

VDI VDE Studie Wasserstoff für den Schienenverkehr

Pressegespräch
19. September 2022

Rüdiger Wendt,
VDI Fachbeirat Bahntechnik
Tobias Bregulla,
VDE/VDI Fachausschuss Wasserstoff und Brennstoffzellen

Politische Ziele für den Sektor Schienenverkehr

- Dekarbonisierung des Mobilitätsbereichs bis 2045
- 75 % Elektrifizierung bis 2030
- Reaktivierung stillgelegter Strecken
- Verdopplung des Personenverkehrs bis 2030
- Steigerung des Güterverkehrs
- Sektorenkopplung unter Einbindung des Schienenverkehrs

Große politische Ziele für die Zukunft des Schienenverkehrs!
Betriebliche und technische Umsetzung bleibt aber herausfordernd.

Maßnahmen für die Umsetzung

- **Leistungsfähigkeit:** Planung und Umsetzung weiterer Elektrifizierungen
- **Kapazität:** Erweiterung des Schienennetzes
- **Verbesserung:** Ausbau bestehender Strecken
- **Transportleistung:** Mehr Fahrzeuge und besseres Angebot
- **Ökologie:** Reduktion der Emissionen

Wie lässt sich Bahnverkehr effizient und emissionsarm gestalten, wenn eine Vollelektrifizierung nicht umsetzbar ist?

Ziele der Studie

- Technische Optionen für klimaneutrale Antriebe ohne Oberleitung beschreiben
(Fokus hierbei: Wasserstoffbasierte Antriebssysteme)
- Systembetrachtung verdeutlichen
- Vergleich mit batteriebasierten Antrieben
- Barrieren für Wasserstoff im Bahnsektor **abbauen**

Ziel der Studie ist es, hierdurch langfristig den Anteil regenerativer Energie im Schienenverkehr zu erhöhen.

Motivation Alternative Antriebe

Vorzugslösung: Vollelektrifizierung mit Nutzung erneuerbarer Energien.

Problem: Elektrifizierung nicht überall umsetzbar:

- Strecken mit geringer Verkehrsbelastung: Elektrifizierung unwirtschaftlich
- Kapazitäten zur Planung und Errichtung von Elektrifizierungen begrenzt

Heute: Dieseltriebfahrzeuge auf teil- und nichtelektrifizierten Strecken

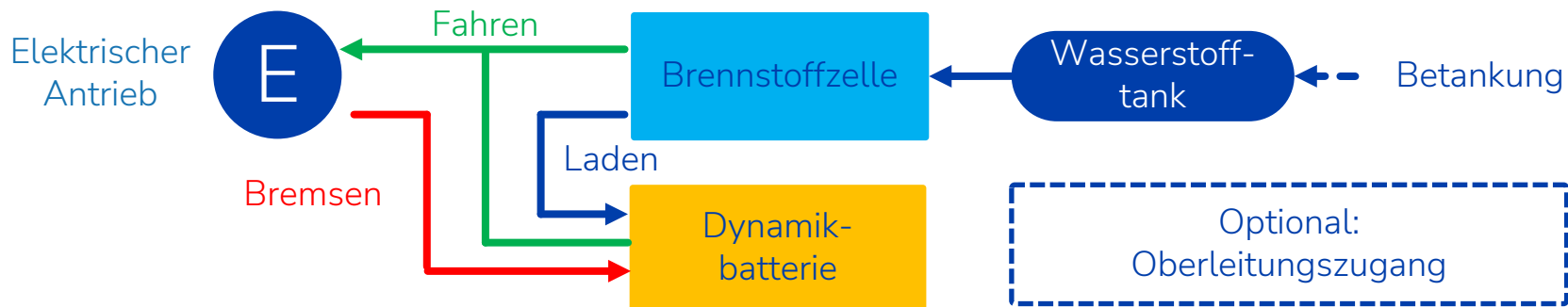
Wenn die Vollelektrifizierung nicht umsetzbar ist, bieten batterie- oder wasserstoffbasierte Antriebe eine wirtschaftliche Alternative zum Diesel.

Übersicht Fahrzeugantriebe BEMU/FCMU

Oberleitungs-/Batterie-Hybrid (en.: Battery-Electric Multiple Unit) kurz: BEMU

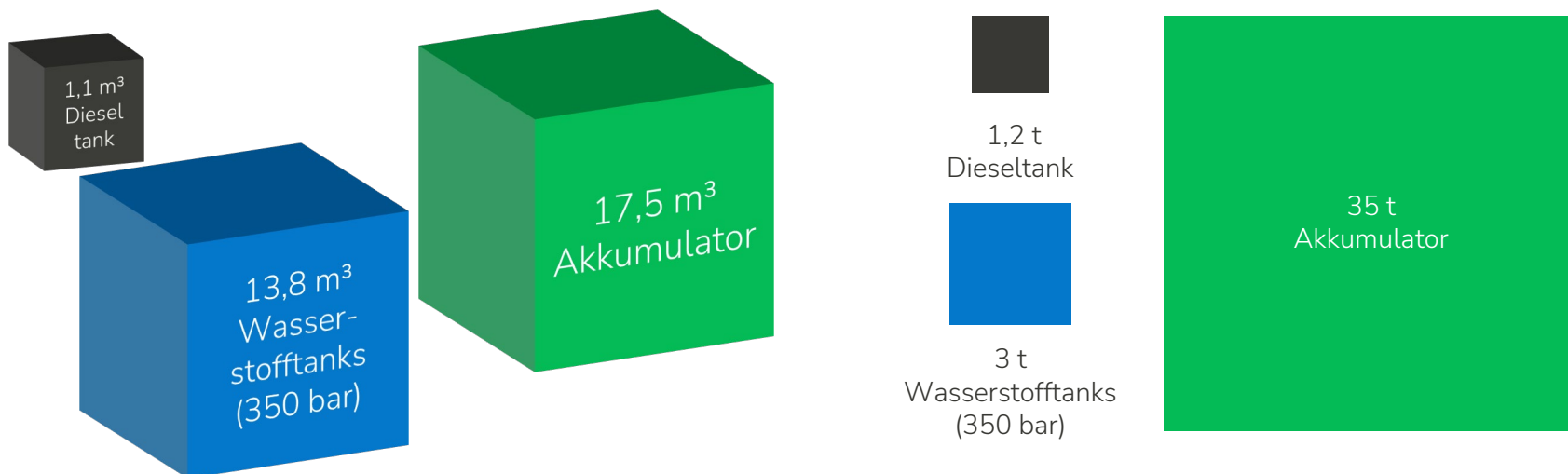


Wasserstoff/Batterie-Hybrid (en.: Fuel-Cell Multiple Unit) kurz: FCMU



Energieträger im Vergleich

Vergleich der benötigten Volumina und Massen der Energiespeichersysteme:
Grundannahme: Dieseltriebwagen, Reichweite: 1000 km, Verbrauch: 1l/km



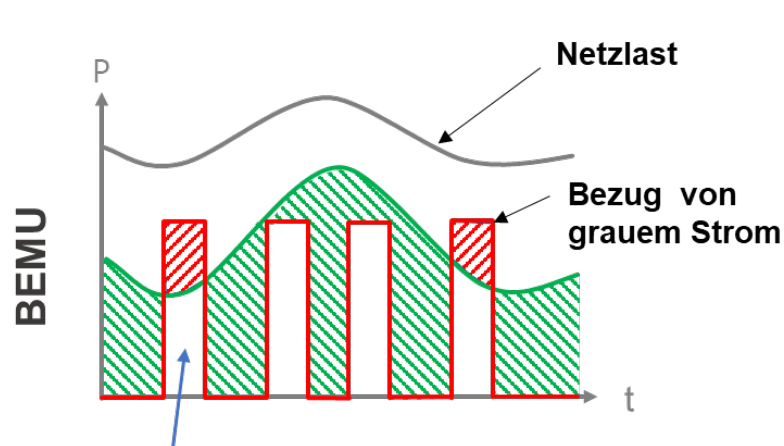
Wasserstofftanksysteme sind gleichermaßen wie Batteriespeicher voluminös, aber deutlich masseärmer als diese.

Energieerzeugung Wasserstoff

- Erzeugung des Wasserstoffs zentral oder dezentral.
- Emissionen: Abhängig von Wasserstoffherstellung (erneuerbare Elektroenergie, allgemeiner Strommix, Erdgas, etc.)
- Vertriebskonzept: Zentrale Erzeugung + Verteilung oder eigene Elektrolyse vor Ort.
- Infrastruktur und Anlagen erforderlich.



Energieversorgung im Vergleich

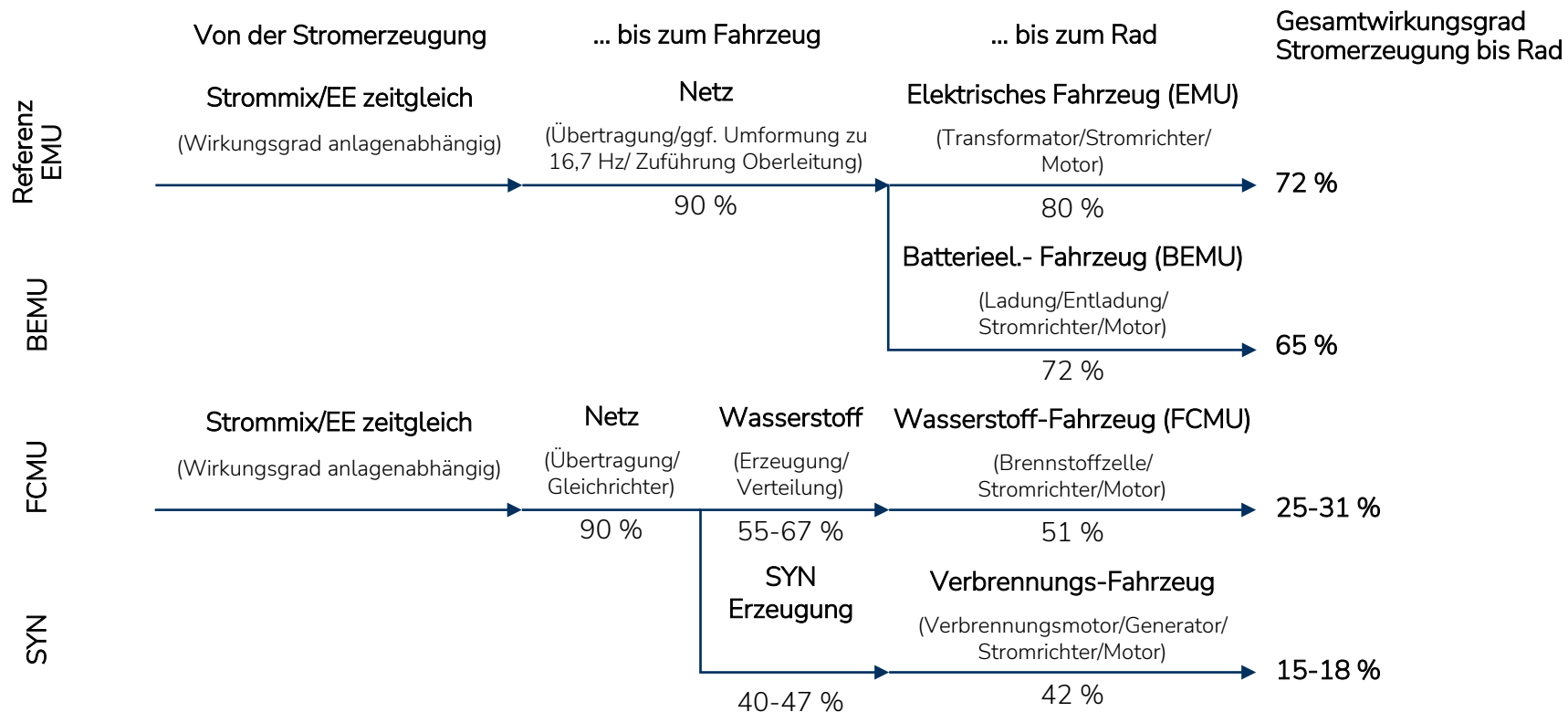


Laden der Batterien

Rot: Strombedarf BEMU bzw. Elektrolyseur
Rot-schraffiert: Bezug von Nicht-EE-Strom
Grün-schraffiert: Bezug von EE-Strom

Vergleich unterschiedlicher Fahrzeugantriebe

Effizienzketten

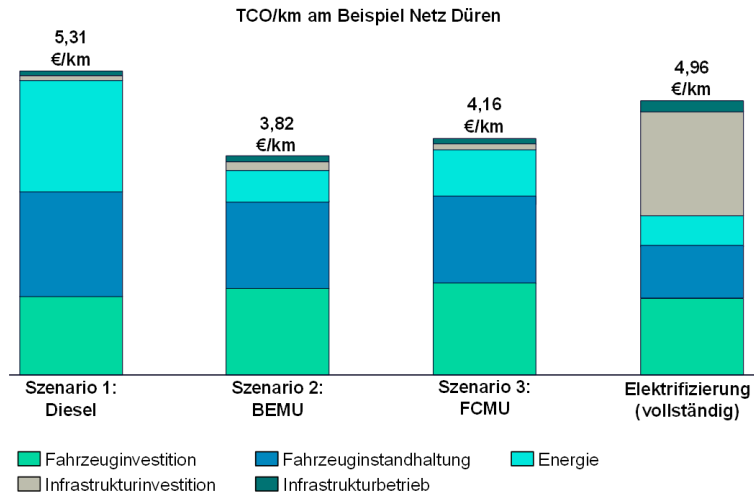


Wirtschaftlichkeit

Berücksichtigung und Vergleich aller Kosten im Fahrzeug-Lebenszyklus

- Errichtung, Instandhaltung und Restwert (am Ende der betrachteten Fahrzeug-Lebensdauer) von Oberleitungsanlagen/ Lade- oder Tankinfrastruktur
- Fahrzeugbeschaffung
- Fahrzeuginstandhaltung inklusive technologiespezifischer Wartung/Überarbeitung
- Energie- und Betriebskosten

Energieeffizienz beeinflusst
Energiekosten
Energiekosten beeinflussen TCO



Quelle: Analyse der VDE Studie "Bewertung klimaneutraler Alternativen zu Dieseltriebzügen, Dresden, 2021"

Kernaussagen

1. **Effizienzvorteile** sprechen für rein elektrische Antriebe mit Oberleitung.
2. Wirtschaftliche und technische Gründe sowie Genehmigungsaspekte können aber **gegen** den Aufbau einer Oberleitung sprechen.
3. **Elektrifizierungslücken mit begrenzter Ausdehnung:** Vorteile für Batteriefahrzeuge. Aber: Vorhaltung von leistungsfähiger Ladeinfrastruktur (oder Bestandsoberleitung) und ggf. Netz-Energiespeicher erforderlich.
4. **Bei größeren erforderlichen Reichweiten:** Vorteile für Wasserstoffantriebe. Gleichmäßigere Ausschöpfung erneuerbarer Energien (bei Strom-Elektrolyse).
5. **Batterie- und Wasserstoffantriebe:** Möglichkeit zur vollständigen Ablösung des Dieselantriebs im deutschen Regionalverkehr.

Kernaussagen

6. **Sektorenkopplung** möglich: Wasserstoff kann als universeller Energieträger in verschiedenen Anwendungsbereichen genutzt werden.
7. **Wasserstoff als Speichermedium:** Die Wasserstofferzeugung kann die Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien optimal ausnutzen.
8. **Eigene Erzeugung** von Wasserstoff sichert verlässlichen Energiebezug und Unabhängigkeit von anderen Marktteilnehmern.
9. **Steigende Preise** fossiler Energieträger verbessern die Wettbewerbsfähigkeit des Wasserstoffs.
10. **Wasserstofftankstellen** sind flexibel und skalierbar.

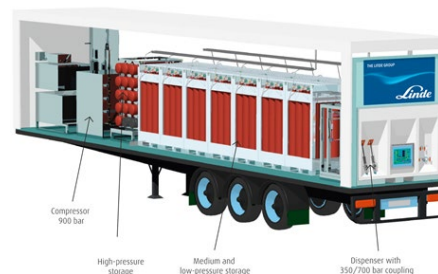


Foto: Linde Group

Handlungsempfehlungen

- Politisch: Entwicklung von Fahrzeugen und Infrastruktur
- Finanzielle Förderung von Mehrkosten.
- Internationale Harmonisierung von Richtlinien für schnelle Markteinführung neuer Technologien.
- Technologisch: weitere Forschung zu Brennstoffzellen: Verlängerung der Lebensdauer, Verbesserung der Effizienz, Überprüfung von Genehmigungsverfahren.
- Eigene Wasserstoff-Erzeugungseinheiten für den Schienenverkehr
- Sektorenkopplung: Aufbau von Wasserstoff-Tankstellen für Schienen- und Nutzfahrzeuge (Synergienutzung)

Energieversorgung: BEMU über DB Energie klar geregelt, Wasserstoff noch unklar: Varianten zu prüfen

**Herzlichen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**

Kontakt

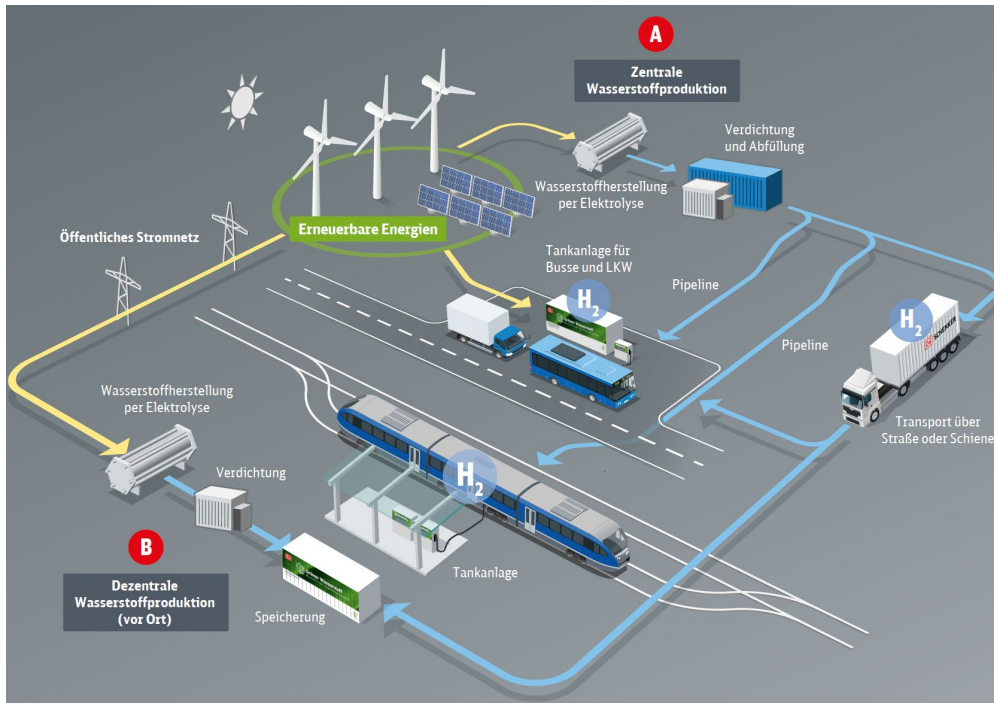
Johanna Vondran

VDI-GEU | TG

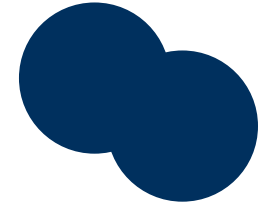
T -247

E Johanna.vondran@vdi.de

Sektorenkopplung



Chemische Eigenschaften



Heizwert:

Wasserstoff 33 kWh/kg. Dieselkraftstoff 11,9 kWh/kg (Ca. Faktor 3)

Dichte bei 15°C:

Wasserstoff 90 g/Nm³ (Leichtestes Element). Dieselkraftstoff: 830 kg/Nm³ (Ca. Faktor 9000)

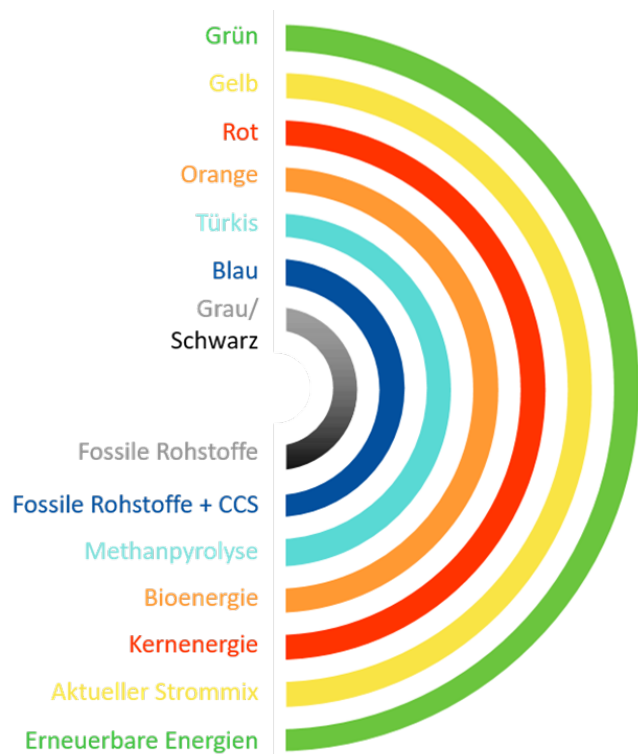
Konsequenz: Wasserstoff ist bei Normdruck nicht wirtschaftlich lagerbar

Verdichtung

Verflüssigung

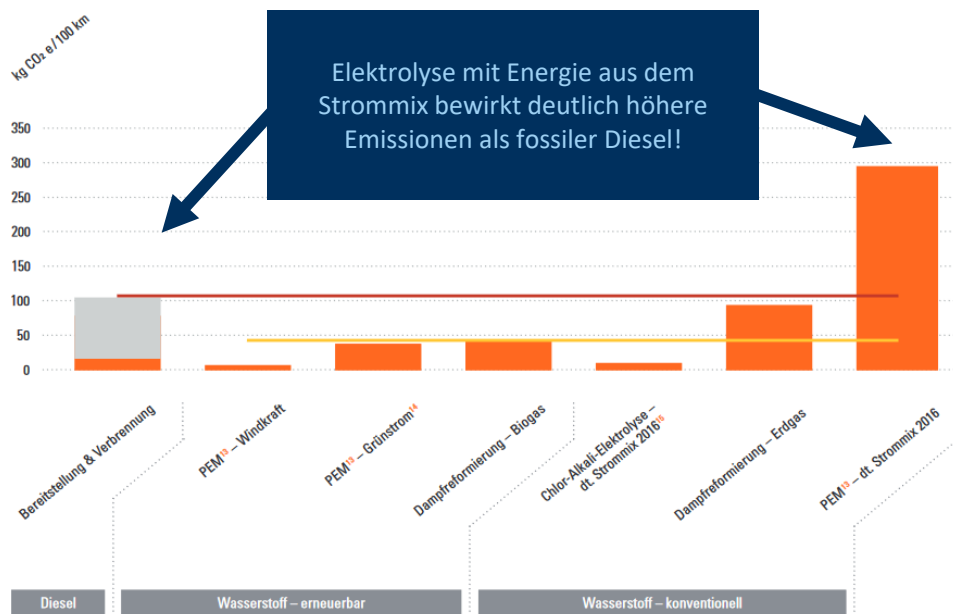
Alternative
Lagerformen

Herkunftsarten



Quelle: h2Well.de / HySON Institut

Emissionen nach Herkunft



Wasserstoffherkunft heute [1]
 Fossil: 96 % (überwiegend Erdgas)
 Netzstrom: 4 %

ABBILDUNG 5-1 THG-Emissionen (CO₂-Äquivalente) der Herstellung von Wasserstoff im Vergleich zur Dieselbereitstellung und -verbrennung bezogen auf 100 Kilometer (thinkstep GaBi Datenbank 2018, (CertifHy, 2016))

— Bereitstellung — Verbrennung — CertifHY „low carbon“ — Dieselreferenz

- ¹³ Die PEM (Protonen-Austausch-Membran) und die alkalische Wasserelektrolyse stellen zusammen die beiden gebräuchlichsten Elektrolyseverfahren zur Wasserstoffherstellung dar.
- ¹⁴ Grünstrom = Strommix entsprechend der Zusammensetzung des EE-Anteils im dt. Strommix 2016
- ¹⁵ Chlor-Alkali-Elektrolyse: Allokation nach Masse

Quelle Abbildung: https://www.starterset-elektromobilität.de/content/1-Bausteine/5-OEPNV/nov_Leitfaden_einfuehrung-wasserstoffbusse.pdf Seite 34,
 [1]: Töpler, Energiespeicher 2017 Hinweis: Chlor-Alkali-Elektrolyse „Wasserstoff, welcher als Nebenprodukt bei der Herstellung von Chlor [...] anfällt, ist eine Ausnahme. Entsprechend der im [...] entwickelten Allokationsmethode für Prozesse, bei denen Wasserstoff als Nebenprodukt anfällt, werden die benötigten Stoff- und Energie- In- und -Outputs anteilig der anfallenden Masse der entsprechenden Produkte alloziert.“

Klassifizierung

Wasserstoff ist ein farbloses Gas wird aber je nach Erzeugungsart wie folgt beschrieben:

„**Grüner Wasserstoff**“: Herstellung durch Elektrolyse mit Strom aus erneuerbaren Energien.

„**Grauer Wasserstoff**“: Herstellung durch Umwandlung fossiler (kohlenstoffbasierter) Energieträger unter Freigabe von Kohlenstoffdioxid.

„**Blauer Wasserstoff**“: Herstellung analog zu grauem Wasserstoff, nur mit Abscheidung und Speicherung des Kohlenstoffdioxid (CCS).

„**Türkiser Wasserstoff**“: Herstellung durch thermische Spaltung von Methan (Methanpyrolyse) unter Freigabe von festem Kohlenstoff. CO₂-Neutralität nur unter Berücksichtigung der Wärmeversorgung des Hochtemperaturreaktors und der Bindung es Kohlenstoffs möglich.