

# **Betrieb und Instandhaltung von Wasserstoffzügen**

## Erkenntnisse aus der Praxis

**Marcus Rech**

Geschäftsbereichsleiter Schienenfahrzeugtechnik  
und Instandhaltungsmanagement,  
Eisenbahnen und Verkehrsbetriebe Elbe-Weser  
GmbH (evb)

# H<sub>2</sub>istory in Bremervörde

Am 24. August 2022 schrieb eine niedersächsische  
Regionalbahn Eisenbahngeschichte



**Erste Wasserstoffzug-Flotte  
der Welt im Regelbetrieb**

**Mission der evb:**

- **Verlässlichen Alltagsbetrieb**  
sicherstellen
- **Prozesse und Standards**  
etablieren
- **Wissen generieren** für  
Weiterentwicklung und neue  
HEMU-Generationen



# Inhalt

**1 Unternehmensvorstellung**

**2 Strecke, Projektpartner und Verträge**

**3 Historie / Ausblick**

**4 Fahrzeuge / Tankstelle**

**5 Warum Wasserstoff?**

**6 Herausforderungen (Betrieb / Technik)**

**7 Sicherheit**

**8 Fazit**

# So nah ist ganz weit vorn: Die evb stellt sich vor



- **Gruppe mit fünf Geschäftsbereichen:**  
SPNV (Bahn) | ÖPNV (Bus) | Logistik (Schienengüterverkehr)  
Schienenfahrzeugtechnik | Infrastruktur
- **Eigner:** Land Niedersachsen (83%), Landkreise und Kommunen
- Klimafreundlicher **Mobilitätsanbieter** in vornehmlich ländlicher, tendenziell strukturschwacher Region
- **Weltweit führender Kompetenzcluster** im Betrieb von Wasserstoffzügen
- **660 Mitarbeitende** an 7 Standorten (inkl. Tochtergesellschaften der evb-Gruppe)
- **Eigenes Schienennetz** mit 235 km Länge
- **Im Wettbewerb** mit anderen EVUs, Bus- und Logistikunternehmen
- **Innovativ, vertikal integriert und bestens aufgestellt für Pionierarbeit**

# Die Wasserstoff-Strecke: RB33 – Lebensader der Region



- Zentrale Strecke des Elbe-Weser-Dreiecks:  
Cuxhaven > Bremerhaven > Bremervörde > Buxtehude
- Verbindung nach Hamburg und Bremen über Bremerhaven bzw. Buxtehude
- Einbindung in VBN- und HVV-Tarif
- > 2 Mio. Fahrgäste p.a.
- 127 Kilometer lang, Reisezeit: 2 h 50 Minuten
- Nicht elektrifiziert
- Seit 30 Jahren betrieben durch evb
- Seitdem massiv aufgewertet durch Stundentakt + (seit 2022) H<sub>2</sub>-Züge

# Projektpartner



**Landesnahverkehrsgesellschaft Niedersachsen (LNVG):**

- Bestellt und finanziert Verkehrsleistungen, Werkstatt/Instandhaltung, H<sub>2</sub>-Tankstelle
- Erwirbt Fahrzeuge und betreibt **Fahrzeugpool**



- Erbringt **Verkehrsleistungen** (EVU)
- Führt **Instandhaltung** durch (als ECM 4)
- Hält **Werkstatten, Gleisinfrastruktur** sowie **Grundstücke** für Tankstelle vor



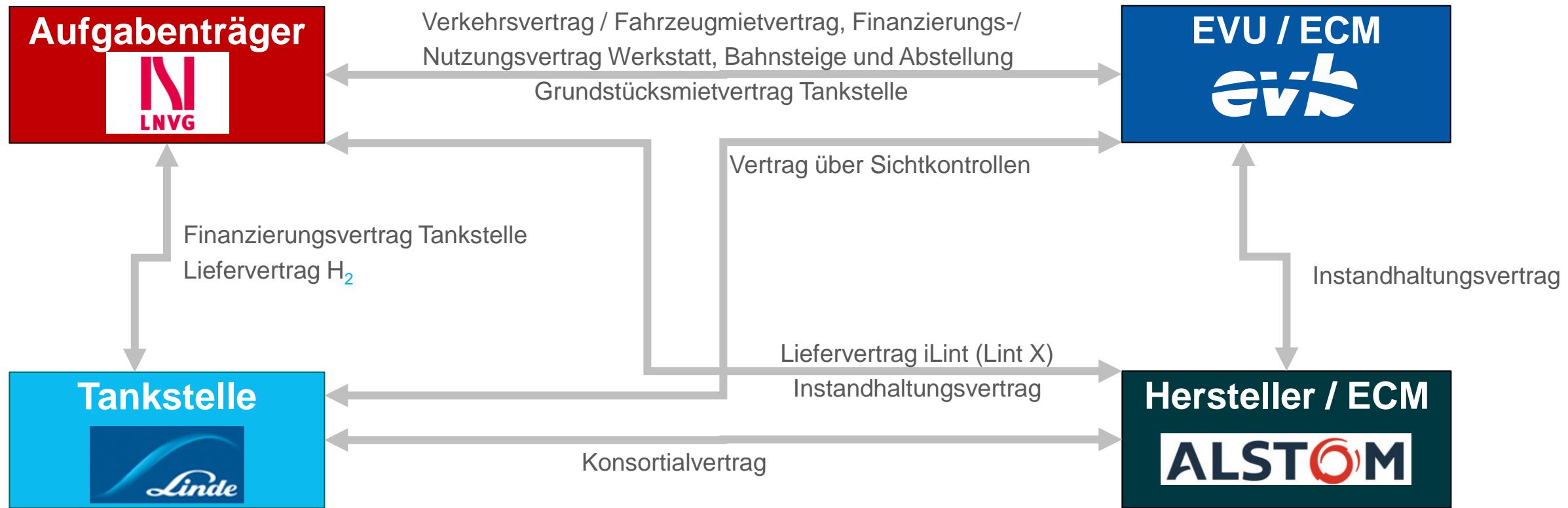
- **Fahrzeug-Hersteller** und ECM 1-3
- Konsortialpartner von Linde bei H<sub>2</sub>-Tankstelle



- errichtete und betreibt **H<sub>2</sub>-Tankstelle**



# Ausgewählte Verträge



# Historie



# Ausblick

- Bau einer Windkraftanlage und eines H<sub>2</sub>-Elektrolyseurs an der H<sub>2</sub>-Tankstelle zur Herstellung von grünem Wasserstoff
- Erweiterung der H<sub>2</sub>-Tankstelle zur Nutzung für PKW / LKW
- Streckenreaktivierung RB34 ggf. unter Einsatz weiterer iLint

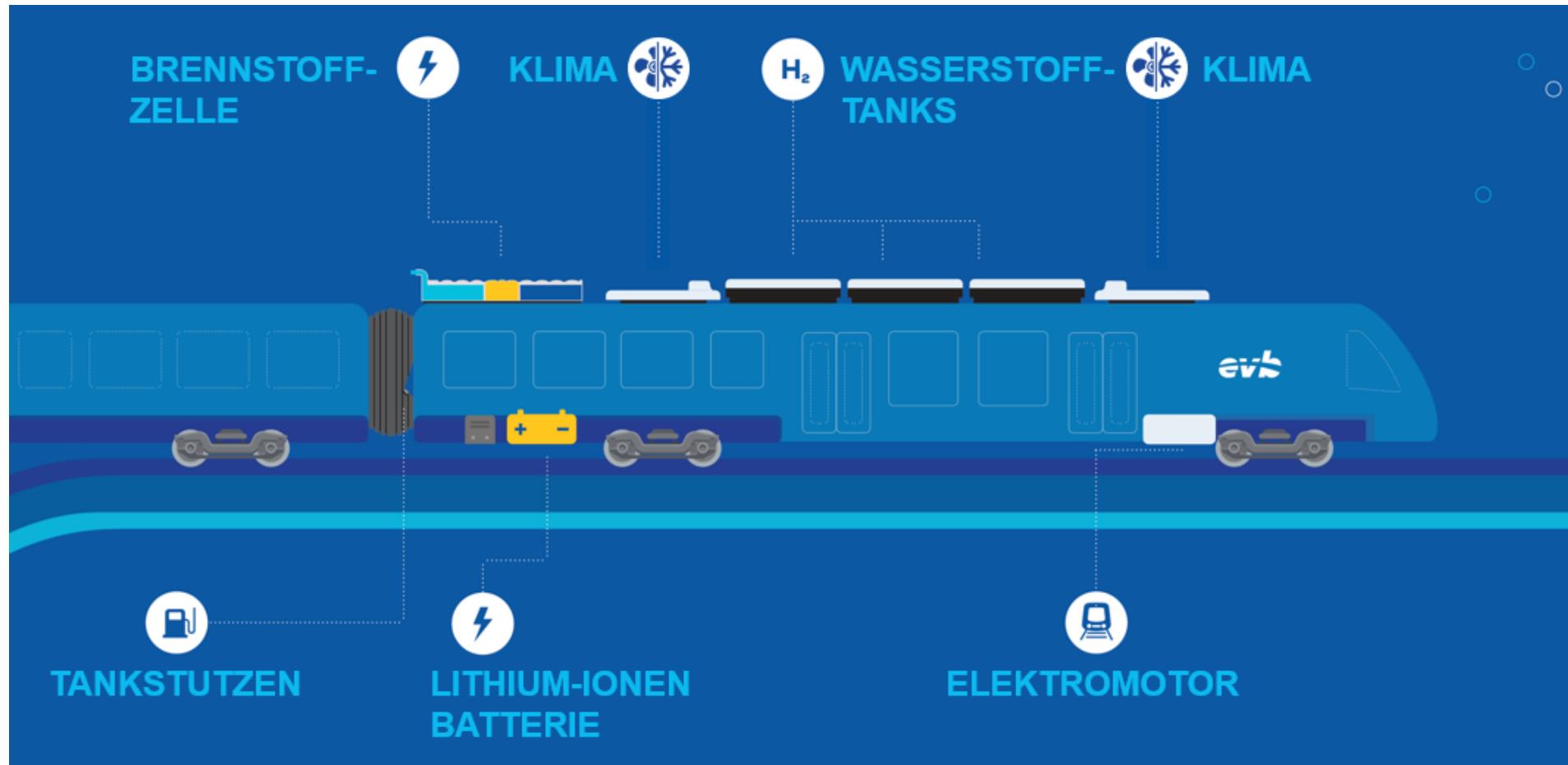


# Fahrzeug: Alstom Coradia iLint



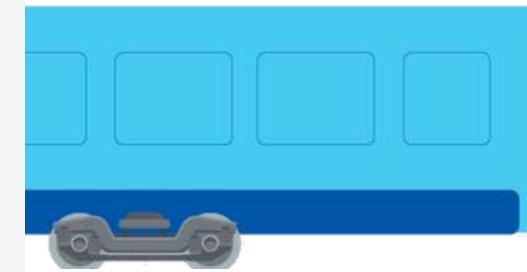
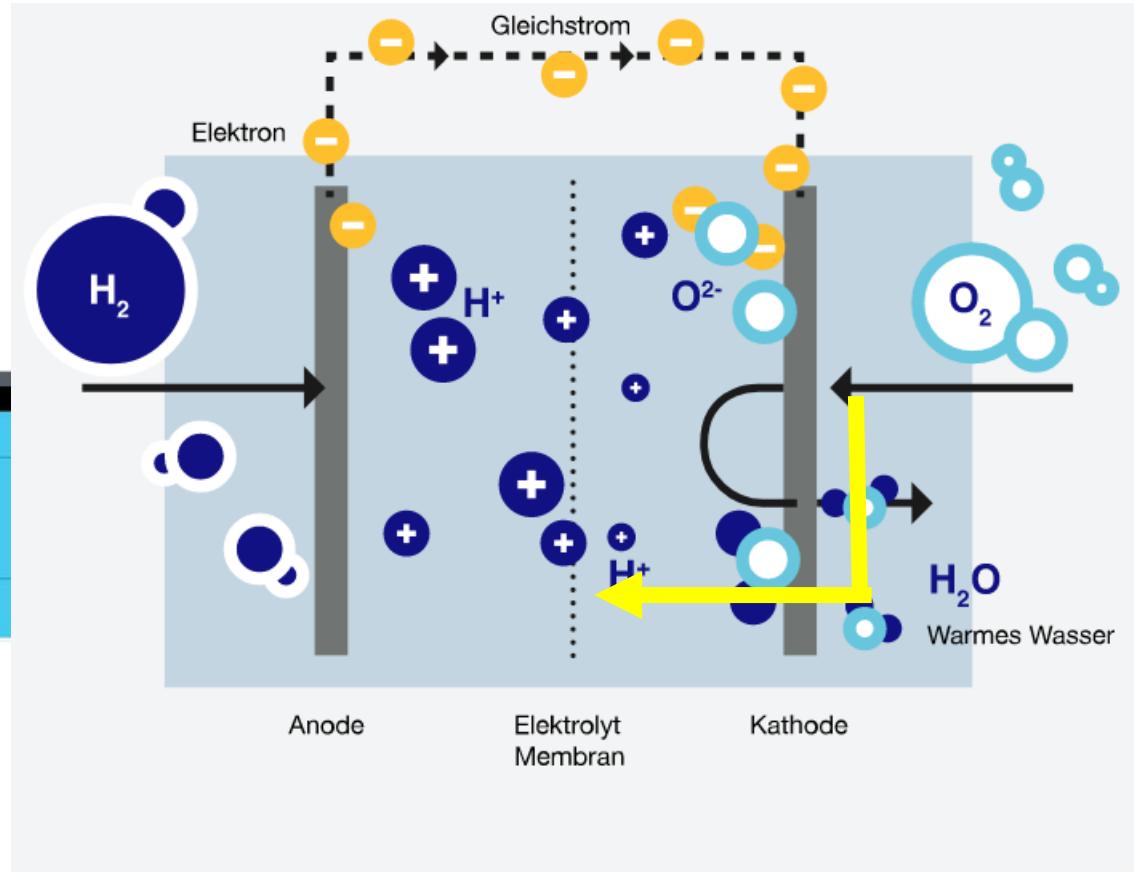
- **iLINT = intelligenz Leichter Innovativer Nahverkehrs-Triebwagen**
- **erster Brennstoffzellen-Passagierzug der Welt**
- **basierend auf DMU-Plattform LINT54** (54 m Fahrzeugglänge)
- **2 Wasserstoff-Tanks** mit je 130 kg Kapazität  
(Druck ca. 350 bar, Tankzeiten ca. 20 bis 60 min)
- **2 Brennstoffzellen** mit je 210 kW / Antriebsleistung Rad: 2 x 367 kW
- **Batterie für das Energiemanagement:**  
Rückgewinnung kinetischer Energie beim Bremsen (>30 %)  
Boost beim Beschleunigen  
Versorgung von Bordtechnik / Hilfsbetrieben
- **Höchstgeschwindigkeit: 140 km/h**
- **Bis zu 157 Sitzplätze**
- **Reichweite beim Weltrekord** durch evb-Triebwagen 554 011  
am 15.09.2022: 1175 km mit einer Tankfüllung (überschreitet Standard-Reichweite)

# Fahrzeuge - Alstom Coradia iLint



# Fahrzeuge – Wirkungsweise Brennstoffzelle

- <https://youtu.be/HDr06IC2fi0>



<https://www.tuev-nord.de/de/unternehmen/energie/wasserstoff/wasserstoff-brennstoffzelle/>

# Wasserstoff-Tankstelle



# Warum Wasserstoff?

- Intention Gesetzgeber und evb:  
**Klimawandel und Lärmschutz**
- **Diesel-Ausstieg unvermeidlich**  
(Preis, CO<sub>2</sub>-Abgaben,  
schwindende Akzeptanz)
- **Nicht-elektrifizierte Strecke**  
(Elektrifizierung im ländlichen Raum  
unwirtschaftlich)
- **Flexibilität**  
bei weit geringerer Umweltbelastung:  
**große Reichweite**  
**wenige Tankstopps**  
**schnelle Betankung**
- **Ermöglicht grüne H<sub>2</sub>-Produktion vor  
Ort durch lokale Elektrolyse**  
stärkt **lokale Wirtschaftskreisläufe**  
sichert **Preisstabilität**  
100% frei von fossilen Brennstoffen



# Herausforderungen - Betrieb



- **Prozesse + Standards**  
keine etablierten Best Practices
- **Kürzere Reichweite + längere Tankzeit**  
starker Einfluss von Hilfsbetrieben, Heizung / Klimaanlage und Außentemperatur
- **Vollkommen neuer Betankungsprozess**  
Erkenntnis: keine Abschaltung der Brennstoffzellen erforderlich; Kühlung vorteilhaft (Beschleunigung)
- **Reichweiten-Ermittlung schwierig**  
Ohne Praxiserfahrungen unrealistische Werte  
Starker Einfluss von Wetter, Fahrplan, Fahrgastaufkommen etc.
- **Hohe Anforderungen an Personal-Ressourcen**  
Aufbau Pilotprojekt ist (zeit-)aufwändig und kostenintensiv
- **Kostensteigerungen**  
z.T. unvorhersehbar und nur zum Teil kompensierbar

# Herausforderungen - Technik



- **Verfügbarkeit**  
von Zügen und Komponenten:
  - ca. 20 % während der Anfangsmonate
  - ca. 50 % aktuell und tendenziell bis Ende 2024
- **Völlig neue Risikobewertungen und Sicherheitsstandards**  
Mögliche Grundlage für künftige Projekte
- **Wartung von H<sub>2</sub>-Komponenten auf dem Dach**  
Eigene Wasserstoff-Werkstätten empfehlenswert
- **H<sub>2</sub>-Erkennung in der Werkstatt**  
weniger problematisch als erwartet, bisher keine Fehlalarme
- **Umgang mit HV-Batterien im Störungs-/Notfall**  
völlig unklar (Produktverantwortung Hersteller)
- **Schulung von Personal und Stakeholdern**  
einschließlich externer Partner, z. B. Schulung von 100 Feuerwehrleuten

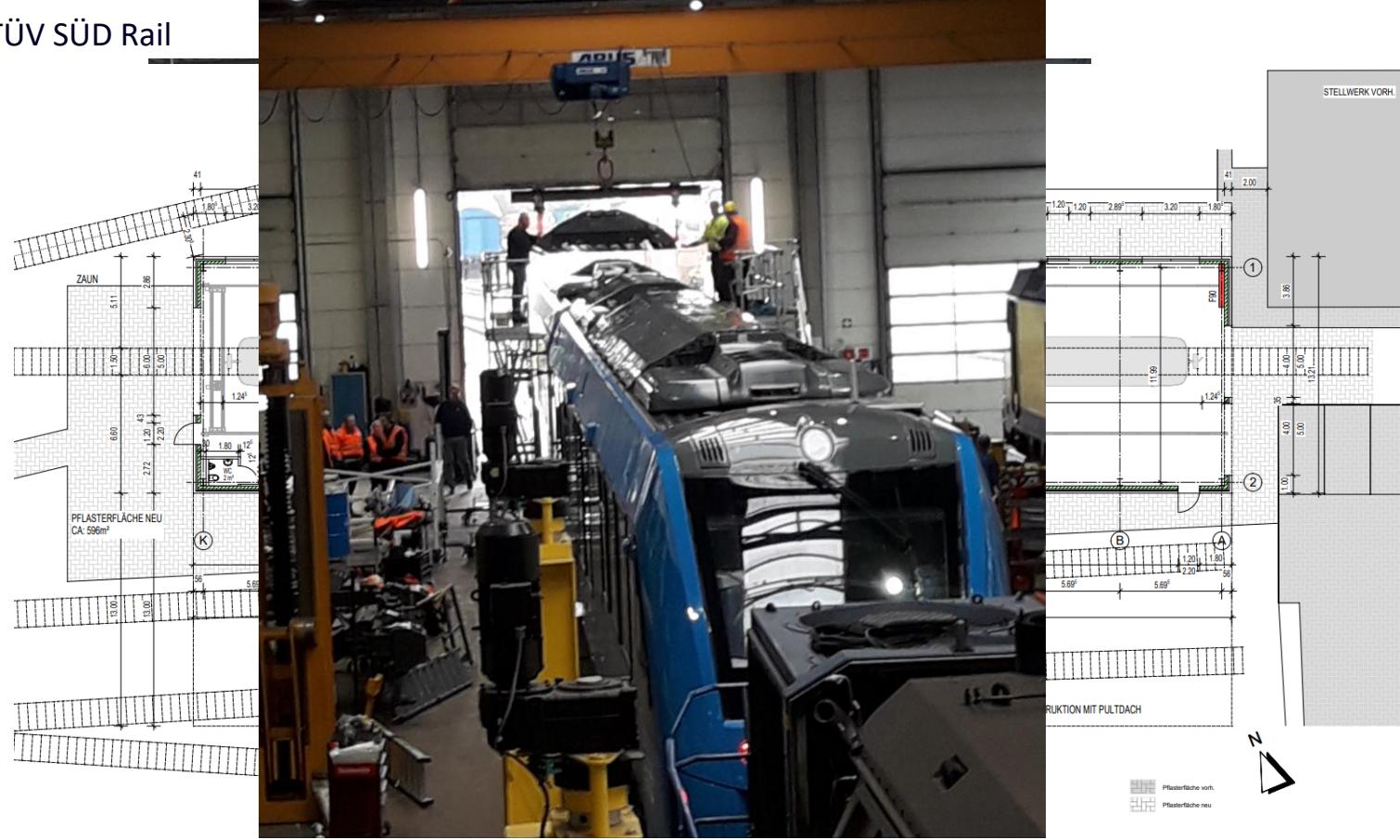
# Sicherheit - Bewertungen

- Sicherheits- und arbeitsschutzbezogene Bewertung der Fahrzeughandhabung

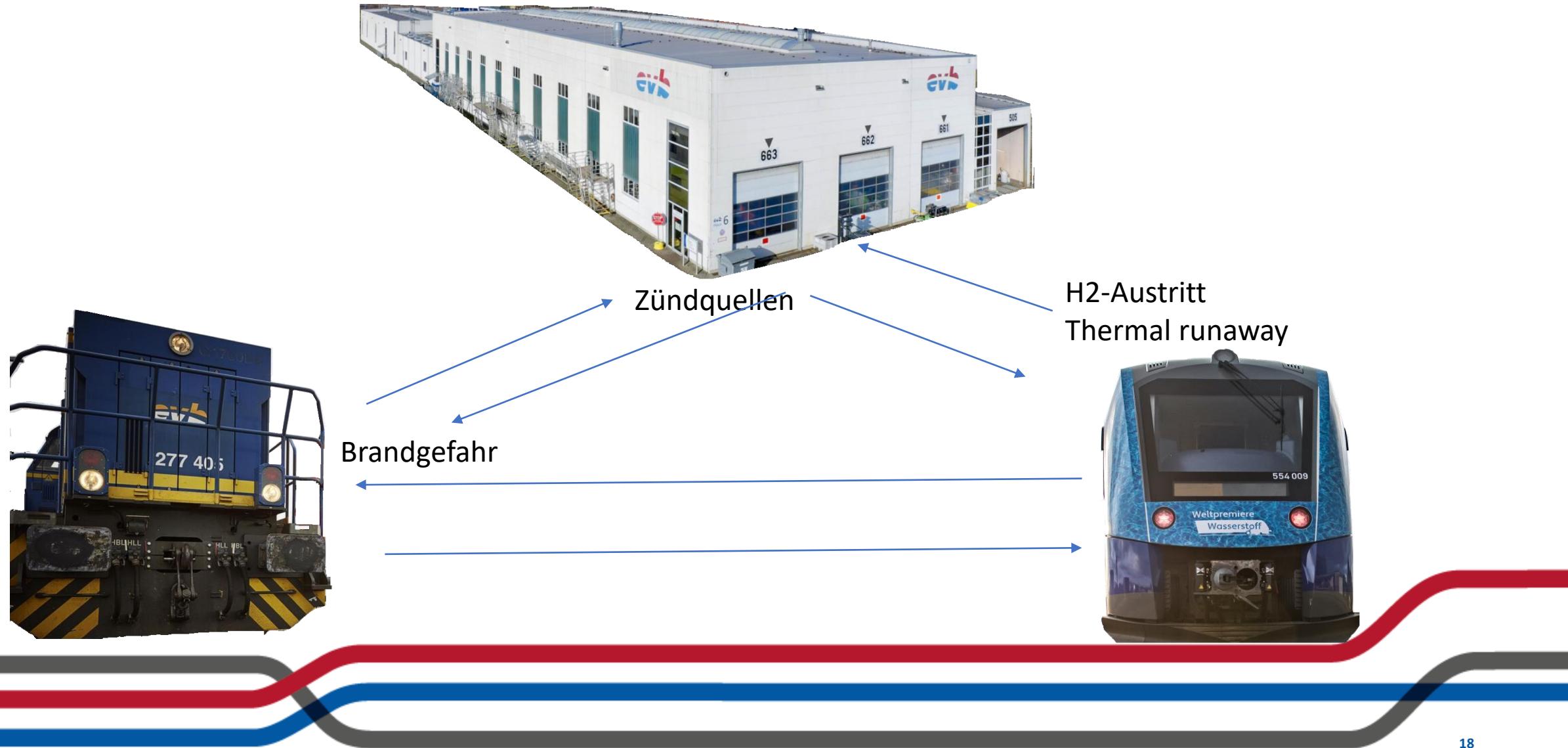
- In Unterstützung durch den TÜV SÜD Rail

- ## ■ Bewertung von:

- Bestandsgebäude
  - Konzept Werkstattneubau
  - Komponentenhandhabung



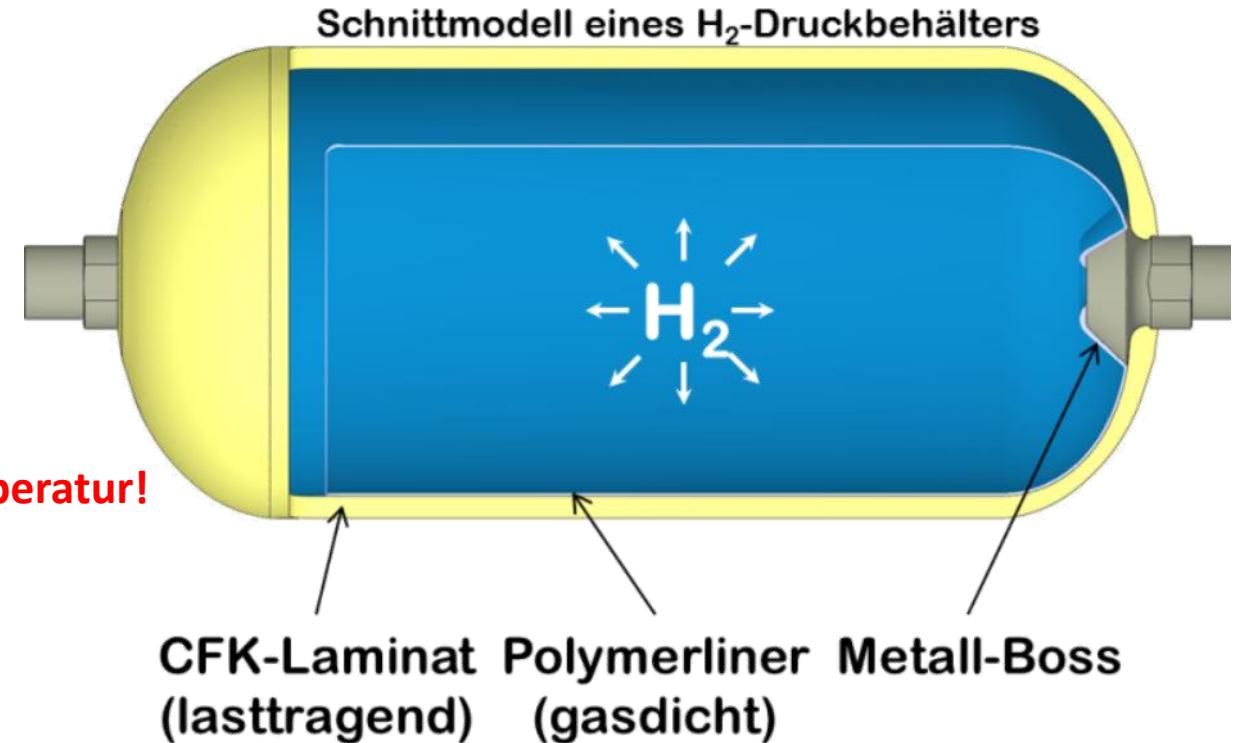
# Sicherheit - Gefährdungsbetrachtung



# Sicherheit - Eigenschaften von Wasserstoff

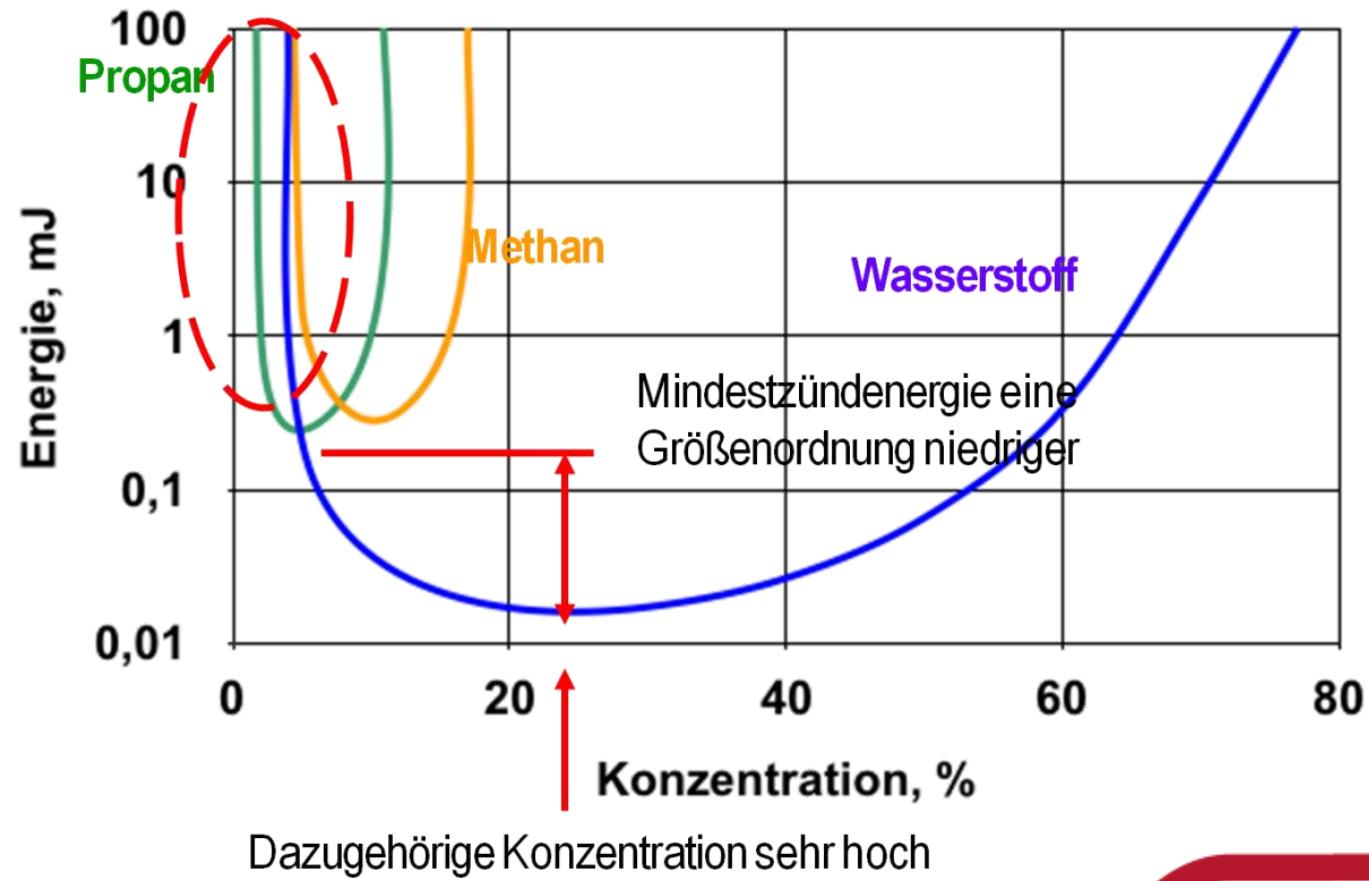
- Kleines Moleköl
  - Hohe Diffusionsgeschwindigkeit
  - Geringe Viskosität
  - Wirkt versprödend
- Inversionstemperatur unterhalb Raumtemperatur  
→ Joule Thomson Effekt wirkt umgekehrt

→ Bei Ausdehnung von Wasserstoff steigt dessen Temperatur!



# Sicherheit - Eigenschaften von Wasserstoff

- Kleines Moleköl
  - Hohe Diffusionsgeschwindigkeit
  - Geringe Viskosität
  - Wirkt versprödend
- Inversionstemperatur unterhalb Raumtemperatur  
→ Joule Thomson Effekt wirkt umgekehrt
- Untere Explosionsgrenze 4Vol. %
- Obere Explosionsgrenze 77 Vol. %
- Mindestzündenergie 0,019mJ



# Sicherheit - Eigenschaften von Wasserstoff



- Kleines Molekül
  - Hohe Diffusionsgeschwindigkeit
  - Geringe Viskosität
  - Wirkt versprödend
- Joule Thomson Effekt
- Untere Explosionsgrenze 4Vol. %
- Obere Explosionsgrenze 77 Vol. %
- Mindestzündenergie 0,019mJ
- **H<sub>2</sub>-Flamme bei Tageslicht kaum sichtbar**



TÜV Süd Akademie:Sensibilisierung Wasserstoff

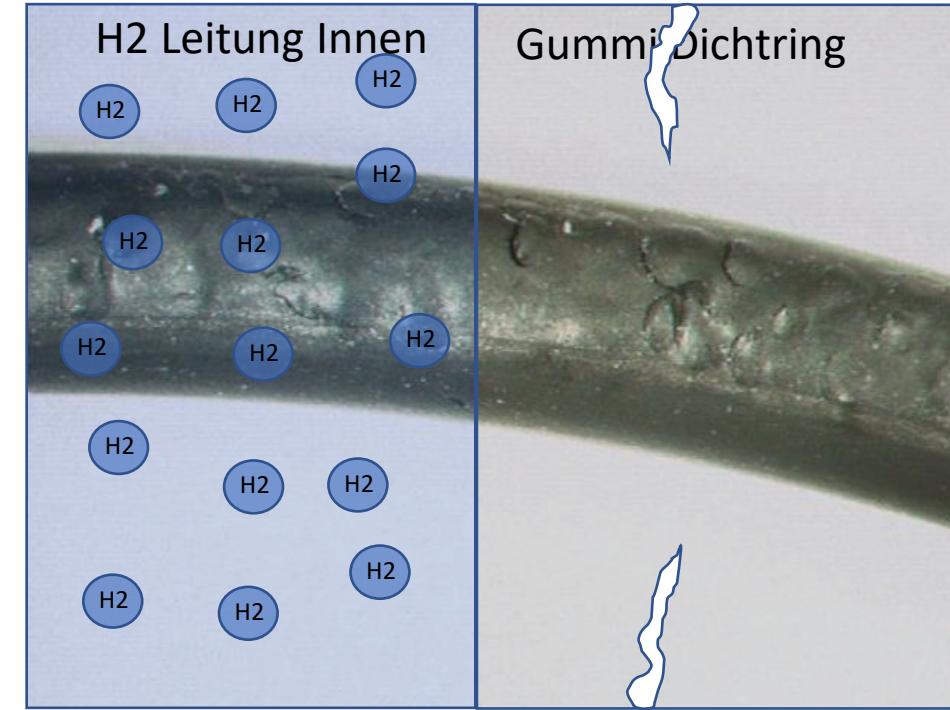
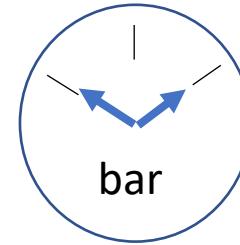
# Sicherheit - Eigenschaften von Wasserstoff

- Kleines Moleköl
  - Hohe Diffusionsgeschwindigkeit
  - Geringe Viskosität
  - Wirkt versprödend
- Joule Thomson Effekt
- Untere Explosionsgreze 4Vol. %
- Obere Explosionsgrenze 77 Vol. %
- Mindestzündenergie 0,019mJ
- H<sub>2</sub>-Flamme bei Tageslicht kaum sichtbar
- **Flammlänge abhängig vom Ausströmdruck bis zu 30m**



# Sicherheit - Eigenschaften von Wasserstoff

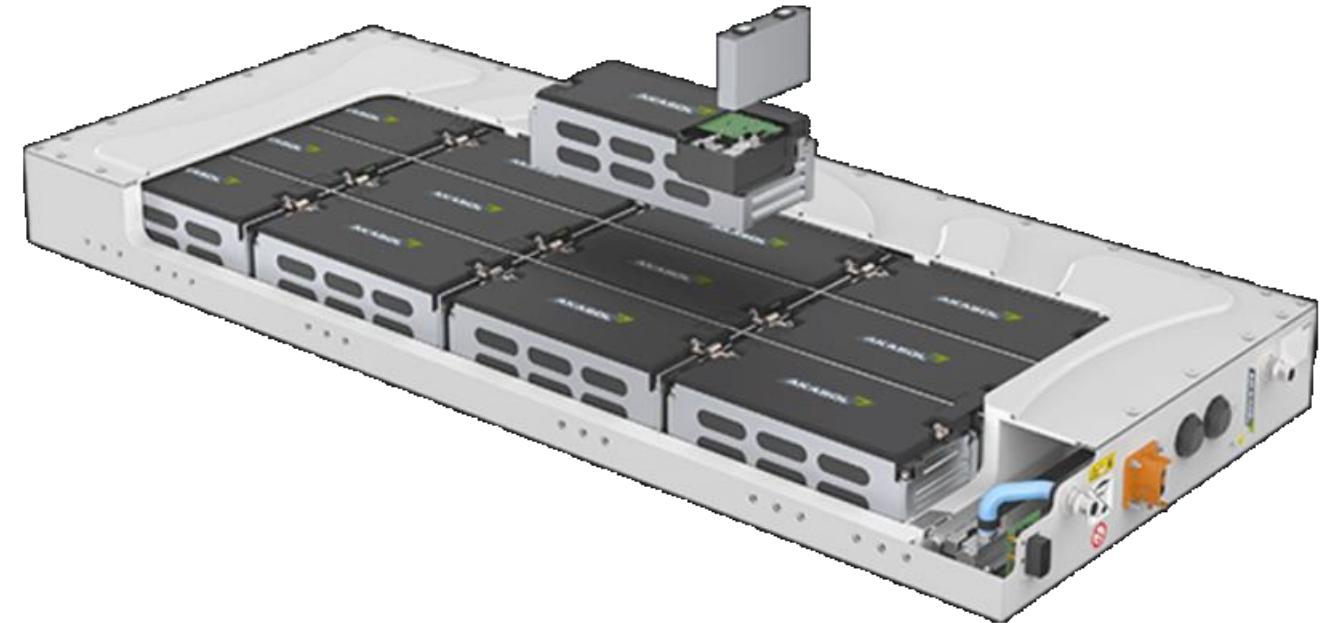
- Kleines Moleköl
    - Hohe Diffusionsgeschwindigkeit
    - Geringe Viskosität
    - Wirkt versprödend
  - Joule Thomson Effekt
  - Untere Explosionsgreze 4Vol. %
  - Obere Explosionsgrenze 77 Vol. %
  - Mindestzündenergie 0,019mJ
  - H<sub>2</sub>-Flamme bei Tageslicht kaum sichtbar
  - Flammlänge abhängig vom Ausströmdruck bis zu 30m
  - Schädigungsmechanismen durch Explosive Dekompression
- Einsatz geeigneter Werkstoffe



# Sicherheit - Besonderheiten von Li-ion Batterien



- Hohe Energiedichte
- Hohe Lebensdauer
- Temperaturempfindlich
- Empfindlich gegen mech. Einwirkungen
- Empfindlich gegen elektr. Fehler
- Brandgefahr
- Löschen techn. Nicht möglich



<https://www.bg-verkehr.de/arbeitssicherheit-gesundheit/themen/gefahrgut/unfallgefahren/lithiumbatterien>

<https://www.borgwarner.com/acquires/akasol>

# Sicherheit - aktuell getroffene Maßnahmen



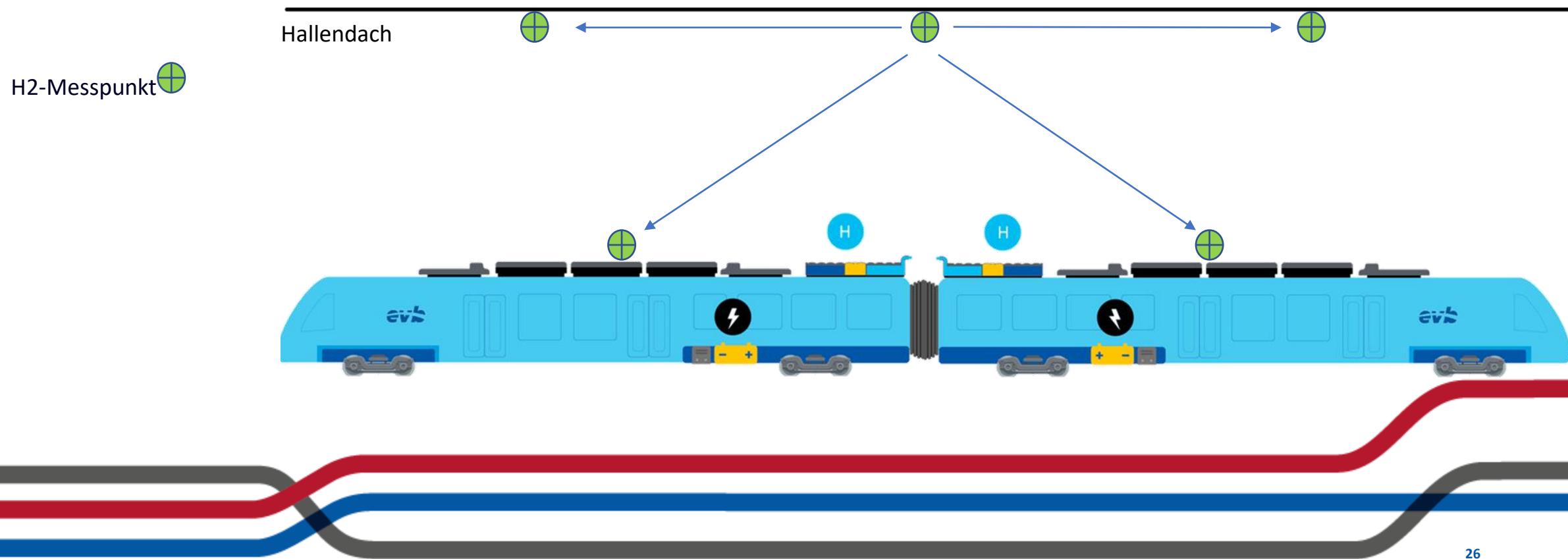
- Einfahrt mit geschlossenen On Tank Valves (OTV)
- Kein Laden der Batterien in dem Werkstattgebäude
- Keine Motortestläufe auf nachbargleisen
- Keine Einfahrt in die Werkstattgebäude bei Verdacht auf H2-Undichtigkeiten
- H2-Messungen in den Werkstattgebäuden
- Teilw. Abschalten von Deckenheizelementen
- Stör- und Notfallkonzept
  - Anweisung zu Verhalten bei H2-Alarmierung



# Sicherheit - H2-Überwachung / Alarmnetzwerk

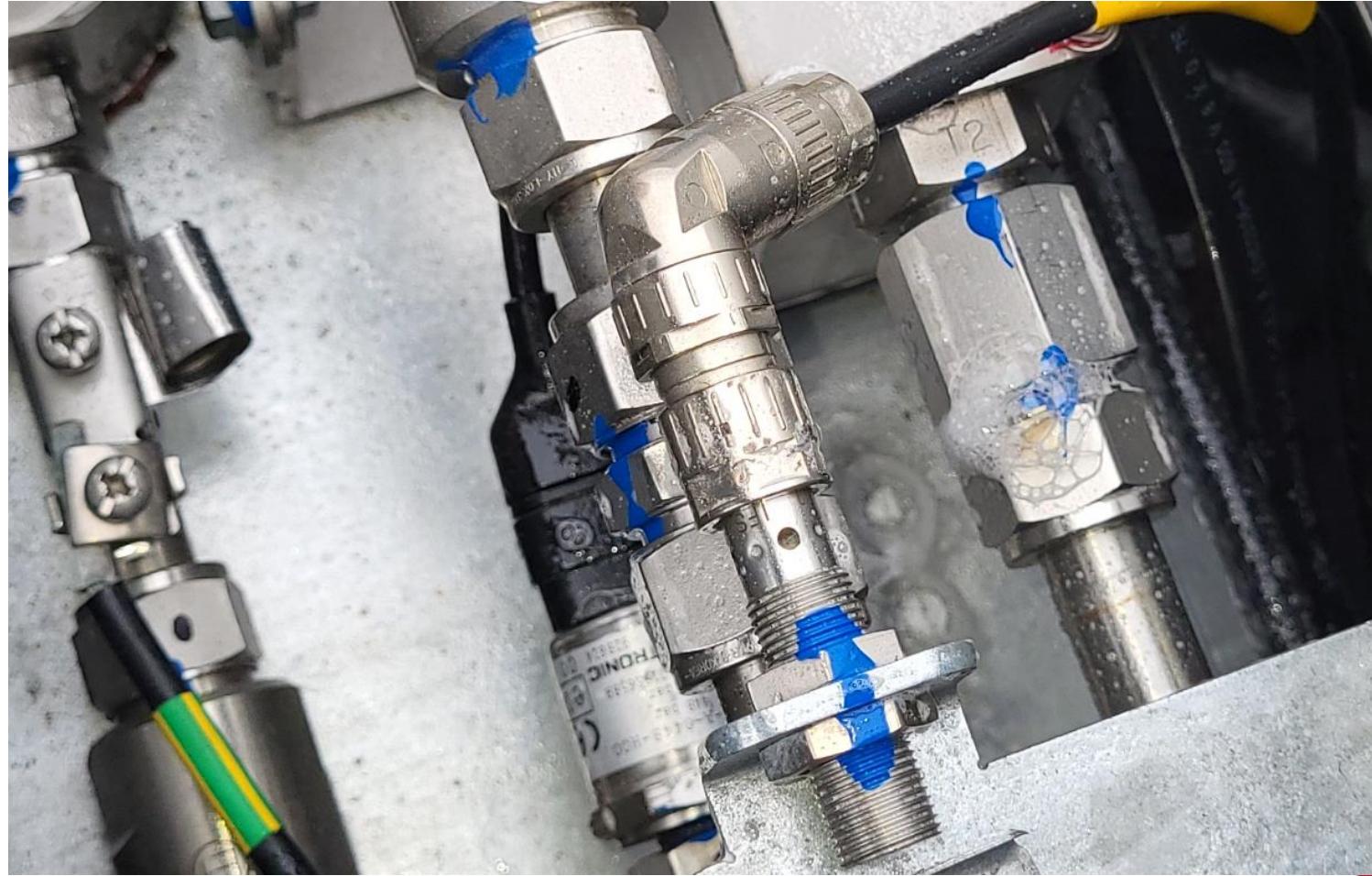


- Installation mehrerer vernetzter Messstellen
- Zwei Alarmstufen
  - Voralarm bei 20% UEG
  - Hauptalarm bei 40% UEG



# Sicherheit - Dichtigkeitsprüfung

- Über Schaumbildende Mittel



# Sicherheit – in Klärung

- Umfang und Sinnhaftigkeit der Maßnahmen
  - H2-Messungen in den Werkstattgebäuden + Fahrzeugen + Komponenten + ...
  - Anwesenheitskontrolle im Alarmfall (Log-Out im Panik-Fall fragwürdig)
- Anforderungen hinsichtlich Ex-Schutz
  - Vorgaben diesbezüglich würden die Instandhaltungsaufwände und -kosten „explodieren“ lassen
  - Akzeptanz und subjektives Sicherheitsgefühl würden sinken
- Stör- und Notfallkonzept
  - Regelungen zum Umgang mit kritischen Batteriestörungen
  - Gesicherter Abstellort für thermisches Durchgehen
  - Anweisung zu Verhalten bei H2-Alarmierung
- Knowhow von Rettungskräften Notfall aus unserer Sicht fragwürdig

→ Zuarbeit vom Hersteller im Hinblick auf Produktverantwortung praktisch kaum erkennbar

# Fazit: Es lohnt sich – aber ...



- **Hoher Ressourceneinsatz unvermeidlich**
- **Ausweichlösung zur Vermeidung von Serviceunterbrechungen bereithalten:**  
Ausweichflotte oder Möglichkeit, Start zu verschieben
- **Nachkaufoption für Fahrzeuge sicherstellen**
- **Zusätzliche Kosten und Verzögerungen einkalkulieren** und mit vorläufigen Daten leben lernen
- **Komplexität reduzieren, wo immer möglich**  
(z. B. beim Vertragswerk)
- **Reichweitenbeschränkungen berücksichtigen**  
aufgrund von Normen (z.B. Mindesttankdruck) und Energieverbrauch von Hilfsaggregaten
- **Frühzeitig Prozesse für Gesamt-Evaluation und Erkenntnis-Sicherung aufsetzen**
- **Synergien nutzen** (z. B. Speditionsunternehmen)  
durch ganzheitlichen Ansatz

# Fazit: Das Konzept zählt



- Zentral für signifikante CO<sub>2</sub>-Reduktion:  
**Neue Kunden für ÖPNV/SPNV**
- Dafür entscheidend:  
**Attraktivität von ÖPNV/SPNV kontinuierlich steigern**
- **Klimaschonende und leise Antriebe sind unverzichtbar**  
– aber nur ein Baustein

# Fazit: Was benötigen Betreiber / Instandhalter von der Politik?



- **Klarheit**  
Start-Finanzierung vor Projektbeginn, realistische Zeitpläne, langfristiges Betriebskonzept (Strecken, Anzahl Fahrzeuge, ...)
- **Schaffung von Fördermöglichkeiten für die Investition in Elektrolyse-Anlagen** vor Ort an der Tank-Infrastruktur
- **drastischer Abbau bürokratischer Hürden**  
(z.B. Zulassungsbestimmungen Gewerbeaufsichten, Bauämter, ...)

# Vielen Dank!

evb | Eisenbahnen und  
Verkehrsbetriebe Elbe-Weser GmbH  
Bahnhofstr. 67  
D-27404 Zeven  
[info@evb-elbe-weser.de](mailto:info@evb-elbe-weser.de)

[www.evb-wasserstoffzug.de](http://www.evb-wasserstoffzug.de)



so nah ist  
ganz weit vorn

# Backup



so nah ist  
ganz weit vorn

# Aktueller Stand Verordnungen / Normen



- BGI 5108: Wasserstoffsicherheit in Werkstätten
- TRBS 2152: Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre
- TRBS 1111: Gefährdungsbeurteilung
- BetrSichV
- DIN EN 50126: Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis von Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS)
- VDV 886: Leitfaden Instandhaltung von Eisenbahnfahrzeugen
- DIN EN 1779 ZfP Dichtigkeitsprüfung

