

# Flexibilitätsoptionen im Energiesystem der Zukunft

---

Vortrag von  
Christoph Pellingner, FfE e.V.

bei  
Zehnte Niedersächsische Energietage  
Hannover, 7. bis 8. November

# Agenda

0

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.

1

Einleitung

2

Ergebnisse aus dem Projekt „Merit Order der Energiespeicherung im Jahr 2030“

3

Ergebnisse aus dem Projekt „Merit Order des Netzausbaus 2030“

4

Ausblick - Der Pfad zur Dekarbonisierung

# Die Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.

## Hintergrund

- Unabhängige Institution, die sich mit den aktuellen Fragestellungen der Energiewirtschaft und -technik befasst
- Forschungsergebnisse werden – frei von politischen Richtungen und Vorgaben – auf Basis wissenschaftlich fundierter Analysemethoden generiert

## Entwicklung

- Gründung 1949 in Karlsruhe
- Umzug nach München in 1969
- Tochtergesellschaft FfE GmbH seit 2001



- Weiterbildung von 300 Mitarbeitern
- Etwa 30 Abschlussarbeiten pro Jahr
- Ca. drei Promotionen jährlich

## Eckdaten

## Mitglieder

- Mitglieder aus Energiewirtschaft, Industrie, Wissenschaft und Verwaltung sowie Privatmitglieder
- Aktiver Erfahrungsaustausch, Einbindung in ein Wissensnetzwerk, direkter Kontakt zu den wissenschaftlichen Mitarbeitern

- Aktuelle Themen: Speicher und Netze, Elektromobilität, Energiemärkte, Energieeffizienz
- Methoden: Energiesystemanalysen und -simulationen, Data Mining, GIS-Modelle, Industrie Audits

## Forschung

# Agenda

0

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.

1

Einleitung

2

Ergebnisse aus dem Projekt „Merit Order der Energiespeicherung im Jahr 2030“

3

Ergebnisse aus dem Projekt „Merit Order des Netzausbaus 2030“

4

Ausblick - Der Pfad zur Dekarbonisierung

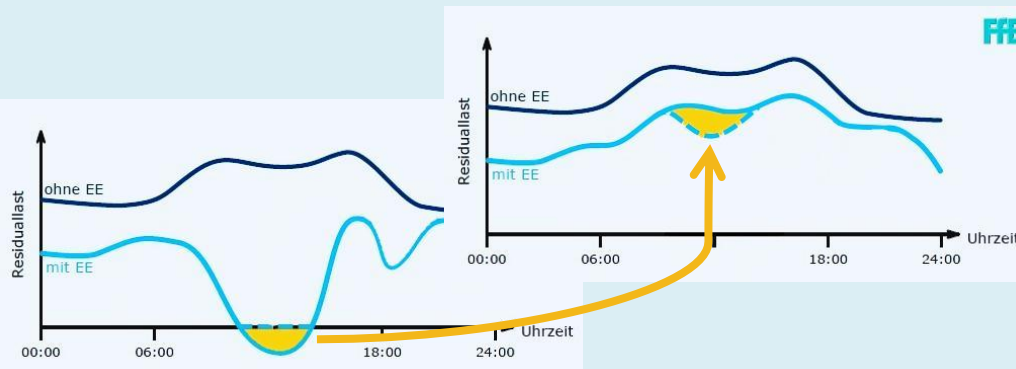
# Die Dimensionen der Flexibilität sind Raum und Zeit

Es liegen räumliche und zeitliche Unterschiede zwischen Erzeugung und Verbrauch vor

Räumlicher Ausgleich über

Netz

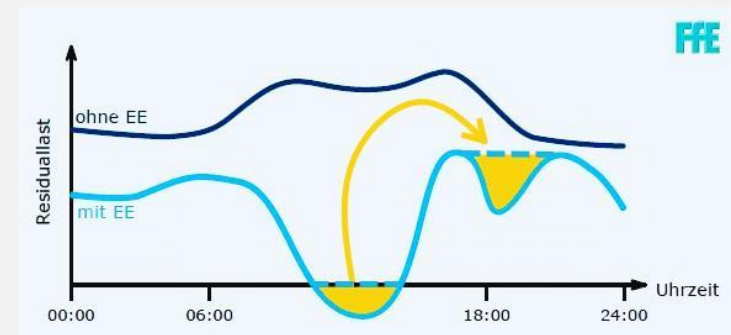
- Verbindung von Quellen und Senken



Zeitlicher Ausgleich über


Speicher

- Arbeitet wie ein anpassbarer Generator / Verbraucher




# Flexibilitätsoptionen werden nur gezogen, wenn ein Bedarf vorhanden ist bzw. die Flexibilitätsoptionen einen Mehrwert liefern

## Wie definiert sich „der Bedarf“ an Flexibilitätsoptionen?

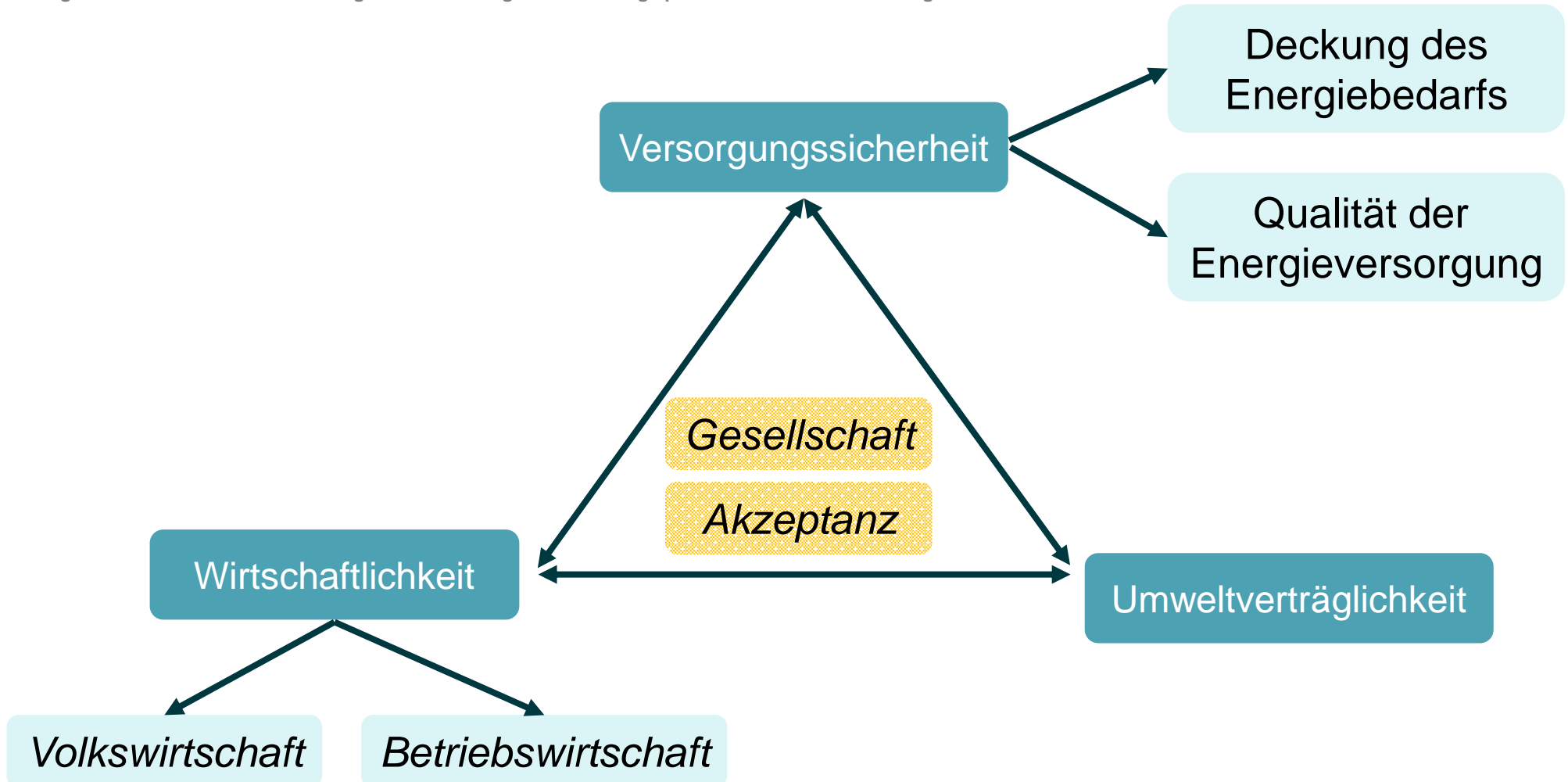
- 
- Bedarf um eine Nachfrage zu bedienen.
  - Die Nachfrage ergibt sich aus einem Ziel, wie „Autarkie“, „EE-Integration“ oder aus einer Kombination von Zielen, die unterschiedlich gewichtet werden.
  - Da jeder ein unterschiedliches Ziel hat ist die Frage nach dem Bedarf nicht einfach zu klären.
  - In der Regel wird vergessen über die Ziele und deren Wichtung zu sprechen, bevor Aussagen zum „Bedarf an Speichern“ getroffen werden.

## Worin kann ein Mehrwert von Flexibilitätsoptionen liegen?

- 
- Mehrwert = Besser als etwas anderes
  - Wirtschaftlicher Mehrwert
  - Ökologischer Mehrwert
  - Ideologischer Mehrwert
  - ...

# Bewertung aus Sicht des energiepolitischen Zieldreiecks

In der Energiewirtschaft sollte die Bewertung vor dem Hintergrund des energiepolitischen Zieldreiecks erfolgen.



# Agenda

0

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.

1

Einleitung

2

Ergebnisse aus dem Projekt „Merit Order der Energiespeicherung im Jahr 2030“

3

Ergebnisse aus dem Projekt „Merit Order des Netzausbaus 2030“

4

Ausblick - Der Pfad zur Dekarbonisierung



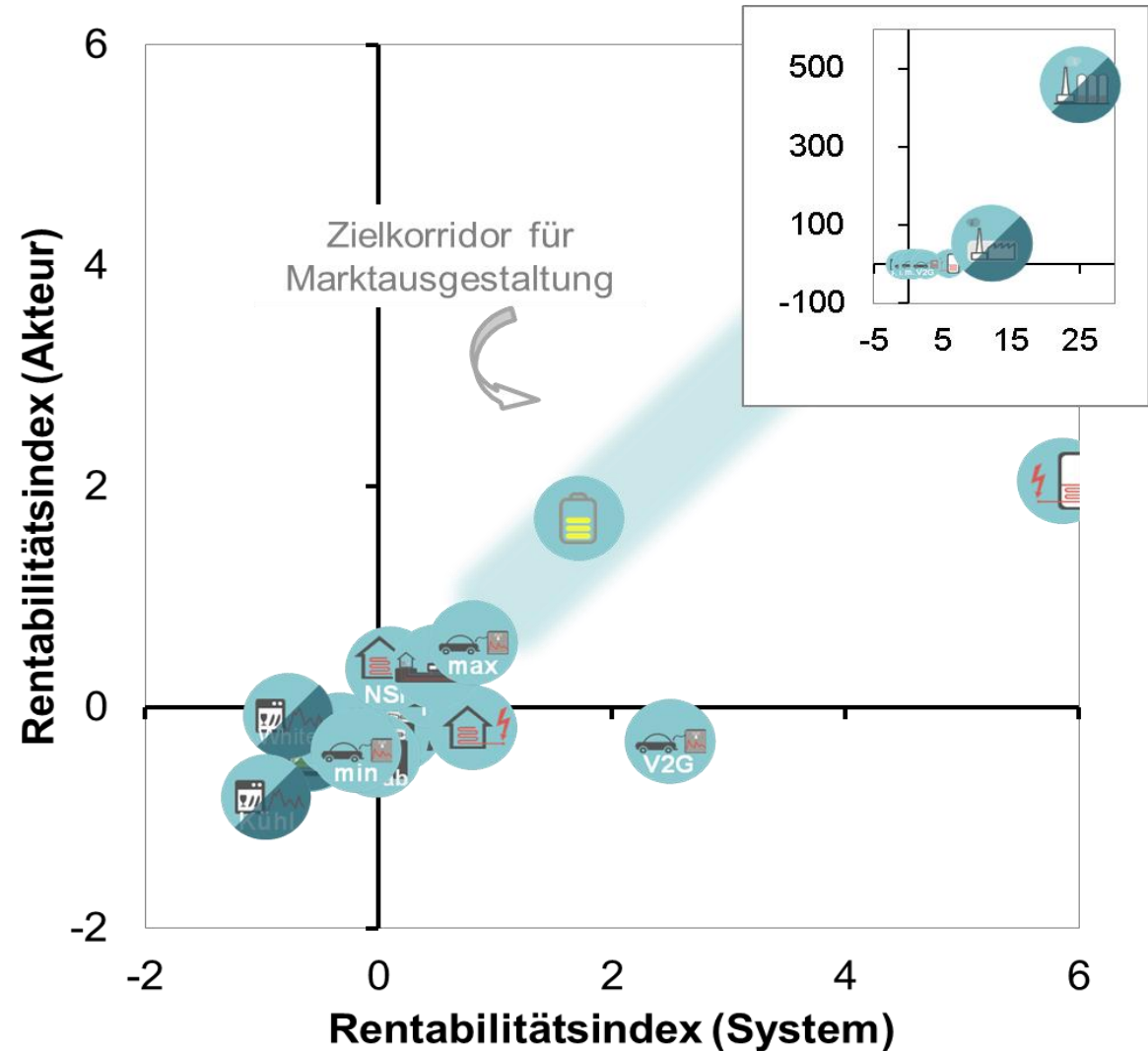
# Projektsteckbrief Merit Order der Energiespeicher 2030 – Systematische Bewertung Funktionaler Speicher

## Motivation

Analyse und systemische Bewertung von Maßnahmen zur Flexibilisierung mittels Funktionaler Speicher

## Eckdaten

- Projektlaufzeit: 09/2012 bis 12/2015
- Konsortium: FfE e.V. & FfE GmbH,
- 14 Projektpartner: EVU, Netzbetreiber & Fahrzeughersteller
- FKZN: 03ESP110A



Gefördert durch:



**ENERGIESPEICHER**  
Forschungsinitiative der Bundesregierung

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



DAIMLER



Verbund

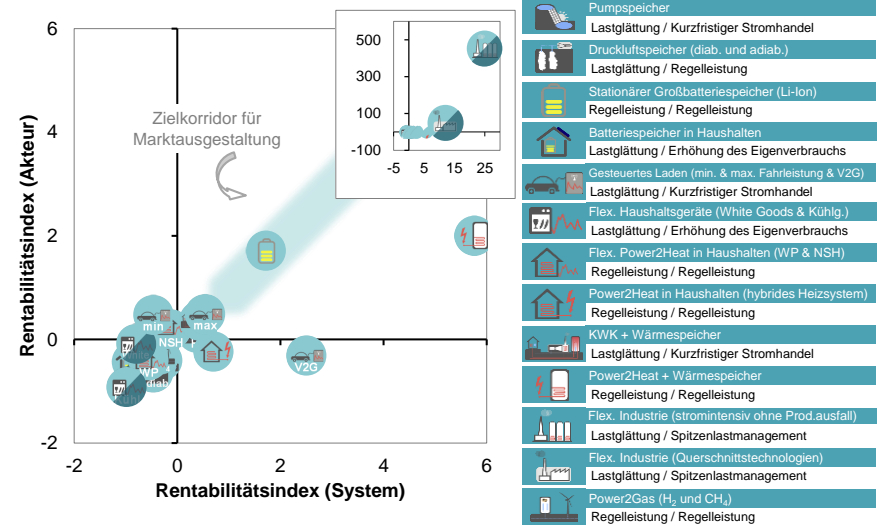
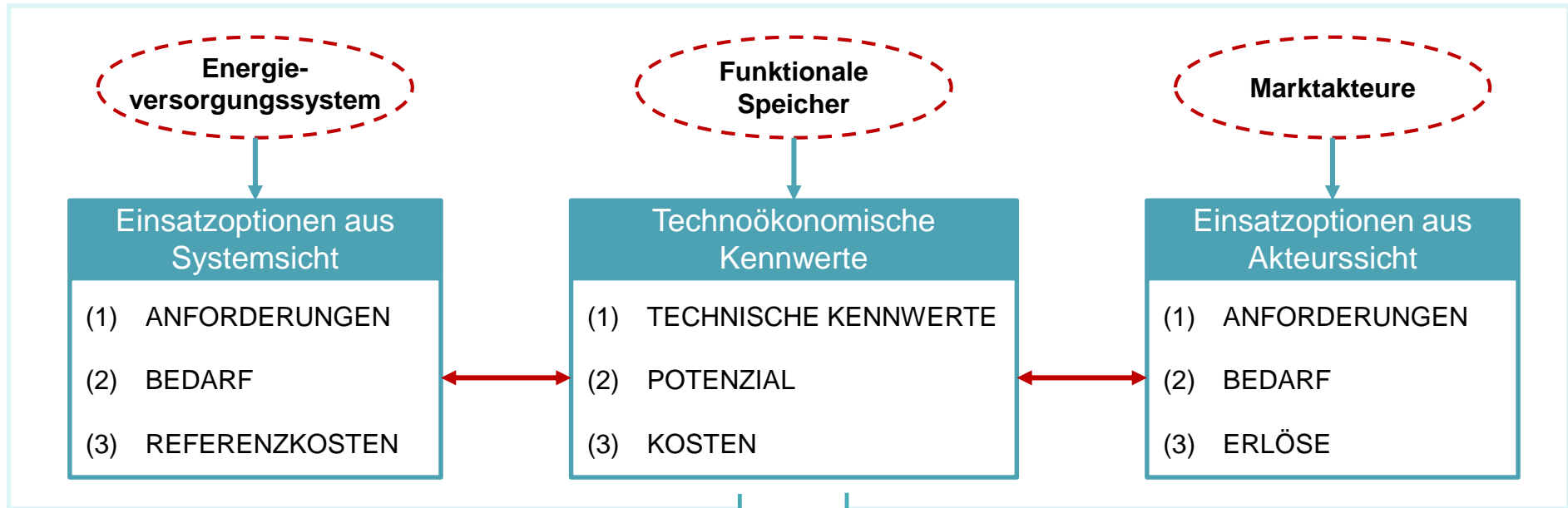
EnBW



VATTENFALL



# Merit Order Matrix - Methodik



# Merit Order Matrix - Design

## Erläuterung:

**Technologie**  
 Haupteinsatzoption (System) / Haupteinsatzoption (Akteur)



= kompatible Einsatzoptionen aus System- und Akteurssicht

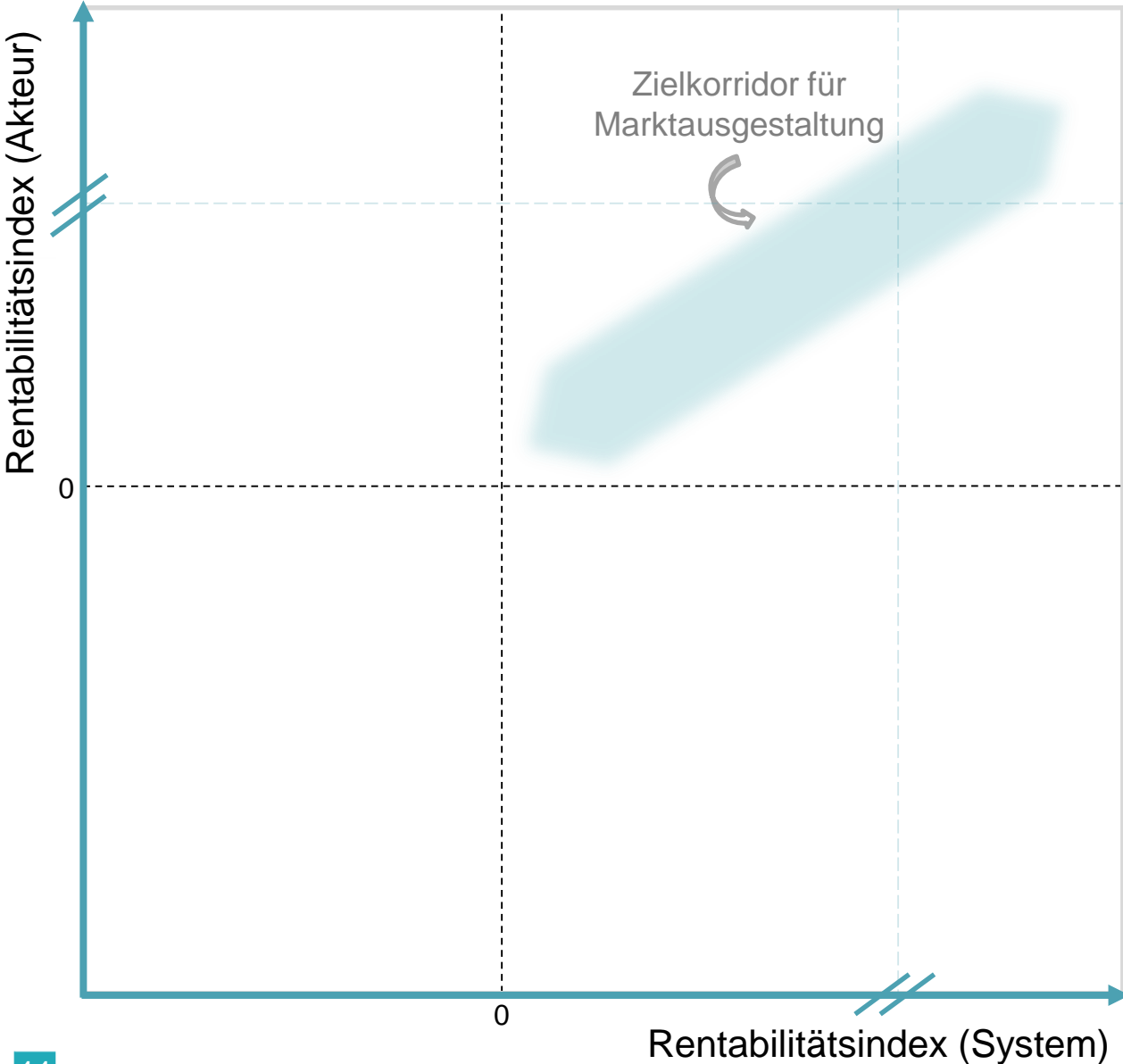


= gegenläufige Einsatzoptionen aus System- und Akteurssicht

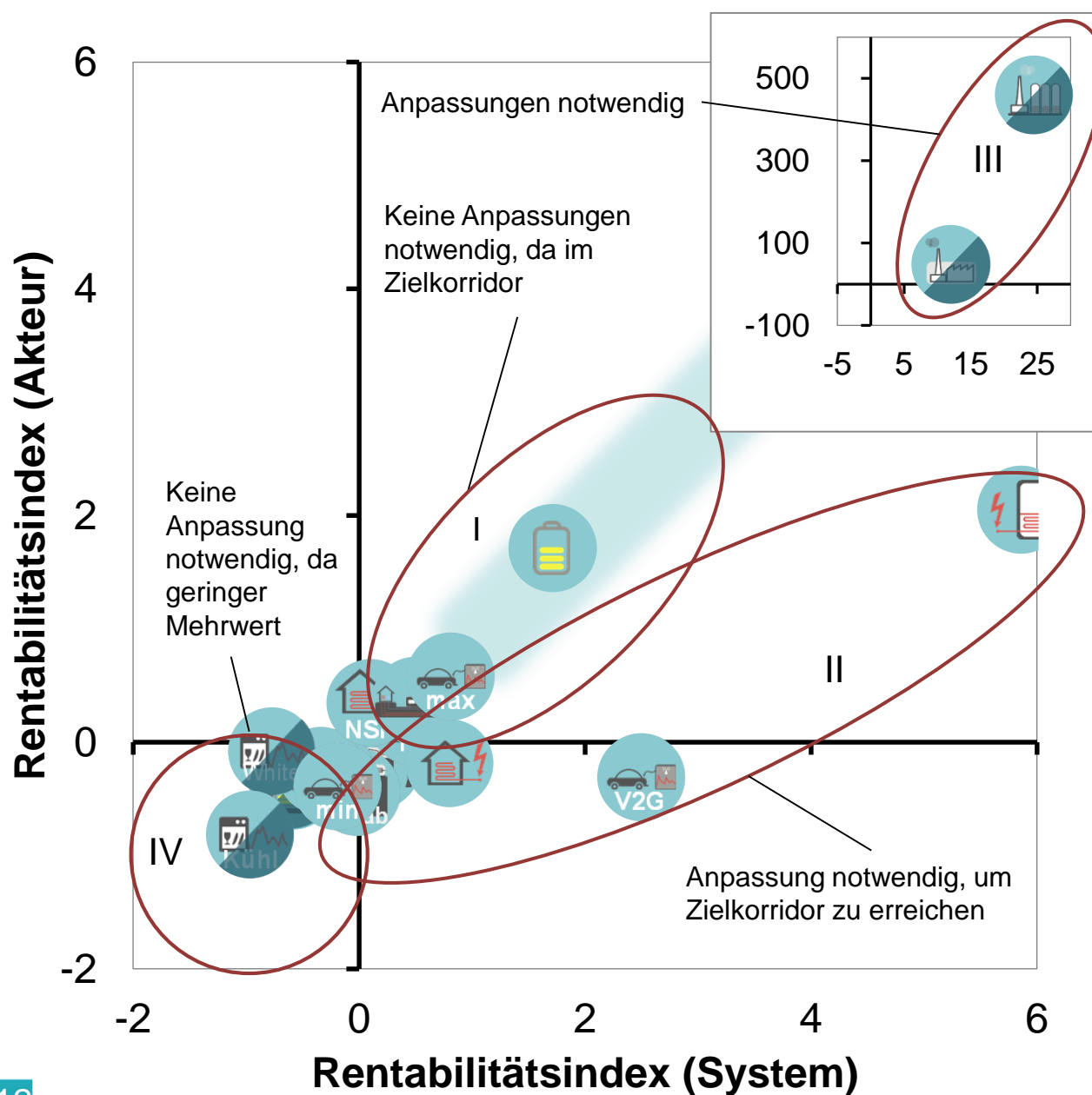
- V2G = Vehicle-to-Grid
- WP = Wärmepumpe
- NSH = Nachtspeicherheizung
- KWK = Kraft-Wärme-Kopplung

$RI = (\text{jährliche Erlöse} - \text{an. Kosten}) / \text{an. Kosten}$

RI > 0 → mehr Erlöse als Kosten.  
 RI = 1 → Erlöse = 2\*Kosten

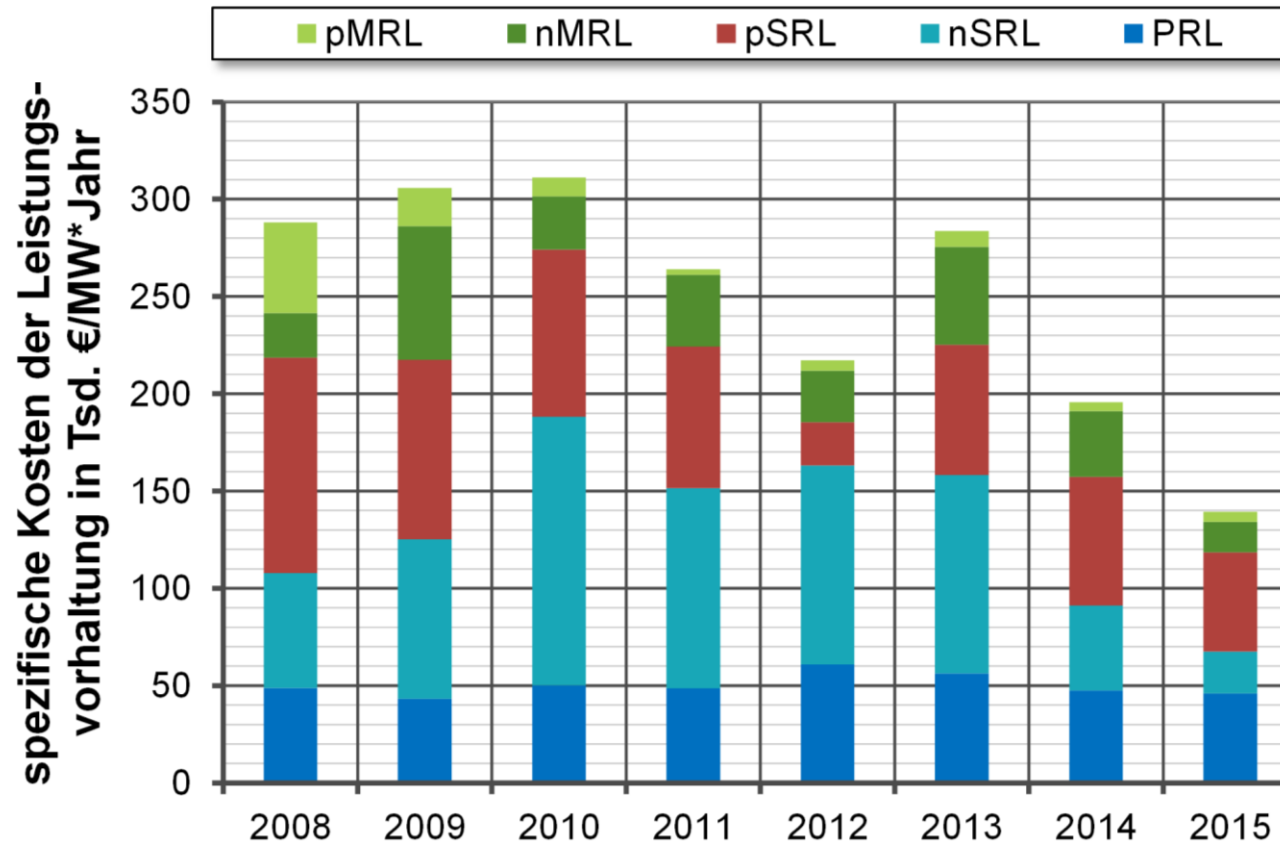


# Einordnung – Cluster



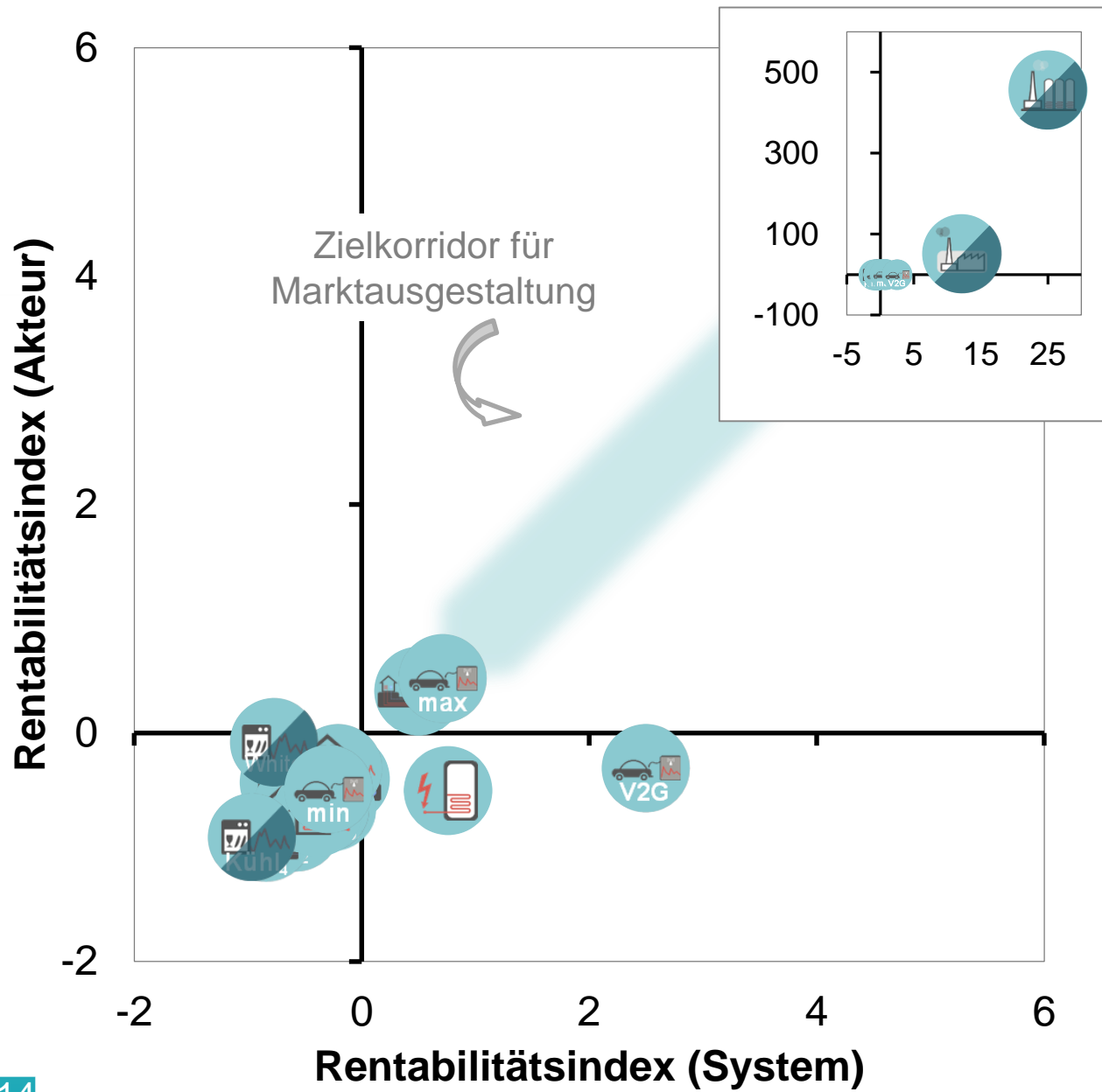
-  Pumpspeicher  
Lastglättung / Kurzfristiger Stromhandel
-  Druckluftspeicher (diab. und adiab.)  
Lastglättung / Regelleistung
-  Stationärer Großbatteriespeicher (Li-Ion)  
Regelleistung / Regelleistung
-  Batteriespeicher in Haushalten  
Lastglättung / Erhöhung des Eigenverbrauchs
-  Gesteuertes Laden (min. & max. Fahrleistung & V2G)  
Lastglättung / Kurzfristiger Stromhandel
-  Flex. Haushaltsgeräte (White Goods & Kühlg.)  
Lastglättung / Erhöhung des Eigenverbrauchs
-  Flex. Power2Heat in Haushalten (WP & NSH)  
Regelleistung / Regelleistung
-  Power2Heat in Haushalten (hybrides Heizsystem)  
Regelleistung / Regelleistung
-  KWK + Wärmespeicher  
Lastglättung / Kurzfristiger Stromhandel
-  Power2Heat + Wärmespeicher  
Regelleistung / Regelleistung
-  Flex. Industrie (stromintensiv ohne Prod.ausfall)  
Lastglättung / Spitzenlastmanagement
-  Flex. Industrie (Querschnittstechnologien)  
Lastglättung / Spitzenlastmanagement
-  Power2Gas (H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>)  
Regelleistung / Regelleistung





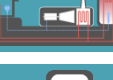

## 2. Merit Order Matrix – Regelleistungsmärkte



- Seit 2013 starker Einbruch der Kosten für die Leistungsvorhaltung insbesondere für nSRL
- U.a. durch zunehmenden Wettbewerb durch Power2Heat
- Große Unsicherheiten hinsichtlich zukünftiger Erlösmöglichkeiten

# Merit Order Matrix – Einsatz im **Anwendungsportfolio ohne RL** (Technologiekennwerte 2030 – Marktdaten 2012-2014)



-  **Pumpspeicher**  
Lastglättung / Kurzfristiger Stromhandel
-  **Druckluftspeicher (diab. und adiab.)**  
Lastglättung / Kurzfristiger Stromhandel
-  **Stationärer Großbatteriespeicher (Li-Ion)**  
Lastglättung / Spitzenlastmanagement
-  **Batteriespeicher in Haushalten**  
Lastglättung / Erhöhung des Eigenverbrauchs
-  **Gesteuertes Laden (min. & max. Fahrleistung & V2G)**  
Lastglättung / Kurzfristiger Stromhandel
-  **Flex. Haushaltsgeräte (White Goods & Kühlg.)**  
Lastglättung / Erhöhung des Eigenverbrauchs
-  **Flex. Power2Heat in Haushalten (WP & NSH)**  
Lastglättung / Kurzfristiger Stromhandel
-  **Power2Heat in Haushalten (hybrides Heizsystem)**  
Lastglättung / Kurzfristiger Stromhandel
-  **KWK + Wärmespeicher**  
Lastglättung / Kurzfristiger Stromhandel
-  **Power2Heat + Wärmespeicher**  
Lastglättung / Kurzfristiger Stromhandel
-  **Flex. Industrie (stromintensiv ohne Prod.ausfall)**  
Lastglättung / Spitzenlastmanagement
-  **Flex. Industrie (Querschnittstechnologien)**  
Lastglättung / Spitzenlastmanagement
-  **Power2Gas (H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>)**  
Lastglättung / Kurzfristiger Stromhandel

# Kernergebnisse aus MOS2030


1 Power2Heat in Fernwärmesystemen und Lastflexibilisierung in der Industrie bieten auf der Übertragungsnetzebene aus Systemsicht den größten Mehrwert.

2 Der in der Arbeit berechnete Ausbau Funktionaler Speicher reduziert die Abregelung Erneuerbarer Energien um bis zu 8 TWh.

3 In den Berechnungen führt der Einsatz Funktionaler Speicher zu höheren Einsatzzeiten von Grundlastkraftwerken.

4 Durch technische Weiterentwicklungen und Marktanpassungen wird Systemstabilität auch in Zukunft gesichert.

5 Der regulatorische Rahmen kann zu Mehrkosten in Höhe von hundert Millionen Euro im System und zur Nutzung anderer Flexibilitäten führen.

- 
- Aus technischer Sicht sind ausreichend Flexibilitätpotenziale vorhanden.
  - Steuern und Abgaben verhindern jedoch die Erschließung und auch die Nutzung von bestehenden Flexibilitätsoptionen, wie Pumpspeichern.
  - Eine Weiterentwicklung der Märkte, wie die Schaffung eines 15-Minuten-Handels und kürzere Ausschreibungszeiträume für Regelleistung, können weitere Kosten einsparen.

# Agenda

0

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.

1

Einleitung

2

Ergebnisse aus dem Projekt „Merit Order der Energiespeicherung im Jahr 2030“

3

Ergebnisse aus dem Projekt „Merit Order des Netzausbaus 2030“

4

Ausblick - Der Pfad zur Dekarbonisierung



# Projektsteckbrief MONA 2030 – Systemübergreifender Vergleich Netzoptimierender Maßnahmen



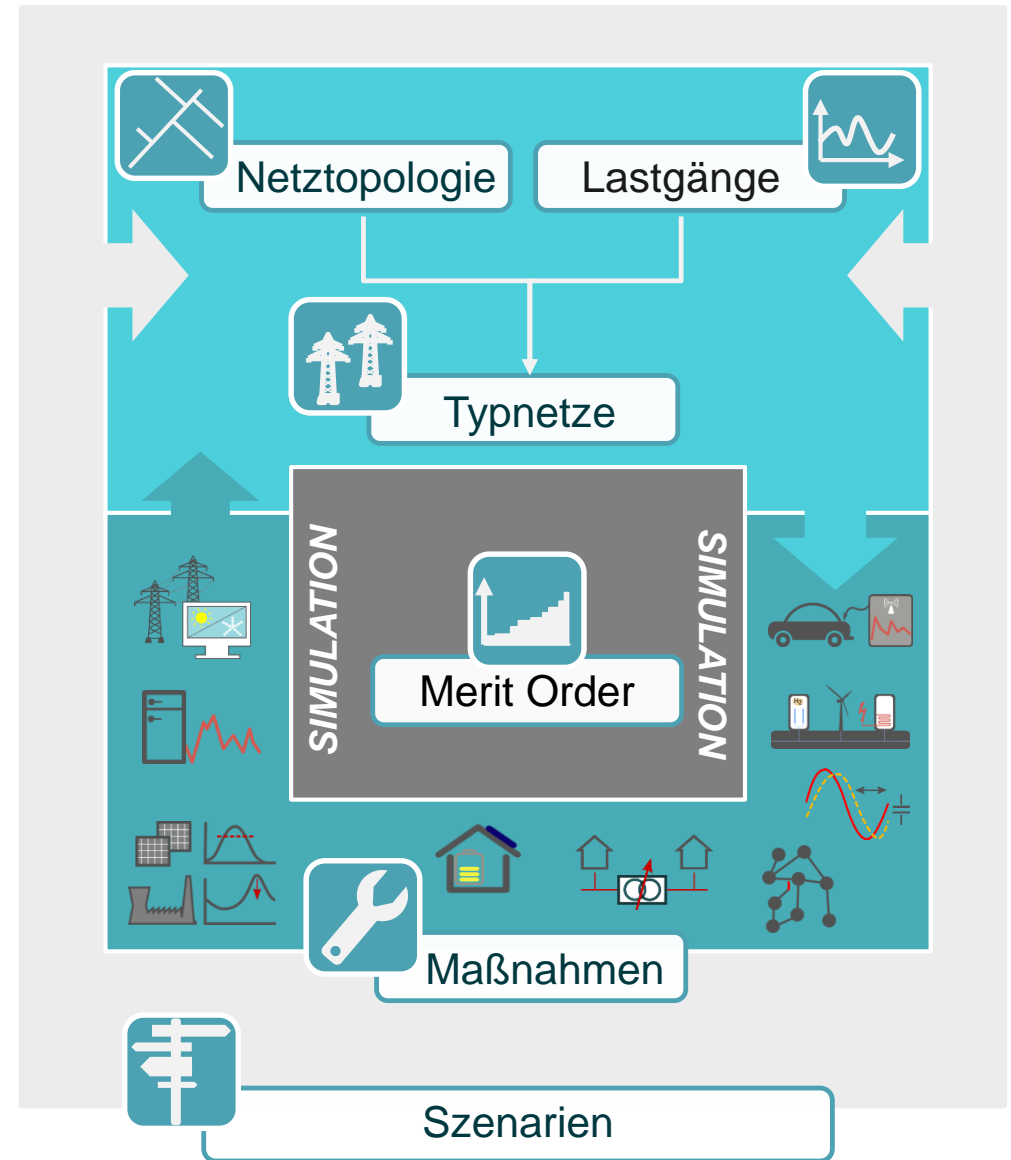
## Motivation

*Ganzheitliche, systemübergreifende Bewertung Netzoptimierender Maßnahmen für eine robuste und nachhaltige Netzplanung auf Basis eines transparenten Szenario-Prozesses*



## Eckdaten

- Projektlaufzeit: 10/2014 bis 09/2017
- 16 Projektpartner: VNBs, ÜNBs und Industrie aus DE und AT
- FKZN: 03ET4015



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

**STROMNETZE**

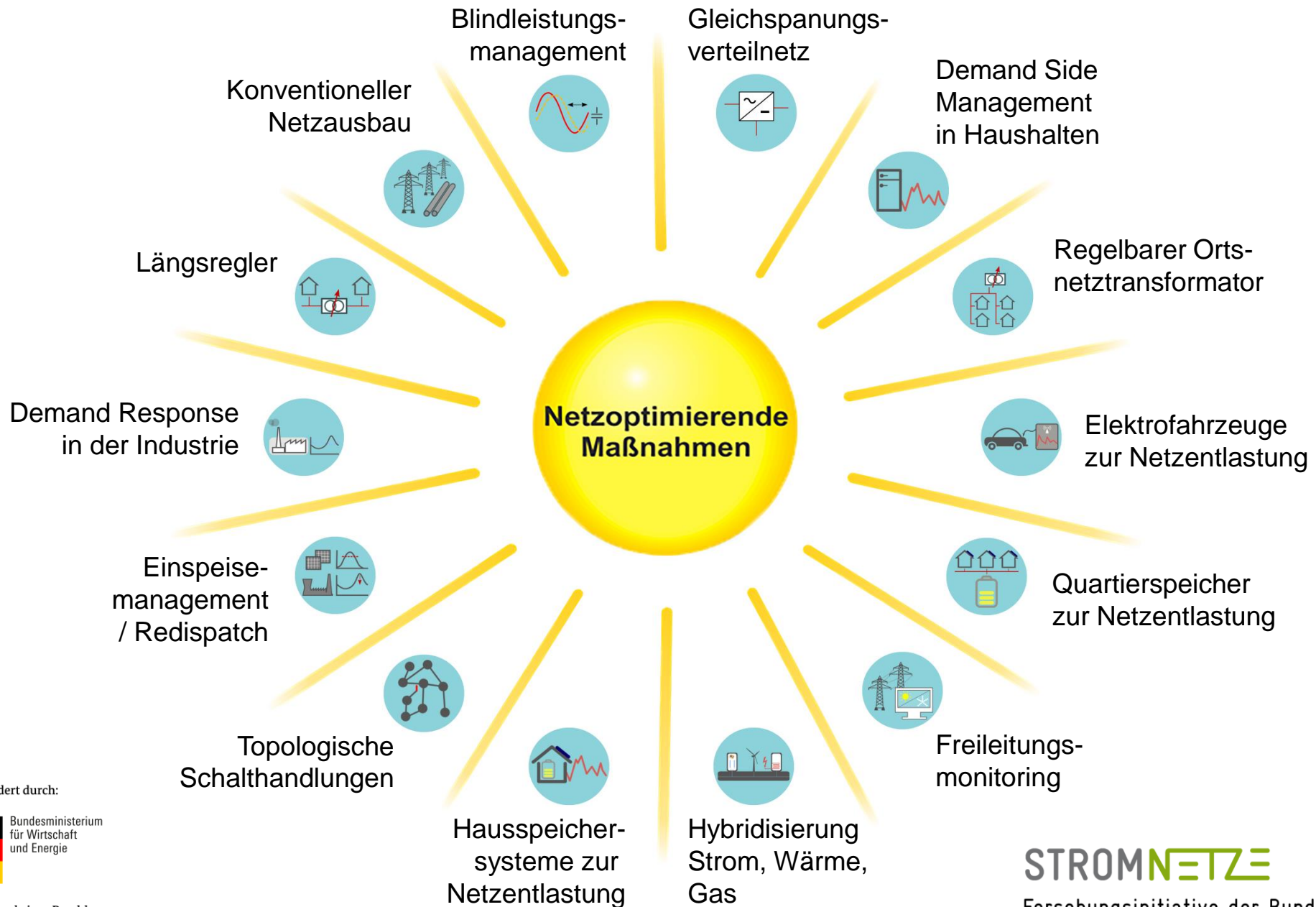
Forschungsinitiative der Bundesregierung



Netzgesellschaft  
Düsseldorf mbH



# Identifikation von **Netzoptimierende Maßnahmen (NoM)** und anschließende Klassifizierung



Gefördert durch:

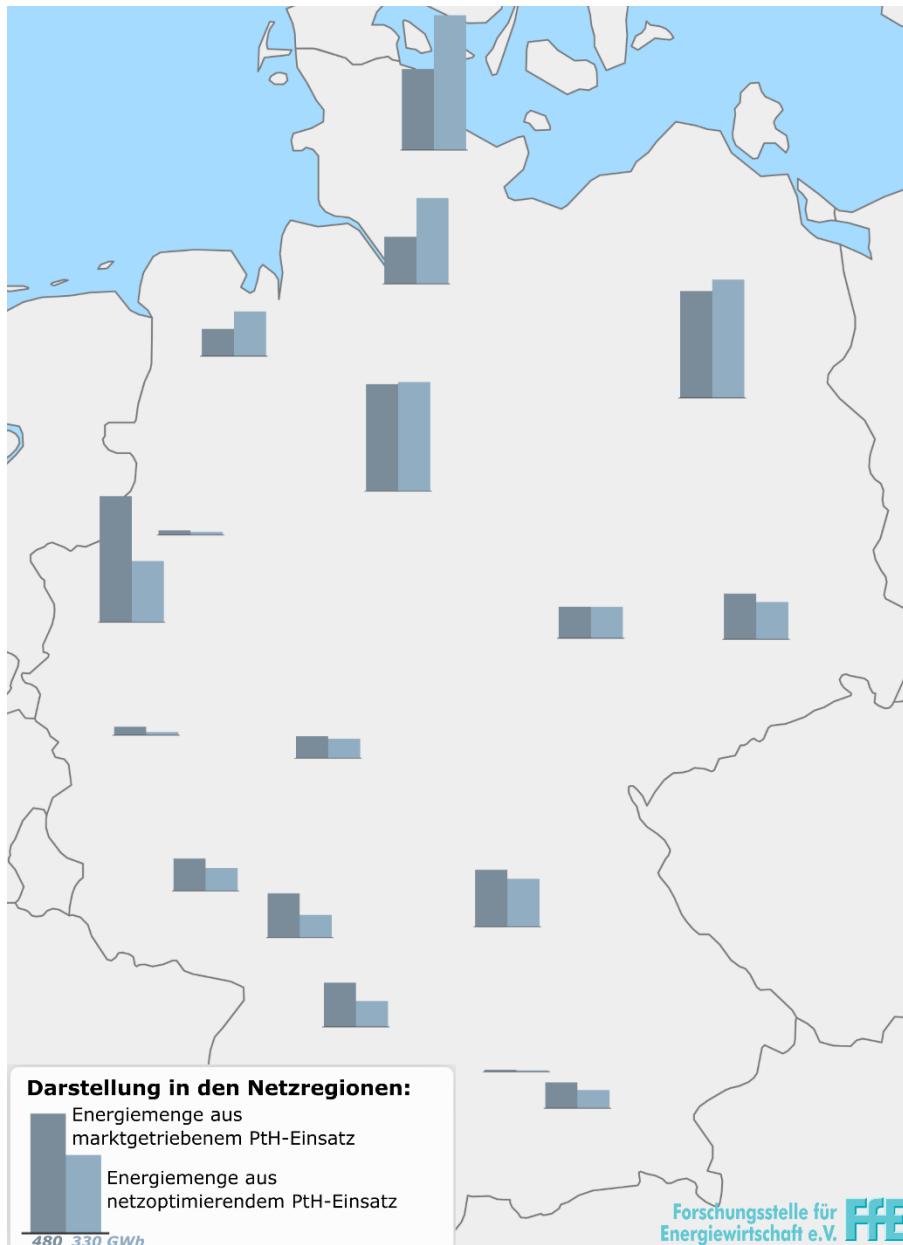


aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**STROMNETZE**

Forschungsinitiative der Bundesregierung

# Ein netzdienlicher Einsatz von Power-to-Heat unterscheidet sich stark von einem marktgetriebenem Einsatz



- Große Diskrepanzen zwischen marktbedingtem (eine Strompreiszone) und übertragungsnetzdienlichem Einsatz (Nodal-Pricing).
- In den Simulationen müssen bei marktgetriebenem Einsatz Reservekraftwerke genutzt werden.
- Die Ergebnisse sprechen für einen netzorientierten Einsatz von Power-to-Heat.

Darstellung: Szenario Standard (61% EE)

# Agenda

0

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.

1

Einleitung

2

Ergebnisse aus dem Projekt „Merit Order der Energiespeicherung im Jahr 2030“

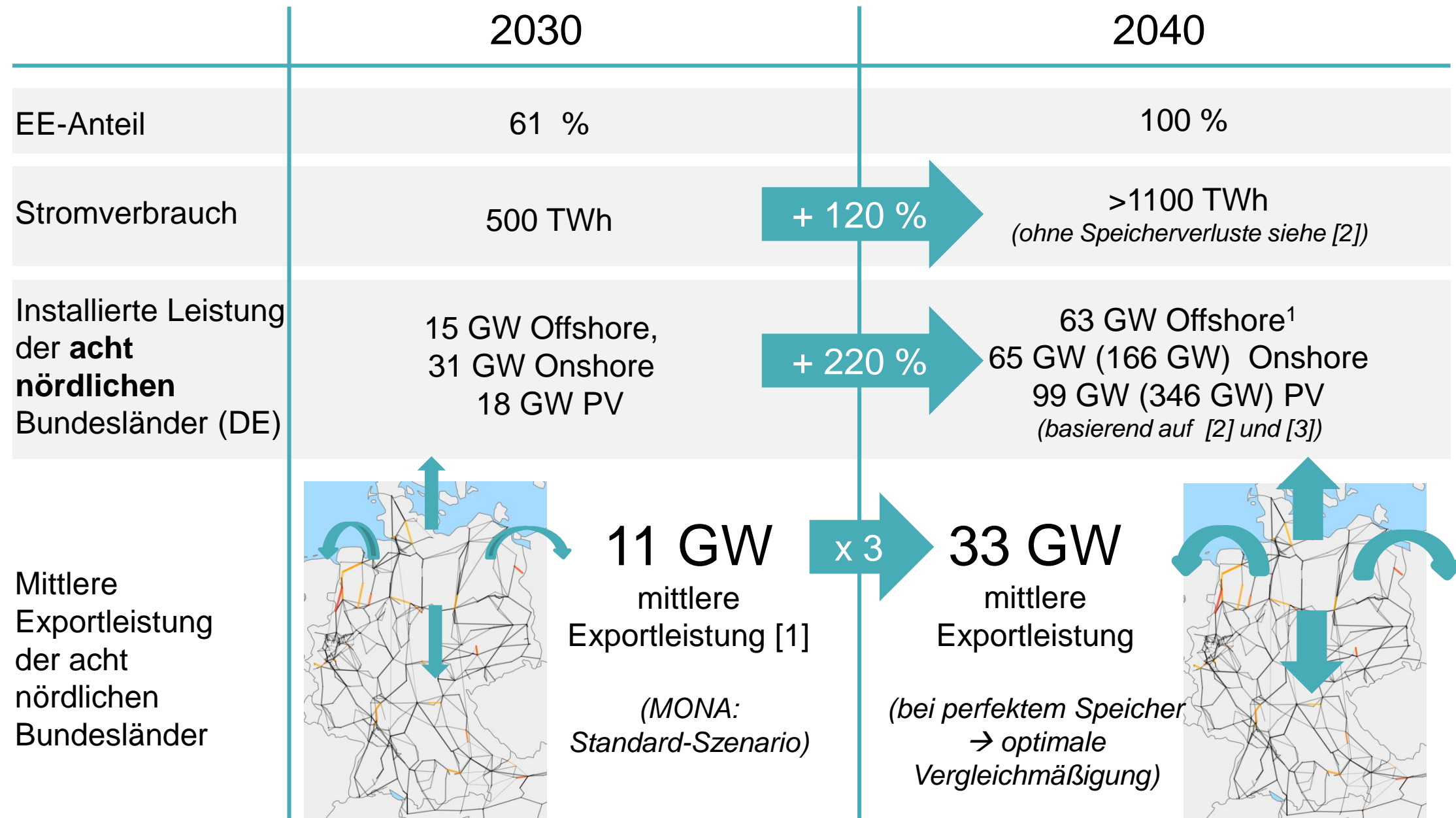
3

Ergebnisse aus dem Projekt „Merit Order des Netzausbaus 2030“

4

Ausblick - Der Pfad zur Dekarbonisierung

# Was passiert nach 2030? – Ein Hocheffizienz / Elektrifizierungsszenario basierend auf [1], [2], [3]



# Wieviel PtG für Deutschland? – Ein Vergleich zwischen EE-Potenzialen und zukünftigem Stromverbrauch (1)

	Potenzial	Quelle
Wind Onshore	650 TWh	[6] bei 2 % der Landesfläche
Wind Offshore	258 TWh	[4] alle nutzbaren Flächen aus heutiger Sicht in der deutschen Nord- und Ostsee
PV (Frei + Dachflächen)	400 TWh	[7], eigene Abschätzung
Wasserkraft	~20 TWh	[8]
Biomasse	~45 TWh	[8]
Summe Erzeugung	~ 1370 TWh	
Stromverbrauch	~ 1300 – 3000 TWh	[2]

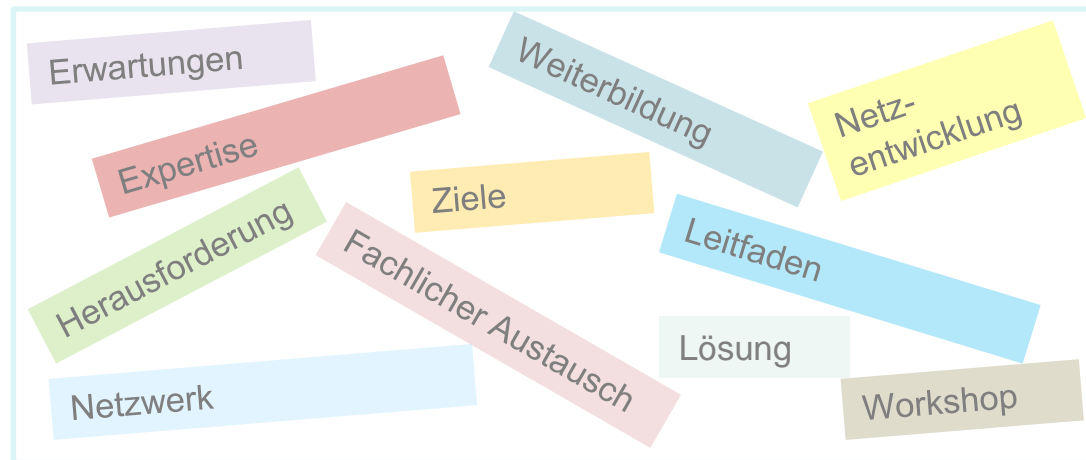
Damit wird deutlich, dass auch bei einer starken Effizienzsteigerung Deutschland unter den obigen Annahmen gerade so seinen Stromverbrauch decken könnte.

# Wieviel PtG für Deutschland? – Ein Vergleich zwischen EE-Potenzialen und zukünftigem Stromverbrauch (2)

- Es sollte nicht zur Debatte stehen, ob die Klimaziele eingehalten werden.
- Nach aktuellem Stand der Wissenschaft steht es nicht zur Debatte, ob wir einen CO<sub>2</sub>-neutralen chemischen Langfristspeicher benötigen.
- *Es steht aber zur Debatte, wo der Wandler für die Erzeugung der CO<sub>2</sub>-neutralen chemischen Brennstoffe stehen wird!*

- Aus Gründen wie der Ressourceneffizienz scheint es sinnvoll, dass der in Deutschland produzierte Strom so effizient wie möglich verwendet wird.
- Je mehr grüne Brennstoffe in Deutschland produziert werden umso mehr steigt die Importabhängigkeit wieder an. (Diese ist nicht per se etwas schlechtes)
- In Deutschland sollten Technologien für die Produktion von grünen Brennstoffen in entwickelt und getestet werden können.
- Hierfür ist ein Mindestmaß an Anlagen zur Produktion grüner Brennstoffe notwendig.
- Die Politik ist gefragt ein geeignetes Maß hierfür zu finden.<sup>1</sup>

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



**Diskussion**

**Fragen?**

**Vielen  
Dank!**



Kontakt:  
Dr.-Ing. Christoph Pellingner  
[cpellingner@ffe.de](mailto:cpellingner@ffe.de)  
089-158121-70





# Quellen

- [1] Böing, Felix et al.: MONA 2030 - Teilbericht Einsatzreihenfolgen, Kapitel 5. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft, noch nicht veröffentlicht
- [2] Quaschnig, Volker: Sektorkopplung durch die Energiewende - Anforderungen an den Ausbau erneuerbarer Energien zum Erreichen der Pariser Klimaschutzziele unter Berücksichtigung der Sektorkopplung. Berlin: Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW), 2016
- [3] Rippel, Kerstin Maria; Wiede, Thomas; Meinecke, Mario; König, Regina: Netzentwicklungsplan Strom 2030, Version 2017 - Zweiter Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber. Berlin, Hamburg: Übertragungsnetzbetreiber, 2017
- [4] Rohrig, Kurt: Energiewirtschaftliche Bedeutung der Offshore-Windenergie für die Energiewende. Kassel: Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik, 2013
- [5] Esland, Rainer; Boßmann, Tobias; Klingler, Anna-Lena; Herbst, Andrea; Klobasa, Marian; Wietschel, Marting: Entwicklung der regionalen Stromnachfrage und Lastprofile - Begleitgutachten zum Netzentwicklungsplan Strom 2017 - Zweiter Entwurf. Karlsruhe: Fraunhofer ISI, 2016
- [6] Konetschny, Claudia; Schmid, Tobias; Jetter, Fabian: Potenzielle Leistungsdichte und Stromerzeugung von Windparks: Anteil der regionalen Windstromerzeugung am Verbrauch für ein "2 % Szenario" in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen Heft 5 2017. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2017
- [7] Klaus, Thomas et al.: 2050: 100%. Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen. Dessau-Roßlau: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), 2010
- [8] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): Zahlen und Fakten - Energiedaten - Nationale und Internationale Entwicklung. Berlin: BMWi, 16.3.2015