



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

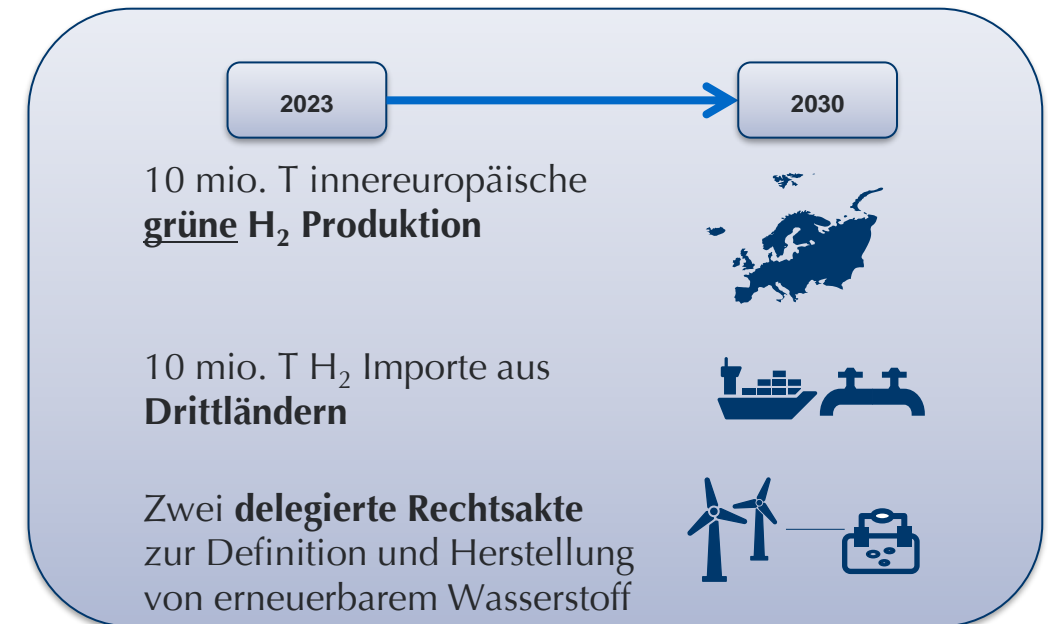
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Open-Minded



Räumliche Anreize für den H₂-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 (PtH₂)¹
- Forschungsfrage
 - Auswirkungen eines Gebotszonensplit auf Investitions- und Betriebsanreize für PtH₂
 - Marktrückkopplungseffekte (CO₂-Bilanz, EE-Integration) und regulatorischer Eingriffe
 - Anwendung eines Dekompositionsansatzes² und H₂-Opportunitätskostenansatzes³



European (H₂-)Strategy in 2030

Quelle: EU Commission

REPowerEU, 2022; C(2023) 1087 final

¹ Umwandlung elektrischer Energie in Wasserstoff (PtH₂) durch Elektrolyse. Der Strommix entscheidet über Klassifizierung des H₂.

² 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;

³ 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

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

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

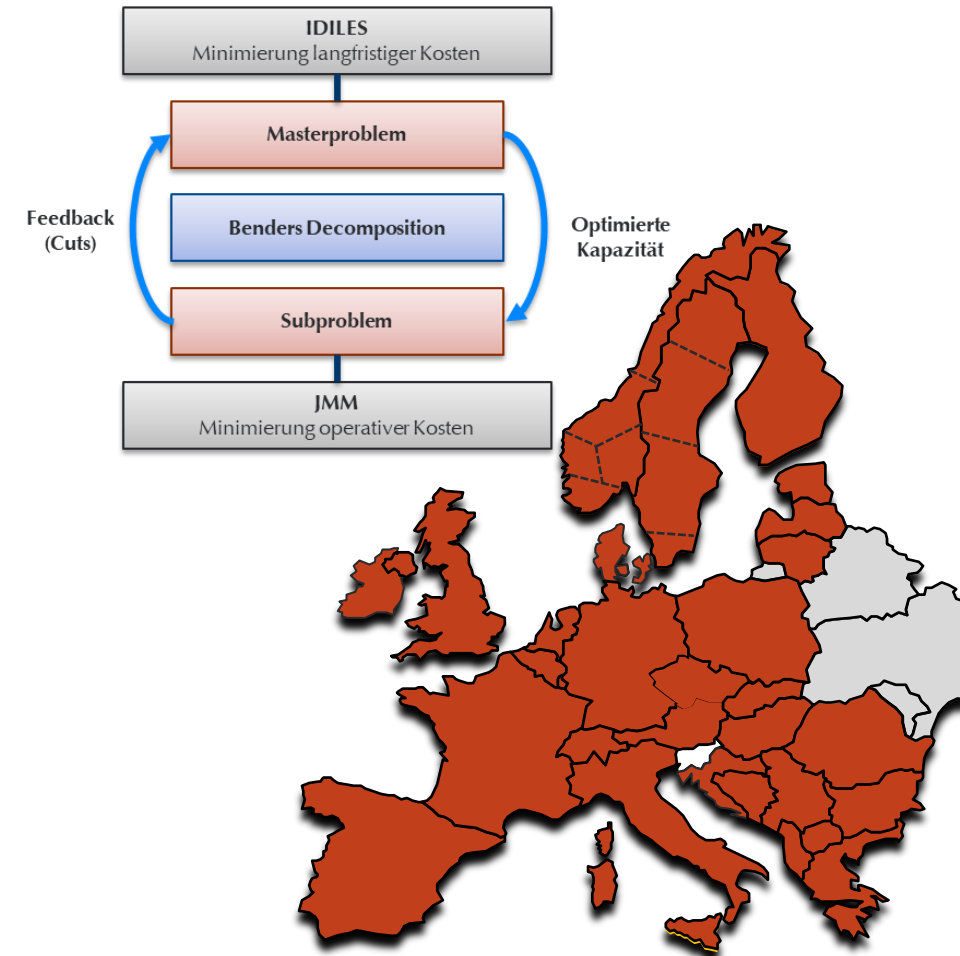
– Konvergenzkriterium: UB (restriktiver SC) \approx LB (relaxierter SC)

■ Modellierung des H₂-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: $\xi_{a,j,t}^{PtH2} = p_t^{H2,imp} \cdot \eta_{PtH2}$

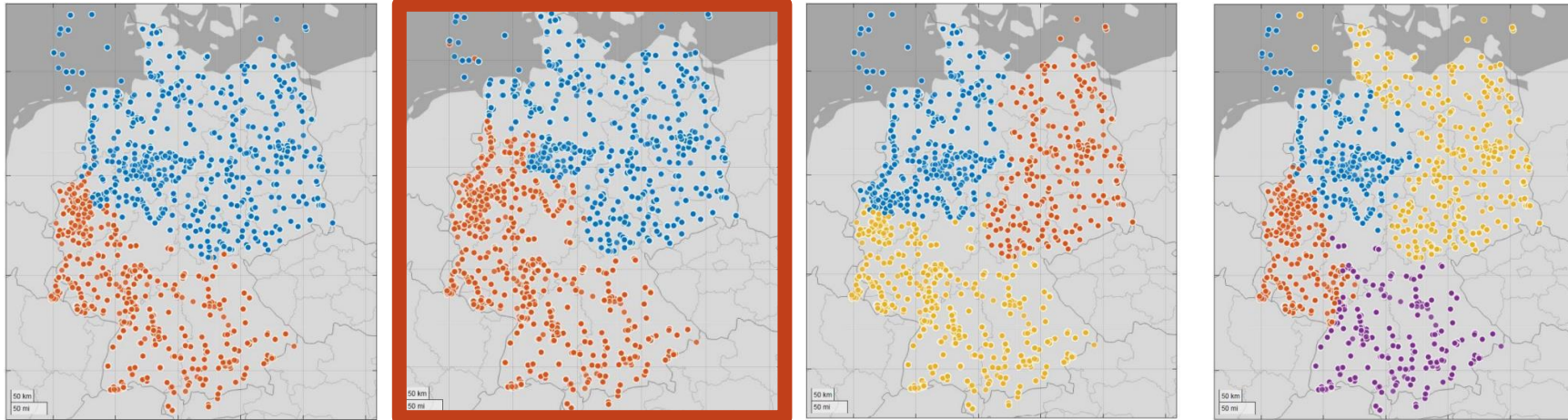
– Grundregel der marktorientierten Betriebsweise von Elektrolyseuren:
– Elektrolyseure in Betrieb, wenn Strompreis \leq H₂-Opportunitätswert



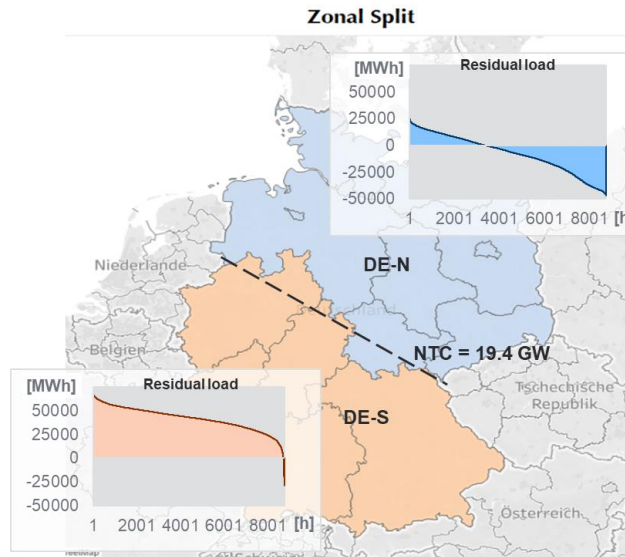
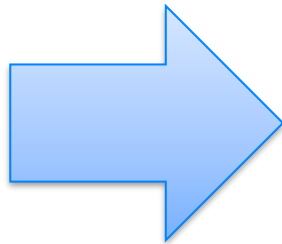
Schematische Repräsentation der Methode

Europäisches Energiesystem mit Fokus auf Deutschland

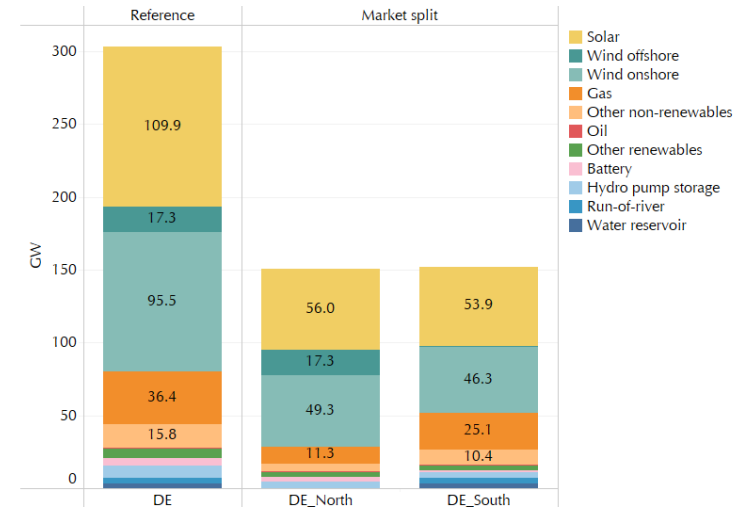
Vorgeschlagene Gebotszonenkonfigurationen von ACER (2022)¹



Ausgewählte Gebotszonenkonfiguration für die Analyse



Installed Capacity in Germany 2030 (excl. PTHz)

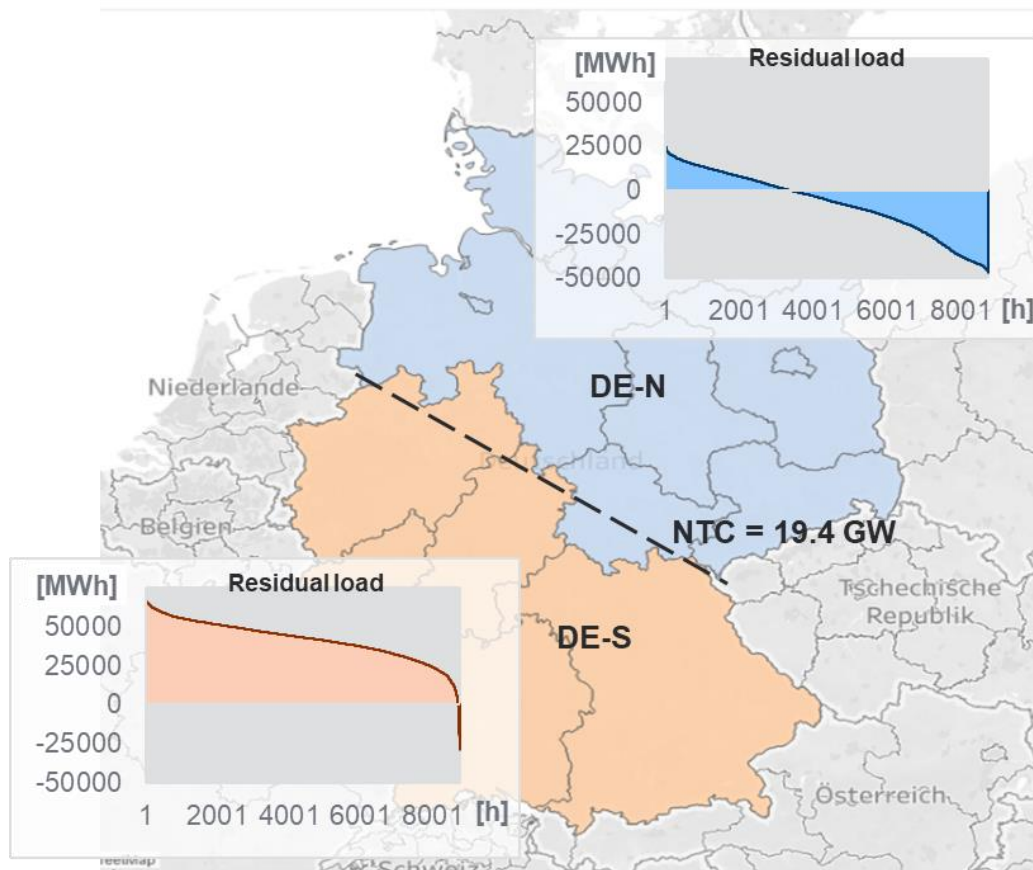


Eingangsdaten auf Betrachtungsjahr 2030 parametrisiert

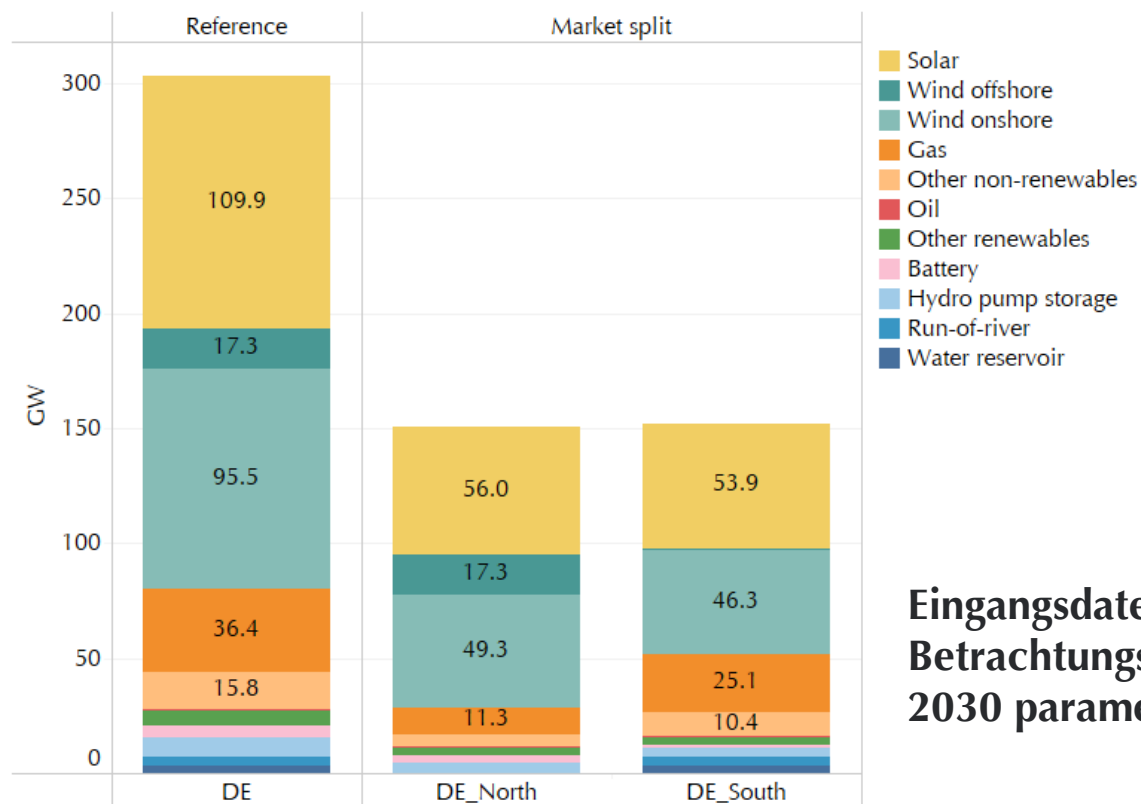
¹ ACER (2022): ACER's Decision on the alternative bidding zone configurations to be considered in the bidding zone review process. ANNEX 1. [Quelle](#).

Europäisches Energiesystem mit Fokus auf Deutschland

Zonal Split



Installed Capacity in Germany 2030 (excl. PtH₂)



Eingangsdaten auf Betrachtungsjahr 2030 parametrisiert

Szenarien basierend auf Opportunitätskosten alternativer H₂-Produktion

- **SMRdom** – *Substitution von Dampfreformierung*
 - Frühe Übergangsphase: PtH₂ als teilweise Substitution von konventionellem Wasserstoff aus Dampfreformierung

- **GreenImp** – *Substitution von grünen H₂-Importen*
 - Fokus: Aufbau einer "pure play" grünen Wasserstoffinfrastruktur
 - Wettbewerb zwischen inländischen und importierten grünem Wasserstoff

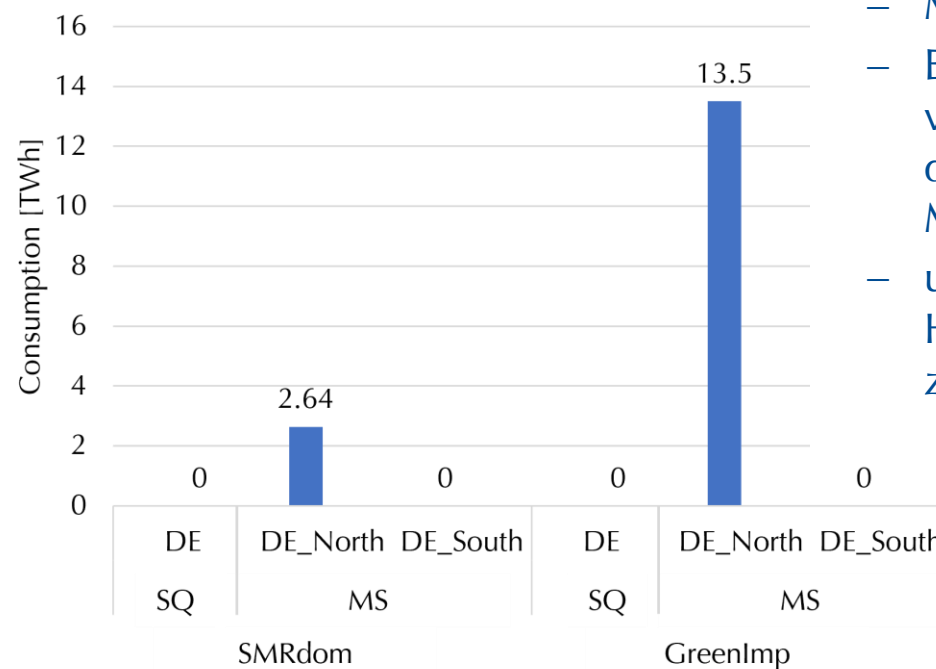
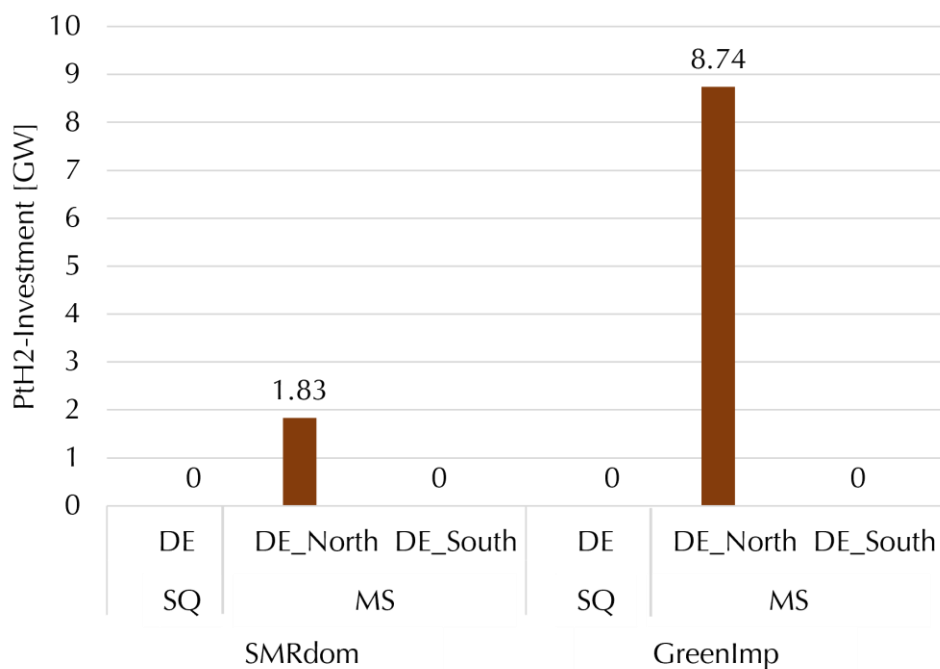
Driver for use value		Steam reforming	Green hydrogen imports
Bidding zone configuration ↓	Reference run	SMRdom	GreenImp
Status quo SQ	SQ_0	SQ_SMRdom	SQ_GreenImp
Market split MS	MS_0	MS_SMRdom	MS_GreenImp

Sensitivitäten

- Investitionen in DE vs. EU
- RED II "grüne H₂"- 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

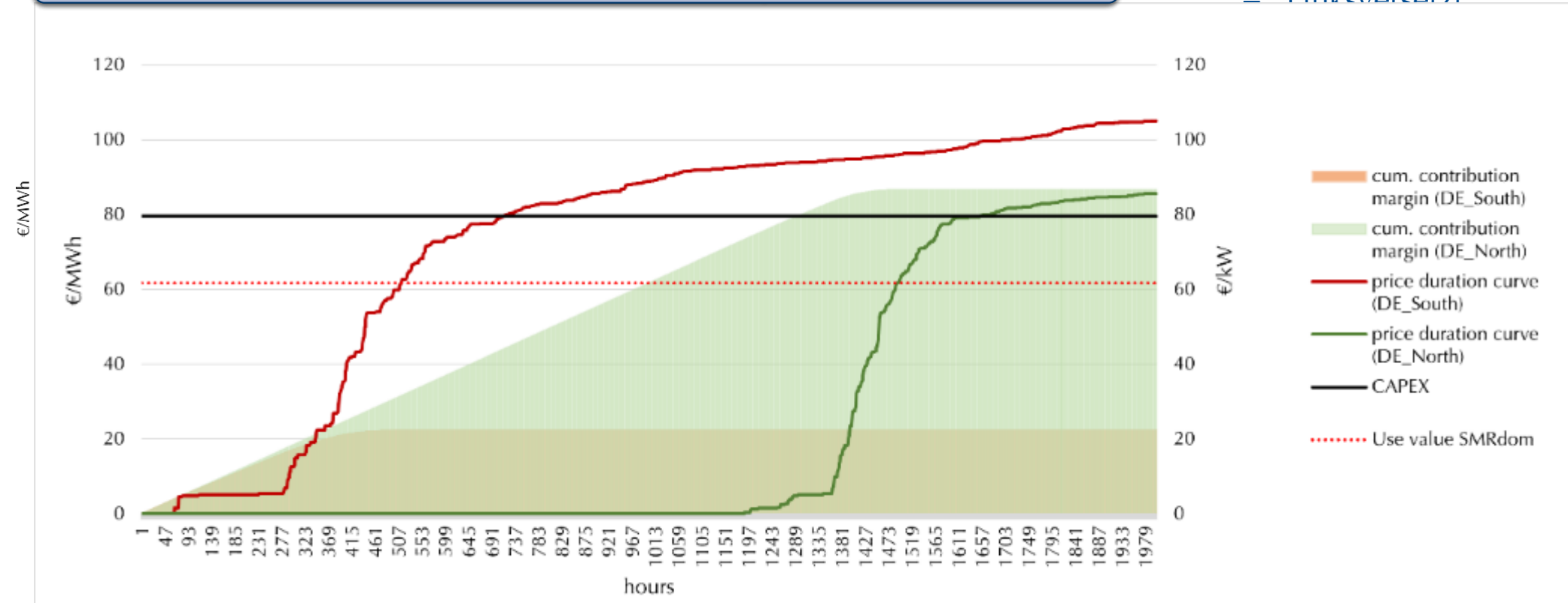


- Investitionen in Elektrolyseure nur in MS-Szenarien
 - MS_SMRdom < MS_GreenImp
 - Ergebnis als Konsequenz verschiedener Preisniveaus in den unterschiedlichen Marktzone...
 - und unterschiedlicher H₂-Opportunitätswerte zwischen MS-Szenarien

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

Preisdauerlinien und Rentabilität von Elektrolyseuren in DE_North (MS_SMRdom und MS_GreenImp)

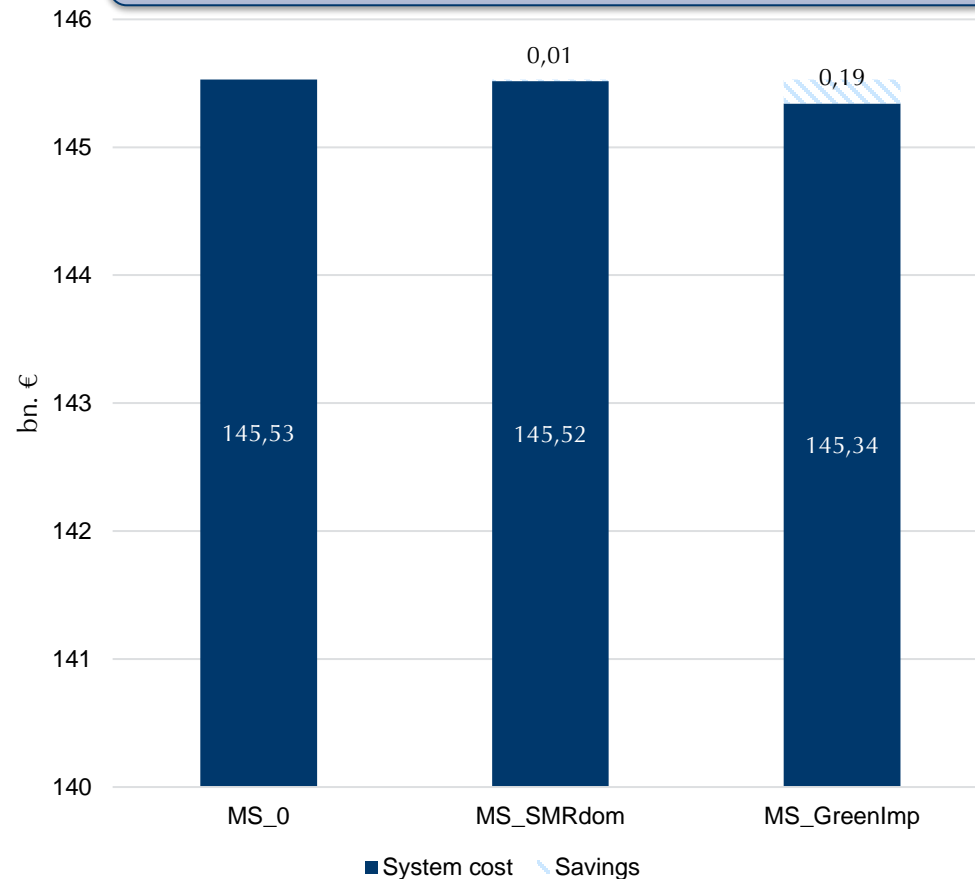
Preisdauerlinien in MS_GreenImp – Linkversetzt



werden als *MS_SMRdom*
siger EE durch höhere
kapazität und
in modifizierte
ung

Systemkosten

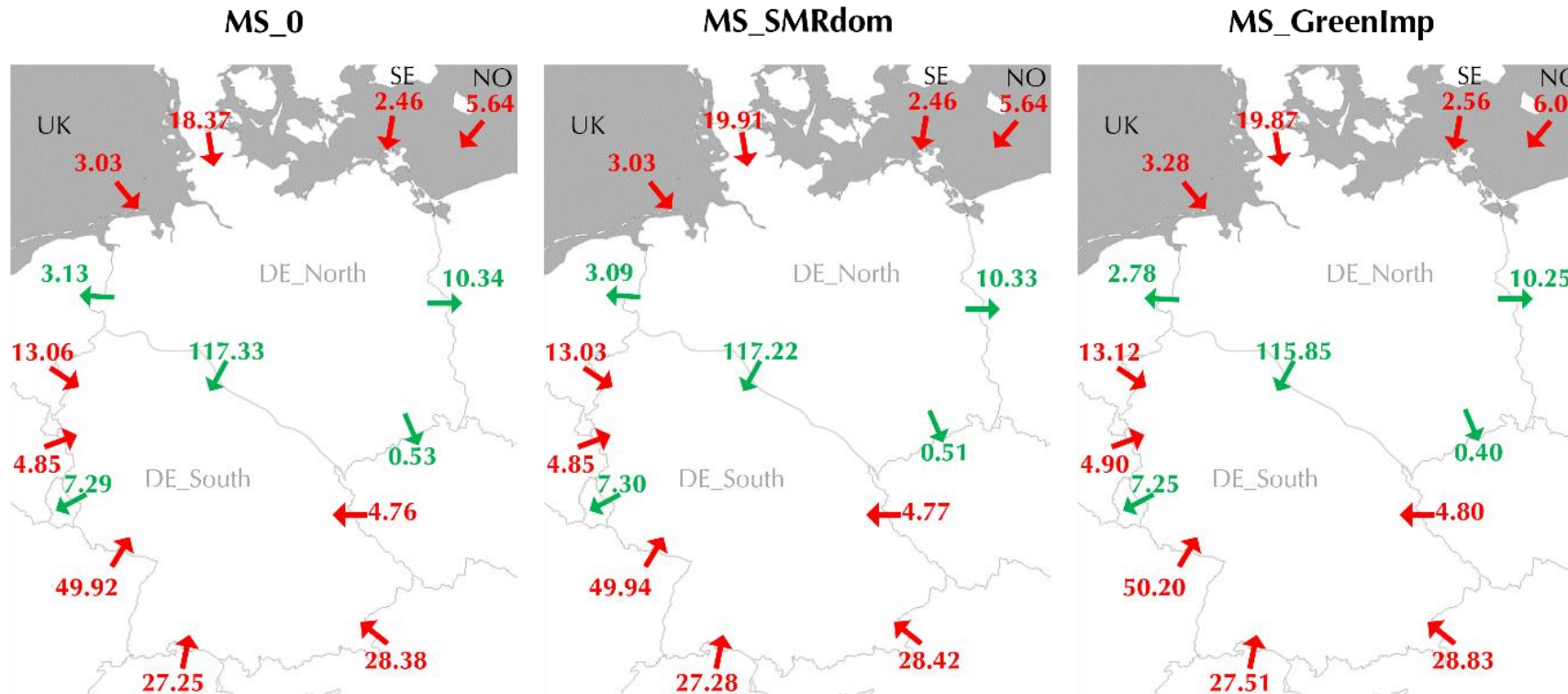
Systemkosten und Ersparnis im Verhältnis zum ersten Lauf der Marktaufteilung in Mrd. € (Europa)



- MS_0 als Referenzlauf
- Reduzierte Systemkosten durch Investitionen in Elektrolyseure
 - zirka 190 Mio. € im Szenario MS_GreenImp.

Auswirkungen auf Abregelung, Emissionen und EE-Integration

Stromtausch Deutschlands mit den Nachbarländern in 2030

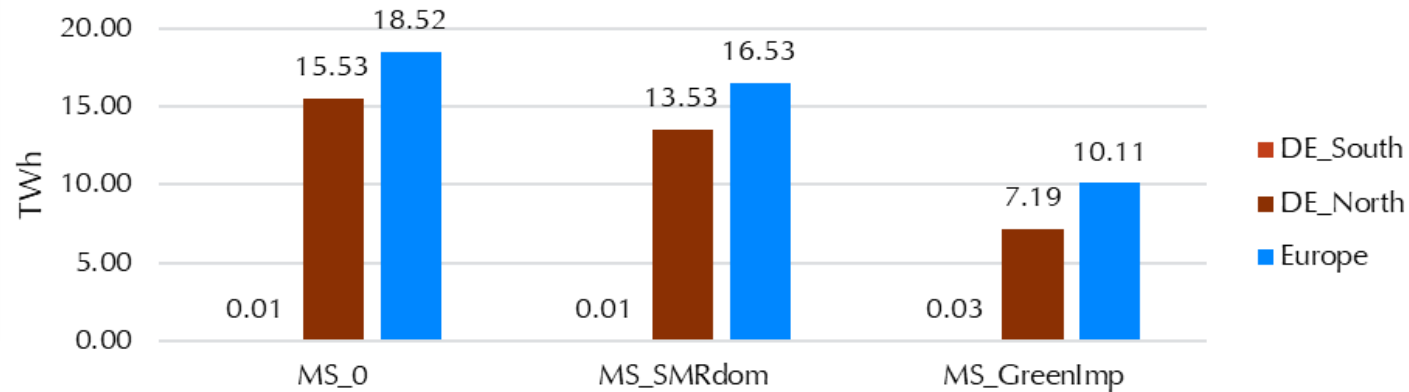


Auswirkungen von Elektrolyseuren in Deutschland

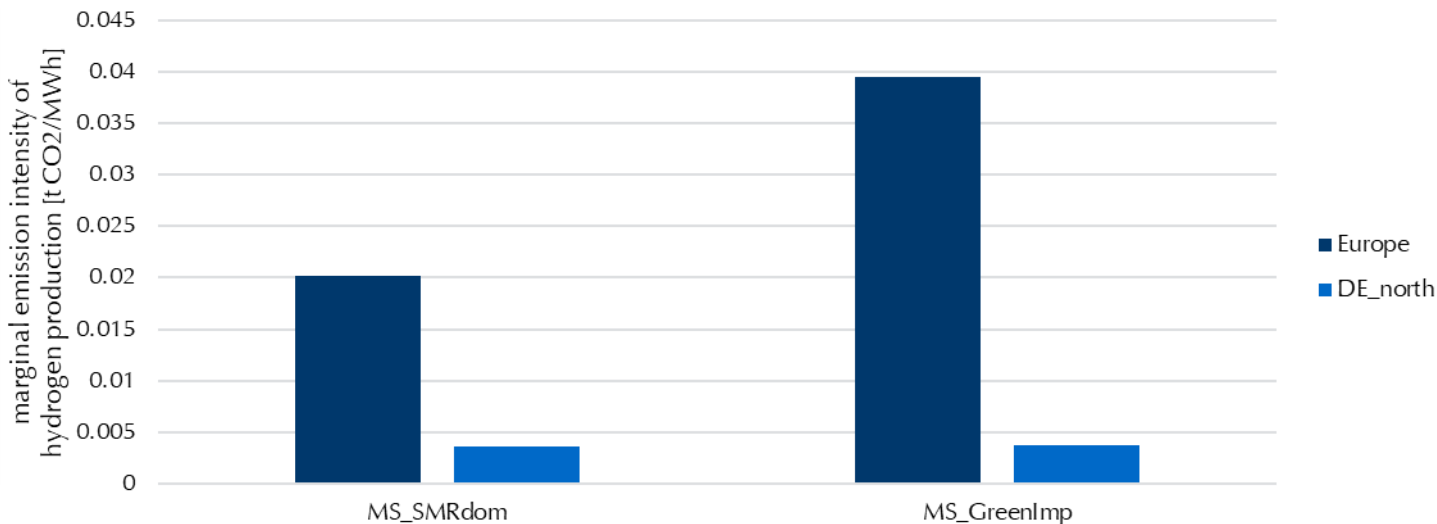
- Begrenzte Veränderung des grenzüberschreitenden Energieaustauschs
- Deutliche Reduktion der EE-Abregelung in Norddeutschland
- Leichte Zunahme der Stromproduktion aus lokalen konventionellen Anlagen in Norddeutschland
- Geringfügiger Anstieg der CO₂-Emissionen

Auswirkungen auf Abregelung, Emissionen und EE-Integration

EE-Abregelung in 2030



CO₂-Intensität pro Einheit H₂



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 CO₂-Emissionen

Zentrale Fragestellung:

- Implementierung von PtH₂ unter Berücksichtigung von Unsicherheiten (H₂-Preisbildung) und systembezogenen Herausforderungen (Nord-Süd-Engpässe)

Beitrag:

- Betrachtung eines Gebotszonensplits und dessen Auswirkungen auf Investitions- und Betriebsanreize für PtH₂
- Analyse systembedingter Rückkopplungseffekte

Ergebnisse:

- **Mittelfristig** (2030) ausreichend Anreize für **marktgetriebene** Investitionen in Elektrolyseure bei **Gebotszonensplit**
- Begrenzte Erhöhungen der CO₂-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

www.ewl.wiwi.uni-due.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages