



NUTZUNG VON WASSERSTOFF BEI DER MAINZER MOBILITÄT

Wasserstofftagung Rheinland-Pfalz, 17.11.2022

... in Zahlen

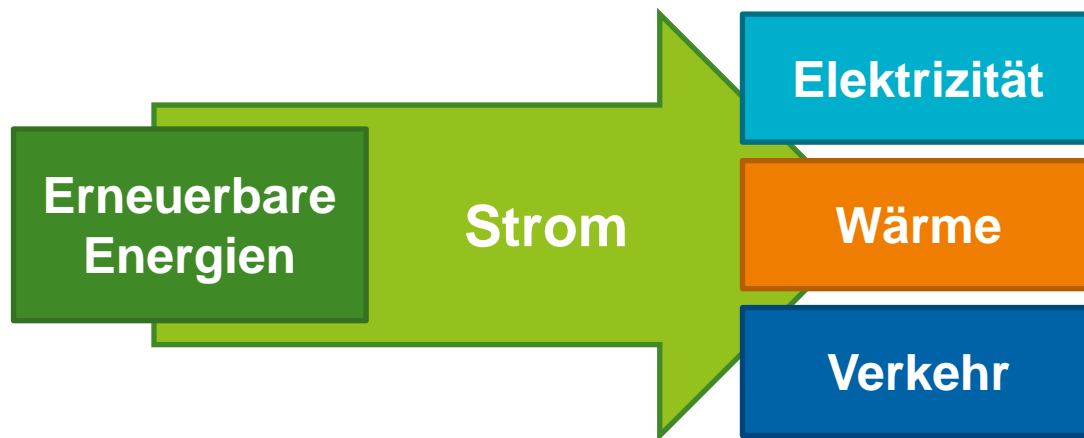
- ▶ 222.000 Einwohner
- ▶ 145 Omnibusse
- ▶ 41 Straßenbahnen
- ▶ 1.000 Fahrräder
- ▶ 10 Mainz Rider (Shuttle on demand)
- ▶ 29 km Straßenbahn-Netz
- ▶ 57 Mio. Fahrgäste pro Jahr (2019)
- ▶ 100% Tochter der Mainzer Stadtwerke

Stand 2019



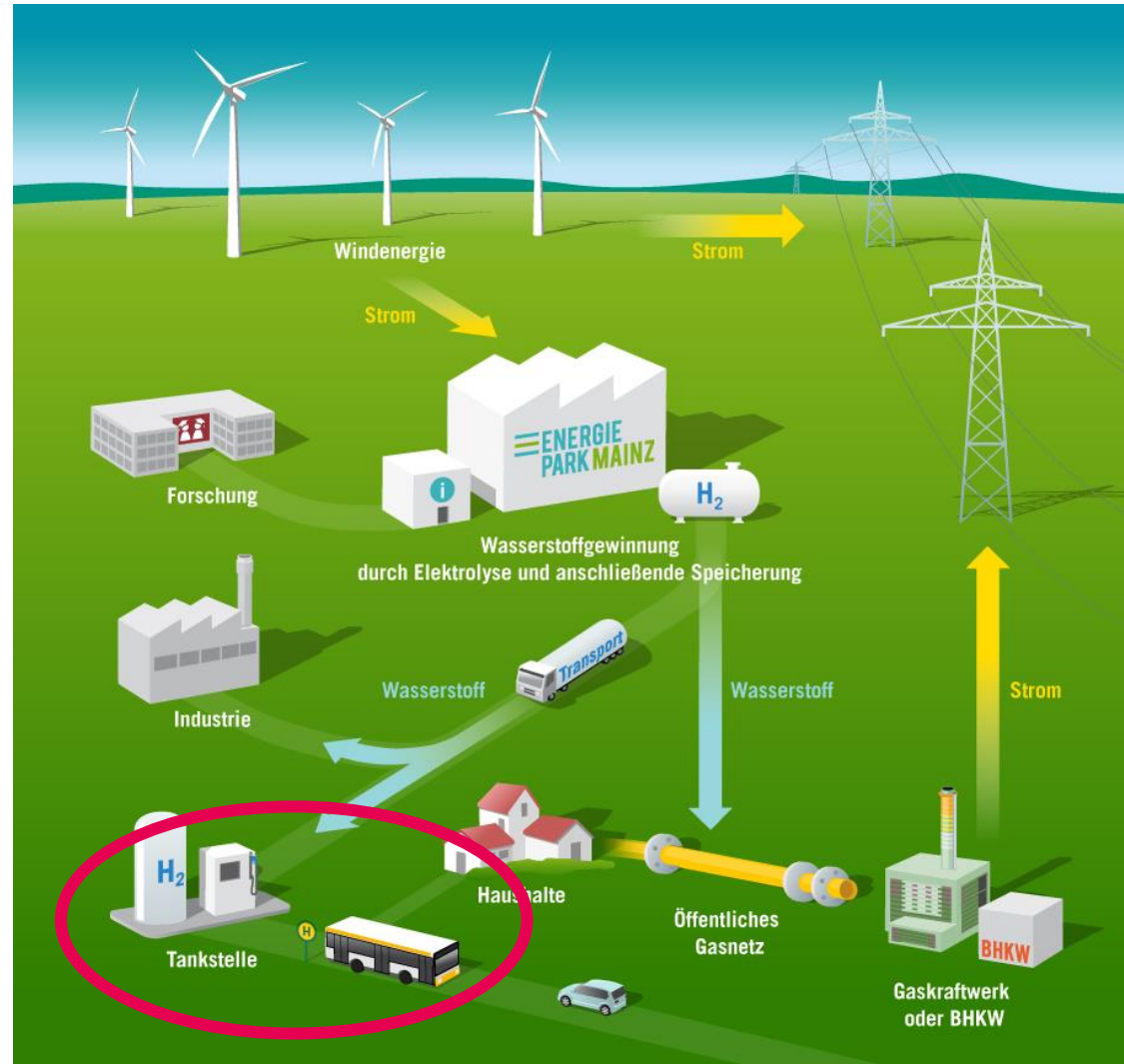
ENERGIEWENDE

- ▶ Endlichkeit fossiler Energieträger
- ▶ Fokus auf Klimaschutz und Nachhaltigkeit
- ▶ Flexibilisierung des Energiesystems
- ▶ Kopplung bisher weitgehend unabhängiger Sektoren
- ▶ Notwendigkeit für Energiespeicher und Lastmanagement



ENERGIE PARK MAINZ

- ▶ Praktische Erprobung der Sektorenkopplung
- ▶ Standort: Mainz-Hechtsheim
- ▶ Anschluss an Windpark (8 MW)
- ▶ Jährlicher Ziel-Durchsatz von 200t H₂
 - ▶ Einspeisung ins Erdgasnetz
 - ▶ Trailer-Betankung
 - ▶ **H₂ für 25 Busse** (2018)
- ▶ Budget: Summe ca. 17 Mio. €
- ▶ Förderung: ~ 50% (BMWi)
- ▶ F&E-Projekt: 4 Jahre (10/2012 – 12/2016)



ENERGIEPARK

Netzanschluss
20kV

Elektrolyse
(20-35 bar)

Ionischer Verdichter
(max. 200 bar)

Gase-Speicher
(max. 80 bar)

Gasnetz-
Einspeisung





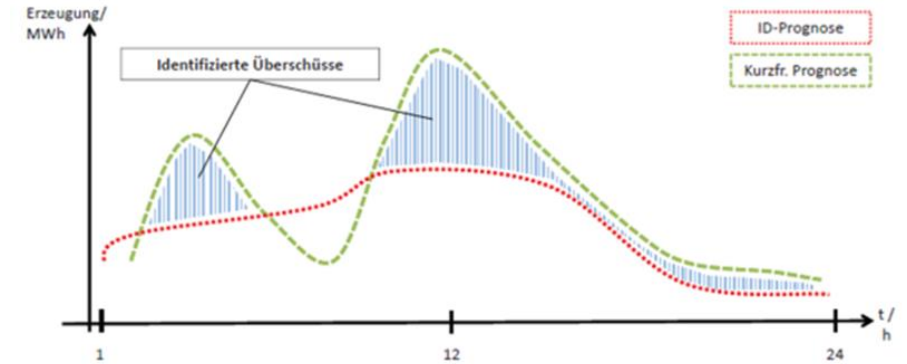
ELEKTROLYSESYSTEM

- ▶ **3 PEM Elektrolyseanlagen**, Typ Silyzer 200 (Produktionsleistung bis zu 1050 Nm³/h)
- ▶ Netzanbindung über Gleichstromstationen mit direktem Mittelspannungsanschluss
- ▶ Wasseraufbereitungsanlage
- ▶ **Hohe Dynamik:** Lastwechsel in Sekunden, in weiten Grenzen teillastfähig
- ▶ 4 MW Dauerleistung
6 MW zeitlich begrenzte Spitzenleistung
- ▶ 35 bar Ausgangsdruck

BETRIEBSERFAHRUNGEN

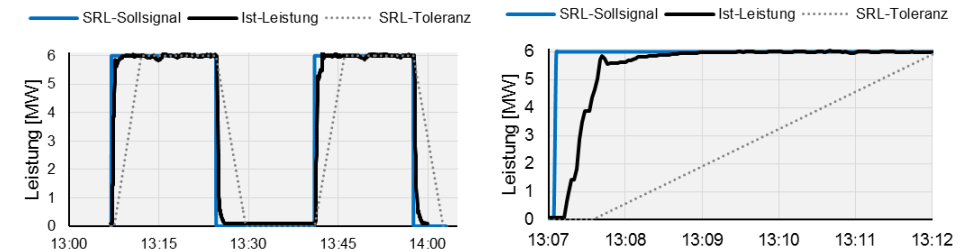
Ziel 1: Netzoptimierung durch die Speicherung erneuerbarer Energien

- ▶ Steuerung des Energieparks (el. Bezugsleistung) durch die Einspeiseleistung des lokalen Windkraft-Portfolios
- ▶ Ergebnis: Einsatz in diesem Markt problemlos möglich
Aber: Erlösnachteil ggü. Regelenergie



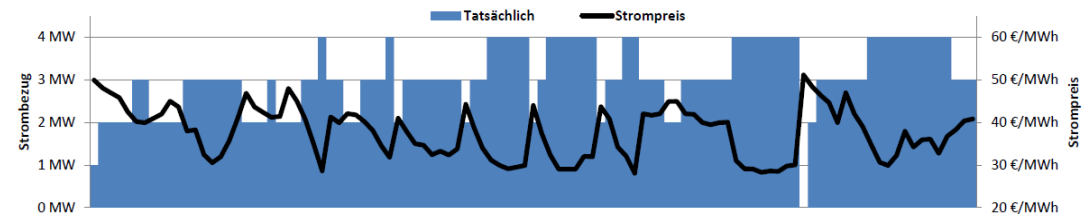
Ziel 2: Bereitstellung von Systemdienstleistungen im Stromnetz

- ▶ Einsatz in der neg. Sekundärreserveleistung (5 Minuten) und Minutenreserveleistung (Viertelstunde) erfolgreich absolviert
- ▶ Nachweis: Die hohe Dynamik und Flexibilität ermöglichen die Teilnahme am Sekundärregelleistungsmarkt



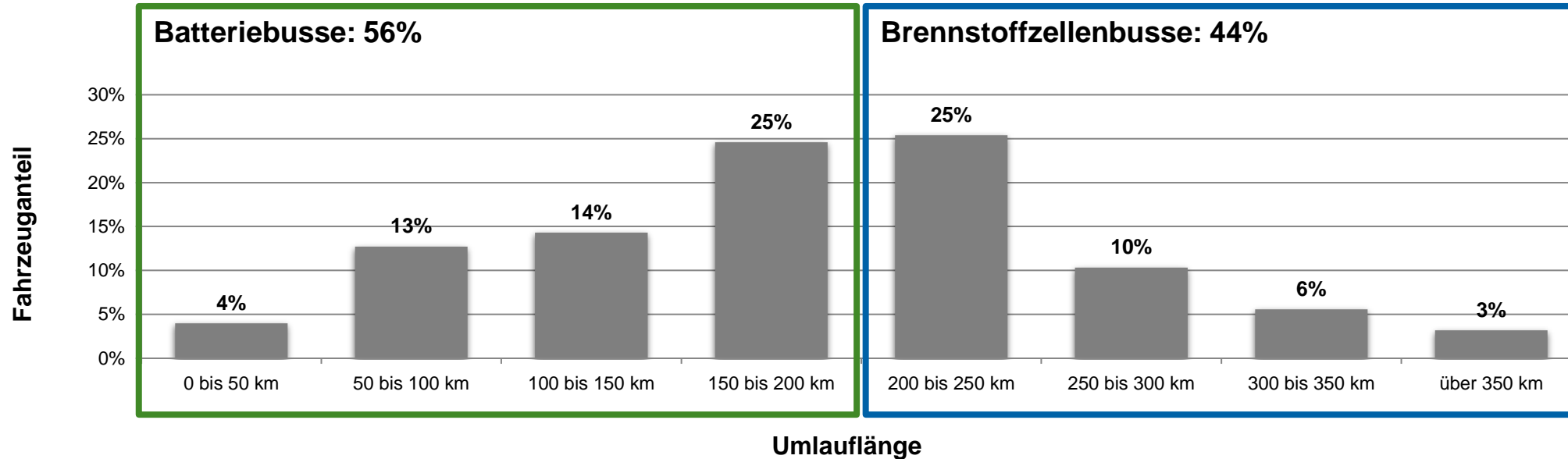
Erzeugung von Wasserstoff

- ▶ Strombeschaffung wirkungsgrad- und preisoptimiert über EPEX Spotmarkt im 2. Halbjahr 2015
- ▶ Erwartungswerte zu Dynamik und Stromverbrauch werden erreicht, keine kritischen Ausfälle



EINSATZSZENARIO MAINZER MOBILITÄT

- ▶ Identifizierung der Einsatzmöglichkeiten für Batterie- und BZ-Busse
- ▶ Fahrzeugkonzept in Mainz: über 90% Gelenkbusse!



Batteriebus

- ▶ Geringere Anschaffungs- und Betriebskosten
- ▶ Begrenzte Reichweite
- ▶ Einsatz auf kurzen Umläufen bis 200 km

Brennstoffzellenbus

- ▶ Kurze Betankungszeit
- ▶ Hohe Reichweite und Einsatzflexibilität
- ▶ H2-Tankstelle benötigt
- ▶ Einsatz auf langen Umläufen

WIRTSCHAFTLICHER VERGLEICH

Batteriebus

- ▶ Ladeinfrastruktur und Netzanschlusskosten
- ▶ Austauschbatterie
- ▶ „günstiger“ Strompreis

Brennstoffzellenbus

- ▶ Tankstelle und ggf. Elektrolyseur
- ▶ Werkstattsicherheit
- ▶ „fiktiver“ Wasserstoffpreis

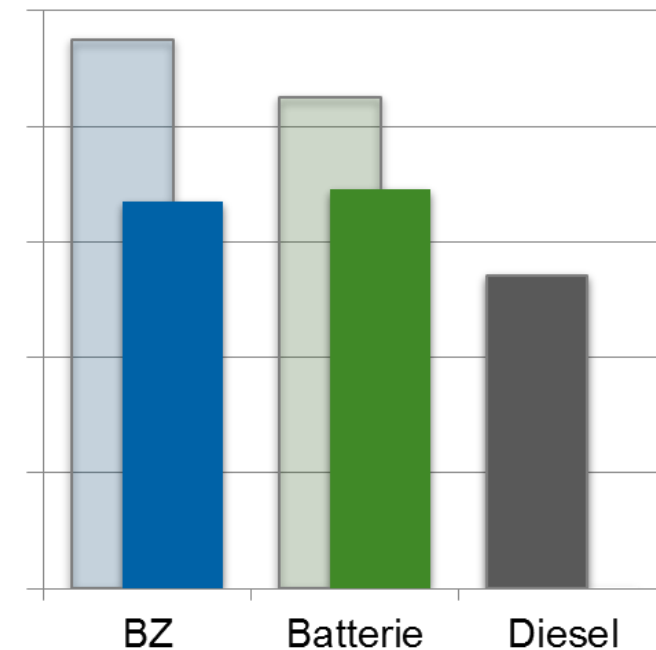
Betriebliche Einschränkungen und notwendige Anpassungen bleiben bei den „Total Cost of Ownership“ unberücksichtigt.

Nur durch ausreichende Förderprogramme ist eine Projektumsetzung möglich.

Aktuell: schwer kalkulierbare Entwicklung der Energiepreise

Total Cost of Ownership

(vor & nach Förderung)
(Stand 2020)



EINSATZPLANUNG

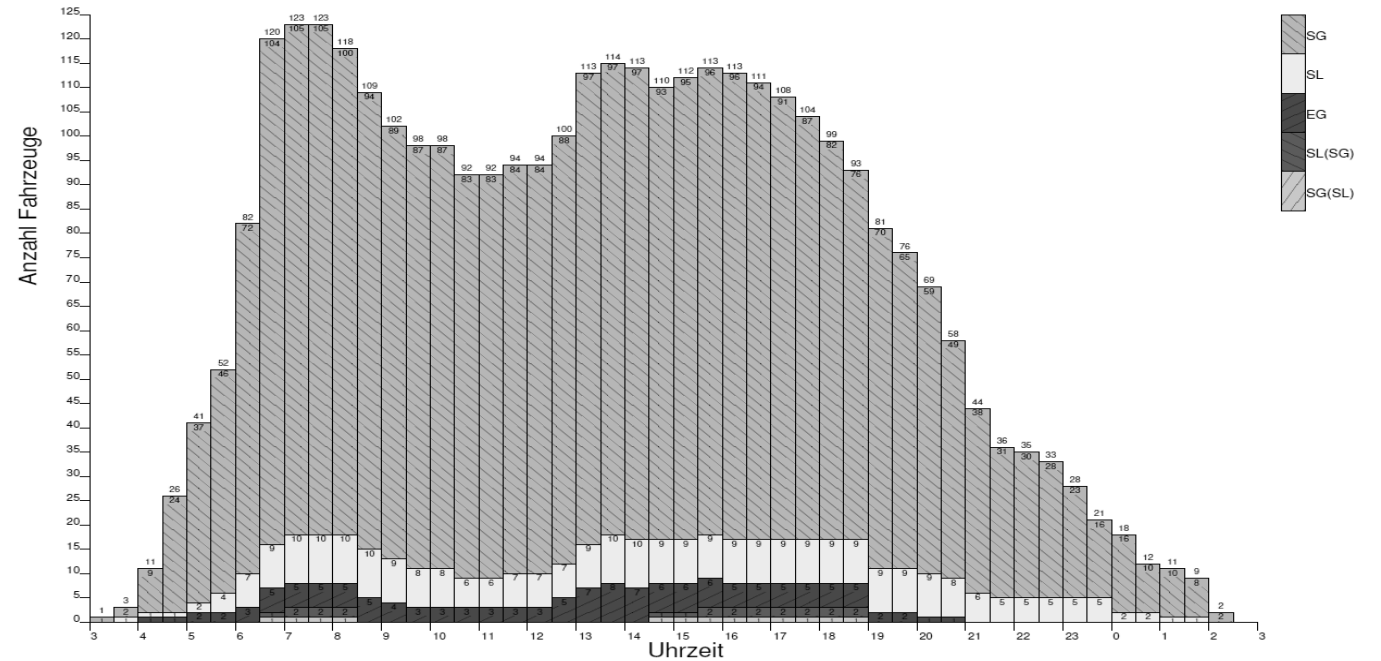
- ▶ 4x Sileo: max. 130 km im Winter
- ▶ 23x MAN: max. 200 km im Winter
- ▶ 1x Caetano: über 350 km ganzjährig

- ▶ **Ausrücken** zwischen 5-7 Uhr
- ▶ **Einrücken** zwischen
 - ▶ 8-11 Uhr → ca. 50-100 km
 - ▶ 16-20 Uhr → ca. 100-200 km
 - ▶ 22-02 Uhr → ca. 350 km

MVG - Fahrzeugeinsatzstatistik
BUS

Montag - Donnerstag

12.1, 19.1, 26.1.2022



F2021 JANMI JANMI - Montag bis Donnerstag

20.12.21 16:14:11 Edgar Link

Seite 1 von 1



PROJEKTÜBERSICHT



SILEO S18

- ▶ 4 Batterie-Gelenkbusse
- ▶ Im Einsatz seit Mai 2020
- ▶ Überholung im Herstellerwerk



CAETANO H2.CITY GOLD

- ▶ 1 Brennstoffzellen-Solobus
- ▶ Im Einsatz seit April 2022
- ▶ Betankung in Wiesbaden



MAN LIONS CITY E

- ▶ 23 Batterie-Gelenkbusse
- ▶ Inbetriebnahme im Q4/2022
- ▶ Installation neuer Ladeinfrastruktur auf dem Betriebshof der MVG

BRENNSTOFFZELLENBUSSE



EU-Projekt JIVE

- ▶ insgesamt knapp **300 Brennstoffzellenbusse**
- ▶ Aufbau der größten H₂-Tankstellenkapazität in Europa
- ▶ Demonstration der technischen Reife von Bussen und Tankstellen



Hohe Reichweite

- ▶ über 300 km ohne Zwischentanken



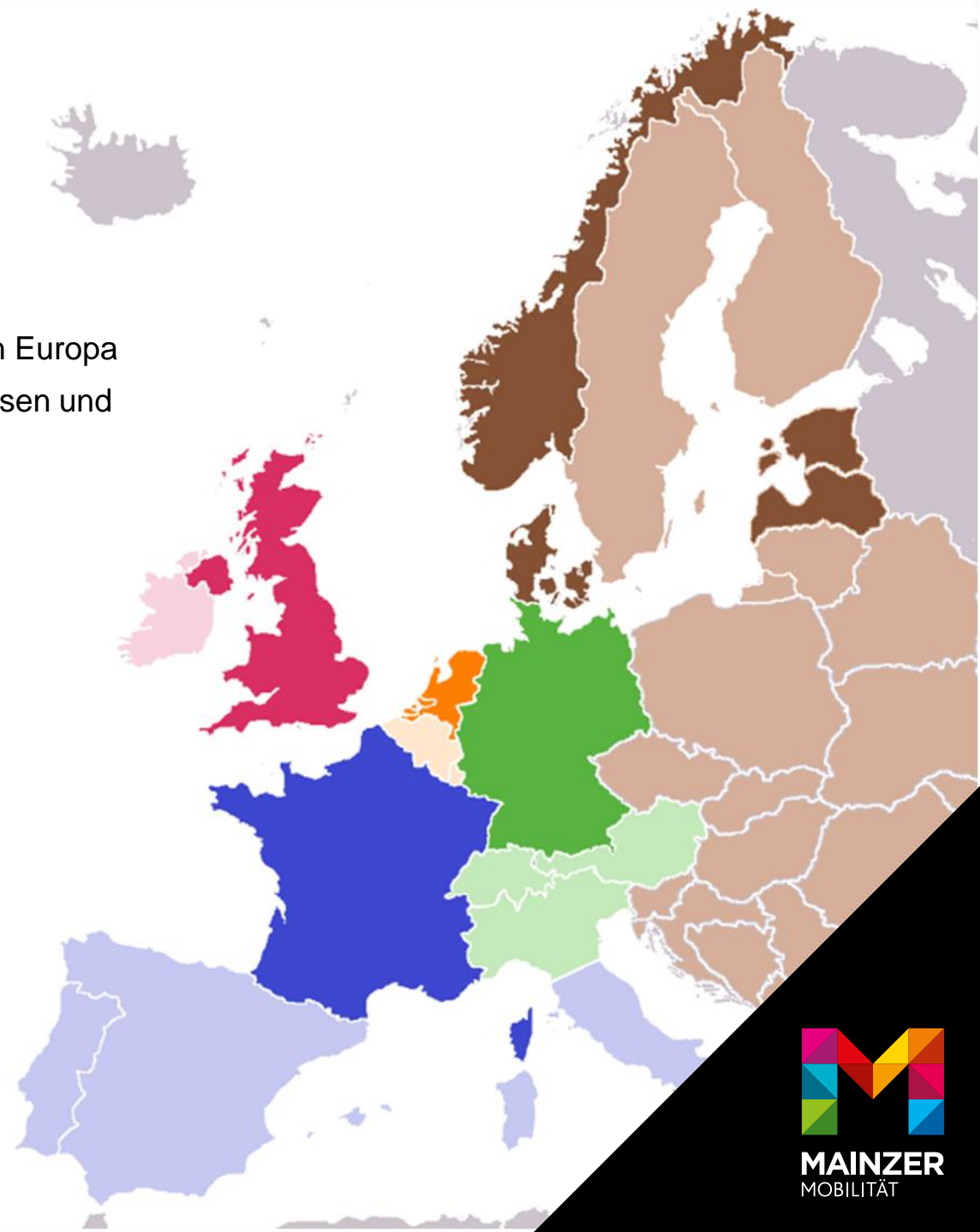
Schnelles Tanken

- ▶ nur 7-12 Minuten pro Tankvorgang

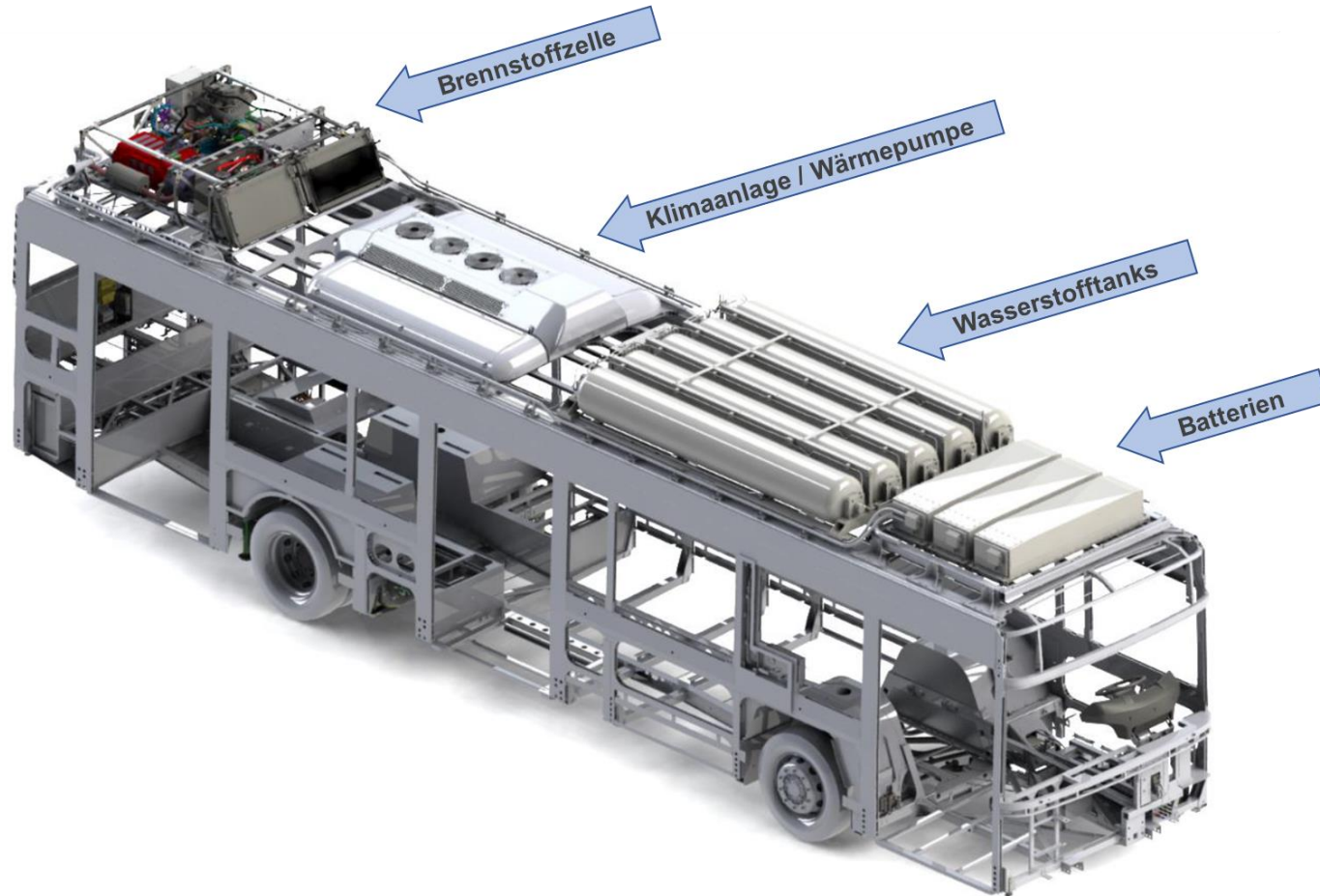


Volle Flexibilität

- ▶ nicht an Infrastrukturen gebunden



CAETANO H2.CITY GOLD



- ▶ 12m / 2 Türen
- ▶ Reichweite 400 km
- ▶ Maximale Leistung 180 kW Siemens Motor
- ▶ 60 kW Toyota Brennstoffzelle (Nennleistung)
- ▶ 37,5 kg H2-Tank
- ▶ 44 kWh LTO Batterie
- ▶ Tankdauer unter 9 Minuten

WERKSTATT AUSRÜSTUNG

- ▶ Durch den Straßenbahnbetrieb ist Know-How im Bereich elektrischer Antriebe vorhanden
- ▶ Einrichtung eines eigenen Arbeitsbereichs für Elektrobusse
- ▶ Installation eines Dacharbeitsstands inkl. Kran
- ▶ Installation einer Wasserstoffwarneinrichtung mit Ansteuerung der automatischen Tor- & Belüftungsanlagen
 - ▶ H2-Sensoren
 - ▶ Ex-Notbeleuchtung und -Blitzleuchten
 - ▶ H2-Abblaseleitung
 - ▶ Ausreichende Be- und Entlüftung
- ▶ Havarieplatz für gestörte Fahrzeuge



TANKSTELLE



FEEDBACK

Schulung spezieller Gruppe an Fahrer*innen

Durchweg positives Feedback der Kunden und Fahrer*innen

- ▶ Angenehmes und leises Fahrverhalten
- ▶ Viel Leistung und gute Rekuperation
- ▶ Heller Innenraum
- ▶ Modernes, auffälliges Design

Kritikpunkte der Fahrer*innen

- ▶ Bedienung der Heizung/Klima
- ▶ Schloss an der Fahrtür

Technische Zuverlässigkeit

- ▶ Aktuell noch verbesserungswürdig
- ▶ (zu) häufiger Ausfall der Wärmepumpe
- ▶ Elektronikstörungen



KONTAKTIEREN SIE UNS!

Mainzer Verkehrsgesellschaft mbH

Abteilung ÖPNV Fahrzeuge

Björn Kalter

Mozartstraße 8

55118 Mainz

bjoern.kalter@mainzer-mobilitaet.de