fahma

RHEIN-MAIN-VERKEHRSVERBUND

3. Talk im Takt der BAG-SPNV

Alternative Antriebe und Nachrüstung von Bestandsfahrzeugen im SPNV – wann hat die Schiene ausgedieselt?

Alternative Antriebe: Projekterfahrungen und Herausforderungen für Aufgabenträgern

Kai Daubertshäuser

RMV-Strategie Mobilität 2035

1. **Tarif** – Vision vom einfachen Tarif
2. **Infrastruktur** – Höhere Schlagzahl in der Umsetzung und mehr neue Infrastruktur 2030+
3. **Qualität** – Herstellung adäquater Qualität
4. **Innovationen** – Effizienzgewinne und Vereinfachung des Systems
5. **Emissionsreduktion –** schrittweise zu einem emissionsfreien ÖPNV
   - **Umweltfreundliche Antriebe**
   - **Elektrifizierung**
   - **Digitalisierung**
6. **Generelle Mobilitätsplattform** – alles aus einer Hand
7. **Verbundgrenzen** – Mobilitätsbedürfnissen gerecht werden
8. **Finanzierung** – neue Wege der Finanzierung angepasst an Mobilitätsentwicklung

Umwelt- und Klimaschutz über Mobilitätswandel in allen Punkten präsent!

Innovation als Triebfeder der Verbesserung in allen Bereichen

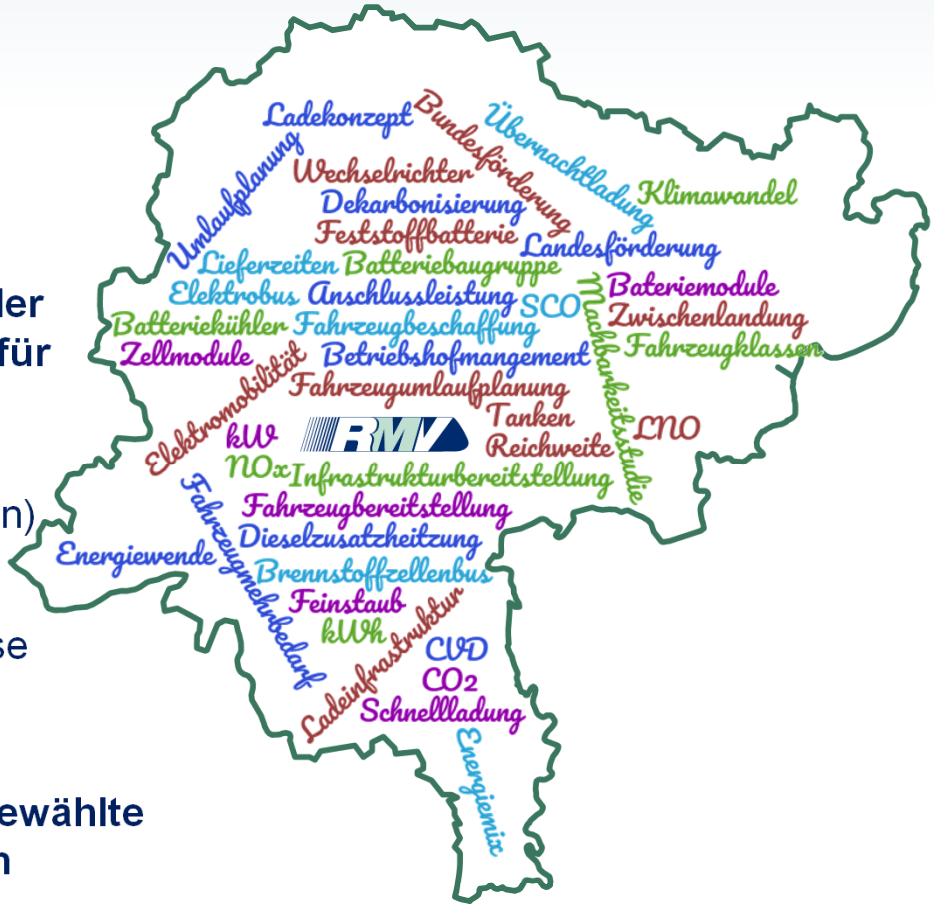
Machbarkeitsuntersuchungen zur Dekarbonisierung des regionalen Bus- und Schienenverkehrs

Wirtschaftliche, betriebliche, organisatorische Bewertung der Eignung regionaler Buslinien für alternative Antriebe

- Liniendaten (Umlauflängen, Topografie, Linienwegvarianten)
- Fahrzeugkonzepte
- Lade-/Betankungserfordernisse
- Förderkulisse

Machbarkeitsstudien für ausgewählte Bündel und neue X-Bus-Linien

Projekt fahma mit VCBD



Check **nicht-elektrifizierter Netze** auf Eignung für **alternative Antriebe**

Technologie-offene Prüfung und wirtschaftliche Bewertung des **geeigneten Antriebskonzepts**

Prüfung betrieblicher Auswirkungen und **infrastruktureller Erfordernisse** v.a. **Laden bzw. Betanken** sowie **Strom- und H2-Versorgung**

Einbindung benachbarter AT

Projekt fahma mit IfB

Lernwerkstatt Brennstoffzellenbusse im Landkreis Gießen

Beschaffung von zwei Brennstoffzellenbusse durch die RMV-Tochter fahma

Beispielfoto: Brennstoffzellenbus der Firma Solaris

Projektaufbau in zwei Phasen

Phase I
Sommer 2022 bis Winter 2024

Erproben von Brennstoffzellenbussen durch Verkehrsunternehmen

Phase II
Winter 2024 bis Winter 2032

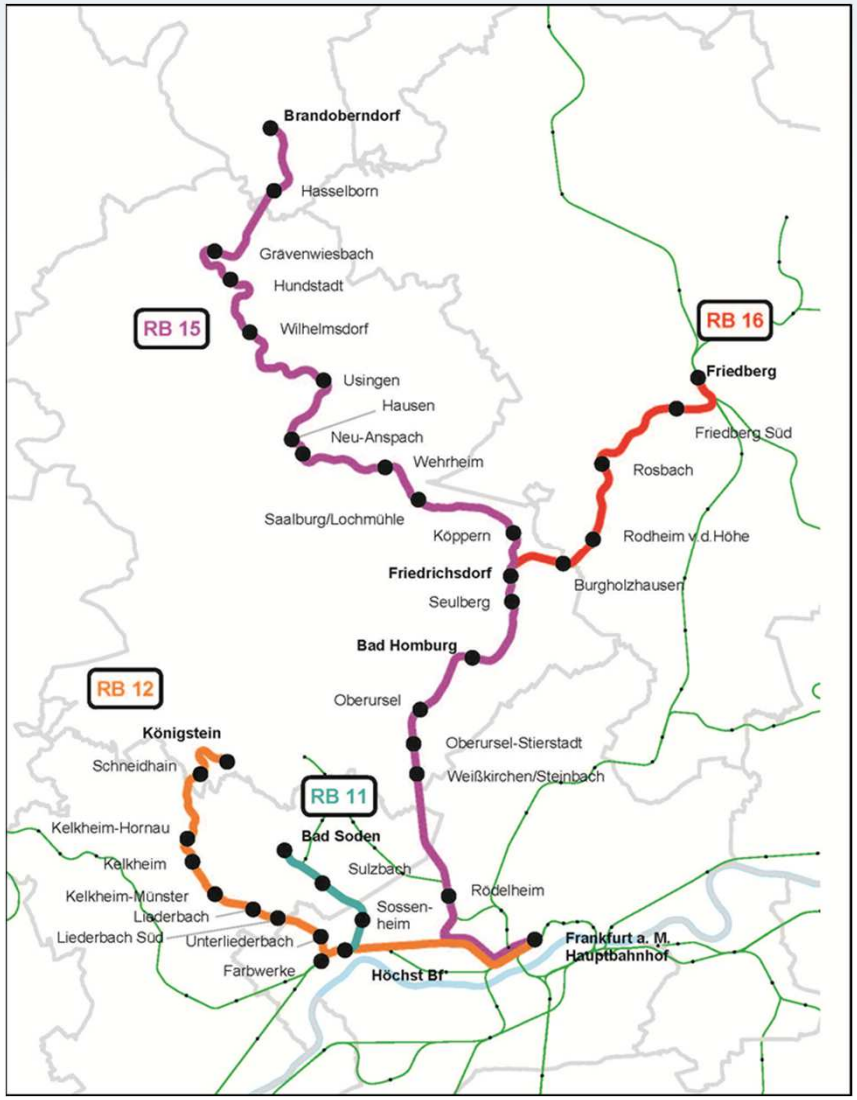
Einsatz von Brennstoffzellenbussen in einem im Wettbewerb vergebenen Linienbündel

Projektpartner

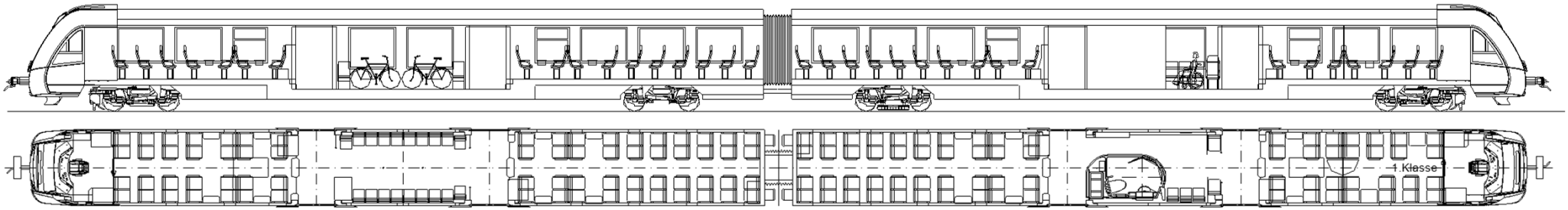
RMV · ZOV Verkehr · Landkreis Gießen – Hessens Mitte • Wissen Wirtschaft & Kultur · fahma fahrzeugmanagement gmbh

Brennstoffzellenzüge Taunusnetz

- **2014**: LOI zur Unterstützung H2-Antriebsentwicklung
- **Untersuchungen** zur H2-Versorgung, Betankung, Wirtschaftlichkeit und betriebliche Eignung
- Klärung **Förderbarkeit** durch NIP und Land Hessen (Weichen), indikatives Vergleichsangebot
- Erarbeitung **Vertragsdesign (Verfügbarkeitsmodell)**
- **2018**: Ausschreibung veröffentlicht
- **05/2019**: **Zuschlag** an Konsortium Alstom/Infraserv für 27 Fahrzeuge, Instandhaltung, H2-Versorgung, Betankung für 25 Jahre (weißer und grüner Wasserstoff)
- **06/2019**: Vergabe und Strukturierung der **Fahrzeug-Fremdfinanzierung** (Namensschuldverschreibungen)
- **10/2020**: Spatenstich **Tankstelle** - Aufbau 5 Megawatt **Elektrolyseur** zur Erzeugung aus grünem Strom
- **Q3/2021**: **Betriebsleistungsvergabe** – 2,5 Mio. Zugkm
- **Q2/2022**: Infrastruktur für **Zuführung** zu Betankung
- **12/2022**: Einsatz iLint54 auf RB 11, 12, 15 und 16



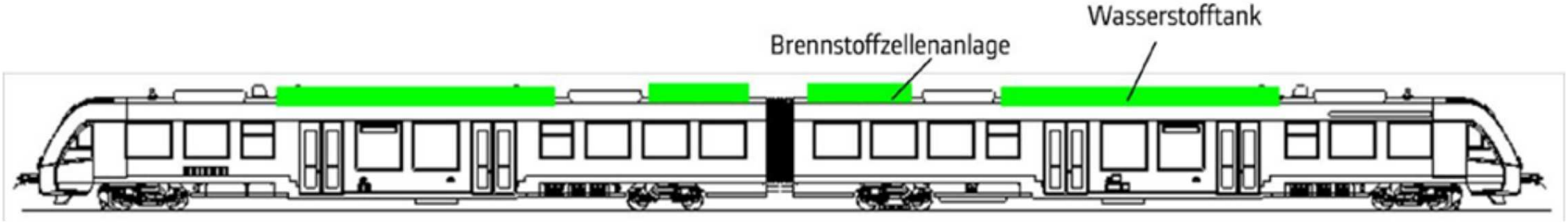
iLint 54 Taunusnetz



- **Emissionsfreier Antrieb, Lärmreduktion**
- **Einstieg 76 cm**
- **WLan, modernes FIS, Steckdosen**
- **Fahrerassistenzsystem**

Sitzplätze gesamt	**160**
1. Klasse	**16**
Klappsitze	**22**
Fahrradplätze	**12**
Rollstuhlplätze	**2**

iLint 54 Taunusnetz



Parameter Triebfahrzeug	
Länge über Kupplung	54,27 m
Leermasse	107 t
Höchstgeschwindigkeit	140 km/h
Sitzplätze	ca. 160
Installierte Antriebsleistung	734 kW

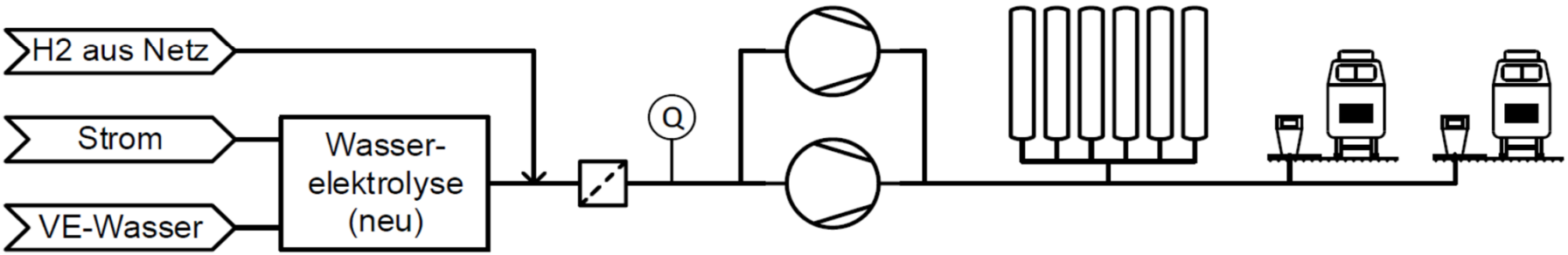
Parameter H2-Tanksystem	
Tanksysteme pro Fahrzeug	2
Kapazität pro Tanksystem	je ca. 130 kg
Nenndruck	350 bar
Brennstoffzellenleistung	2 × 200 kW
Reichweite	1.000 km

Versorgungskonzept

(Quelle: Infraserv)

- Im Industriepark Höchst fällt Wasserstoff als Koppelprodukt einer Chloralkalielektrolyse in ausreichenden Mengen zur Betankung der Züge an
- Für die Versorgung der H_2-Züge werden eine weitere H2-Produktionsanlage, Verdichter, Speicher und Betankungsanlagen im Industriepark Höchst errichtet

Kennzahlen Betankungsanforderungen	
Anzahl Züge im Umlauf	24 + 3
Züge zur Betankung pro Tag	max. 17
Wasserstoffbedarf pro Jahr	675.000 kg
Betankungsdauer	ca. 15 min



Wasserstoff- und Brennstoffzelleneinsatz

„Wasser wird eines Tages als Brennstoff benutzt werden und auf unabsehbare Zeit hinaus die Energieversorgung der Erde sichern!“ (Jules Verne)

Europäische Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität
Richtlinie für Europäisches Emissionshandelssystem
Europäische Clean Vehicles Directive
EU-Wasserstoffstrategie in drei Stufen für H2-Ökosystem bis 2050
Europäische Allianz für sauberen Wasserstoff
Nationale Wasserstoffstrategie (38 Maßnahmen, 7 plus 2 Mrd. €)
Wasserstoffstrategien einzelner Länder

H_2-Technologie muss in der Gesamtbetrachtung und inklusive infrastruktureller Rahmenbedingungen

- **ökonomisch (regional) wertschöpfend und perspektivisch wettbewerbsfähig,**
- **ökologisch tatsächlich vorteilhaft,**
- **technisch verlässlich und nachhaltig verfügbar sowie**
- **betrieblich realisierbar und sicher sein!**

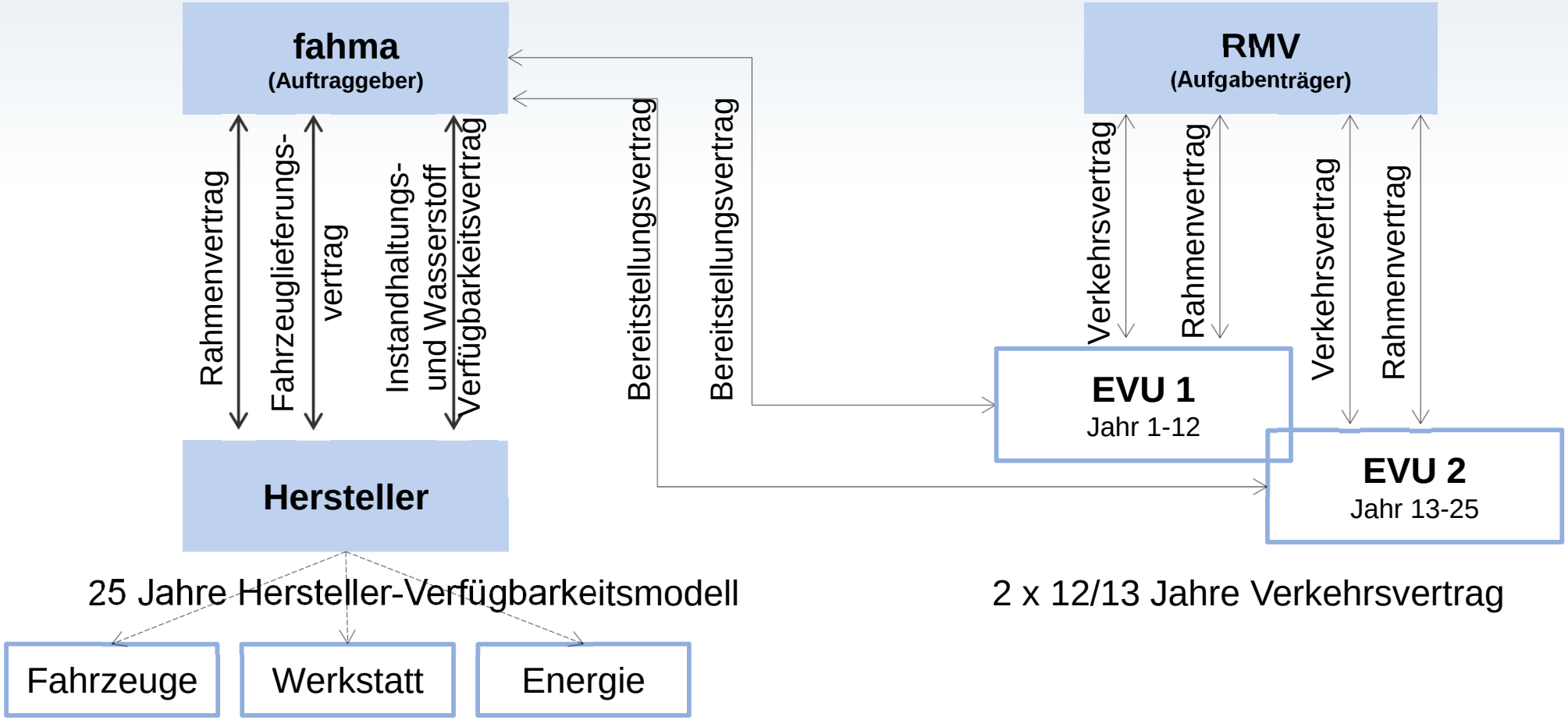
Die H_2-Technologie für mobile Anwendungen kann aufgrund von Reichweitenvorteilen und schneller Betankung diese Voraussetzung erfüllen, wenn sie in eine umfassende Wasserstoffstrategie integriert ist:

- **Dauerhaft sichere, auch regionale Verfügbarkeit (Erzeugung/Herkunft)**
- **Gut ausgebaute, kosteneffiziente Infrastruktur (Speichern, Transportieren, Betanken)**
- **Transparente und nachhaltige Hochlaufstrategie**
- **Stabiler und fördernder Rechts- und Finanzierungsrahmen (RegMittel, Anreiz TPS?)**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Backup

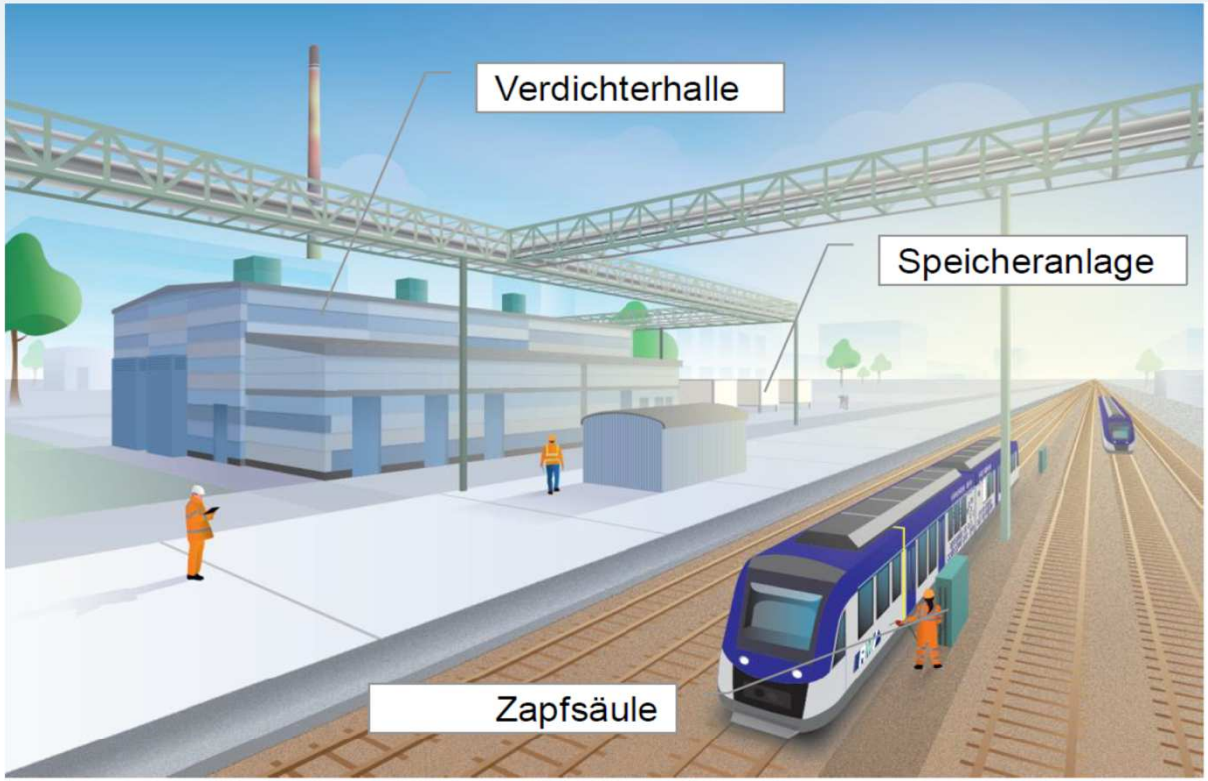
Vertragsstruktur und Laufzeiten



Hersteller trägt Risiken im Verfügbarkeitsmodell!

Aufbau der Tankstelleninfrastruktur

(Quelle: Infraserv)



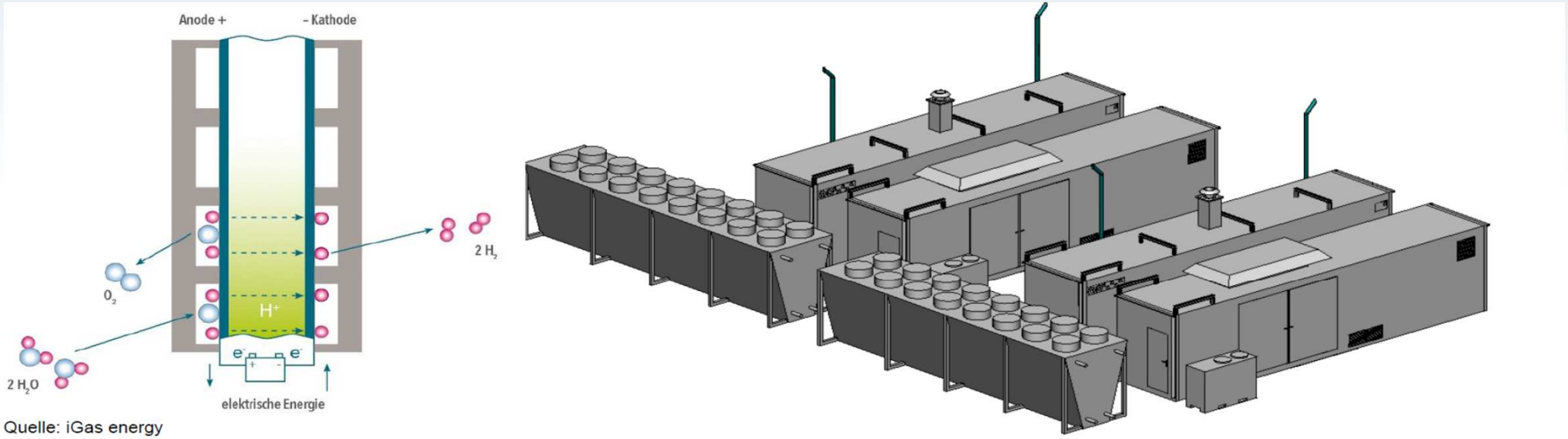
Parameter Tankstelle	
Verdichterkapazität	bis 200 kg/h
Speicherkapazität	4.400 kg
Anzahl Zapfsäulen	4

Verfahrensschritte

- Entnahme des Wasserstoffs aus dem H2-Werknetz
- Reinigung und Trocknung des Wasserstoffs auf die erforderliche Reinheit
- Verdichtung des Wasserstoffs auf ca. 500 bar
- Gasspeicherung erfolgt auf einem Druck von 500 bar in Gastransport-modulen
- Zapfsäulen mit Einrichtungen zur Mengenregelung und Mengenerfassung

Aufbau der Tankstelleninfrastruktur

(Quelle: Infraserv / Giner ELX)



Quelle: iGas energy

Technische Daten

- Produktion 1.000 Nm³/h Wasserstoff bei ca. 40 bar
- Rohstoff 1,6 m³/h VE-Wasser
- Energiebedarf ca. 5 MW bei 10 kV
- Anlagenlayout 2 separate Anlagen bestehen aus jeweils zwei Containern und einer Rückkühleinheit
- Einspeisung des Wasserstoffs in das H2-Werknetz bei ca. 6 bar

Elektrolysestack

Taunusnetz: CO_2-Einsparung

Pro Zug

minus
700t CO_2
p.a.…

… entspricht der Jahresemission von
400 Pkw

Für die Flotte (27 Züge)

minus
19.000t CO_2
p.a.

… entspricht der Jahresemission von
11.000 Pkw

Farbenlehre des Wasserstoffs

Grauer Wasserstoff wird aus fossilen Brennstoffen gewonnen. Bei der Herstellung wird Erdgas unter Hitze in zwei Schritten in Wasserstoff und CO_2 umgewandelt.

Blauer Wasserstoff ist grauer Wasserstoff, dessen CO_2 jedoch abgeschieden und gespeichert wird (Dampfreformierung).

Türkiser Wasserstoff ist Wasserstoff, der über die thermische Spaltung von Methan (Pyrolyse) hergestellt wird. Anstelle von CO_2 entsteht dabei reiner granularer Kohlenstoff.

Grüner Wasserstoff wird durch Elektrolyse von Wasser hergestellt, wobei ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien zum Einsatz kommt.

Brauner Wasserstoff entsteht aus Kohlevegasung und durch Zuführung von Wasserdampf

Weißer Wasserstoff fällt in chemischen Prozessen als Nebenprodukt an.

Roter Wasserstoff wird durch Elektrolyse von Wasser hergestellt. wobei ausschließlich Atomstrom zum Einsatz kommt.

Gelber Wasserstoff wird durch Elektrolyse von Wasser hergestellt, wobei ein Strommix zum Einsatz kommt.

Angepasste Darstellung | Quelle: dasinvestment.com

- Aktuell v.a. **grauer Wasserstoff** (Wirkungsgrad 75%, ´bis zu 40% CO2-Einsparung ggü. Diesel)
- **Türkis noch** Forschungsbedarf; **Blau** in Umsetzung (90-95% Abscheidung, Northern Lights Norwegen)
- Klimapolitische Ziele **langfristig** nur mit **grünem Wasserstoff** realisierbar
- **Ausbau** erneuerbarer Energien (EE) **zeit- und kostenintensiv (Ziel 2050?)**
- **Realistisch: Migrationsschritte** von weiß/grau über blau und türkis zur frühen Nachfragedeckung
- **H_2-Importe** auch aus Gründen der Kosteneffizienz **erforderlich** (derzeit rd. 2/3, 2050 30% der EE)
- **Zeitversatz** des sektoralen **Nachfragehochlaufs** berücksichtigen – Priorisierung nach **Reduktionspotential**

Abschätzung des Wasserstoffverbrauchs und der Reduktion von CO_2-Emissionen für den regionalen Busverkehr des RMV

Berechnungsgrundlage

Nutzwagen-km des auf Basis des **Jahresfahrgrundfahrplans 2021**
rd. 22,8 Mio. km

Abschätzung der betrieblichen Fahrten
mit rd. 20 % der Nutzwagen-Km

Definierung aller Busse als **Solobusse**

Verbrauchsabschätzung
Wasserstoff: 9,5 kg Wasserstoff pro 100 km
Diesel: 55 Liter pro 100 km

Jahresverbrauch

Diesel: rd. 15 Mio. Liter
Wasserstoff: rd. 2.600 t

CO_2-Emissionen

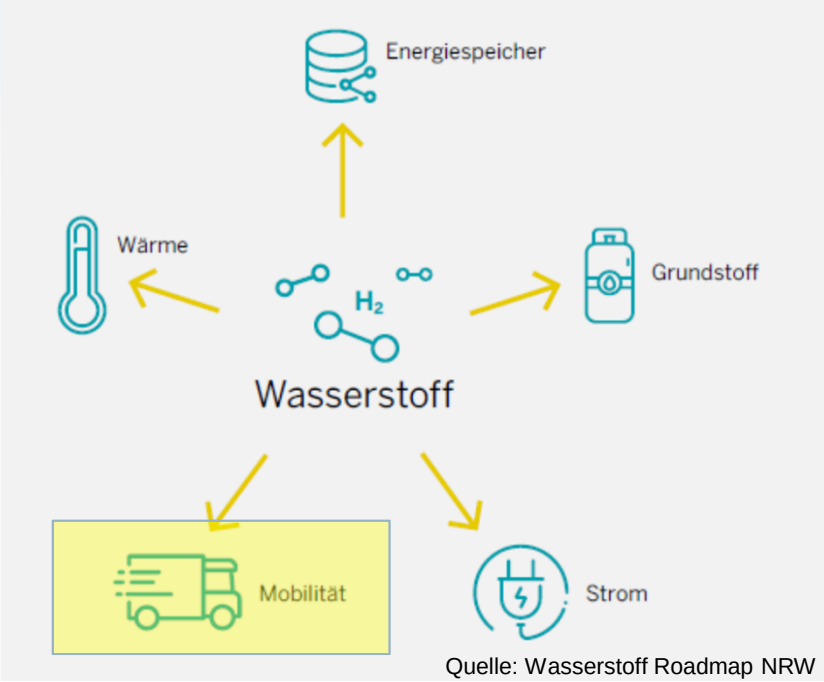
Diesel **rd. 49.000 t**
*3,2 kg pro Liter / **178 kg pro 100 km***

Grauer Wasserstoff **rd. 31.500 t** **- rd. 17.200 t**
*12,1 kg pro kg / **115 kg pro 100 km*** **- rd. 35 %**

Blauer Wasserstoff **rd. 17.500 t** **- rd. 31.200 t**
*6,7 kg pro kg / **64 kg pro 100 km*** **- rd. 64 %**

Grüner Wasserstoff **rd. 2.500 t** **- rd. 46.200 t**
*0,97 kg pro kg / **9 kg pro 100 km*** **- rd. 95 %**

Wasserstoffeinsatz und Rahmenbedingungen



Quelle: Wasserstoff Roadmap NRW

- Nachfrage Sektoren **Energie** (Gas-Kraftwerke, KWK), **Wärme**, **Grundstoff** (Stahl, Methanol, Amoniak), Erdgasersatz in der **Industrie** (Metallverarbeitung, Zement, Glas, Ziegel)
- Migrations- und Versorgungsstrategie, Ausbau und **höhere Effizienz der regionalen Erzeugung aus EE** erforderlich
- Umsetzung der **Infrastruktur** und Technologie für Kompression, Speicherung, Verteilung (Wasserstoffnetz) und Betankung erforderlich ➡ Nutzung Erdgasinfrastruktur
- **Langjährige Förderkulisse, Anreizprogramme** (Carbon Contracts for Difference) und **Rechtsrahmen** (Anpassung Abgaben und Umlagesystem im Energiewirtschaftsgesetz, Reduktion EEG-Umlage) erforderlich
- Standards H2-Qualität und Zertifizierung erforderlich

- **Zielsetzungen für Nutzung im Mobilitätssektor** (z.B. Züge, Busse, LKW; E-Fuel/Power-to-Liquid für Bestand)
- **Ausbaustrategie Versorgung und Betankung** (z.B. Anzahl Tankstellen bis 2030)**?**
- Verschärfung europäischer Flottengrenzwerte / Einbezug Verkehrssektor in europäischen Emissionshandel
- Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (**NIP**) **fortsetzen und entwickeln**
  ➡ Ausschreibungsgerecht, nutzbar machen für Einkaufsgemeinschaften, Betriebskostenförderung
- Finanzierungsmehrbedarf bei **Regionalisierungs- und Landesmitteln** berücksichtigen, Anreiz über **TPS**

Gasometer Industriepark Frankfurt-Höchst

Enthält bei Volumen von 10.000 m³ bei 1,07 bar etwa 900 kg Wasserstoff

Trailer mit Flaschen-speichern enthält ebenso etwa 900 kg verdichteten Wasserstoff

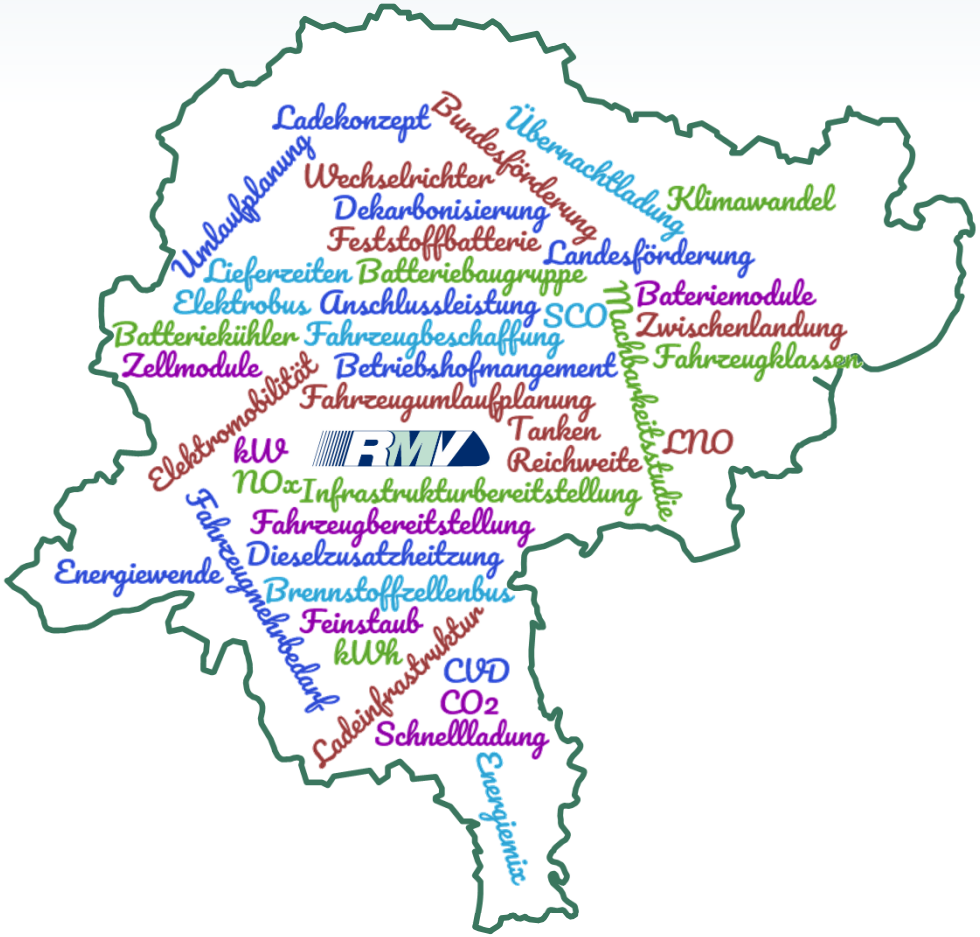
Mindestens **rd. 2.900 x Gasometer** entspricht **Jahresverbrauch des RMV-Regionalbusverkehrs*** (8/Tag)

* **Abschätzung auf Basis des Jahresfahrplan 2021 sowie Annahmen zu u.a. spezifischem Verbrauch im Rahmen der Berechnung**

Foto: Infraserv GmbH & Co. Höchst KG

Beispielhafte Aktivitäten zum Einsatz alternativer Antriebe / H_2

- Wiesbaden Batterie- und H_2-Busse, Tankstelle
- Frankfurt Batterie- und H_2-Busse
- Landkreis Groß-Gerau Tankstelle (Riedwerke), 22 H_2-Busse
- Firma Winzenhöler (Darmstadt, Werksverkehr Infraserv) H_2-Busse
- OnDeMo FRM mit Batterie- und H_2-Fahrzeugen
- Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Initiative Hessen e.V.
- HyStarter Wasserstoffregion Marburg-Biedenkopf
- Bewerbung für Hy-Expert-Projekt
- Bewerbung für Technologie- und Innovationszentrum Wasserstofftechnologie Mobilität des BMVI (WIN Mobility Rhein-Main - Wasserstofftechnologie- und Innovationszentrum Mobilität Metropolregion Rhein-Main)
- Austauschplattform VDV



Wichtig: Vernetzung der Beteiligten und der Geschäftsmodelle auf Basis politischer Gesamtstrategie v.a. für Wasserstoffwirtschaft!

Henne-Ei-Problem: Akteure warten auf jeweils anderen, prioritäre Investitionen in Erzeugung, Verteilung und Betankung unterbleiben.