



House of  
**Energy Markets  
& Finance**

## Wissenschaftlicher Vortrag zu Wasserstoff und Investitionsanreizen: Räumliche Anreize für Power-to-Hydrogen durch Marktsplitting

Marco Sebastian Breder, Felix Meurer, Michael Bucksteeg, Christoph Weber  
Abschlussworkshop MODEZEEN (Dresden)  
28.11.2023

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

MODE  
ZEEN

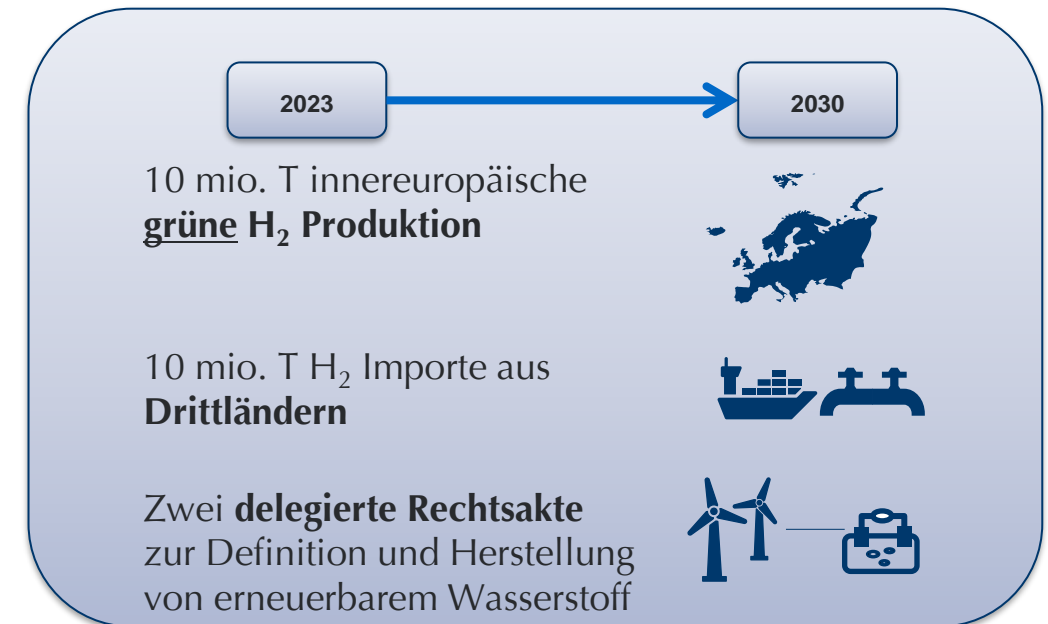
UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

*Open-Minded*



Räumliche Anreize für den H<sub>2</sub>-Hochlauf schaffen

- Energiesystemtransformation in Deutschland
  - Höhere Flexibilitätsanforderungen durch EE-Ausbau
  - Netzengpässe von Nord- nach Süddeutschland durch regionale Unterschiede in Erzeugung und Nachfrage
- Marktintegration
  - Wachsende Bedeutung von Power-to-Hydrogen (PtH<sub>2</sub>)<sup>1</sup>
- Forschungsfrage
  - Auswirkungen eines Gebotszonensplit auf Investitions- und Betriebsanreize für PtH<sub>2</sub>
  - Marktrückkopplungseffekte (CO<sub>2</sub>-Bilanz, EE-Integration) und regulatorischer Eingriffe
  - Anwendung eines Dekompositionsansatzes<sup>2</sup> und H<sub>2</sub>-Opportunitätskostenansatzes<sup>3</sup>



European (H<sub>2</sub>-)Strategy in 2030

Quelle: EU Commission

REPowerEU, 2022; C(2023) 1087 final

<sup>1</sup> Umwandlung elektrischer Energie in Wasserstoff (PtH<sub>2</sub>) durch Elektrolyse. Der Strommix entscheidet über Klassifizierung des H<sub>2</sub>.

<sup>2</sup> Leisen, R.; Böcker, B. & Weber, C.: Optimal capacity adjustments in electricity market models – an iterative approach based on operational margins and the relevant supply stack, Mimeo, 2022;

<sup>3</sup> Bucksteeg, M., Mikurda, J., & Weber, C. Integration of power-to-gas into electricity markets during the ramp-up phase—Assessing the role of carbon pricing. Energy Economics, 106805., 2023.

Motivation

1

Methodik

2

Daten

3

Szenarien

4

Ergebnisse

5

Fazit

6

Erweiterung des operativen Energiesystemmodells JMM um Investitionsentscheidungen

## ■ Benders Decomposition für Des-/Investitionsentscheidungen

### Masterproblem

$$\min_{\hat{K}} C^{LT} = \sum_{r,i} c_i^{inv} \cdot \hat{K}_{r,i} + \theta$$

$$\text{s.t. } \theta \geq C_{it}^{OPX}(\hat{y}, \hat{K}) + \sum_i \lambda_{i,it} * (\hat{K}_i - \hat{K}_{i,it})$$

### Subproblem

$$\min_{\hat{y}} C^{OPX} = \sum_{r,i} c_{r,i}^{var} \hat{y}_{r,i,t} \Delta t$$

$$\text{s.t. } A\hat{y} \geq b$$

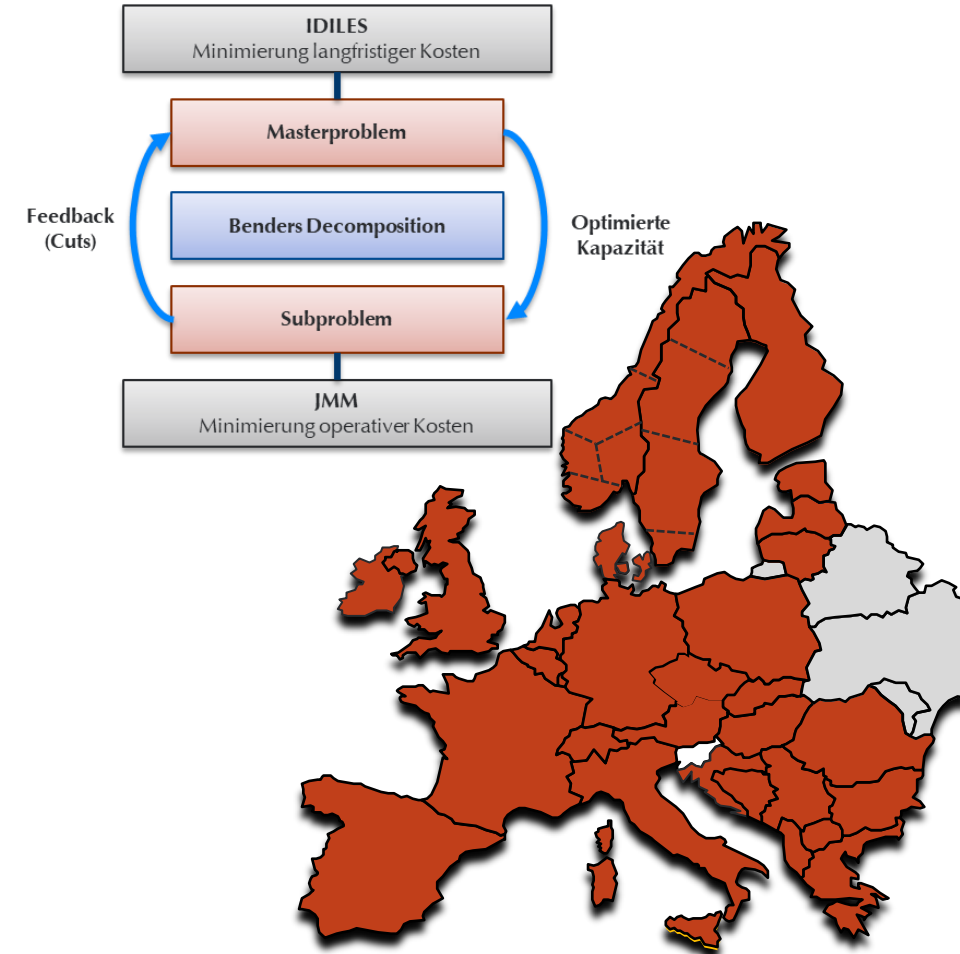
– Konvergenzkriterium: UB (restriktiver SC)  $\approx$  LB (relaxierter SC)

## ■ Modellierung des H<sub>2</sub>-Wertes über Opportunitätskosten

Domestic:  $\xi_{a,j,t}^{PtH2} = (c_t^{gas} + f_{gas}^{CO2-factor} \cdot c_t^{CO2}) \cdot \eta_{PtH2}$ , bzw.

Import:  $\xi_{a,j,t}^{PtH2} = p_t^{H2,imp} \cdot \eta_{PtH2}$

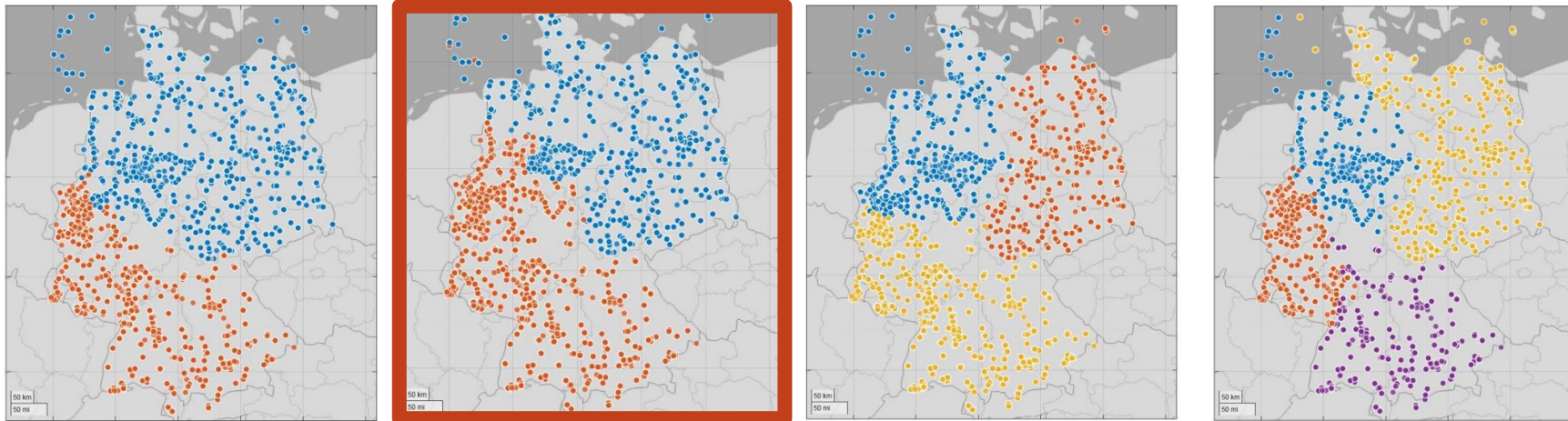
- Grundregel der marktorientierten Betriebsweise von Elektrolyseuren:
  - Elektrolyseure in Betrieb, wenn Strompreis  $\leq$  H<sub>2</sub>-Opportunitätswert



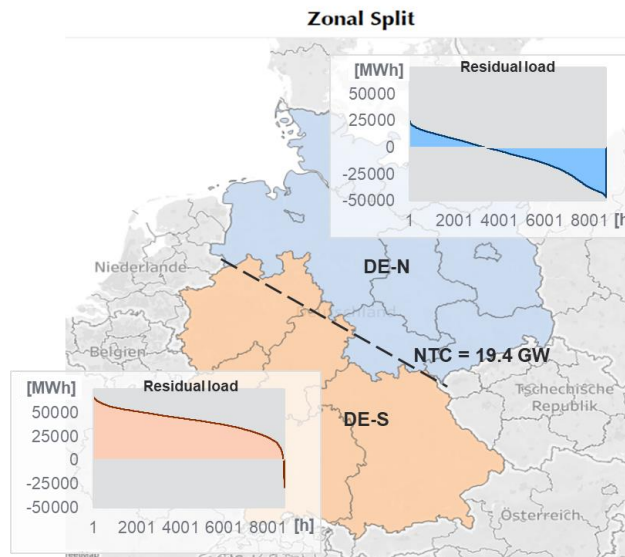
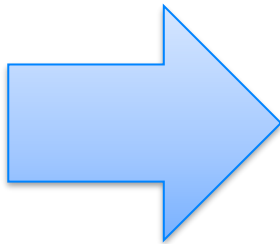
Schematische Repräsentation der Methode

## Europäisches Energiesystem mit Fokus auf Deutschland

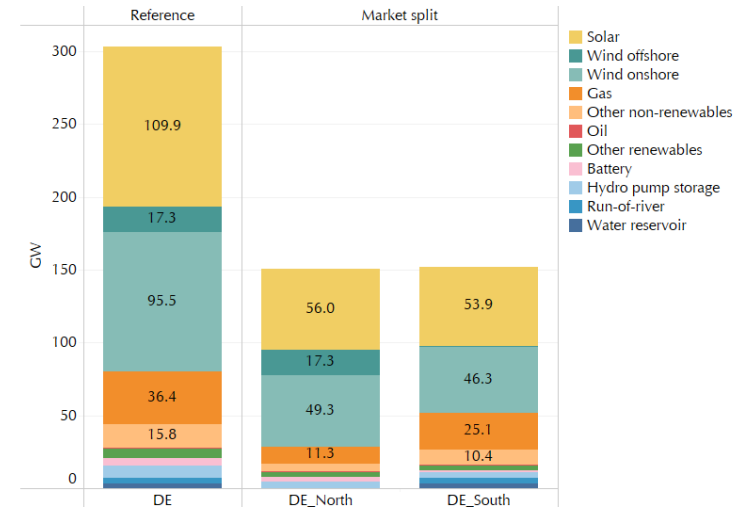
Vorgeschlagene Gebotszonenkonfigurationen von ACER (2022)<sup>1</sup>



Ausgewählte Gebotszonenkonfiguration für die Analyse



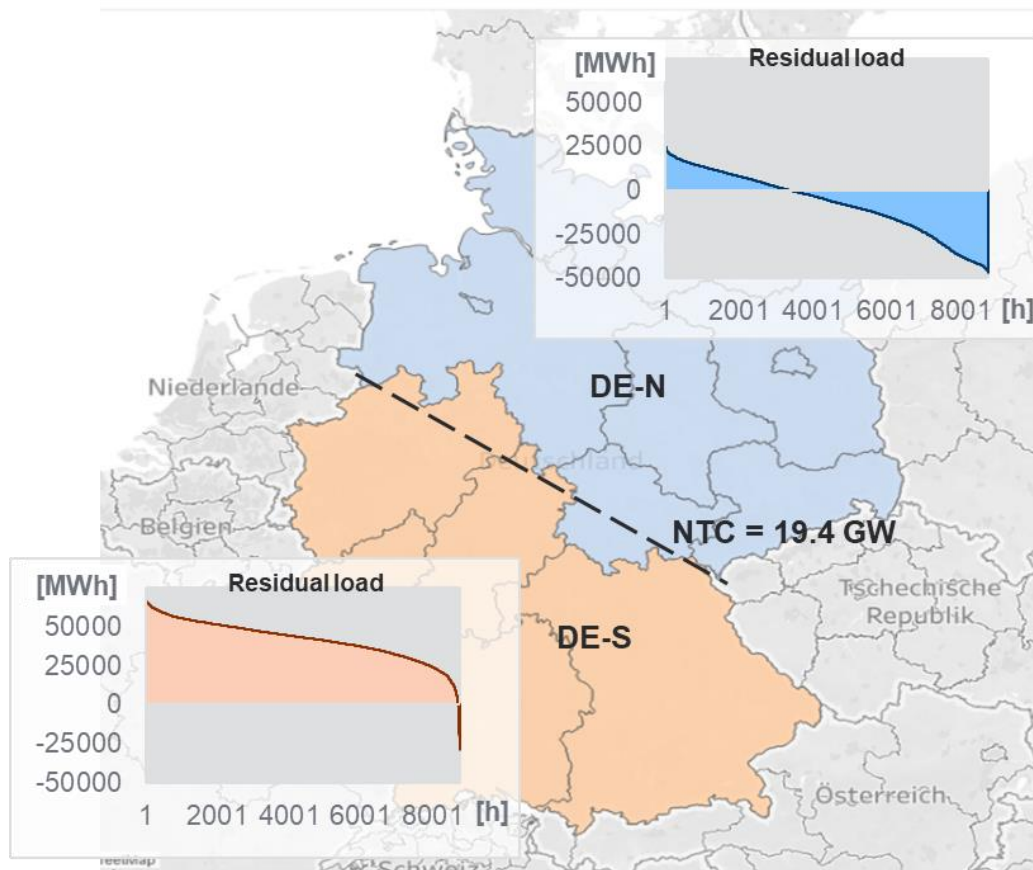
Installed Capacity in Germany 2030 (excl. PTHz)



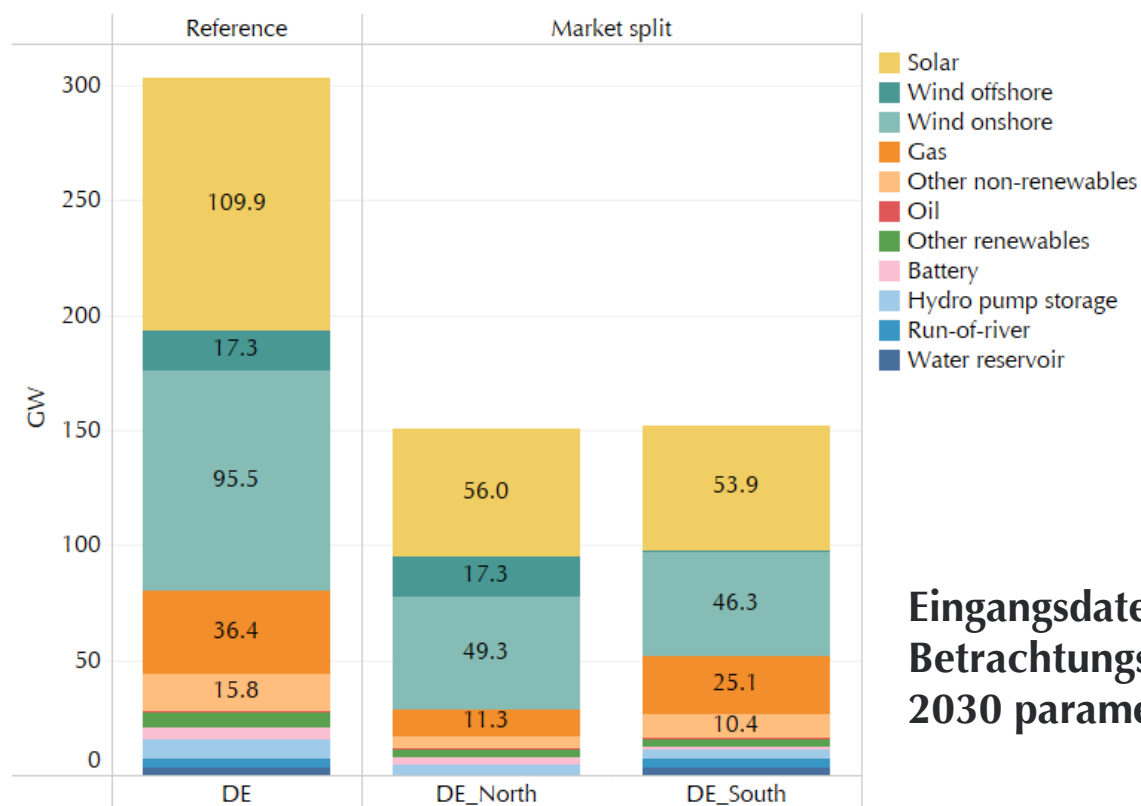
Eingangsdaten auf Betrachtungsjahr 2030 parametrisiert

## Europäisches Energiesystem mit Fokus auf Deutschland

### Zonal Split



### Installed Capacity in Germany 2030 (excl. PtH<sub>2</sub>)



Eingangsdaten auf Betrachtungsjahr 2030 parametrisiert

Szenarien basierend auf Opportunitätskosten alternativer H<sub>2</sub>-Produktion

- **SMRdom** – *Substitution von Dampfreformierung*
  - Frühe Übergangsphase: PtH<sub>2</sub> als teilweise Substitution von konventionellem Wasserstoff aus Dampfreformierung
  
- **GreenImp** – *Substitution von grünen H<sub>2</sub>-Importen*
  - Fokus: Aufbau einer "pure play" grünen Wasserstoffinfrastruktur
  - Wettbewerb zwischen inländischen und importierten grünem Wasserstoff

Driver for use value		Steam reforming	Green hydrogen imports
Bidding zone configuration ↓	Reference run	SMRdom	GreenImp
Status quo SQ	SQ_0	SQ_SMRdom	SQ_GreenImp
Market split MS	MS_0	MS_SMRdom	MS_GreenImp

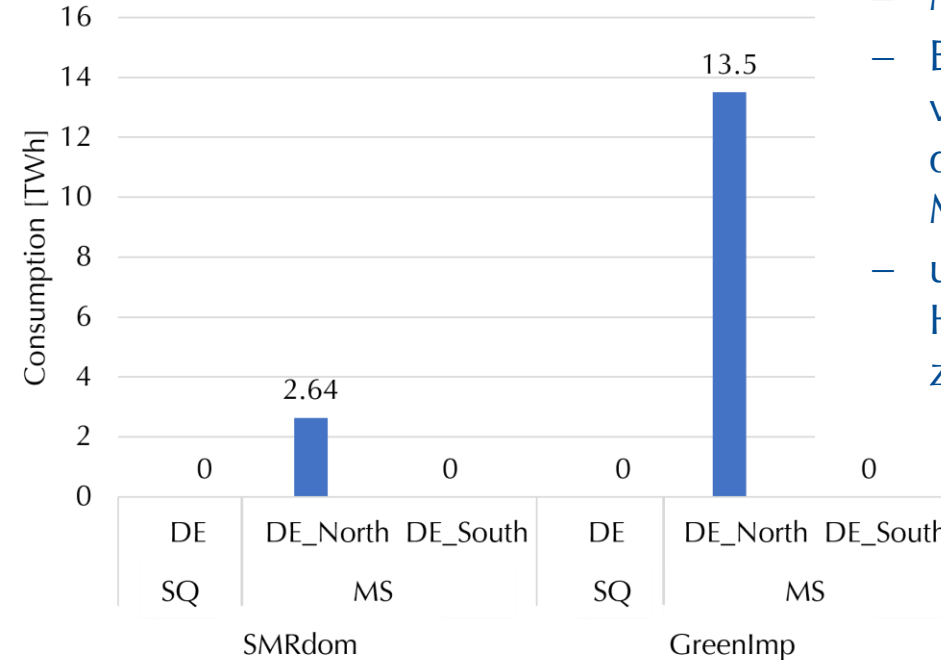
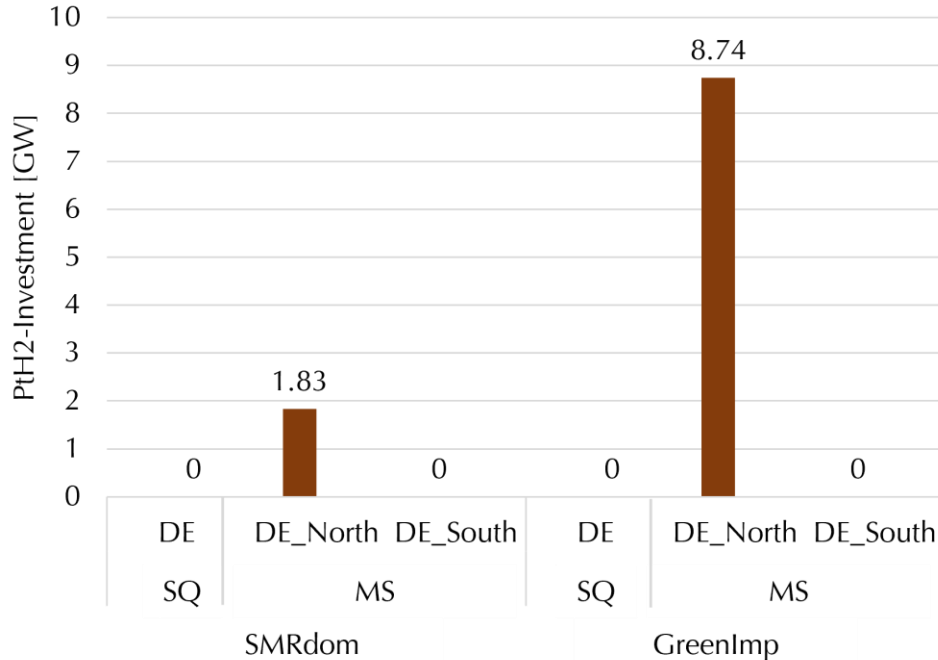
## Sensitivitäten

- Investitionen in DE vs. EU
- RED II "grüne H<sub>2</sub>"- Kriterien
- Variation exogener Kostenparameter
- Variation des JMM-Detailierungsgrades



## Auswirkungen der Gebotszonenteilung auf Investitionsanreize und Preise (1/2)

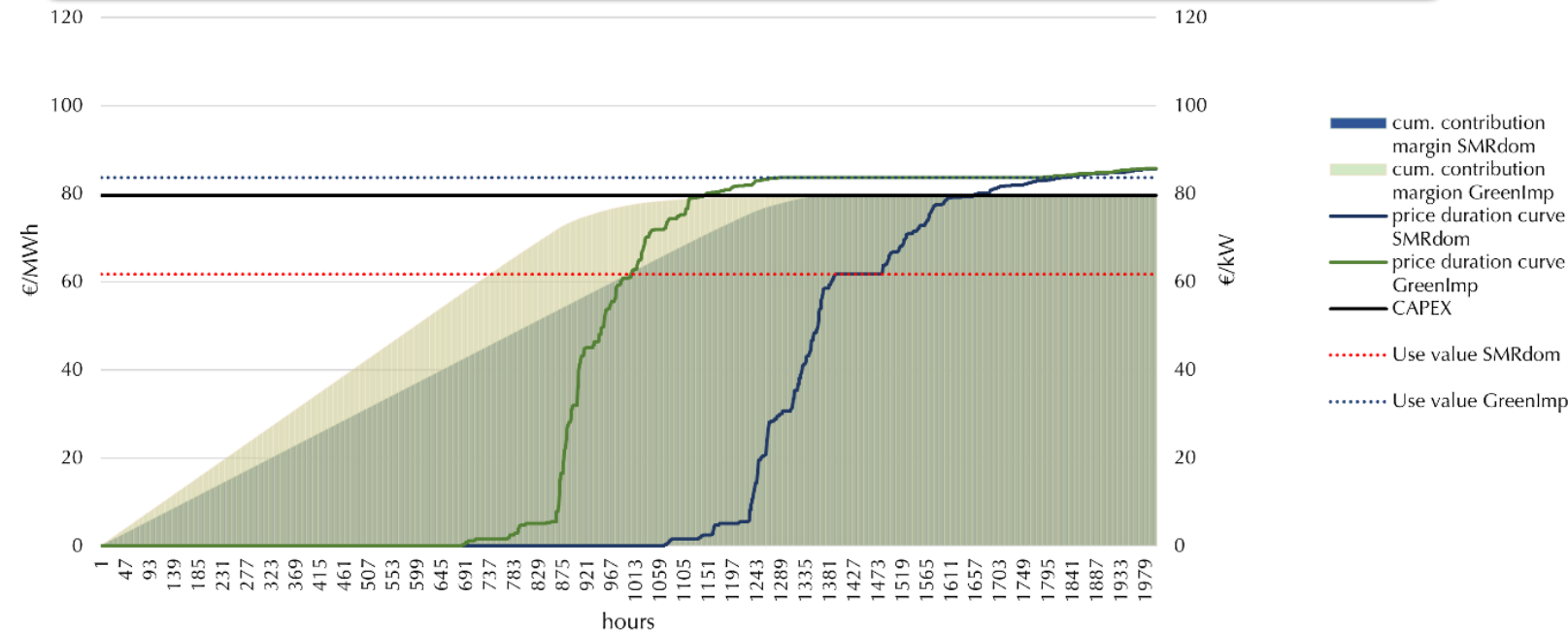
### Investitionen in Elektrolyseure und deren Strombedarf in 2030



- Investitionen in Elektrolyseure nur in MS-Szenarien
  - MS\_SMRdom < MS\_GreenImp
  - Ergebnis als Konsequenz verschiedener Preisniveaus in den unterschiedlichen Marktzone...
  - und unterschiedlicher H<sub>2</sub>-Opportunitätswerte zwischen MS-Szenarien

## Auswirkungen der Gebotszonenteilung auf Investitionsanreize und Preise (2/2)

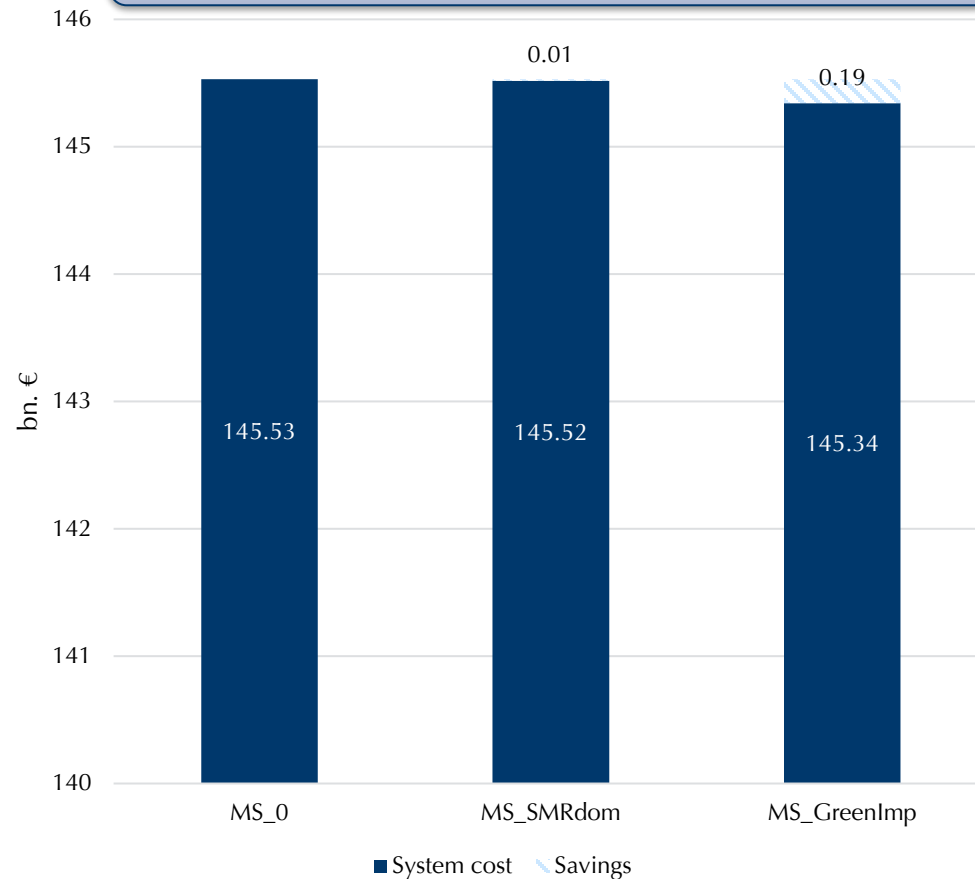
Preisdauerlinien und Rentabilität von Elektrolyseuren in DE\_North  
(MS\_SMRdom und MS\_GreenImp)



- Preisdauerlinien in *MS\_GreenImp*
  - Linksversetzt
  - Weniger Nutzungstunden als *MS\_SMRdom*
  - Absorption überschüssiger EE durch höhere installierte Elektrolysekapazität und
  - Steigende Preise durch modifizierte Kraftwerkseinsatzplanung

## Systemkosten

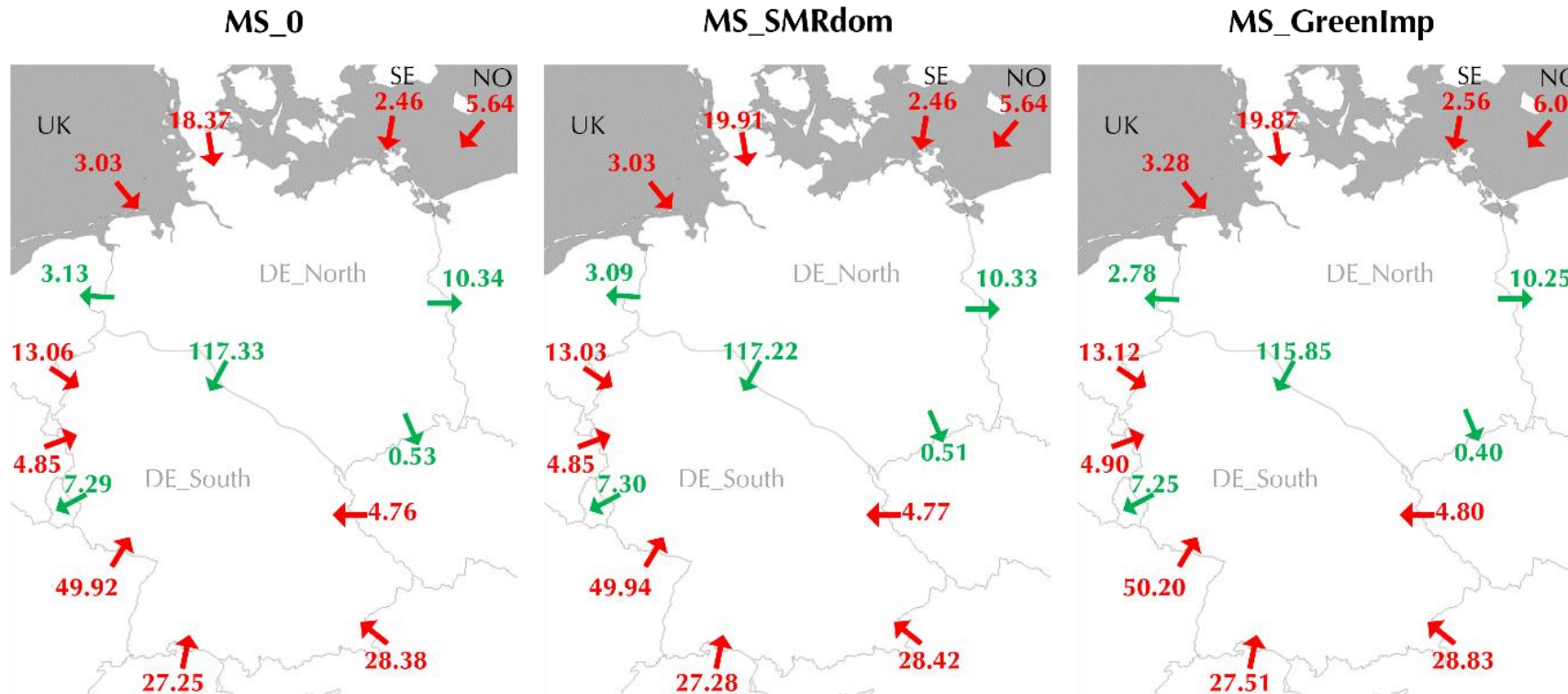
Systemkosten und Ersparnis im Verhältnis zum ersten Lauf der Marktaufteilung in Mrd. € (Europa)



- MS\_0 als Referenzlauf
- Reduzierte Systemkosten durch Investitionen in Elektrolyseure
  - zirka 190 Mio. € im Szenario MS\_GreenImp.

Auswirkungen auf Abregelung, Emissionen und EE-Integration

Stromaustausch Deutschlands mit den Nachbarländern in 2030

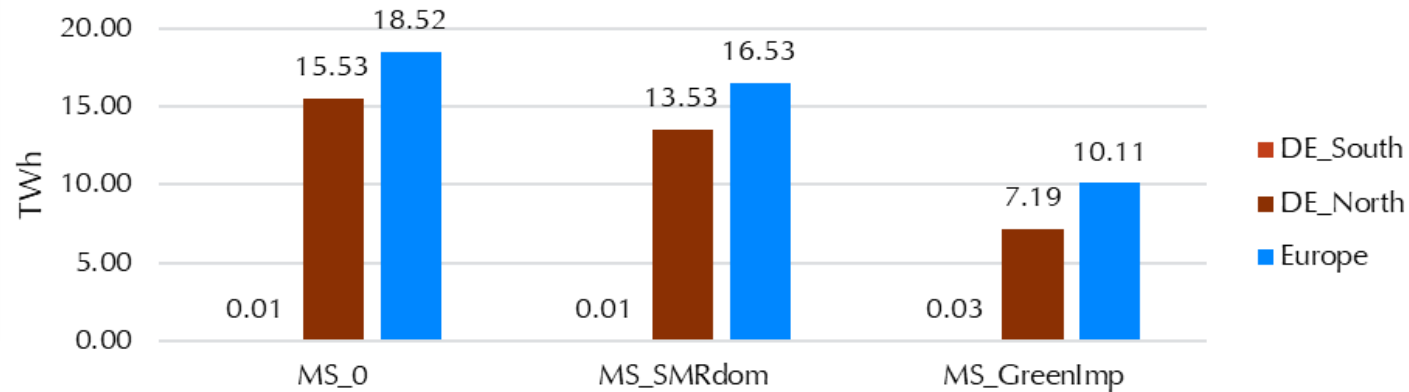


## Auswirkungen von Elektrolyseuren in Deutschland

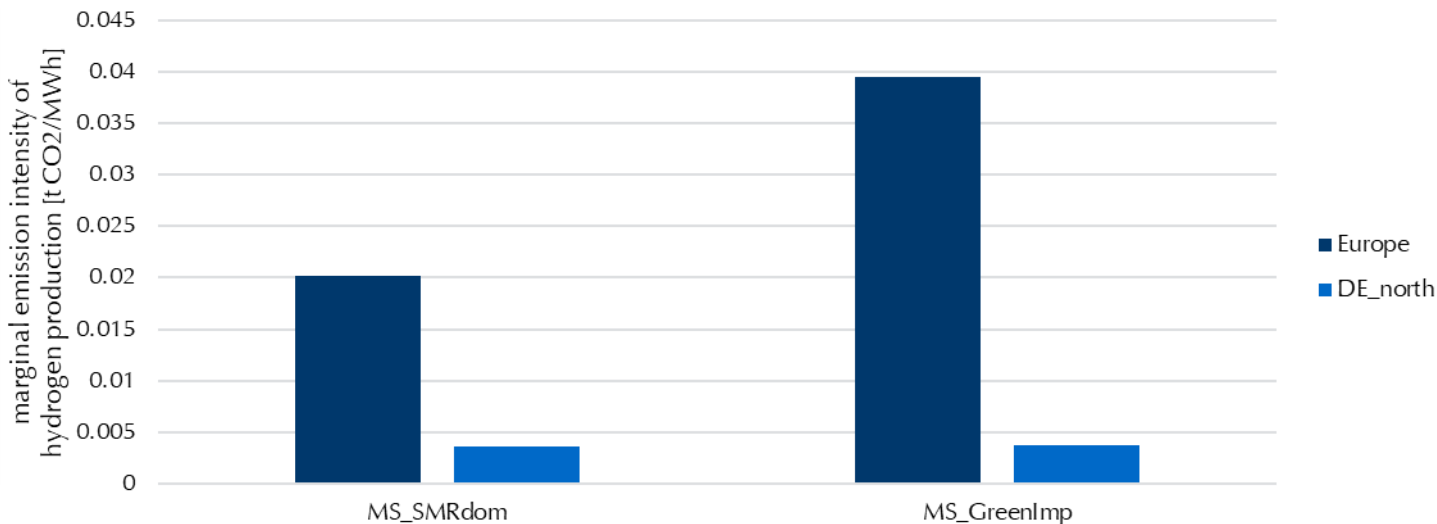
- Begrenzte Veränderung des grenzüberschreitenden Energieaustauschs
- Deutliche Reduktion der EE-Abregelung in Norddeutschland
- Leichte Zunahme der Stromproduktion aus lokalen konventionellen Anlagen in Norddeutschland
- Geringfügiger Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen

## Auswirkungen auf Abregelung, Emissionen und EE-Integration

EE-Abregelung in 2030



CO<sub>2</sub>-Intensität pro Einheit H<sub>2</sub>



## Auswirkungen von Elektrolyseuren in Deutschland

- Begrenzte Veränderung des grenzüberschreitenden Energieaustauschs
- Deutliche Reduktion der EE-Abregelung in Norddeutschland
- Leichte Zunahme der Stromproduktion aus lokalen konventionellen Anlagen in Norddeutschland
- Geringfügiger Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen

## Zentrale Fragestellung:

- Implementierung von PtH<sub>2</sub> unter Berücksichtigung von Unsicherheiten (H<sub>2</sub>-Preisbildung) und systembezogenen Herausforderungen (Nord-Süd-Engpässe)

## Beitrag:

- Betrachtung eines Gebotszonensplits und dessen Auswirkungen auf Investitions- und Betriebsanreize für PtH<sub>2</sub>
- Analyse systembedingter Rückkopplungseffekte

## Ergebnisse:

- **Mittelfristig** (2030) ausreichend Anreize für **marktgetriebene** Investitionen in Elektrolyseure bei **Gebotszonensplit**
- Begrenzte Erhöhungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Strommix für Elektrolyseure: "**niedrigkohlenstoffhaltiger**" **Wasserstoff**
- **Systemkostenreduktion** und **stärkere EE-Integration** durch lokale Preissignale

# Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



## Marco Sebastian Breder

Lehrstuhl für Energiewirtschaft  
House of Energy Markets and Finance  
Universität Duisburg-Essen

R11 T07 C02 | Universitätsstraße 12 | 45141 Essen | Germany

Tel. +49 201/18-36459 | Fax +49 201/18-32703

Email: [Marco.Breder@uni-due.de](mailto:Marco.Breder@uni-due.de)

[www.ewl.wiwi.uni-due.de](http://www.ewl.wiwi.uni-due.de)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages