

Wasserstoffinfrastruktur in globalen Lieferketten

Exposé für eine Bachelorarbeit

Denny

1. Februar 2026

Inhaltsverzeichnis

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

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 H₂-Infrastruktur investieren, wenn ausreichend Nachfrage vorhanden ist. Andererseits können Unternehmen nicht in H₂-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 H₂-Sperrschicht, spezialisierte Schiffe für Flüssigtransport).
3. **Ökonomisch:** Grüner Wasserstoff ist noch teuer (aktuell 3–8 €/kg, Ziel bis 2030: <2 €/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 H₂-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 H₂-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 (H₂-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, CO₂-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 H₂-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
 - CO₂-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.

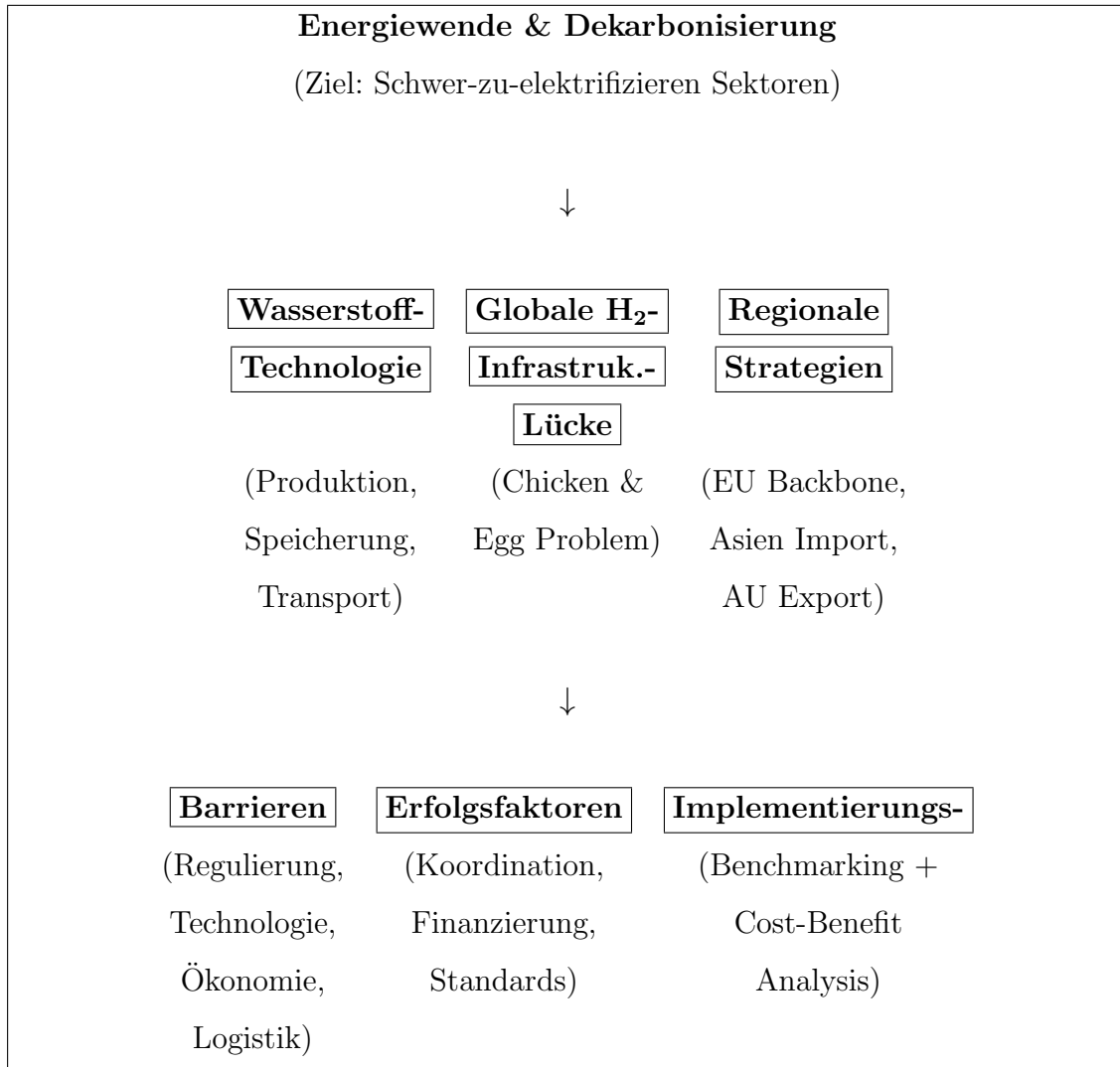
Politische und regulatorische Aspekte

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

H₂-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