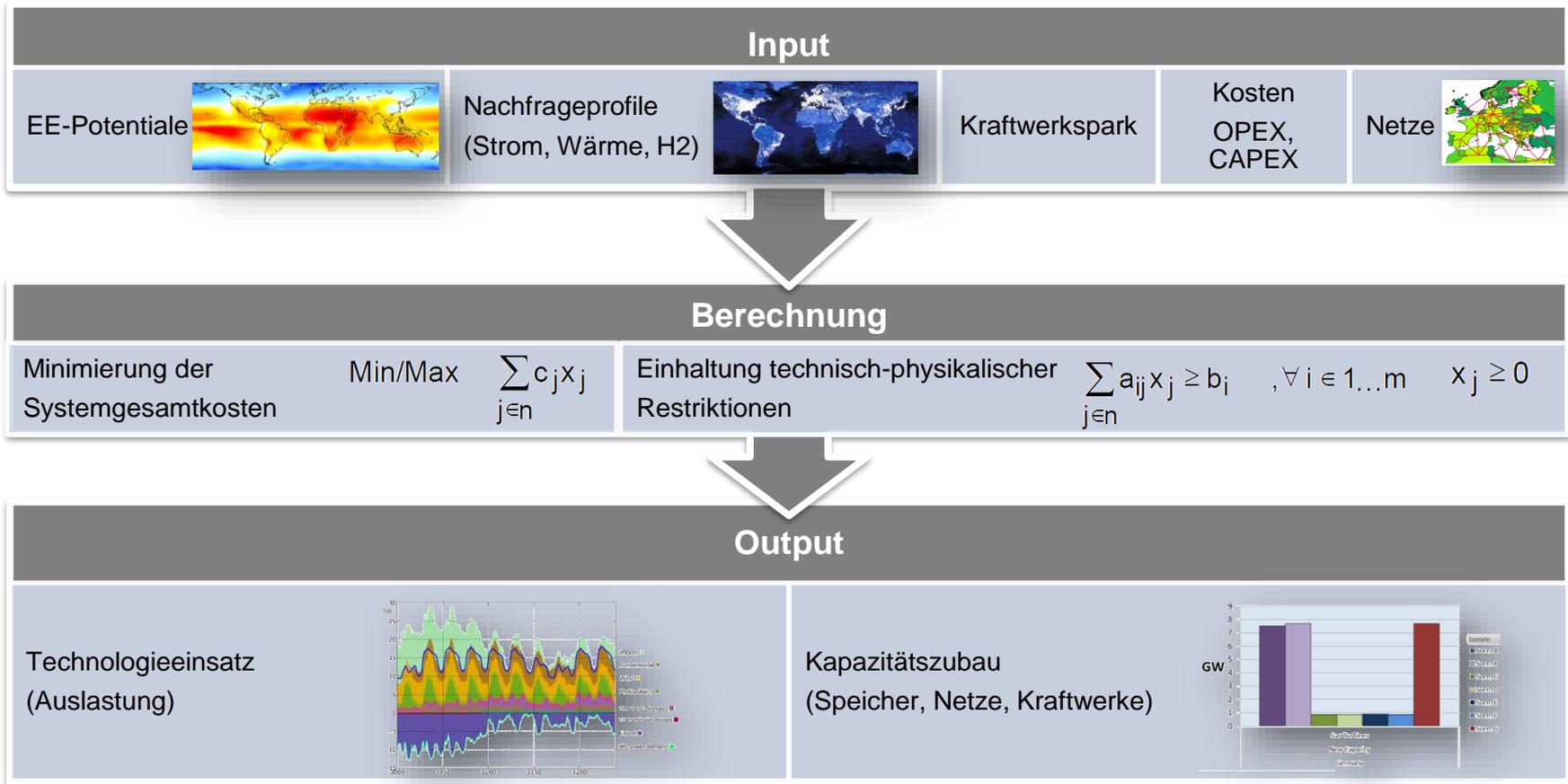
# METHODIK

Modell, Annahmen und betrachtete Szenarien



# Modell

## Renewable Energy Mix for Sustainable Energy Supply (REMix)



# Annahmen

## Speicher

Wasserstoffspeicher  
Lithium-Ionen (stationär)  
Pumpspeicher  
Blei-Säure-Batterien  
Druckluftspeicher (adiabat)  
Redox-Flow-Batterien



## Modellierung

- Lade- und Entladewirkungsgrad
- Selbstentladungsrate
- Verfügbarkeit
- Invest.-Kosten Speicher/Konverter
- Lebensdauer Speicher/Konverter
- Betriebs- & Wartungskosten (fix/var.)

## Szenario

- H<sub>2</sub>-Speicherung in Salzkavernen & anschließende Rückverstromung
- Modellendogener Zubau in allen Szenarien inkl. Zubauoberlimits für H<sub>2</sub>-, Druckluft- und Pumpspeicher

## Erneuerbare Erzeugung

Wind on/offshore  
Photovoltaik  
Biomasse  
Solartherm. KW  
Laufwasserkraft  
Speicherwasserkraft



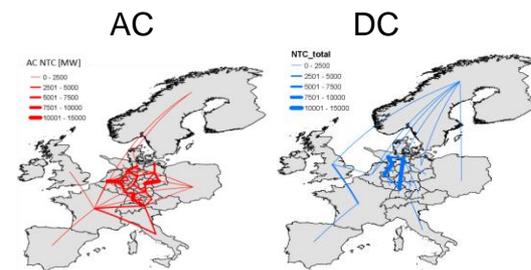
## Modellierung

- Wirkungsgrade
- Investitionskosten
- Verfügbarkeit
- Lebensdauer
- Betriebs- & Wartungskosten (fix/var.)

## Szenario

- Endogener Zubau aller Kapazitäten
- Knotenscharfe Zubaugrenzen basierend auf Potenzialanalyse
- Prämisse: Bruttostromerzeugung aus EE mindestens 80%
- Abregelung für fluktuierende EEs nicht kostengebunden

## Übertragungsnetz



## Modellierung

- DC Approximation des Drehstromübertragungsnetzes
- HVDC Übertragungsleitungen
- Investitionskosten
- Nettoübertragungsleistung (NTC)
- Übertragungsverluste

## Szenario

- TYNDP modifiziert als Startnetz
- Endogener Netzzubau der bestehenden Leitungen in den Szenarien G+
- Restliche Szenarien: exogenes Netz

# REFERENZSZENARIO 2050

Speicherzubau und -Nutzung



# Kapazitäten Europa

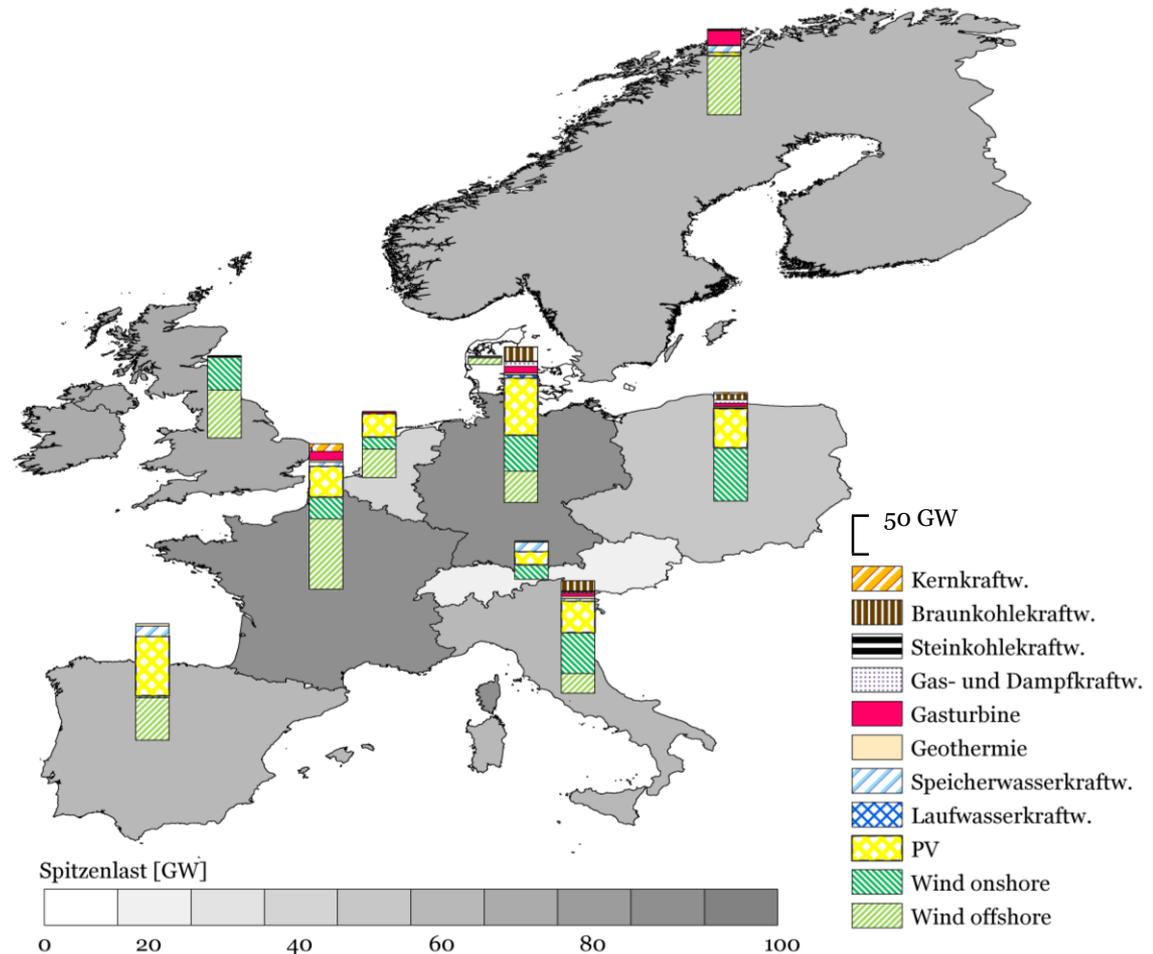
s.t. EE-Erzeugung  $\geq 80\%$

## Europa

W offshore: 460 GW  
 W onshore: 330 GW  
 PV: 390 GW

## Deutschland

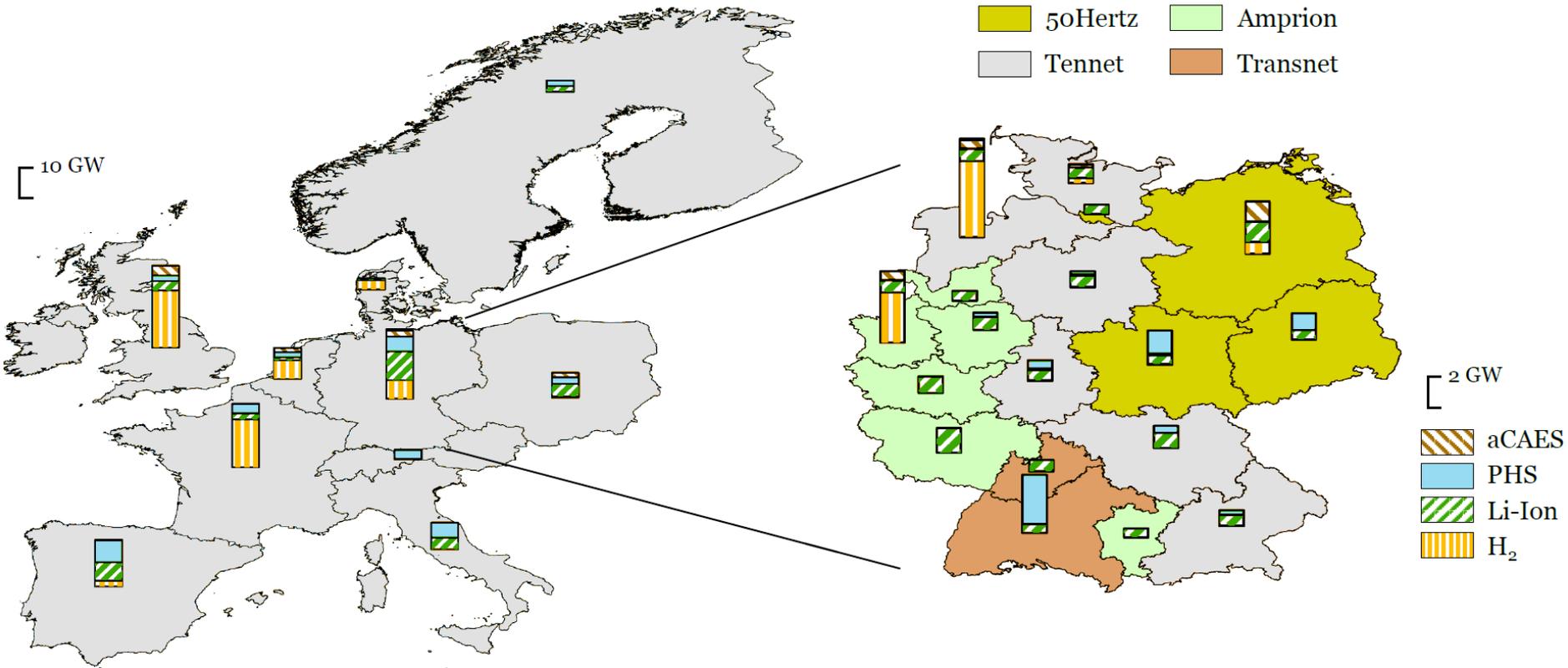
W offshore: 50 GW  
 W onshore: 60 GW  
 PV: 90 GW



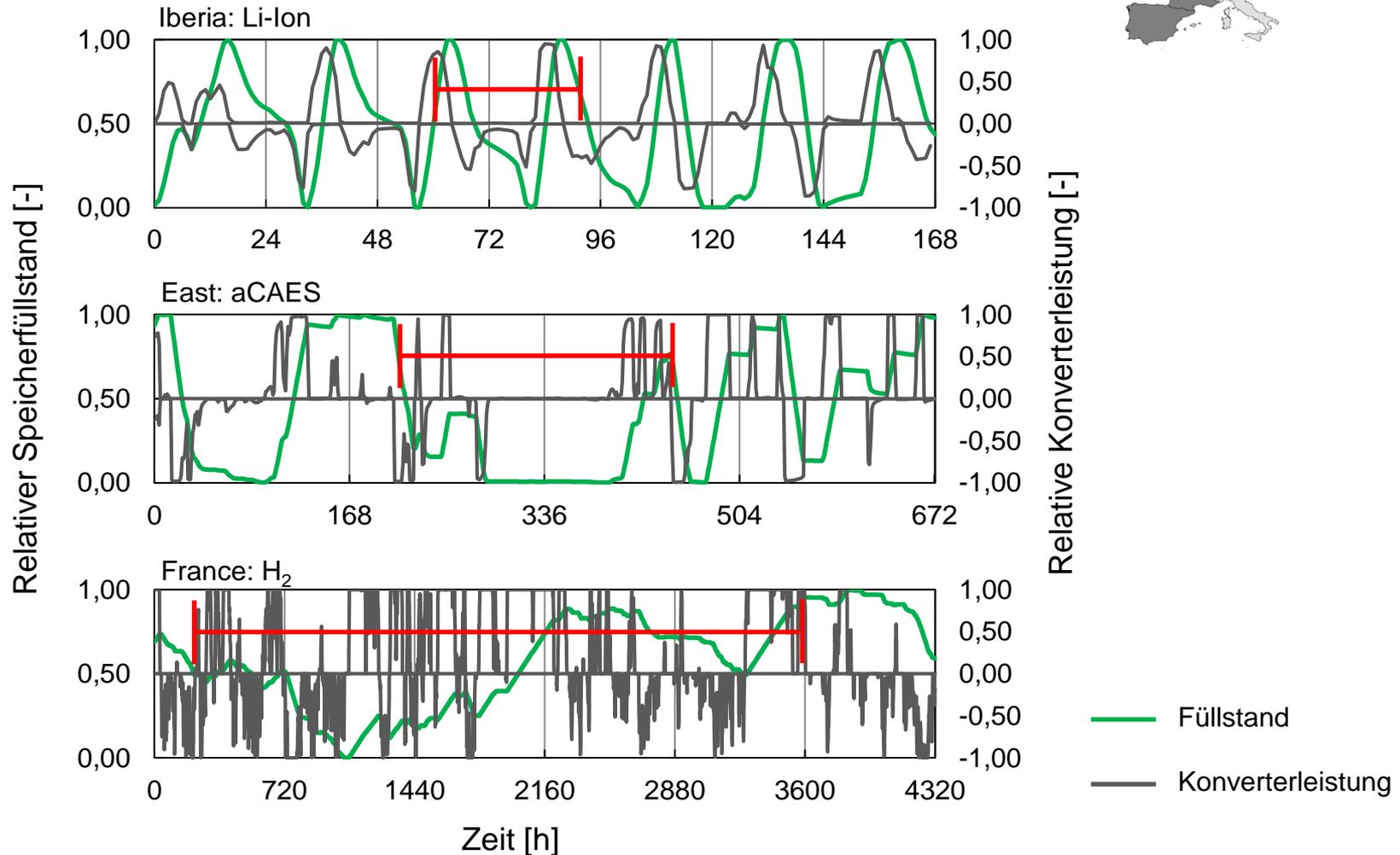
# Speicherleistung

Europa 166 GW

Deutschland 30 GW



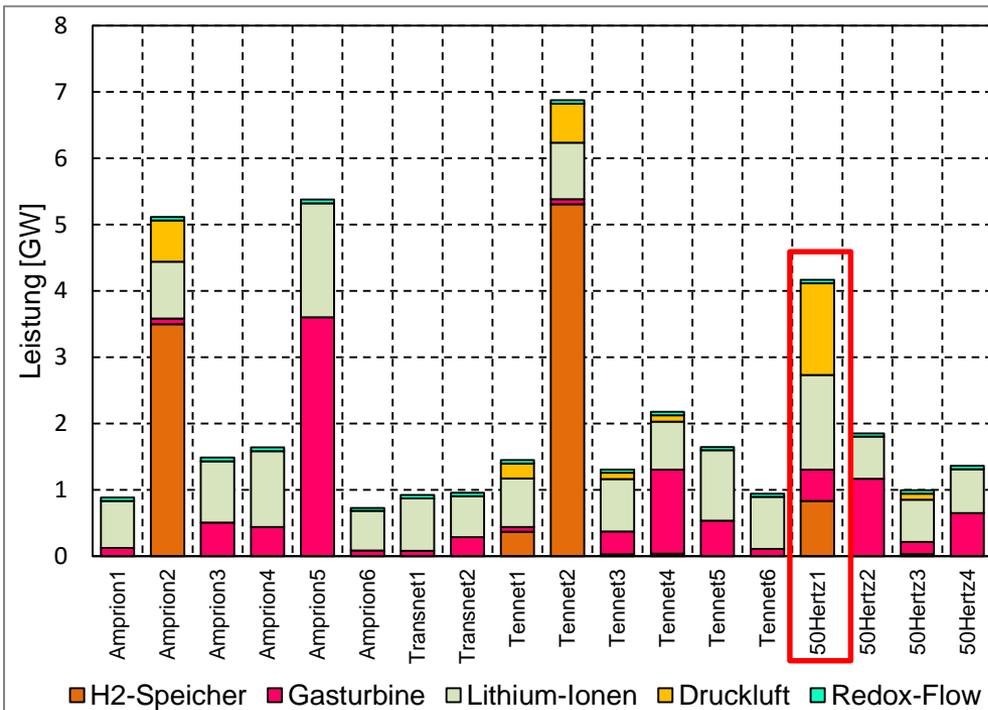
# Speichernutzung



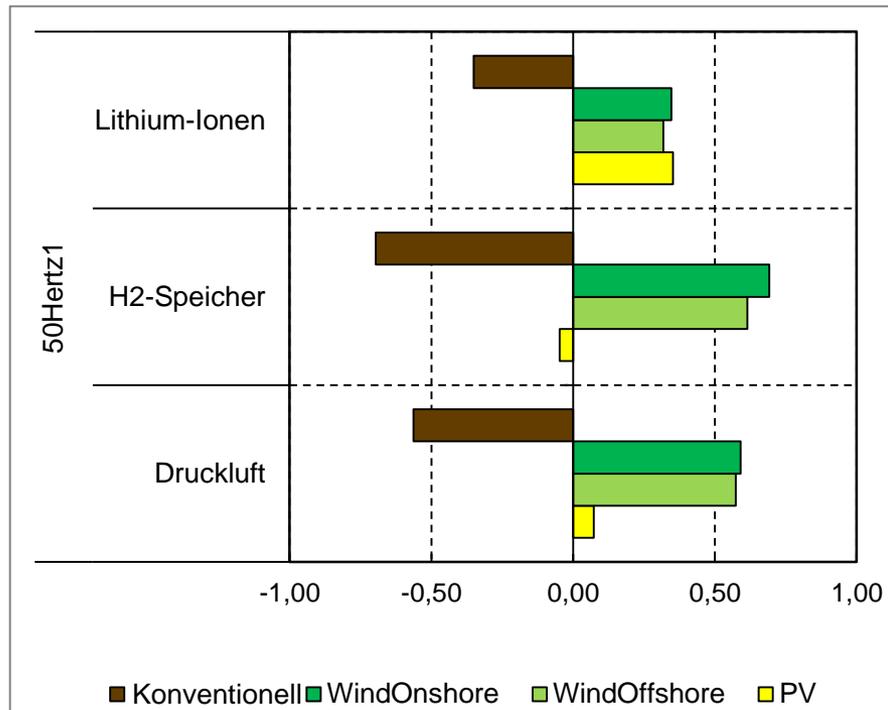
# Speichernutzung 50Hertz1



## Zubau Konverter [GW]



## Korrelation Speicherbeladung u. Erzeugung



- Speicherbeladung korreliert mit der in der Region vorherrschenden erneuerbaren Ressource und antikorreliert mit konventioneller Erzeugung
- Energie-zu-Leistungsverhältnis (E2P): Li-Ion=3h, Druckluft=18h, H2=180h

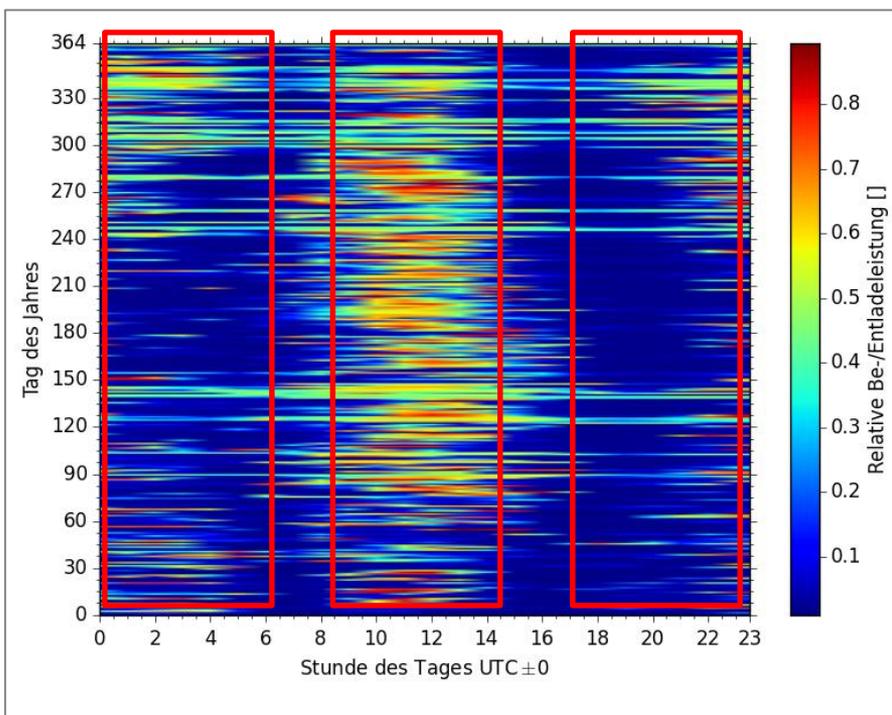


# Speichernutzung in 50Hertz1

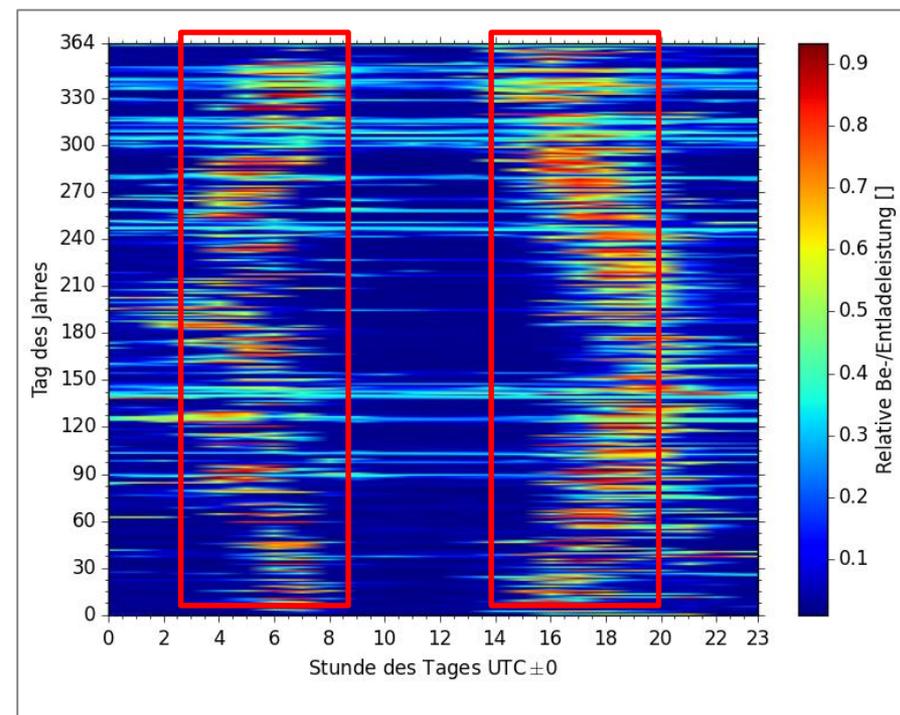


## Lithium-Ionen

### Beladen



### Entladen





# Speichernutzung in 50Hertz1



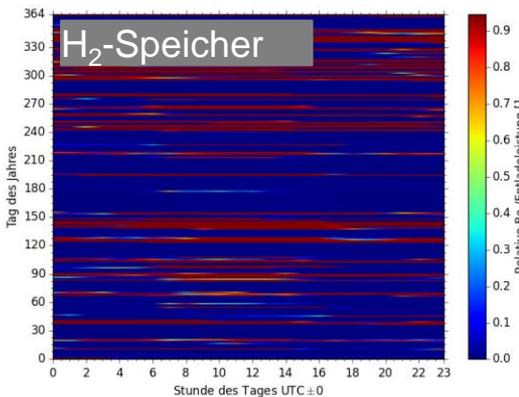
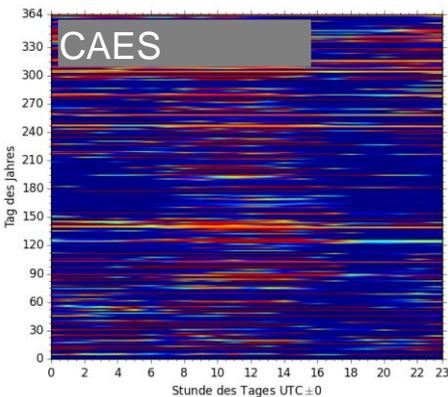
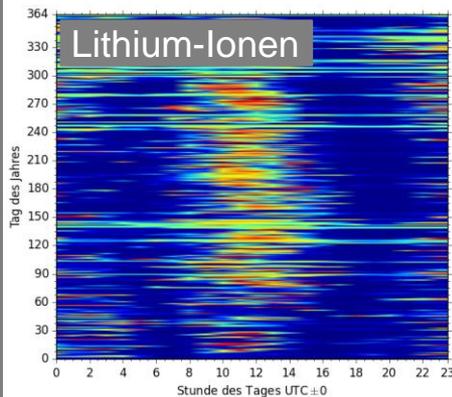
Energie-zu-Leistungsverhältnis (E2P)

2 h

18 h

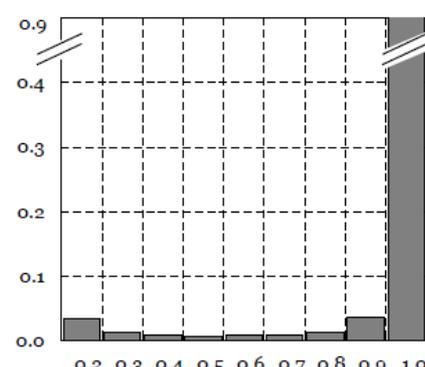
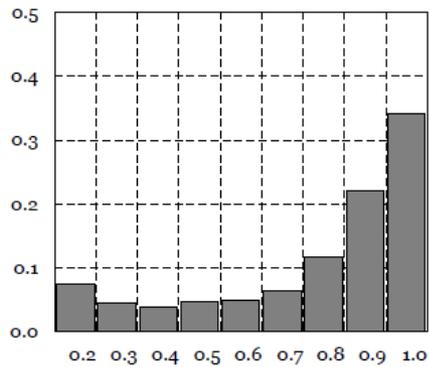
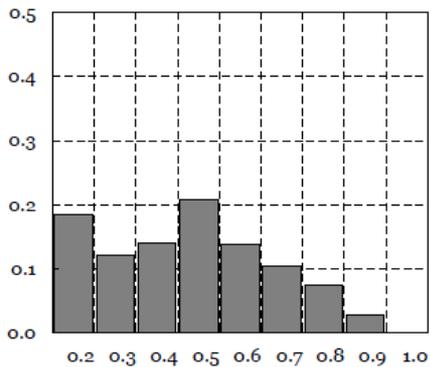
180 h (~8 d)

Beladen



Relative Be-/Entladeleistung [-]

Relative Häufigkeitsverteilung der Beladungsintensität



Relative Ladeleistung [-]



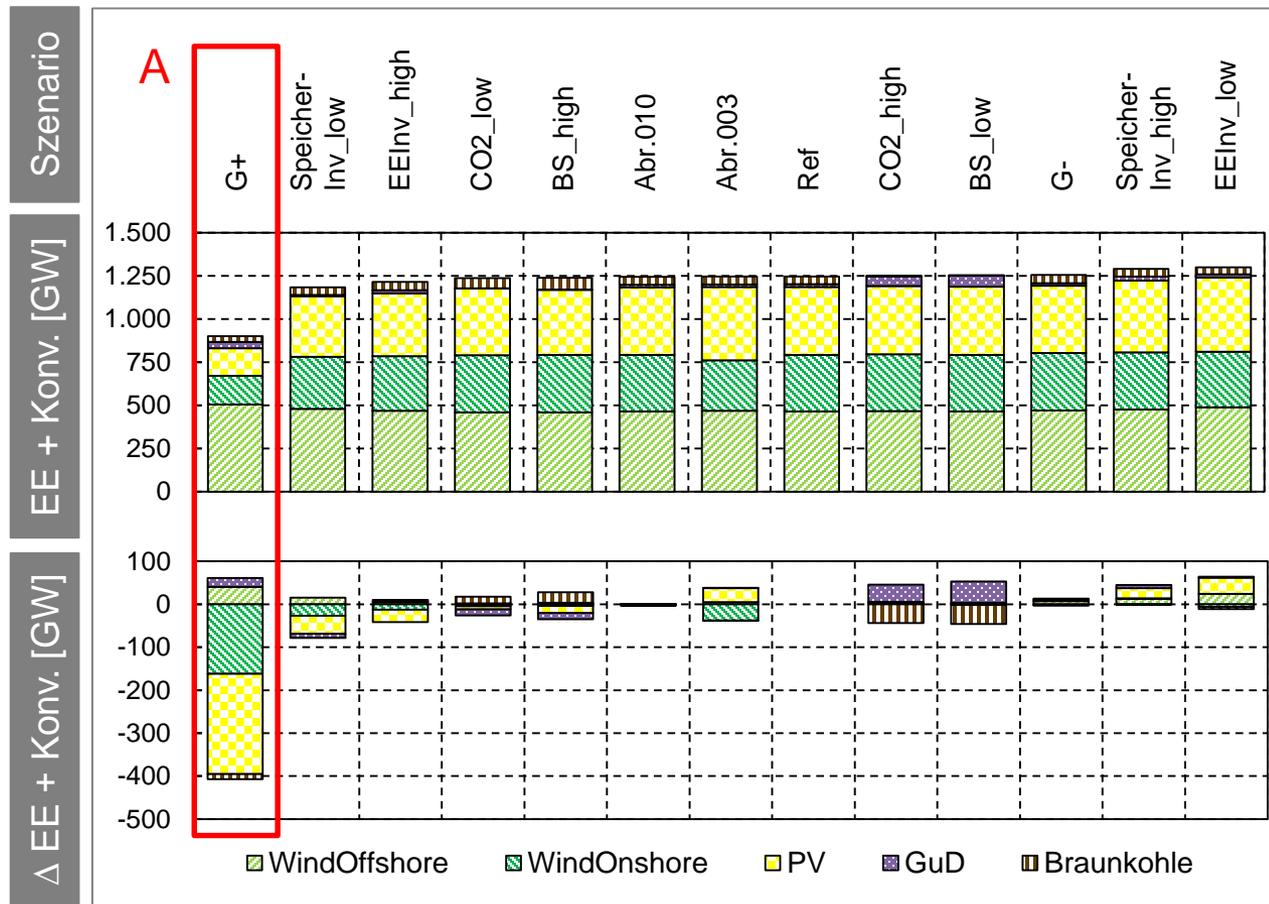
# SZENARIENVERGLEICH

Einfluss auf Speicherzubau und -Nutzung



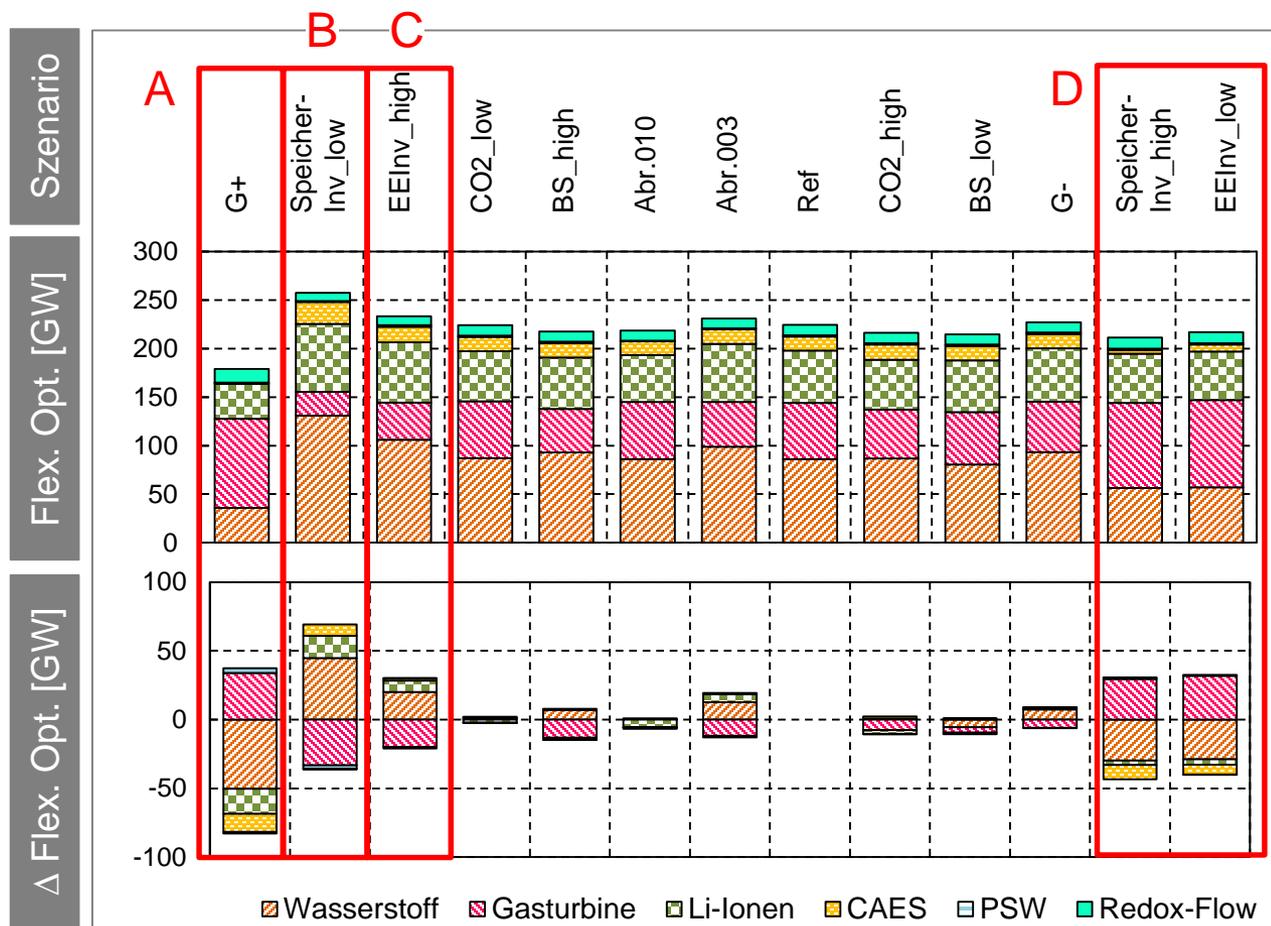
# Szenarienvergleich

## Einfluss auf den Zubau der Kapazitäten in Europa



# Szenarienvergleich

Einfluss auf den Zubau der Flexibilitätsoptionen in Europa



# ZUSAMMENFASSUNG

Kernaussagen und Ausblick



# Zusammenfassung & Ausblick

- Speicherleistung und –Kapazität in den untersuchten Szenarien stark sensitiv:
  - EU: 87 – 233GW, 12 – 54TWh
  - DE: 13 – 39GW, 1 – 7TWh
- Die anteilmäßige Zusammensetzung des Speicherzubaues summiert über das Betrachtungsgebiet jedoch in allen Untersuchungsfällen ähnlich
- Für die Integration von EE können Speicher zu großen Teilen durch Netzausbau substituiert werden
- Geringer Einfluss von Brennstoff- und Emissionszertifikats-Preispfaden sowie Abregelungs-  
begrenzungen auf europäischer Ebene
- Bei knotenscharfer Betrachtung jedoch erkennbare Unterschiede insbesondere in der Struktur des  
Flexibilitätsportfolios
- Notwendige/mögliche weitere Sensitivitäten:
  - Räumliche und zeitliche Auflösung
  - Lastzeitreihen
  - Weitere Flexibilitätsoptionen ggf. Kopplung zum Wärmemarkt und Transportsektor
  - Modellierungsansatz für konventionelle Kraftwerke (MILP vs. LP)
  - Kostengebundene oder knotenspezifische Abregelungslimits
  - Modellmethodik: myopische, Ausbaupfad optimierende oder rollierende Ansätze



# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Dipl. Wi.-Ing. Felix Cebulla

felix.cebulla@dlr.de

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Institut für Technische Thermodynamik

Systemanalyse und Technikbewertung



Wissen für Morgen

