

# Modellbasierte Analyse der Auswirkung von Sektorkopplung auf die Marktwerte erneuerbarer Energien

**Christiane Bernath**

Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI

11. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien

14.02.2019 Wien, Austria

# Agenda

- Motivation und zentrale Fragestellung
- Methodik
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

# Motivation und zentrale Fragestellung

- Klimaschutz erfordert Minderung Treibhausgasemissionen [1-3]
- Dekarbonisierung des Stromsektors durch Ausbau der erneuerbaren Energien (EE)
- langfristige Wettbewerbsfähigkeit der EE abhängig von Erlösen am Strommarkt  
→ **Marktwert**
- Mit höheren Marktanteilen werden längerfristig die Verfügbarkeit von Flexibilitätsoptionen relevant [4,5]
- Sektorkopplung zur Bereitstellung von Flexibilität [6-8]

Wie wirkt sich eine Flexibilisierung des Stromsektors durch Sektorkopplung auf die Marktwerte erneuerbarer Energien in Deutschland aus?

- Analyse mit Energiesystemmodell *Enertile*

# Agenda

- Motivation und zentrale Fragestellung
- Methodik
- Ergebnisse
- Zusammenfassung



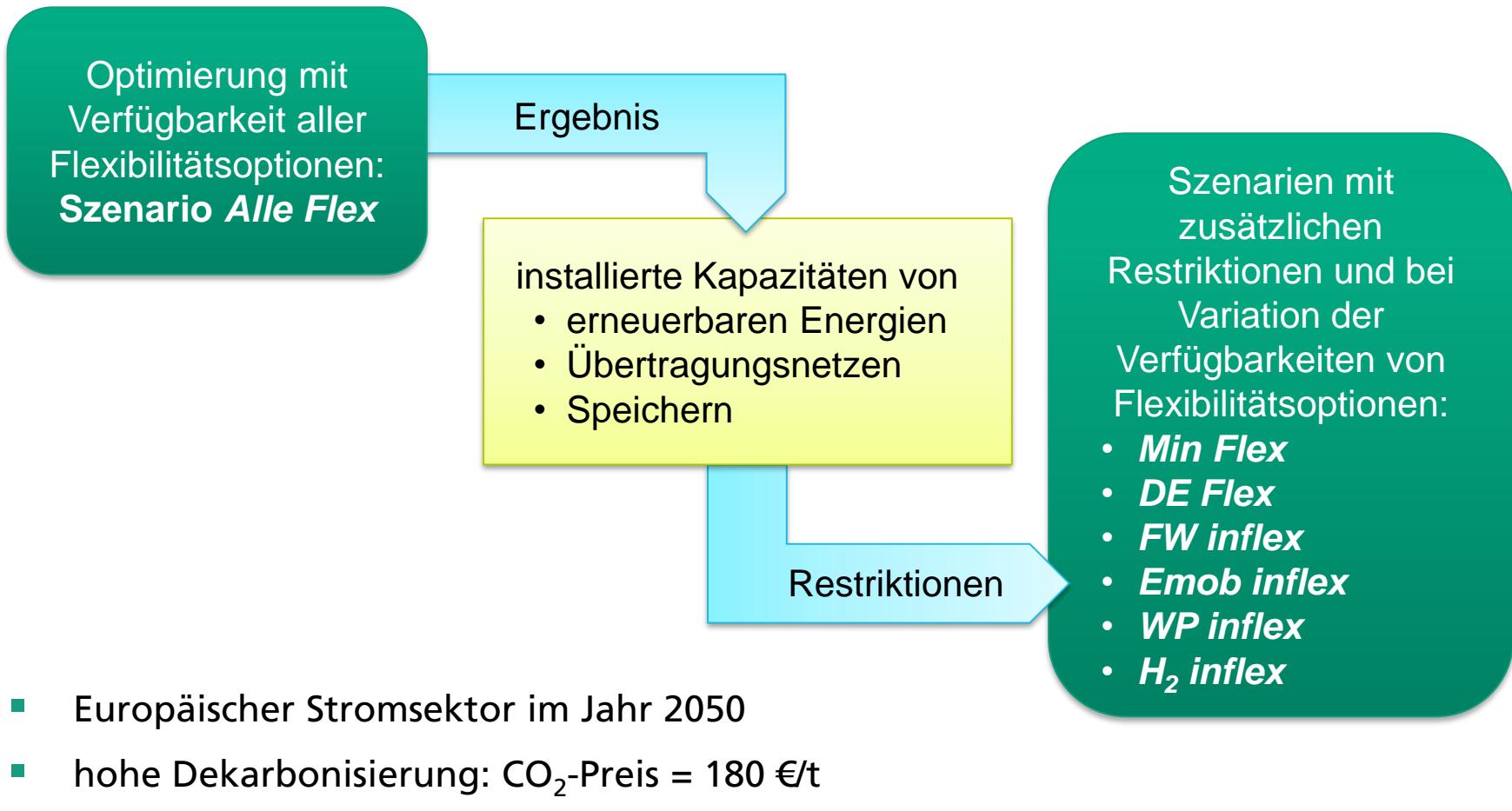
- Energiesystemmodell zur simultanen Optimierung von Ausbau und Einsatz von Erzeugung, Speicherung und Übertragung von Strom in Europa
- Zielfunktion:  
Minimierung aller anfallenden Kosten
- Zentrale Nebenbedingung:  
Angebot und Nachfrage müssen in jeder Stunde und Region ausgeglichen werden
- bei hohen Anteilen fluktuerender EE ist die zeitliche Auflösung von hoher Bedeutung → Enertile hat eine stündliche Auflösung
- Ausbau von Wind- und Solarenergie durch räumlich hoch aufgelöste Analyse technologiespezifischer Potentiale [9]
- Marktwerte der EE: Multiplikation der stündlichen Grenzkosten (Schattenpreise) der Stromnachfrage mit den stündlichen Einspeiseprofilen der EE [5]
- Sektorkopplung durch die Modellierung der Nachfragebereiche:  
Fernwärmenetze, Elektromobilität, Wärmepumpen in Gebäuden und Wasserstoff

# Methodik – Flexibilitätsoptionen

Analyse der Wirkung der einzelnen Sektorkopplungsoptionen auf Marktwerde der EE:  
→ gezielte Variation zwischen flexibler und inflexibler Betriebsart

- **Fernwärmenetze** mit multivalenter Wärmeerzeugung  
Verfügbarkeit strombasierte Wärmeerzeugung
- **Elektromobilität**  
Verfügbarkeit von gesteuertem und optimiertem Laden
- **Wärmepumpen** in Gebäuden  
Verfügbarkeit eines Wärmespeichers zur Lastverlagerung
- **Wasserstoff**  
Verfügbarkeit von Gasturbinen zur Rückverstromung

# Methodik – Szenarien und Vorgehen



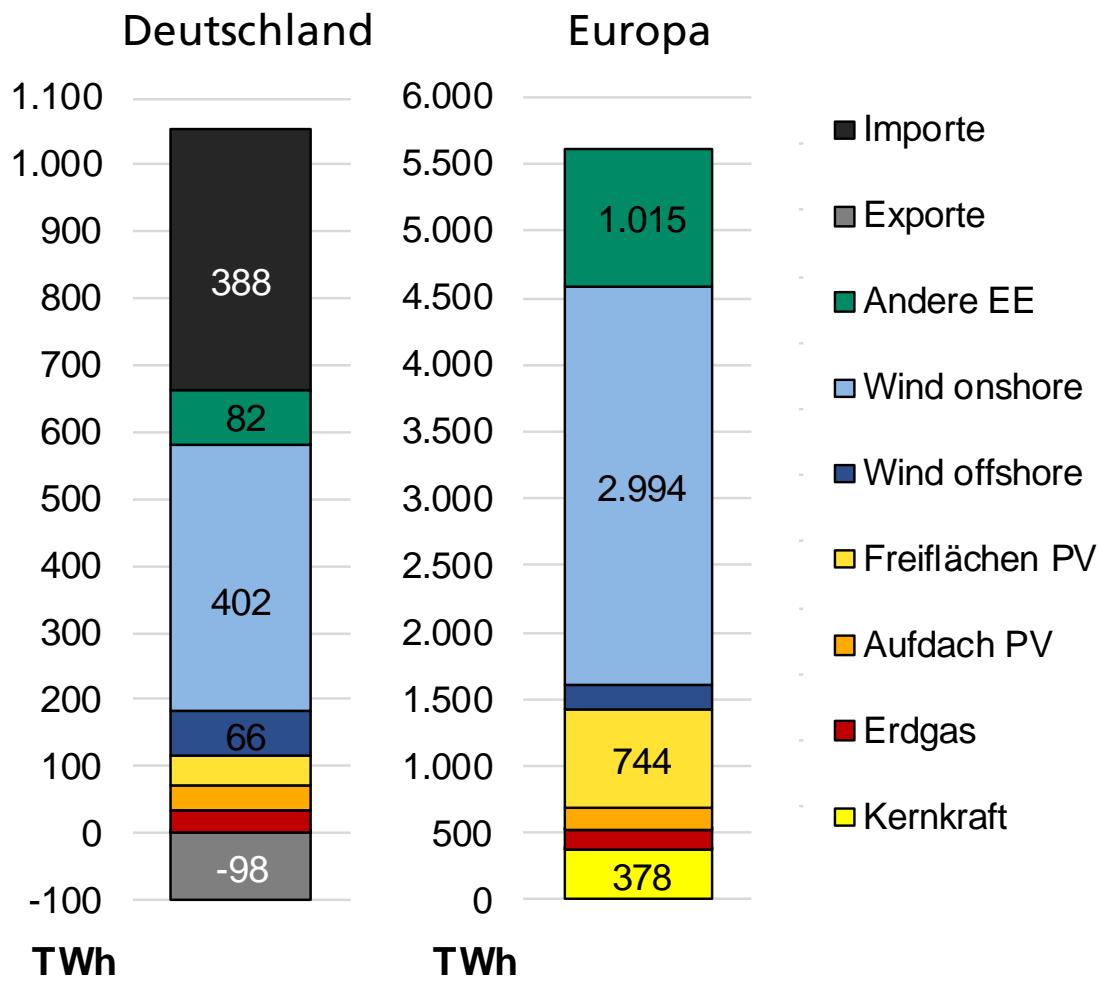
# Agenda

- Motivation und zentrale Fragestellung
- Methodik
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

# Ergebnisse – Stromerzeugung in Deutschland und Europa in 2050 im Alle Flex Szenario

## Deutschland

- ca. die Hälfte aus Windenergie
- 40% Importe aus Nachbarländern
- etwas PV und Erdgas
- keine Kernkraft



## Europa

- vorwiegend Windenergie
- viel PV
- etwas Kernkraft

# Ergebnisse – Differenz der Stromerzeugung und installierten Leistung in Deutschland gegenüber dem Alle Flex Szenario

## *Min Flex, DE Flex, FW inflex*

- höhere Leistung Erdgas
- stärkere Nutzung des Netzes
- DE Flex deutlich mehr Import

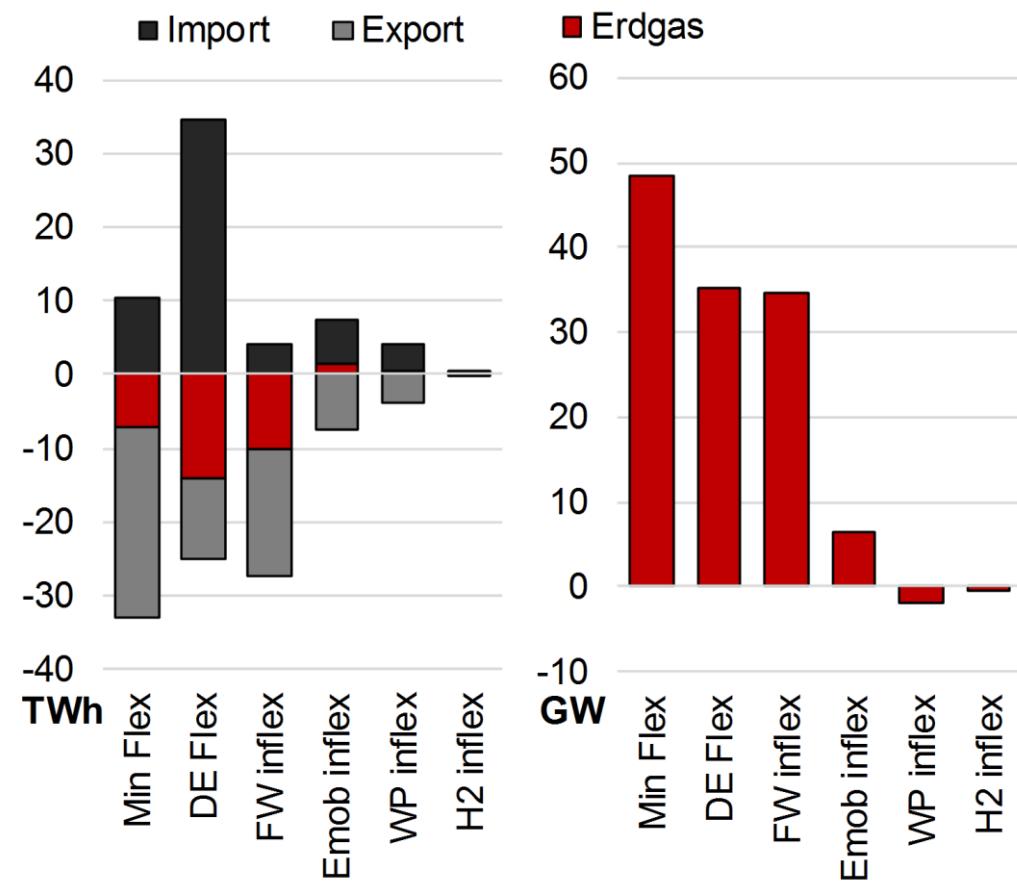
## *Emob / WP inflex*

- nur wenig Veränderungen
- stärkere Nutzung des Netzes

## *H<sub>2</sub> inflex*

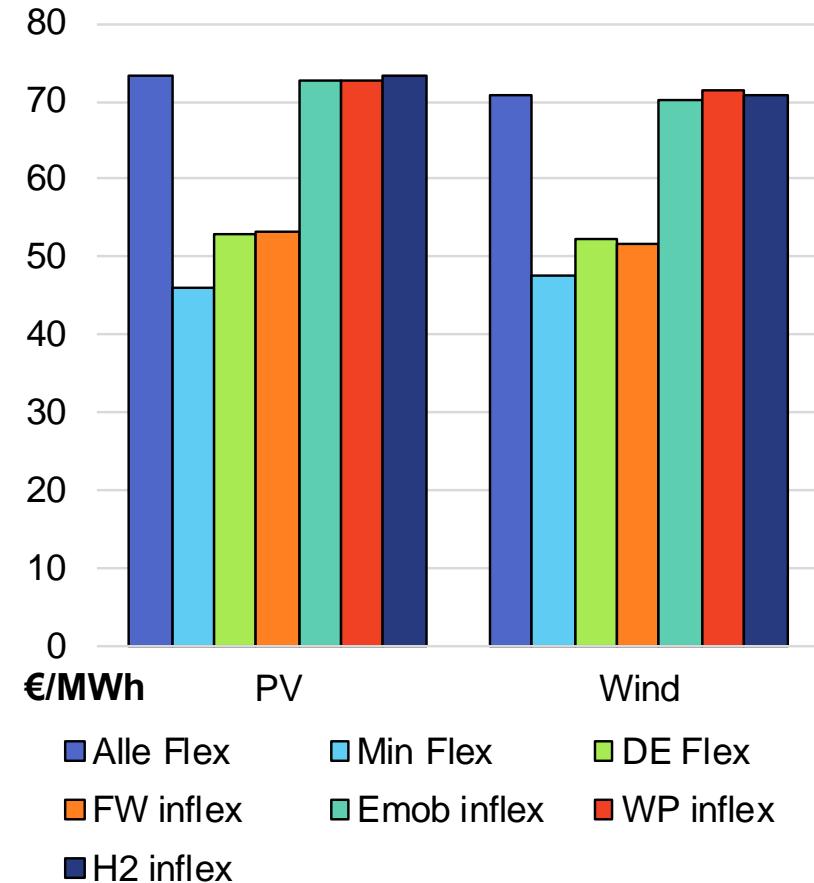
- kaum Veränderung

Es zeigt sich eine hohe Relevanz von Ausgleichsmöglichkeiten über das europäische Stromnetz



# Ergebnisse – Marktwerte in Deutschland

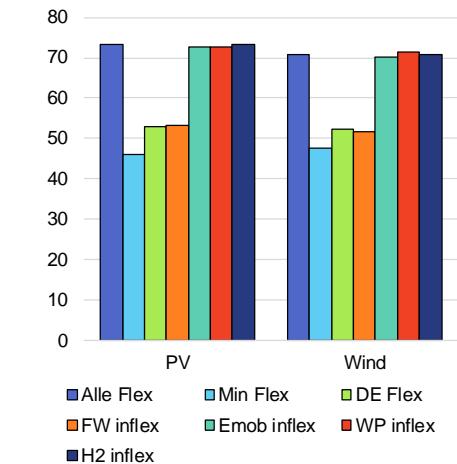
- *Alle Flex* Szenario:  
höchste Marktwerte
  - *Min Flex* Szenario:  
ohne Flexibilität durch Sektorkopplung  
größte Reduktion der Marktwerte
- Flexibilität durch Sektorkopplung führt  
zu einer Erhöhung der Marktwerte
- *Emob / WP / H<sub>2</sub> inflex* Szenarien:  
kaum Veränderung zu erkennen
  - *FW inflex* Szenario:  
ohne strombasierte Wärmeerzeugung  
deutliches Absinken der Marktwerte
  - *DE Flex* Szenario:  
erhöhte Importe verringern  
Marktwerte der EE in Deutschland



# Ergebnisse – Marktwerte in Deutschland: Vergleich der Flexibilitätsoptionen

- Fernwärmenetze
  - multivalente Erzeugungsstruktur ermöglicht zusätzliche Stromnachfrage bei einer hohen erneuerbaren Einspeisung
  - bei hoher Residuallast alternative Bereitstellung über fossile Wärmeerzeuger oder Wärmespeicher
  - strombasierte Wärmeerzeuger erlauben die Aufnahme von erneuerbarer Einspeisung über längere Zeiträume und für größere Mengen
- Flexibilitätsoptionen wie Elektromobilität/Wärmepumpen ermöglichen eine kürzere zeitliche Lastverschiebung

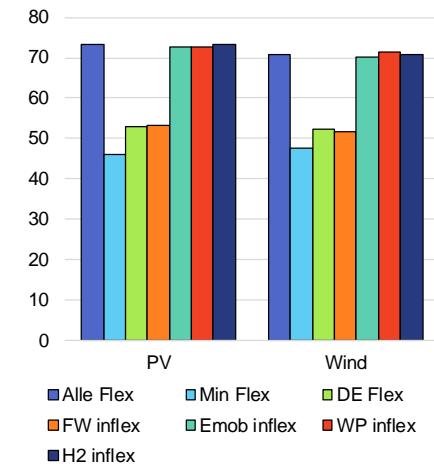
Die Möglichkeit zur Änderung der absoluten Stromnachfrage hat einen größeren Einfluss auf die Marktwerte erneuerbarer Energien als eine zeitliche Flexibilität



# Ergebnisse – Marktwerte in Deutschland: „Insel-Flexibilität“

- ein stark flexibilisiertes deutsches Stromsystem in einem wenig flexibilisierten europäischen Stromsystem führt zu niedrigen Marktwerten in Deutschland
- hohe Importe von günstigem erneuerbaren Strom aus den Nachbarländern verringern den Marktwert der EE innerhalb Deutschlands
- eine wirkungsvolle Sektorkopplung, die sich auf ein einzelnes Land beschränkt, ist für eine effiziente Integration erneuerbarer Energien nicht ausreichend

Rein nationale Strategien zur Nutzung von Sektorkopplungsoptionen sind bei hohen Zielen der Dekarbonisierung wenig effizient



# Agenda

- Motivation und zentrale Fragestellung
- Methodik
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

# Zusammenfassung

- Insgesamt zeigt sich eine hohe Relevanz von Ausgleichsmöglichkeiten über das europäische Stromnetz
- Flexibilität durch Sektorkopplung führt zu einer Erhöhung der Marktwerte
- Die Möglichkeit zur Änderung der absoluten Stromnachfrage hat einen größeren Einfluss auf die Marktwerte erneuerbarer Energien als eine zeitliche Flexibilität
- Rein nationale Strategien zur Nutzung von Sektorkopplungsoptionen sind bei hohen Zielen der Dekarbonisierung wenig effizient

## Ausblick

- für zukünftige Analysen andere Niveaus der Dekarbonisierung untersuchen
  - bei höherer Dekarbonisierung könnte die Bedeutung des Wasserstoffs durch Nutzung der Rückverstromung als Flexibilitätsoption zunehmen

# **Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!**

**Christiane Bernath**

Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Breslauer Str. 48 76139 Karlsruhe

Telefon +49 721 6809-257

[christiane.bernath@isi.fraunhofer.de](mailto:christiane.bernath@isi.fraunhofer.de)

[www.isi.fraunhofer.de](http://www.isi.fraunhofer.de)

[www.enertile.eu](http://www.enertile.eu) enertile 

# Literatur

1. UNFCCC (2018) Katowice Climate Change Conference
2. UNFCCC (2015) Paris Agreement
3. Europäische Kommission (2011) A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050, Brüssel
4. Winkler J, Gaio A, Pfluger B, Ragwitz M (2016) Impact of renewables on electricity markets – Do support schemes matter? Energy Policy 93:157–167. doi:10.1016/j.enpol.2016.02.049
5. Winkler J, Sensfuß F, Pudlik M (2015) Analyse ausgewählter Einflussfaktoren auf den Marktwert Erneuerbarer Energien. Leitstudie Strommarkt: Arbeitspaket 4, Karlsruhe
6. BDEW (2017) 10 Thesen zur Sektorkopplung. Positionspapier, Berlin
7. Wietschel M, Haendel M, Schubert G, Köppel W, Degünther C (2015) Kurz- und mittelfristige Sektorkopplungspotentiale. Kurzstudie, Karlsruhe
8. Gerhardt N, Hochloff P, Richts C, Müller T, Hilpert J, Antoni O, Schulz W (2014) Power-to-Heat zur Integration von ansonsten abgeregeltem Strom aus Erneuerbaren Energien. Handlungsvorschläge basierend auf einer Analyse von Potenzialen und energiewirtschaftlichen Effekten. Studie
9. Pfluger B, Tersteegen B, Franke B, Bernath C et al. (2017) Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Modul 2: Modelle und Modellverbund. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie