



# Wasserstoff-Busse von Solaris. Alternative für einen emissionsfreien öffentlichen Transport.

Mateusz Figaszewski  
E-mobility Development and Market  
Intelligence Director

Fryburg/29.03.2022







**Unternehmen**

# Millionen von Fahrgästen in 32 Staaten



**Unseren Produktionsbetrieb**  
haben 22.000 Fahrzeuge  
in alle Richtungen der Welt  
**verlassen**



750 Städte





# Breites Spektrum von Antrieben



OBERLEITUNGSBUS  
emissionsfreier Betrieb



HYBRIDE  
emissionsarmer  
Betrieb



ELEKTRISCH  
emissionsfreier  
Betrieb



CNG



WASSERSTOFF  
ANTRIEB  
emissionsfreier  
Betrieb



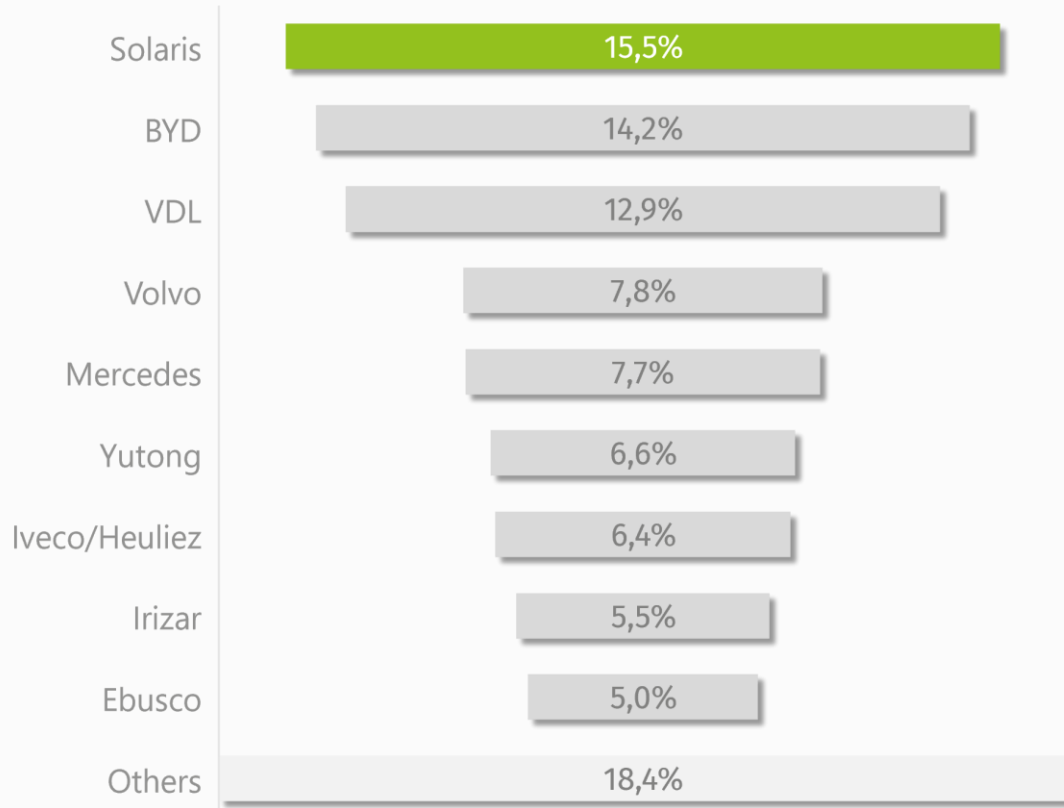
EURO 6



# Solaris war Marktführer

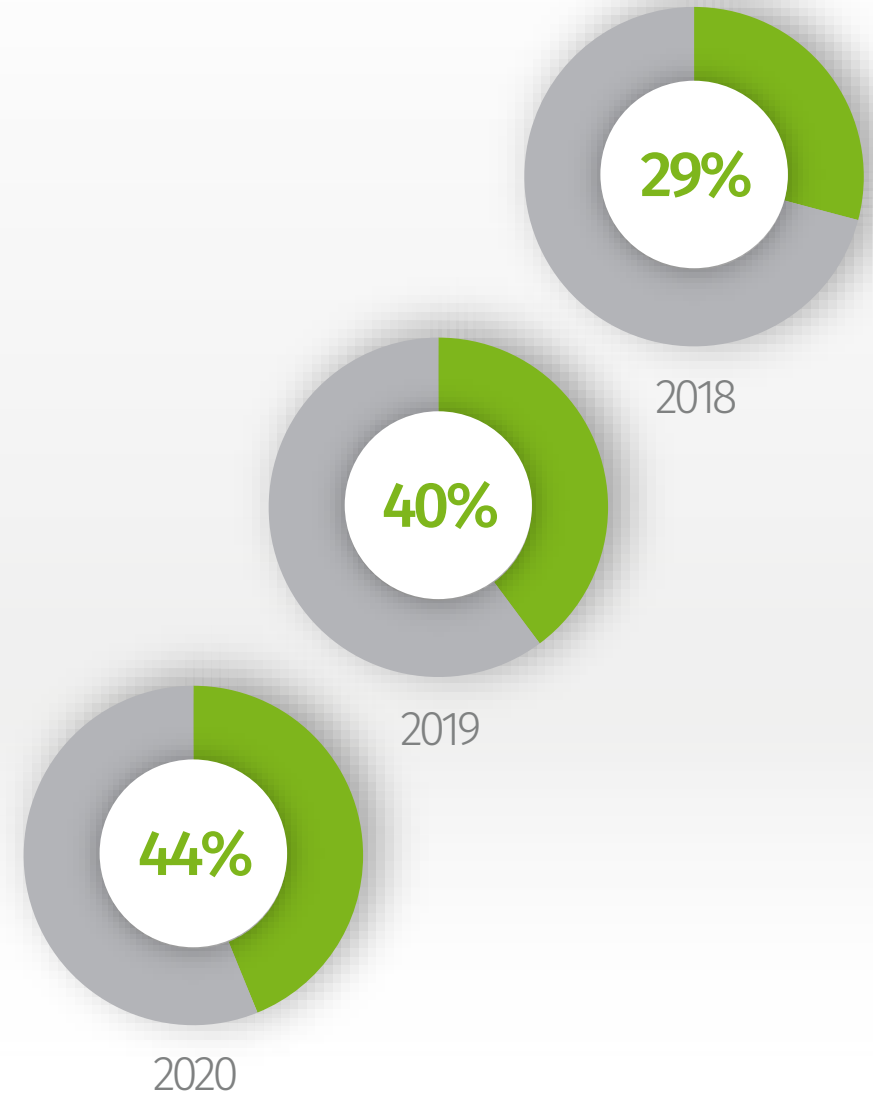
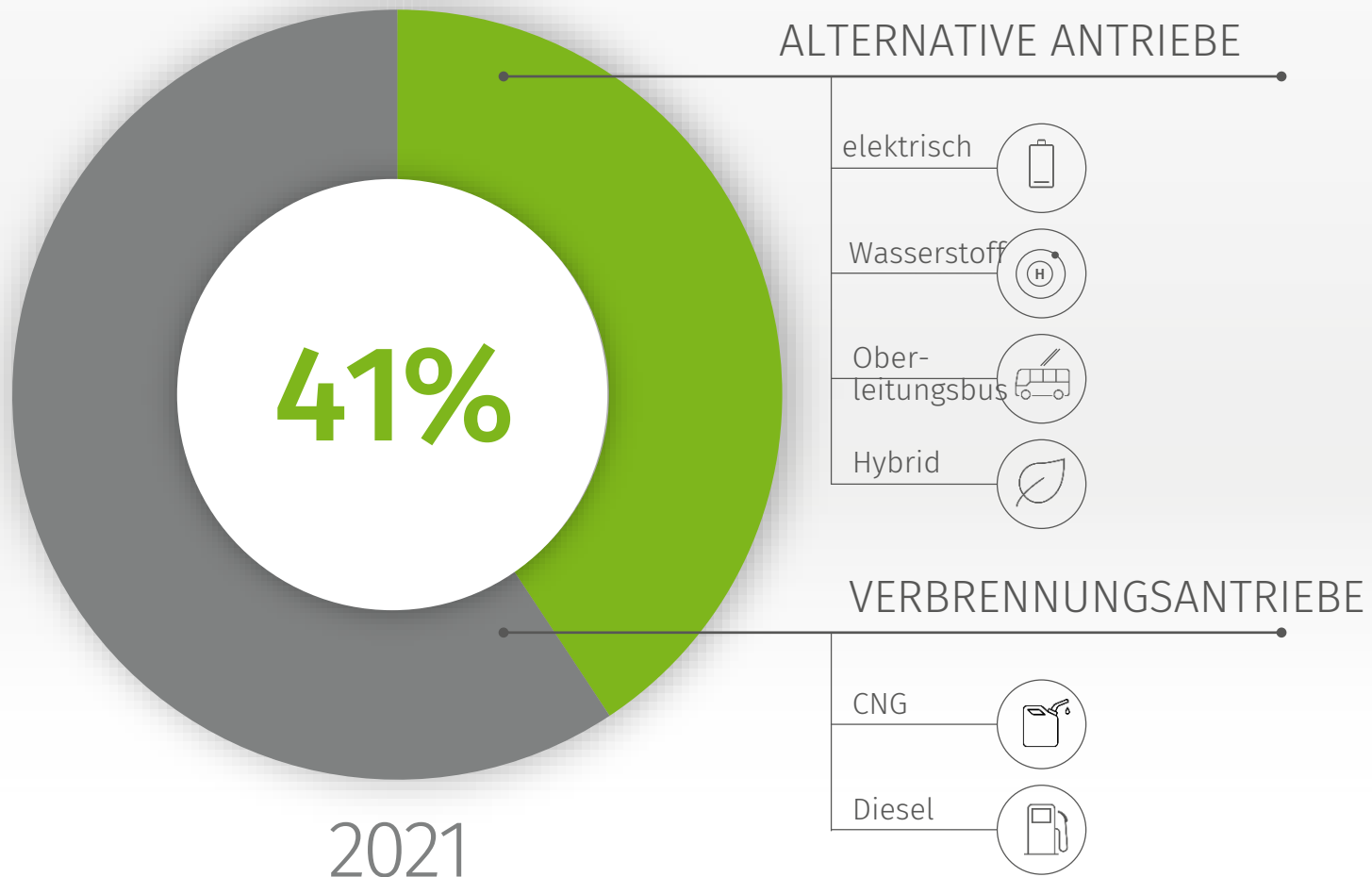
## im Bereich emissionsfreie Stadtbusse in den Jahren 2012-2021

Anteil am E-Bus- und Wasserstoff-Bus-Markt in Europa in den Jahren 2012-2021, ohne Großbritannien und Irland



**kontinuierliches**  
profitables  
Wachstum seit  
2012

# Anteil der alternativen Antriebe an den Solaris-Bussen von den Jahren 2018-2021



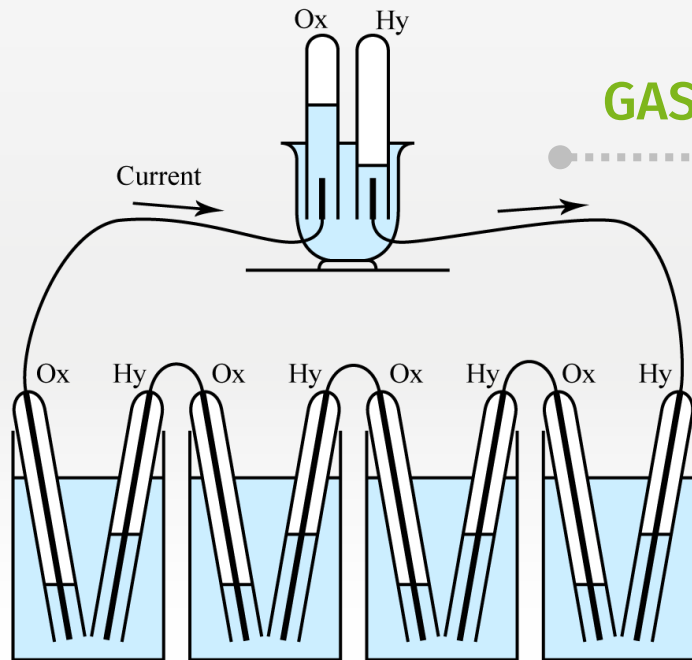




The background image shows a city street scene. On the left, a bright sun is low in the sky, creating a lens flare effect over a wet pavement. In the center, a large white diagonal banner contains the title text. On the right, a white hydrogen bus is driving on a road, with a green hill in the background. The bus has '21 AQUARIS 100% ELECTRIC' and a green plug icon on its side.

# Wasserstoff- technologie in Stadtbussen

# Brennstoffzellen, wie hat es angefangen



## GAS VOLTAIK BATTERIE

präsentiert bei  
William Robert Grove

## MINIATISIERUNG DER BRENNSTOFFZELLEN



1990s

XIX  
Jahrhundert



# Hydrogen

The fuel  
of tomorrow

DIESEL

44 MJ/kg

1 kg of energy density

120 MJ/kg

12.2 kW/kg

kWh per kg

33.3 kW/kg

3.3 km

by 12-metres  
diesel bus

Kilometres covered on 1 kg of fuel

13.9 km

by 12-metres  
hydrogen bus

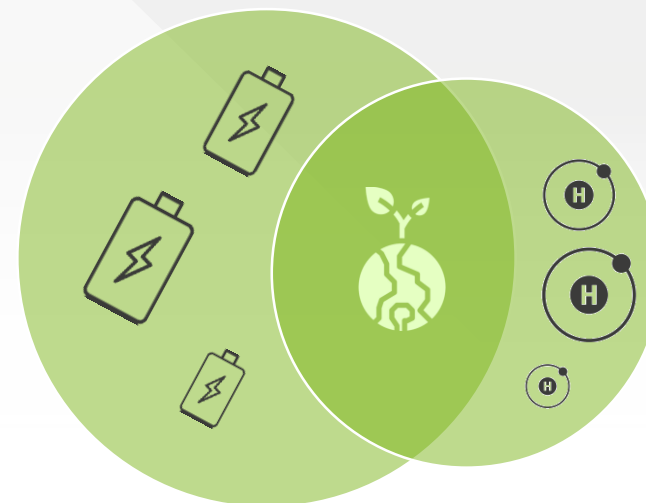
HYDROGEN



# E-Mobilität ist Zukunft

Synergien aus der Entwicklung von allen Sektoren der Elektromobilität sind unentbehrlich, um eine **effiziente Dekarbonisierung des Transportes** sicherzustellen.

Die Wasserstofftechnologie **bildet eine Ergänzung** für die Batterieantriebe und ist keine Konkurrenz für sie.





# Wann soll man **Wasserstoff benutzen?**

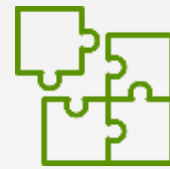
Die mit Wasserstoff betriebenen Fahrzeuge eignen sich **am besten bei den folgenden Anwendungen und Anforderungen:**



**Anforderung** einer **Schwerere Lasten**  
großen Reichweite



Strecken **wo**  
**schnelles Tanken**  
erforderlich ist



Hoher Bedarf an  
**Flexibilität**







# Umsetzungs- hindernisse



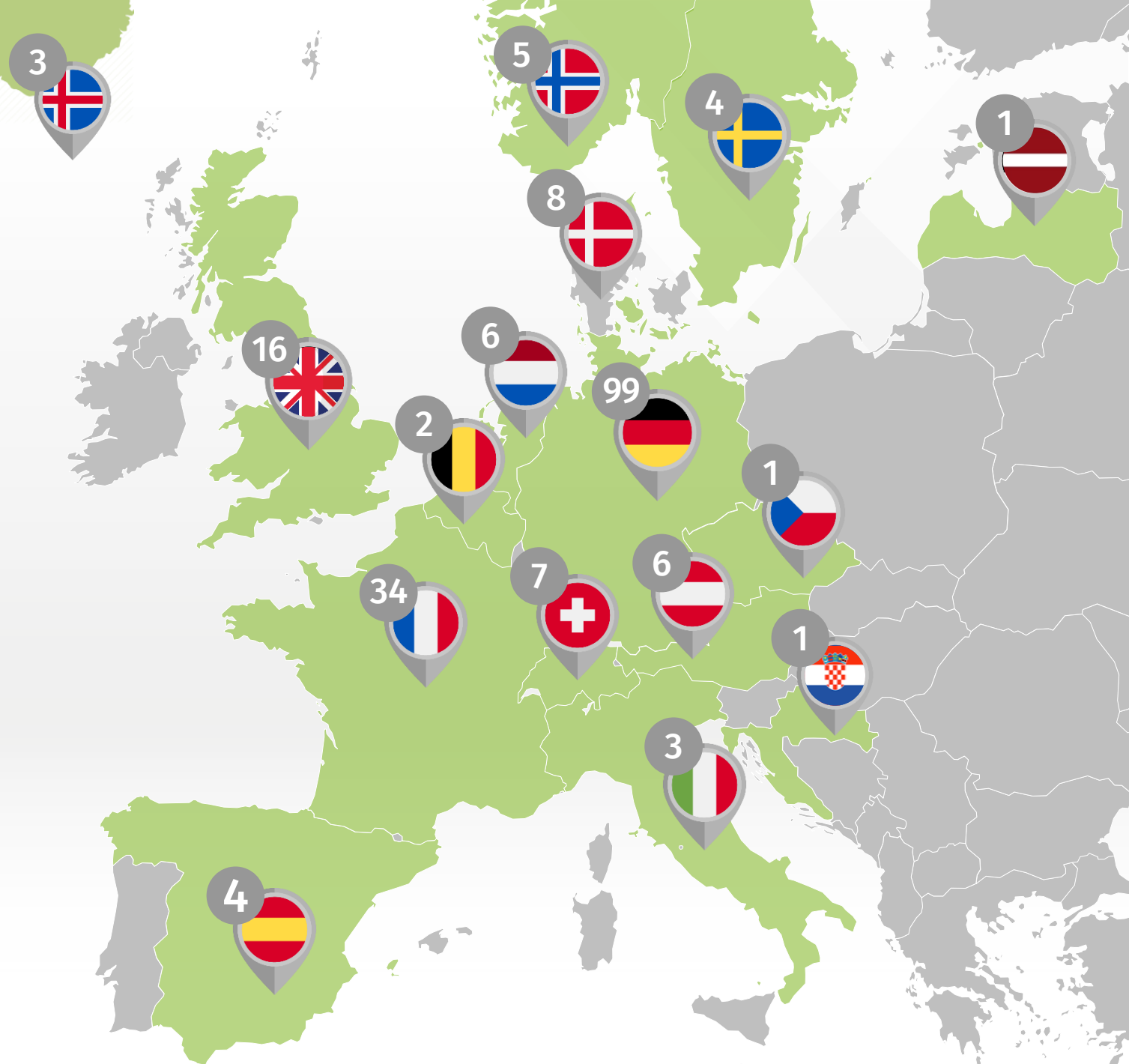
- Hohe Anfangskosten  
(im Vergleich zu ICEV und BEV)
- Beschränkte Wasserstoffbestände
- Technologische Hindernisse



# Wasserstofftankstellen in Europa

- **200** betriebsfähige  
Tankstellen  
(siehe Karte)

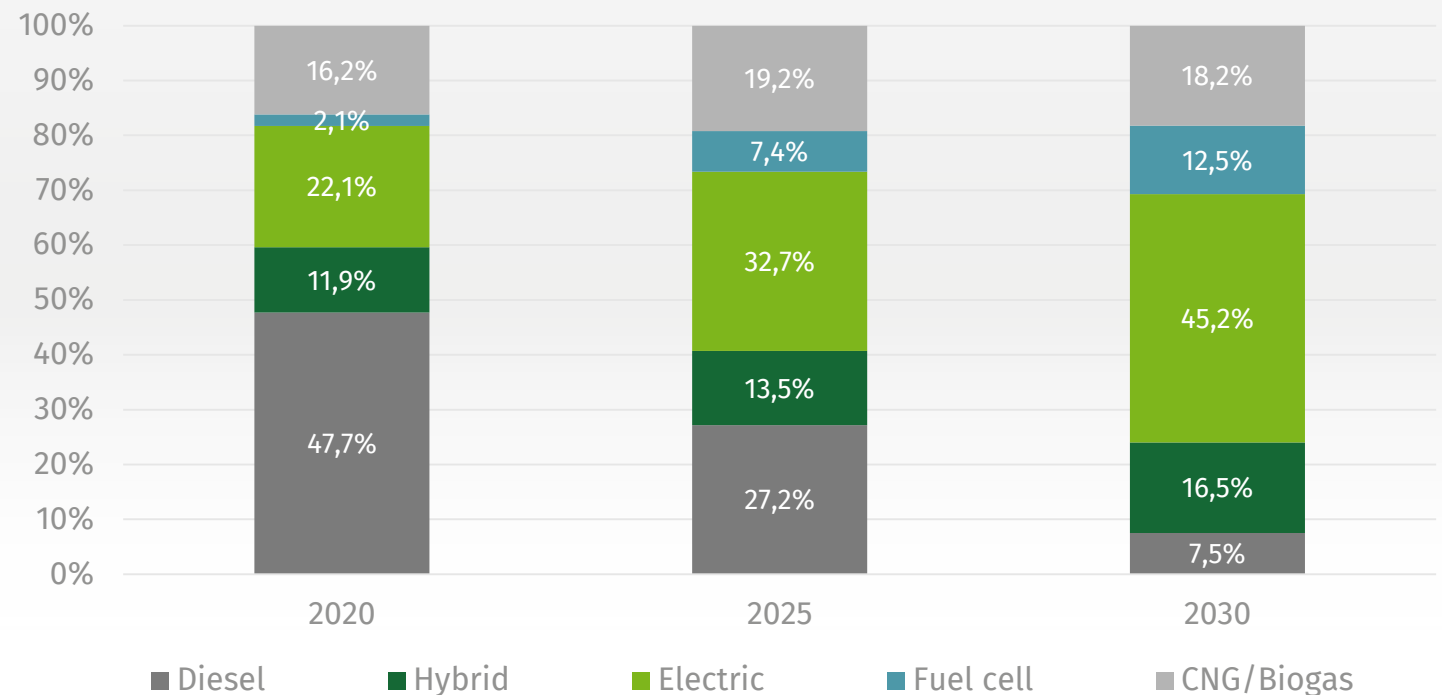
- **107** Tankstellen im Bau



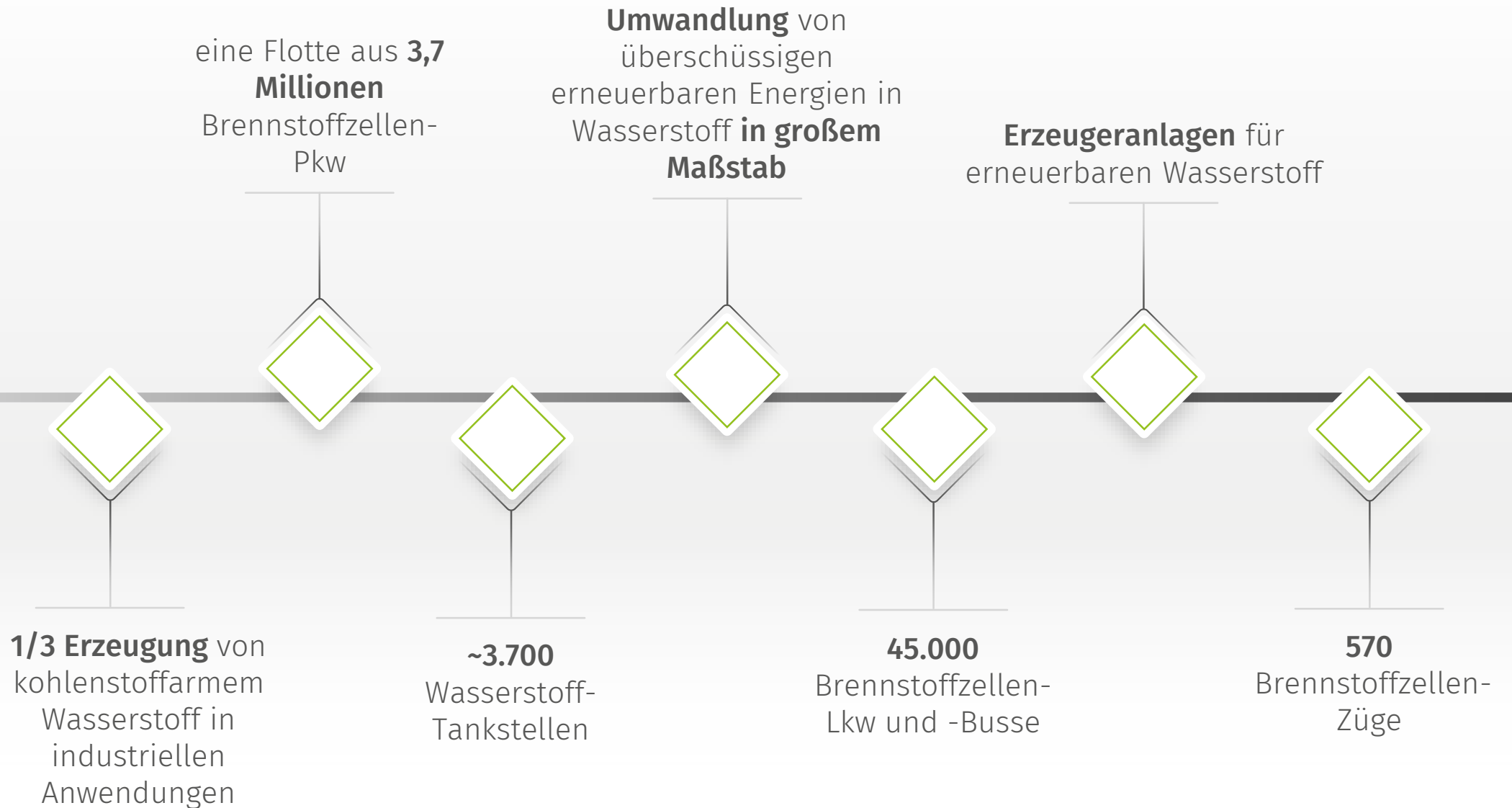
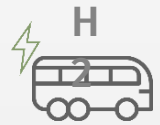


# Elektroantriebe – schnell wachsender Trend

Neu zugelassene Busse  
mit alternativen Antrieben  
in Europa in den Jahren 2020-2030



# Wasserstoff-Roadmap bis 2030 in Europa





# Unsere Erfahrung mit Wasserstoffantrieb



## HAMBURG

- 2 x Solaris Urbino electric 18.75 z  
**mit Wasserstoff-System zur  
Erhöhung der Reichweite**

- Hochbahn Hamburg  
**Innovative Linie 109**

- Der Bus legt bis zu  
**300 km pro Tag zurück**



Brennstoffzellensystem zur  
Reichweitenerweiterung  
Ballard 85 kW

Hochleistungs-Batterien

120 kWh von Solaris Batteriebus mit Brennstoffzelle als Range-Extender.

Depot-Ladegerät  
vom Typ Plug-in (20 kW)

Zentraler TSA-Motor

Antrieb Vossloh Kiepe



# Unsere Erfahrung mit Wasserstoffantrieb



RIGA

- **10 x Trollino 18.75** mit Wasserstoff-System zur Erhöhung der Reichweite für Riga
- Die Oberleitungsbusse können **bis zu 100 km ohne Pantograf fahren**
- **Eine einzigartige Lösung** auf europäischer Ebene



Brennstoffzelle  
Ballard 85 kW

1 x Solaris,  
Hochleistungssystem

Traktionsmotor Medcom

Wasserstoffbehälter (~20 kg)

Klimaanlage





# Solaris Urbino

## 12 hydrogen

Urbino 12 hydrogen

- **Hochleistungsbatterie**

- 1 x Solaris

- **Wasserstoff-Brennstoffzelle**

- Ballard 70 kW

- **Wasserstoffbehälter**

- Typ 4, 37,5 kg

- **Elektrische Achse**

- ZF AxTrax (2 x 125 kW)

- **CO<sub>2</sub>-Klimaanlage**

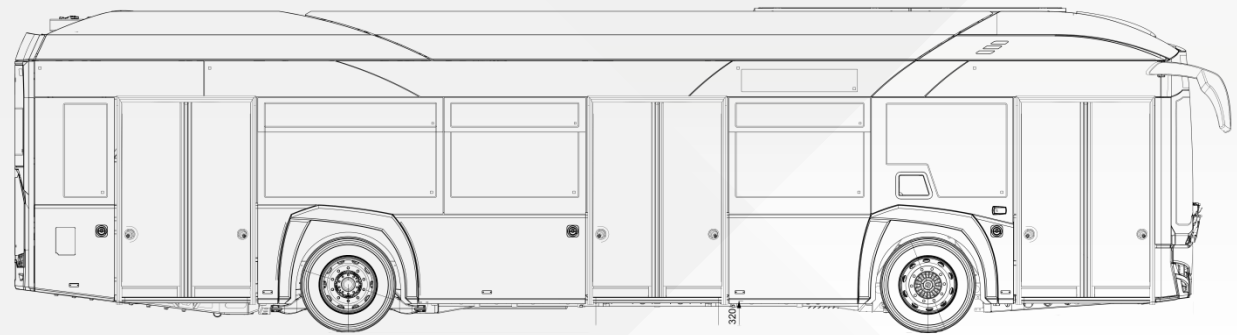
- mit Heizfunktion über Wärmepumpe



**Zulässige Gesamtmasse**

19,2 t

3 300 mm  
Höhe



12 000 mm Niederflur

# Solaris Urbino

## 12 hydrogen



**33 Sitzplätze**  
in Drei-Türen-Ausführung

**37 Sitzplätze**  
in Zwei-Türen-Ausführung



**89 Fahrgäste**



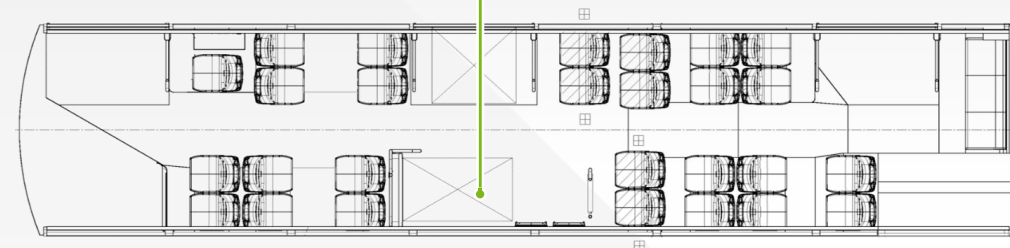
**~10 mehr Fahrgäste**  
**+10-15%**

Auf dem Markt erhältliche  
Elektrobusse mit einer Reichweite  
von ~200 km

Solaris Urbino 12 hydrogen  
zulässige Gesamtmasse 19,2 t



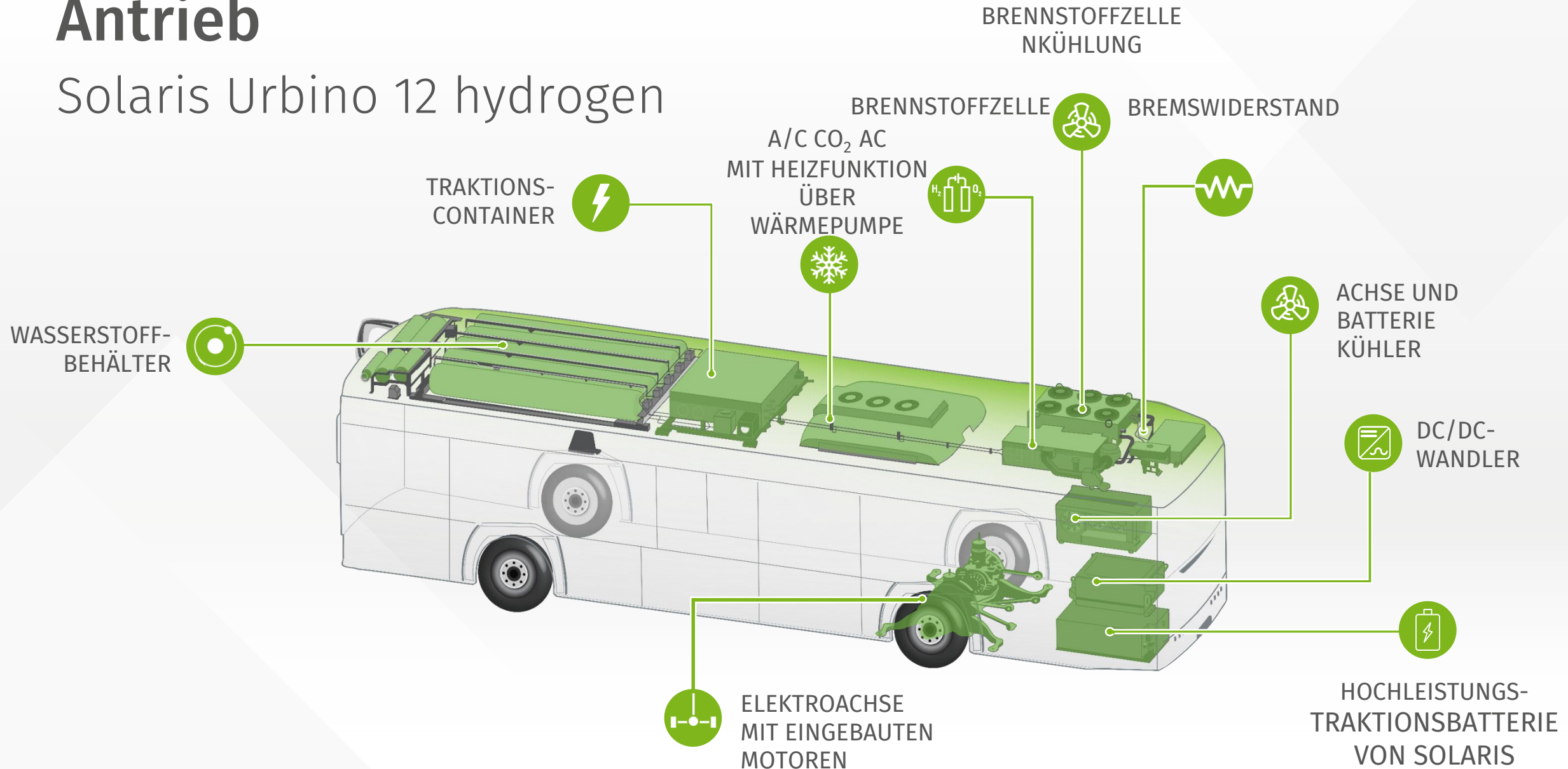
**2 000 mm**  
**Rollstuhlplatz**





# Antrieb

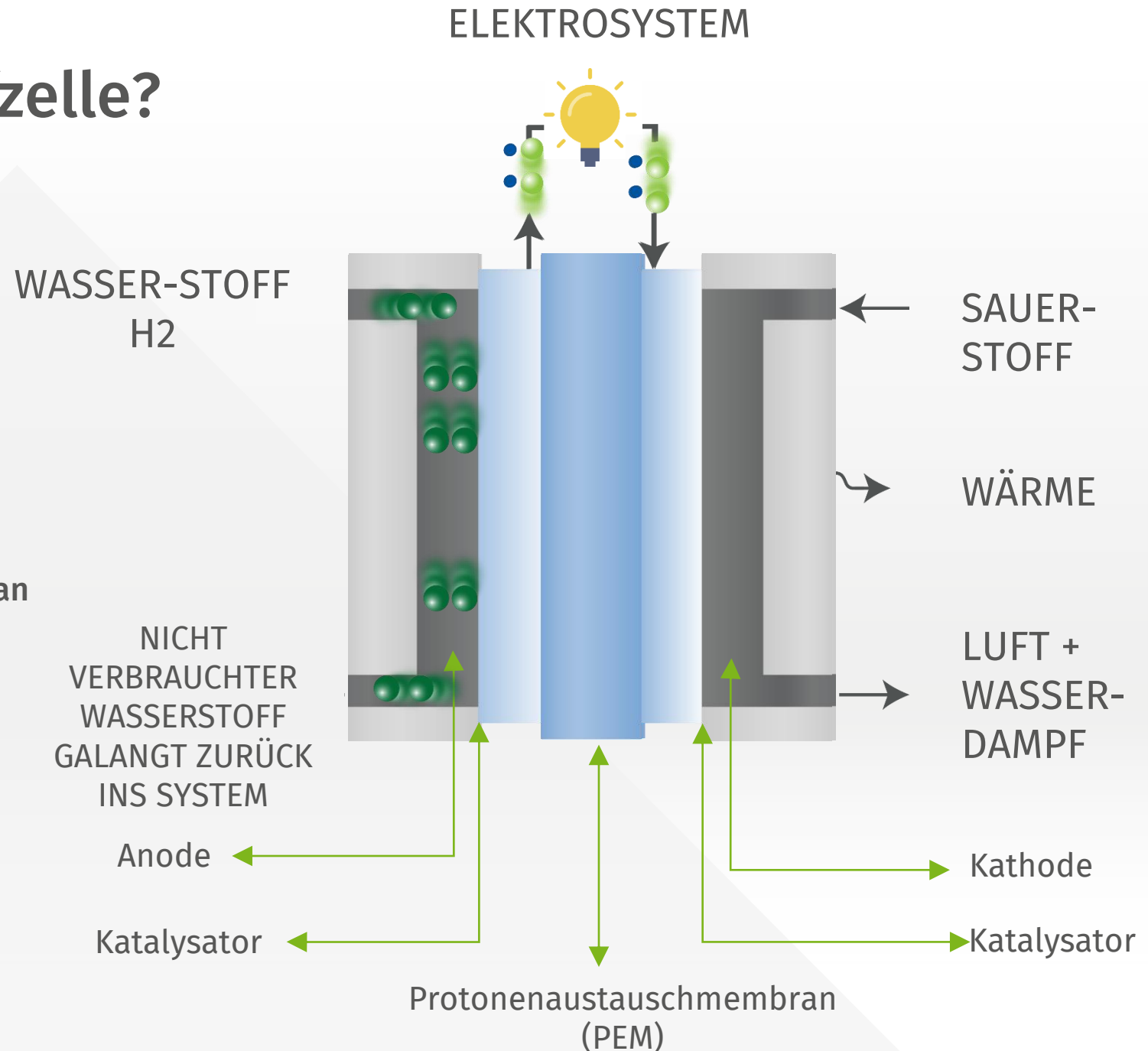
## Solaris Urbino 12 hydrogen



# Wasserstoff-Brennstoffzelle?

## Wie funktioniert

1. Wasserstoff gelangt zum Katalysator
2. **Wasserstoff spaltet sich in** Protonen und Elektronen  
$$\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$$
3. Nur die **Protonen durchringen die PEM-Membran** und erreichen die Kathode
4. Die Elektronen erreichen den äußeren Stromkreis. **Die gewonnene Energie wird vom Antrieb verwendet**
5. Die Protonen, die zurückkehrenden Elektronen und der Sauerstoff **erzeugen Wasser und Wärme**





# Neue Generation

## Brennstoffzelle FCmove-HD

- Nennleistung  
**70 kW**
- Maximale Leistungsfähigkeit  
**57%**
- Geschätzte Lebensdauer  
**>30 000 Betriebsstunden**
- Aufbewahrung bei Temperaturen bis zu **-40°C**
- Start bei  
**-25°C** (keine vorherige Konditionierung oder externe Versorgung in der Nacht erforderlich)
- Betrieb bei Temperaturen  
**von 60 bis 80°C**
- Keine externe Stromversorgung erforderlich



**70 kW**



**57%**



**60-80 °C**



# Wasserstoffbehälter

## Typ 4

- 5 Flaschen  
**Typ 4**
- Wassertank:  
**1,560 l (5 \* 312)**
- Gesamtmenge gespeicherter Wasserstoff:  
**37,5 kg**
- Zu verwendende Wasserstoffmenge:  
**34,2 kg**
- Betriebsdruck (bei 15°C):  
**350 bar**



WASSERSTOFF-  
BEHÄLTER





# Wasserstoffbehälter

## Typ 4



**20% kleineres Gewicht**  
im Vergleich zur  
vorherigen Behältergeneration

Behälter vollständig  
aus **Verbundstoffen** ausgeführt

**Mit Epoxidharz imprägniert**

Behälter aus Endlosfasern mit **nicht  
metallischer Auskleidung**

WASSERSTOFF-BEHÄLTER  
Typ 4



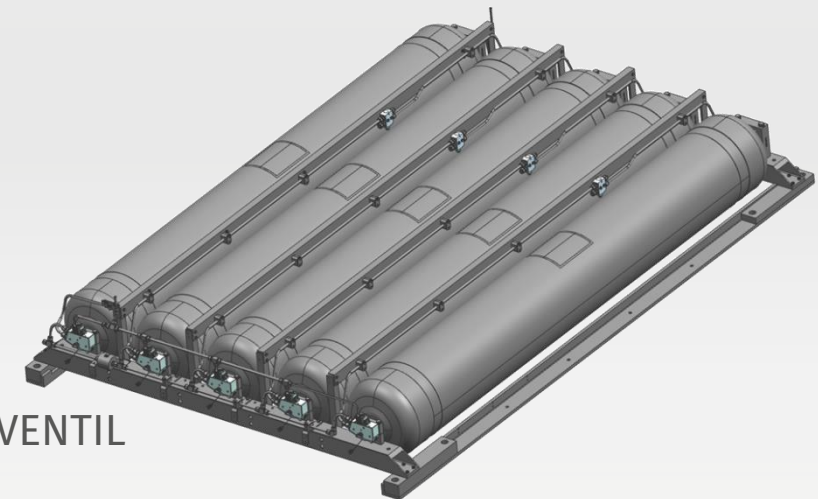
NICHTMETALLISCHE  
AUSKLEIDUNG

# Sicherheit

- **Redundantes Durchflussventil**
  - sperrt den Gasstrom im Falle von Leckagen aus dem System
- **4 Wasserstoffsensoren**
  - zur Überwachung der Dichtheit
  - gelegen in der Nähe von Hauptelementen des Wasserstoffsystems und im Fahrgastraum
- Jeder Wasserstoffbehälter enthält ein **Multifunktionsventil**
  1. **Magnet-**ventil
  2. **Temperatur-**fühler
  3. **3 x TPRD-Ventile an jedem Tank**
    - sichere Entfernung von Wasserstoff aus dem System bei hoher Temperatur zum Schutz vor gefährlichem Druckanstieg.
- **Der Betankungsanschluss verfügt über** zusätzliche Schutzvorrichtungen



MEHRZWECKVENTIL





Sicherheitsmaßnahmen, die über die gesetzlichen Anforderungen hinausgehen

§ PERMEATIONSRATE gemäß Verordnung EG79:  
**<6,0 Ncm<sup>3</sup> / h / Liter H<sub>2</sub>**



H<sub>2</sub>-Verlust:  
**0,167 g / h = 1.464 g / Jahr  
pro Flasche**



Für 5 x 312 l Tanks  
im Urbino 12 hydrogen:  
**7.322 g pro Jahr**



**PERMEATIONS RATEN in Urbino 12 Wasserstofftanks**  
**2 l / h / Liter H<sub>2</sub>**



H<sub>2</sub>-Verlust:  
**0,056 g / h = 488 g / Jahr  
pro Flasche**



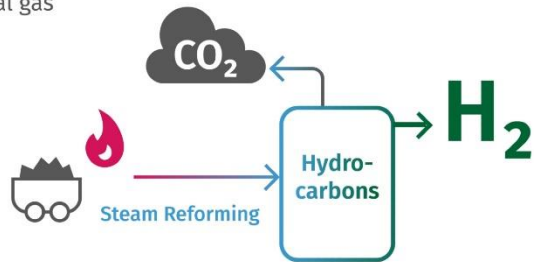
Für 5 x 312 l Tanks  
im Urbino 12 hydrogen:  
**2.441 g pro Jahr**

Fast  
**3x**  
**weniger**  
als in den  
EU-Vorschriften

# Verschiedene Farben des Wasserstoffs

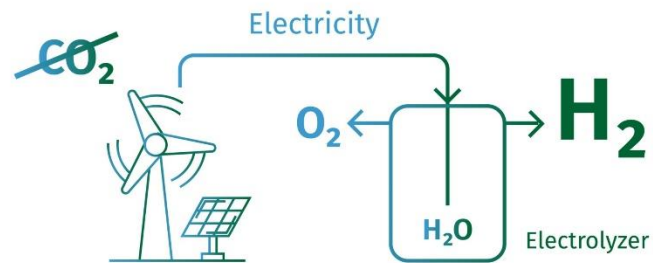
## Grey hydrogen

Steam methane reforming (SMR)  
of natural gas



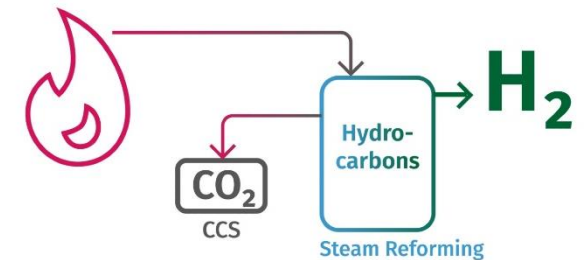
## Green hydrogen

Water electrolysis (AEM/PEM)



## Blue hydrogen

SMR with carbon capture and storage (CCS)





# Qualität von Wasserstoff: Standards und Normen



—• 14687-2



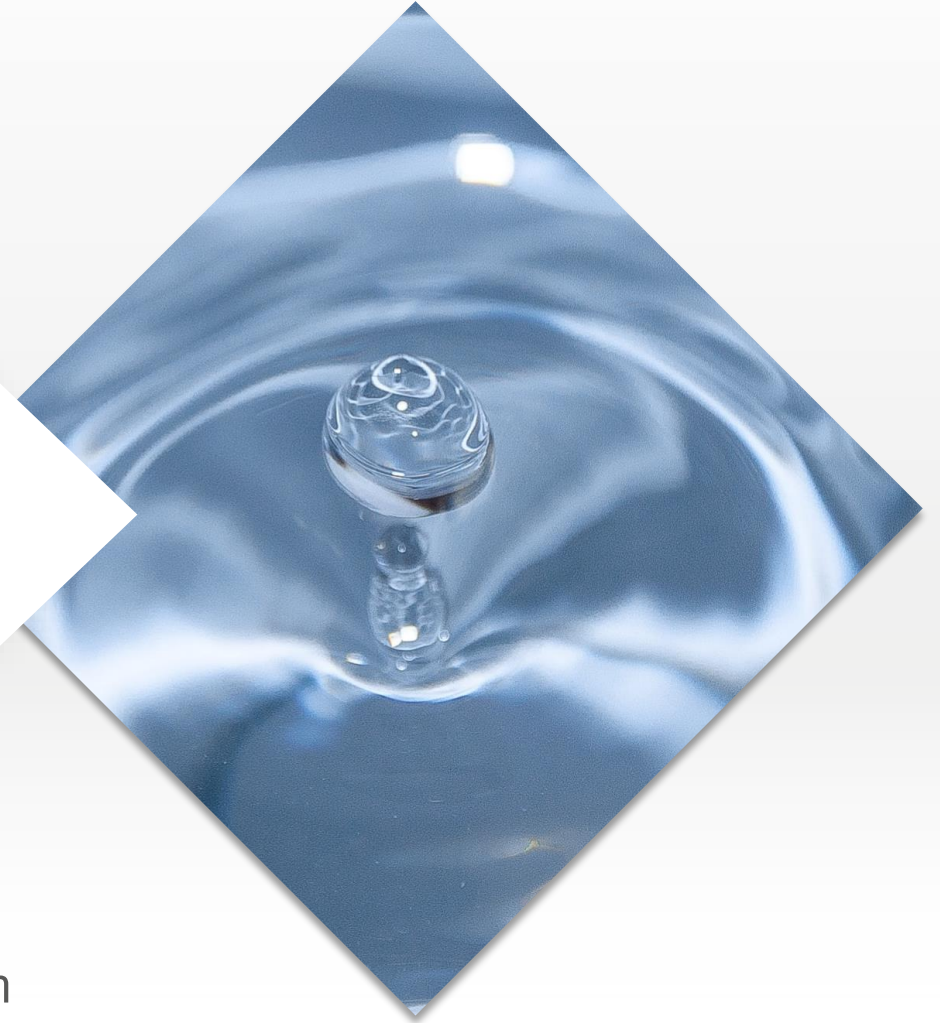
—• J2719  
—• J2799



—• EN 17124

**99,97%**

Reinheitsgrad von  
Wasserstoff



# Unsere Erfahrung mit Wasserstoffantrieb



KÖLN

- **15 x Urbino 12 hydrogen**

- Die Fahrzeuge werden an den Kunden bis Ende 2021 geliefert

- Rheinisch-Bergischer Kreis: 5 Stück

- Rhein-Sieg-Kreis: 5 Stück

- Hürth: 5 Stück



Brennstoff- zelle  
Ballard 70 kW

Hochleistungsbatterie  
von Solaris

350 km Reichweite  
mit einer Tankfüllung

Wasserstoffbehälter (37 kg)

Klimaanlage





# Unsere Erfahrung mit Wasserstoffantrieb



## BOLZANO

- **12 x Urbino 12 hydrogen**

- Die Fahrzeuge werden an den Kunden bis Ende Juni 2021 geliefert



Brennstoff- zelle  
Ballard 70 kW

Hochleistungsbatterie  
von Solaris

350 km Reichweite  
mit einer Tankfüllung

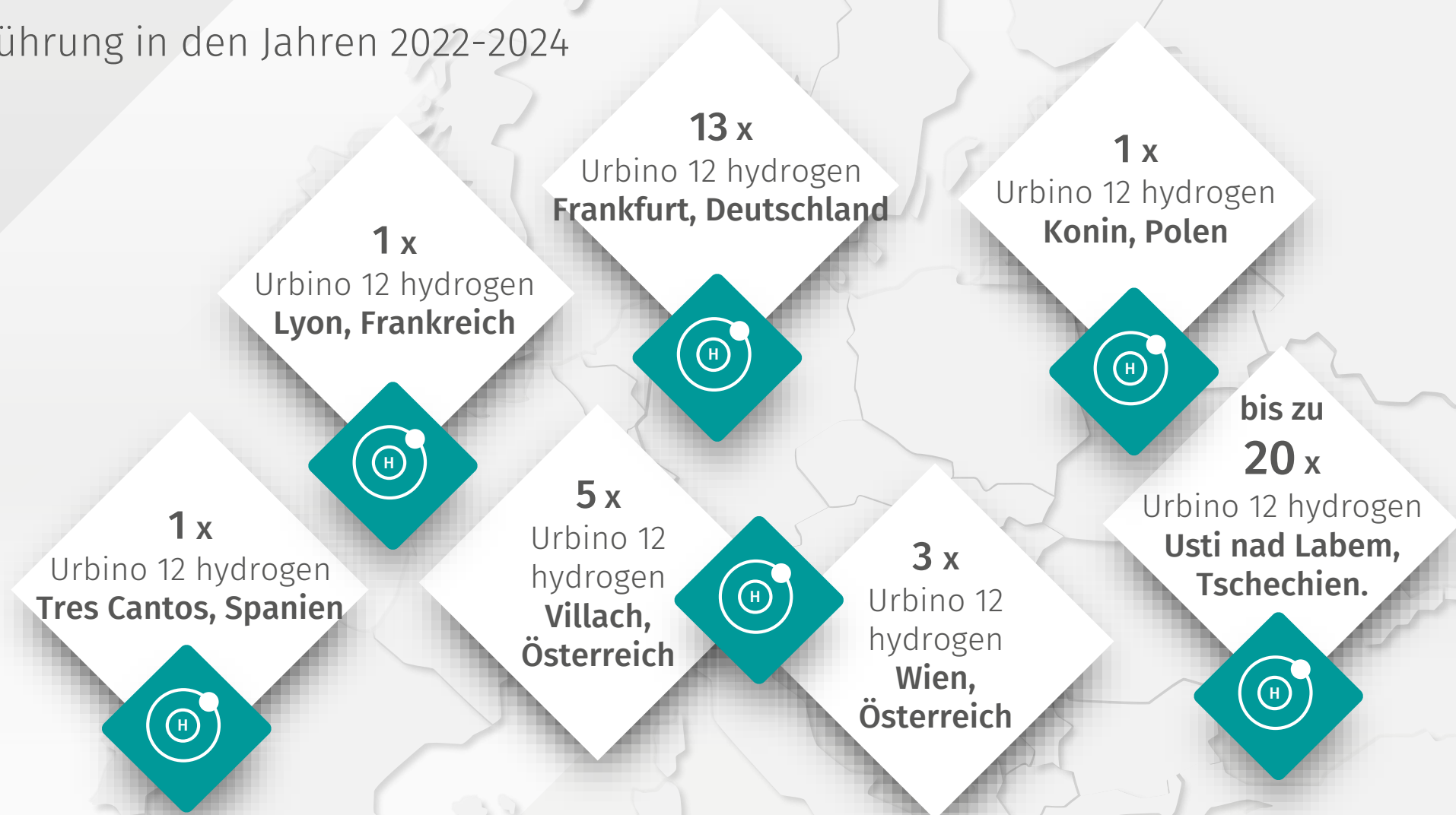
Wasserstoff- behälter

Klimaanlage



# Verträge über **Wasserstoff-Busse**

Einführung in den Jahren 2022-2024





# Solaris Urbino 18 hydrogen

- Solaris Urbino 18 hydrogen wird zum Anbieten bei Ausschreibungen seit **der Mitte 2022 bereitstehen\***

- Lieferungen **im zweiten Quartal 2023 möglich**

\* anfänglich mit einem Teil der technischen Dokumentation.



zulässige Gesamtmasse: 29 t

Räder: 275/70 R22,5

Türen:

1-2-2-0  
2-2-2-0  
1-2-2-2  
2-2-2-2

\*in der Ausführung ohne Endtür und mit einem kleineren Rollstuhlplatz (2 x 1,300mm)



**Viele Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit!**

