

# **Wasserstoffinfrastruktur in globalen Lieferketten**

Exposé für eine Bachelorarbeit

Denny

1. Februar 2026

# **Inhaltsverzeichnis**

<b>Ausgangslage</b>	<b>1</b>
<b>Problemstellung / Herausforderung und Forschungsstand</b>	<b>2</b>
<b>Formulierung der Forschungsfragen</b>	<b>2</b>
<b>Zielsetzung und Aufgabenstellung</b>	<b>3</b>
<b>Gliederung</b>	<b>4</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>Concept Map</b>	<b>9</b>

# Ausgangslage

Die globale Energiewende erfordert die schnelle Dekarbonisierung von schwer zu elektrifizierenden Sektoren wie Stahlproduktion, Chemie und Langstreckentransport. Wasserstoff ( $H_2$ ) gilt dabei als Schlüsseltechnologie: Er kann als Energieträger für diese Sektoren dienen und in erneuerbaren Energiesystemen überschüssige Elektrizität speichern.

## Der aktuelle Stand (2025)

- **Angebotslücke:** Die globale grüne  $H_2$ -Produktion liegt bei etwa 5 Megatonnen pro Jahr, während die erwartete Nachfrage bis 2050 auf 500+ Megatonnen projiziert wird.
- **Infrastrukturdefizit:** Die meisten Länder verfügen nicht über spezialisierte  $H_2$ -Transportnetze. Es gibt weltweit nur etwa 4.600 km Wasserstoff-Pipelines, während für die Skalierung hunderttausende Kilometer notwendig sind.
- **Regionale Unterschiede:** Industrieländer wie Deutschland und Japan investieren aktiv in  $H_2$ -Infrastruktur, während andere Regionen aufgrund fehlender Finanzierung, Regulierung und technologischer Reife zurückbleiben.

## Beispiele bestehender Initiativen

- **EU Hydrogen Backbone:** Geplantes europäisches Verbundnetz von 39.700 km Wasserstoff-Pipelines (2030–2040)
- **Japan/Südkorea:** Importorientierte Strategie mit Partnerschaften zu Australien und dem Nahen Osten
- **Australien:** Export-fokussiert, verfügt über große Mengen erneuerbarer Energie für  $H_2$ -Produktion

Diese regionalen Unterschiede zeigen: Es gibt nicht einen einzigen „richtigen Weg“, sondern unterschiedliche Implementierungsstrategien je nach geografischem Kontext und vorhandenen Ressourcen.

# Problemstellung / Herausforderung und Forschungsstand

**Das Kern-Dilemma (Chicken-and-Egg Problem):** Investoren wollen nur in H<sub>2</sub>-Infrastruktur investieren, wenn ausreichend Nachfrage vorhanden ist. Andererseits können Unternehmen nicht in H<sub>2</sub>-basierte Produktionsprozesse umsteigen, wenn die Infrastruktur fehlt. Dieses Koordinationsproblem verzögert weltweit die Dekarbonisierung.

## Aktuelle Herausforderungen

1. **Regulatorisch:** Unterschiedliche internationale Standards (ISO 14687, EU-Gasrichtlinie, nationale Sicherheitsvorschriften) erschweren grenzüberschreitende Projekte.
2. **Technisch:** Wasserstoff-Speicherung und -Transport erfordern spezialisierte Infrastruktur (Salzkavernen für Speicherung, Rohre mit H<sub>2</sub>-Sperrsicht, spezialisierte Schiffe für Flüssigtransport).
3. **Ökonomisch:** Grüner Wasserstoff ist noch teuer (aktuell 3–8 €/kg, Ziel bis 2030: 12 €/kg). Große Infrastrukturinvestitionen erfordern klare Geschäftsmodelle und staatliche Unterstützung.
4. **Logistisch:** Wasserstoff ist dünn und schwer zu transportieren. Verschiedene Transport-Modi (Pipeline, Schiff, Truck, chemische Träger wie Ammoniak) haben unterschiedliche Kosten und Eignung je nach Distanz und Volumen.

## Stand der Forschung

Bestehende Arbeiten konzentrieren sich oft auf Einzelaspekte (Technologie, Umwelt, Märkte). Es fehlt eine systematische Analyse, wie diese Dimensionen zusammenspielen und welche **regionsabhängigen Implementierungsstrategien** am vielversprechendsten sind.

## Formulierung der Forschungsfragen

**Hauptfrage:**

Welche Implementierungsstrategien für Wasserstoffinfrastruktur sind in unterschiedlichen regionalen Kontexten wirtschaftlich rentabel und regulatorisch machbar?

### **Unterfragen:**

1. **RQ1:** Welche regulatorischen, technischen, wirtschaftlichen und logistischen Barrieren hemmen die H<sub>2</sub>-Infrastrukturentwicklung in unterschiedlichen Regionen?
2. **RQ2:** Wie unterscheiden sich regionale Ansätze (EU-Backbone-Modell vs. asiatisches Import-Modell vs. australisches Export-Modell) in der Überwindung dieser Barrieren?
3. **RQ3:** Welche Implementierungsstrategien zeigen das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis unter Berücksichtigung regionaler Rahmenbedingungen?

## **Zielsetzung und Aufgabenstellung**

Die Abschlussarbeit verfolgt folgendes Ziel:

**Empirische Grundlagen schaffen** für die Priorisierung von H<sub>2</sub>-Infrastrukturinvestitionen durch:

- Vergleichende Analyse von 3 regionalen Modellen (Europa, Asien-Pazifik, Australien)
- Systematische Bewertung von Barrieren und Erfolgsfaktoren
- Quantitative Kostennutzenanalyse für unterschiedliche Szenarios

### **Die Arbeit wird:**

1. **Theoretische Grundlagen** liefern (H<sub>2</sub>-Technologie, Supply-Chain-Konzepte, Barrieren)
2. **Benchmarking durchführen:** Vergleichende Matrix der regionalen Ansätze (Regulierung, Technologie, Wirtschaft, Logistik)
3. **Kostennutzenanalyse (CBA) anwenden:** NPV-Berechnung für 2–3 Implementierungsszenarien pro Region

4. **Sensitivitätsanalyse erstellen:** Wie beeinflussen politische Variablen (Subventionen, CO<sub>2</sub>-Preise) die Rentabilität?
5. **Praktische Empfehlungen** formulieren für Entscheidungsträger (Politiker, Infrastrukturunternehmen, Energieunternehmen)

## Gliederung

### 1. Einleitung (4–5 Seiten)

- 1.1 Motivation: Wasserstoff als Schlüssel der Energiewende
- 1.2 Problemstellung: Das Chicken-and-Egg Dilemma
- 1.3 Forschungsfragen und Ziele
- 1.4 Aufbau der Arbeit

### 2. Theoretische Grundlagen (8–10 Seiten)

- 2.1 Wasserstoff-Technologie und Herstellung
  - Produktionsmethoden (grauer, blauer, grüner Wasserstoff)
  - Speicherung und Transport (Pipeline, flüssig, chemische Träger)
- 2.2 Supply-Chain- und Infrastrukturkonzepte
  - Netzwerkdesign und Interdependenzen
  - Infrastrukturelles Bottleneck-Denken
- 2.3 Globale H<sub>2</sub>-Infrastrukturlandschaft
  - Aktueller Stand: Produktion, Projekte, regionale Strategien
  - EU Hydrogen Backbone, Japan/Korea Import-Initiativen, Australien Export
- 2.4 Barrieren und Erfolgsfaktoren der Implementierung
  - Regulatorische Hürden (Standards, Sicherheit, Genehmigungen)
  - Technische Anforderungen

- Ökonomische Rentabilität
- Logistische Koordination

### **3. Methodik (3–4 Seiten)**

- 3.1 Forschungsdesign: Vergleichende Analyse
- 3.2 Benchmarking-Framework (4 Dimensionen)
- 3.3 Cost-Benefit-Analysis Modell
- 3.4 Datenquellen und Analyserahmen
- 3.5 Geografischer und methodischer Scope

### **4. Ergebnisse (12–15 Seiten)**

- 4.1 Benchmarking-Ergebnisse: Regionale Vergleichsmatrix
  - Regulatorische Readiness
  - Technische Infrastruktur-Status
  - Kosten-Struktur und Geschäftsmodelle
  - Implementierungs-Zeithorizonte
- 4.2 Cost-Benefit-Analysis
  - Szenario-Definition (zentral vs. dezentral, Pipeline vs. Maritime)
  - NPV-Berechnungen für 2–3 Szenarien pro Region
  - Break-Even-Analysen
- 4.3 Sensitivitätsanalyse
  - Einfluss von Subventionen
  - CO<sub>2</sub>-Preis-Variation
  - Technologische Kostenreduktionen

## **5. Diskussion (8–10 Seiten)**

5.1 Synthese der Benchmarking-Ergebnisse

5.2 Interpretation der CBA-Ergebnisse

5.3 Beantwortung der Forschungsfragen

5.4 Regionale Implikationen und Trade-offs

5.5 Limitationen und offene Fragen

## **6. Fazit (3–4 Seiten)**

6.1 Zusammenfassung der Erkenntnisse

6.2 Handlungsempfehlungen für Entscheidungsträger

6.3 Ausblick und zukünftige Forschung

# Literaturverzeichnis

## Technologie und Infrastruktur

- Hydrogen Council. (2021). *Hydrogen for net-zero growth: A critical price moment*. Hydrogen Council.
- International Energy Agency. (2021). *The Future of Hydrogen*. IEA Publications.
- Leeuwen, R. P., et al. (2022). Hydrogen infrastructure for the energy transition. *Renewable Energy*, 190, 1–12.
- Scapolo, F., & Smeets, E. (2020). Hydrogen: A promising energy vector. *Energy Policy*, 140, 111319.

## Supply-Chain und Logistik

- Christopher, M. (2016). *Logistics & Supply Chain Management* (5th ed.). Pearson Education.
- Pimentel, E., et al. (2019). Hydrogen supply chains: An integrated assessment. *Applied Energy*, 255, 113863.

## Regionale Strategien

- Hydrogen Europe. (2022). *Hydrogen Roadmap Europe: A sustainable pathway for the European Energy Transition*.
- Ministry of Economy, Trade and Industry Japan. (2021). *Strategic Roadmap for Hydrogen and Fuel Cells*.
- Department of Climate Change, Energy, Environment and Water Australia. (2023). Hydrogen Headstart Scheme.

## Ökonomische Bewertung

- Schmidt, O., et al. (2019). Green hydrogen from power-to-X: Technology status and perspectives. *Frontiers in Energy Research*, 8, 1–23.
- Buttler, A., & Müller, M. (2021). Making sense of supply roles for hydrogen in Europe's energy transition. *Nature Climate Change*, 11(5), 383–390.

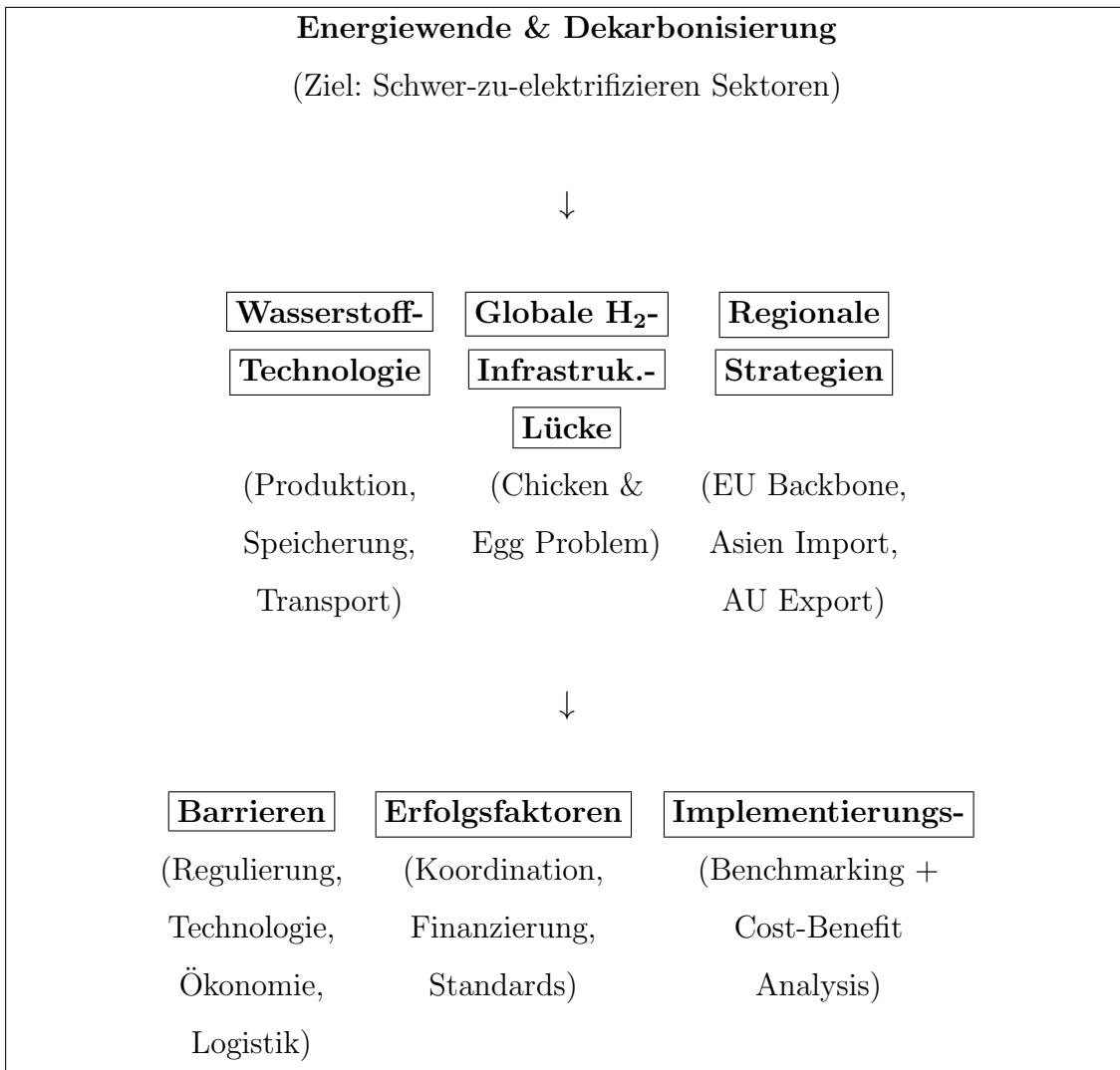
## **Politische und regulatorische Aspekte**

European Commission. (2020). *A hydrogen strategy for a carbon-neutral Europe.*

Weibel, C., & Blum, N. U. (2022). Global hydrogen infrastructure development. *Energy Policy*, 165, 112933.

# Concept Map

## H<sub>2</sub>-Infrastruktur-Deployment: Synthese der Analyserahmen



### Methodik-Integration:

- **Benchmarking:** Vergleicht die 4 Dimensionen systematisch über 3 Regionen
- **CBA (Kostennutzenanalyse):** Quantifiziert wirtschaftliche Rentabilität
- **Sensitivitätsanalyse:** Testet Robustheit gegenüber politischen Parametern