

Ergebnisse des Projektes „Wasserstoff in der maritimen Wirtschaft“

Überblick & Bewertung von Technologieoptionen

Klaus Stolzenburg und Katharina Buss



Ingenieurbüro für Energie- und Versorgungstechnik

Donnerschweer Straße 89/91, 26123 Oldenburg

k.stolzenburg@planet-energie.de, k.buss@planet-energie.de



Ingenieurbüro für Energie- und Versorgungstechnik

Aktivitäten im Geschäftsfeld Wasserstoff u.a.:

- **Wind-Wasserstoff-Systeme:**
Studien, Konzeptentwicklung und Hardware-Projekte, seit 1998
- **Demonstration von Brennstoffzellen-Fahrzeugen (Busse und Pkw) und Wasserstoff-Tankstellen seit 2001, europaweit**
- **Bedarfsplanung zur Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge an Bundesfernstraßen (Batterie- und Wasserstoff-Fahrzeuge), für die Bundesanstalt für Straßenwesen, 2013/14**
- **Wirtschaftlichkeitsanalysen, Umweltbilanzen etc.**

Technologiestudie mit fünf Themenfeldern

1. Erzeugung von Wasserstoff (H_2)

2. Speicherung von Wasserstoff

3. Transportmöglichkeiten

4. Nutzung von Wasserstoff in der maritimen Wirtschaft

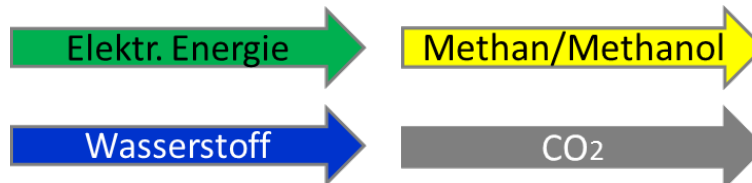
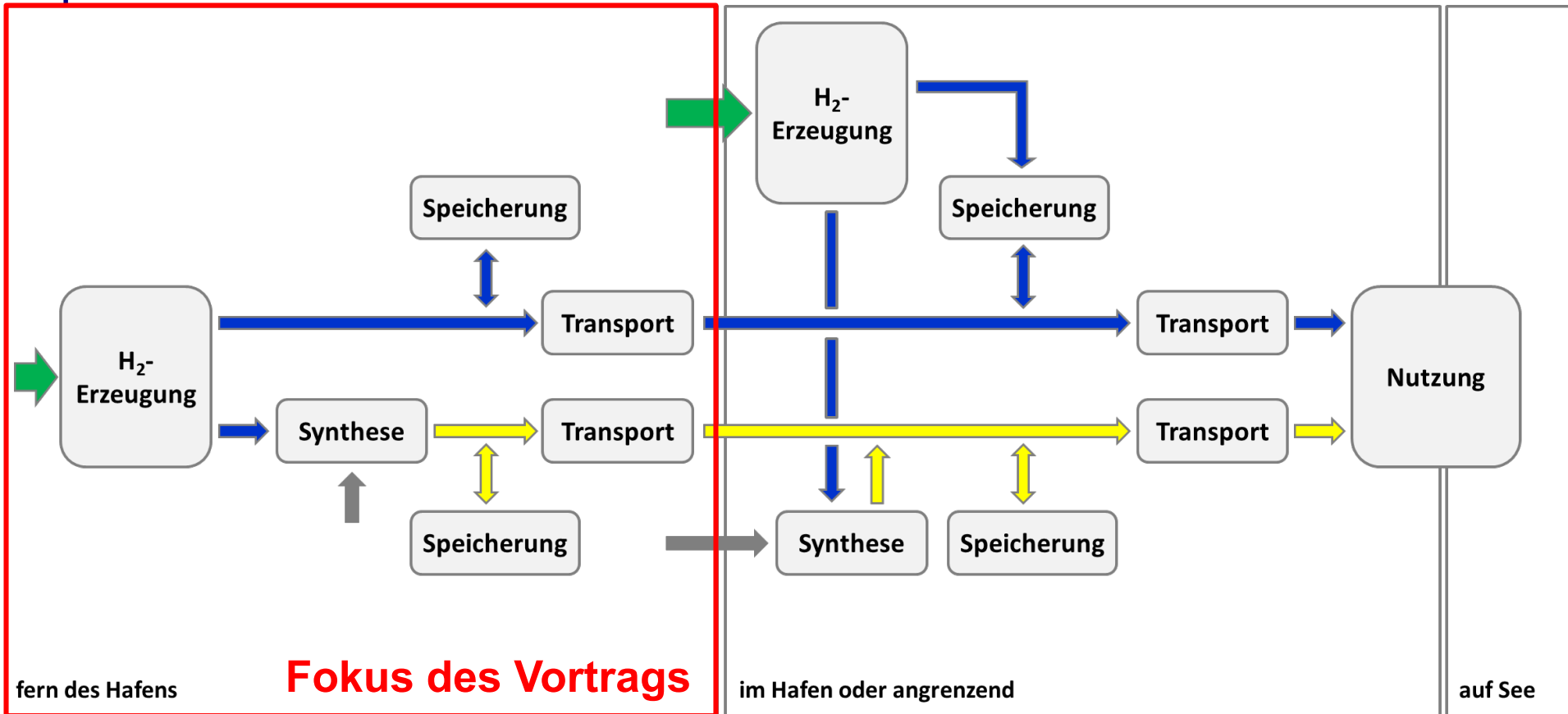
jeweils unter Berücksichtigung verschiedener Technologie-Optionen

- **Synthese und Nutzung von Methan bzw. Methanol als Alternative (wasserstoffreich: gasförmiges CH_4 bzw. flüssiges CH_3OH)**

Hintergrund: Wasserstoff als Speichermedium

- **Erzeugungs- und Lastprofile in Einklang bringen, zeitlich und räumlich → Logistik-Ketten schaffen**

Logistik-Kette Wasserstoff bzw. wasserstoffreiche Stoffe



Nutzungsbeispiele: Hafen- bzw. Schifffahrts-typische Anwendungen d.h. in der Regel Bewegung von Gütern oder Personen

Zweck: Dimensionen anschaulich und vergleichbar machen

Nutzungsfall (mittlere Auslastung)		täglicher Kraftstoffbedarf
A.	10 Gabelstapler (16 h / Tag)	64 kg H₂
B.2	10 Straddle Carrier (13,7 h / Tag)	1.370 kg H₂
D	Fähre Bremerhaven - Blexen (9 h / Tag)	900 kg H₂

1 kg H₂ = 33,33 kWh H₂ (Heizwert) = 3,3 Liter (Straßen-) Diesel

1. Erzeugung: Technologieoptionen Elektrolyse

- **alkalische Elektrolyseure: ausgereifte Technologie, mit Entwicklungspotential; größte realisierte Anlage: 156.000 kW_{el}**
- **PEM-Elektrolyse: relativ neu, größere Einheiten in der Entwicklung, mittel-/langfristig Vorteile zu erwarten** 

Annahme: diskontinuierlicher Betrieb

Nutzungsfall		nötige elektrische Leistungsaufnahme	
		kontinuierlicher Betrieb: 8.760 h/a	diskontinuierlicher Betrieb: 2.190 h/a
A.	10 Gabelstapler	150 kW _{el}	600 kW _{el}
B.2	10 Straddle Carrier	3.170 kW _{el}	12.680 kW _{el}
D	1 Fähre	2.090 kW _{el}	8.360 kW _{el}

2./3. Wasserstoffspeicherung und -transport

**Kernfrage: gasförmig unter Druck oder flüssig
bei täglichem Bedarf von 64, 900 bzw. 1.370 kg**

Transportweise	Menge pro Transport ca.
Lkw, gasförmig, 200 bar	500 kg H ₂
Lkw, gasförmig, 500 bar	1.000 kg H ₂
Lkw, flüssig, -253°C	4.000 kg H ₂
Pipeline, gasförmig, ≤ 100 bar	„beliebig viel“



2./3. Wasserstoffspeicherung und -transport

Kernfrage: gasförmig unter Druck oder flüssig

- **Flüssig-Wasserstoff (-253°C, knapp über absolutem Nullpunkt):**
 - **hoher Aufwand für Verflüssigung:**
heute 12 kWh/kg H₂, zukünftig < 7 kWh/kg H₂,
bei einem Energieinhalt von 33,33 kWh/kg H₂
 - **gleichmäßige Auslastung nötig, hohe Investition**
(für zukünftige, effiziente Anlage: > 40.000 kg/Tag; > 100 Mio. €)
- **Speicherung von gasförmigem Wasserstoff**
 - **in Stahlzylindern (alltäglich; keine Standortbindung)**
 - **in Röhrenspeichern (bisher für Erdgas; keine Standortbindung)**
 - **in Salzkavernen (kostengünstig, jedoch Standortbindung;
in USA & England bereits realisiert)** 

4. Wasserstoffnutzung

Technologieoptionen

- **Niedertemperatur-Brennstoffzellen:**
 - **PEM-BZ:** u.a. kurze Anfahrzeit, günstiges Verhältnis Gewicht/Leistung; Herausforderungen: spez. Kosten, Lebensdauer
 - **alkalische BZ:** in der Entwicklung, zukünftig ggf. Kostenvorteile gegenüber PEM-BZ
- **Hochtemperatur-Brennstoffzellen,**
weniger günstig für mobile bzw. intermittierende Anwendungen
- **H₂-Gasmotoren:** erprobt in Bussen und BHKW,
jedoch NO_x-Emissionen



Zusammenfassung

allgemein: jeweils mindestens eine Technologieoption verfügbar,
ggf. weitere in der Entwicklung; Skalierbarkeit gegeben

1. Wasserstoffherzeugung:

Entwicklungsbedarf, u.a. um bei hohem Wirkungsgrad
Kostensenkungen zu erzielen und Lebensdauer zu erhöhen;
grüner Strom essentiell für CO₂-Einsparungen

2. und 3. Speicherung und Transport von Wasserstoff: breites Spektrum von Optionen

4. Nutzung von Wasserstoff:

Entwicklungsbedarf wie bei der Elektrolyse;
eventuelle Mehrkosten müssen durch Vorteile aufgewogen werden

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Klaus Stolzenburg und Katharina Buss



Ingenieurbüro für Energie- und Versorgungstechnik

Donnerschweer Straße 89/91, 26123 Oldenburg

k.stolzenburg@planet-energie.de,

k.buss@planet-energie.de