A decorative graphic on the left side of the slide features three thick, curved lines in blue, red, and grey that intersect to form a stylized 'X' shape. The intersection points are highlighted with darker shades of the respective colors.

Betrieb und Instandhaltung von Wasserstoffzügen

Erkenntnisse aus der Praxis

Marcus Rech

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

H₂istory 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

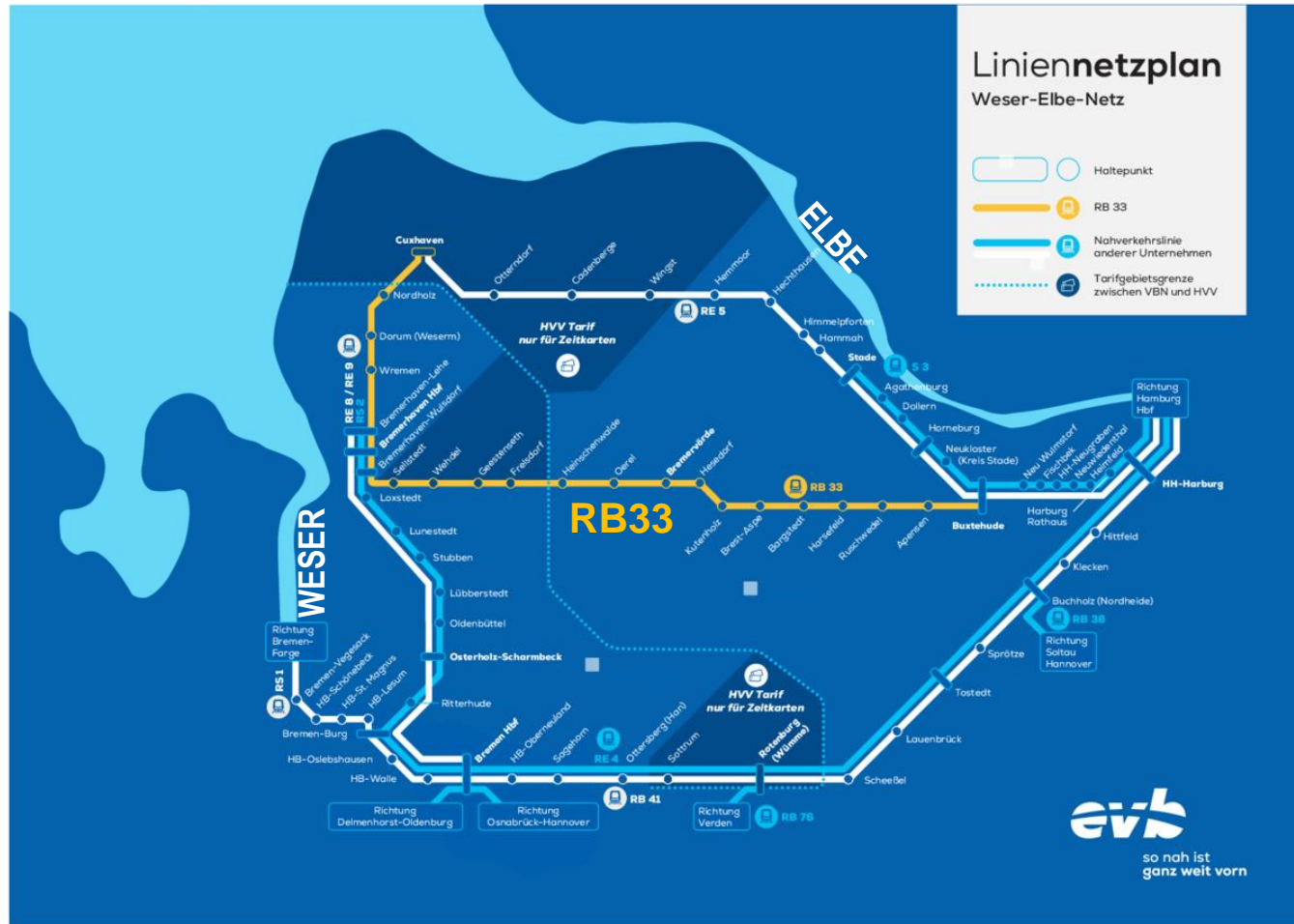
- 1 Unternehmensvorstellung
- 2 Strecke, Projektpartner und Verträge
- 3 Historie / Ausblick
- 4 Fahrzeuge / Tankstelle
- 5 Warum Wasserstoff?
- 6 Herausforderungen (Betrieb / Technik)
- 7 Sicherheit
- 8 Fazit

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 **VCN- 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) H₂-Züge**

Projektpartner



Landesnahverkehrsgesellschaft Niedersachsen (LNVG):

- **Bestellt und finanziert** Verkehrsleistungen, Werkstatt/Instandhaltung, H₂-Tankstelle
- **Erwirbt Fahrzeuge** und betreibt **Fahrzeugpool**



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

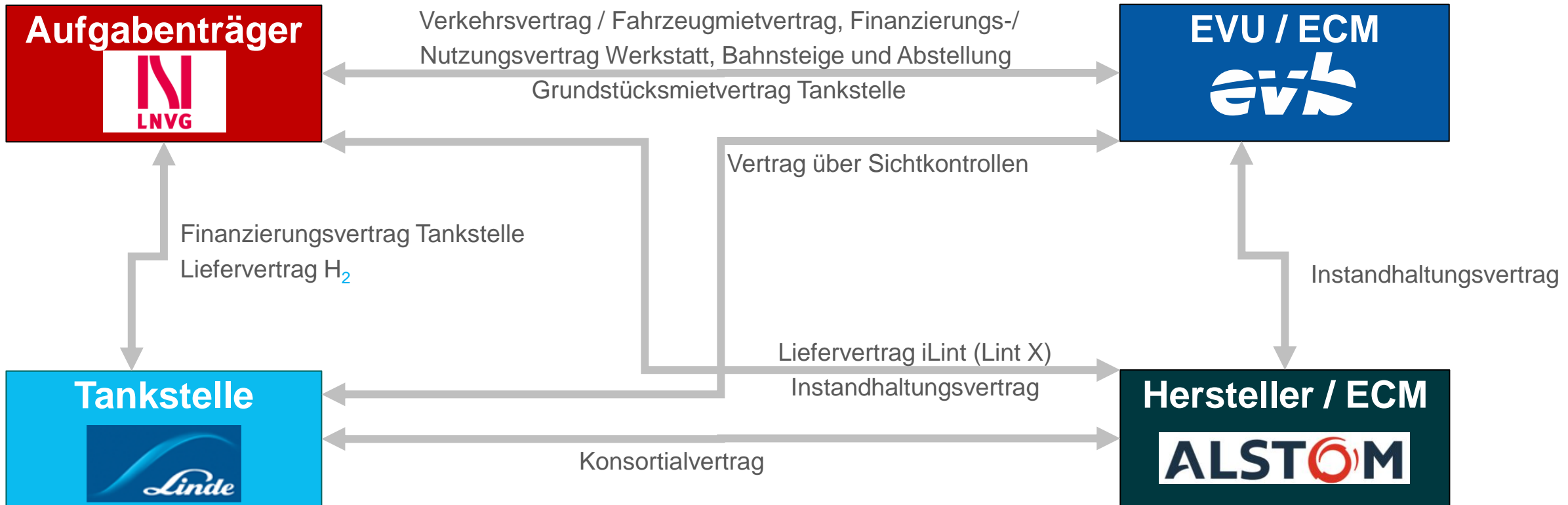


- **Fahrzeug-Hersteller** und ECM 1-3
- Konsortialpartner von Linde bei H₂-Tankstelle



- errichtete und betreibt **H₂-Tankstelle**

Ausgewählte Verträge



Historie



Ausblick

- Bau einer Windkraftanlage und eines H₂-Elektrolyseurs an der H₂-Tankstelle zur Herstellung von grünem Wasserstoff
- Erweiterung der H₂-Tankstelle zur Nutzung für PKW / LKW
- Streckenreaktivierung RB34 ggf. unter Einsatz weiterer iLint

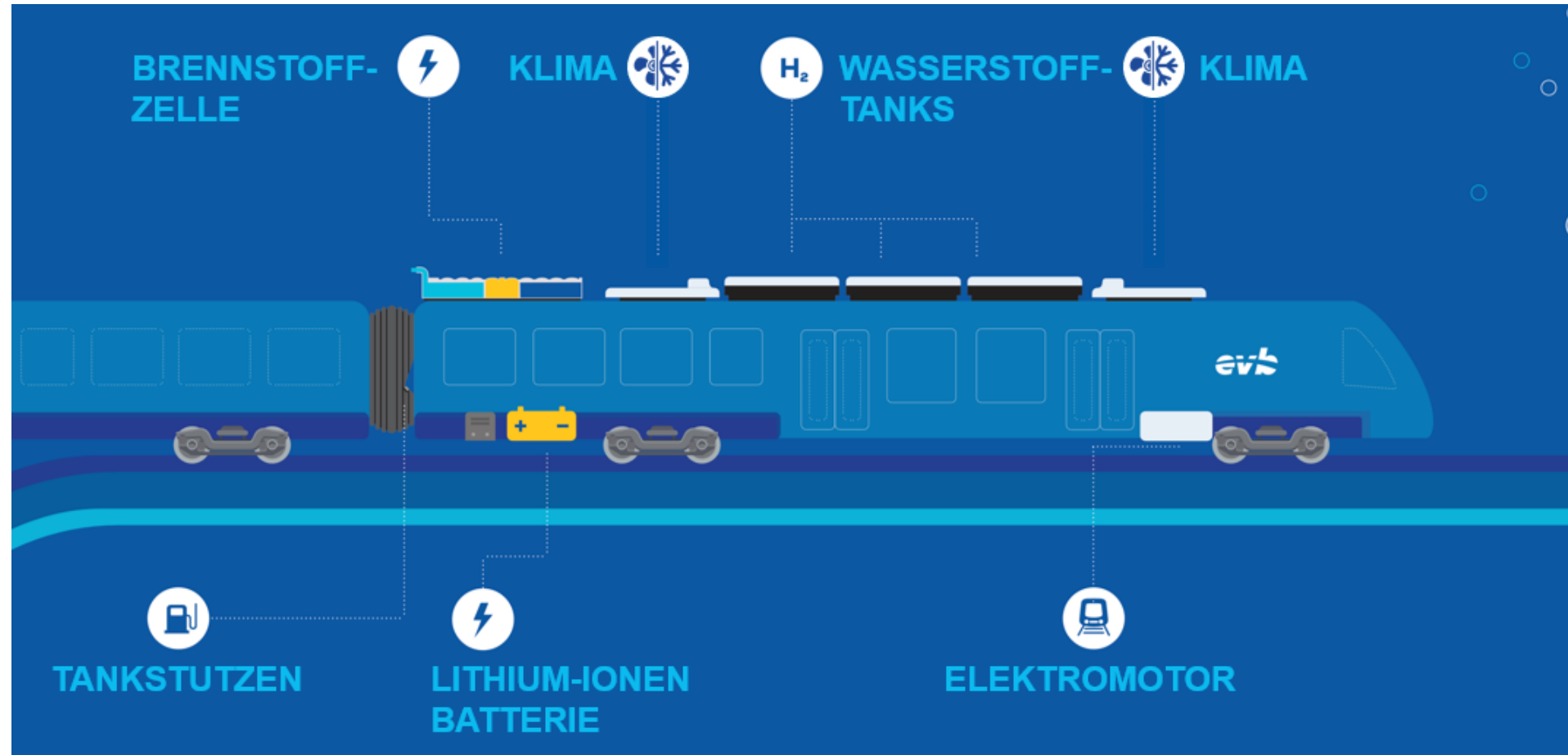


Fahrzeug: Alstom Coradia iLint



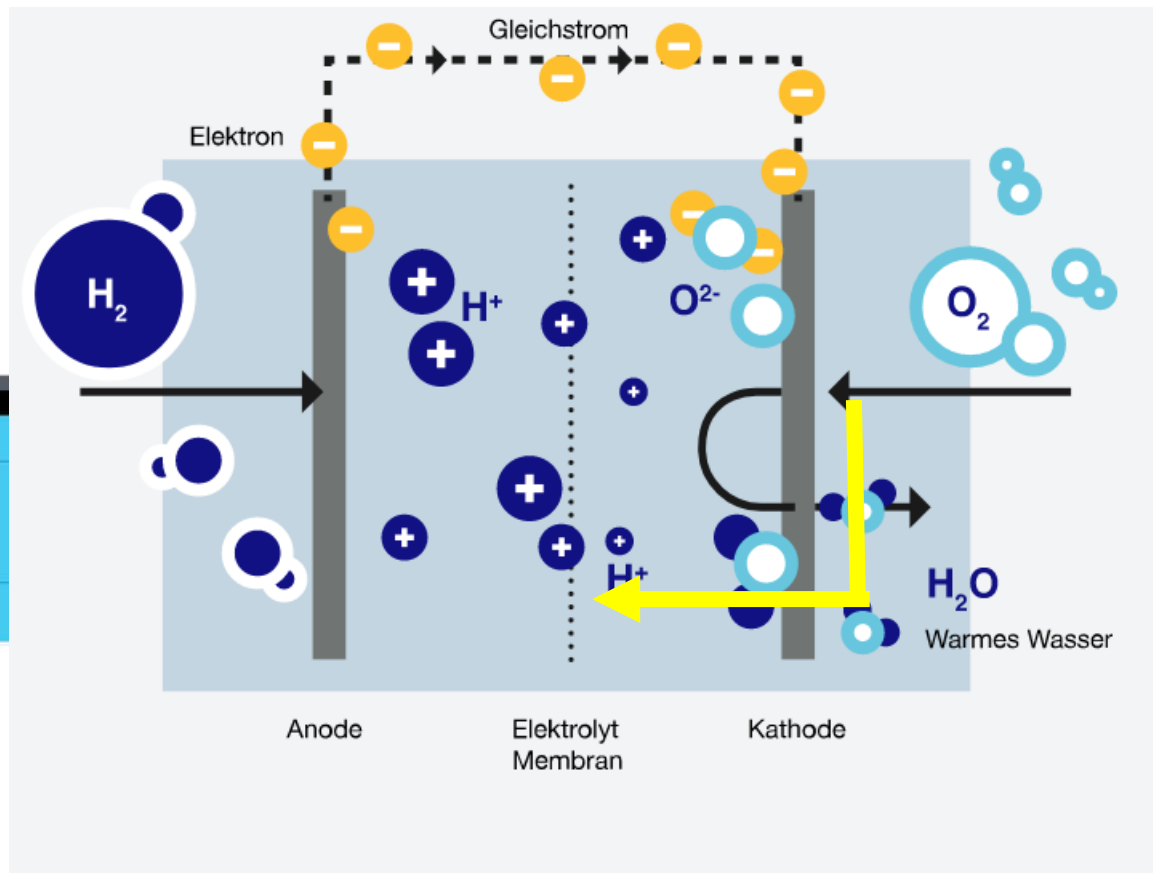
- **iLINT** = intelligenz **L**eichter **I**nnovativer **N**ahverkehrs-Triebwagen
- **erster Brennstoffzellen-Passagierzug der Welt**
- **basierend auf DMU-Plattform LINT54** (54 m Fahrzeuglänge)
- **2 Wasserstoff-Tanks** mit je 130 kg Kapazität
(Druck ca. 350 bar, Tankzeiten ca. 20 bis 60 min)
- **2 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/HDr06lC2fi0>



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

Wasserstoff-Tankstelle



- **Weltweit erste H₂-Tankstelle für Personenzüge**
- **Standort:** in der Nähe des evb-Betriebsgeländes in Bremervörde
- **Kapazität:** bis zu 1,8 t H₂ pro Tag (täglicher Bedarf für 14 iLint: 1,6 t)
- H₂ = Nebenprodukt aus Chemiewerk in Stade
- **Ziel:** Produktion von 'grünem' Wasserstoff vor Ort

Warum Wasserstoff?

- Intention Gesetzgeber und evb:
Klimawandel und **Lärmschutz**
- **Diesel-Ausstieg unvermeidlich**
(Preis, CO₂-Abgaben, schwindende Akzeptanz)
- **Nicht-elektrifizierte Strecke**
(Elektrifizierung im ländlichen Raum unwirtschaftlich)
- **Flexibilität**
bei weit geringerer Umweltbelastung:
große Reichweite
wenige Tankstopps
schnelle Betankung
- **Ermöglicht grüne H₂-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 H₂-Komponenten auf dem Dach**
Eigene Wasserstoff-Werkstätten empfehlenswert
- **H₂-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

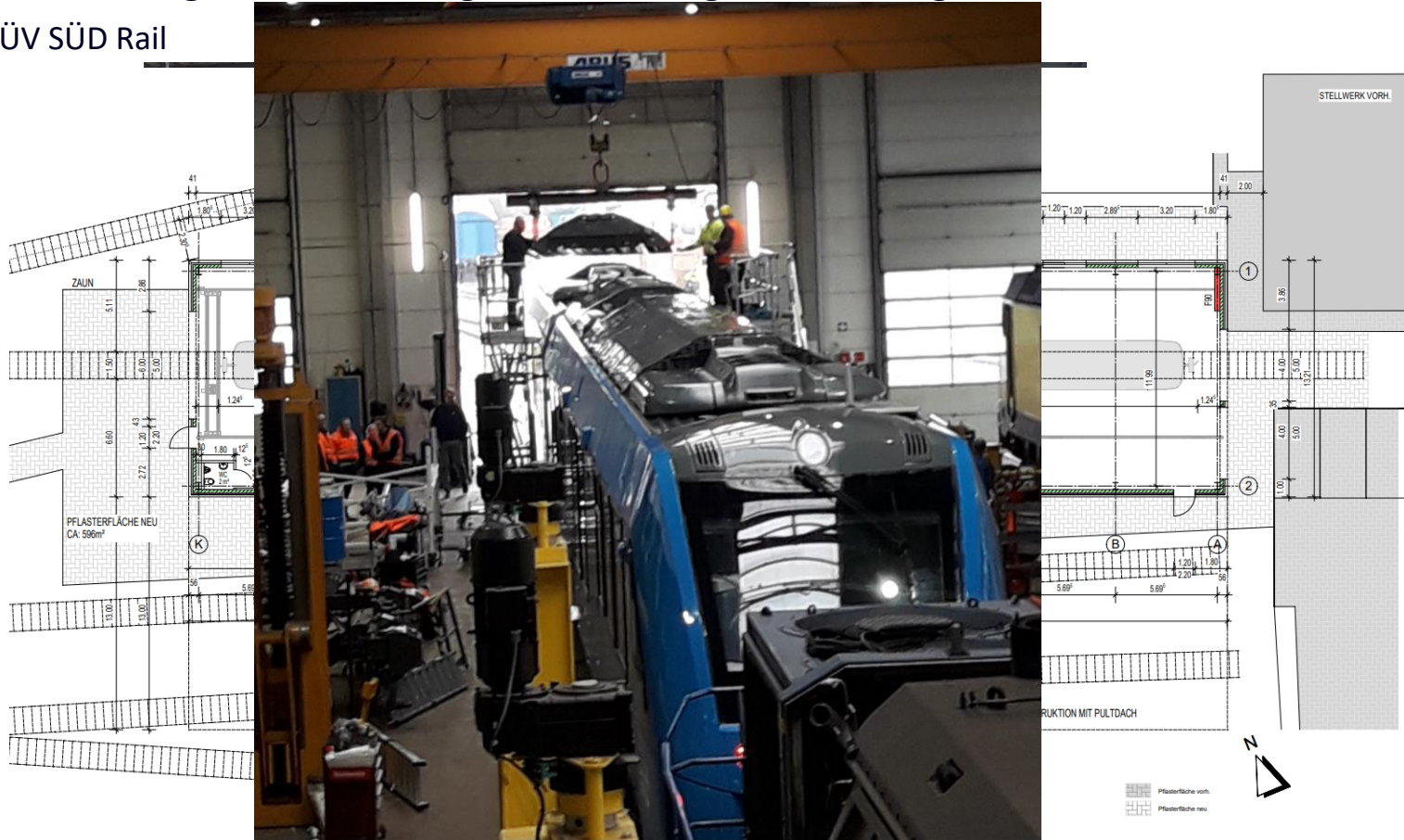
Sicherheit - Bewertungen

- Sicherheits- und arbeitsschutzbezogene Bewertung der Fahrzeughandhabung

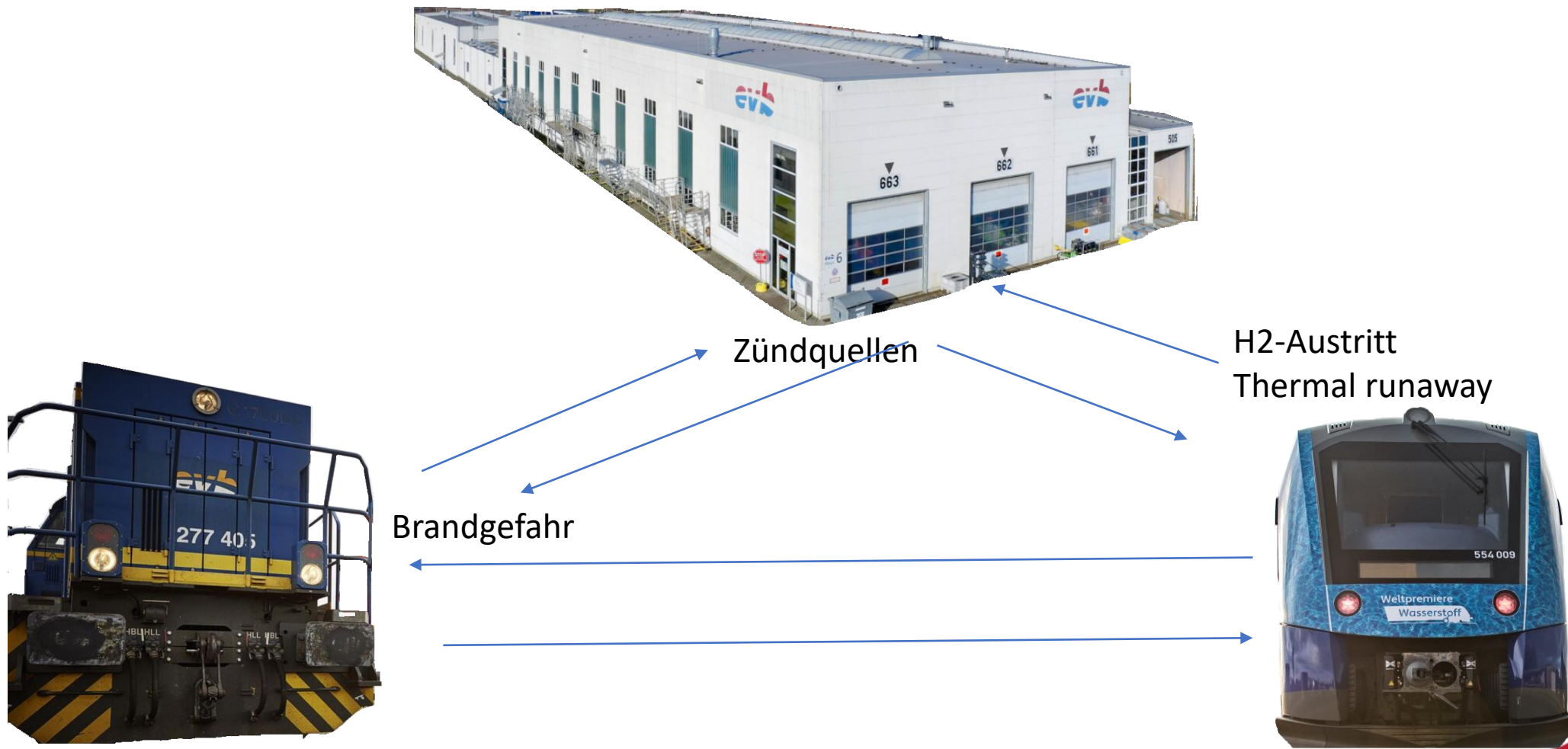
- In Unterstützung durch den TÜV SÜD Rail

- Bewertung von:

- Bestandsgebäude
- Konzept Werkstattneubau
- Komponentenhandhabung



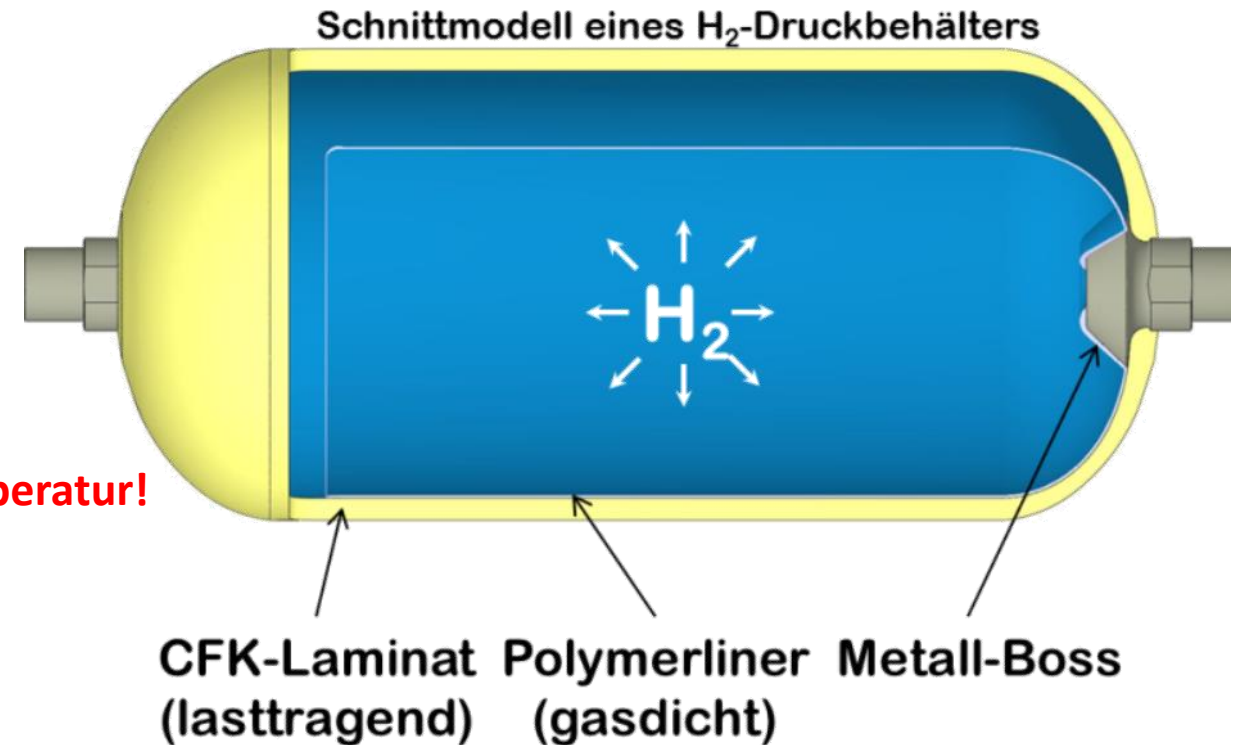
Sicherheit - Gefährdungsbetrachtung



Sicherheit - Eigenschaften von Wasserstoff

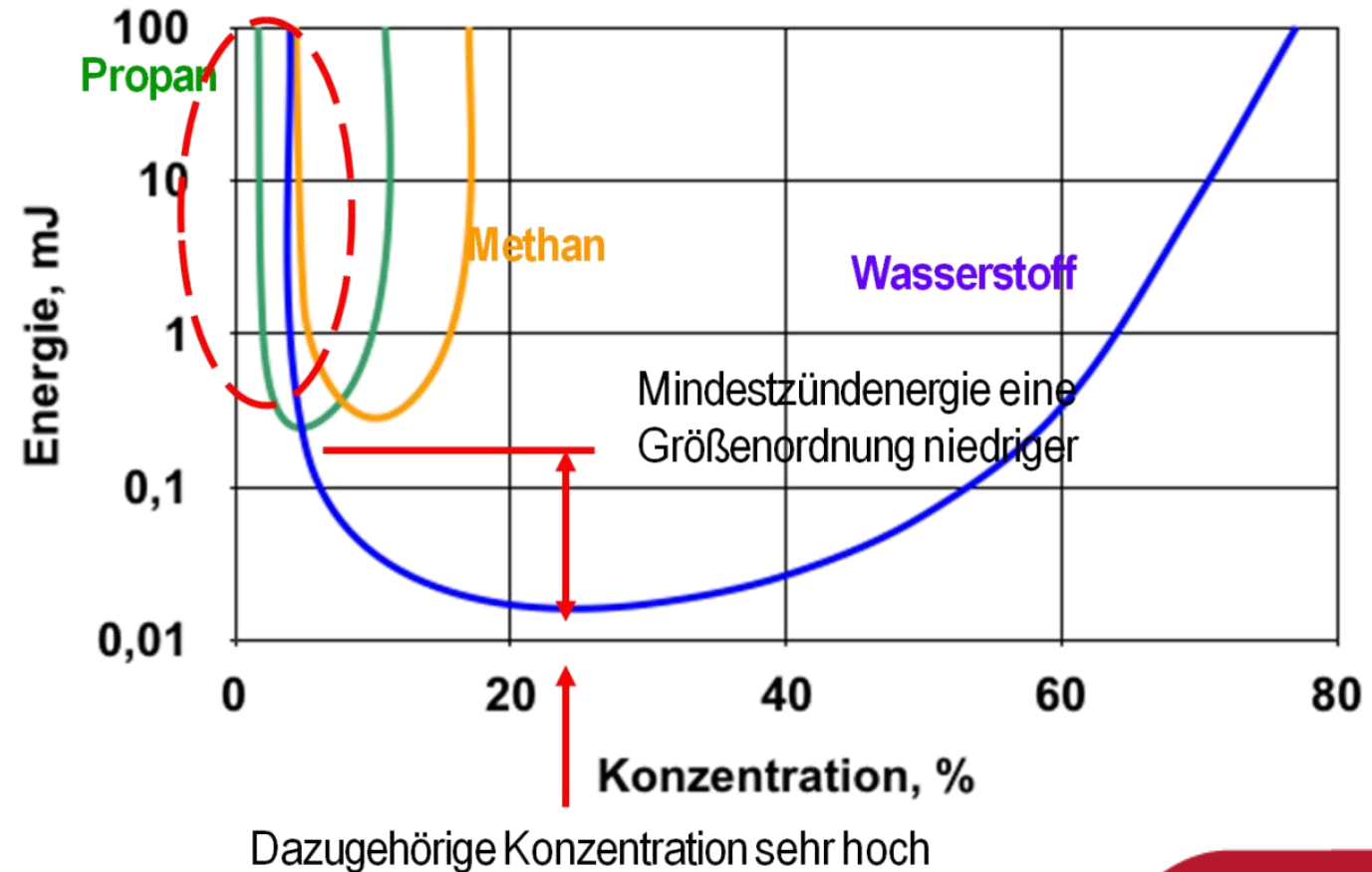
- Kleines Molekül
 - Hohe Diffusionsgeschwindigkeit
 - Geringe Viskosität
 - Wirkt versprödet
- Inversionstemperatur unterhalb Raumtemperatur
 - Joule Thomson Effekt wirkt umgekehrt

→ Bei Ausdehnung von Wasserstoff steigt dessen Temperatur!



Sicherheit - Eigenschaften von Wasserstoff

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



Sicherheit - Eigenschaften von Wasserstoff

- Kleines Molekül
 - Hohe Diffusionsgeschwindigkeit
 - Geringe Viskosität
 - Wirkt versprödet
- Joule Thomson Effekt
- Untere Explosionsgreze 4Vol. %
- Obere Explosionsgrenze 77 Vol. %
- Mindestzündenergie 0,019mJ
- **H₂-Flamme bei Tageslicht kaum sichtbar**



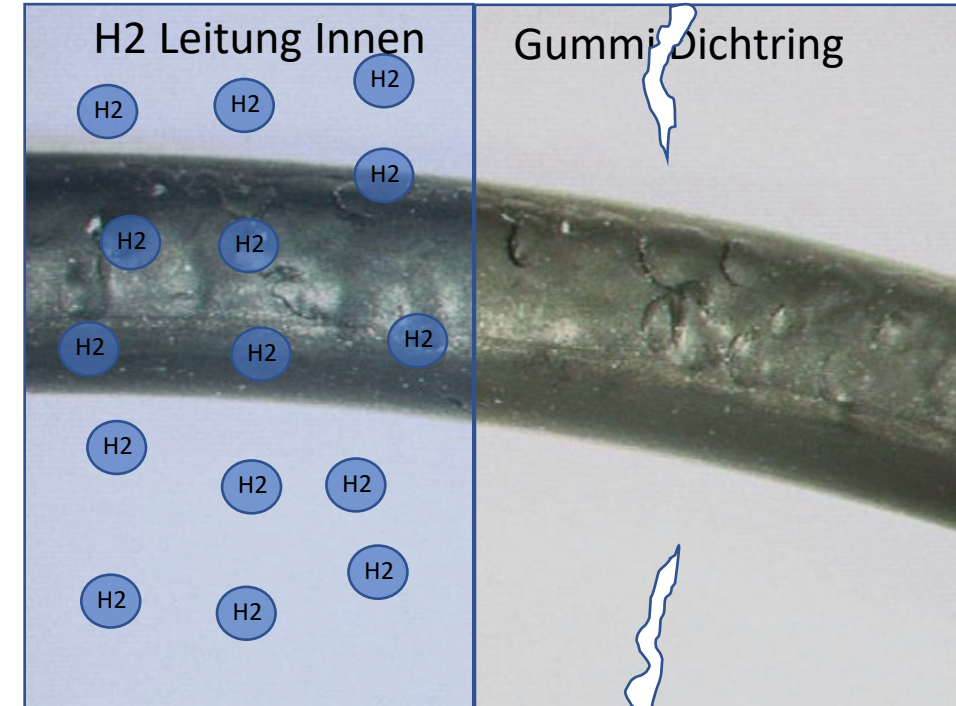
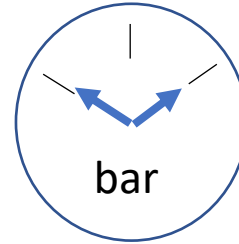
Sicherheit - Eigenschaften von Wasserstoff

- Kleines Molekül
 - Hohe Diffusionsgeschwindigkeit
 - Geringe Viskosität
 - Wirkt versprödend
- Joule Thomson Effekt
- Untere Explosionsgreze 4Vol. %
- Obere Explosionsgrenze 77 Vol. %
- Mindestzündenergie 0,019mJ
- H₂-Flamme bei Tageslicht kaum sichtbar
- **Flammlänge abhängig vom Ausströmdruck bis zu 30m**



Sicherheit - Eigenschaften von Wasserstoff

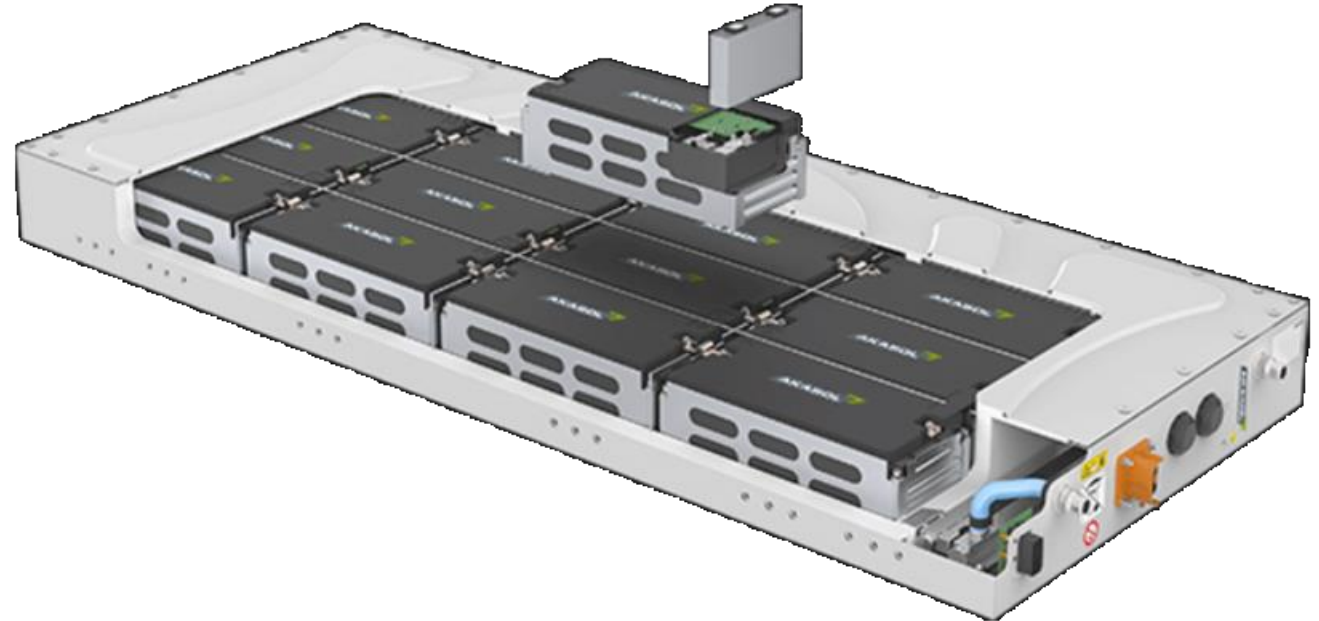
- Kleines Molekül
 - Hohe Diffusionsgeschwindigkeit
 - Geringe Viskosität
 - Wirkt versprödet
- Joule Thomson Effekt
- Untere Explosionsgreze 4Vol. %
- Obere Explosionsgrenze 77 Vol. %
- Mindestzündenergie 0,019mJ
- H₂-Flamme bei Tageslicht kaum sichtbar
- Flammlänge abhängig vom Ausströmdruck bis zu 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/arbeitsicherheit-gesundheit/themen/gefahren/transportmittel/lithiumbatterien>

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

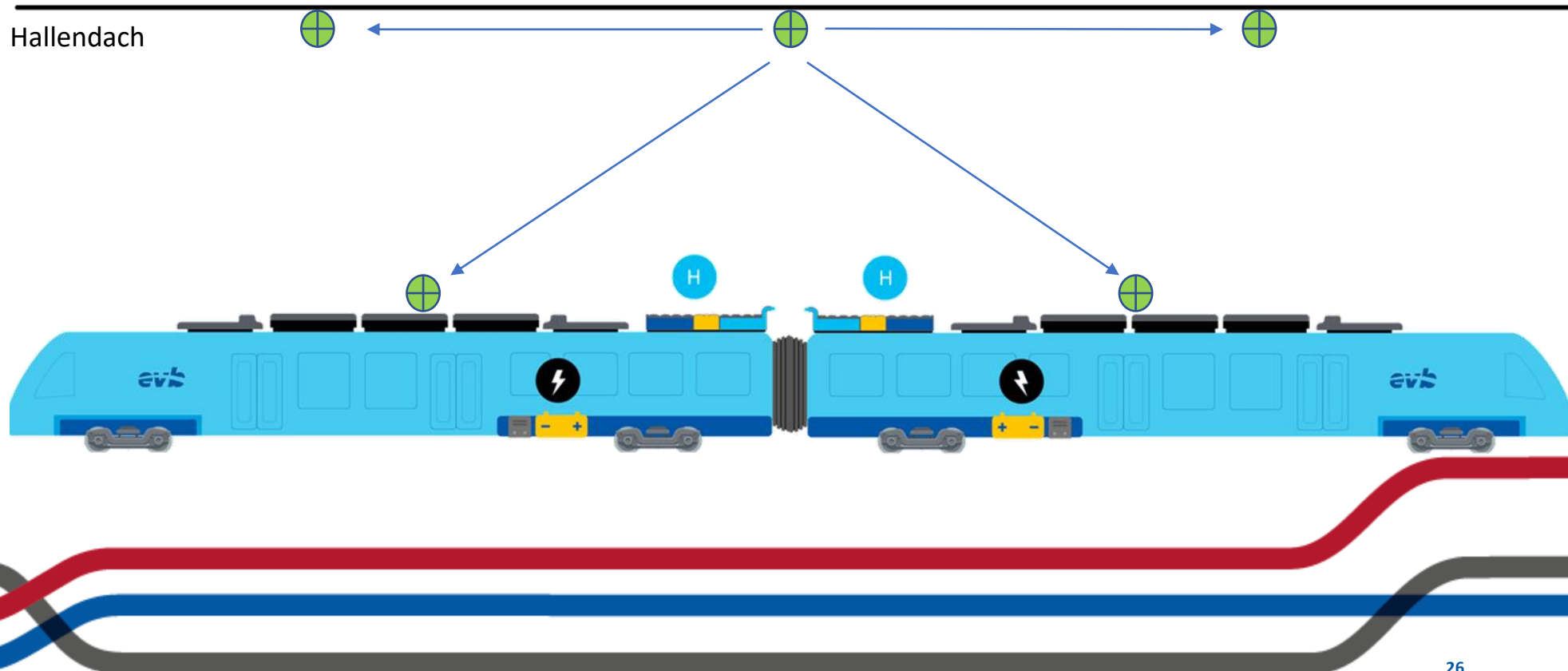
Sicherheit - aktuell getroffene Maßnahmen

- 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

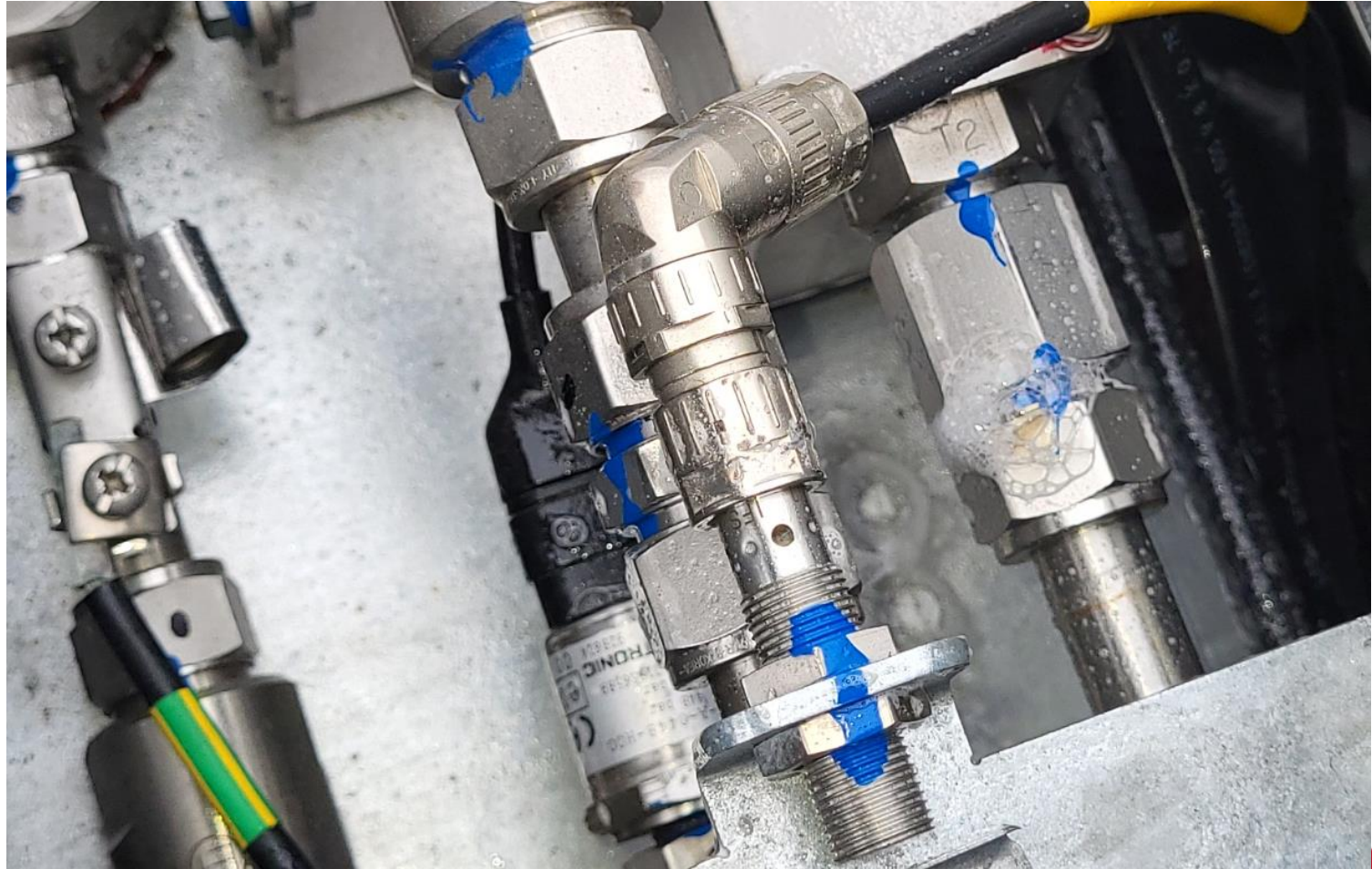
- Installation mehrerer vernetzter Messstellen
- Zwei Alarmstufen
 - Voralarm bei 20% UEG
 - Hauptalarm bei 40% UEG

H2-Messpunkt 



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 CO₂-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

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

