

# Bewertung von Pumpspeicherwerken unter Berücksichtigung erneuerbarer Energien

*- Studie im Auftrag der Voith Hydro -*

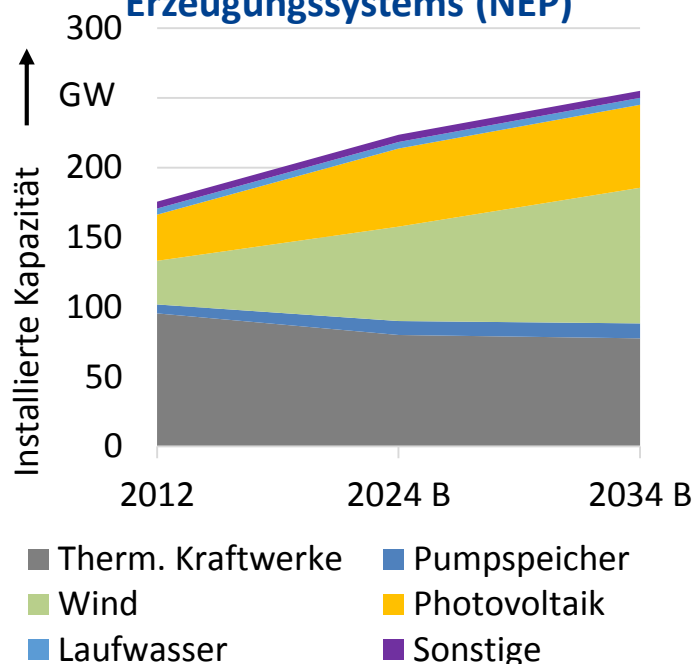
- Einleitung
- Methodik
- Szenario
- Ergebnisse
- Fazit

Denis vom Stein  
Essen, 10.07.2017

## Hintergrund

- Strukturwandel in der Energiewirtschaft durch Zubau von Erzeugungsleistung auf Basis von Wind- und Solarenergie (EE)
- Dargebotsabhängigkeit und Unsicherheiten führen zu höherem Bedarf an Flexibilität
- Bereitstellung gesicherter Leistung durch thermische Kraftwerke aufgrund geringer Wirtschaftlichkeit fraglich
- Pumpspeicherkraftwerke können sowohl Flexibilität als auch gesicherte Leistung zu Spitzenlastzeiten bereitstellen

Erwartete Entwicklung des deutschen Erzeugungssystems (NEP)

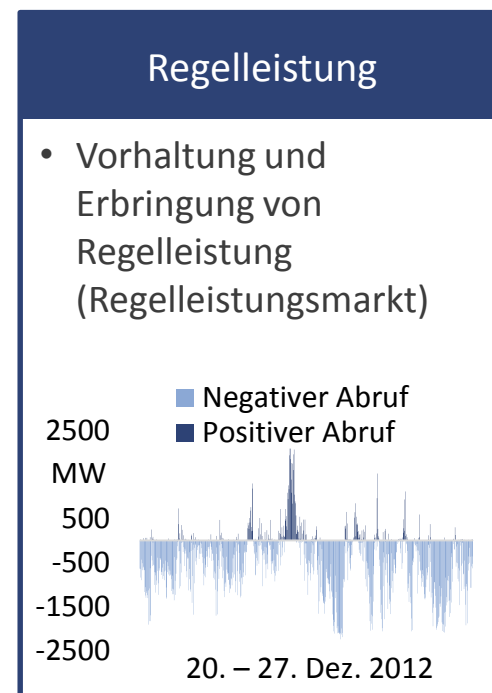
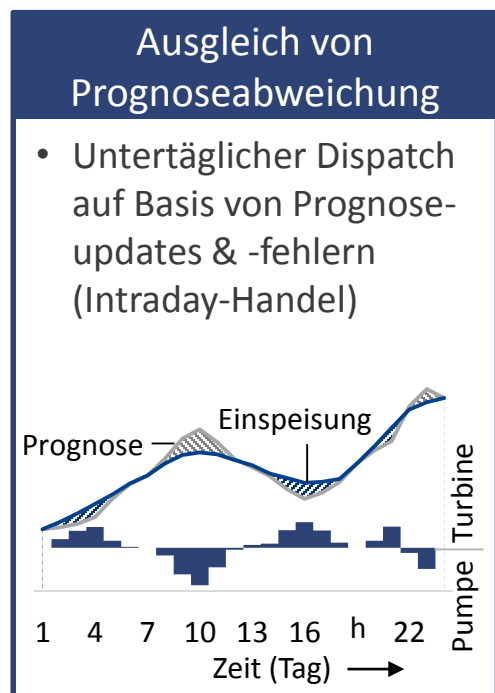
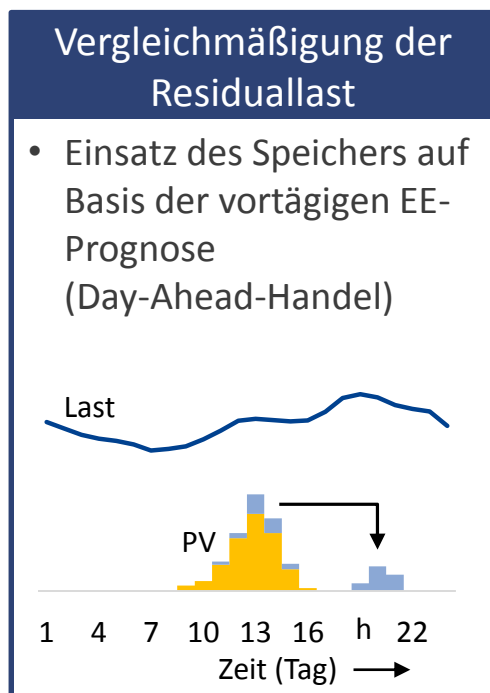


Quelle: NEP 2014

## Ziel der Studie

- ➔ Bewertung des gesamtwirtschaftlichen Nutzens zusätzlicher Pumpspeicher unter expliziter Berücksichtigung des Ausgleichs von EE-Prognoseabweichungen

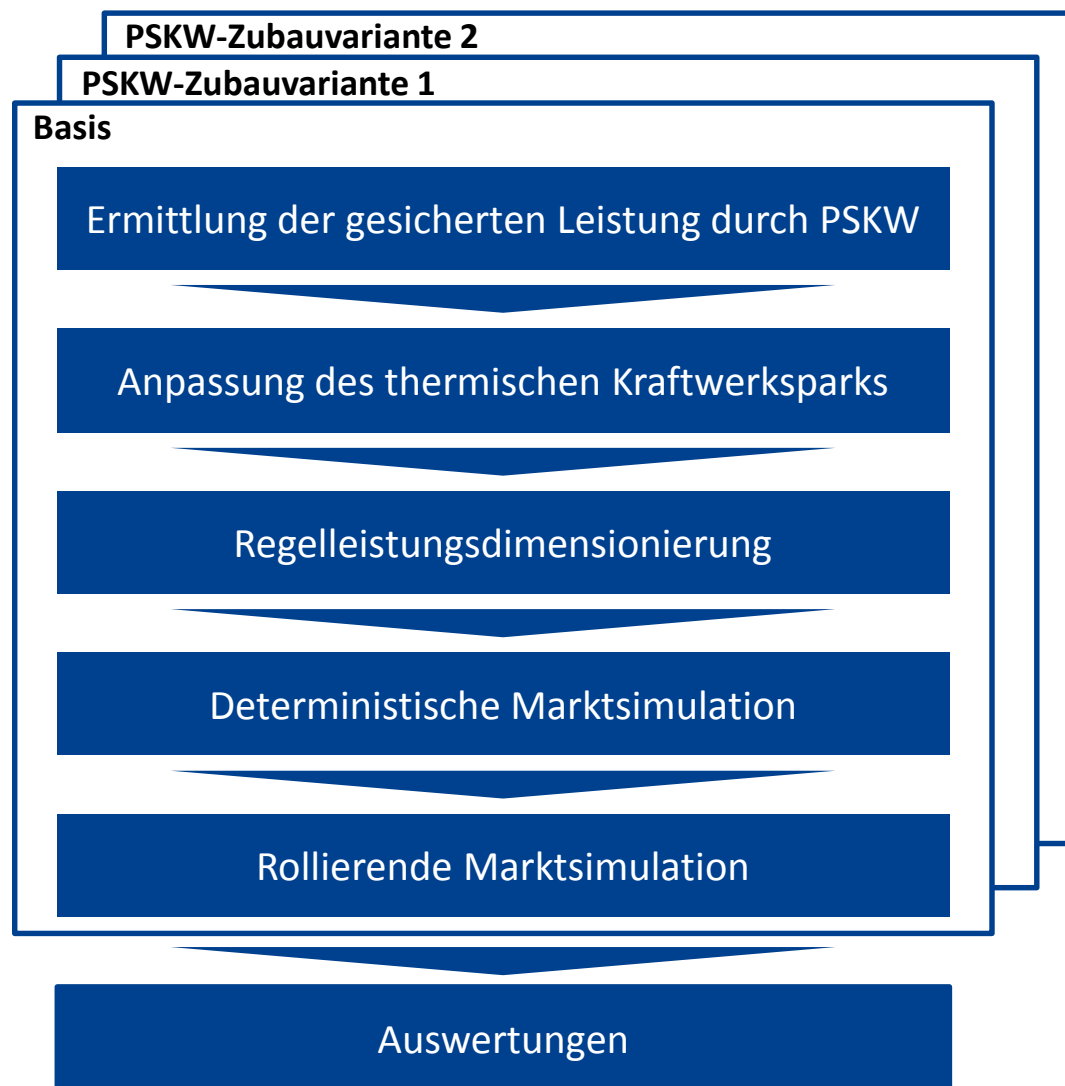
# Flexibilität durch Speicher bei volatiler EE-Einspeisung



- Adäquate Bestimmung des gesamtwirtschaftlichen Mehrwertes von Speichern erfordert:
  - ➔ Rollierende Simulation mit aktualisierten Prognosen
  - ➔ Detaillierte Abbildung von Regelleistung

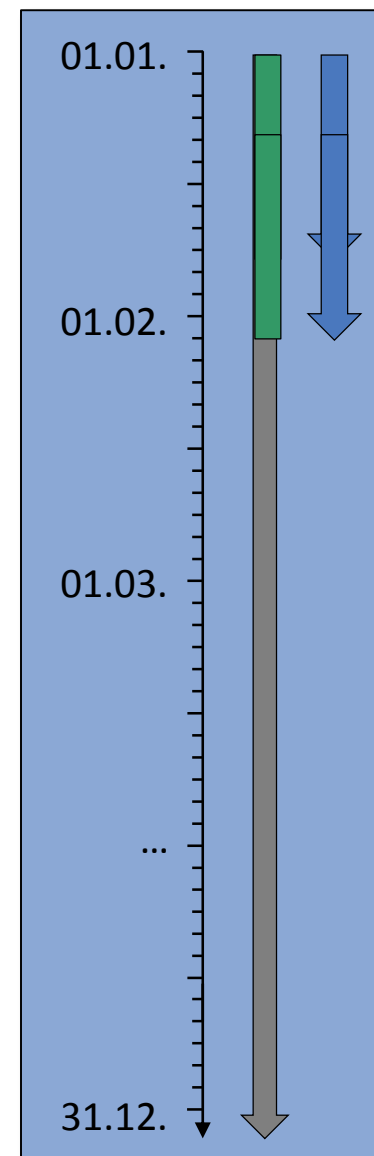
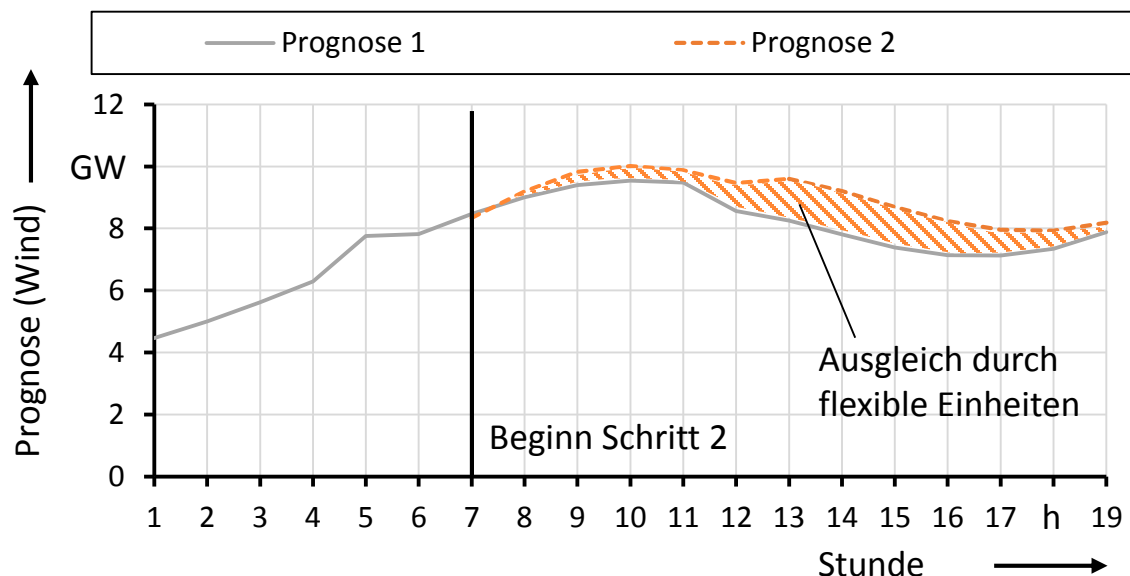
# METHODISCHES VORGEHEN

# Methodisches Vorgehen – Überblick



## Rollierende Marktsimulation

- Optimierung des Kraftwerkseinsatz anhand von Einspeiseprognosen (Update alle 6 Stunden)
- Ausgleich der Differenz zwischen 2 Prognosen durch kurzfristig flexible Einheiten (z.B. Pumpspeicher oder Gaskraftwerke)
- Auch grenzüberschreitender Ausgleich möglich



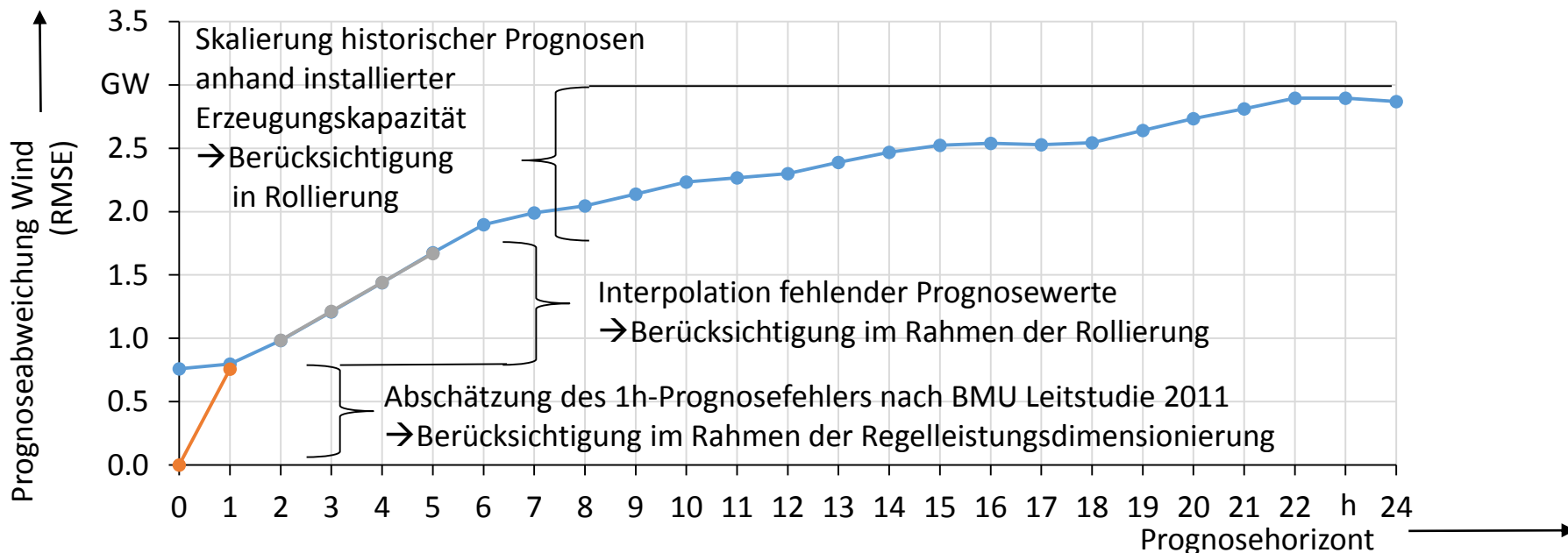
## Anpassung Prognosedaten an Szenario 2033

- Aufbereitung der Eingangsdaten zur Verwendung in Simulationen durch
  - ◆ Zeitreihen für rollierende Marktsimulation
  - ◆ Prognosefehler mit Horizont von 1 Stunde zur RL-Dimensionierung

### Prognosefehlerentwicklung nach BMU Leitstudie 2011

% nRMSD	2010	2020	2030	2050
Wind onshore – Day ahead	4.0 %	3.2 %	3.0 %	2.6 %
Wind onshore – Short term (1h)	1.5 %	0.9 %	0.8 %	0.6 %
Wind offshore – Day ahead	12.0 %	7.0 %	4.5 %	3.5 %
Wind offshore – Short term (1h)	3.3 %	1.9 %	1.6 %	1.2 %
Solar – Day ahead	6.0 %	4.0 %	3.8 %	3.1 %
Solar – Short term (1h)	2.9 %	1.4 %	1.3 %	1.1 %

### Verwendete Prognosefehler für Szenario 2033 am Beispiel von Wind



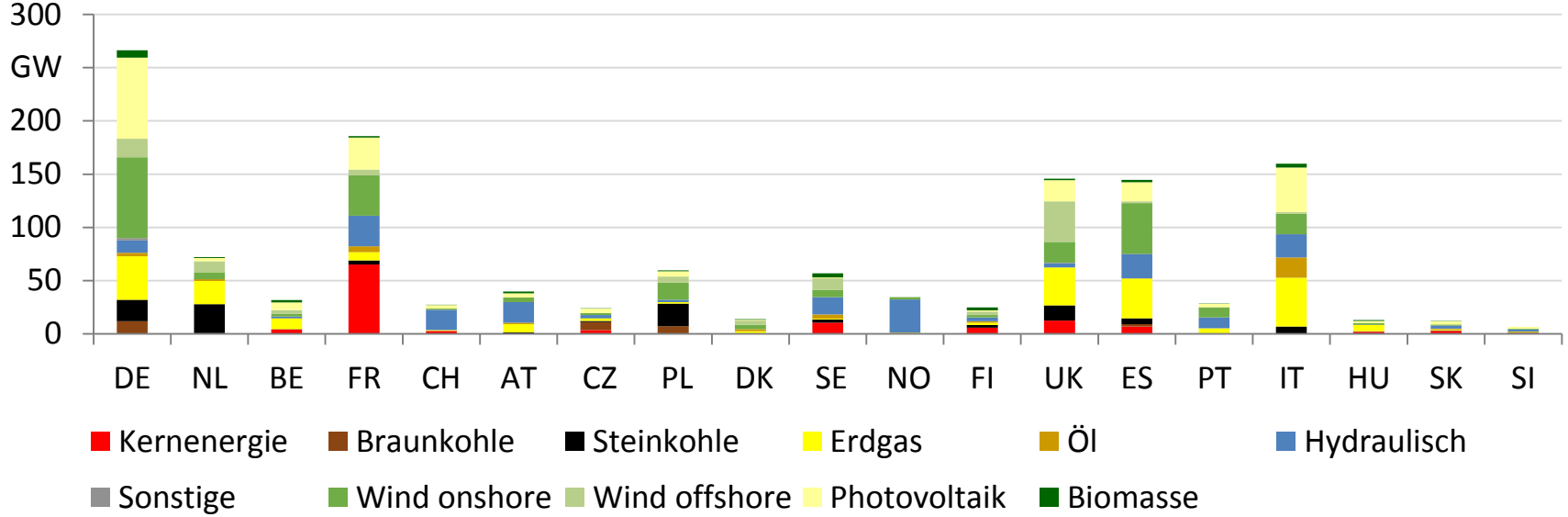
# SZENARIOBESCHREIBUNG



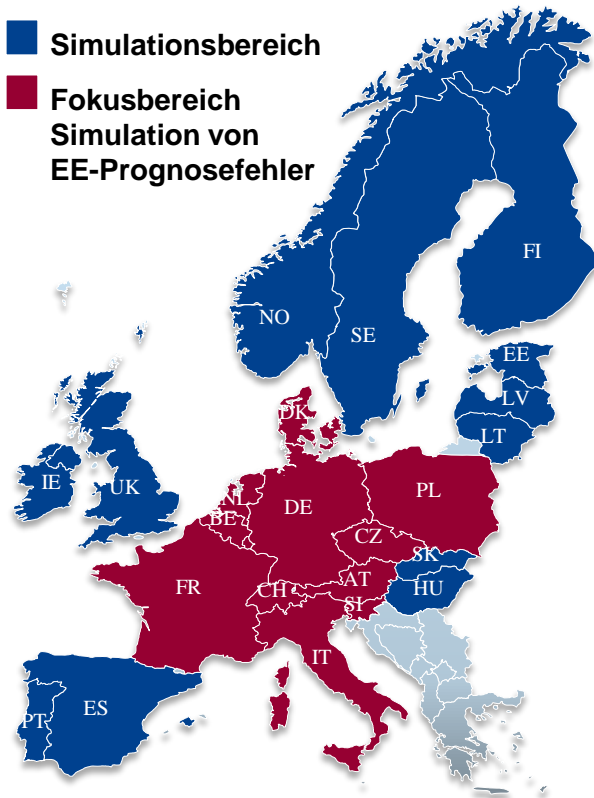
# Szenarioüberblick – Erzeugungsleistung

- Szenario nach Agora-Studie „Stromspeicher in der Energiewende“ für das Jahr 2033
  - ◆ Aufbauend auf Netzentwicklungsplan und SO&AF der ENTSO-E
  - ➔ EE-Anteil von 61% in Deutschland und 39% in Europa

### Installierte Leistung nach Primärenergieträgern in Europa 2033 – Basisszenario



## Betrachtungsbereich und Sensitivitäten



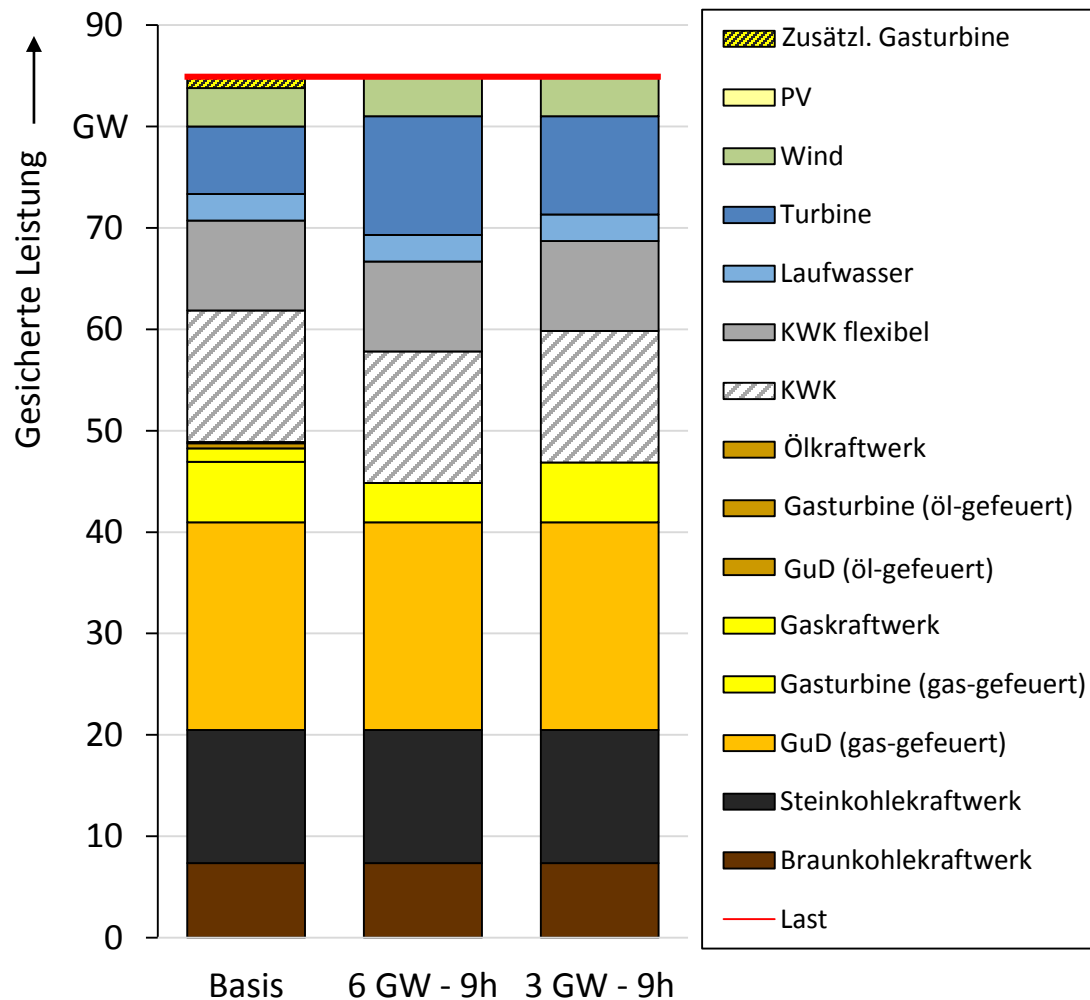
<i>Technische Daten</i>	Einheit	PSKW	
		Variante 1	Variante 2
Umwälzwirkungsgrad	%	80	80
Technische Lebensdauer	a	80	80
Anlagenleistung (Erzeugung)	MW	<b>6.000</b>	<b>3.000</b>
Anlagenleistung (Verbrauch)	MW	<b>6.000</b>	<b>3.000</b>
Max. Vollastbetrieb (Erzeugung)	h	<b>9,0</b>	<b>9,0</b>
Max. Vollastbetrieb (Verbrauch)	h	Ca. 11	Ca. 11
Spez. Investitionskosten Leistung	€/kW	1.000	1.000
Spez. Investitionskosten Kapazität	€/kWh	50	50
Jährliche spez. Betriebskosten	€/kW/a	13	13

➔ Bewertung von zwei Ausbaustufen an PSKW mit einem Energy-to-Power Verhältnis von 9 MWh/MW

Einfluss von PSKW Zubau auf Erzeugungssystem

## **ERGEBNISSE**

## Reduktion der thermischen Kapazität durch Zubau von PSKW

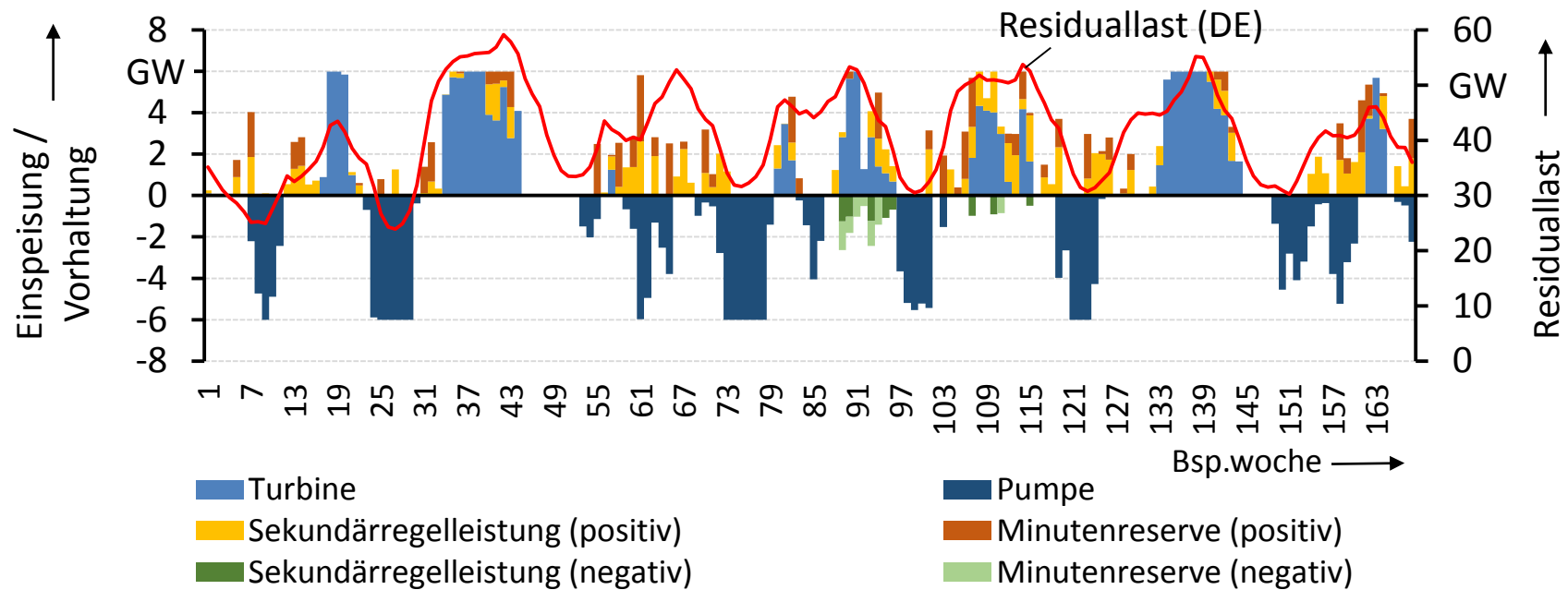


- Annahme: 85 GW gesicherte Leistung erforderlich
- PSKW mit Beitrag zur gesicherten Leistung
- Reduktion der thermischen Kapazitäten nach Grenzkosten und Flexibilität
  1. Öl-gefeuerte Anlagen
  2. Gaskraftwerke
  3. Gas-gefeuerte Gasturbinen
- ➔ Vollständiger Rückbau von Erzeugungsanlagen auf Basis des Primärenergieträgers Öl

2033

## Einsatzweise der zusätzlichen Pumpspeicherkraftwerke

- Beispielhafter Fahrplan vom PSKW aus Variante 1 für eine Woche



- Einsatzweise von PSKW-Zubauvarianten

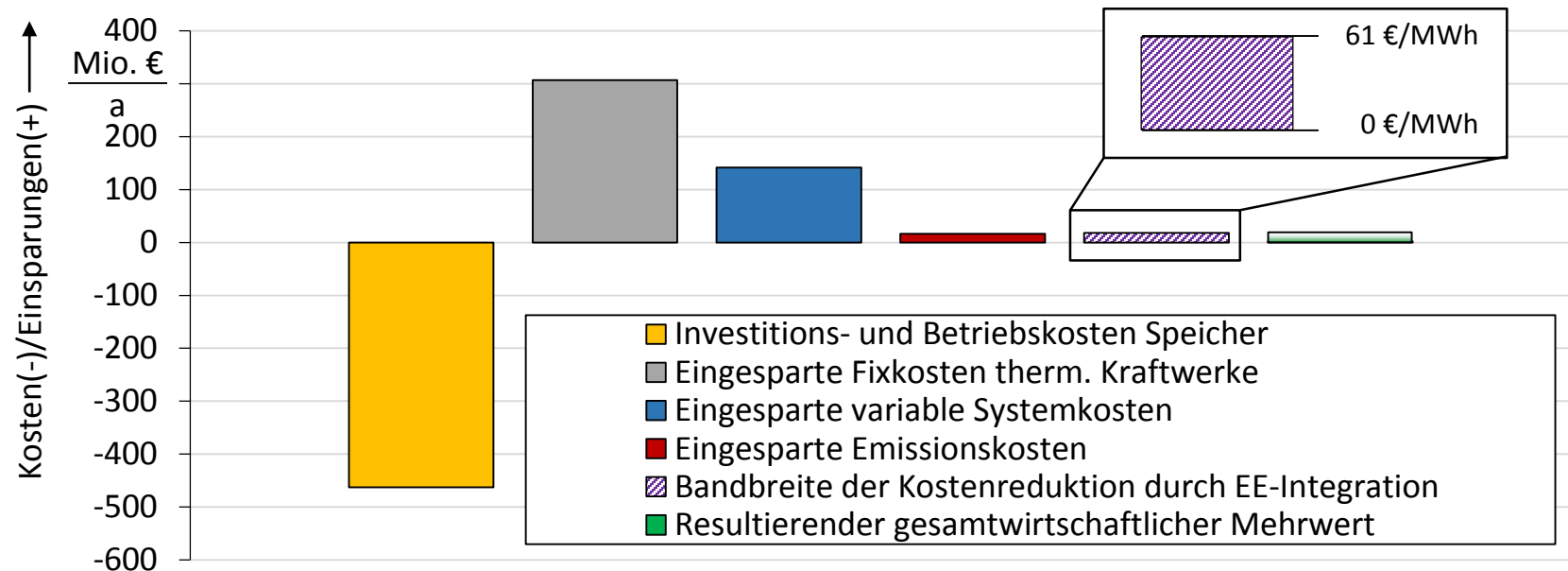
- ◆ Teilnahme am Fahrplanenergiemarkt
  - ◆ Volllaststunden in Variante 1 (+6 GW): 945 h/a
  - ◆ Volllaststunden in Variante 2 (+3 GW): 1066 h/a
- ◆ Vorhaltung von Regelleistung verschiedener Qualitäten (auch aus Stillstand)

Einfluss von PSKW Zubau auf Kosten

## ERGEBNISSE

## Variante 1 – Kosteneinsparungen und Investitionskosten

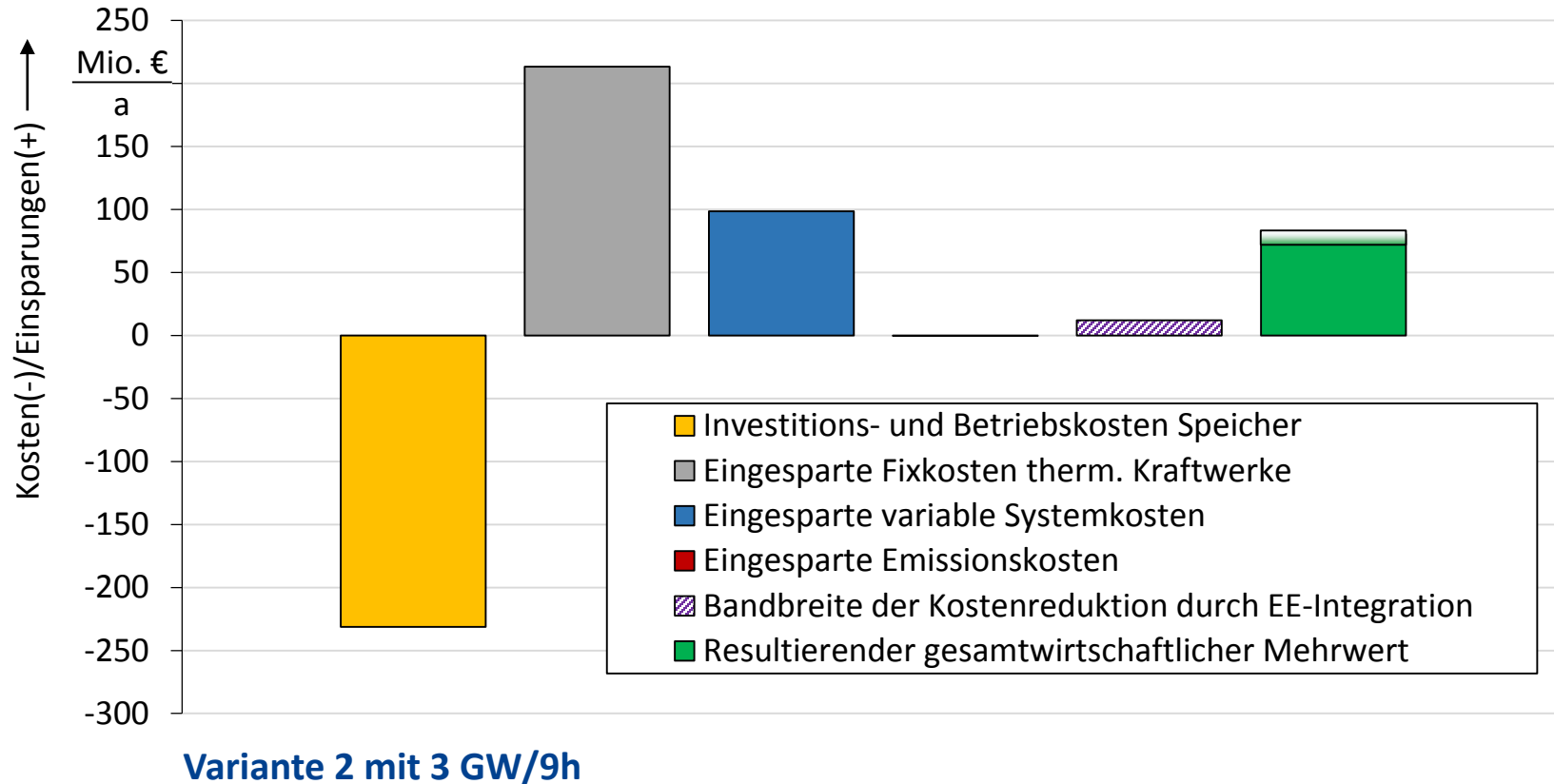
- Investitionskosten von Speichern im Vergleich zu Kosteneinsparungen
  - ◆ Eingesparte Fixkosten thermischer Kraftwerke aufgrund des Beitrags zur gesicherten Leistung der zusätzlichen Pumpspeicher
  - ◆ Geringere variable Kosten durch verbesserten Dispatch und Ausgleich von Prognoseabweichungen
  - ◆ Bandbreite für Bewertung der Mehrintegration von Einspeisung aus EE



➔ Zubau von 6 GW an Speichern mit leicht positivem Nutzen aus Systemsicht 2-20 Mio. €/a\*

\* Bei einer EE-Vergütung von 61 €/MWh gem. Agora

## Variante 2 – Kosteneinsparungen und Investitionskosten



➔ PSKW-Zubau von 3 GW führt zu gesamtwirtschaftlichem Mehrwert i.H.v. 81-93 Mio. €/a\*

\* Bei einer EE-Vergütung von 61 €/MWh gem. Agora



## Schlussfolgerungen

- Speicher können signifikanten Beitrag zur gesicherten Leistung sowie zum kurzfristigen Ausgleich von EE-Prognosefehlern bieten
- Detailliertere Modellierung des Einflusses von Prognoseabweichungen ermöglicht verbesserte Bewertung von Flexibilitätsoptionen
- ➔ Abbildung von gesicherter Leistung und EE-Prognosefehlern notwendig zur Evaluierung des zukünftigen Mehrwertes von Flexibilitätsoptionen wie Speichern

- ➔ Variante +3 GW Pumpspeicher ergibt ökonomischen Nutzen von bis zu 92,4 Mio. €/a
- ➔ Variante +6 GW Pumpspeicher führt zu nahezu Break-Even Situation in ökonomischer Kosten-Nutzen-Betrachtung (bis zu 20,4 Mio. €/a)
- ➔ Eingesparte Fixkosten thermischer Kraftwerke machen Großteil der für 2033 simulierten Kosteneinsparungen aus
- ➔ Mehrintegration EE durch PSKW von bis zu 261 GWh/a (183 GWh/a in Variante +3 GW) insbesondere durch den Einsatz der Pumpen

## Weitere Fragen?

### Auftraggeber

Voith Hydro Holding GmbH & Co. KG

### Vortragender

Denis vom Stein, M.Sc.

Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft (IAEW),  
RWTH Aachen University

E-Mail: [st@iaew.rwth-aachen.de](mailto:st@iaew.rwth-aachen.de)  
<http://www.iaew.rwth-aachen.de>

### Institutsleiter

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Albert Moser