

Einsatz von Wasserstoff in der maritimen Wirtschaft

Überblick & Bewertung von Technologieoptionen

Klaus Stolzenburg, 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

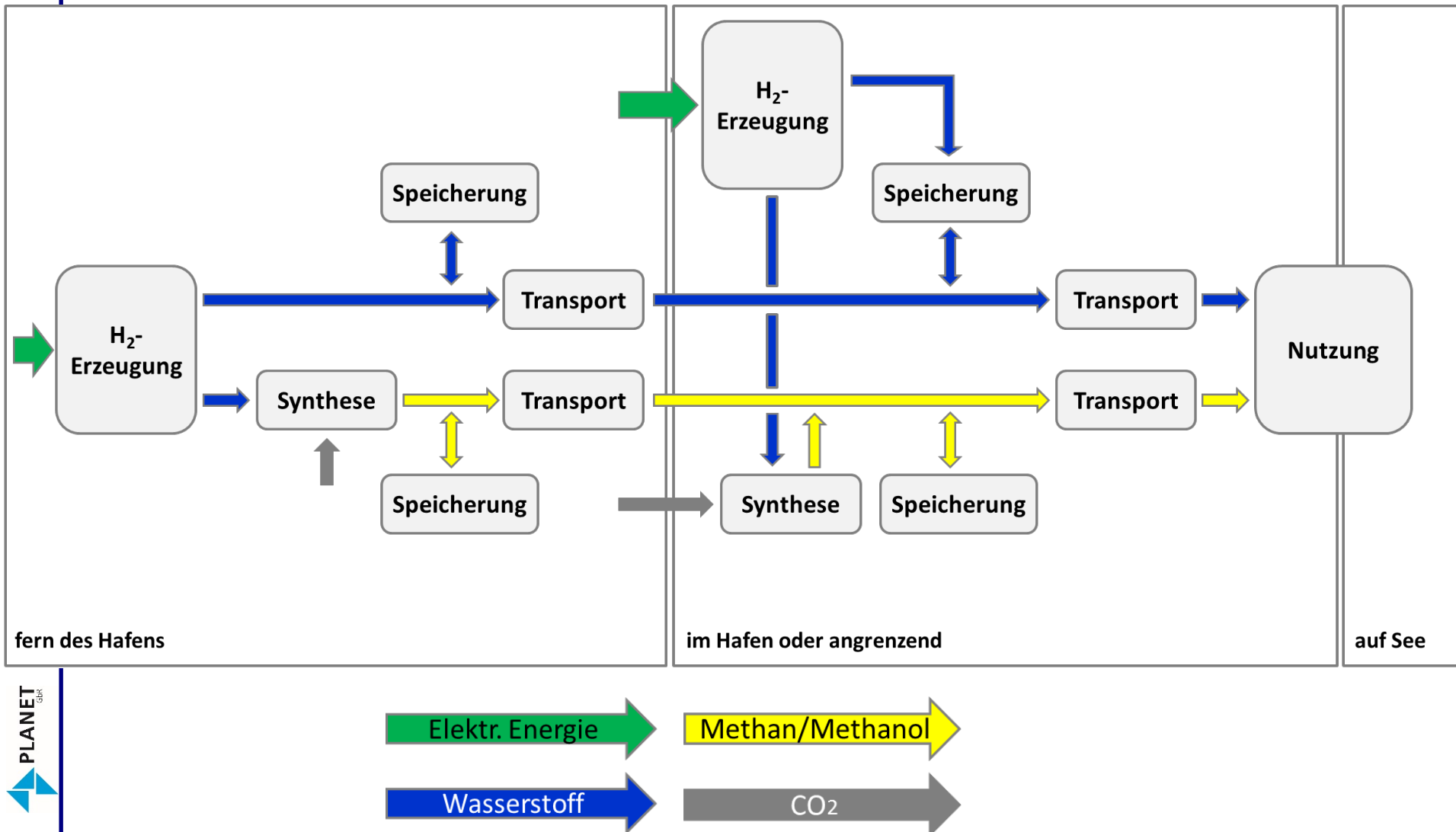
- 1. Erzeugung von Wasserstoff (H₂)**
- 2. Speicherung von Wasserstoff**
- 3. Transportmöglichkeiten**
- 4. Nutzung von Wasserstoff in der maritimen Wirtschaft**
 - Synthese von Methan bzw. Methanol als Option
(wasserstoffreich; gasförmiges CH₄ bzw. flüssiges CH₃OH)**

jeweils mit unterschiedlichen Technologie-Optionen

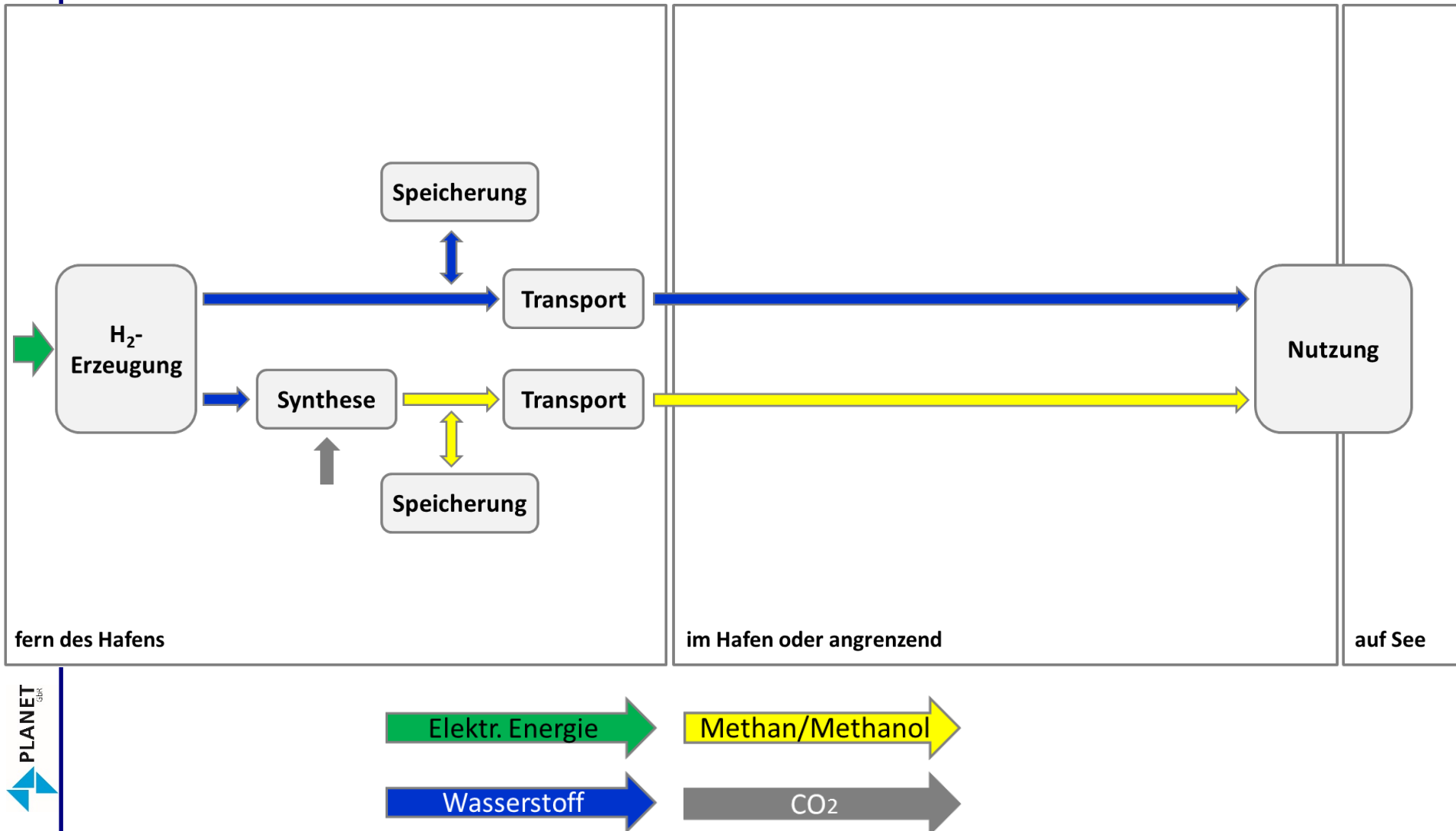
Hintergrund: Wasserstoff als Speichermedium

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

Logistik-Kette Wasserstoff bzw. wasserstoffreiche Stoffe



Fokus des Vortrags



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

auf dem Hafengelände:

- A. Gabelstapler**
- B. Straddle Carrier (Portalhubwagen)**

Schiff im Hafen:

- C. Bordstromversorgung eines Kreuzfahrtschiffes**

Schiff unterwegs:

- D. Fähre Bremerhaven - Blexen**

Zweck: Dimensionen anschaulich und vergleichbar machen

Kraftstoffbedarf bei mittlerer Auslastung

Nutzungsfall		mittlerer täglicher Wasserstoffbedarf
A.	10 Gabelstapler (16 h / Tag)	64 kg H ₂
B.1	1 Straddle Carrier (13,7 h / Tag)	137 kg H ₂
B.2	10 Straddle Carrier	1.370 kg H ₂
B.3	250 Straddle Carrier	34.250 kg H ₂
C	Bordstrom für Kreuzfahrtschiff (20°C)	9.600 kg H ₂
D	Fähre Bremerhaven - Blexen (9 h / Tag)	900 kg H ₂

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

Kraftstoffbedarf bei mittlerer Auslastung

Nutzungsfall		mittlerer täglicher Wasserstoffbedarf
A.	10 Gabelstapler (16 h / Tag)	64 kg H₂
B.1	1 Straddle Carrier (13,7 h / Tag)	137 kg H ₂
B.2	10 Straddle Carrier	1.370 kg H₂
B.3	250 Straddle Carrier	34.250 kg H ₂
C	Bordstrom für Kreuzfahrtschiff (20°C)	9.600 kg H₂
D	Fähre Bremerhaven - Blexen (9 h / Tag)	900 kg H₂

1. Erzeugung: Technologieoptionen Elektrolyse

- **alkalische Elektrolyseure: ausgereifte Technologie, mit Entwicklungspotential**
- **PEM-Elektrolyse: relativ neu, größere Einheiten in der Entwicklung, mittel-/langfristig Vorteile zu erwarten** 

Annahme: diskontinuierlicher Betrieb mit kostengünstigem Strom

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}

- **größte bisher realisierte Elektrolyse: 156.000 kW_{el}**

3. Wasserstoffspeicherung und -transport

Kernfrage: gasförmig unter Druck oder flüssig

Transportweise	Menge pro Transport ca.	Anzahl Transporte pro Tag benötigt		
		Fall A	Fall B.2	Fall D
Lkw, gasförmig, 200 bar	500 kg H ₂	< 1	2 - 3	2
Lkw, gasförmig, 500 bar	1.000 kg H ₂	< 1	1 - 2	1
Lkw, flüssig, -253°C	4.000 kg H ₂	< 1	< 1	< 1
Pipeline, gasf. ≤ 100 bar	„beliebig“			

- Pipeline: hohe Investition (0,5 bis 1 Mio. €/km)
→ für kurze Strecken (z.B. innerhalb des Hafens) oder sehr große Mengen mit langfristiger Perspektive (vgl. Erdgasnetz) 

2. Wasserstoffspeicherung und -transport

Kernfrage: gasförmig unter Druck oder flüssig

- **Flüssig-Wasserstoff (-253°C, knapp über absolutem Nullpunkt):**
 - **weniger Lkw-Transporte, aber 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 (> 100 Mio. € für zukünftige, effiziente Anlage → eher 100 km Pipeline?)**
- **Speicherung von gasförmigem Wasserstoff**
 - **in Stahlzylindern (alltäglich; keine Standortbindung)**
 - **in Röhrenspeichern (bisher für Erdgas; keine Standortbindung)**
 - **in Salzkavernen (in USA & England realisiert; kostengünstig, aber Standortbindung an passende Salzformationen)**



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
- **H₂-Gasmotoren:** erprobt in Bussen und BHKW; NO_x-Emissionen



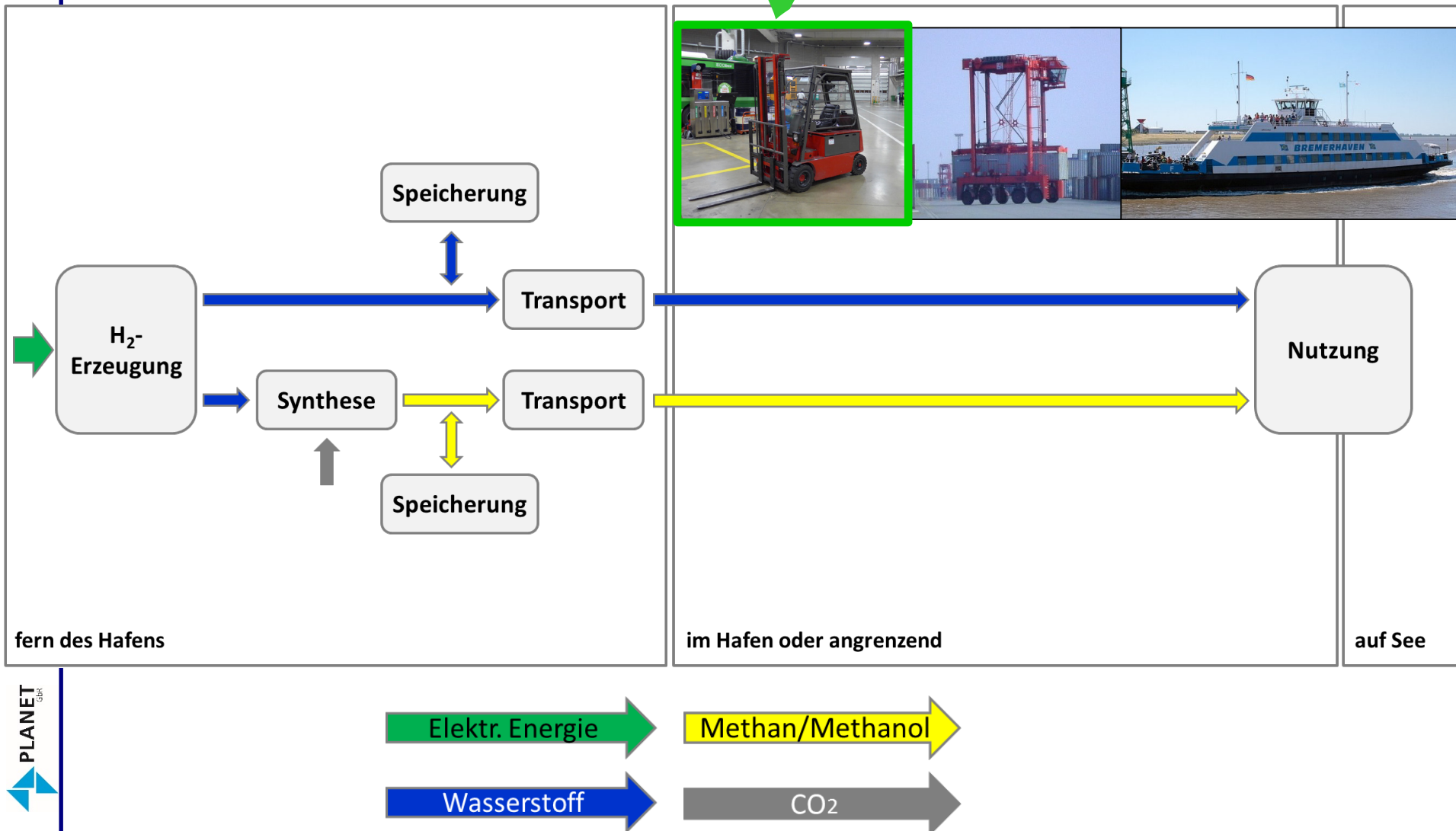
Alternative Methanol:

- **laufendes NOW-Projekt:** Nutzung Methanol an Bord, Reformierung vor der Brennstoffzelle, 30 bzw. 60 kW-System zur dezentralen Bordstromversorgung / „safe return to harbour“

Zusammenfassung / Bewertung: Verfügbarkeit und Eignung von Technologien

- 1. Wasserstoffherzeugung: Technologie verfügbar;
Entwicklungsbedarf, u.a. um bei hohem Wirkungsgrad
Kostensenkungen zu erzielen und Lebensdauer zu erhöhen;
grüner Strom essentiell für CO₂-Einsparungen**
- 2. Synthese von Methan bzw. Methanol:
begrenztes Potential für kostengünstiges, nicht-fossiles CO₂;
Kostensenkung möglich?**
- 3. Speicherung und Transport von Wasserstoff:
Technologie verfügbar, Skalierbarkeit gegeben**
- 4. Nutzung von Wasserstoff: Technologie verfügbar;
Entwicklungsbedarf wie bei der Elektrolyse;
eventuelle Mehrkosten müssen durch Vorteile aufgewogen werden**

Zusammenfassung Nutzungsbeispiele



Handlungsempfehlung für einen ersten Schritt

- wesentlich:
Erfahrungen sammeln mit der Nutzung des Wasserstoffs und den damit verbundenen Vorteilen und Herausforderungen
- hafentypische Anwendung (Logistik) auf dem Hafengelände
- kleine Flotte, mehr als nur *ein* Fahrzeug
- Wasserstoff-Versorgung zunächst ggf. über Gaselieferanten, der eventuell auch die Infrastruktur zur Betankung betreibt
- also: eine „Logistik-Insel“ auf Wasserstoffbasis errichten, etwas Greifbares bieten, das Interesse weiterer Akteure aus der maritimen Wirtschaft und darüber hinaus Interesse wecken kann und einen Netzwerk-Aufbau/-Ausbau ermöglicht

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Klaus Stolzenburg, Katharina Buss



Ingenieurbüro für Energie- und Versorgungstechnik

Donnerschweer Straße 89/91, 26123 Oldenburg

k.stolzenburg@planet-energie.de,

k.buss@planet-energie.de