

IEWT 2023, Wien 16/02/2023

---

# Anlagenspezifische Modellierung der Transformation in der Europäischen Schwerindustrie

# Aktueller Stand

Was haben wir zur Modellierung der Industrienachfrage – und wie weit können wir gehen?

## Bisherige Modellierungsansätze

- Häufig generische Annahmen und Aggregation von Industriebranchen oder Produktionsanlagen
  - Aggregation häufig durch Datenverfügbarkeit determiniert
    - Nationale Statistiken (Produktion, Wertschöpfung, etc.)
  - Entwicklung als prozentuale Änderung des Bestands
  - Exogene Annahmen zur zeitlichen Entwicklung
  - Vernachlässigung von regionalen Gegebenheiten
  - Agenten häufig als Repräsentanten einer Gruppe und nicht Berücksichtigung von "Individuen"



## Verbesserung von räumlicher und zeitlicher Auflösung

- Transformationsentscheidungen benötigen detailliertere Analysen um wichtige Fragestellungen zu beantworten
  - Wo wird welche Infrastruktur benötigt?
  - Wann ist die Infrastruktur notwendig?
  - Welche Faktoren beeinflussen sowohl die räumliche als auch die zeitliche Transformation?
- Individuelle Betrachtung einzelner Standorte mit spezifischen Eigenschaften
  - Berücksichtigung des Anlagenbestandes
  - Berechnung anhand Kenntnis über Anlagenalter und Reinvestitionszyklen

## Neuer Modellierungsansatz: Schwerpunkt auf der Technologiediffusion von Nachfragetechnologien

- Marktdiffusion und Substitution von Anlagen, berechnet auf der Grundlage des Alters und der typischen Lebensdauer der Anlagen
- Beeinflussung der Technologieentscheidung durch die Umsetzung verschiedener Indikatoren (derzeit: abgebildet als techno-ökonomische Parameter)

# Vision und Stand und der Industriemodellierung

## Was wir haben: FORECAST industry

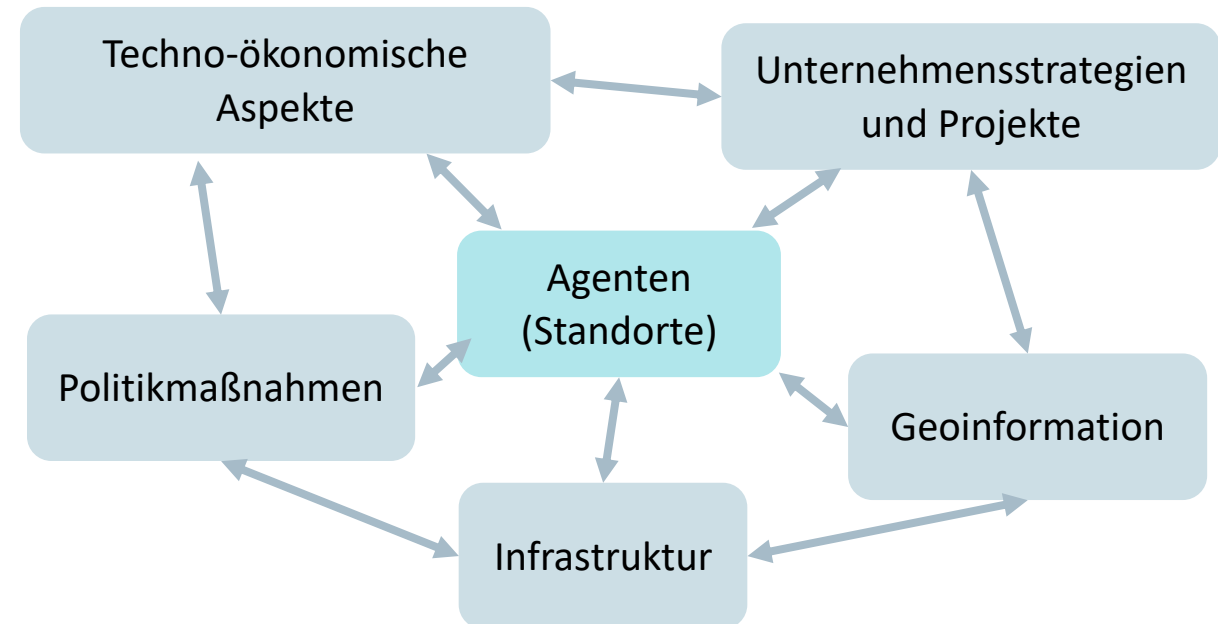
- Repräsentation des gesamten Industriesektors (bottom-up)
- Sehr detaillierte Informationen auf Prozessebene
- Ergebnisse: nationale Ebene und nachgelagerte Regionalisierung
  - Verteilung der Nachfrage anhand von Indikatoren -> Unschärfe
- Exogen vorgegebene oder auf statistischen Theorien basierte Technologiediffusion

## Was wir erreichen wollen:

- **Standortspezifische Technologiediffusion**
  - Grundlage: aktueller Anlagenbestand in der Industrie
  - Berücksichtigung techno-ökonomischer Indikatoren
- **Besseres Verständnis für die Raum-Zeit-Dynamik der Industrietransformation**

## Vision

Agentenbasiertes Bottom-up-Modell für industrielle Transformationspfade mit georeferenzierter Auflösung



# Industrie Standortdatenbank

Für energieintensive Industrien in Europa



Industrie Standortdatenbank

Energieintensive Industriestandorte

Eisen und Stahl

Nicht-metall. Mineralien

(Grundstoff-) Chemie

Nichteisen Metalle

Papier und Zellstoff

Raffinerien

Region (ID, Name)

Geokoordinaten (Lat., Long.)

Prozesse status quo

Anlagenalter (Jahr)

Produkte

Emissionen (ETS) (tCO<sub>2</sub>/Jahr)

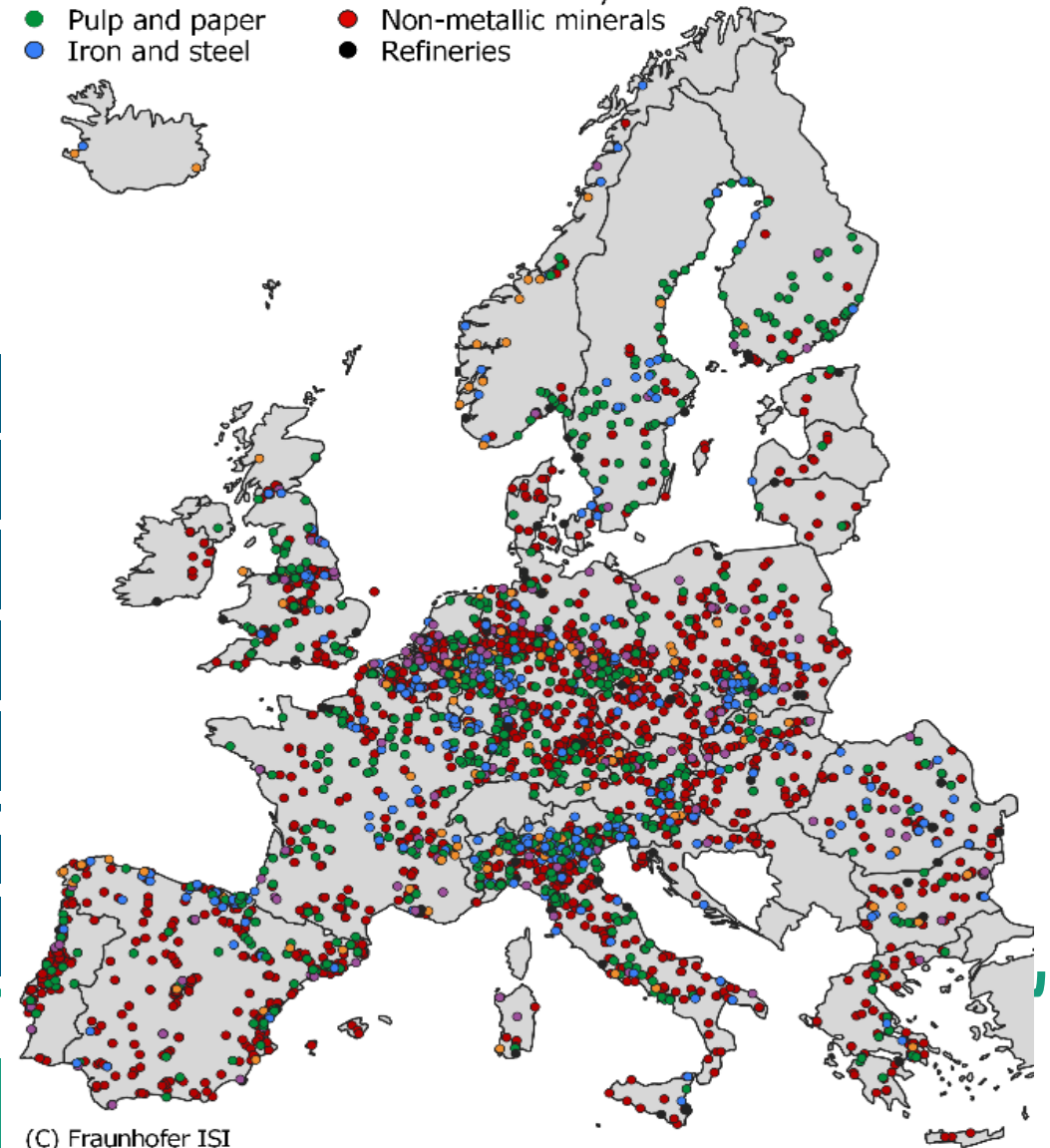
Unternehmen (ID, Name)

Kapazitäten (t/Jahr)

Weitere...

## Subsector

- Non-ferrous metals
- Pulp and paper
- Iron and steel
- Chemical industry
- Non-metallic minerals
- Refineries



Georeferenzierter Modell-Input

# Aufbau Modellkern

## Vereinfachtes Schema

Zeitschritt t (Jahr)

t t = t+1

**Einschränkungen und Politikmaßnahmen**  
 Welche Faktoren beeinflussen die Entscheidung?  
 CO<sub>2</sub>-price      Technologieverbote  
 Förderungen      ...

Loop Regionen Update Parameter

**Region**  
 Was sind regionalen Einschränkungen?  
 Policies      Energiepreise  
 Energieverfügbarkeit      ...

Loop Agenten Update Parameter

**Standort (Agent)**  
 Welche Anlagen unterliegen einer Reinvestition?  
 Geokoordinaten      Emissionen  
 Infrastrukturanbindung      ...

Update  
 Parameter  
  
 Loop  
 Anlagen

### Entscheidungsalgorithmus

Parameter  
 updaten  
 Parameter  
 updaten  
 Anlagenpark  
 modifizieren

**Anlagen**  
 Technologieentscheidung in Anlagen  
 im jeweiligen Zeitschritt  
 Alter      Kapazität  
 Produkt      Prozess

### Technologieentscheidung

Evaluation der verfügbaren Prozesse anhand Entscheidungsalgorithmen

- deterministisch:  $P_{new} = \min_p(c_{total})$  ohne Flexibilität
- deterministisch:  $P_{new} = \min_p(c_{total})$  mit Flexibilität  $\alpha$
- monte-carlo:  $P_{new} = \text{rand}(P_i)$   $\alpha$
- weitere definierbare Algorithmen  $\alpha$

**Prozesse**  
 Liefert techno-ökonomische Daten  
 Elektrifizierung      Biomasse  
 Wasserstoff      CCU/S      Fossil

**Techno-ökonom. Berechnungen**  
 $c_{p,s} = c_{a,s} + c_{o,s} + c_{ec,s} + c_{em,s}$   
 $c_{p,process} = c_{p,s} \cdot o_{pu}$   
 CAPEX      Emissionen      OPEX  
 Policy input      Energiekosten

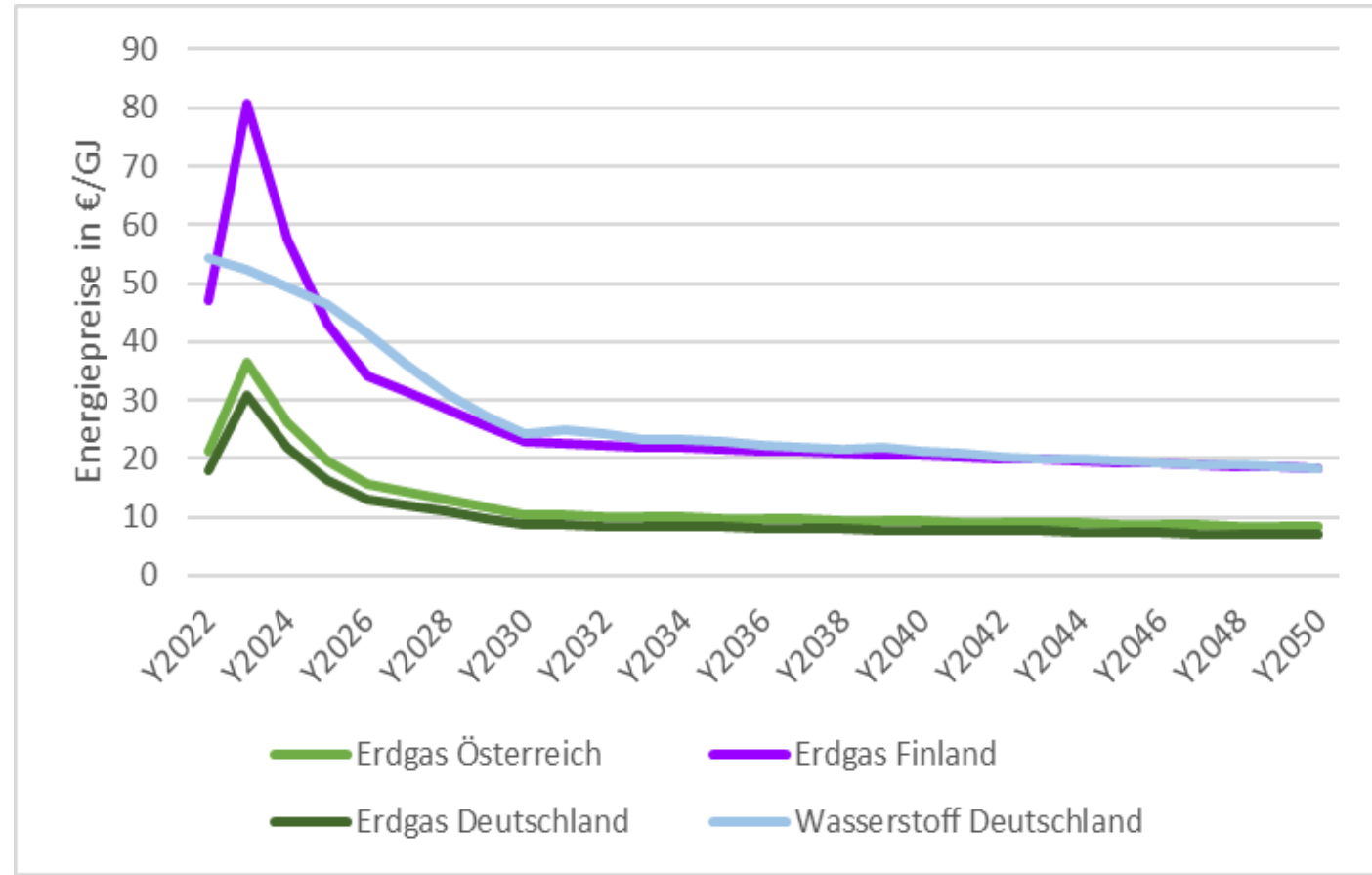
**Produkt**  
 Welche Prozesse sind entsprechend  
 der Rahmenbedingungen verfügbar?  
 verfügbare Prozesse

# Haupttreiber für Entwicklungen

## Zu einer klimaneutralen Stahlproduktion

### Annahmen:

- **Lebensdauer**
  - Hochofen (Primärstahl): 20-25 Jahre
  - Direktreduktion (Primärstahl): 25 Jahre
- **Energiepreise**
  - Angepasster Erdgaspreis an aktuelle Situation
  - Preisrückgang im Zeitverlauf bis 2030
  - Starker Rückgang Wasserstoffpreis bis 2030
- **Politikmaßnahmen**
  - CO<sub>2</sub>-Preis: Anstieg von **80 auf 300 €/tCO<sub>2</sub>**

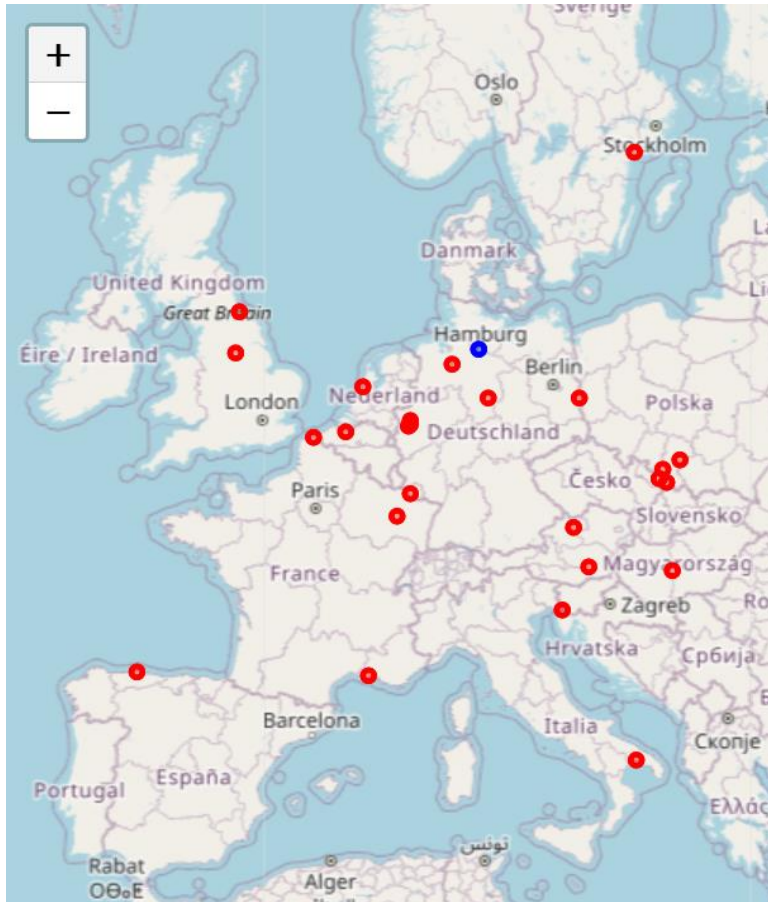


# Beispiel Primärstahlherstellung

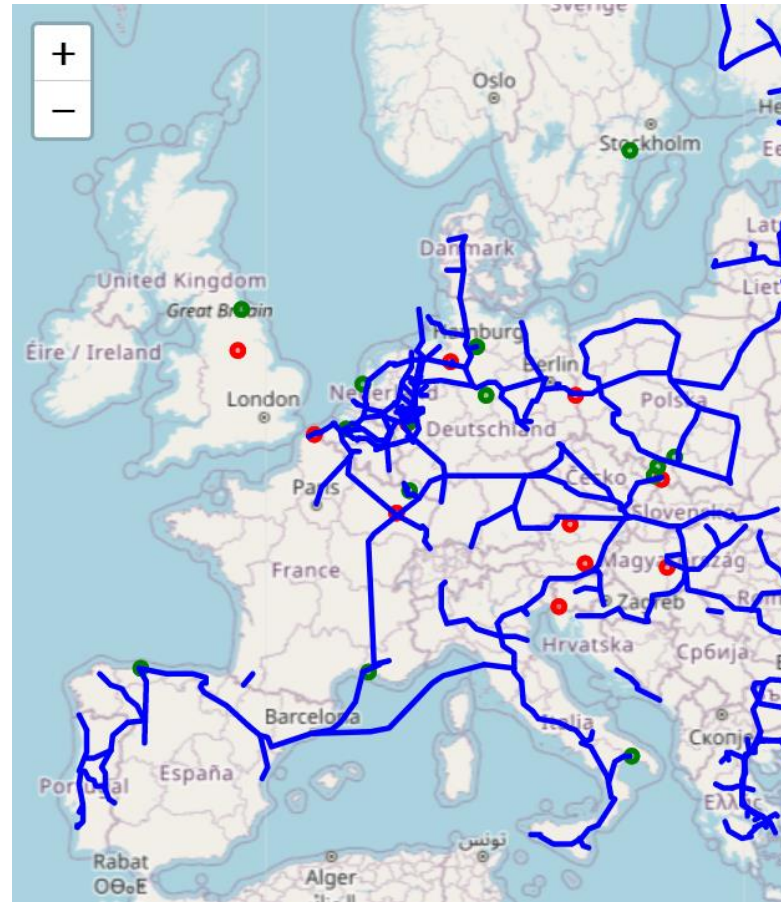
## Möglicher zeitlicher Anlagenaustausch

- Hochofen
- Direktreduktion Erdgas
- Direktreduktion Wasserstoff
- Hydrogen Backbone

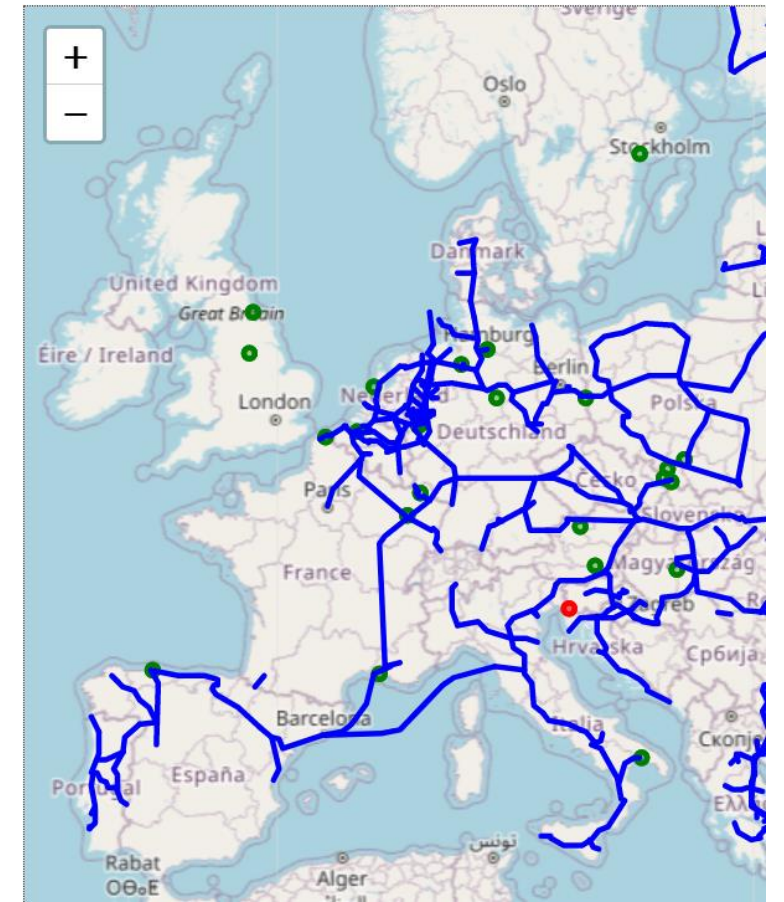
2022



2035



2050

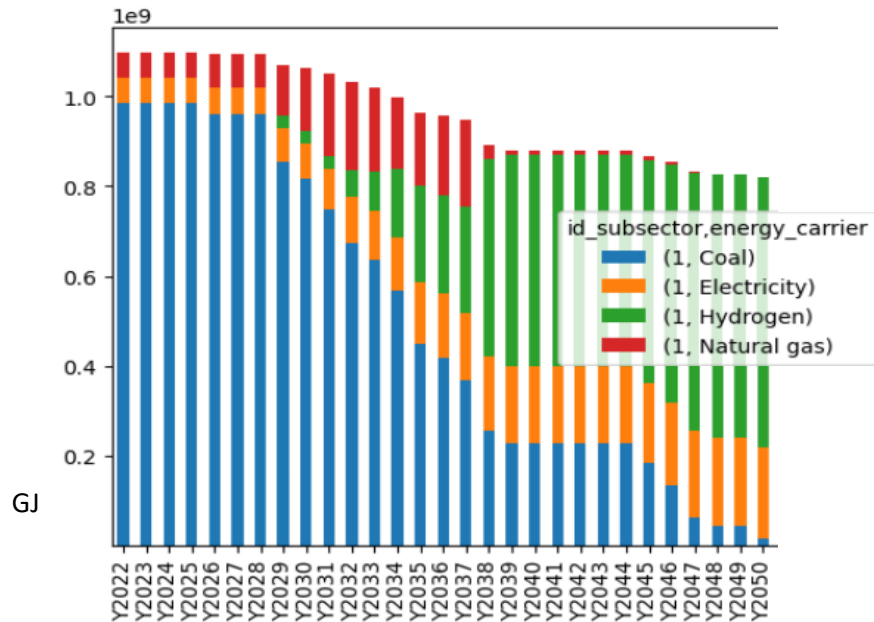


# Beispiel Primärstahlherstellung

## Energieverbrauch und Investitionen

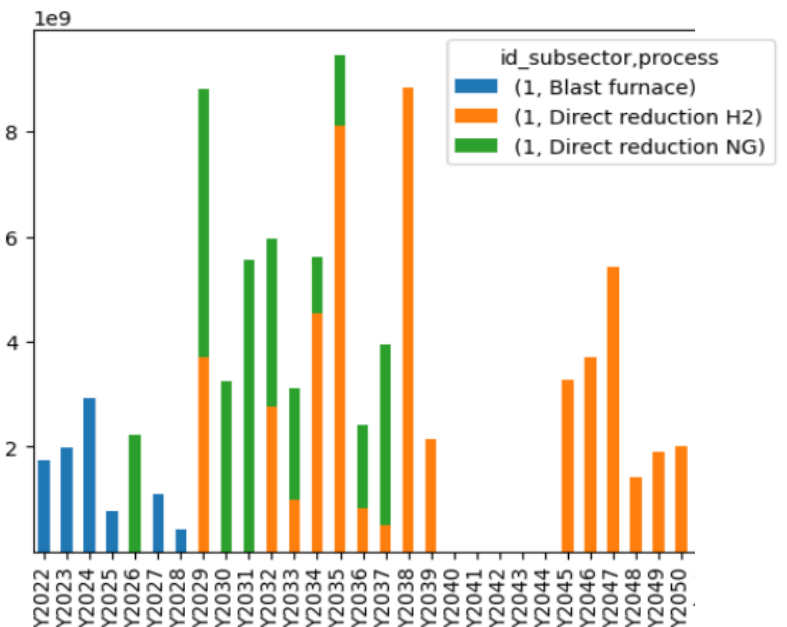
### Energiebedarf:

- DRI-Anlagen **ab 2026** (zunächst Erdgas)
- **Wasserstoff** in geringen Mengen **ab 2029**
- Etwa 60 TWh bis 2035
- Etwa 120 TWh bis 2040
- Etwa 170 TWh in 2050



### Investitionen:

- **9 Milliarden** Investitionen in **Hochöfen** bis 2030!
- 14 Milliarden Investitionen in DRI bis 2030
- 72 Milliarden bis 2040
- 90 Milliarden ab 2040, wegen Reinvest der Hochöfen



### Folgen:

- **55%** Emissionsreduktion für die Primärstahlherstellung **nicht erreichbar**
- **„Lock-In“** bis mindestens **2045** durch Hochofen-Investitionen

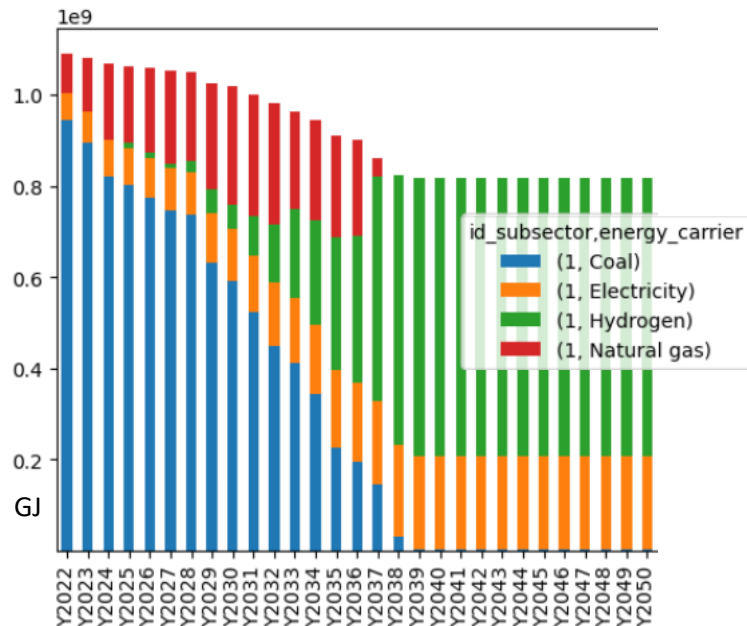


# Beispiel Primärstahlherstellung

## Berücksichtigung der Branchendynamik

### Ankündigungen Stahlhersteller (Deutschland):

- Insgesamt Investitionen von **über 15 Mrd.€ in 11,3 Mt DRI-Kapazität:**
- Duisburg: ThyssenKrupp: 0,4 Mt (2025); 3 Mt (2030)
- Bremen: ArcelorMittal: 2,4 Mt (2027); 3,5 Mt (2030)
- Salzgitter: Salzgitter: 1,9 Mt (2027); 3,8 Mt (2030)
- Hamburg: ArcelorMittal: 0,1 Mt (2025); 1 Mt (2030)



### Folgen:

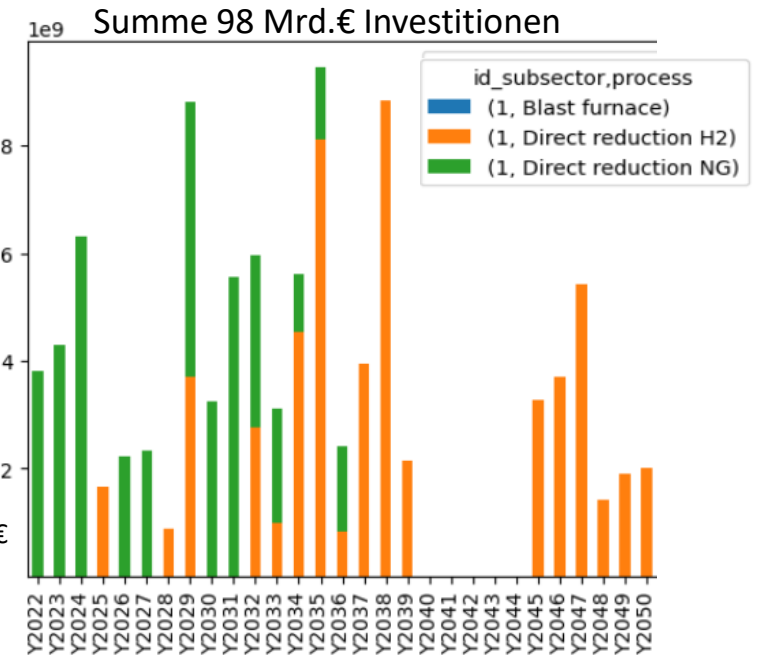
- 55% Emissionsreduktion bis 2030 rückt näher 😊
- **Früher höhere Investitionen** notwendig (~30 Mrd. bis 2030)
- **„Lock-In“ vermeidbar** und leichterem Wechsel auf Wasserstoff
- „Zweite“ Investitionsphase **möglicherweise häufig**

### Grünes Licht für grünen Stahl

13.07.2022 | Pressemeldung der Salzgitter AG

08.09.2022 16:15

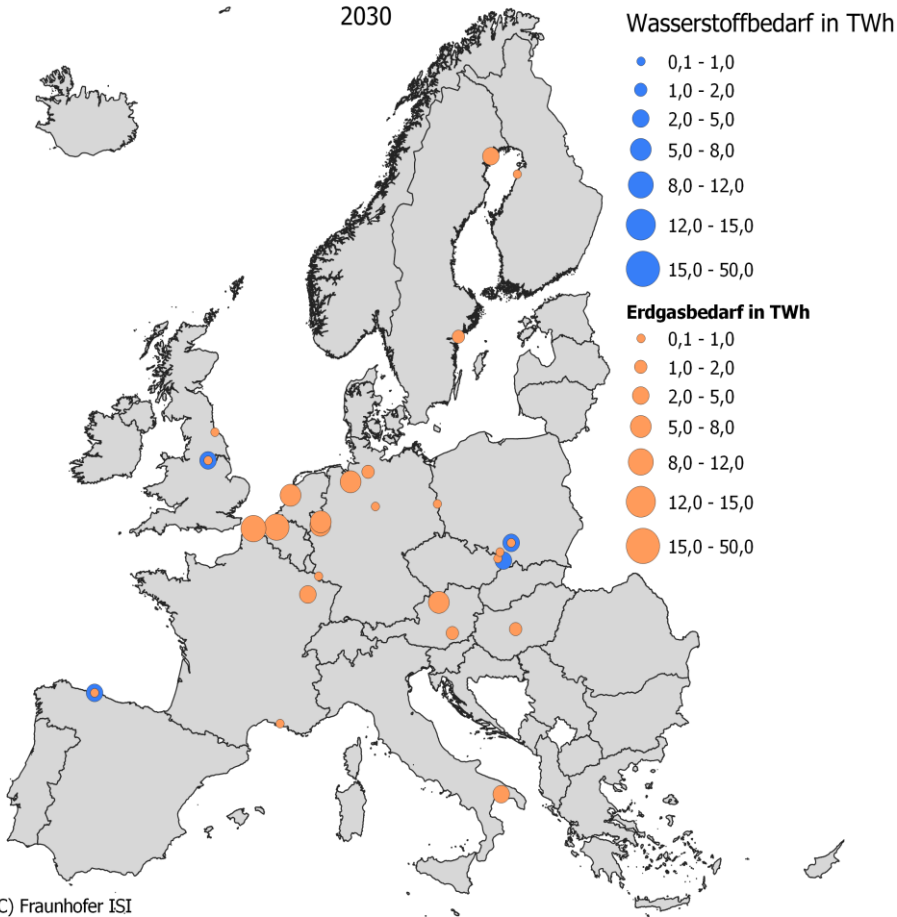
thyssenkrupp beschleunigt grüne Transformation: Bau der größten deutschen Direktreduktionsanlage für CO<sub>2</sub>-armen Stahl entschieden



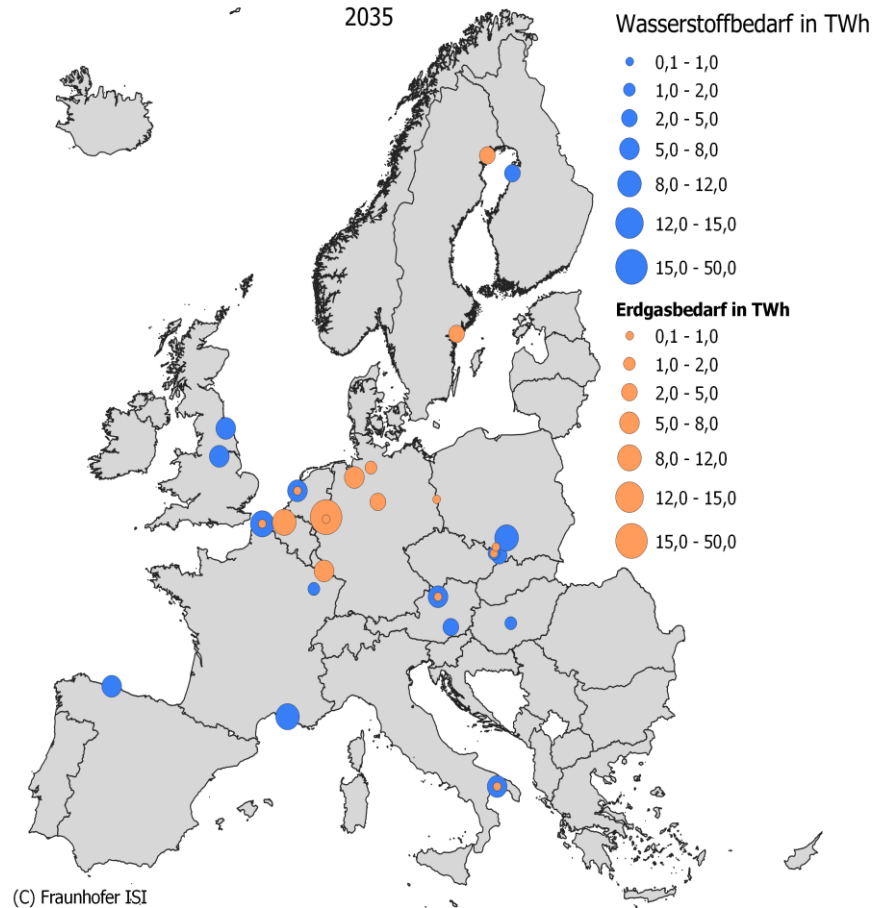
# Räumliche Entwicklung

## Der Transformation der europäischen Primärstahlherstellung

2030



2035



2050



# Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

## Neuer Modellansatz

- Standortscharfe Auflösung auf der Nachfrageseite
- Hohe zeitliche Auflösung der Technologiediffusion
- Auswirkung politischer Maßnahmen und regionaler Mechanismen
- Auswertung des Infrastrukturbedarfs verschiedener Regionen durch große Nachfragecluster
- Berücksichtigung von Unternehmensstrategien umsetzbar

- Für eine vollständige Erfassung wären Informationen über nicht-energieintensive Industrien erforderlich.
- Nicht bekanntes „Refactoring“ kann zu falschen Ergebnissen für einen Standort führen
- Starke Abhängigkeit von den eingegebenen Daten und deren Zuverlässigkeit
- Hoher Aufwand der Ergebnisvalidierung

## Transformation der europäischen Primärstahlherstellung

- Schnelles Handeln nötig, um Lock-In Investitionen zu vermeiden
- Erdgas als „Brückentechnologie“ für die Stahlherstellung notwendig
- Hochlauf des europäischen Wasserstoffnetzes für erfolgreiche Transformation

- Frühe „Fehlinvestitionen“ verzögern Klimaneutralität um etwa 10 Jahre
- Zweite Investitionsphase bei Rückgang in der Produktion durch frühes Handeln vermeidbar

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

---

## Kontakt

---

Marius Neuwirth

Competence Center Energietechnologien und Energiesysteme  
Geschäftsfeld Nachfrageanalysen und -projektionen

Mail: [Marius.Neuwirth@isi.fraunhofer.de](mailto:Marius.Neuwirth@isi.fraunhofer.de)