

Perspektiven für die Wasserstoffnutzung

Matthias Rehfeldt

Wasserstoffinfrastruktur im nördlichen Rheinland-Pfalz, IHK Koblenz

14.9.2023, Koblenz



Teil 1: Einführung

Teil 2: Annahmen zu Wasserstoff

- Sektorenüberblick

Teil 3: Ausgewählte Studienergebnisse

- CO₂-neutrale Prozesswärmeerzeugung (UBA)
- Langfristszenarien (BMWK)
- Ariadne (BMBF)
- TransHyDE (BMBF)
- **Projektionsbericht 2023**, KIS-2030 (UBA, BMWK)

Teil 4: Schlussfolgerungen

- **Koblenz und Umgebung**
- **Allgemein**

Dekarbonisierung der Industrie

Dekarbonisierung der Industrie

Motivation

Technologiegruppen in der Industrie

Vermeidungsstrategien

Robuste Erkenntnisse



Quelle: <https://www.eurogamer.de/articles/2017-10-30-rise-of-industry-der-industriegigant-findet-eine-wuerdige-fortsetzung>

Die Klimakrise erfordert entschlossenes Handeln aller AkteurInnen

Klimakrise

Zur Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1.5°C sind drastische Veränderungen notwendig.

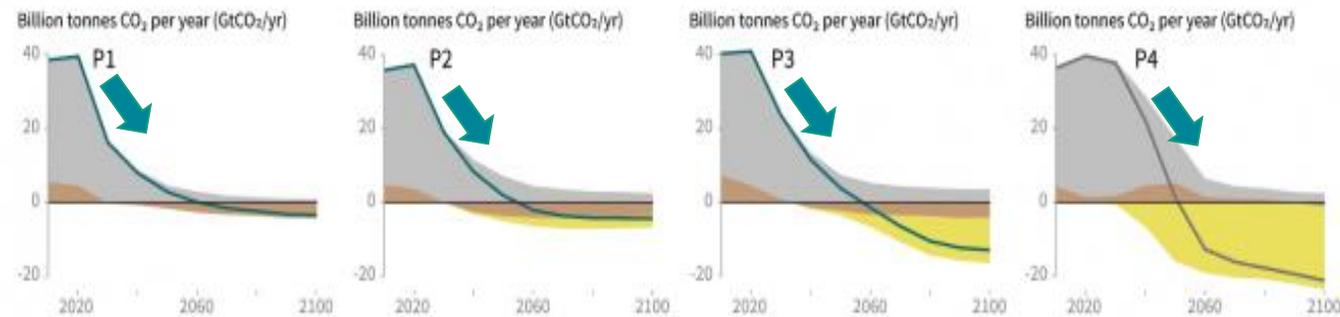
Netto-THG-Neutralität 2050

Starker Gradient bis 2030



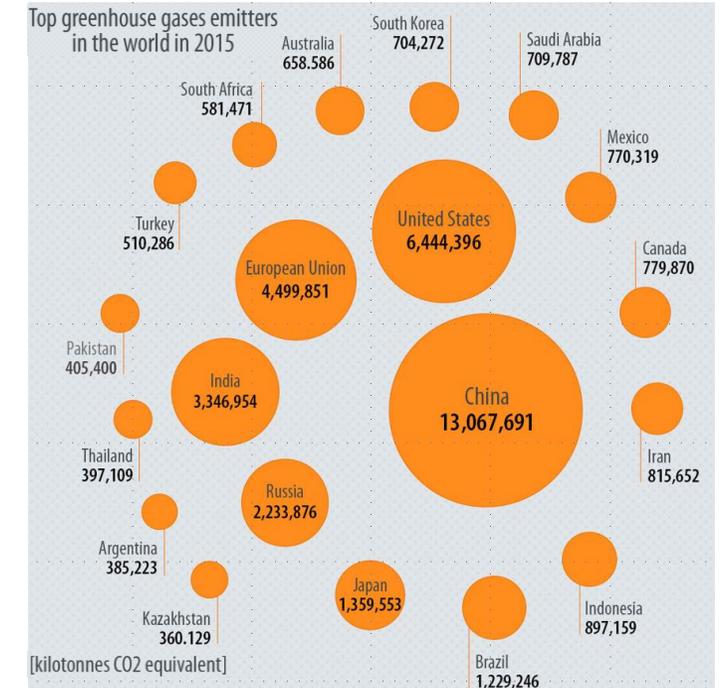
Breakdown of contributions to global net CO₂ emissions in four illustrative model pathways

● Fossil fuel and industry ● AFOLU ● BECCS



Quelle: https://www.ipcc.ch/sr15/graphics/#cid_6333

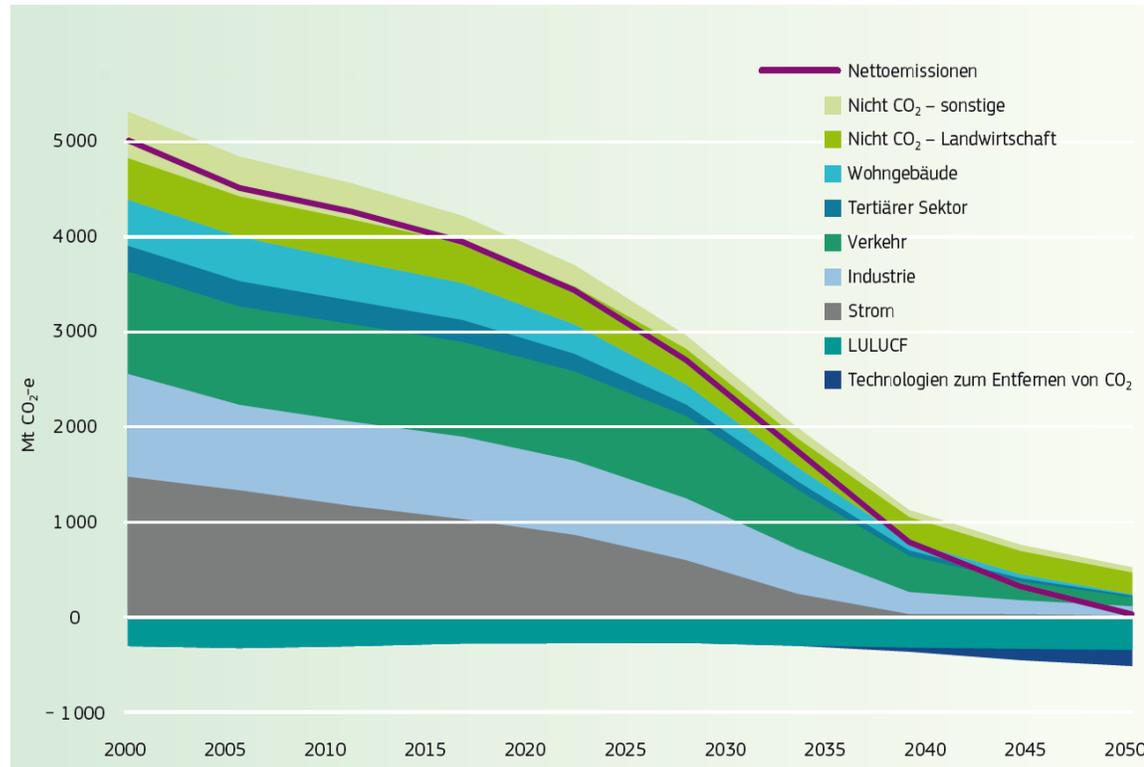
AkteurInnen



Quelle: JRC Report on fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries (2019)

Europäischer Beitrag

Die Akteurin EU nutzt Instrumente zur Einbindung der Mitgliedsstaaten



Quelle: A strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate-neutral EU economy, 2018
<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/92f6d5bc-76bc-11e9-9f05-01aa75ed71a1>

EU-Ziele

Die EU will bis 2050 Klimaneutralität erreichen.

Verschärfung 2021: -55% bis 2030

Instrumente

Emissionshandel (EU-ETS)

Nationale Minderungen (effort sharing)

Berichterstattung (Inventarberichte)

Deutscher Anteil

Mitgliedsstaat Deutschland muss Anstrengungen in allen Sektoren deutlich erhöhen

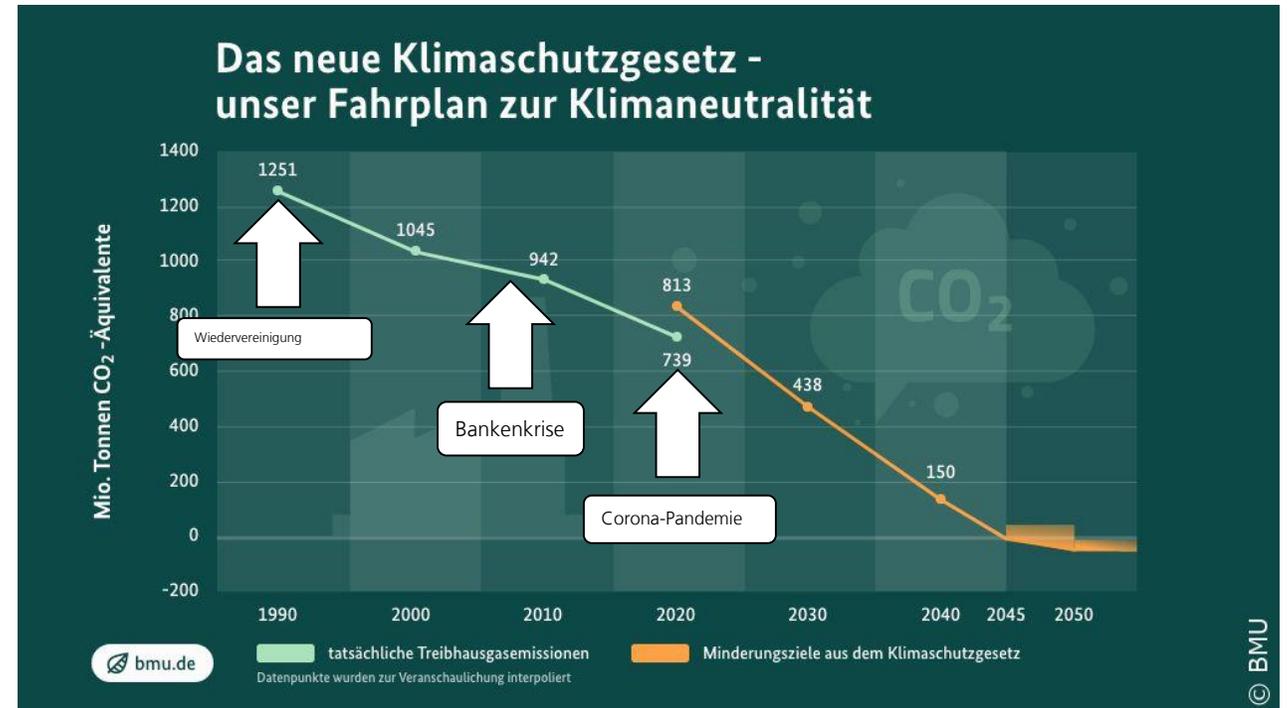
Deutschland

- Historisch beobachtet:
 - 1990-2020: -17 Mt/Jahr
- Inklusive verschiedener Sondereffekte*



Anstrengungen

- Klimaschutzgesetz zielt auf Neutralität 2045
- Zielpfad:
 - 2020-2045: - 30 Mt/Jahr
 - Weiterhin Wohlstand sichern

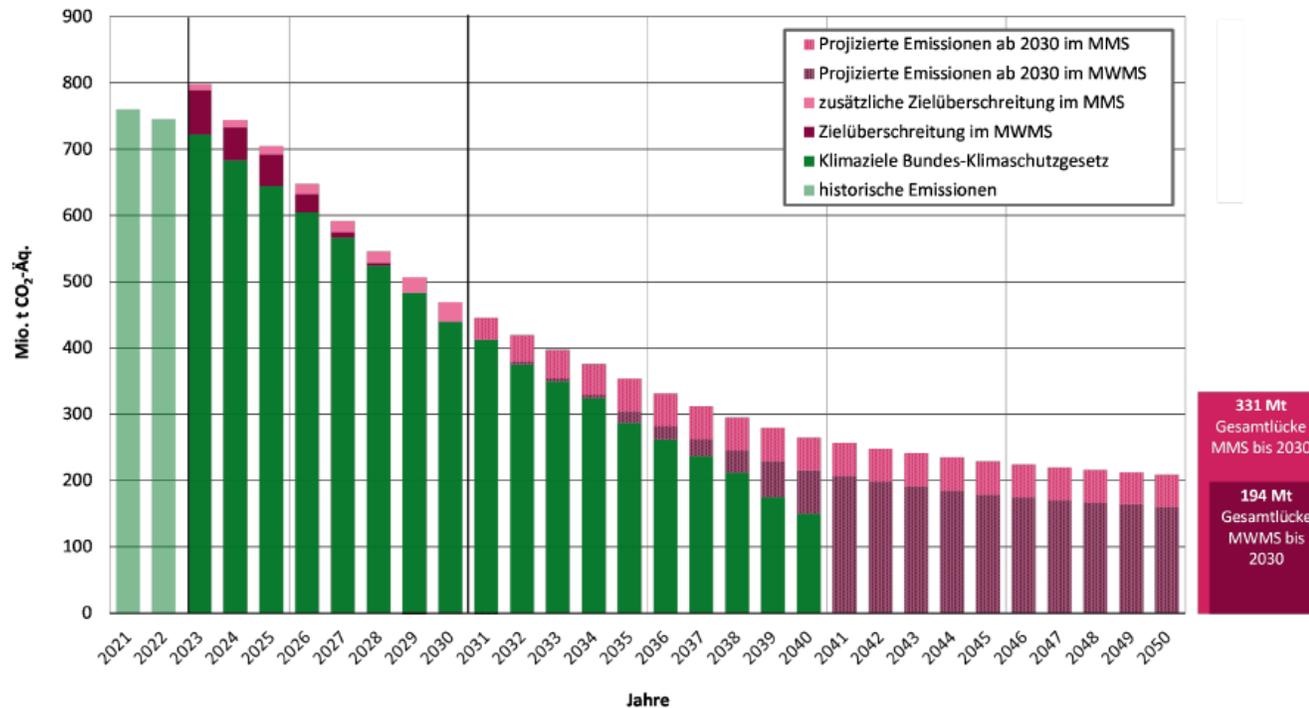


Quelle: <https://www.bmu.de/mehrklimaschutz/>



Aktueller Stand?

Der Projektionsbericht 2023 geht von einer Zielverfehlung aus



Quelle: Modellierung: Öko-Institut, Fraunhofer ISI, IREES, Thünen-Institut; Inventardaten: (UBA 2023a), (UBA 2023b).

Aktuelle Zahlen aus dem Projektionsbericht 2023

- Start mit Zielverfehlung 2023-2025
- Bis 2030 Annäherung an Zielpfad
- Nach 2035 Entfernung vom Zielpfad
- Insgesamt verbleibt deutliche Lücke



Rolle der Industrie?

Der deutsche Industriesektor steht vor großen Herausforderungen

Industriesektor

Heterogene Voraussetzungen der Branchen

Energieintensive Grundstoffindustrie

Weiterverarbeitung mit hoher Wertschöpfung

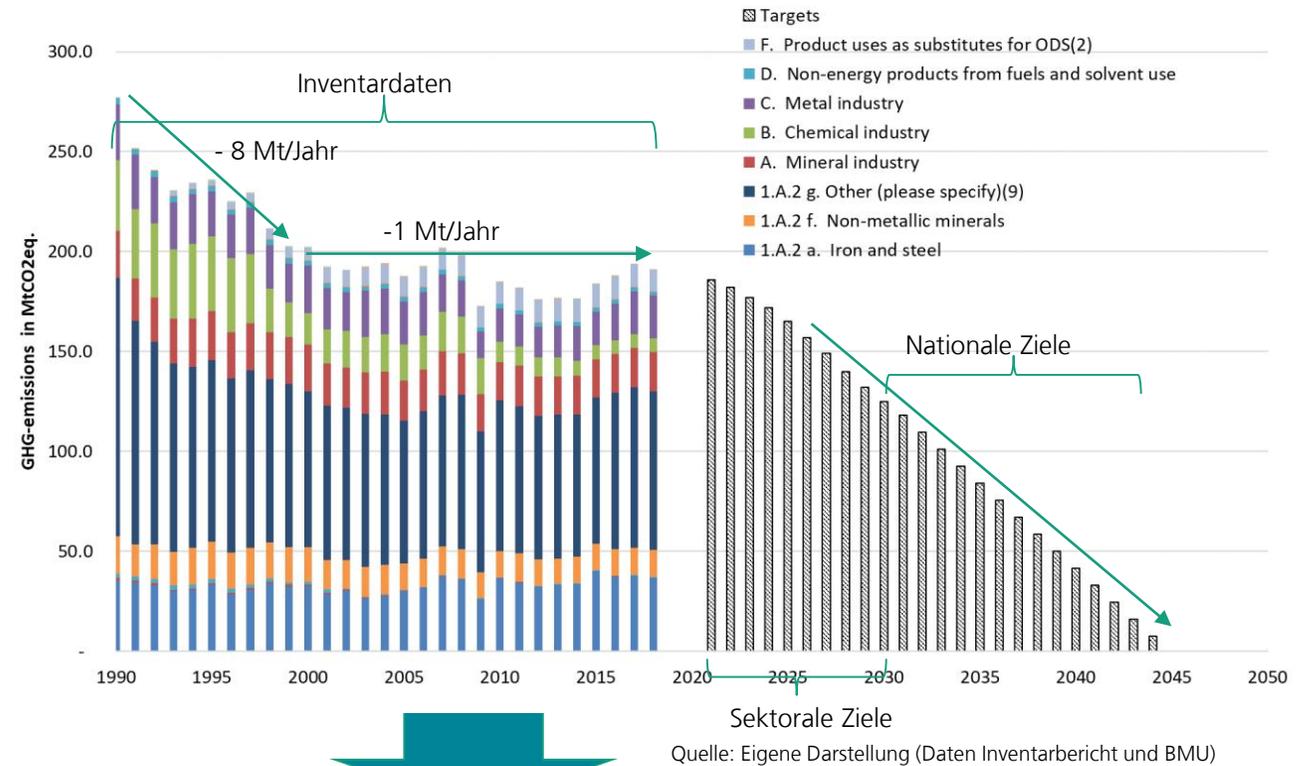
Gegenseitige Abhängigkeit



Herausforderungen

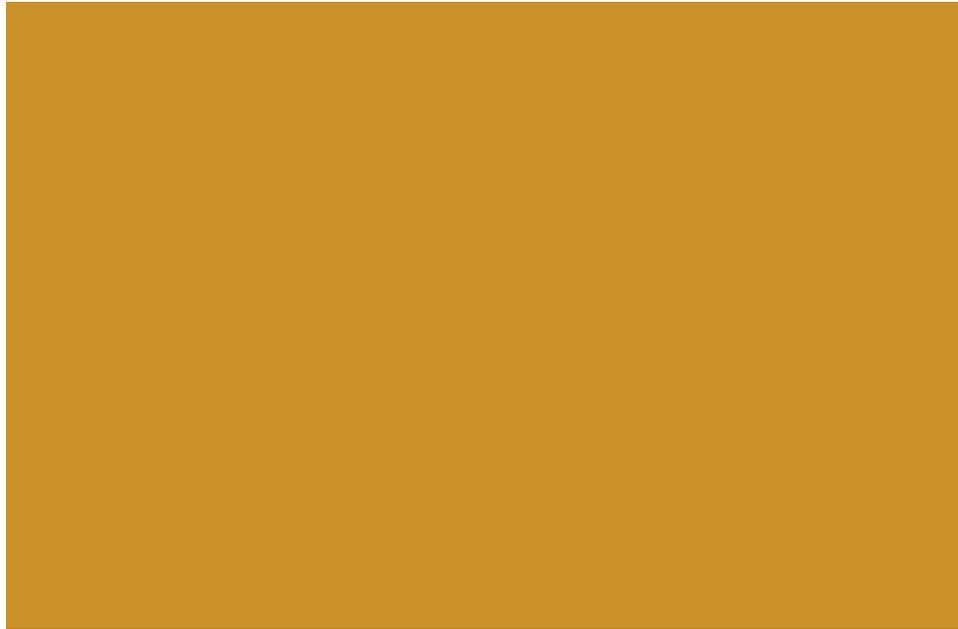
Emissionsreduktion

- Mittel 1990-2018: -3.1 Mt/Jahr
- Zielerreichung: -6.8 Mt/Jahr
- Nach 2030 keine Sektorziele, aber nicht weniger ambitioniert.

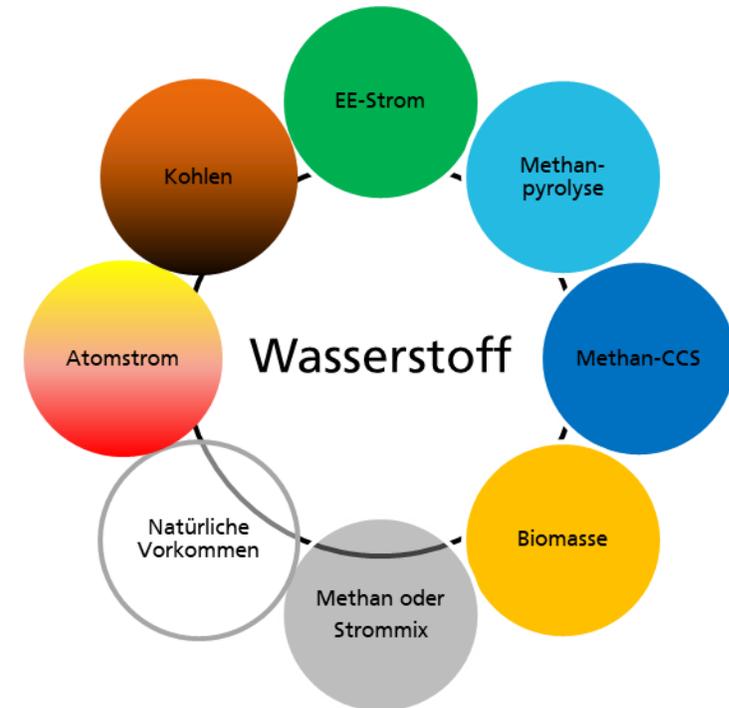


Bedeutung für Branchen?

Fragen?

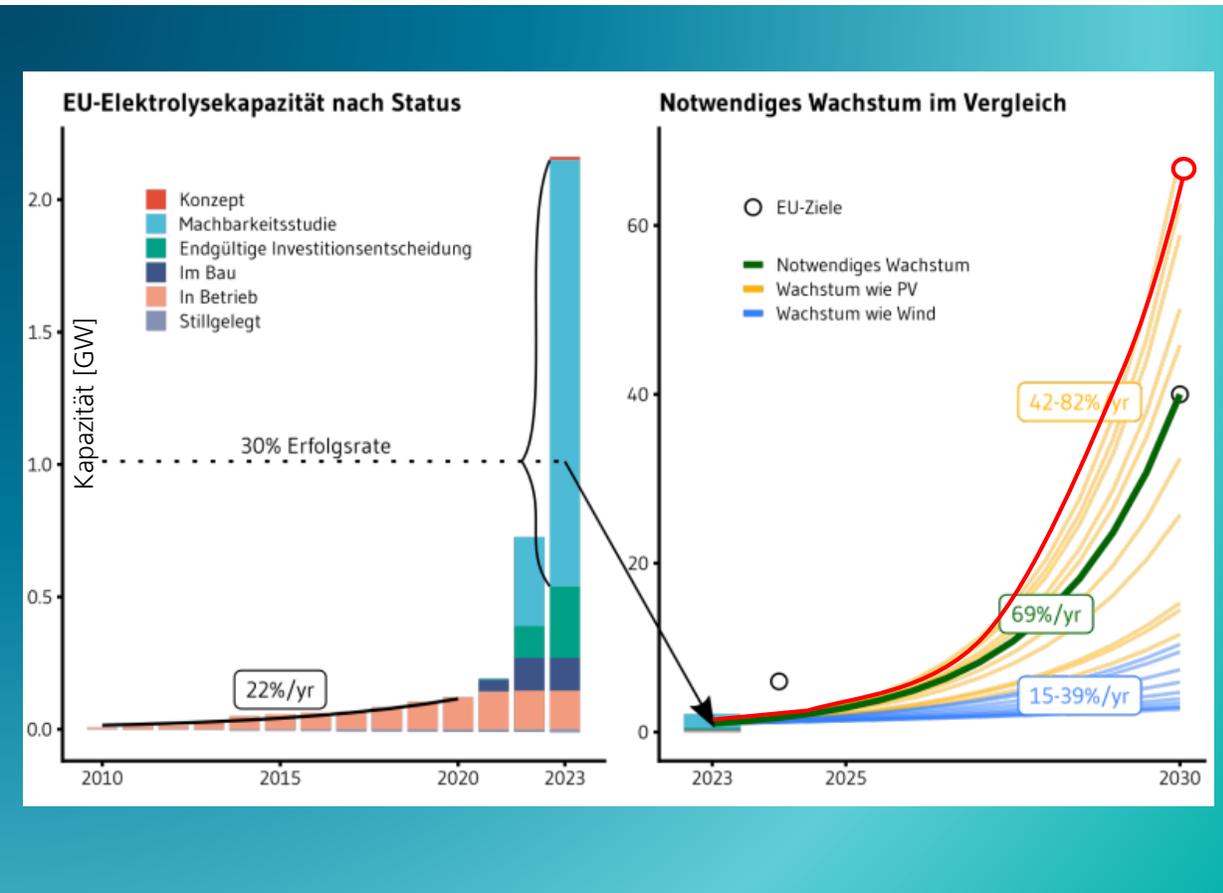


Teil 1: Grundlagen und Annahmen zu Wasserstoff



Quelle: Eigene Darstellung nach: Kurzstudie Wasserstoff Farbenlehre, IKEM 2020 und weitere

Das Angebot an Wasserstoff wird begrenzt sein



Wasserstoffbilanz 2030

- Angebot (EU Ziel): 330TWh (~65GW)
- Nachfrage (DE): 26 TWh (Stahl, Chemie)
- Potentielle Nachfrage (DE): 240 TWh (Stahl, Chemie))

Annahme

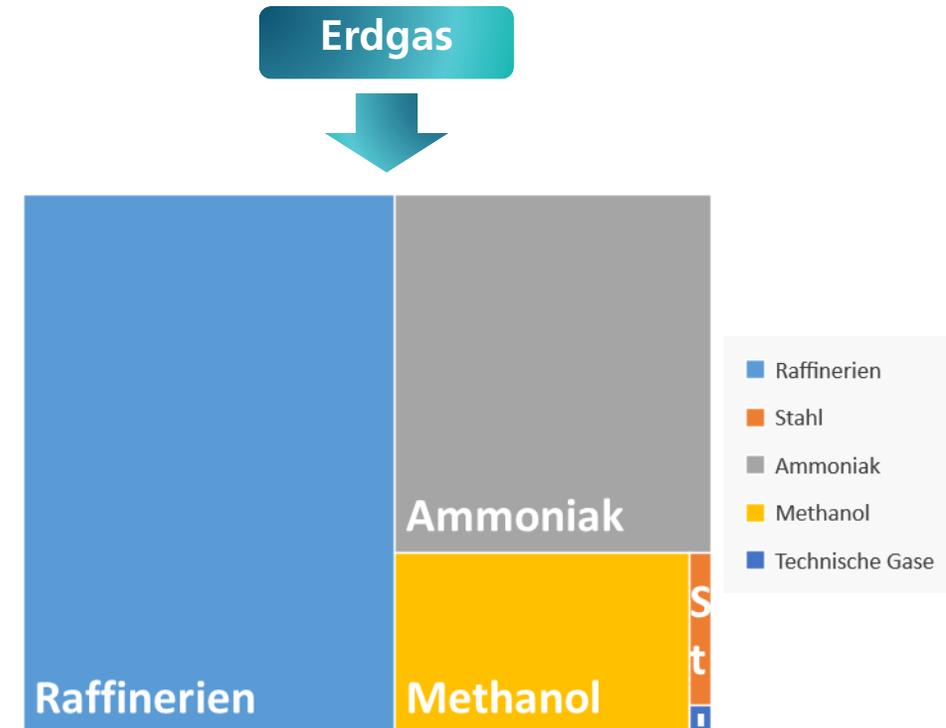
- Ausweitung der Wasserstoffproduktion ist hoch ambitioniert angestrebt, aber mit hohen Unsicherheiten behaftet
- Optimistische Ausweitung des Angebots deckt nur Teile des Bedarfs von robusten Nachfragern

Wer sind die „robusten Nachfrager“?

Wasserstoff wird bereits genutzt

Wasserstoff wird bereits in mehreren Anwendungen eingesetzt

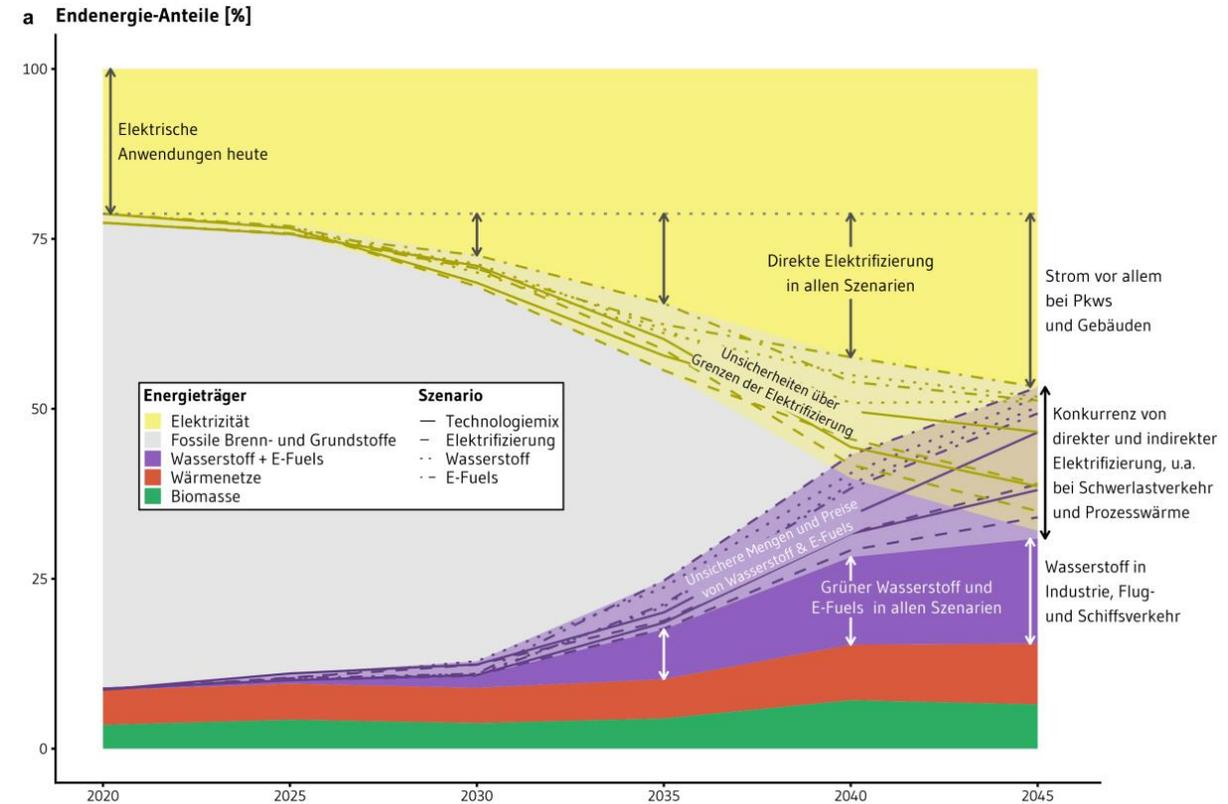
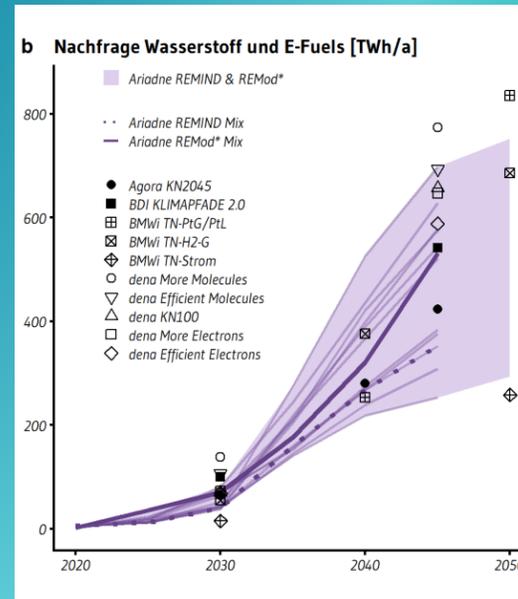
- **Raffinerien**
 - Entschwefelung, Veredelung
- **Chemie**
 - Synthesegas für Ammoniak und Methanol
- **Stahl**
 - Reduktionsgas in DRI
 - nicht dargestellt: H₂-Anteil Kuppelgase
- **Sonstige**
 - Technische Gase



Wie entwickelt sich die Nachfrage?

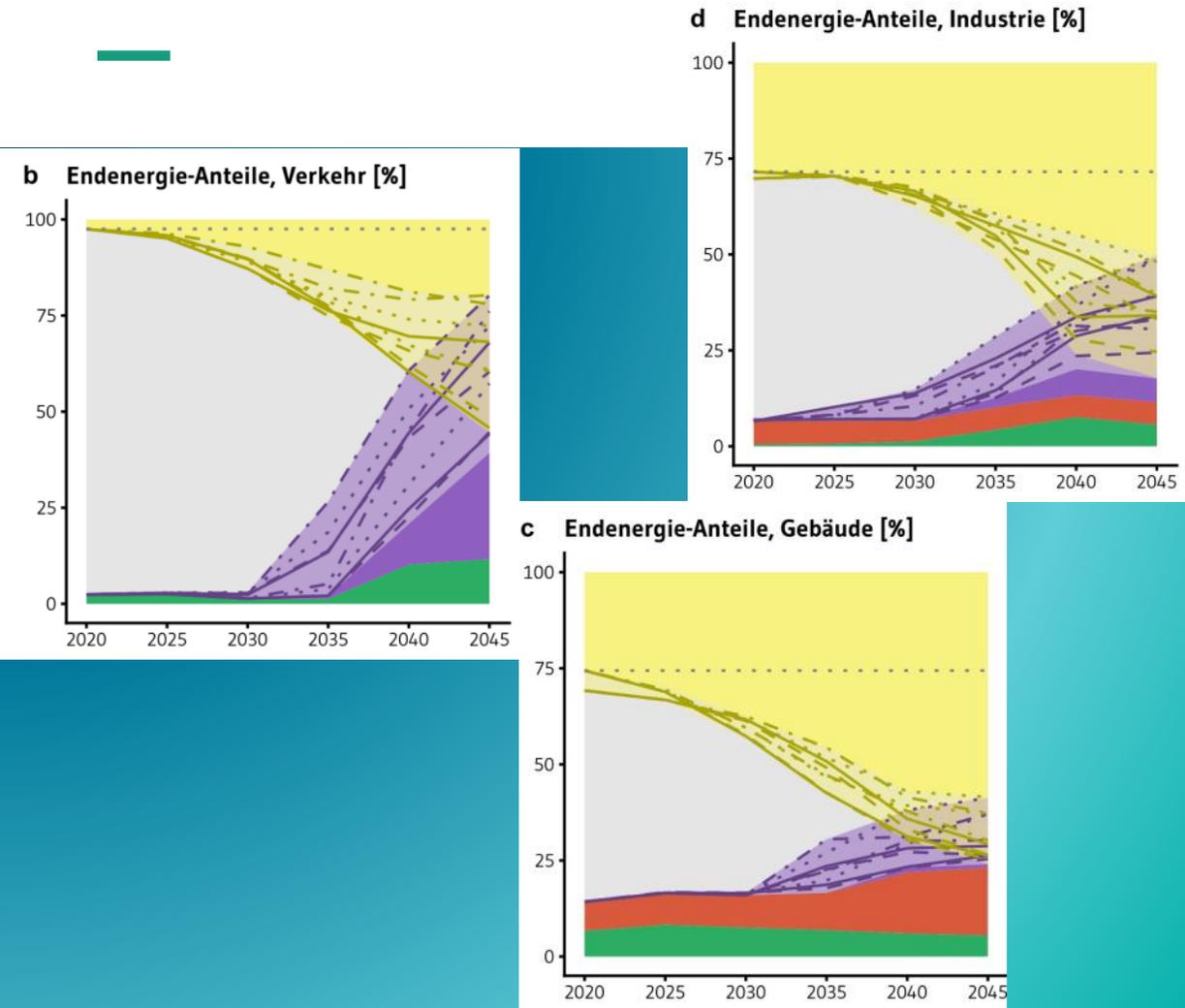
Die Zukunft der Wasserstoffnutzung ist noch unsicher

- Mehrere Energiesystemstudien setzen sich mit Wasserstoff auseinander
- Es entstehen große Spannbreiten der Nutzung (~200 – 800 TWh)
- Unsicherheit betrifft etwa 30% der Endenergie



Falko Ueckerdt et al. (2021): *Durchstarten trotz Unsicherheiten: Eckpunkte einer anpassungsfähigen Wasserstoffstrategie. Wie die Politik Wasserstoffpfade hin zur Klimaneutralität 2045 finden kann. Ariadne-Kurz Dossier.*

Die Unsicherheitsniveaus der sektoralen Anwendungen variieren



Wasserstoff im Verkehr

- Robuste Anwendungen in Luftfahrt, Schifffahrt
- Unsicherheit/Konkurrenz in Schwerlast
- Vergleichsweise hohe Unsicherheit

Wasserstoff in Gebäuden

- Relativ kleines Fenster, nur in speziellen Wasserstoffszenarien relevant
- Robust starke Elektrifizierung

Wasserstoff in Industrie

- Robuste Anwendungen (Stahl, Chemie)
- Unsichere Anwendungen (Prozesswärme)
- Unwahrscheinliche Anwendungen (Niedertemperatur)

Infrastrukturausbau ist eine notwendige Voraussetzung auf allen H2-Pfaden

Dezentrales Wasserstoffsystem

Erzeugung beim Verbraucher

Voraussetzungen:

Hohe Leistung Stromanschluss

Versorgungssicherheit

Lokal und zeitlich verfügbare EE-Erzeugung



Zentrales Wasserstoffsystem

Erzeugung nahe EE-Zentren (z.B. Nordseeküste)

Voraussetzungen:

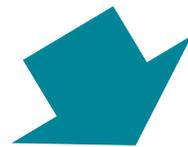
Aufbau Wasserstofftransportnetz

Übergangslösungen (LKW-Transport, Beimischung)

Bilanzielle EE-Erzeugung



Symbolbild

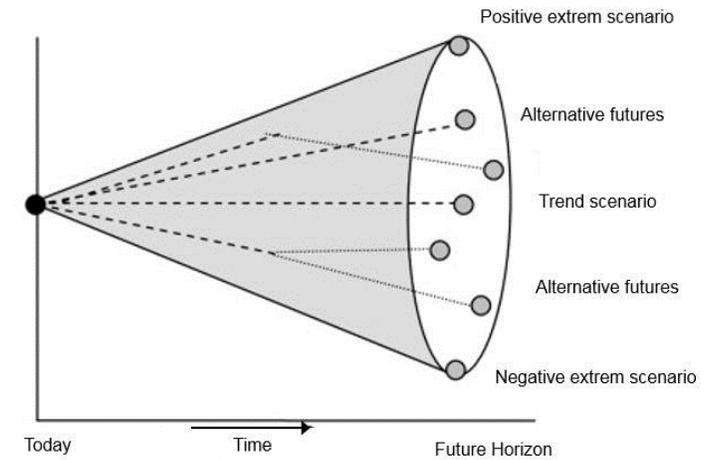


Infrastrukturaufbau

Fragen?



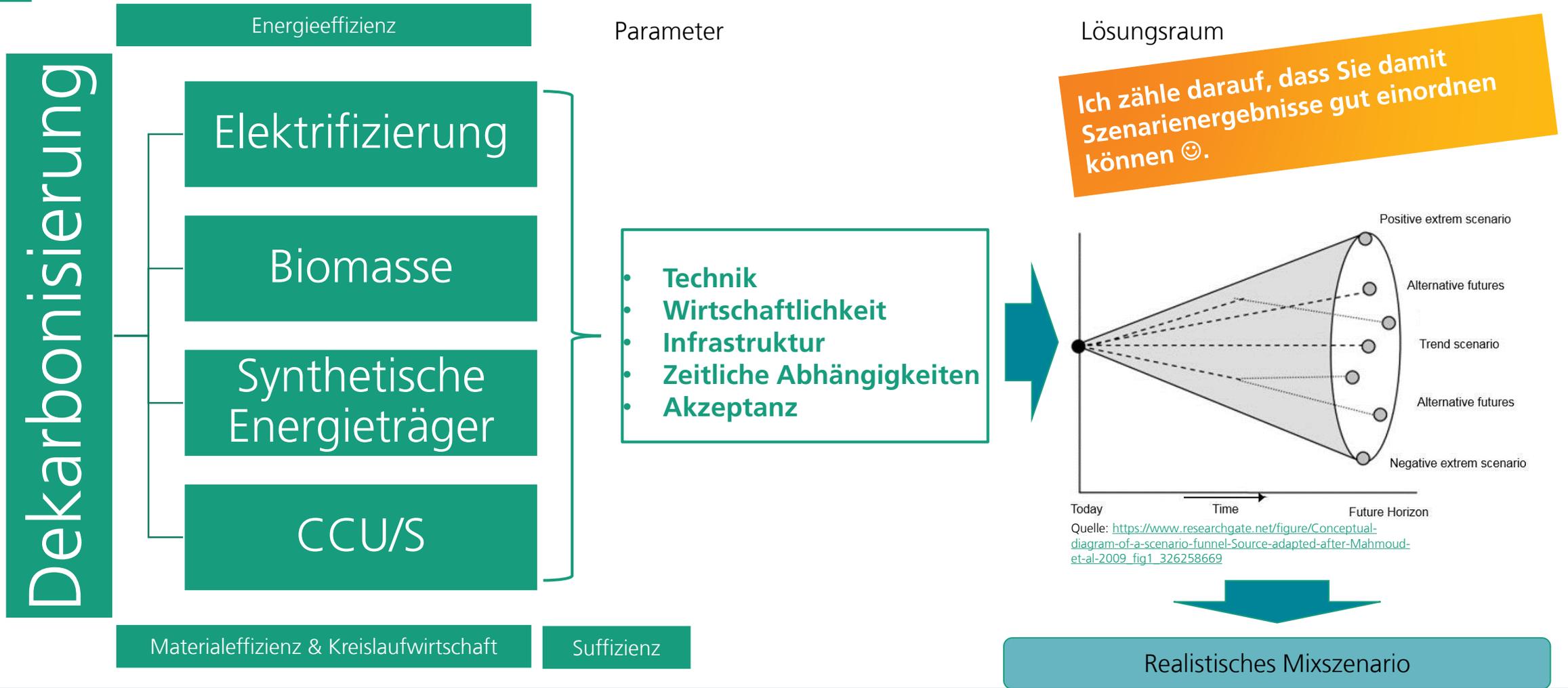
Teil 2: Ausgewählte Studienergebnisse



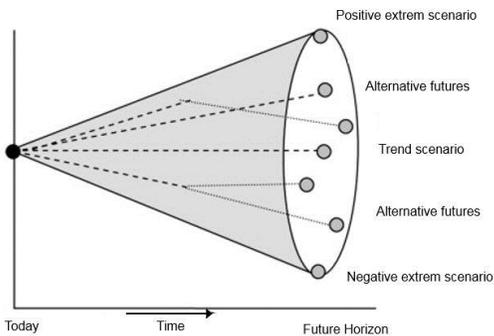
Meine Positionen entstehen aus Mitarbeit in Forschungs- und Beratungsprojekten



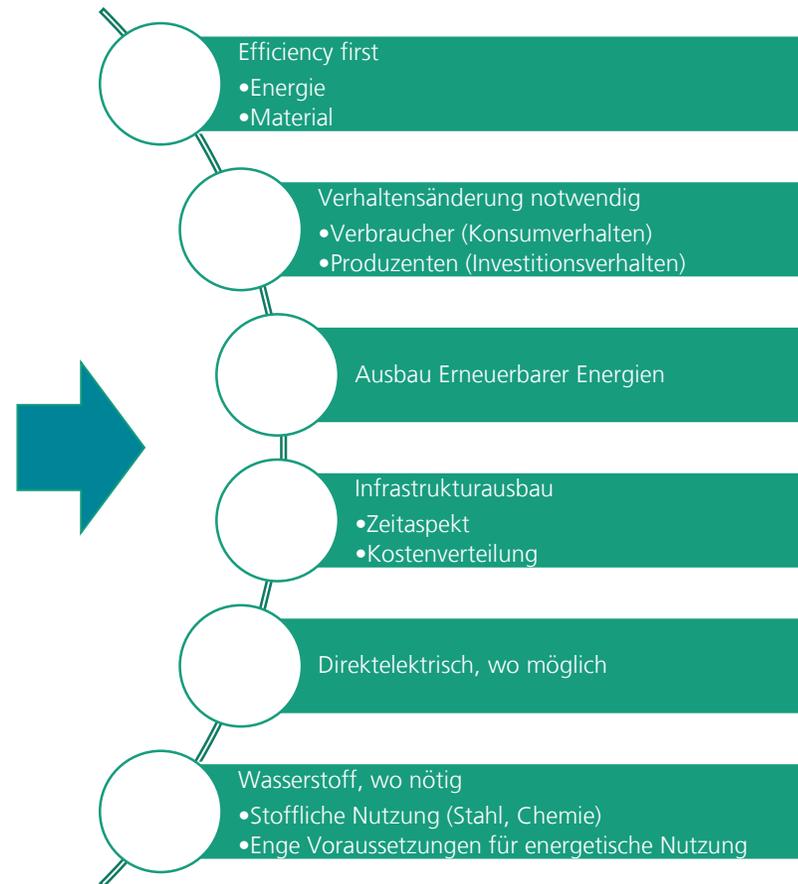
Vermeidungsstrategien erzeugen einen breiten Lösungsraum



Der untersuchte Lösungsraum liefert robuste Erkenntnisse

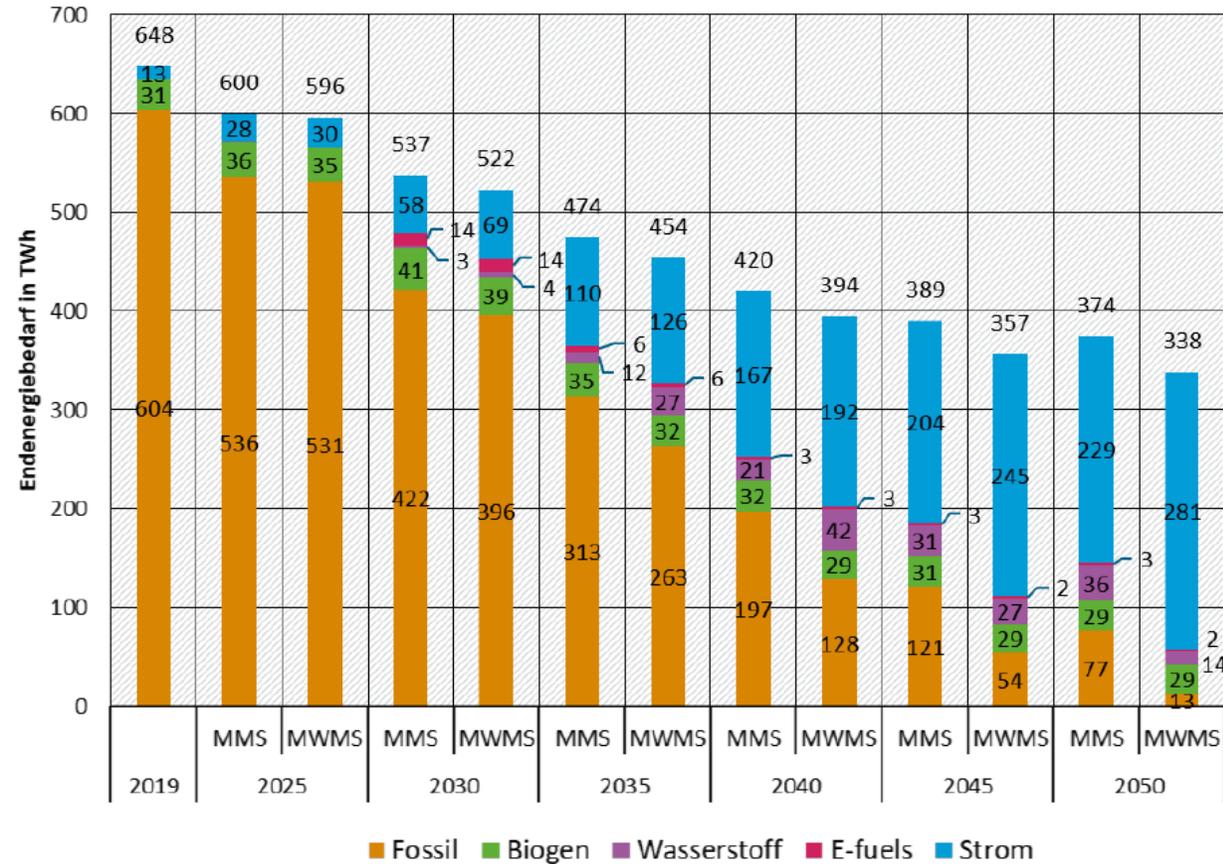


Quelle: https://www.researchgate.net/figure/Conceptual-diagram-of-a-scenario-funnel-Source-adapted-after-Mahmoud-et-al-2009_fig1_326258669



Was sind robuste Anwendungen für Wasserstoff?

Wasserstoff spielt im Verkehr nur in ausgewählten Anwendungen eine Rolle



Wasserstoff

- 2030 nur etwa 1% des Endenergiebedarfs durch H₂
- 2050 zwischen 5% (MWMS) und 10% (MMS)
- Vor allem in Brennstoffzellen-LKW

E-fuels (Wasserstoffderivate)

- Ergänzend zu biogenen Kraftstoffen (2030: 3%)
- Später fast vollständig ersetzt

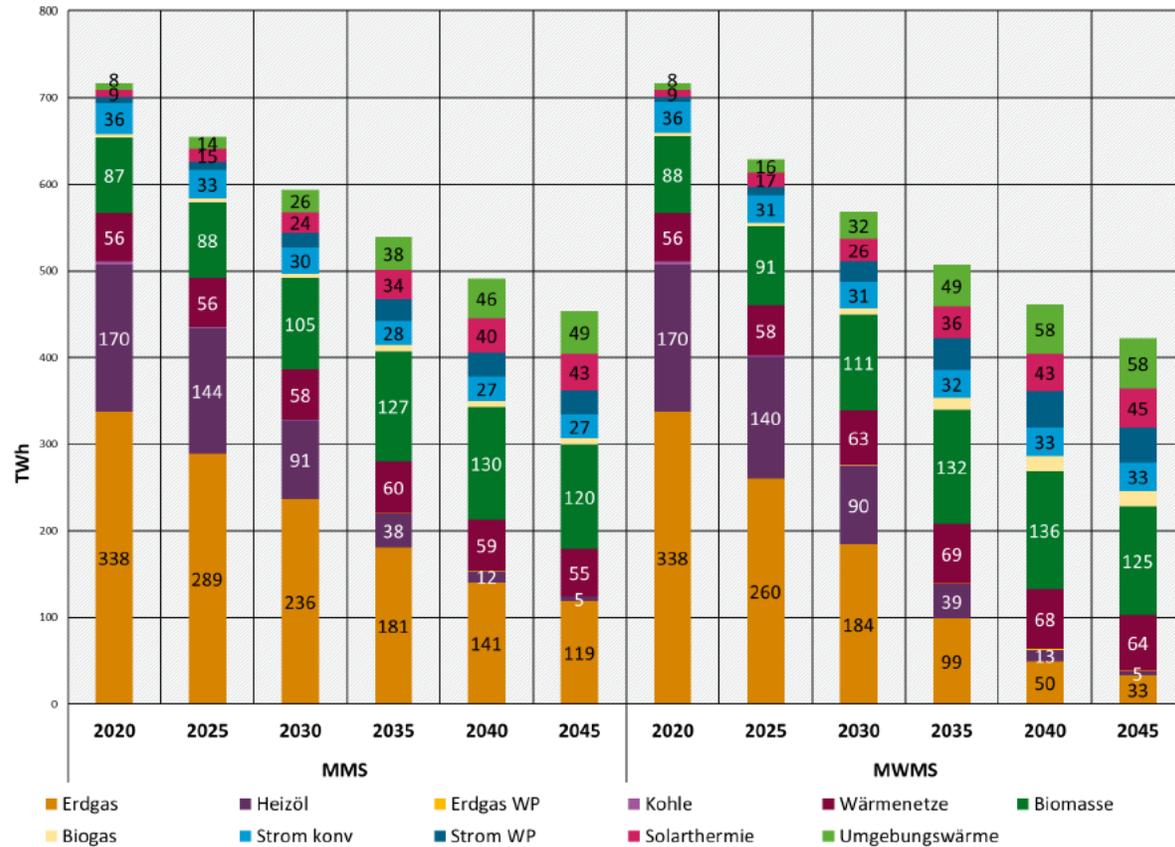
Summe etwa 40 TWh in 2050

Im Verkehr dominieren langfristig direktelektrische Lösungen.

Quelle: Eigene Berechnungen Öko-Institut (Projektionsbericht 2023)

Im Gebäudesektor ist Wasserstoff...

... im Projektionsbericht nicht vorhanden!



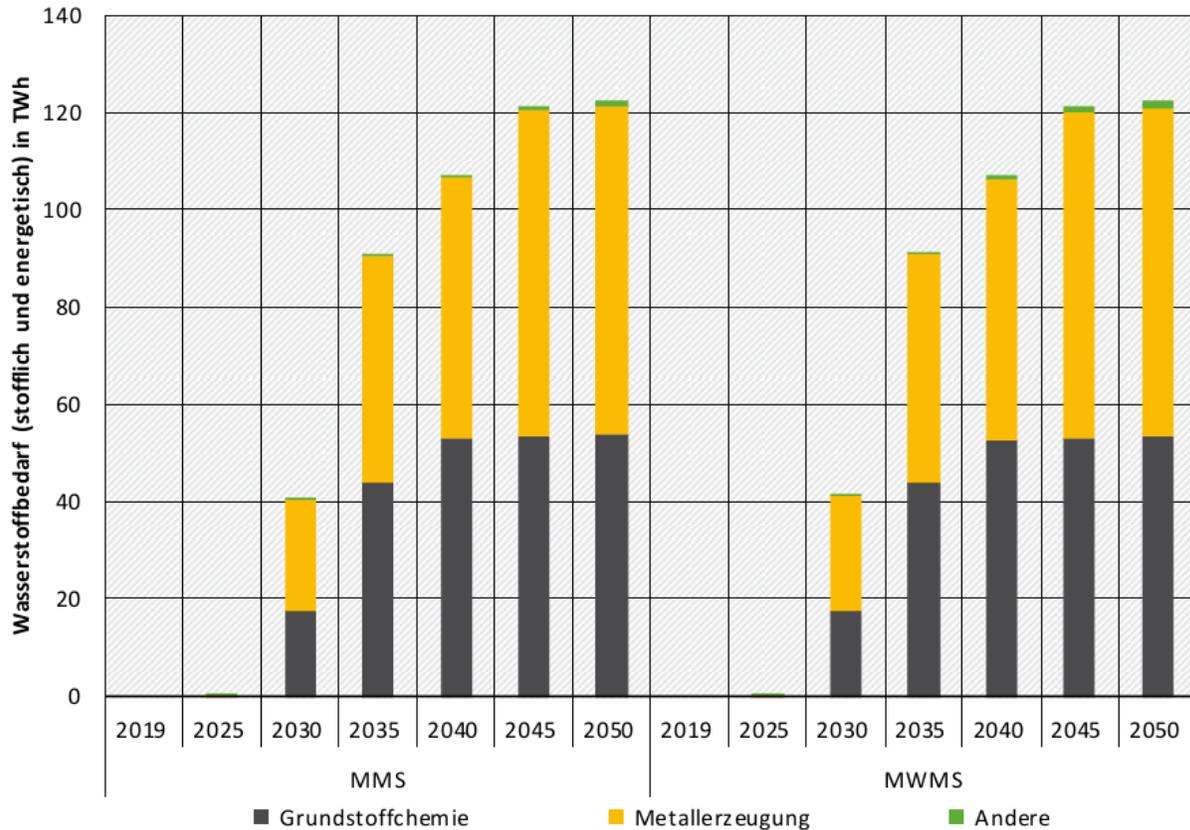
Aber dennoch interessant:

- Biomassennutzung legt stark zu!
- Wärmenetze steigen anteilig.
- Größter Zuwachs bei Wärmepumpen und Solarthermie.
- Gesamtenergiebedarf sinkt deutlich.

Darum schauen wir mal lieber schnell in die Industrie!

Quelle: Berechnungen IREES (Projektionsbericht 2023)

Wasserstoff ist ein zentraler Hebel für die Industrie



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI (Projektionsbericht 2023)

Stoffliche Nutzung

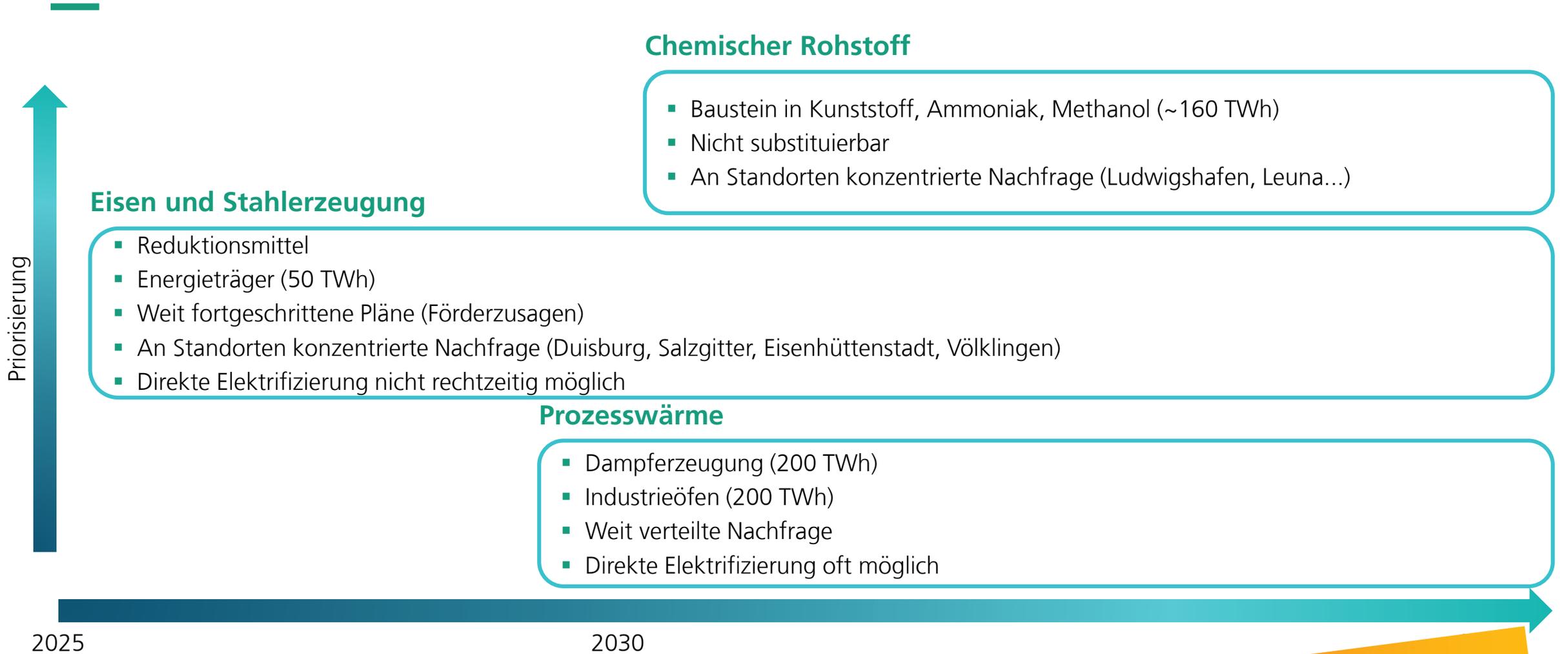
- Substitution von öl- und erdgasbasierten Rohstoffen

Stahlerzeugung

- Substitution von kohlebasierten Reduktionsmitteln

Vergleichsweise frühe Hochlauf, Priorisierung ist wichtig

Für die Industrie sind drei Anwendungsbereiche identifizierbar



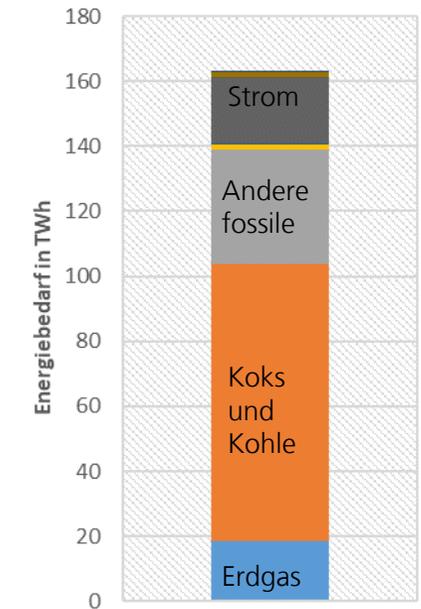
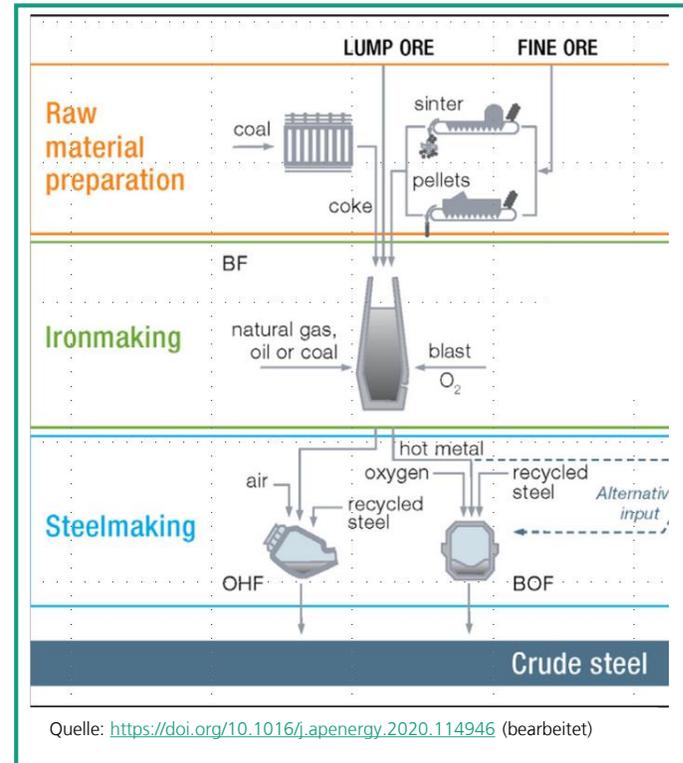
Okay – aber wer kriegt was?

Technologiegruppen: Stahlerzeugung benötigt neue Verfahren

Verfahrensanteile

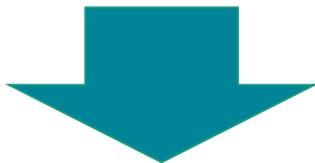
- Primärroute: Hochofen (~70%)
 - Kohle und Koks
 - Technisch notwendig
- Sekundärroute: EAF (~30%)
 - Strom
 - Begrenztes Potential

Hochofenroute der Stahlerzeugung



Metallerzeugung
Quelle: FORECAST (Datengrundlage: AGEBA)

Berlin: ~60 TWh



Herausforderung: Hochofenersatz

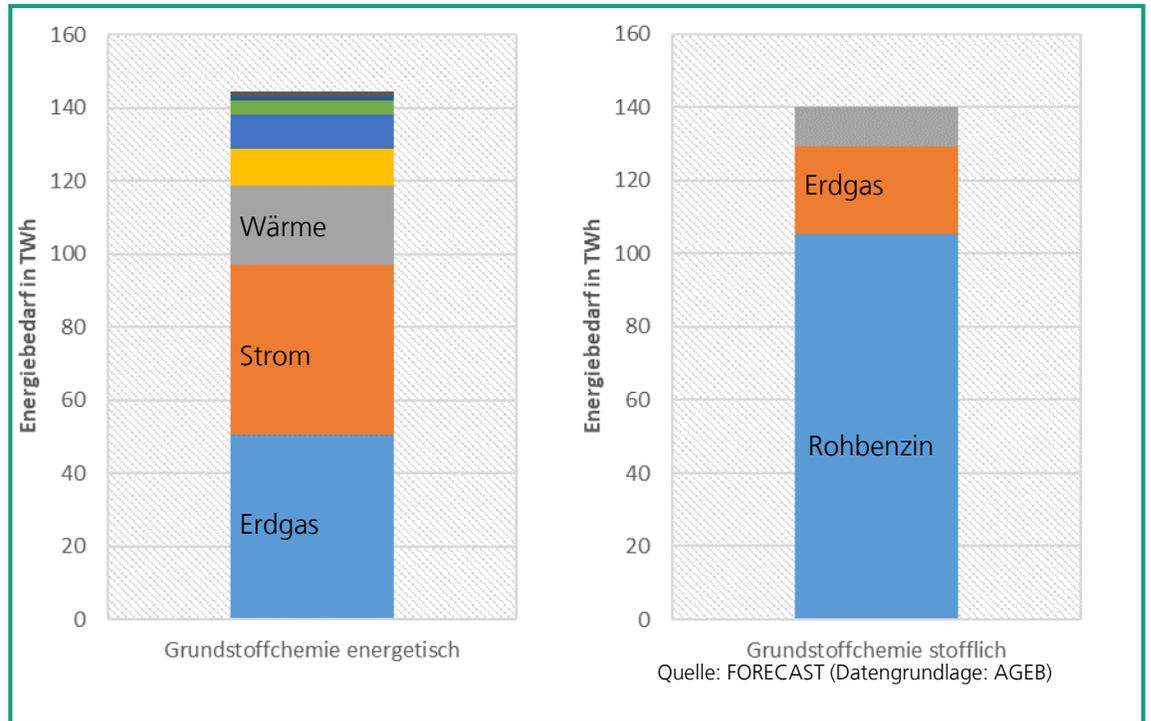
Technologiegruppen: Grundstoffchemie benötigt neue Rohstoffe

Ausgewählte Grundstoffchemie

- Ammoniak
- Olefine (Ethylen, Propylen)
- Methanol
- Chlor

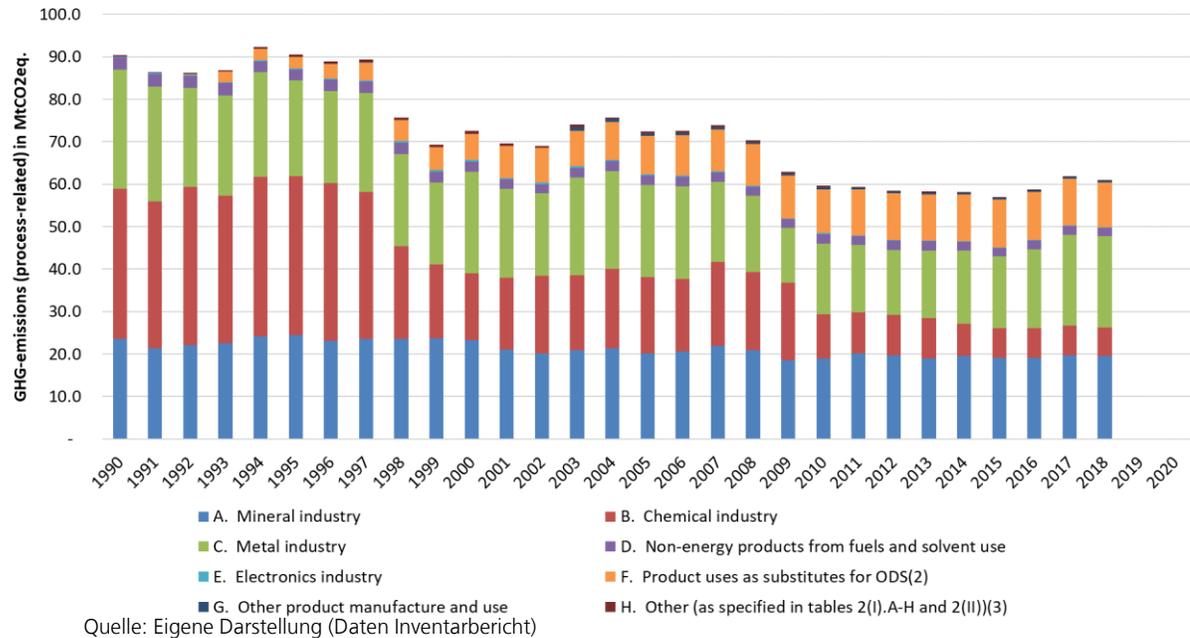


Energieträger und Rohstoffe



Herausforderung: Rohstoffversorgung

Technologiegruppen: Nicht-metallische Mineralien benötigen CO₂-Abscheidung



Nicht-metallische Mineralien

- Zementklinker und Kalk
 - Rohstoff Kalkstein (CaCO₃)
 - Prozessbedingte Emissionen

CCU/S

- Geeignet für CO₂-Abscheidung
 - Relativ reiner CO₂-Strom
 - Bedarf in Chemieindustrie
 - Keine andere CO₂-neutrale Option
- Aber: Bedarfsreduktion wichtiger Hebel!



Herausforderung: Nutzung oder Speicherung?

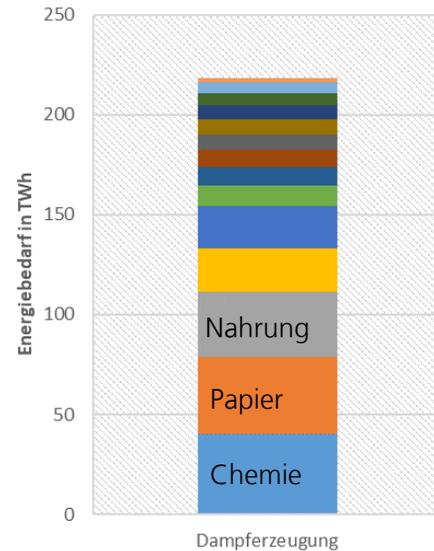
Technologiegruppen: Dampferzeugung und Öfen benötigen Preissignale

Industrieöfen

- **Wärmebehandlung, Gießereien, Schmieden, Warmhalteöfen**
- **Hauptsächlich erdgasbetrieben**
- **Alternativen sind teuer und/oder begrenzt verfügbar**

Dampferzeugung

- **Deckt etwa 50% des Wärmebedarfes**
- **Überwiegend erdgasbetrieben**
- **Entkoppelt von Nutzung**
- **Niedrige Temperaturen**



Quelle: FORECAST (Datengrundlage: AGEB)



Herausforderung: Wirtschaftliche Alternativen

Wärmegestehungskosten bestimmen maßgeblich die Technikdiffusion

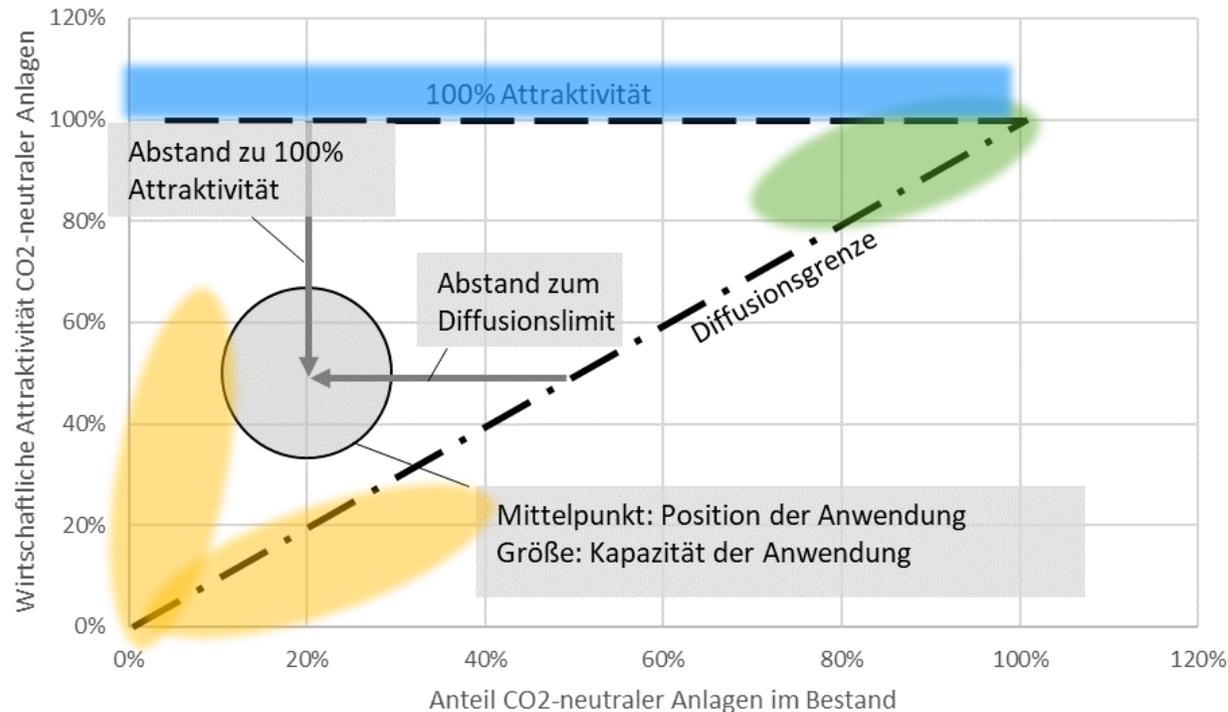


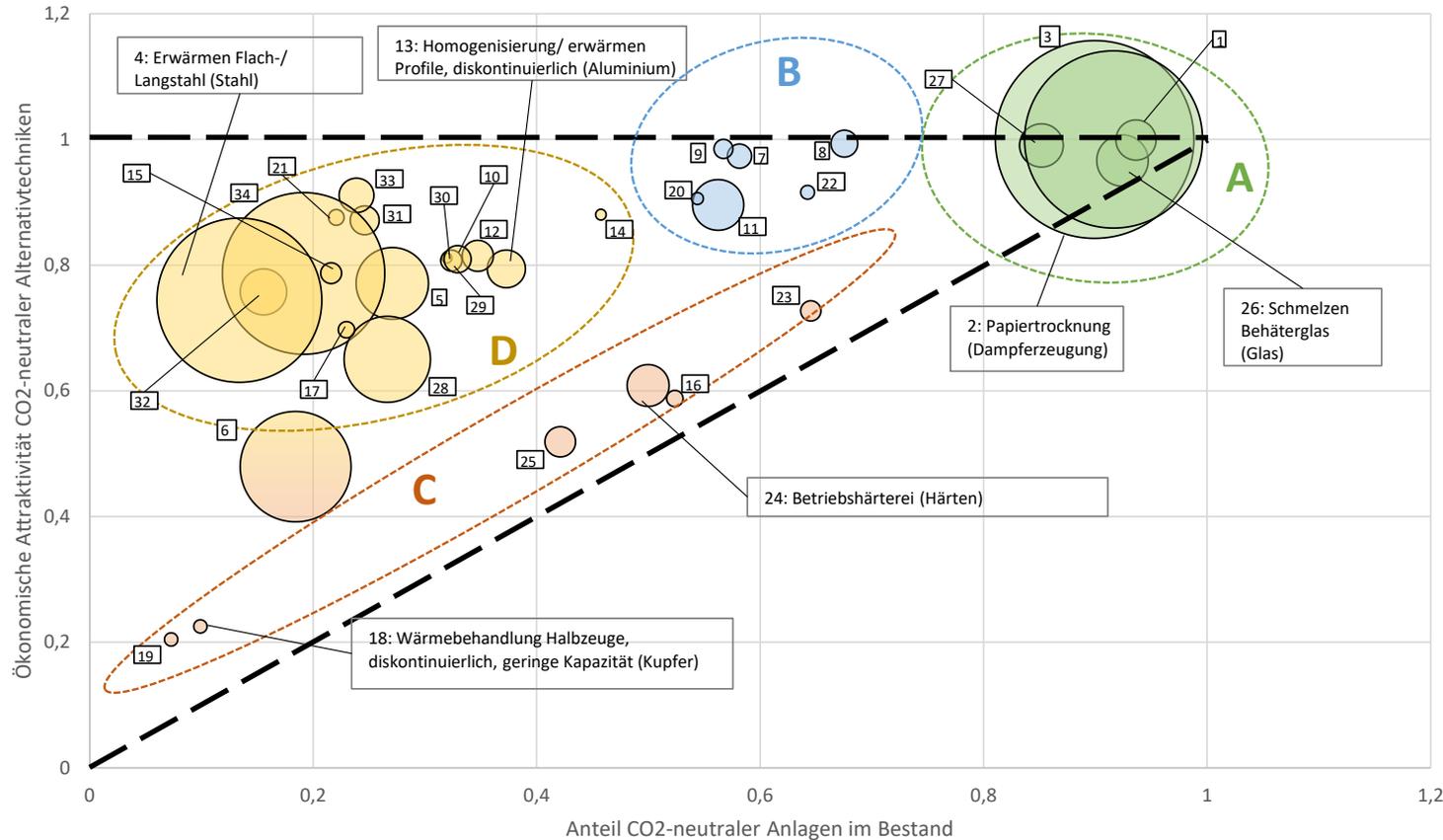
Abbildung zeigt die **Verbreitung CO₂-neutraler Prozesswärmeerzeugung**

Ziel ist, bis 2045 CO₂-neutrale Anlagen nicht nur **wirtschaftlich attraktiv** zu machen. Sondern sie auch **vollständig in den Bestand** zu bringen.

Wir starten zumeist **links unten**.
Wir wollen nach **rechts oben**.

Schauen wir uns nun an, wie sich verschiedene Anwendungen dabei schlagen.

Untersuchung auf Anwendungsebene belegt hohe Heterogenität



Projektgegenstand

- 35 Anwendungen aus 10 Branchen
- Metals, minerals, steam

Ergebnisse: Anwendungsgruppen

- **Advantaged:** Dampf, Glas
- **Boosted:** Gießereien
- **Cornered:** Härterei, Kupferverarbeitung
- **Delayed:** Stahl, Aluminiumverarbeitung

Herausforderungen

„Industriestrompreis“
+ 300€/tCO₂

- Preissignale
- Technologieverfügbarkeit
- Lebensdauer bestehender Anlagen
- ...

Die Lebensdauer von Anlagen schließt Gelegenheitsfenster (schnell)

#	Application	Lifetime	End of life	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2065	2070	2075
1	Milk powder production	20	2040	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red						
2	Paper drying	20	2040	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red						
3	Steam supply chemical park	20	2040	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red						
4	Continuous heating flat/long steel	35	2055	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
5	Continuous heat treatment flat steel	35	2055	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
6	Discontinuous heat treatment flat steel	35	2055	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
7	Continuous melting cast iron (low capacity)	43	2063	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
8	Continuous melting cast iron (medium capacity)	50	2070	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
9	Continuous melting cast iron (high capacity)	47	2067	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
10	Continuous melting aluminum	30	2050	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
11	Discontinuous melting/holding semi-finished casting aluminum	30	2050	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
12	Continuous homogenizing/heating aluminum strip/profiles	35	2055	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
13	Discontinuous homogenizing/heating aluminum strip/profiles	30	2050	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
14	Continuous heat treatment aluminum strip	30	2050	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
15	Continuous melting copper continuous cast wire rod	50	2070	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
16	Continuous heating semi-finished copper products for hot forming (low capacity)	20	2040	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red						
17	Continuous heating copper semi-finished product for hot forming (high capacity)	48	2068	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
18	Discontinuous heat treatment copper semi-finished product (low capacity)	35	2055	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
19	Discontinuous heat treatment copper semi-finished product (high capacity)	35	2055	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
20	Continuous heating of forged components	30	2050	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
21	Discontinuous heating of forged components	30	2050	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
22	Continuous heating of steel sheet blanks	30	2050	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
23	Continuous carburizing (service provider)	13	2033	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red						
24	Continuous carburizing (company store)	13	2033	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red						
25	Discontinuous carburizing	13	2033	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red						
26	Continuous melting container glass	15	2035	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red						
27	Continuous melting flat glass	15	2035	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red						
28	Continuous burning bricks	30	2050	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
29	Continuous burning refractory bricks	30	2050	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
30	Discontinuous burning refractory bricks	30	2050	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
31	Continuous burning (low reactivity)	60	2080	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
32	Continuous burning (medium/high reactivity)	45	2065	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
33	Continuous burning (high throughput)	50	2070	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					
34	Continuous burning cement clinker	60	2080	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red	Black					

In 2020 ersetzte Anlagen werden nach 2045 zumeist noch betriebsbereit sein

- Diese Anlagen (**rot/schwarz**) werden vermutlich von Ordnungsrecht betroffen sein – das beträfe 92% der Anwendungen (nach Kapazität, ohne Dampf).
- Glas, Härtereien, einige Dampftechnologien sehen kürzere Lebensdauern

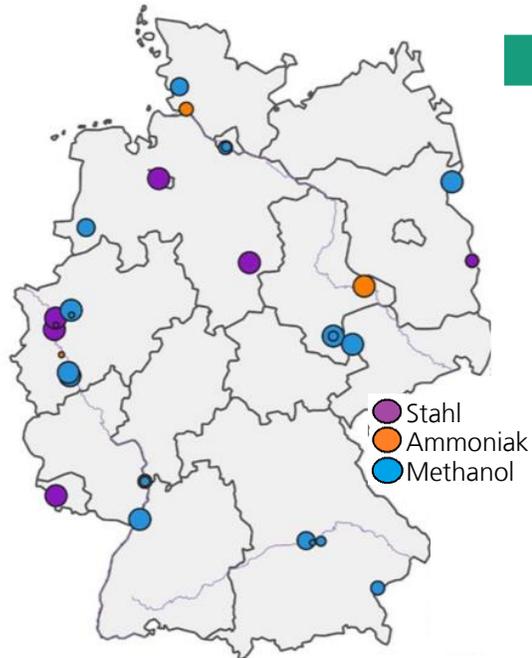
Was sind Handlungsoptionen?

- Produktion einstellen
 - Klimaziele verfehlen
 - Schnelleren Austausch für Modernisierung nutzen
- Sehr unattraktive Optionen

Frage: Wie sind Ihre Planungen/Erfahrungen mit Anlagenaustausch/Modernisierung?

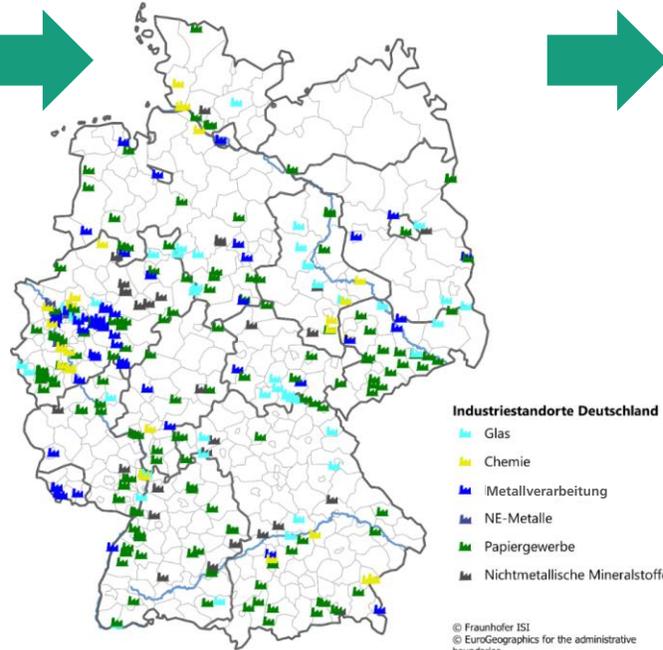
Priorisierung von industriellen H2-Anwendungen erzeugt unterschiedliche Welten

Stahl und Grundstoffchemie

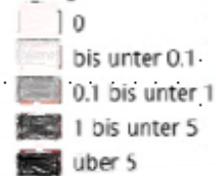


~240 TWh
Wasserstoffbedarf

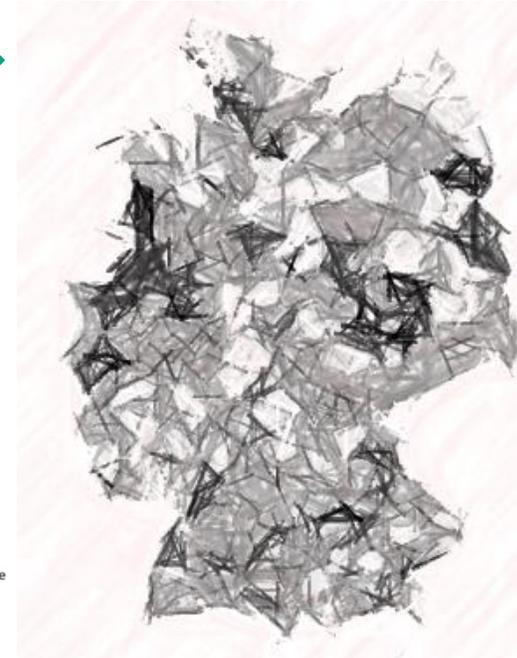
Weitere energieintensive



Wasserstoffnachfrage 2050 in TWh



Breite Nutzung



~440 TWh
Wasserstoffbedarf

Clusterbildung



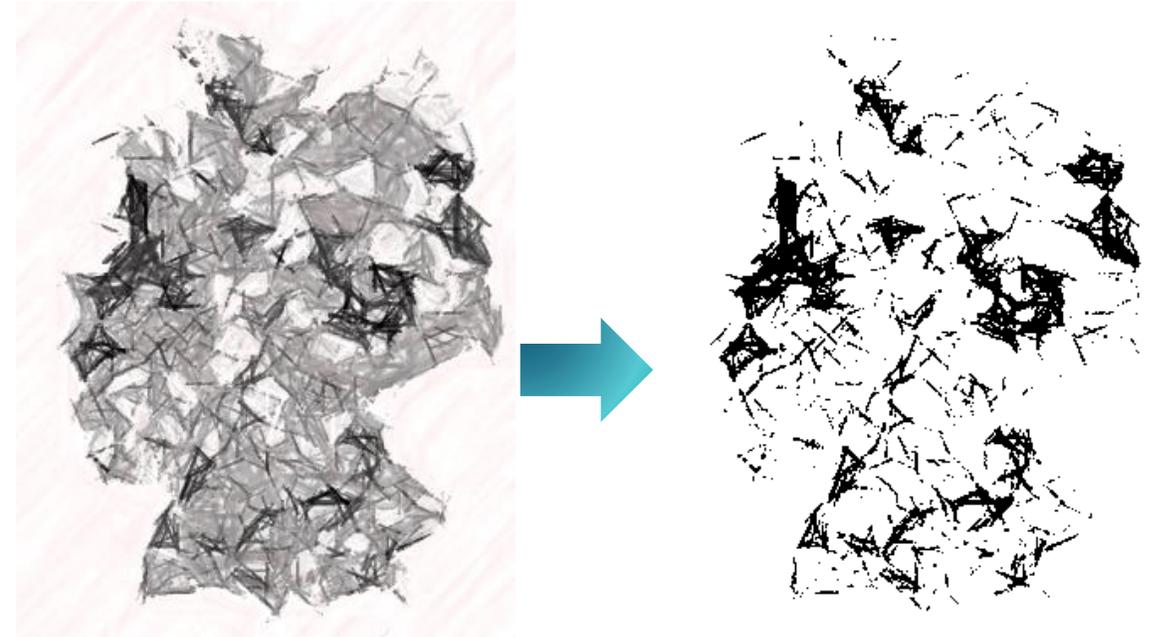
Zugang zu Wasserstoff könnte lokal/regional gestaffelt sein

<https://www.langfristszenarien.de/enertile-explorerer-de/>

Lokal fokussierte Wasserstoffnutzung könnte ein Weg sein

Konzept zur Adressierung der Unsicherheiten

- Robuste Industriestandorte als Ankerkunden
 - Backbone-Infrastruktur für diese Standorte
 - Umstellung umgebender Verteilnetze für weitere Kunden
 - **Entstehung von H₂-Zentren**
-
- Auch in robusten Anwendungen sind Standorte nicht sicher! (Green/Carbon Leakage, Energiekrise)
 - Das ist aber eine andere Qualität der Unsicherheit.



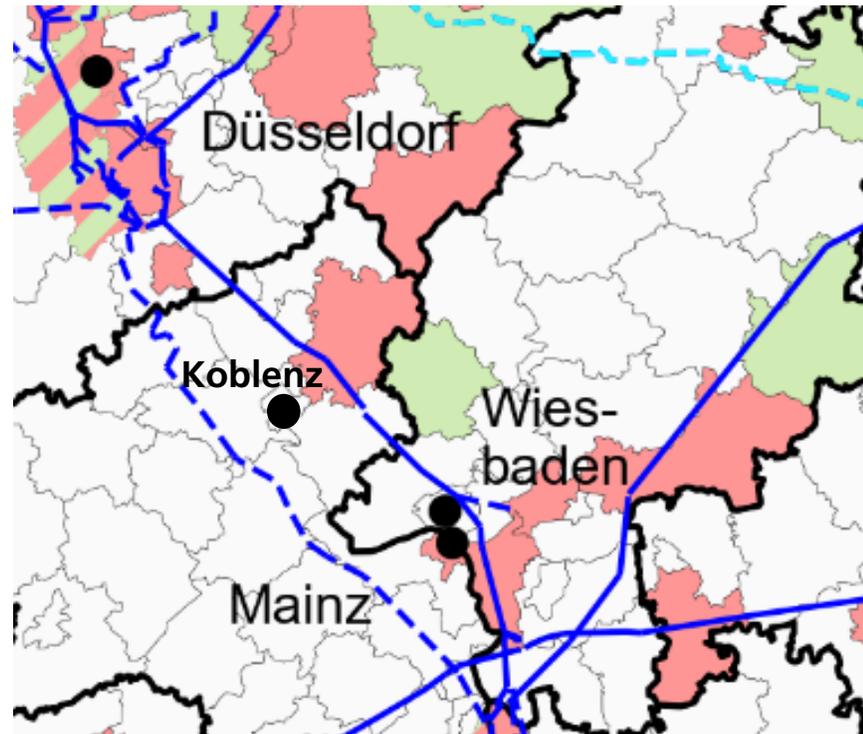
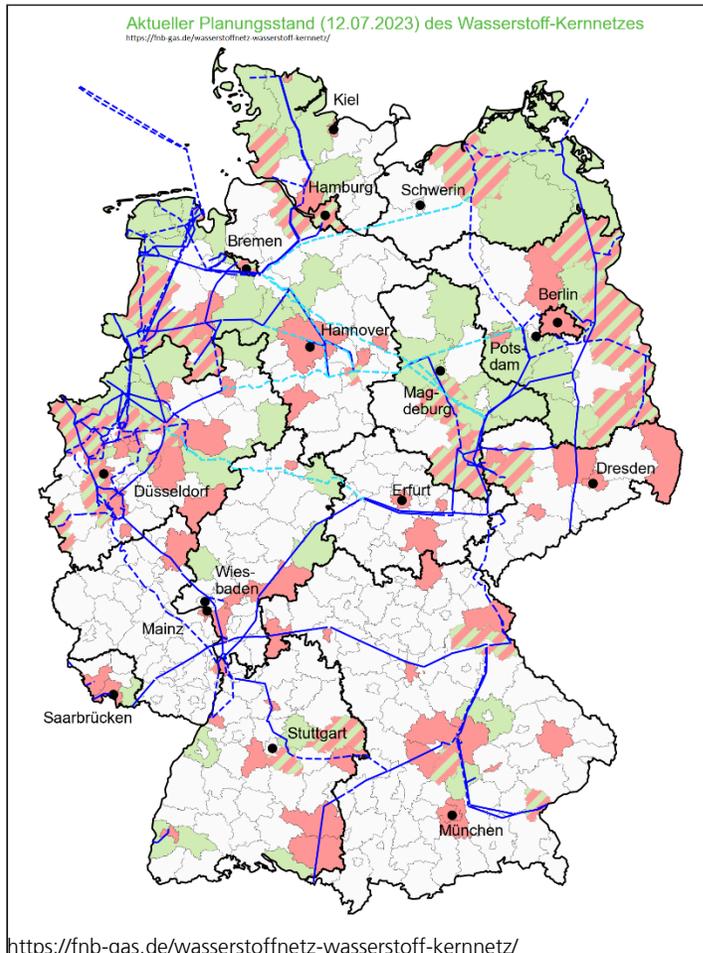
Wie flächendeckend kann/soll ein Wasserstoffnetz sein?

Teil 3: Schlussfolgerungen



Quelle: <https://www.maghreb-post.de/wirtschaft/marokko-deutsch-marokkanische-gruene-wasserstoff-kooperation-gefaehrdet/>

Es gibt einen Vorschlag für ein H2-Kernnetz – Rolle von Koblenz unklar

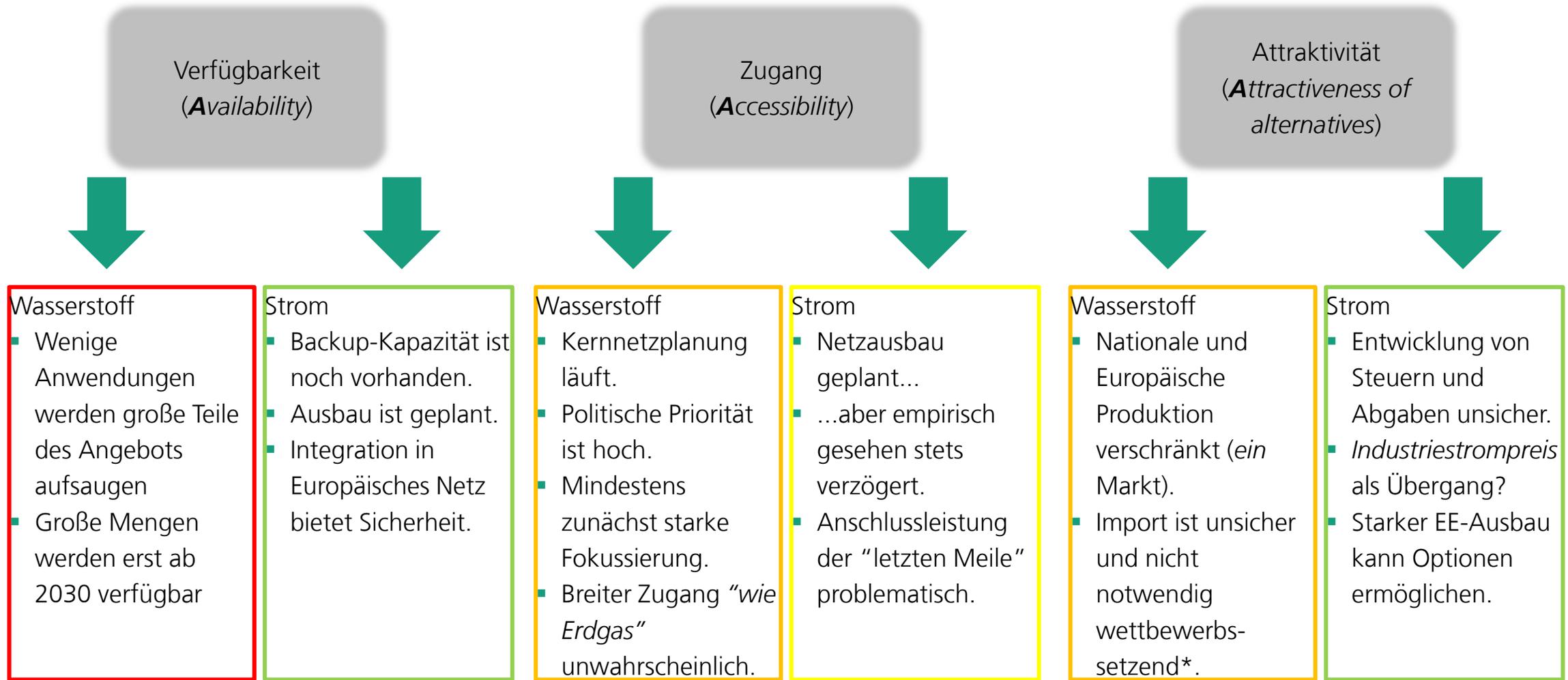


Rolle von Koblenz

- Eingefasst von zwei möglichen Transportleitungen +
- Westerwaldkreis als Auspeisung markiert (Keramik, Glas?) +
- „Robuste“ Verbraucher nicht in unmittelbarer Nähe (?) -
- Wirtschaftlich umsetzbare Distanz von zusätzlichen Leitungen (und Auspeisestationen) stark vom Bedarf abhängig -

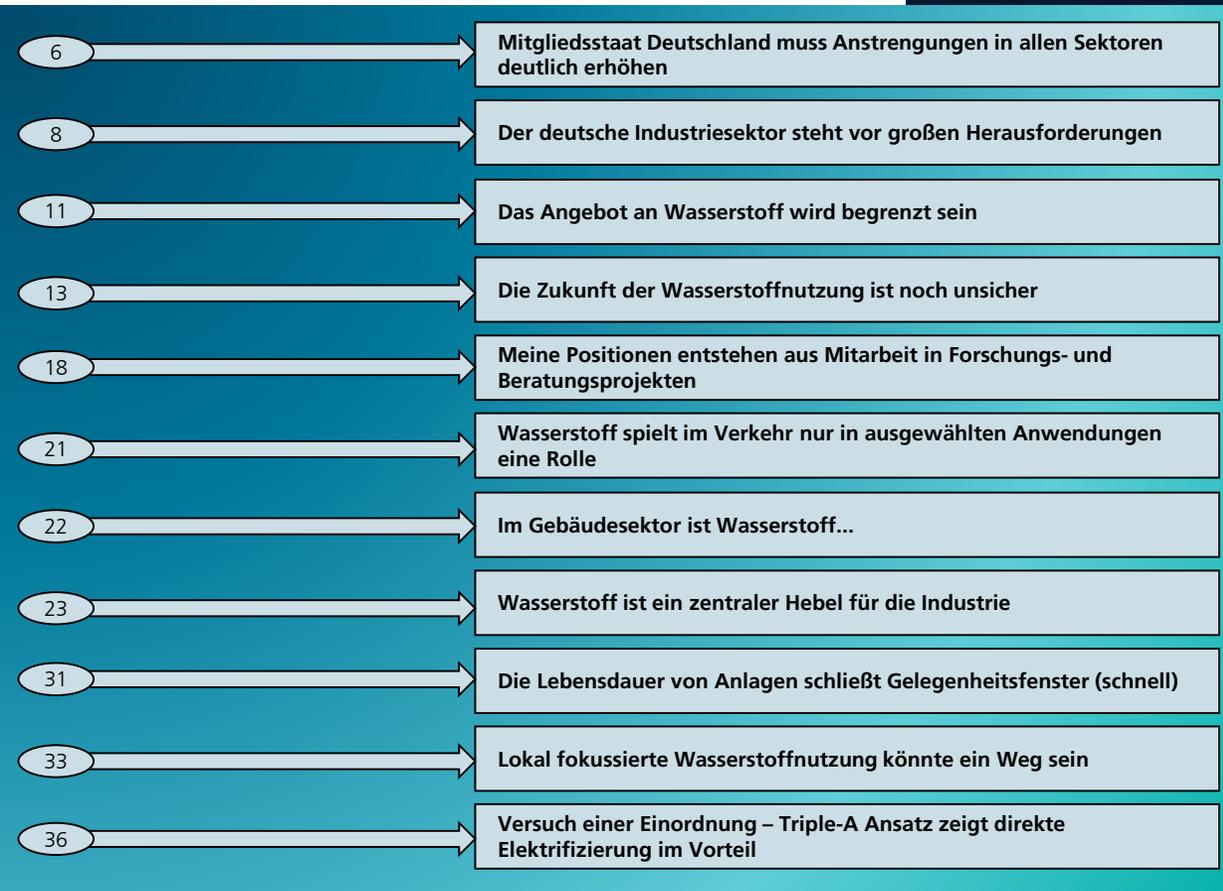
Frage: Gibt es lokale/regionale Befassung mit dem Thema?

Versuch einer Einordnung – Triple-A Ansatz zeigt direkte Elektrifizierung im Vorteil

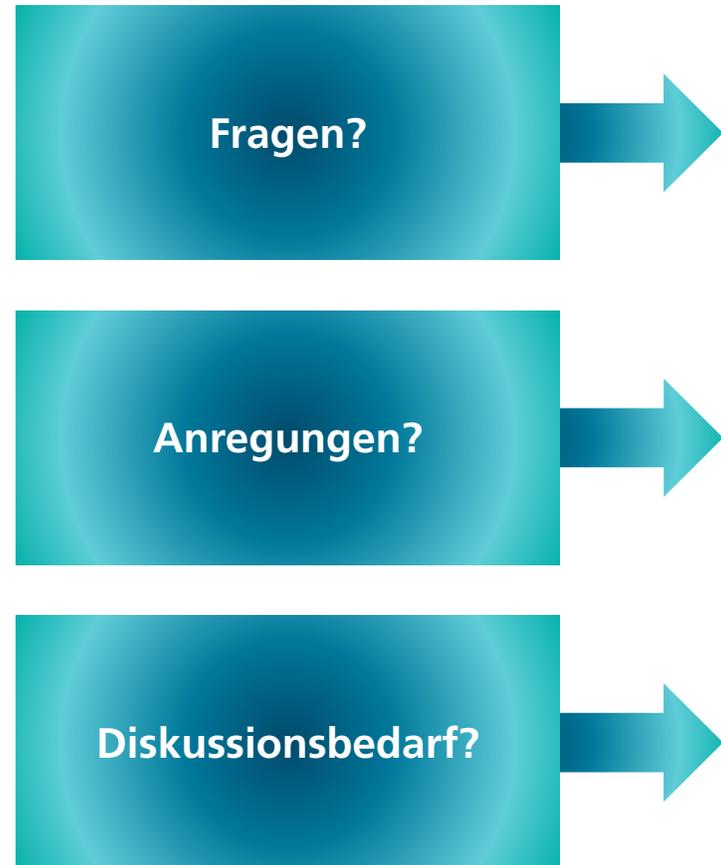


Wenn technisch möglich, scheint frühe und direkte Elektrifizierung vorteilhaft. Auf Wasserstoff hoffen (und deswegen im Übergang fossil zu bleiben), sollte nur bei sehr konkret vorliegenden Argumenten erwogen werden.

Perspektiven für die Wasserstoffnutzung



Kontaktieren Sie mich bei Fragen, Anregungen oder Diskussionsbedarf



Kontakt



FORECAST | **eLOAD**
FORecasting Energy Consumption Analysis and Simulation Tool | energy LOad curve ADjustment tool

<http://www.forecast-model.eu/forecast-en/index.php>

Name: Matthias Rehfeldt

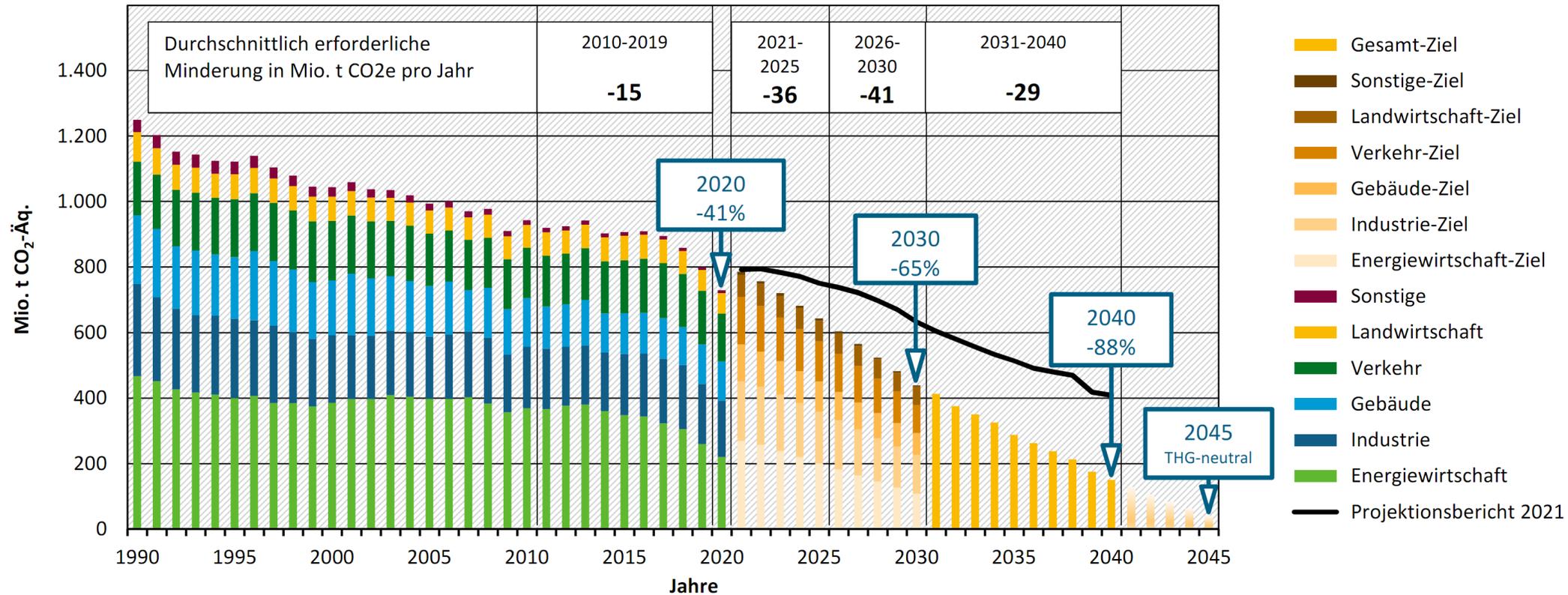
Abteilung: CCE, Geschäftsfeld Nachfrageanalysen und -projektionen

Telefon: +49 721 6809-412

E-Mail: matthias.rehfeldt@isi.fraunhofer.de

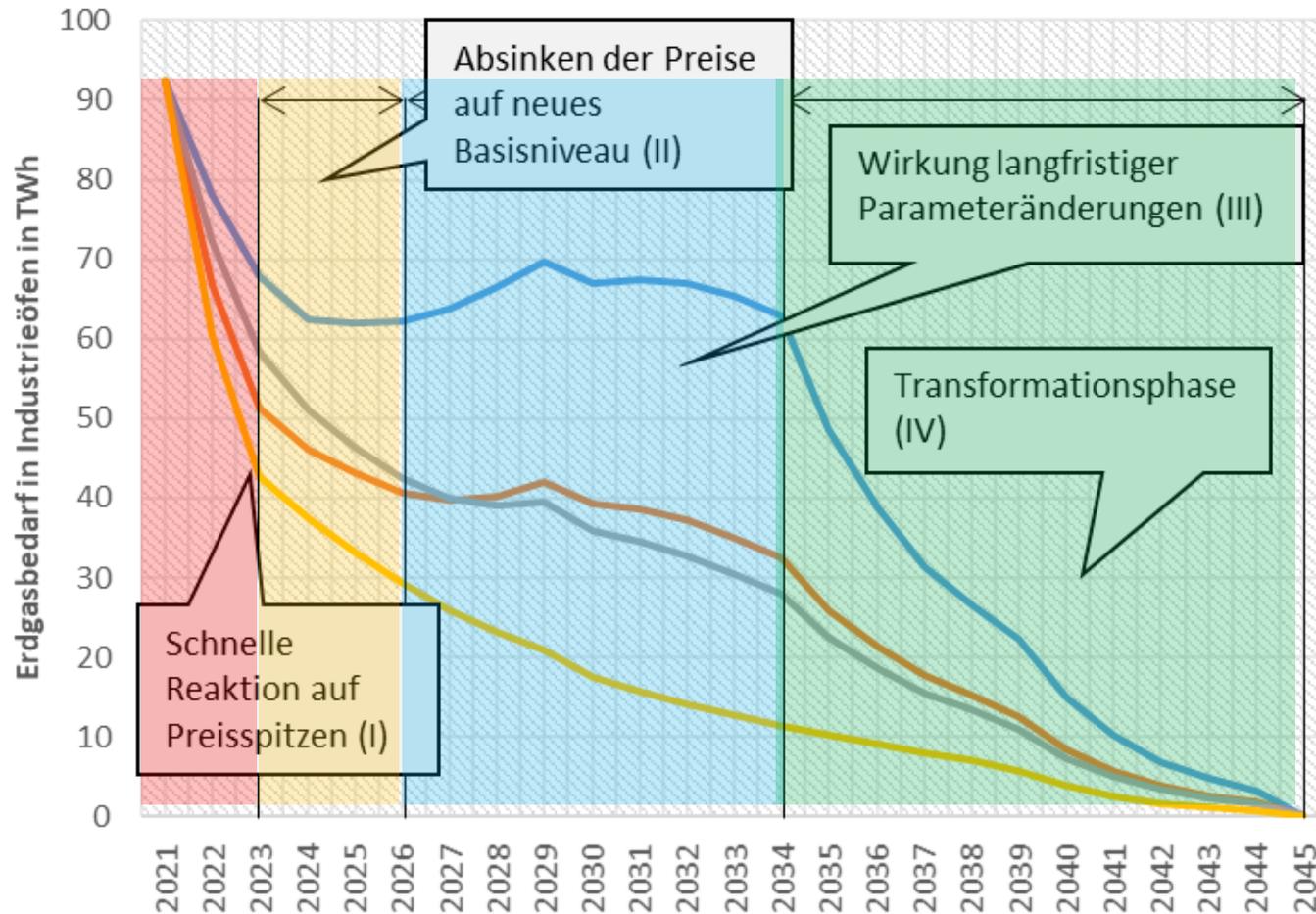
Projektionsbericht 2021: Entwicklung THG-Emissionen

Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen (1990–2045)



Quelle: Historische Daten Umweltbundesamt THG-Inventar; Projektion Öko-Institut/Fraunhofer-ISI/IREES

Es entsteht ein Möglichkeitsraum zukünftiger Erdgasbedarfe



„Relevant ist für diese Betrachtung vor allem die durch die vorhergehende Entwicklung entstehenden unterschiedlichen Ausgangspositionen der Szenarien...“
– Rehfeldt et al. 2023

- Szenario 0
- Szenario 1
- Szenario 2a
- Szenario 2b

Einsparung wie im Gesamtjahr 2022 (24%)

Einsparung wie im 2. Halbjahr 2022 (37%)