



# Transformationspfade deutscher Bundesländer unter Berücksichtigung von Infrastrukturen

---

Julian Brandes (Fraunhofer ISE)  
IEWT Wien, 16.02.2023

# Inhalt

---

1

**Forschungsfrage**

2

**Methodik**  
Regionalisierung des Energiesystemmodells  
REMod

3

**Ergebnisse**  
Bundeslandspezifische Transformationspfade für  
Deutschland und Infrastrukturen

4

**Zusammenfassung und Ausblick**

# Inhalt

---

**1**

**Forschungsfrage**

**2**

**Methodik**

Regionalisierung des Energiesystemmodells  
REMod

**3**

**Ergebnisse**

Bundeslandspezifische Transformationspfade für  
Deutschland und Infrastrukturen

**4**

**Zusammenfassung und Ausblick**

# Forschungsfrage



## Aktueller Forschungsstand:

- Bisherige Systemstudien (z.B. „Big 5“) fokussieren sich vor allem auf die Transformation des deutschen Energiesystems, nicht auf einzelne Bundesländer
- Die Wechselwirkungen von Strom, Gas und Wasserstoffnetzen mit der Transformation der einzelnen Sektoren werden meist nicht vollständig berücksichtigt

## Daher wurde das Energiesystemmodell REMod weiterentwickelt, um beispielsweise folgende Fragen zu beantworten:

- *Wie können Transformationspfade deutsche Bundesländer unter Berücksichtigung eines sektorgekoppelten deutschen Energiesystems unter hoher zeitlicher Auflösung aussehen?*
- *Welche Konsequenzen für den Ausbau der Infrastrukturen ergeben sich hieraus?*

# Inhalt

---

1

Forschungsfrage

2

**Methodik**  
Regionalisierung des Energiesystemmodells  
REMod

3

**Ergebnisse**  
Bundeslandspezifische Transformationspfade für  
Deutschland und Infrastrukturen

4

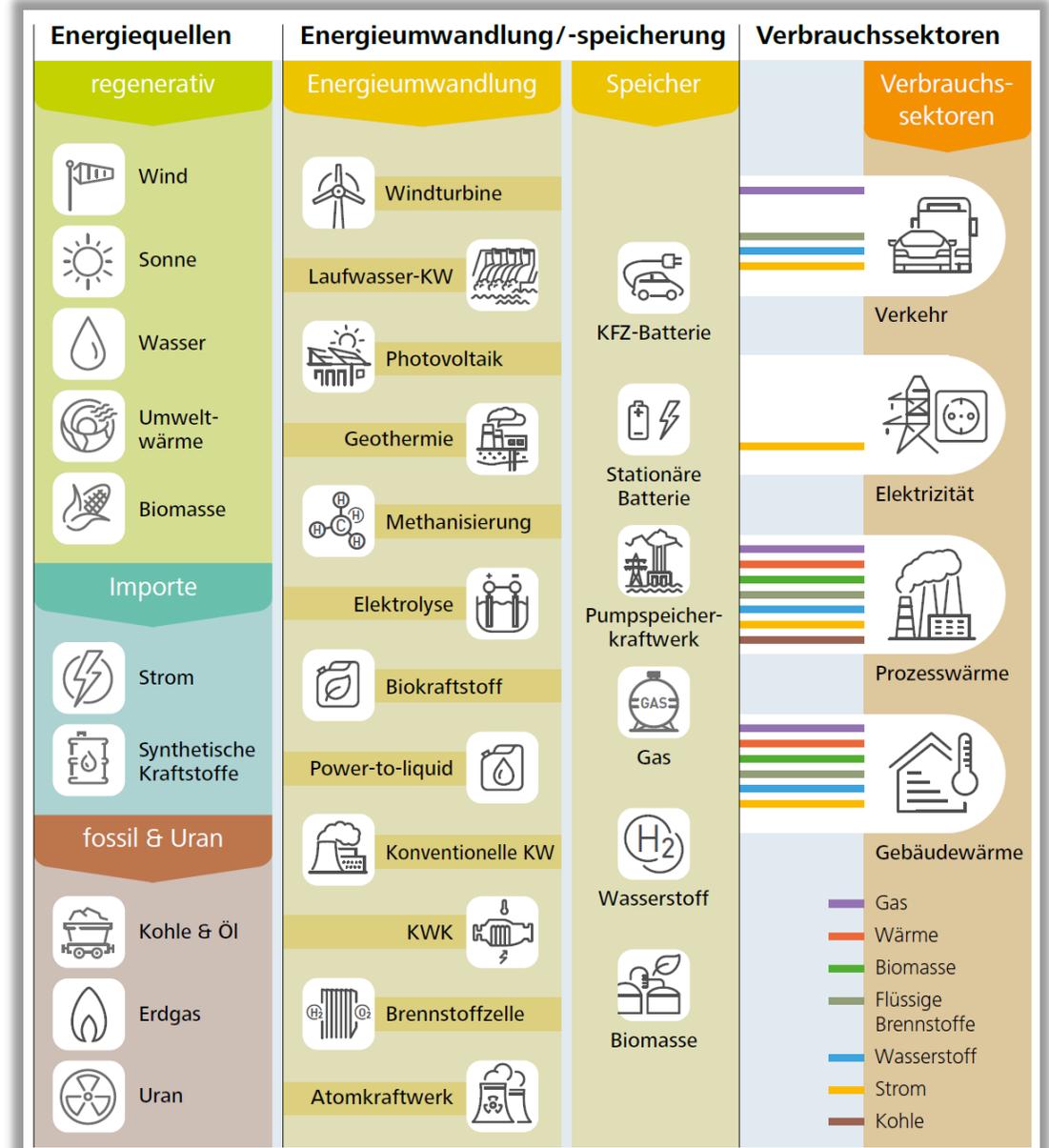
Zusammenfassung und Ausblick

# Methodik

## Energiesystemmodell REMod

### Modell zur Simulation und Optimierung der Entwicklung nationaler Energiesysteme

- Einbeziehung aller Verbrauchssektoren und Energieträger
- Minimierung der Transformationskosten
- Stundengenaue Modellierung



# Methodik

## Regionalisierung REMod

REMod

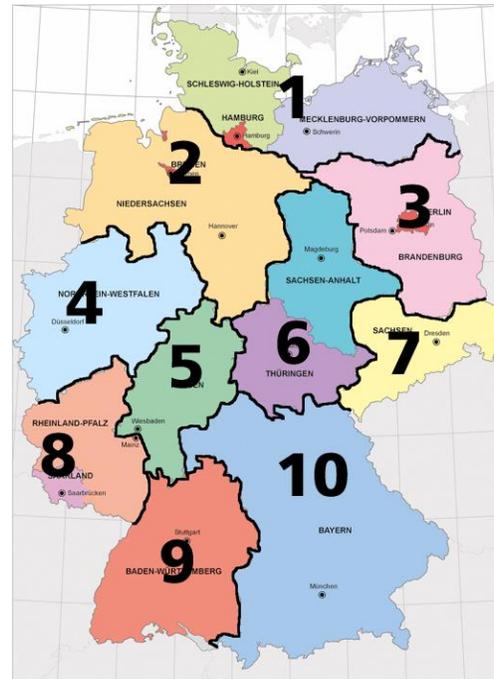
REMod-Regional

### Ursprüngliches Modell:

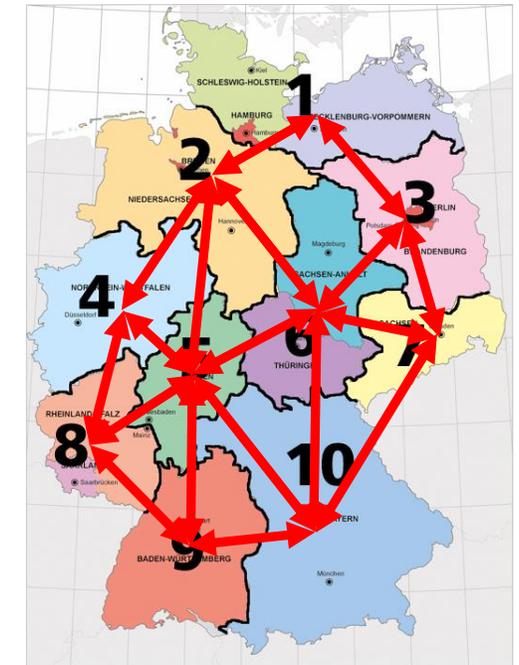
Deutschland als Ein-Knoten-Modell: Energie überall gleichzeitig verfügbar



**Knotenscharfe Energiebilanz:** Für 10 Knoten auf Bundeslandebene muss die Energiebilanz zu jeder Stunde erfüllt sein.

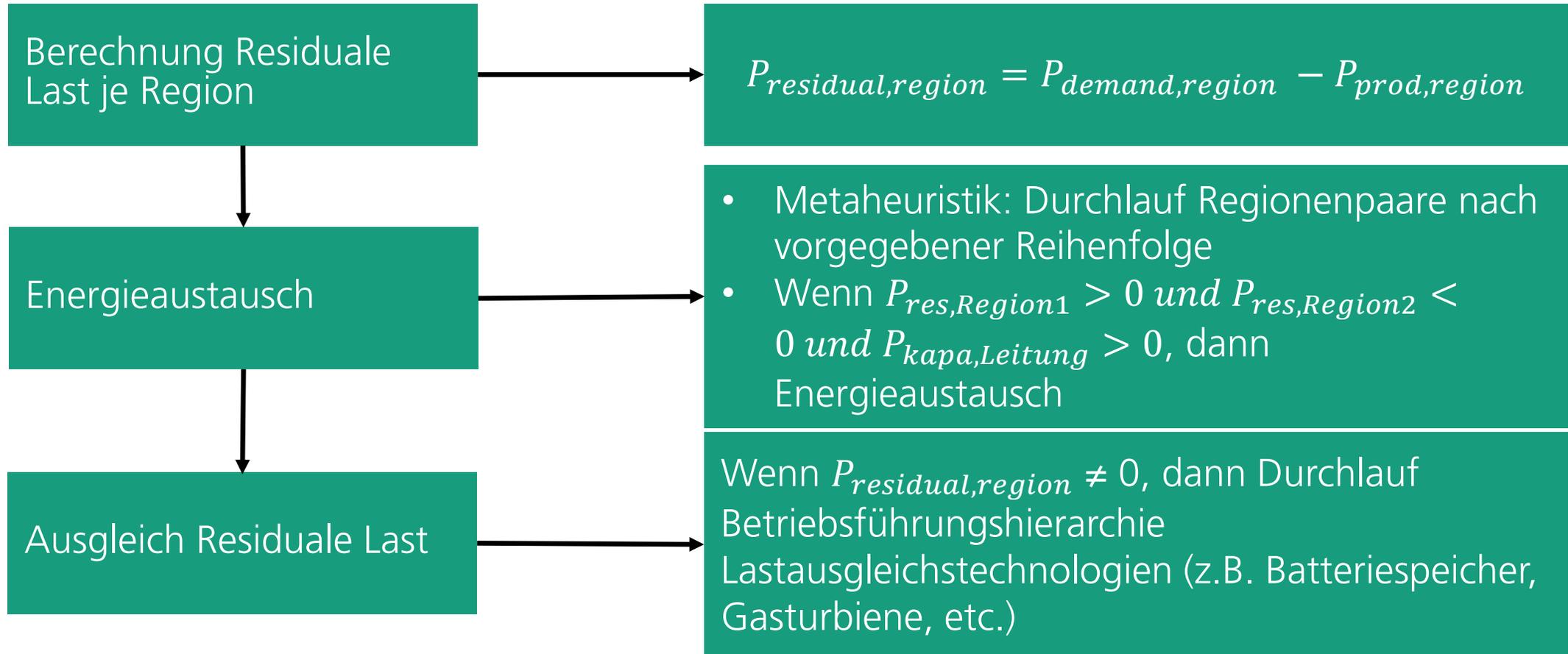


**Infrastruktur:** Verknüpfung des Knoten zu Mehr-Knoten Modell: Austausch von Energie mittels Metaheuristiken



# Methodik

## Metaheuristik für Energieaustausch



# Inhalt

---

1

Forschungsfrage

2

**Methodik**  
Regionalisierung des Energiesystemmodells  
REMod

3

**Ergebnisse**  
Bundeslandspezifische Transformationspfade für  
Deutschland und Infrastrukturen

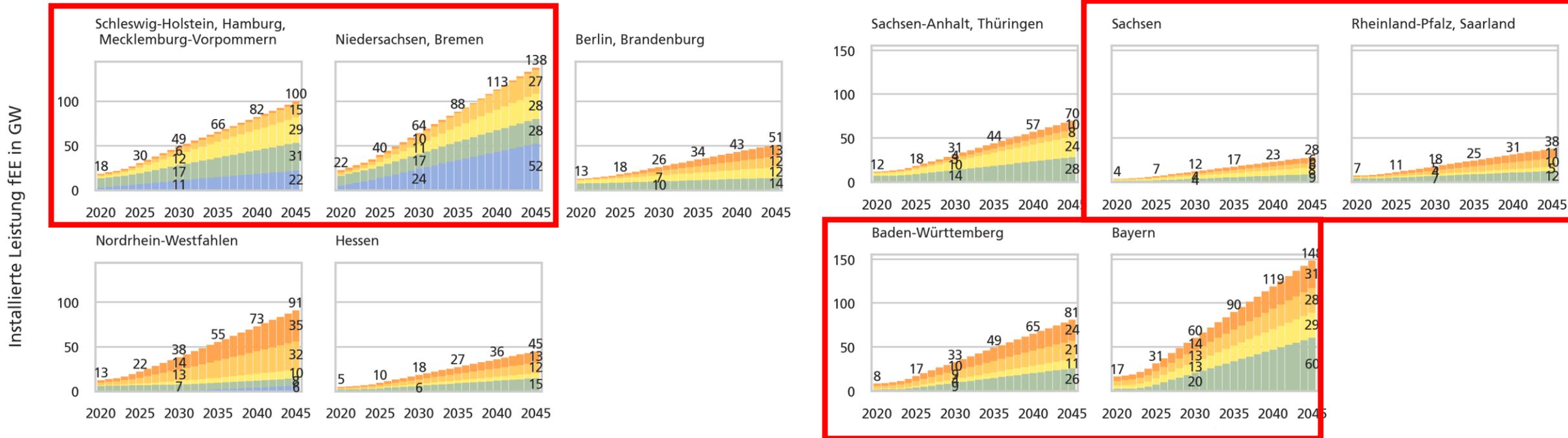
4

Zusammenfassung und Ausblick



# Ergebnisse

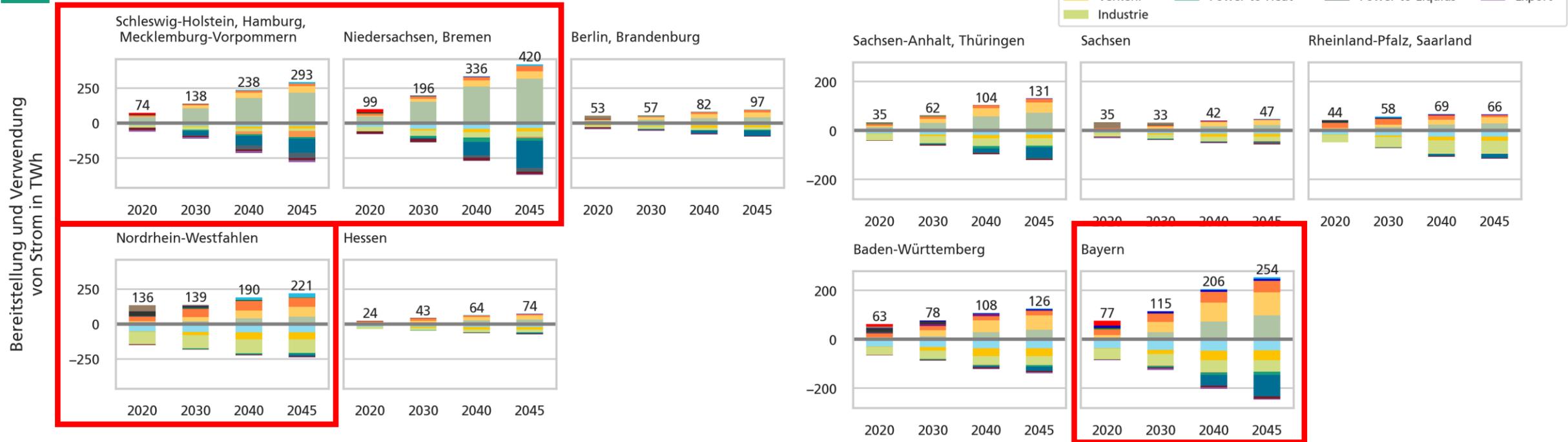
## Ausbau fluktuierender Erneuerbarer Energien (fEE)



- Ausbaugrenzen werden nahezu in allen Bundesländern erreicht (Deutschland: ca. 790 GW fEE)
- Starker Ausbau der Offshore Windenergie in nördlichen Bundesländern (ca. 80 GW)
- Einzelne Bundesländer mit vergleichsweise geringem Potenzial fEE
- Ebenfalls intensiver Ausbau der Windenergie in südlichen Bundesländern notwendig (ca. 86 GW)

# Ergebnisse

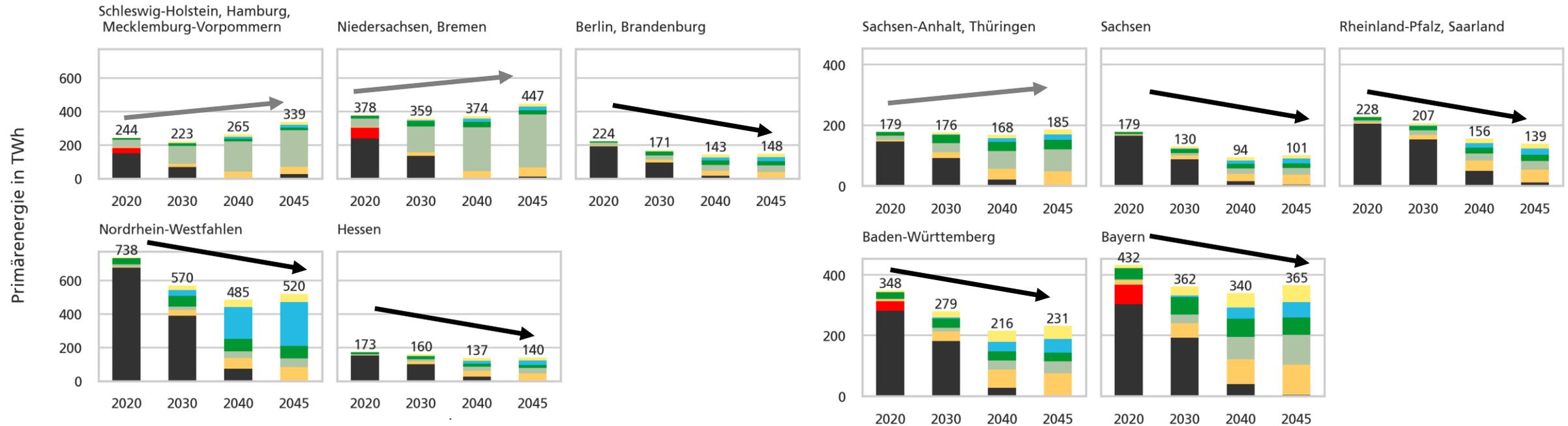
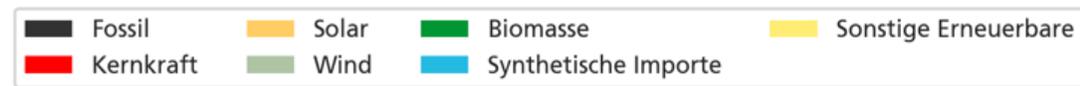
## Strombereitstellung und Verwendung



- In Windreichen Bundesländern ist Strombereitstellung am größten
  - Viel Strom wird für PTX-Technologien verwendet
  - Bereitstellung von Strom für andere Regionen
- Regionen mit hoher Endenergienachfrage benötigen Strom vor allem für sektorale Nachfrage

# Ergebnisse

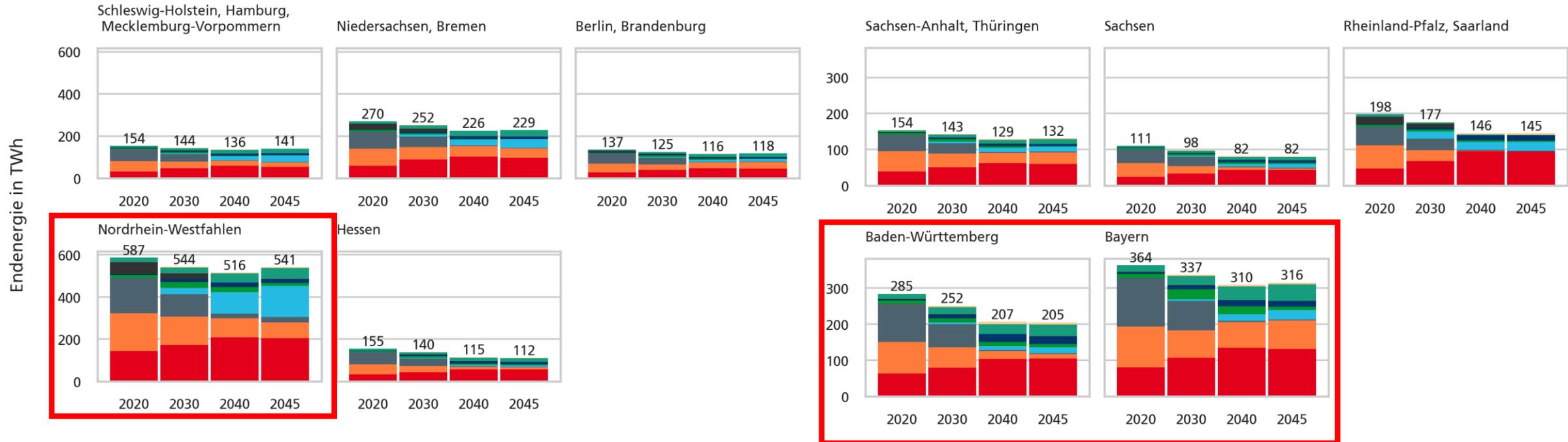
## Primärenergie



- In den meisten Bundesländern sinkt die Primärenergie (Deutschland insgesamt um ca. -20%)
- In windreichen Bundesländern steigt die Primärenergie um Elektrizität für andere Bundesländer bereit zu stellen und Synfuels zu produzieren
- Industriestarke Bundesländer stark auf Import angewiesen (synthetische Energieträger aus dem Ausland, sowie Elektrizität aus anderen Bundesländern)

# Ergebnisse

## Endenergienachfrage

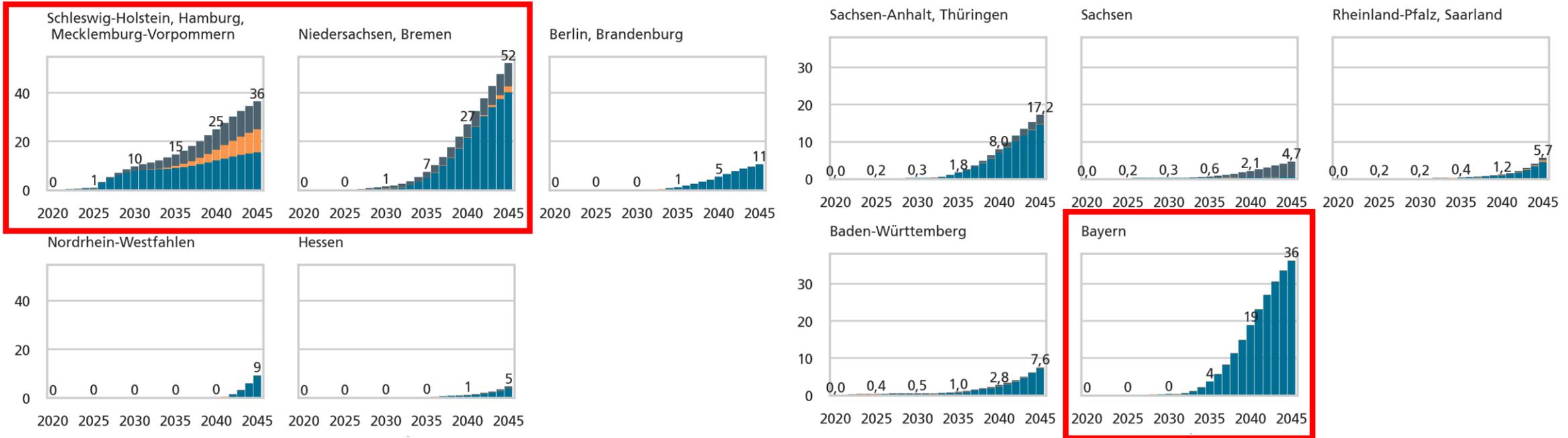


- Etwa 50% der Endenergienachfrage entfallen auf 3 Bundesländer (NRW, BW und BY)
- Industriestarke Bundesländer mit geringerem Rückgang der EE auf Grund hoher Nachfrage nach synthetischen Energieträgern
- Insgesamt Rückgang der Endenergienachfrage, jedoch regionale Unterschiede
- In allen Bundesländern Anstieg der Elektrifizierung

# Ergebnisse

## Power-to-X Technologien

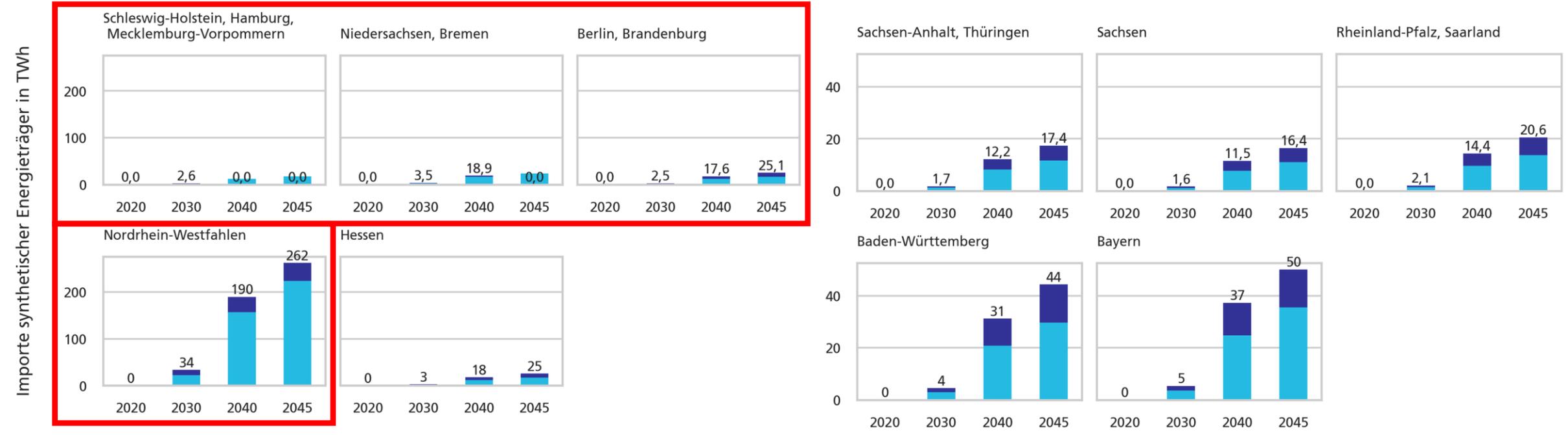
Installierte Leistung von PtX-Technologien in GW



- Power-to-X Technologien (Elektrolyse, Methanisierung und PTL) werden vor allem in Regionen mit hohem Erneuerbaren Potenzial installiert
- Windarme Länder benötigen Strom für lokalen Verbrauch und sind mehr auf Importe angewiesen

# Ergebnisse

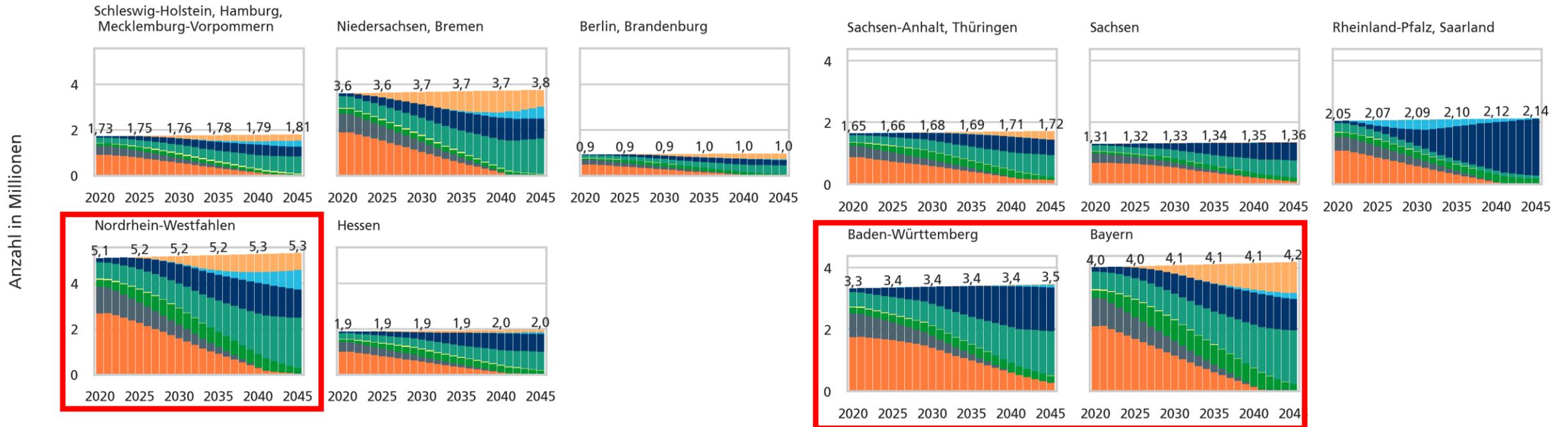
## Import synthetischer Energieträger



- Bundesländer mit viel Elektrolysekapazität und geringer Endenergienachfrage können wasserstoffbedarf nahezu autark decken
- Ein Großteil der Bundesländer ist auf Importe angewiesen
- NRW sticht mit sehr großen Importmengen von 262 TWh auf Grund von hoher Nachfrage (viel Industrie) und geringer Erzeugungskapazität heraus

# Ergebnisse

## Transformationspfad Gebäudesektor



- Wärmepumpen in allen Bundesländern stark vertreten
- In größeren Bundesländern intensiverer Ausbau von Wärmenetzen
- Durch Verbot Gaskessel (65%-Regel) werden in einigen Regionen mit knappem Stromdargebot Brennstoffzellen genutzt

# Inhalt

---

1

Forschungsfrage

2

**Methodik**  
Regionalisierung des Energiesystemmodells  
REMod

3

**Ergebnisse**  
Bundeslandspezifische Transformationspfade für  
Deutschland und Infrastrukturen

4

**Zusammenfassung und Ausblick**

# Fazit und Ausblick

---

- Die **Analyse einzelner Bundesländer** ist wichtig, um regionale Unterschiede und Infrastrukturmaßnahmen analysieren zu können, die deutschen Bundesländer **unterschieden** sich teilweise erheblich in Bezug auf **Energieangebot und Nachfrage**
- Für das Erreichen der Klimaziele ist der intensive Ausbau von **Windenergie und Photovoltaik in allen Bundesländern** notwendig – insbesondere auch in südlichen
- Ein deutschlandweiter Ausbau von **Stromnetzen ist unerlässlich**, die maximalen Leistungen steigen um den **Faktor 2-5**
- Der **Ausbau von Power-to-X Anlagen** findet vor allem in **Windreichen Regionen** statt – einige Bundesländer sind auf **Importe angewiesen** (aus dem Aus oder Inland)
- **Ausblick:** Infrastruktur von gasförmigen Energieträgern (CH<sub>4</sub> und H<sub>2</sub>) könnte Standorte z.B. von Power-to-X Anlagen beeinflussen

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit

---

# Kontakt

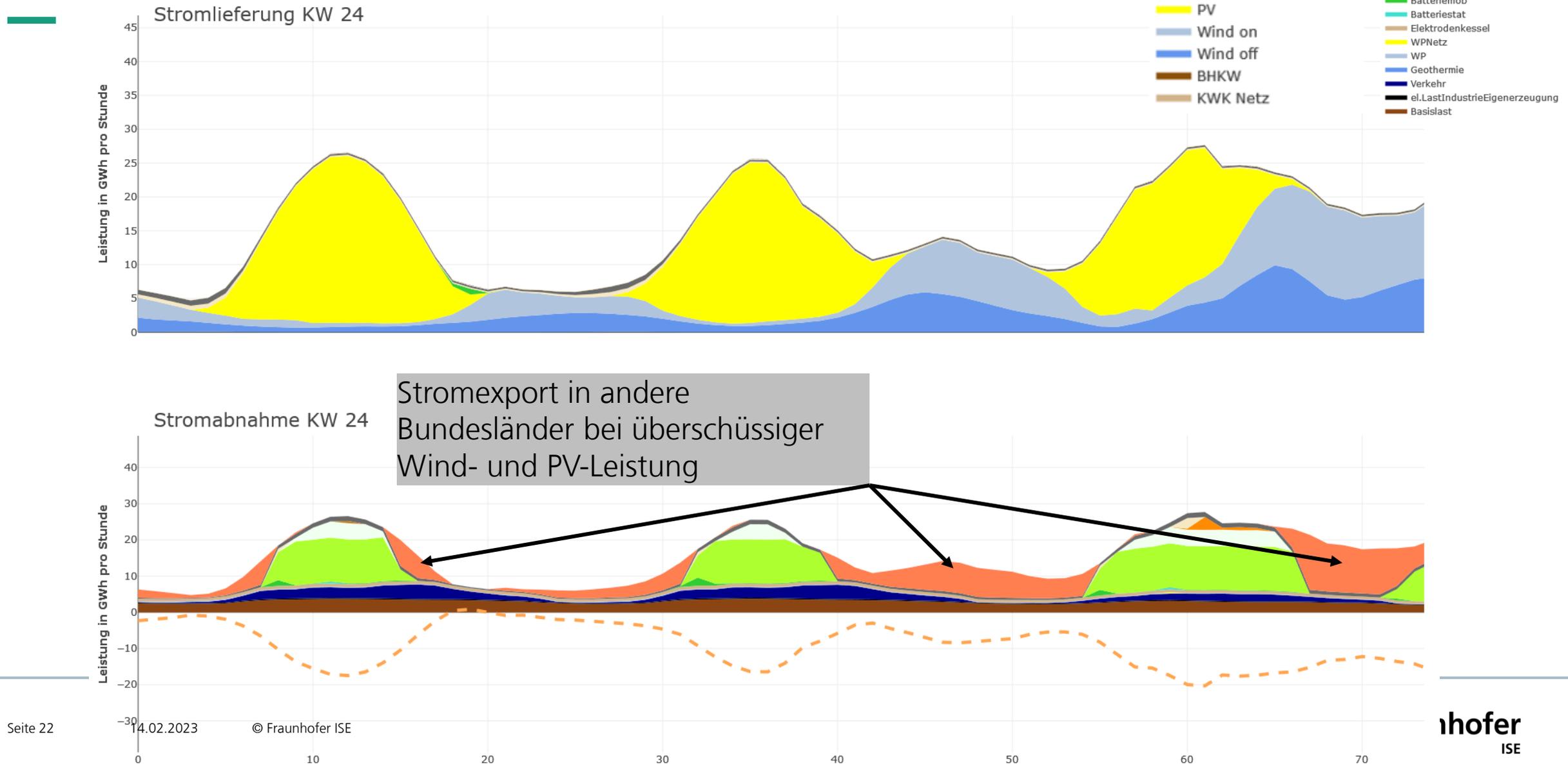
---

**M.Sc. Julian Brandes**  
**Gruppe Energiewirtschaft und Energiesysteme**  
**Tel. +49 761 4588-2279**  
**[julian.brandes@ise.fraunhofer.de](mailto:julian.brandes@ise.fraunhofer.de)**

Fraunhofer ISE  
Heidenhofstraße 2  
79110 Freiburg  
[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

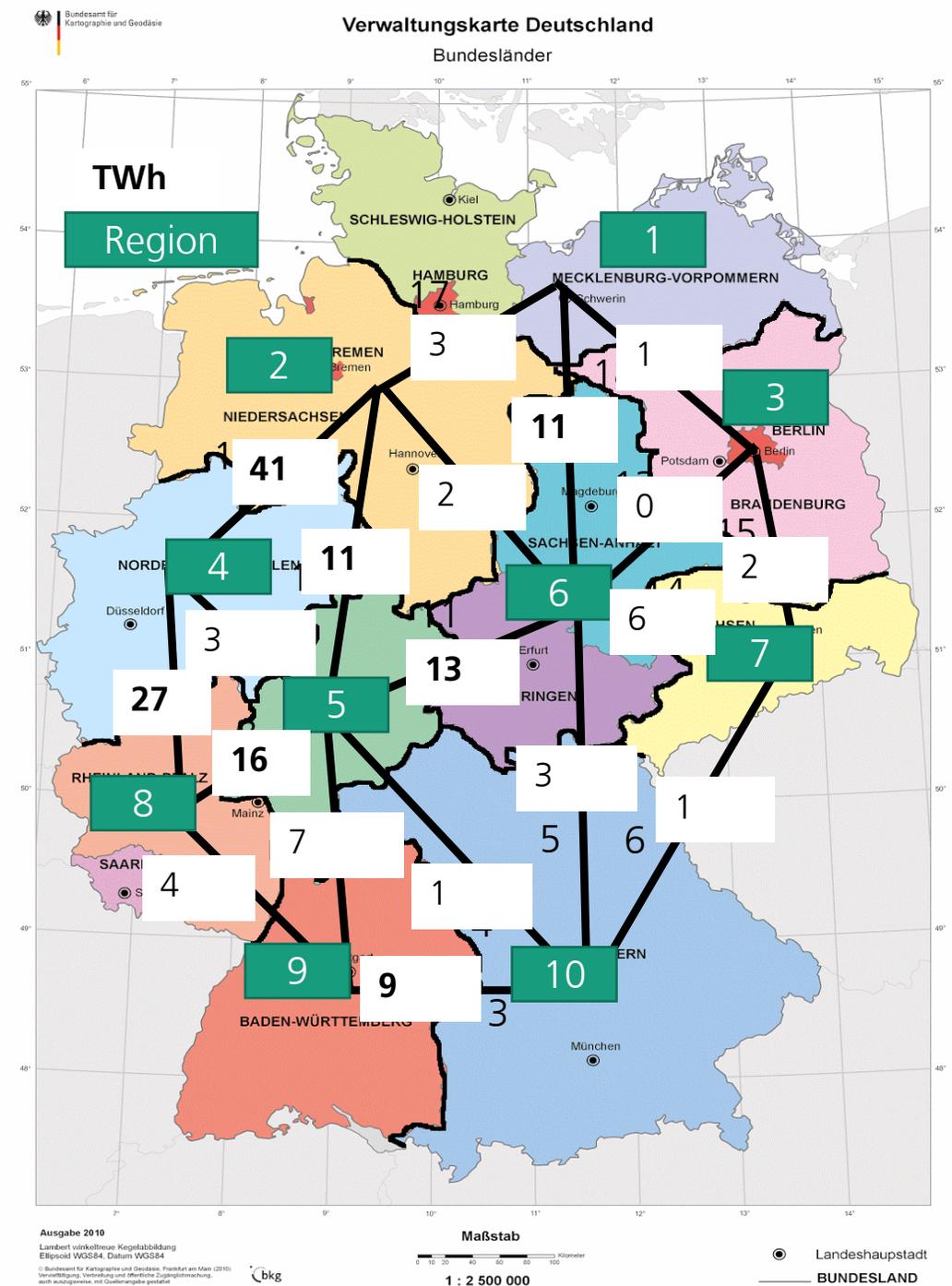
# Ergebnisse

## Beispiel Stromprofil, SH-HH-MVP, 2040, KW24



# Ergebnisse Ausgetauschte Strommengen

- NRW tauscht mit große Strommengen mit Niedersachsen (40 TWh/a) und südlichen Bundesländern aus (30 TWh/a)
- Ost-West Verbindungen zwischen Sachsen-Anhalt, Hessen und Rheinland-Pfalz ebenfalls stark genutzt (13 -16 TWh/a)
- Geringer Austausch in östlichen Bundesländern sowie nach Bayern
- Ebenfalls intensiver Austausch zwischen Bayern und Baden-Württemberg



# Ergebnisse

## Bereitstellung und Verwendung von Gas

