

Hendrik Scharf

Technische Universität Dresden
Fakultät Wirtschaftswissenschaften
Professur für Energiewirtschaft

Defossilisierung der Prozessindustrie in Deutschland – Welche Energiebedarfe sind zu erwarten?

18. Symposium Energieinnovation
Graz, 15. Februar 2024

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

FKZ: 03ET4055A

AGENDA

①

Motivation

CO₂-Vermeidungskosten als Werkzeug zur Bestimmung kosteneffizienter Transformationspfade

②

Hintergrund

Methodik zur Abschätzung künftiger Energiebedarfe

③

Ergebnisse

Bedarfe an Wasserstoff und Elektrizität

④

Fazit

Zusammenfassung und Ausblick

①

Motivation

CO₂-Vermeidungskosten als Werkzeug zur Bestimmung kosteneffizienter Transformationspfade

②

Hintergrund

Methodik zur Abschätzung künftiger Energiebedarfe

③

Ergebnisse

Bedarfe an Wasserstoff und Elektrizität

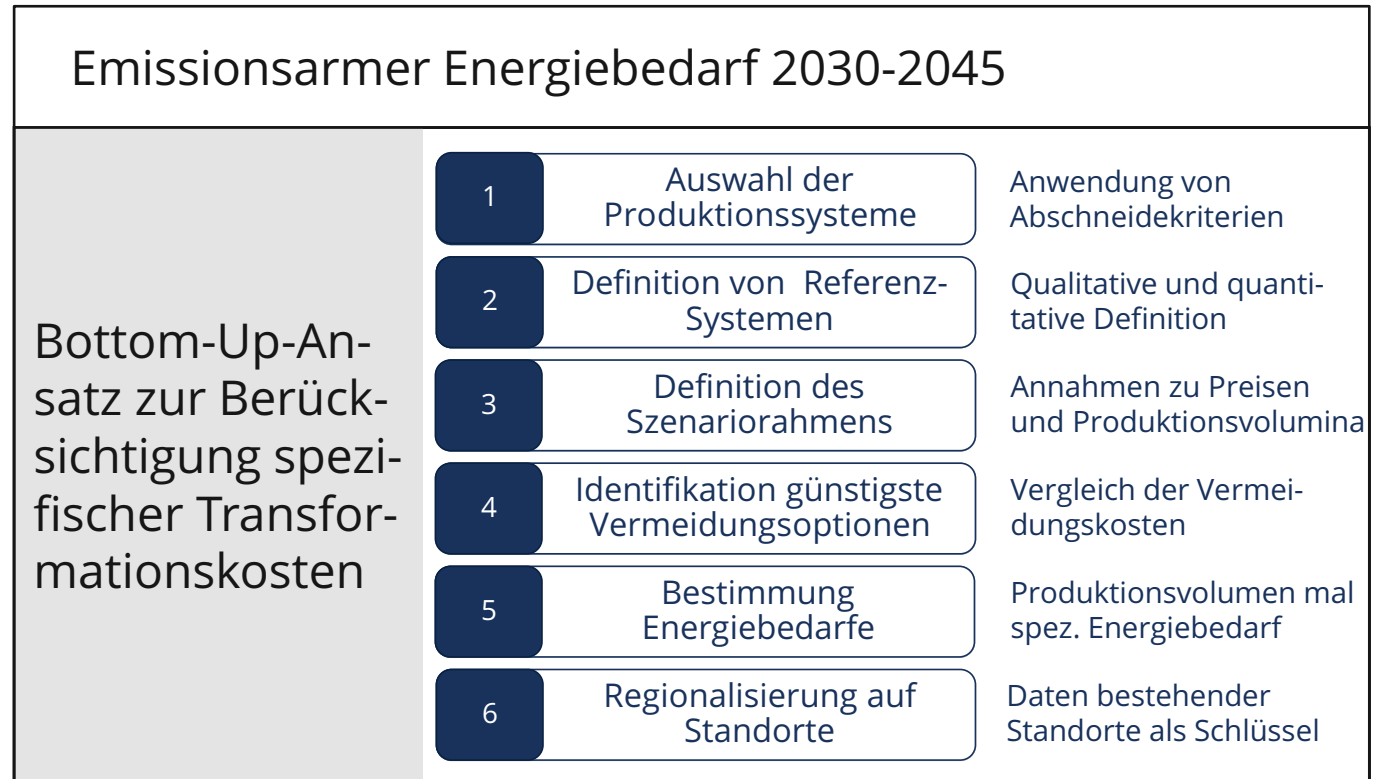
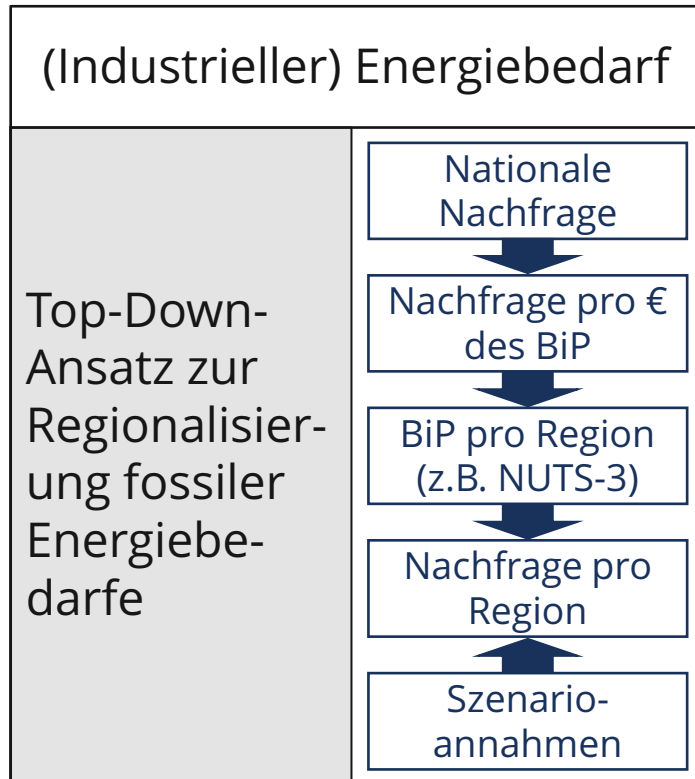
④

Fazit

Zusammenfassung und Ausblick

Abschätzung künftiger Energiebedarfe auf Basis von CO₂-Vermeidungskosten

Modellierung von Szenarien zur Abschätzung welche Energiebedarfe wann und wo zu erwarten sind



Optionen zur Defossilisierung:
 Direkte Elektrifizierung
 Brennstoffwechsel
 Energieeffizienzmaßnahmen
 [CO₂-Abscheidung und -Speicherung oder -Nutzung]

AGENDA

①

Motivation

CO₂-Vermeidungskosten als Werkzeug zur Bestimmung kosteneffizienter Transformationspfade

②

Hintergrund

Methodik zur Abschätzung künftiger Energiebedarfe

③

Ergebnisse

Bedarfe an Wasserstoff und Elektrizität

④

Fazit

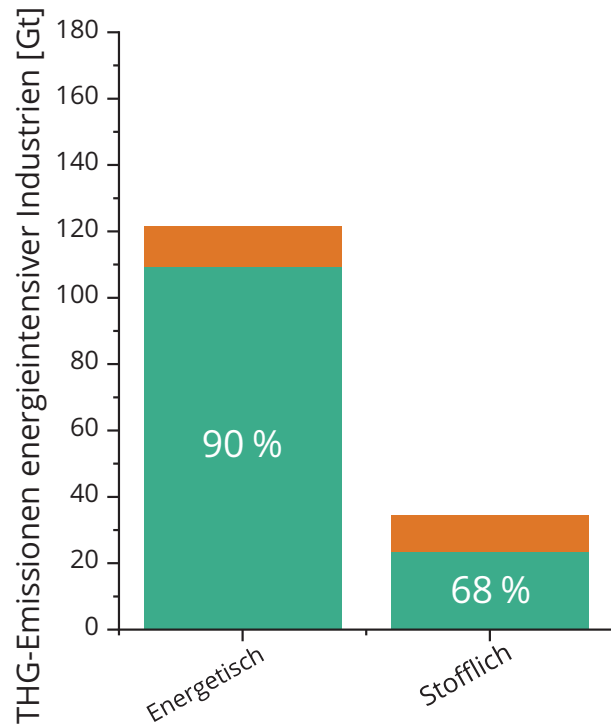
Zusammenfassung und Ausblick

Berücksichtigte konventionelle Verfahren und Abschneidekriterien

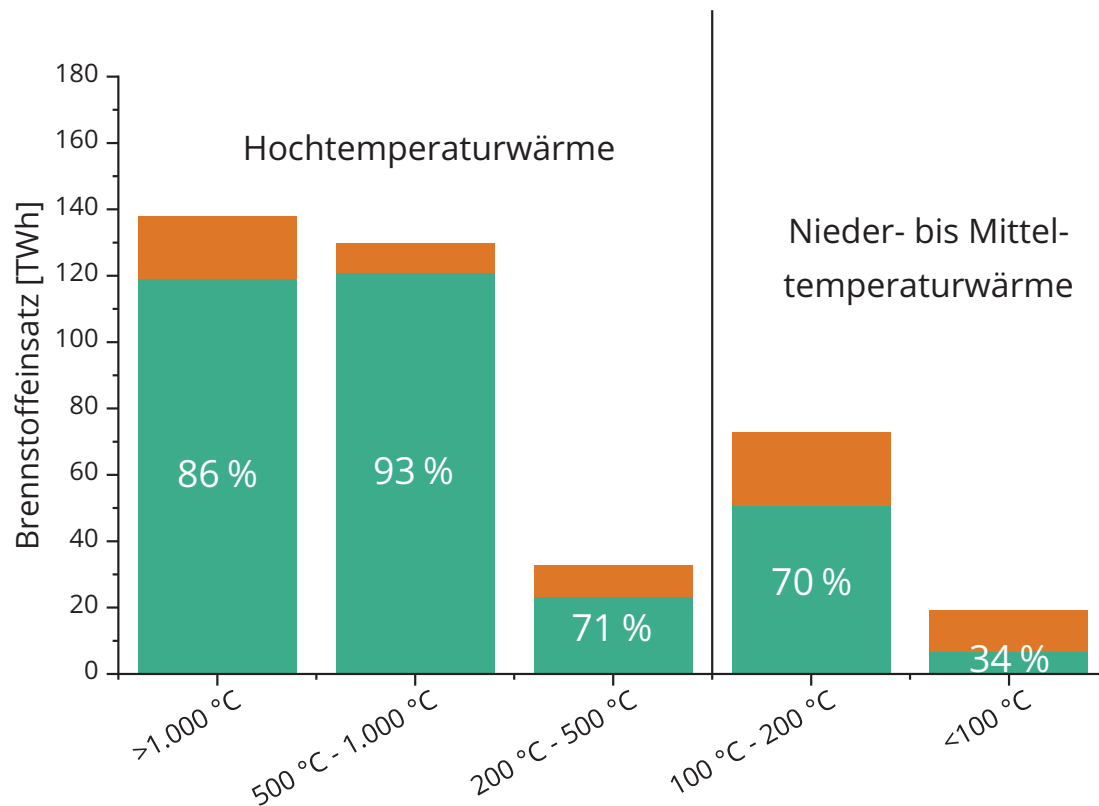
Auswahl der Industrien anhand von THG-Emissionen (I) und des Brennstoffeinsatzes (II)

- 1 Auswahl der Produktionssysteme
- 2 Definition von Referenz-Systemen
- 3 Festlegung des Szenariorahmens
- 4 Finden der effizienten Vermeidungsoption
- 5 Bestimmung der Energiebedarfe
- 6 Regionalisierung auf Standorte

THG-Emissionen (I)
2007



Brennstoffnutzung zur Prozesswärmeerzeugung (II)
2012



- Abdeckung von 85 % der THG-Emissionen
- Abdeckung von 82 % des Brennstoffeinsatzes für die Prozesswärmebereitstellung

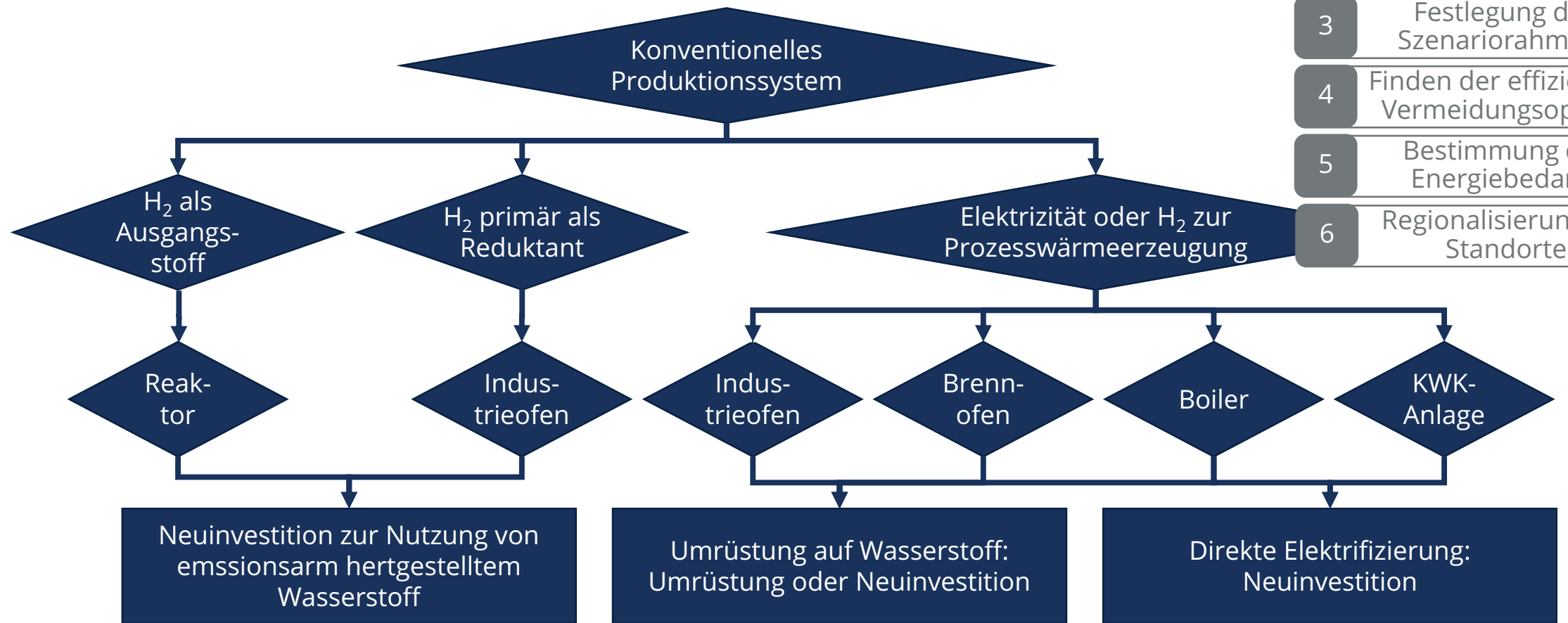
■ Berücksichtigte Verfahren ■ Vernachlässigte Verfahren

Datenquellen: Fleiter et al., 2013; Rehfeldt et al., 2018

Klassifizierung der Optionen zur Umstellung konventioneller Prozesse

Umstellung der Einsätze fossiler Energie als Reaktant, Reduktant oder zur Prozesswärmeerzeugung

- 1 Auswahl der Produktionssysteme
- 2 Definition von Referenz-Systemen
- 3 Festlegung des Szenariorahmens
- 4 Finden der effizienten Vermeidungsoption
- 5 Bestimmung der Energiebedarfe
- 6 Regionalisierung auf Standorte

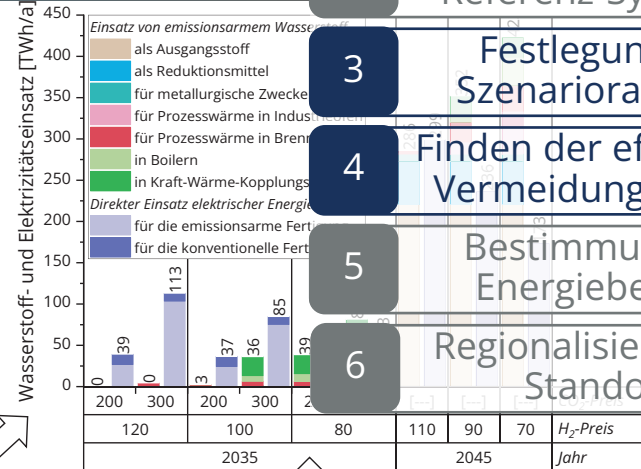
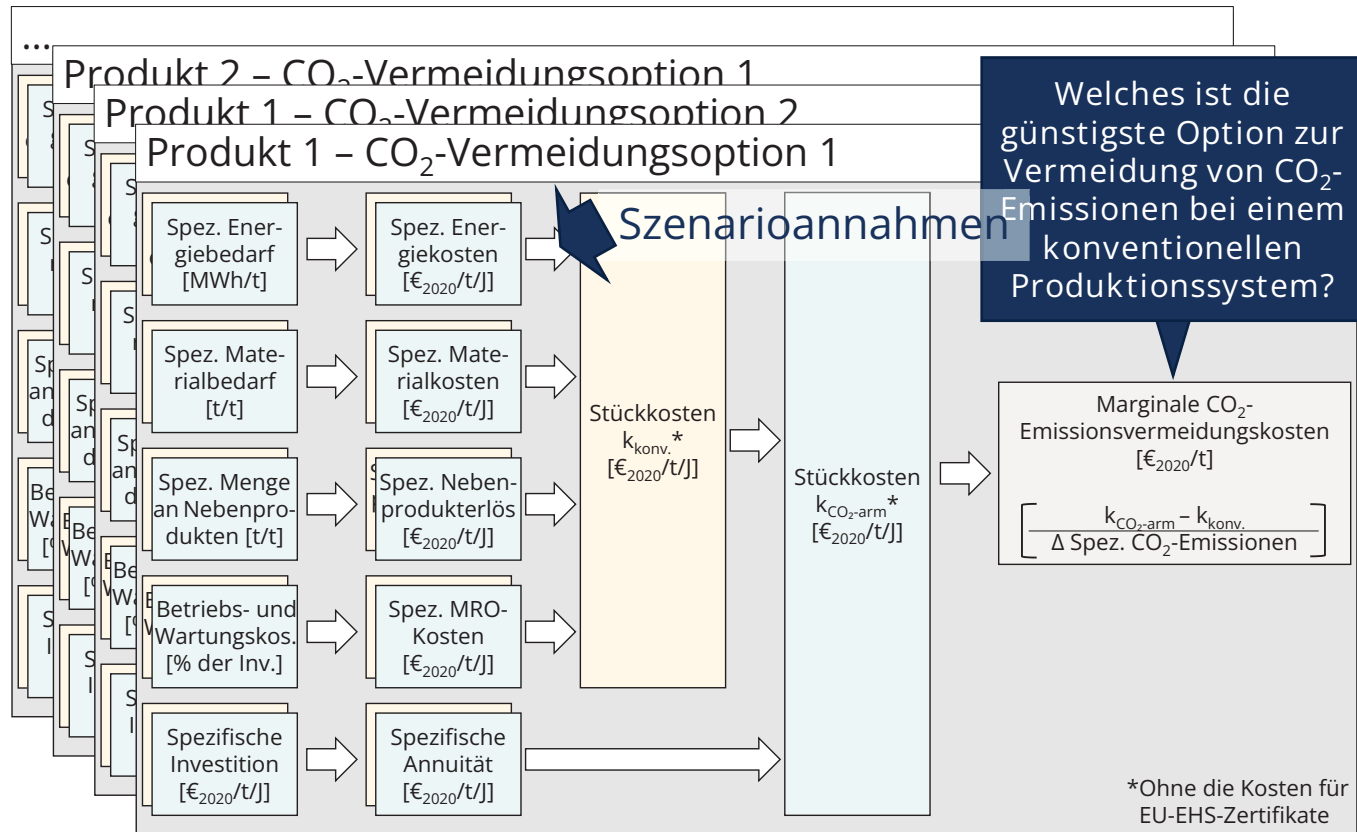


- Einbeziehung von 24 konventionellen Referenz-Produktionssystemen und 68 emissionsarme Verfahren.
- Die Konfiguration des konventionellen Referenz-Produktionssystem bedingt die verfügbaren emissionsarmen Optionen.

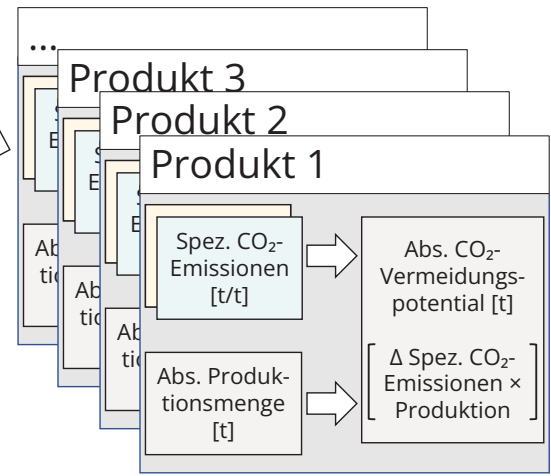
Methodik zur Bestimmung der künftiger Energienachfrage

Identifizierung der kostengünstigsten Vermeidungsoptionen unter den getroffenen Annahmen

Recherche (Literatur, Verbände, Presse etc.)



- 1 Auswahl der Produktionssysteme
- 2 Definition von Referenz-Systemen
- 3 Festlegung des Szenariorahmens
- 4 Finden der effizienten Vermeidungsoption
- 5 Bestimmung der Energiebedarfe
- 6 Regionalisierung auf Standorte



Szenarioannahmen

Szenariorahmen

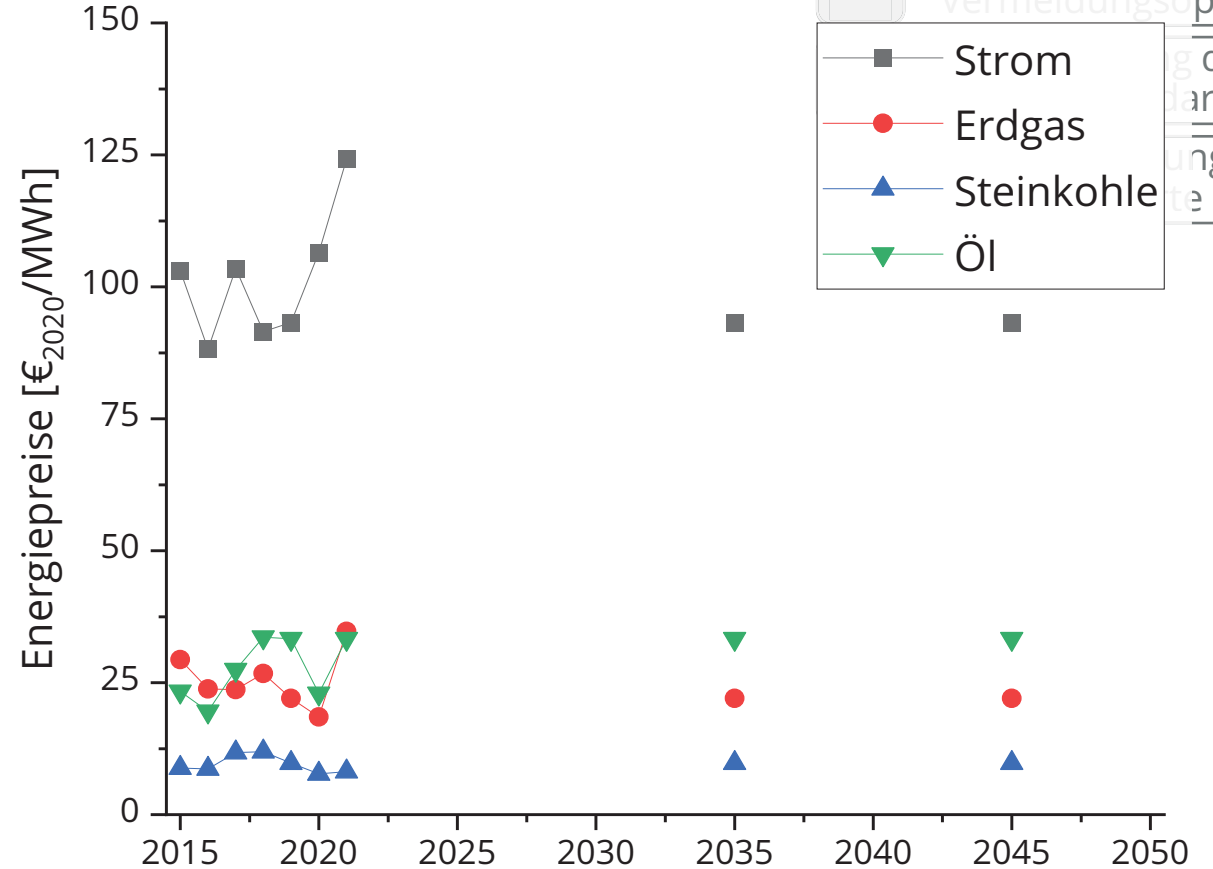
Die Szenarien variieren die H₂- und CO₂-Preise

- 1 Auswahl der Produktionssysteme
- 2 Definition von Referenz-Systemen
- 3 Festlegung des Szenariorahmens

Szenarien
(eigene Annahmen)

	H₂-Preis [€ ₂₀₂₀ /MWh]	CO₂-Preis [€ ₂₀₂₀ /t]
2035	120	200
	120	300
	100	200
	100	300
	80	200
	80	300
2045	110	>1.000 (?)
	90	>1.000 (?)
	70	>1.000 (?)

Andere Energiepreise
(übernommen aus dem Vorkrisenjahr 2019)



AGENDA

①

Motivation

CO₂-Vermeidungskosten als Werkzeug zur Bestimmung kosteneffizienter Transformationspfade

②

Hintergrund

Methodik zur Abschätzung künftiger Energiebedarfe

③

Ergebnisse

Bedarfe an Wasserstoff und Elektrizität

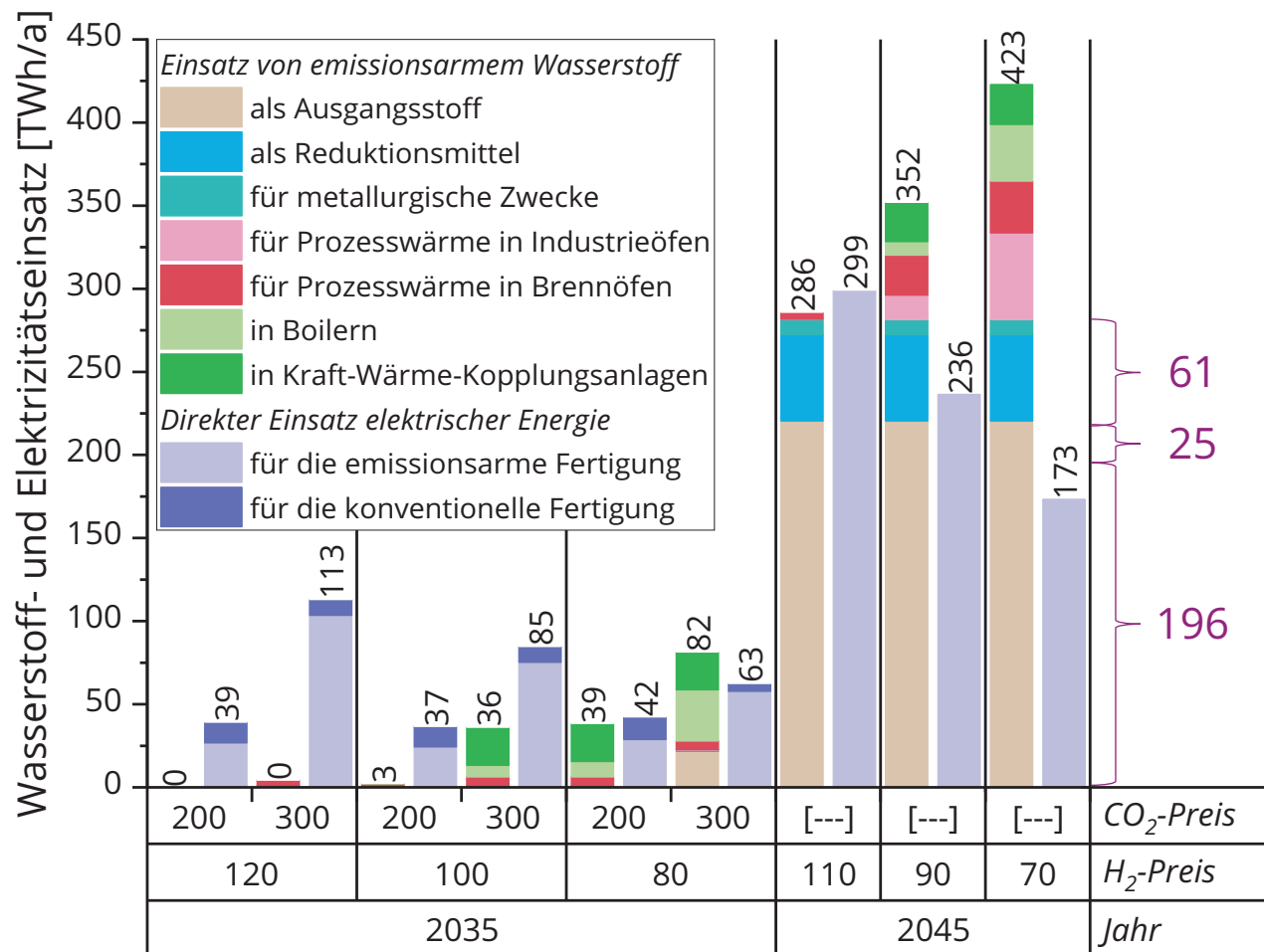
④

Fazit

Zusammenfassung und Ausblick

Ergebnisse der Szenarien zur künftigen Energienachfrage

Künftiger Wasserstoff- und Strombedarf in Abhängigkeit von Wasserstoff- und CO₂-Preisen

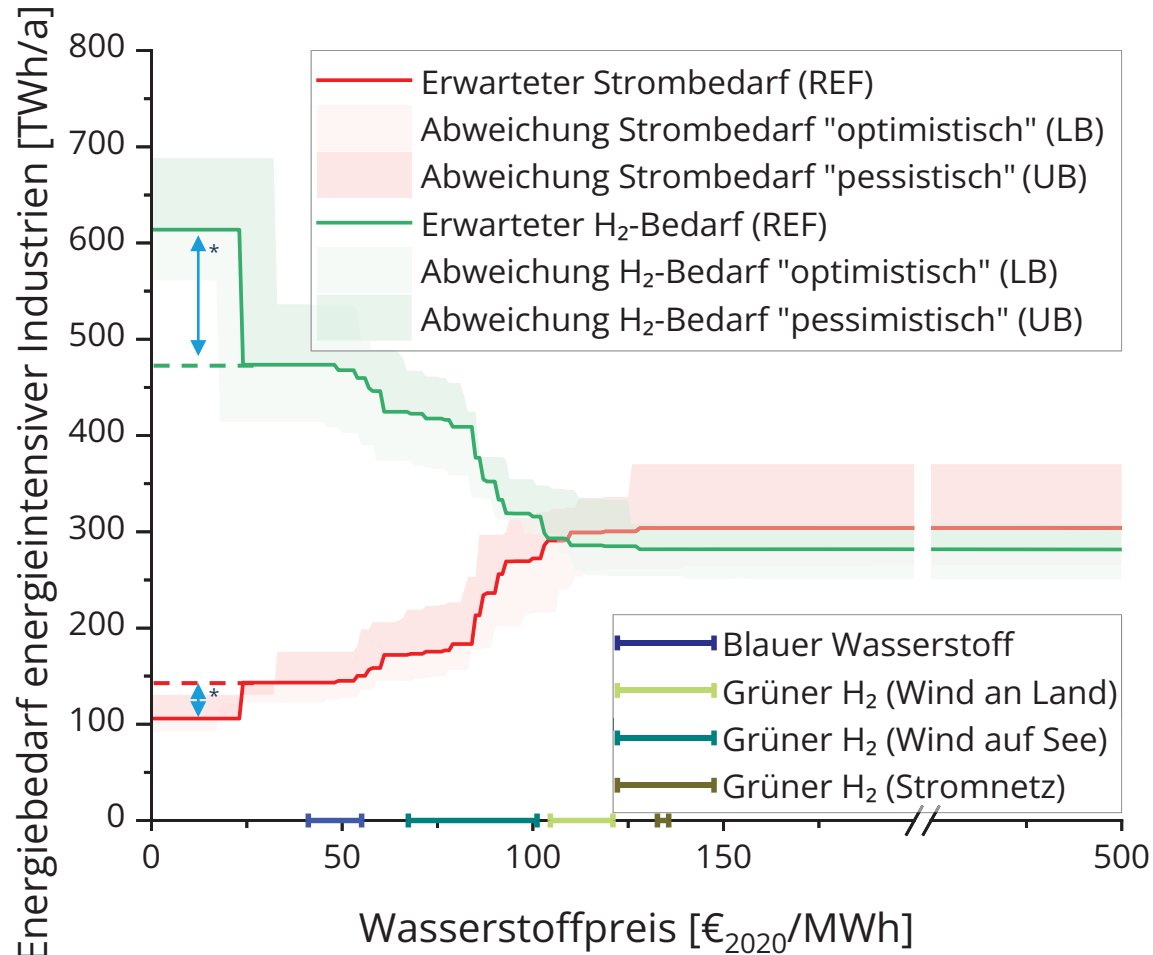


- Für das Jahr 2035 ergibt sich eine Wasserstoffnutzung zwischen 0 TWh und 82 TWh.
- Zusätzliche Nachfrage kann sich z.B. aus Pilotprojekten oder aufgrund von Subventionen ergeben.
- Außer in einem Szenario wird im Jahr 2035 der Wasserstoff lediglich für die Bereitstellung von Prozesswärme genutzt.
- 2045 beträgt alleine der Bedarf für das MtO-Verfahren 196 TWh, d.h. dass z.B. stattdessen weiterhin Rohbenzin zu verwenden starken Einfluss auf den Wasserstoffbedarf hätte.
- Weitere „No-Regret“-Einsatzzwecke für Wasserstoff sind die Ammoniak- sowie Methanolsynthesen (25 TWh) und die Produktion von Flüssigstahl (61 TWh).

- 1 Auswahl der Produktionssysteme
- 2 Definition von Referenz-Systemen
- 3 Festlegung des Szenariorahmens
- 4 Finden der effizienten Vermeidungsoption
- 5 Bestimmung der Energiebedarfe
- 6 Regionalisierung auf Standorte

Sensitivitätsanalyse zu dem Wasserstoffpreis unter Klimaneutralität

Strom- und Wasserstoffbedarfe im Jahr 2045 in Abhängigkeit des Wasserstoffpreises



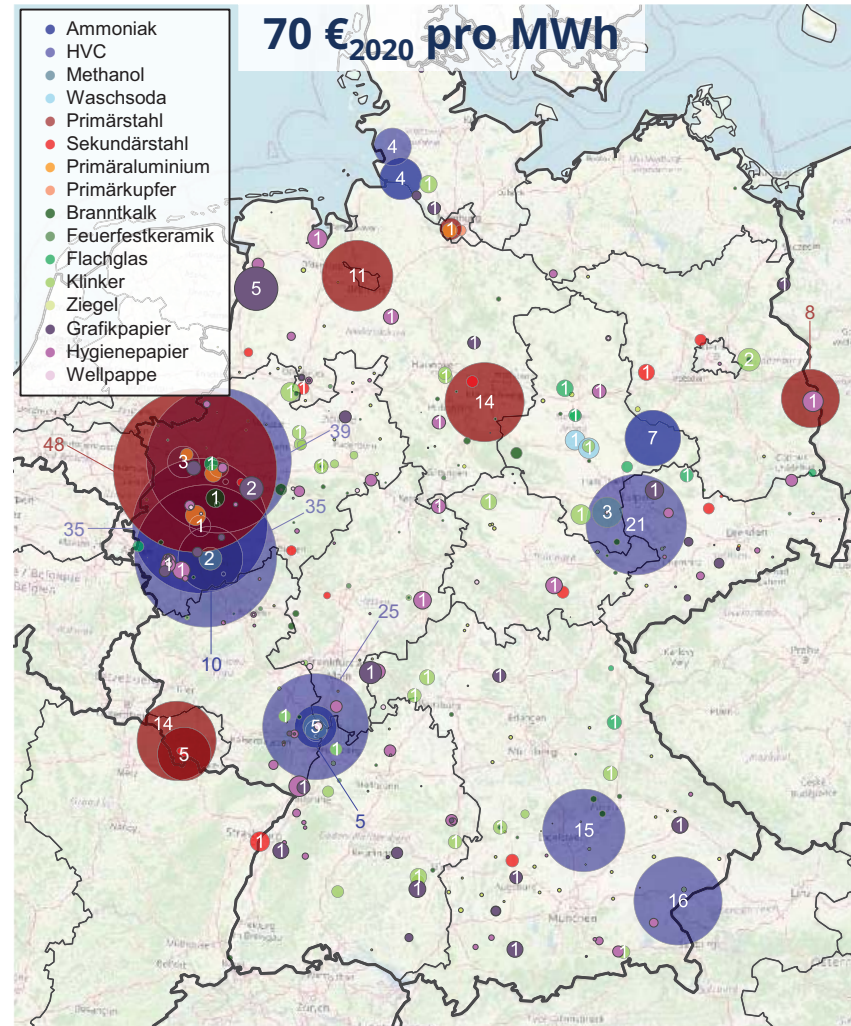
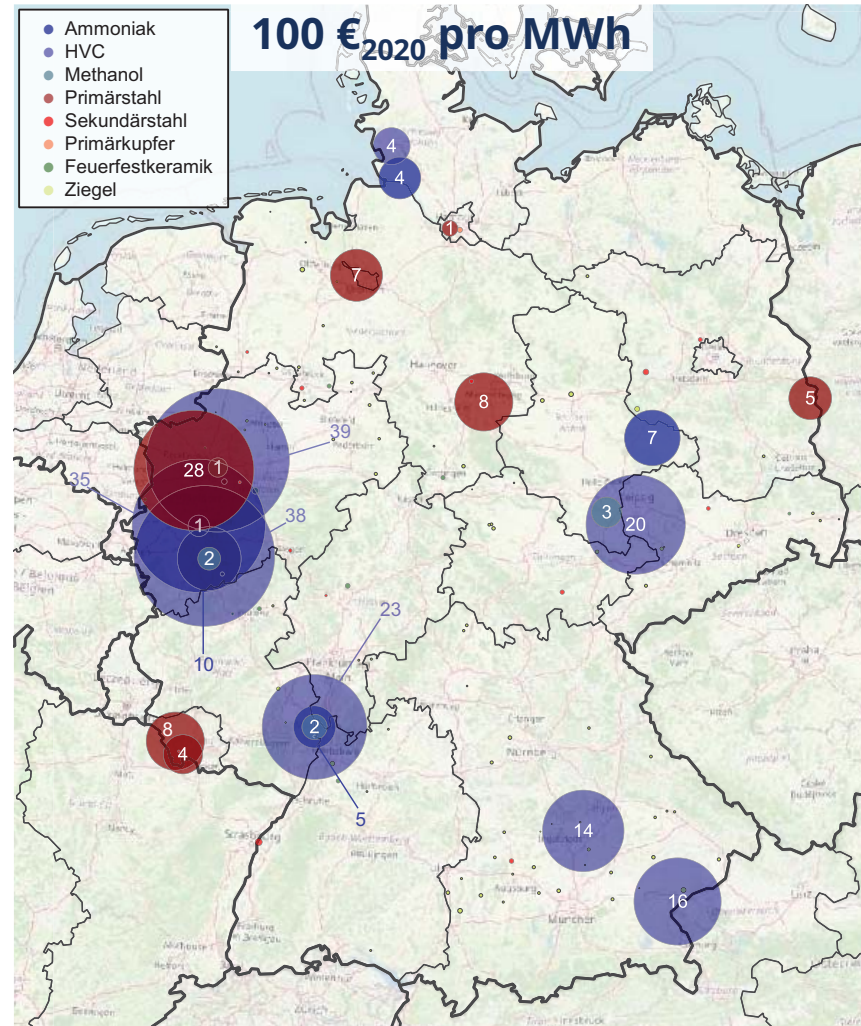
*Abweichung H₂-Steamcracker und MtO-Verfahren

- 1 Auswahl der Produktionssysteme
- 2 Definition von Referenz-Systemen
- 3 Festlegung des Szenariorahmens
- 4 Finden der effizienten Vermeidungsoption
- 5 **Bestimmung der Energiebedarfe**
- 6 Regionalisierung auf Standorte

- Die Potentialmenge für Wasserstoff des Industriesektors beläuft sich auf 473 TWh (+43 TWh, -60 TWh), die potentielle Menge an Strom für die direkte Elektrifizierung beträgt 304 TWh (+66 TWh, -37 TWh).
- Die Break-Even-Wasserstoffpreise liegen überwiegend bei 50₂₀₂₀/MWh bis 100 €₂₀₂₀/MWh.
- Bei Wasserstoffpreisen von mehr als 125 €₂₀₂₀ pro MWh werden nahezu alle Prozesse, bei denen dies möglich ist, direkt elektrifiziert.
- Zum Vergleich: Die Stromnachfrage des Industriesektors lag 2019 laut AGEB bei 218 TWh, die von Erdgas bei 221 TWh. Bereits der Wasserstoffbedarf für „No-Regret“-Anwendungen liegt bei 281 TWh (+26 TWh, -31 TWh). Insgesamt wurden in Deutschland 893 TWh an Erdgas umgesetzt.

Regionalisierung der Wasserstoffnachfrage

Standortbezogene Bedarfe im Jahr 2045 für die Wasserstoffpreise 100 €/MWh und 70 €/MWh



- 1 Auswahl der Produktionssysteme
- 2 Definition von Referenz-Systemen
- 3 Festlegung des Szenariorahmens
- 4 Finden der effizienten Vermeidungsoption
- 5 Bestimmung der Energiebedarfe
- 6 Regionalisierung auf Standorte

Durchschnittliche Nachfrage eines Standorts je Branche:

- Stahl: 14,7 TWh
- Chemie: 10,5 TWh
- Sonst.: 0,1-0,3 TWh

➤ viele Standorte mit niedriger Nachfrage bei Industrien mit primär Prozesswärmebedarf

AGENDA

①

Motivation

CO₂-Vermeidungskosten als Werkzeug zur Bestimmung kosteneffizienter Transformationspfade

②

Hintergrund

Methodik zur Abschätzung künftiger Energiebedarfe

③

Ergebnisse

Bedarfe an Wasserstoff und Elektrizität

④

Fazit

Zusammenfassung und Ausblick

Fazit

Zusammenfassung, Ausblick und Diskussion

Wesentliche Ergebnisse

- Im Jahr 2035 ist der sich fundamental ergebende Wasserstoffbedarf stark von den getroffenen Szenarioannahmen abhängig und liegt zwischen 0 TWh und 82 TWh.
- Im Jahr 2045 ist die Wasserstoffnachfrage durch den Bedarf von sogenannten „No-Regret“-Anwendungen geprägt.
- Diese würden im Falle der Beibehaltung der Produktion in Deutschland punktuell sehr hohe Wasserstoffmengen nachfragen.
- Die Bedarfe für Prozesswärme fallen insgesamt geringer als die von „No-Regret“-Anwendungen aus und die standortbezogenen Mengen weisen eine deutlich dezentralere Verteilung auf.

Weitere Aktivitäten

- Merit-Order von Prozessumstellungen
- Implementierung der erhobenen techno-ökonomischen Daten und der Standortdaten in ein Netzausbaumodell
- Untersuchung des Einflusses der Wasserstoffnachfrage auf Wasserstoffpreise in einem Wasserstoffmarktmodell

Offene Fragen

- ◇ Nutzbarmachung des Wasserstoffelektrolyse-Nebenprodukts Sauerstoff
- ◇ Verlegung von Wertschöpfungsstufen ins Ausland
- ◇ Leitungsumrüstungen oder -neubau