

Integration erneuerbarer Energien in europäischen Langfristszenarien

Wie Szenario- und Methodenwahl den Speicherbedarf beeinflussen

Strommarkttreffen Berlin

TU Berlin, 08. Januar 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)¹ \approx 20-94GW, 15-140TWh
- Beispiel Europa (100% EE-Anteil)¹ \approx 500-900GW, 80-400TWh

Unterschiede bei Daten und Methoden signifikant

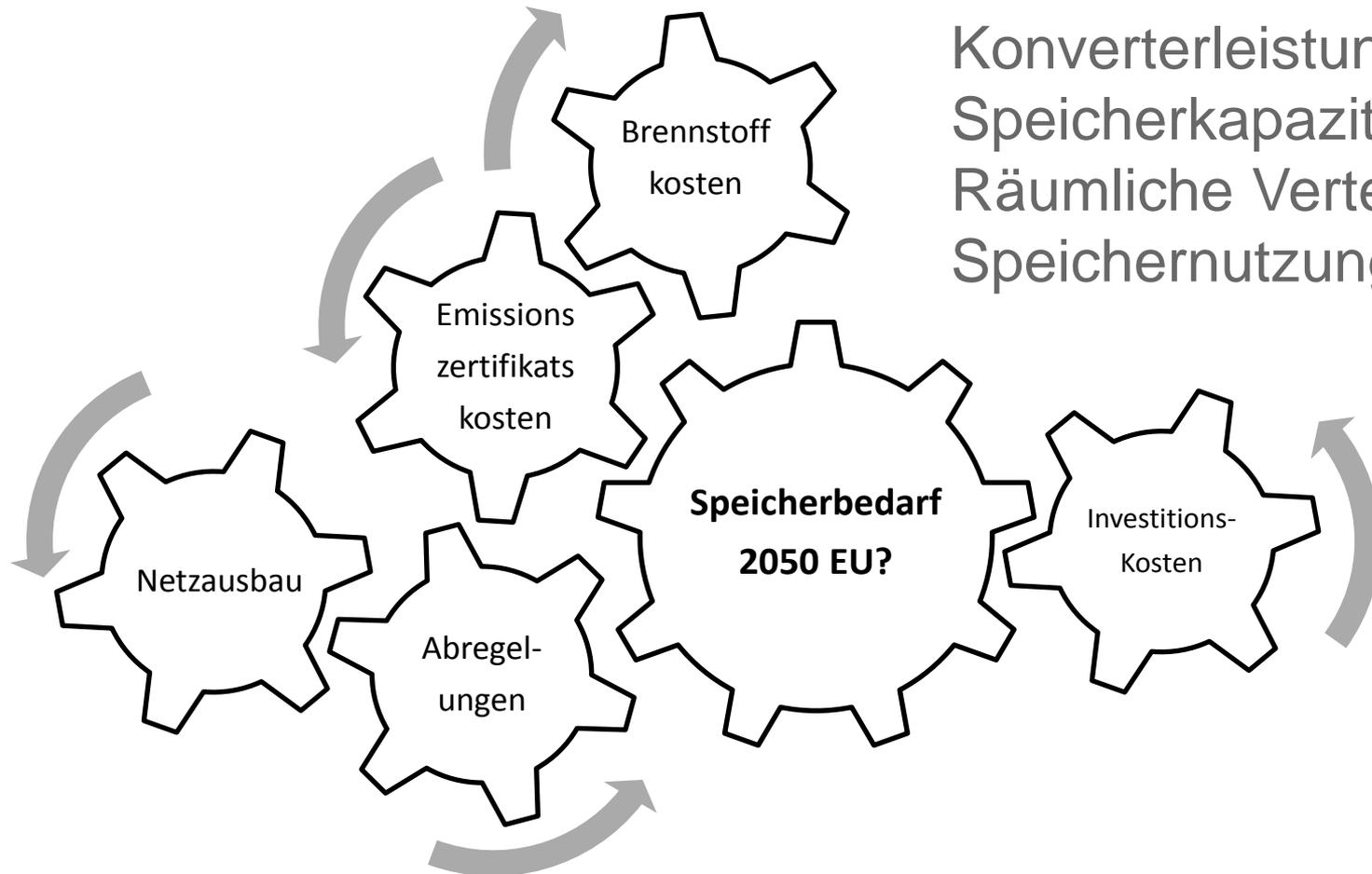
- Techno-ökonomische Eingangsparameter (Investitions- und Betriebskosten, Wirkungsgrade, Lebensdauer, ...)
- Technischer, räumlicher und zeitlicher Detaillierungsgrad
- Modellierung (innerhalb von Optimierungsansätzen: LP/MILP, Stützjahre, myopisch, Pfadoptimierung, Stochastik)

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?



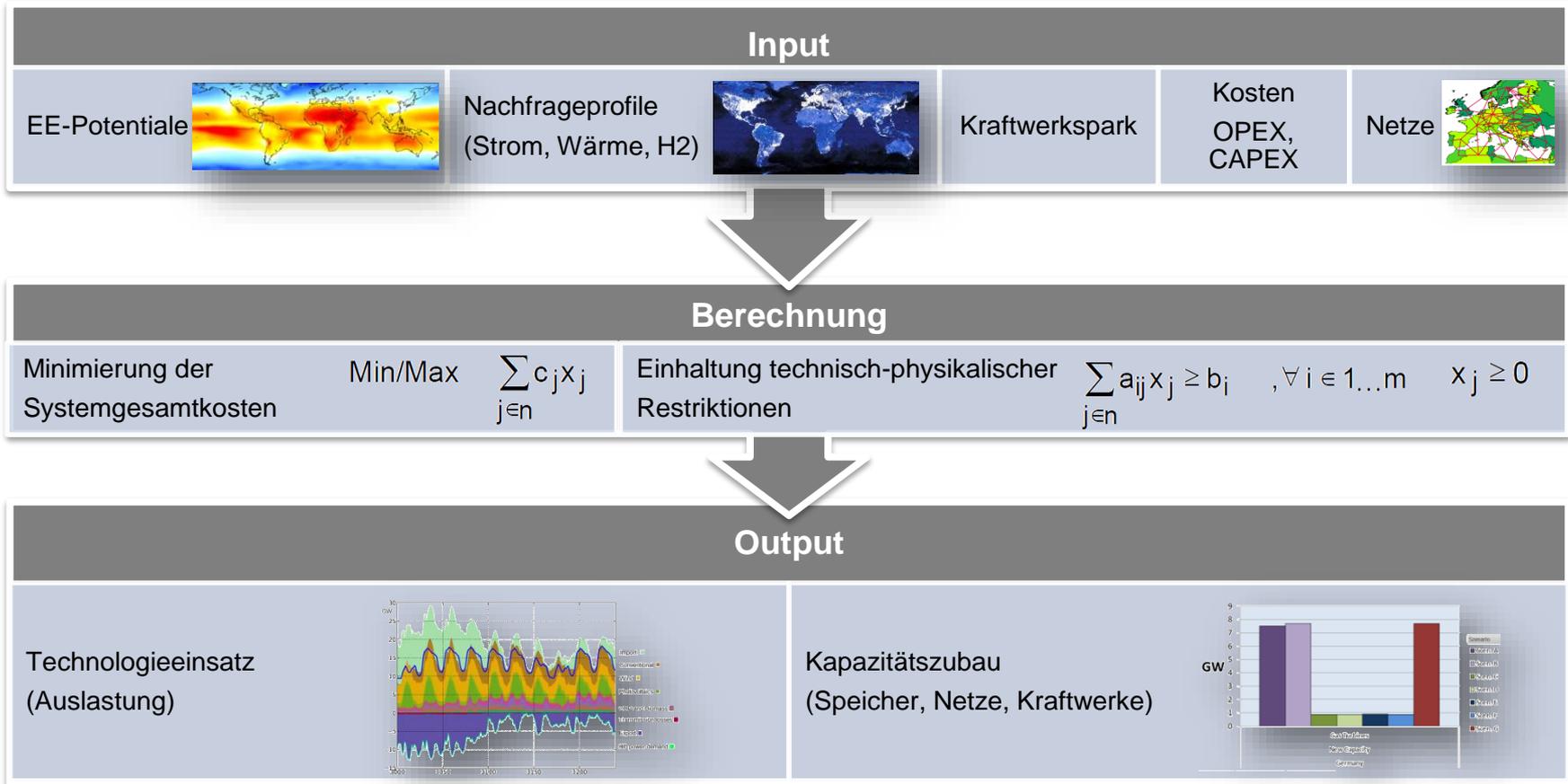
METHODIK

Modell, Annahmen und betrachtete Szenarien



Modell

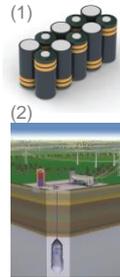
Renewable Energy Mix for Sustainable Energy Supply (REMix)



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

- H₂-Speicherung in Salzkavernen & anschließende Rückverstromung
- Modellendogener Zubau in allen Szenarien inkl. Zubauoberlimits für H₂-, Druckluft- und Pumpspeicher

Erneuerbare Erzeugung

Wind on/offshore
Photovoltaik
Biomasse
Solartherm. KW
Laufwasserkraft
Speicherwasserkraft



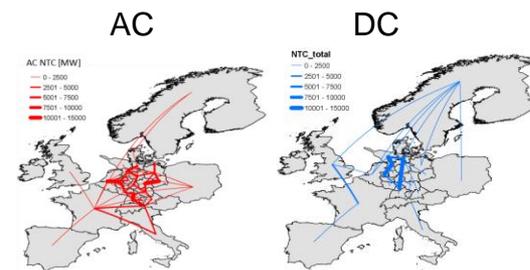
Modellierung

- 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



Zubau der Kapazitäten (EE + Konventionelle)

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

W_off: 460 GW

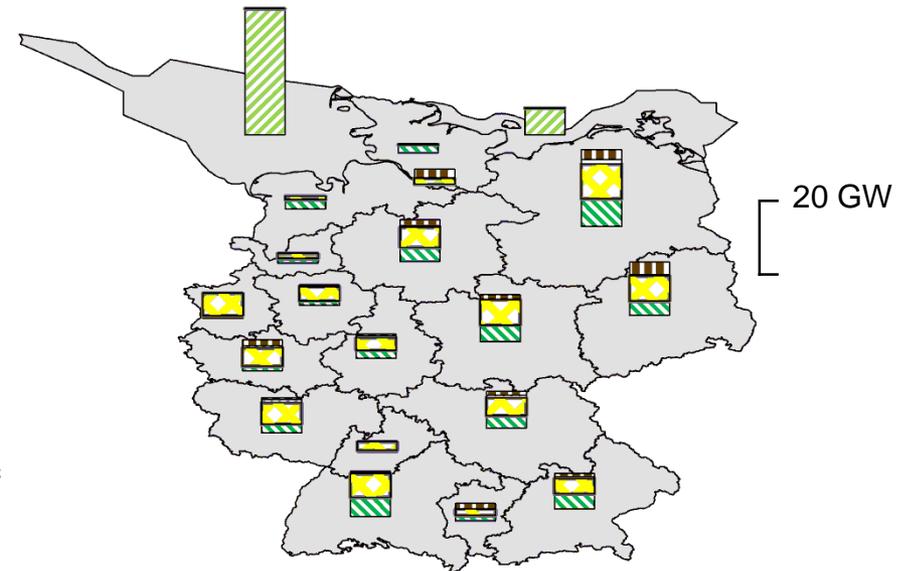
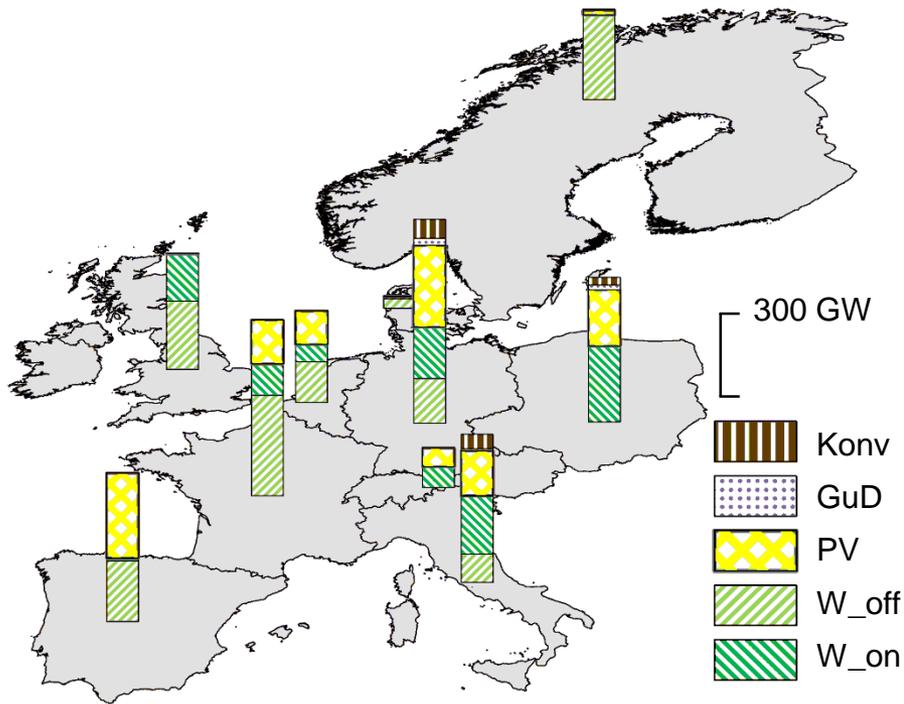
W_on: 330 GW

PV: 390 GW

W_off: 50 GW

W_on: 60 GW

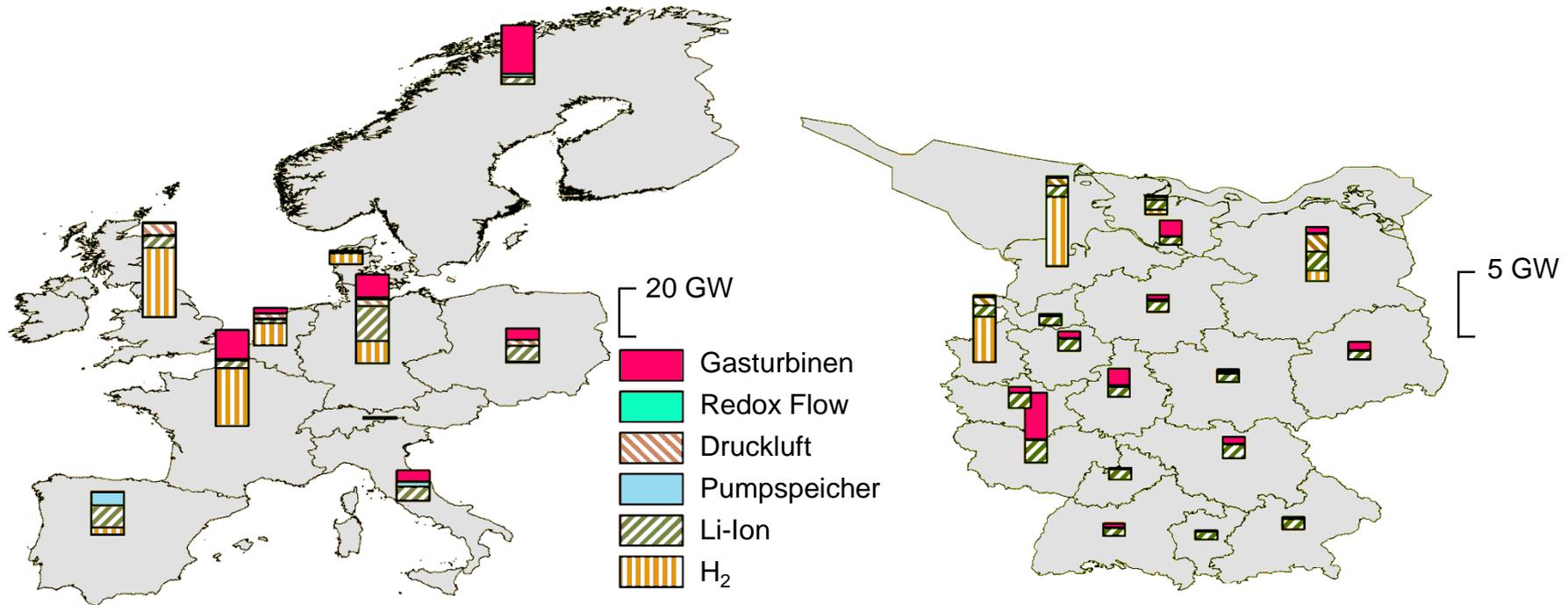
PV: 90 GW



Zubau Speicherleistung + Gasturbinen

Speicher: 166 GW
GT: 58 GW

Speicher: 30 GW
GT: 10 GW

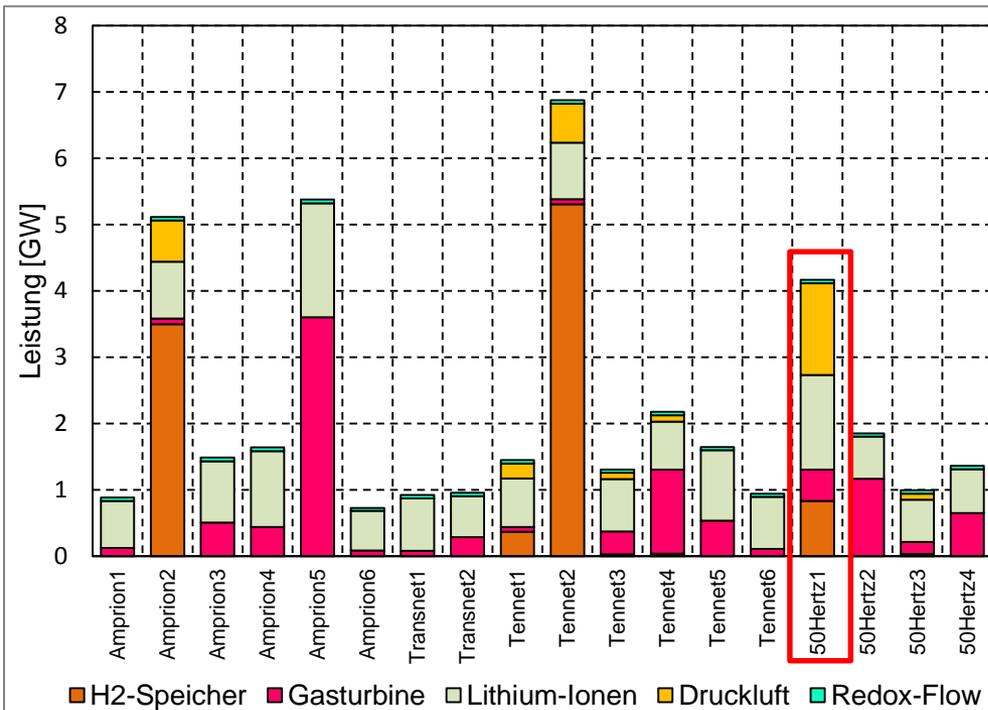


Referenzscenario 2050

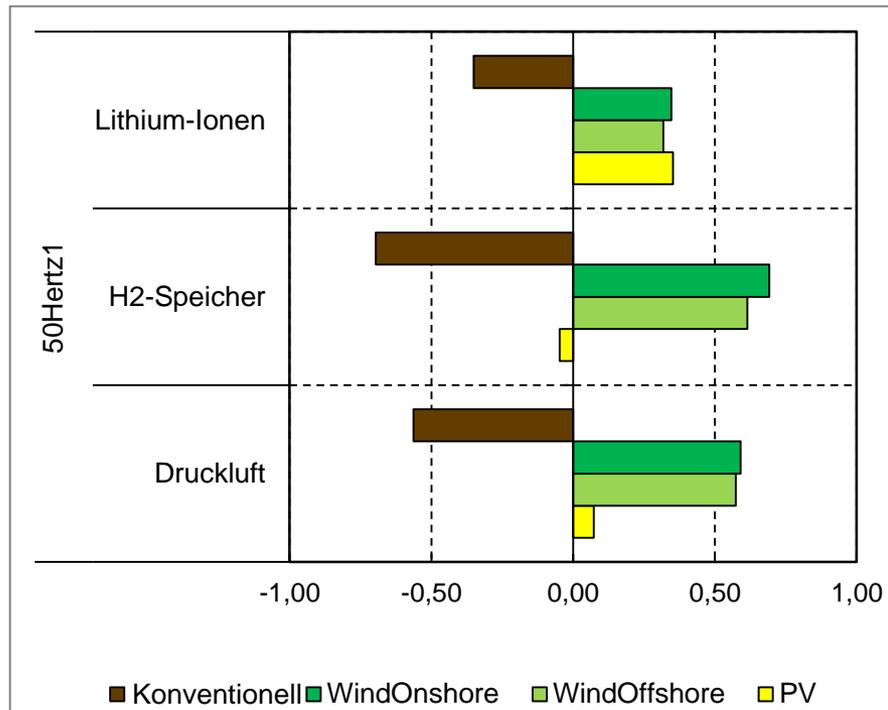
Speicherzubau/nutzung in 50Hertz1



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

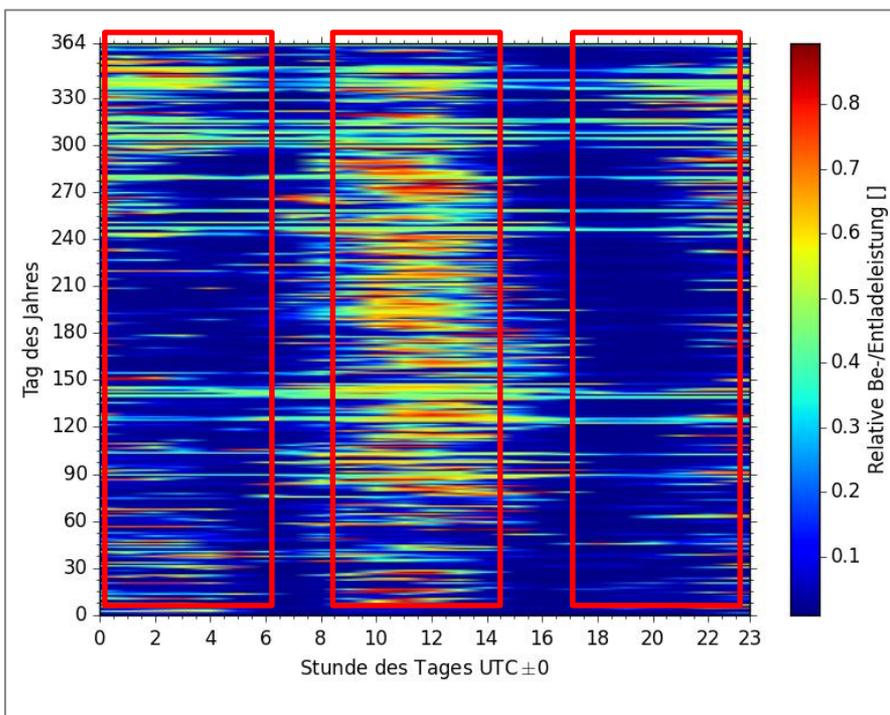


Speichernutzung in 50Hertz1

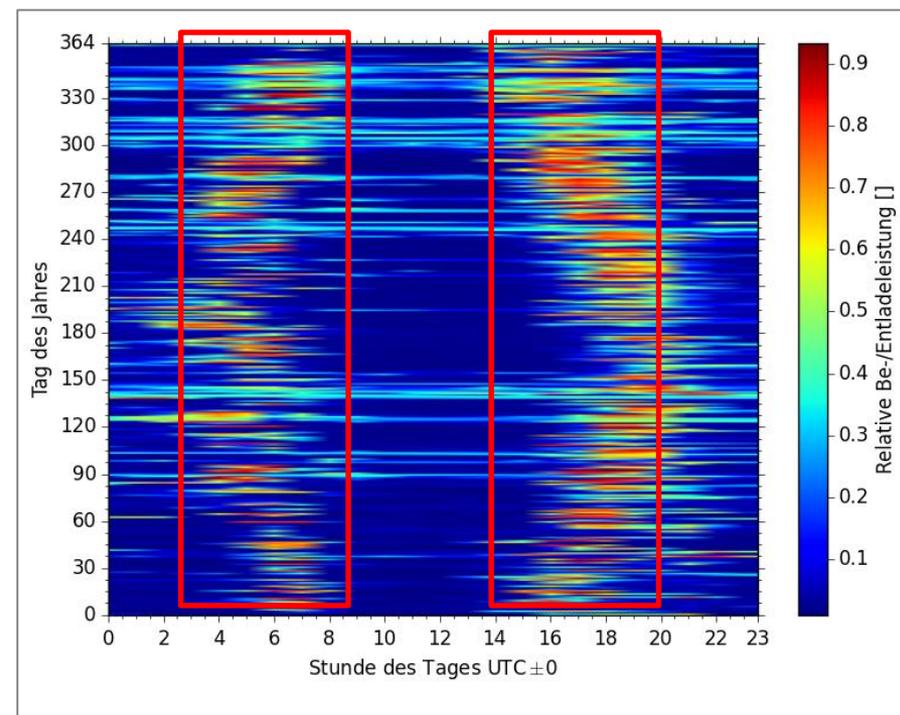


Lithium-Ionen

Beladen

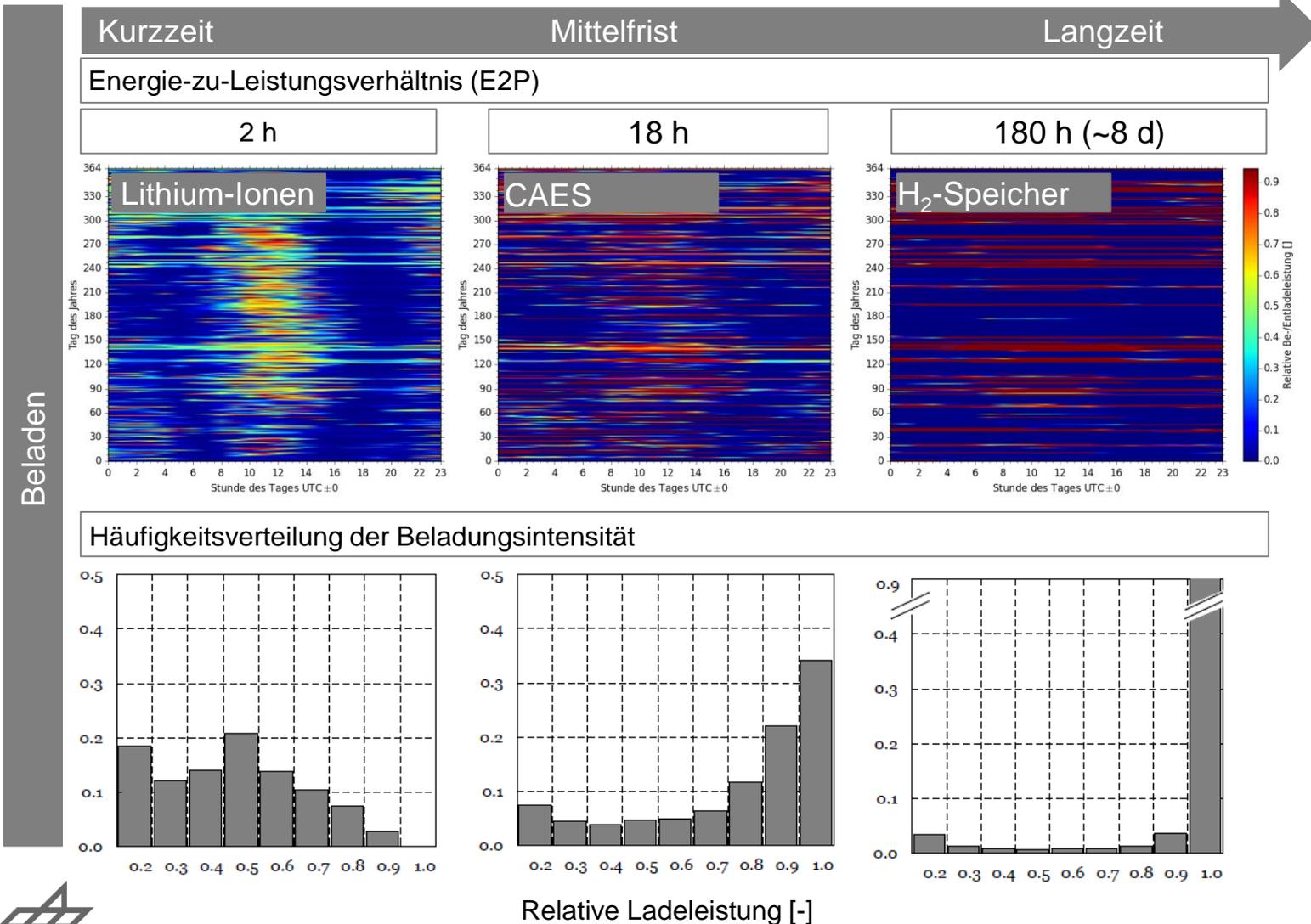


Entladen





Speicherzubau/nutzung in 50Hertz1



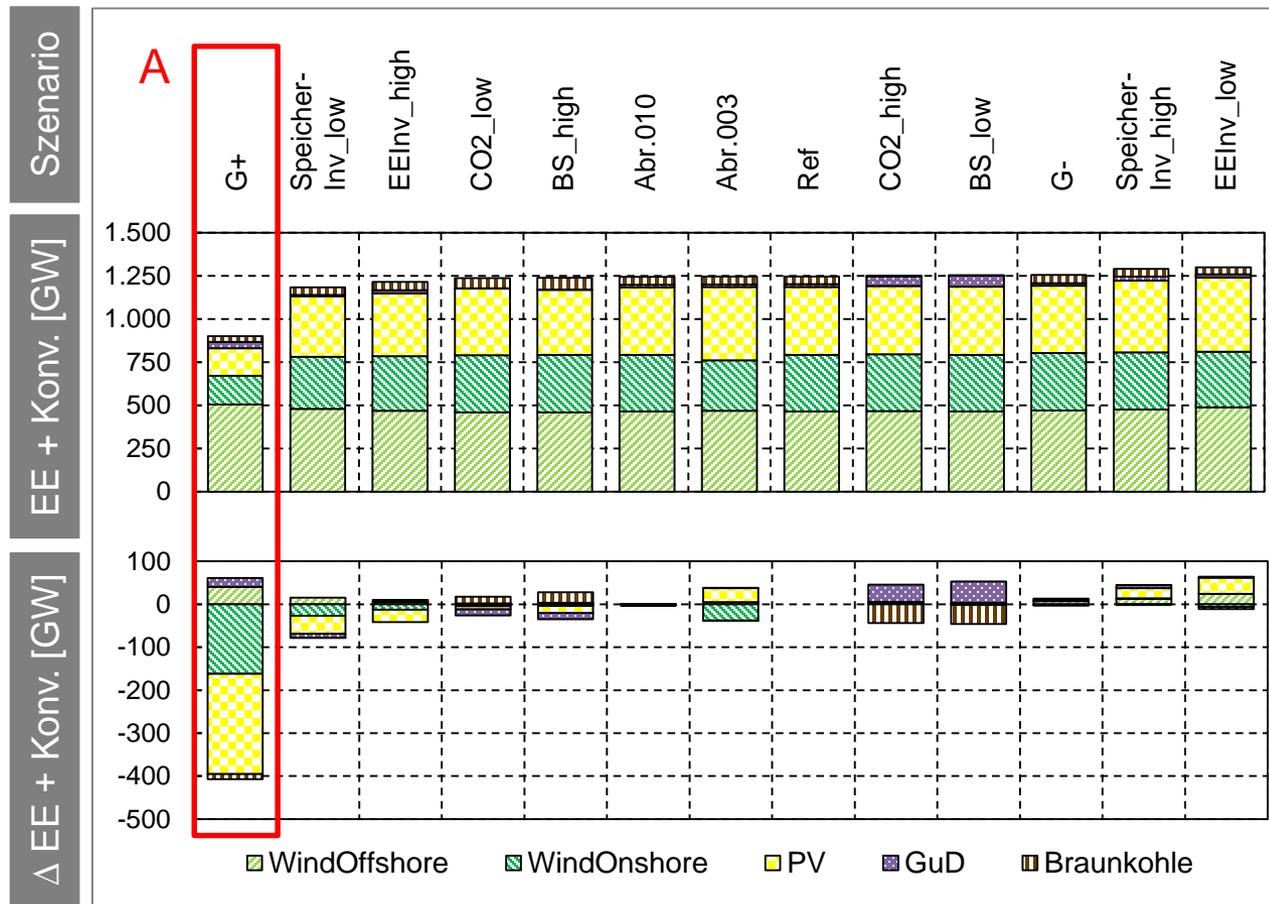
SZENARIENVERGLEICH

Einfluss auf Speicherzubau und -Nutzung



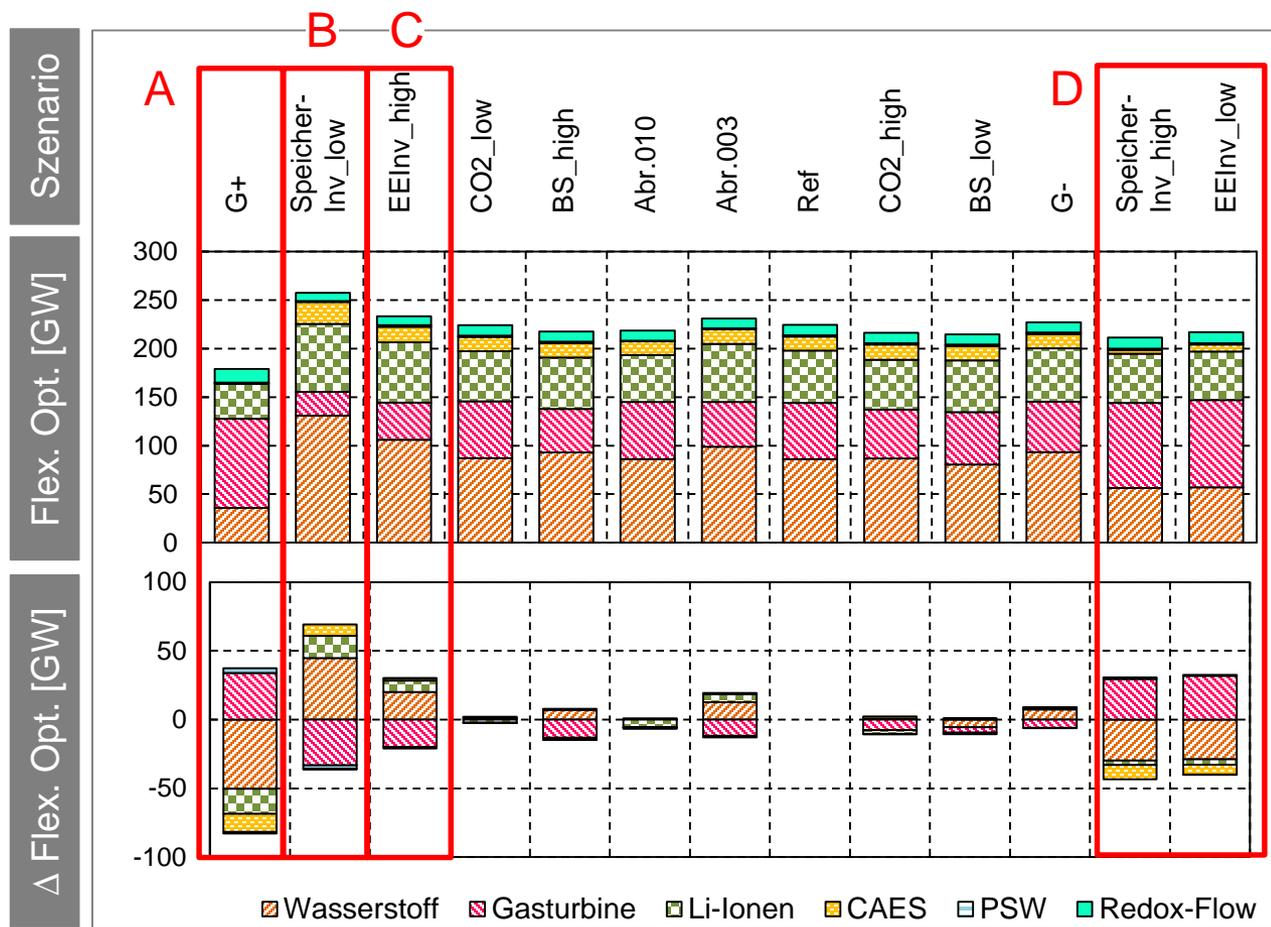
Szenarienvergleich

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 oder Ausbaupfad optimierende 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