



WASSERSTOFF IN DER MOBILITÄT

Basel, 23. Oktober 2023 | 17. Seminar für Ex-Sachverständige

thuba[®]
THE EXPLOSIONPROOFING COMPANY

1

REFERENT

Merz Jörg

Geschäftsführer

Auto Gewerbe Verband Schweiz AGVS

Sektion Zentralschweiz

Ebenastrasse 14

CH-6048 Horw

www.agvs-zs.ch

joerg.merz@agvs-zs.ch

+41 41 349 00 20

+41 79 198 54 68

- Mitglied in verschiedenen AGVS-Fachausschüssen



2

HERAUSFORDERUNG MOBILITÄT DER ZUKUNFT

„one fits all“ - Lösung?

3



4



- Anforderungen aus dem Markt - Politik
- Technologiewandel
- Überlebensfähigkeit - Zukunftsfähigkeit
- Neue Gefährdungen - Arbeitssicherheit
- Kompetenzen - Ausbildung

autoberufe.ch >>> 5

TECHNOLOGIEN

Das Auto in der Schweiz

- Auf den Schweizer Strassen verkehren 2022 mehr als 4,7 Millionen Autos (doppelt so viele wie 1980)
- 2021 wurden pro Person durchschnittlich 20.8 km im Auto zurückgelegt.
- Durchschnittliche, tägliche Fahrleistung pro Auto: 36.9 km
- Mittlere Geschwindigkeit der Benutzer/innen 2021, Auto: 38,1 km/h
- Das **Auto** fährt durchschnittlich pro Tag eine Stunde und steht 23 Stunden (Fahrzeug → **Stehzeug**)



TECHNOLOGIEN

Anforderungen in der Transportlogistik

- Güter mit und ohne Anhänger über mittlere bis grosse Entfernungen befördern
- Hohe **Nutzlast** und/oder hohes **Volumen**
- Einsatz gemäss nutzerspezifischen Geschäftsmodellen
- Geringer Wendekreis
- Geringe **Standzeiten**
- **Ruhezeitverordnungen** der Fahrer
- Schnelles Tanken oder Laden für lange Einsatzdauer
- Verfügbare Tank- oder Ladeinfrastruktur
- Hohe Drehmomentanforderungen, hohe Varianz (Zugleistung, Nebenantriebsleistungen)
- **Kosten** und **Aufwand** müssen **wettbewerbsfähig** sein
- Off-Road Tauglichkeit für Baustellenfahrzeuge (Bodenfreiheit, Gewicht, Schwingungen, Staub, Temperaturen)



7

TECHNOLOGIEN

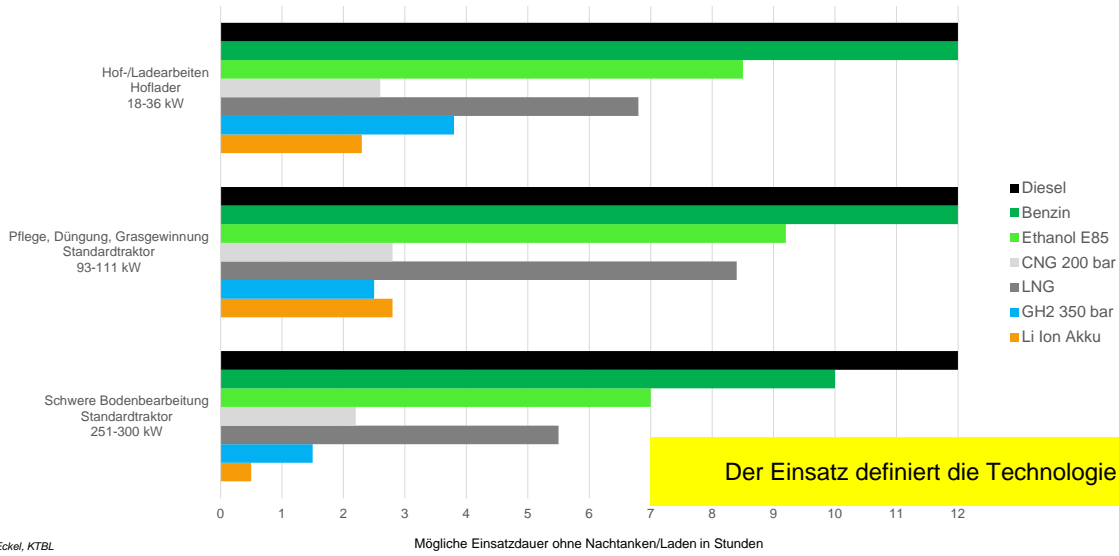
Anforderungen in der Bau- und Landwirtschaft

- **Leistung** unter allen Umständen abrufbar, Verfügbarkeit
- Betrieb muss auch nach längeren Standzeiten problemlos möglich sein
- Schnelles Tanken oder Laden für **lange Einsatzdauer**
- Verfügbare Tank- oder Ladeinfrastruktur
- Hohe **Drehmomentanforderungen**, hohe Varianz (Zugleistung, Zapfwellenleistung, Hydraulikleistung)
- Hohe Rollwiderstände (keine Rekuperationsmöglichkeiten vorhanden)
- **Kosten** und **Aufwand** müssen **wettbewerbsfähig** sein
- **Off-Road** Tauglichkeit (Bodenfreiheit, Gewicht, Schwingungen, Staub, Temperaturen)
- Geringe **Bodenverdichtung**



8

TECHNOLOGIEN – ENERGIESPEICHERKAPAZITÄT



9

WASSERSTOFF KREISLAUF

Henne-Ei Problem

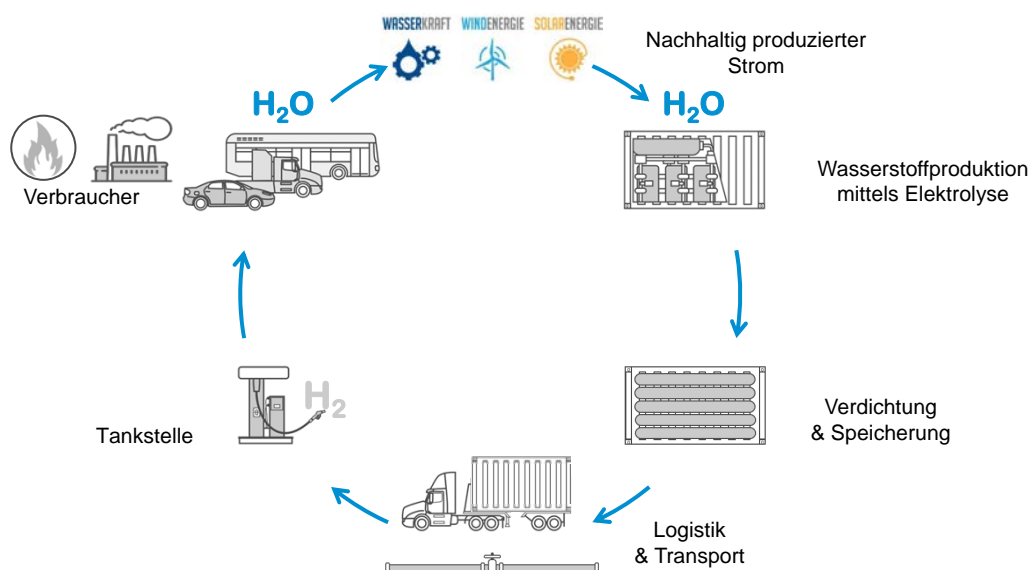
10

WASSERSTOFF – MEILENSTEINE IN DER GESCHICHTE

- 1766** Der englische Chemiker und Physiker Henry Cavendish experimentiert mit Eisen, Zink, Zinn und Säuren. Er entdeckt dabei den **Wasserstoff**. Antoine Laurent de Lavoisier führte seine Experimente quantitativ weiter. Er bezeichnete den Wasserstoff als «Wasser erzeugenden Stoff» oder «Hydrogen».
- 1838** Professor Christian Schönbein und William Grove erfinden die **Brennstoffzelle** (Schwefelsäure als Elektrolyt)
- 1959** Der amerikanische Traktorenhersteller Allis-Chalmers Manufacturing Company präsentiert einen **Traktor** mit einem 15 kW AFC-Brennstoffzellensystem
- 1970** Der südafrikanische Elektrochemiker John Bockris verwendet erstmals den Begriff **«Wasserstoffwirtschaft»** (hydrogen economy) während einer Besprechung mit General Motors. Zusammen mit dem Physiker Eduard Justi entwirft Bockris 1975 ein vollständiges Konzept einer Wasserstoffwirtschaft, mit dem Ziel, unabhängig von den fossilen Energieträgern Kohle und Erdöl zu werden.
- 1994** Die Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt DLR erprobt die Produktion von **Grünem Wasserstoff** mit solarer Energie in der saudi-arabischen Wüste. Die direkte Kopplung von solarer Stromerzeugung und Wasserelektrolyse beweisen, dass eine Produktion von Grünem Wasserstoff möglich ist.
- 1999** Am 5. Mai 1999 wird weltweit die erste öffentliche **Wasserstofftankstelle** am Münchner Flughafen eröffnet.
- 2014** TOYOTA stellt weltweit den ersten **Serien-Brennstoffzellen-PKW** «Mirai» auf der Los Angeles Auto Show vor.
- 2018** Inbetriebnahme der weltweit ersten wasserstoffbetriebenen **Personenzüge** «Coradia iLint» aus der Serienfertigung von ALSTOM. Die Züge verkehren im niedersächsischen Elbe-Weser-Netz der EVB (BRD).
- 2020** Im Oktober 2020 werden weltweit die ersten 10 **Serien-Brennstoffzellen-LKW** von HYUNDAI in der Schweiz in Betrieb genommen.

11

WASSERSTOFF - KREISLAUF



12

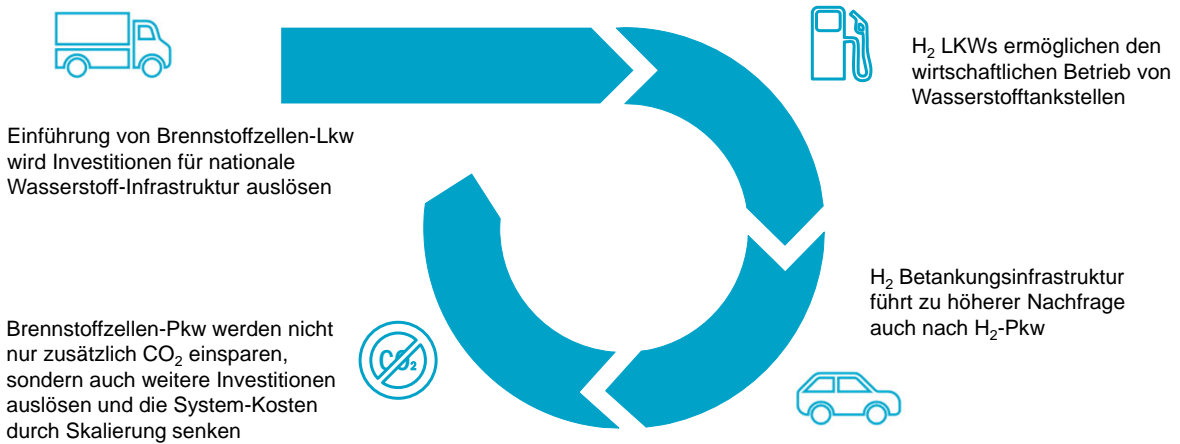
WASSERSTOFF - TRANSPORT



13

WASSERSTOFF - KREISLAUF

Brennstoffzellen-Lkw eröffnen Potenzial für deutlich höhere CO₂-Reduktion

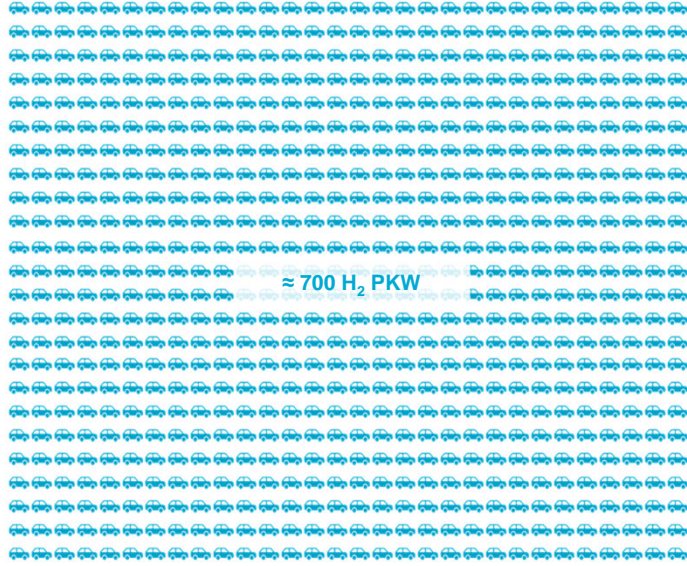


Quelle: Hyundai Hydrogen Mobility AG

14

WASSERSTOFF - KREISLAUF

Quelle: Hyundai Hydrogen Mobility AG



Break even at

(PKW 13'500 km/Jahr)

or

(LKW 80'000 km/Jahr)



15

WASSERSTOFF - TANKSTELLEN

Aktuell sind schweizweit 15 öffentliche Wasserstofftankstellen in Betrieb. Das Tankstellennetz wird laufend weiter ausgebaut.

H2 Tankstellen eröffnet

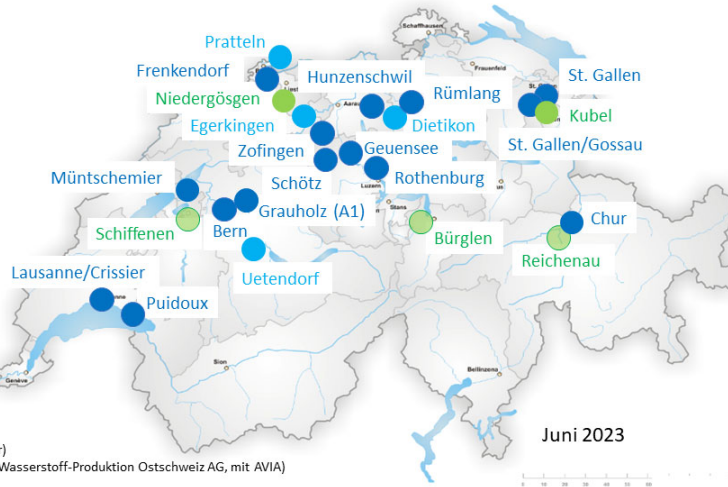
Hunzenschwil	Coop
St. Gallen	AVIA
St. Gallen/Gossau	AVIA (350 bar)
Zofingen	Agrola
Rothenburg	Agrola
Rümlang	AVIA
Lausanne/Crissier	Coop
Geuensee	AVIA
Bern	Coop
Müntschemier	Schwab-Guillod
Frenkendorf	Coop
Chur	Coop
Schötz	Agrola
Puidoux	AVIA
Grauholz	Socar

H2 Tankstellen in Realisierung

Pratteln	AVIA
Dietikon	Coop (in Planung)
Egerkingen	Coop (in Planung)
Uetendorf	Oeltrans AG

H2 Produktion

Niedergösgen	in Betrieb (Hydrospider)
Kubel St. Gallen	in Betrieb (Testphase, Wasserstoff-Produktion Ostschweiz AG, mit AVIA)
Schiffenen	im Bau (Groupe E)
Reichenau	im Bau (Axpo und Rhienergie AG)
Bürglen	in Vorbereitung (h2 Uri AG – EA-energieUri AG und AVIA Schätzle)



Juni 2023

16

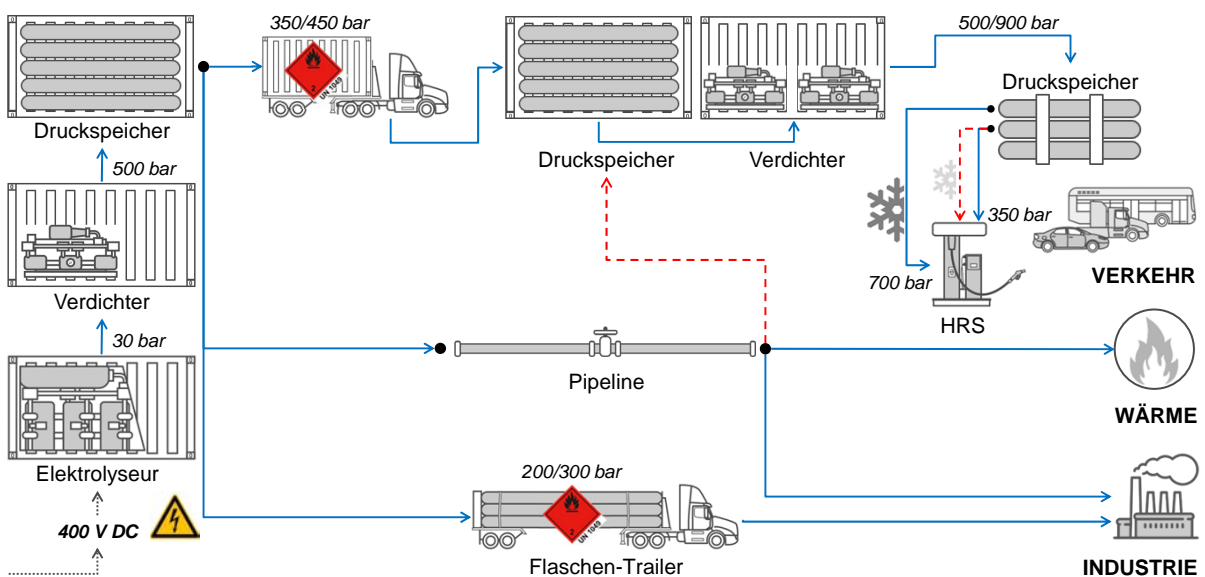
WASSERSTOFF - KREISLAUF - HERAUSFORDERUNGEN

- Produktion benötigter Mengen von **grünem Wasserstoff**
- Technische **Komplexität** der Wasserstoffproduktion und Tankstelleninfrastruktur (Verdichtertechnologie)
- **Zeitgerechte** Logistik (Verfügbarkeit Wasserstoff an Tankstellen), Verkehrssituation, Planbarkeit
- zeitgleicher Betankung **mehrerer** schwerer Nutzfahrzeuge (Verdichtungszeit, Back-to-Back-Fähigkeit)
- **Temperaturentwicklung** beim Betankungsvorgang (Tanktyp, Füllrampe, Tankzeit)
- **Energiepreis** (Wirtschaftlichkeit)



17

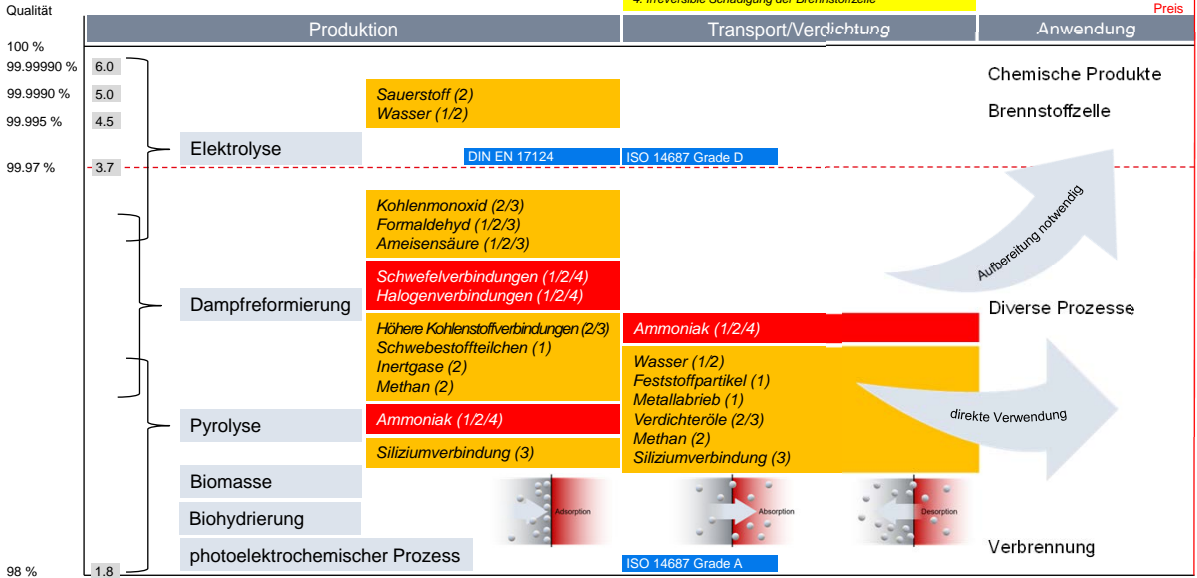
WASSERSTOFF - TRANSPORT



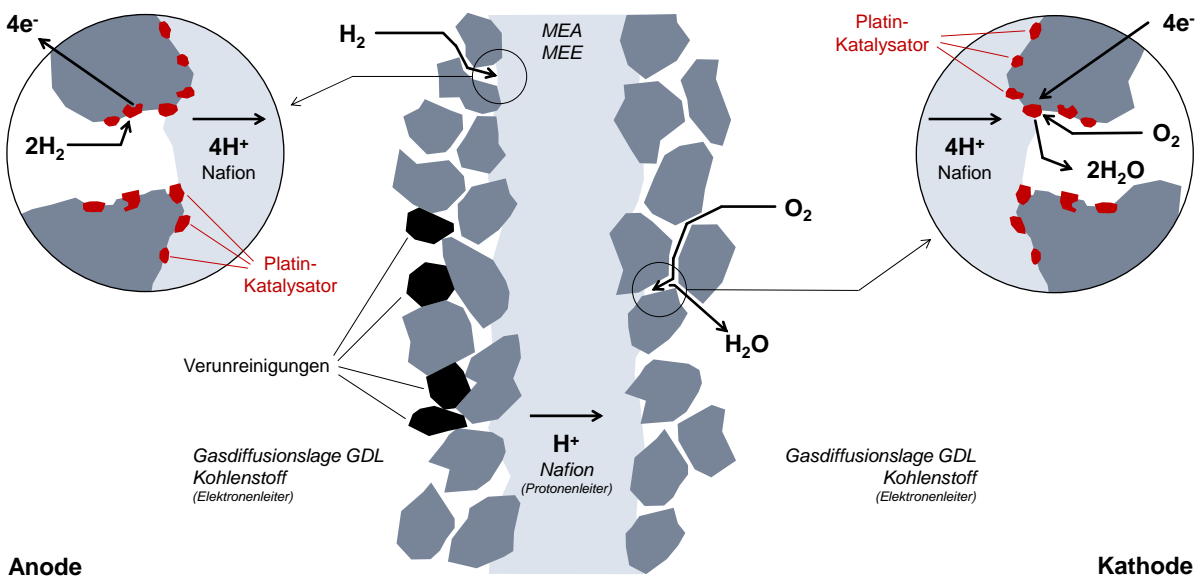
18

WASSERSTOFF - QUALITÄT

1. Beschädigung des H₂-Tank-/Rohrleitungssystems
2. Leistungsabnahme durch Verdünnung des Wasserstoffs
3. Reversible Schädigung der Brennstoffzelle
4. Irreversible Schädigung der Brennstoffzelle



WASSERSTOFF QUALITÄT – KATALYSATOR BRENNSTOFFZELLEN-MEMBRANE



WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

- Im Zusammenhang zur Erreichung der Klimaziele in der Industrie und der Mobilität ist Wasserstoff eine zentrale Technologie zur CO₂-Reduktion
- Bei der Gewinnung von regenerativ erzeugtem Strom werden Energiespeicher notwendig, damit Produktions- und Bedarfszeiten aufeinander abgestimmt werden können. Erneuerbare Energien werden durch die Umwandlung in Wasserstoff flexibel, speicher- und transportierbar

Stabilisierung Netz (Input = Output)

direkte Nutzung

Rohstoff gasförmiger oder flüssiger synthetischer Kraftstoffe

- Die Batterie wird im Personenwagensegment die dominierende Technologie einnehmen und darf in der Diskussion um Wasserstoff nicht zum Hemmnis der gesamten Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie werden
- Anwendungsbereiche im Schiff-, Flug- und Schwerlastverkehr, der industriellen Fertigung und im Wärmesektor können mit Wasserstoff dekarbonisiert werden, da noch keine realistischen Technologiealternativen zur Verfügung stehen. Das grosse Potenzial liegt vor allem im Güter- und öffentlichen Verkehr, u.a. dort wo die direkte Elektrifizierung schwierig oder gar unmöglich ist

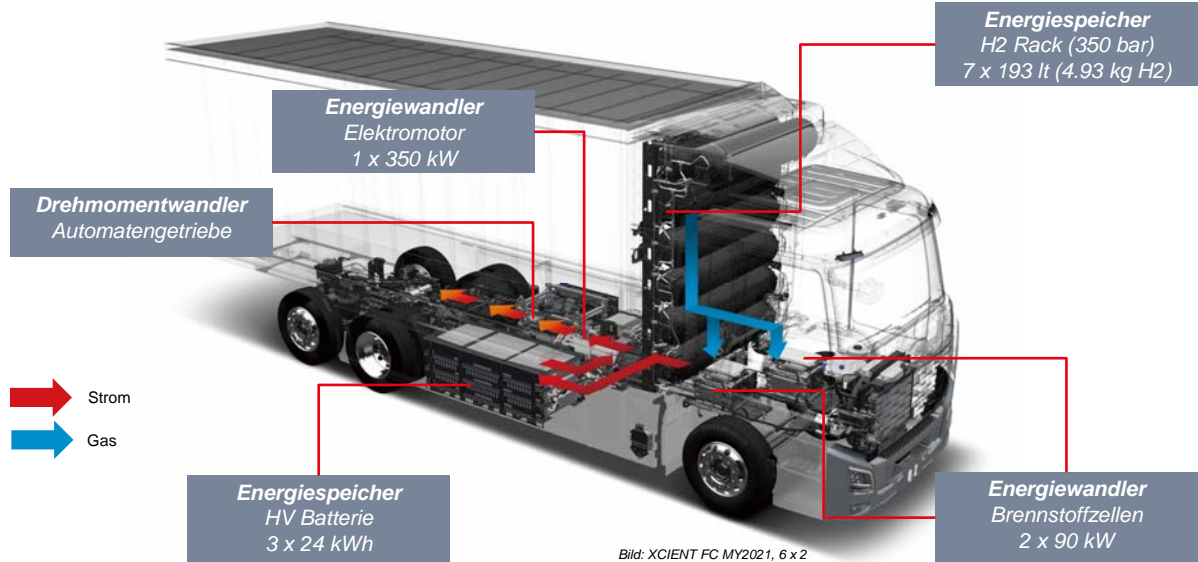
21

FAHRZEUGTECHNIK

Wasserstoff – Brennstoffzelle oder – Verbrennungsmotor

22

PROJEKT HYUNDAI TRUCK XCIENT FC

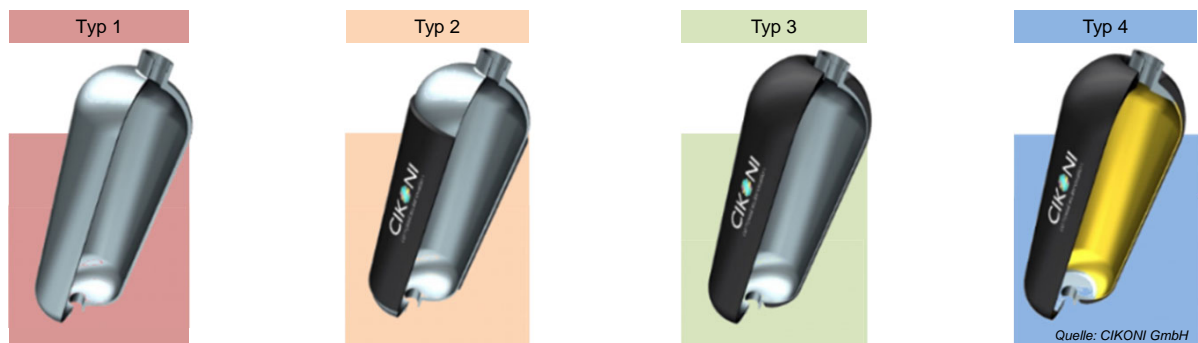


23

WASSERSTOFF SPEICHERUNG

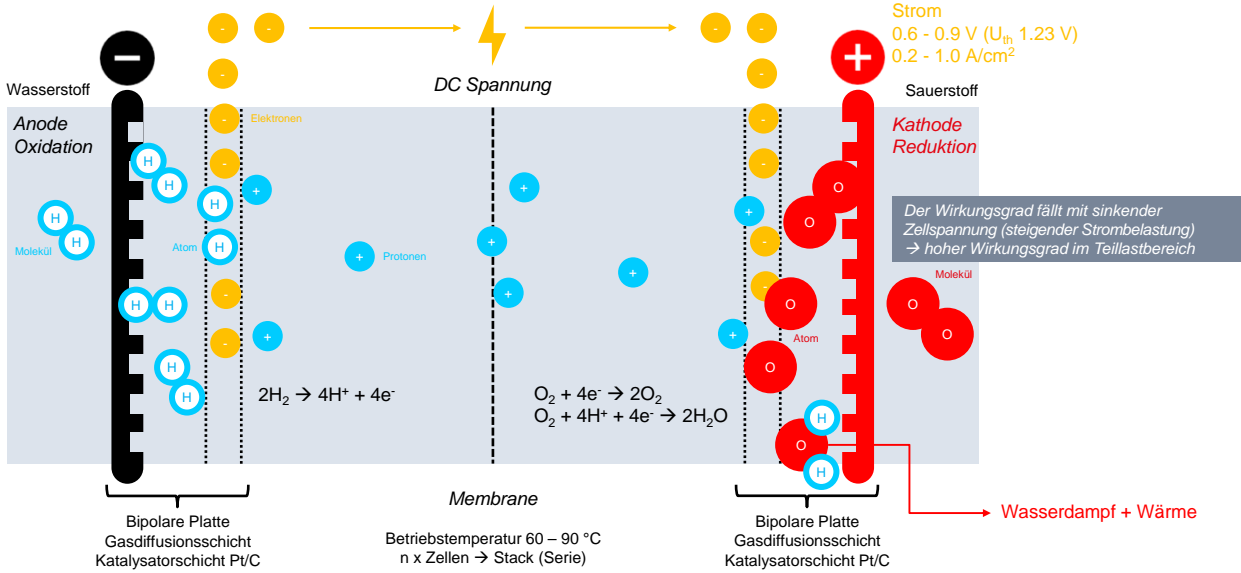
Um die erwünschte volumetrische Speicherdichte zu erreichen, findet die Speicherung von gasförmigem Wasserstoff grundsätzlich in Druckbehältern statt.

Hochdruckbehälter sind aus einem zylindrischen Teil aufgebaut, der stirnseitig mit Domen geschlossen ist, auf denen die Polöffnungen für die Peripheriegeräte angebracht sind.



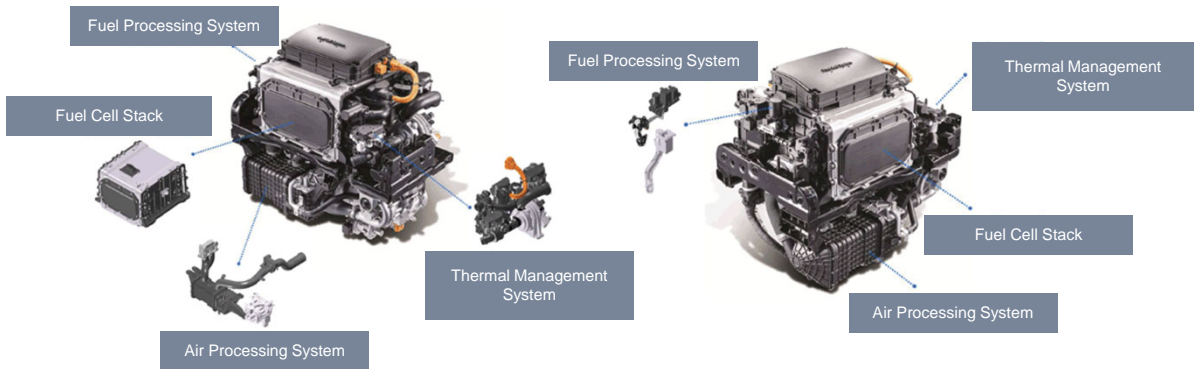
24

BRENNSTOFFZELLE - FUNKTIONSWEISE



25

BRENNSTOFFZELLE - SUBSYSTEME



Quelle: HYUNDAI

Systeme/Leistungselektronik

- Das Zusammenspiel der Systeme ist hochkomplex

26

WASSERSTOFF - VERBRENNUNGSMOTOR

- Geringe CO₂ Emissionen (< 1g/kWh)
- Niedrige Nox Emissionen (abhängig vom Lastbereich)
- Schnittstellen analog ICE* Diesel
- Leistungsverhalten ähnlich ICE* Diesel
- Motorwirkungsgrad vergleichbar ICE* Diesel
- Hohe Lastzyklen und plötzliche Laststufen
- Restistent gegen Hitze, Staub, Vibrationen
- Herausforderungen
 - *Motorklopfen, vorzeitige Zündungen, ineffiziente Verringerung des Verdichtungsverhältnis*
 - *stabile, präzise und leckagefreie Einblasung*

Saugrohr Einblasung



- Vorkammerzündung
- Wasserstoff-Luft-Gemisch hoch verdichtet
- Hoher Luftüberschuss
- Effiziente, stabile Vorkammer-Zündung
- Gasplasma wird dann durch kleine Öffnungen in die Hauptbrennkammer geleitet und kann dort durch seinen hohen Energiegehalt das eingblasene Gasgemisch schnell und gleichmässig entzünden.

Direkte Einblasung



- Hoher Füllungsgrad der Zylinder
- Hoher Wirkungsgrad im Vergleich zur Saugrohr Einblasung
- Mehrere Einblasungen pro Arbeitsspiel möglich
- Stabiler Motorlauf
- Einblasung unter hohem Druck
- Höhere spezifische Leistung

* ICE (Internal Combustion Engine – Verbrennungsmotor)

Quelle: LIEBHERR

27

GEFAHREN & MASSNAHMEN

Umsetzung in der Praxis – Beispiel Nutzfahrzeugwerkstätten

28

Neue Gefahren

Hochvolt



- Hohe elektrische Leistungen – hohe Spannungen und Stromstärken der Energiespeicher
- Gefährdungen durch Stromstösse oder Störlichtbögen
- Sicherheitsregeln, systematische Vorgehensweise
- Unterschiedliche Systeme
- Investitionen in Ausbildung, Infrastruktur und Werkzeug

autoberufe.ch >>>

29

Neue Gefahren

Druckgase



- Explosionsschutz, Einsatz brennbarer Gase
- Hohe Drücke der Energiespeicher
- Gefährdungen durch Gasaustritte, Leckagen
- Sicherheitsregeln, systematische Vorgehensweise
- Unterschiedliche Systeme
- Hohe Investitionen in Ausbildung, Infrastruktur und Werkzeug, teure Komponenten

autoberufe.ch >>>

30

Herausforderung

Ausbildung



- Neue Technologien, fehlendes Wissen und fehlende Erfahrungen in den Werkstätten
- Ausbildungsangebote für unterschiedliche Kompetenzniveaus im Aufbau
- Entwicklung neuer Prozesse

autoberufe.ch >>> 31

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

Ist Wasserstoff sicher?

Ja. Wasserstoff ist ein Energieträger und deshalb sind im Umgang – wie bei jedem anderen Kraft-, Brenn- und Treibstoff, aber auch Strom – bestimmte Regeln zu beachten

Der gefahrlose Umgang mit Wasserstoff setzt folgende Kenntnisse voraus:

1. Eigenschaften
2. Gefahren
3. Schutzmassnahmen
4. Arbeitssicherheit



autoberufe.ch >>> 32

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

Besonderheiten von Wasserstoff

- H₂ alleine ist nicht explosiv
- Für eine Gasexplosion sind notwendig:
 - **Brenngas** (Fuel)
 - **Oxidationsmittel** (Oxygen)
 - **Zündenergie** (Ignition)
- Das zündwilligste Wasserstoff-Luft-Gemisch beträgt 22 %
- Die Zündfähigkeit wird aber schon bei 4 % erreicht

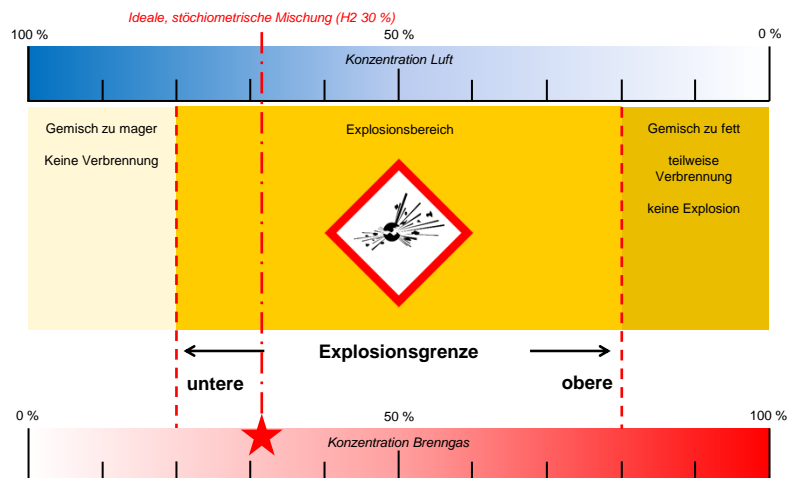


33

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

Zündbereich

- Propan 1.7 % - 10.8 %
- Methan 4.4 % - 16.5 %
- Diesel 0.6 % - 7.5 %
- Acetylen 2.5 % - 80 %
- Wasserstoff 4 % - 77 %



34

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

Brandverhalten von Wasserstoff

		Wasserstoff CGH_2	Benzin	Diesel	Methan
Explosionsgrenze	Vol. %	4.0 – 77.0	0.6 – 8.0	0.6 – 6.5	4.4 – 16.5
Zündtemperatur	°C	560	220-480	220	595
Min. Zündenergie	mJ	0.02	0.24	---	0.29
Zündwilligstes Gemisch	Vol.-%	22	4.7		8.5
Gesundheitsgefährdung		---	giftig	reizend	schwach betäubend
Flammtemperatur (Luft)	°C	2130			1970

35

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

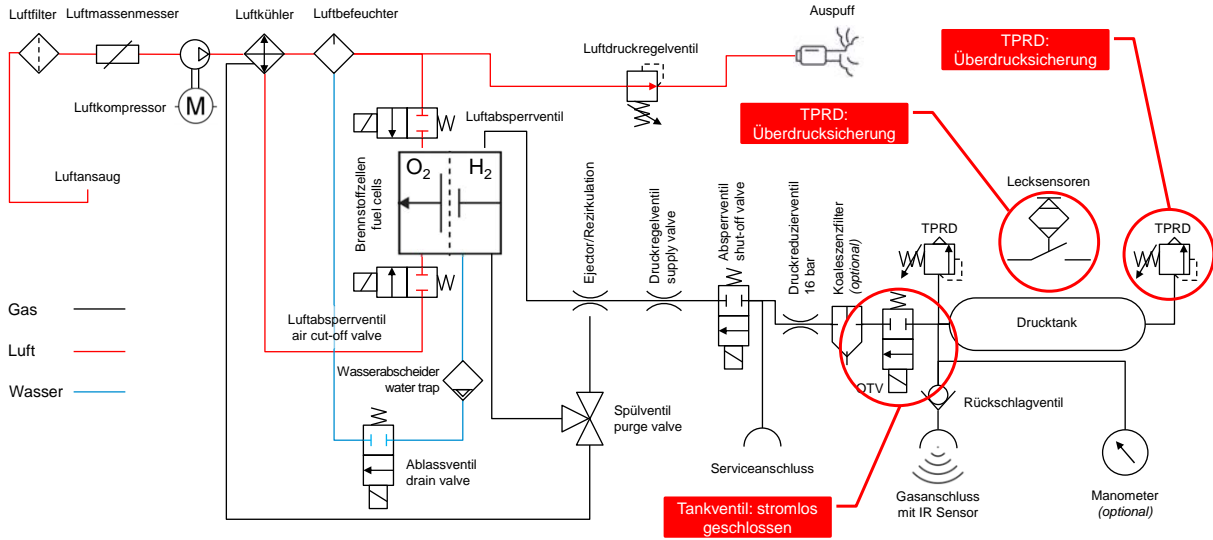
Wichtig

- Die Arbeit an Kraftfahrzeugen war noch **nie gefahrlos**. Es war schon immer notwendig, sich gegen die von den vorhandenen Systemen ausgehenden Gefahren zu schützen
- Die **verschiedenen Energiequellen** haben **spezifische Risiken**, die es zu berücksichtigen gilt
- Fahrzeuge mit komprimiertem gasförmigem Wasserstoff sind **betriebsmässig dicht**
- Gasförmiger Wasserstoff im Freien kaum nachweisbar
- Entweicht spontan, nach oben im ganzen Raum
- Die hohe Flüchtigkeit führt dazu, dass sich austretender Wasserstoff in **alle Richtungen** ausbreitet
- **Achtung Wasserstoff-Flamme unsichtbar**
- **Flammen nicht** am Leck selbst **löschen**, um eine unkontrollierte explosive Neuentzündung zu verhindern
- Quelle des Feuers isolieren oder **brennen lassen**



36

IDENTIFIZIERUNG VON KOMPONENTEN – GAS-SICHERHEITSEINRICHTUNGEN FAHRZEUG



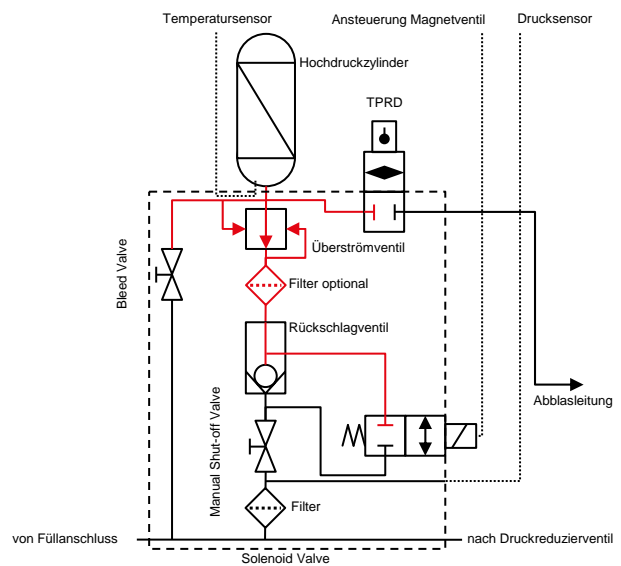
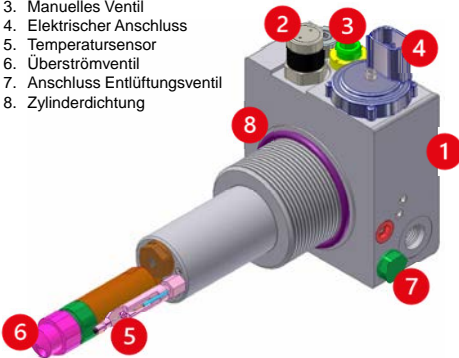
37

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

Tankventil & TPRD Ventil

- Situation Fahrtschalter „OFF“
- Manual Valve offen

1. Ventilblock
2. TPRD Thermally activated pressure relief device
3. Manuelles Ventil
4. Elektrischer Anschluss
5. Temperatursensor
6. Überströmventil
7. Anschluss Entlüftungsventil
8. Zylinderdichtung



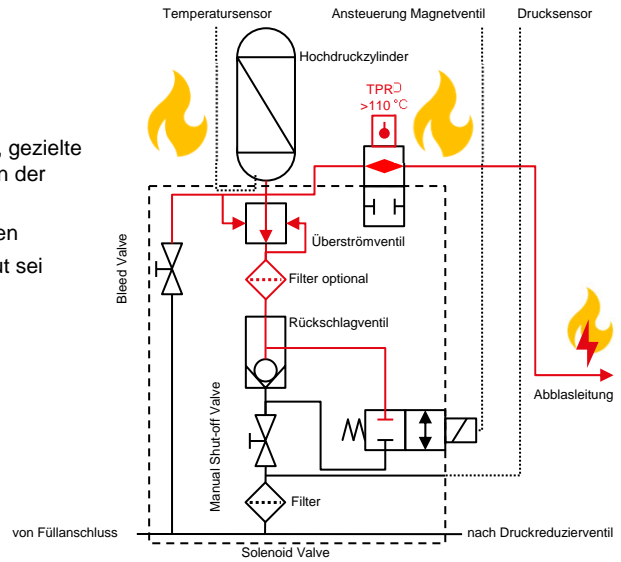
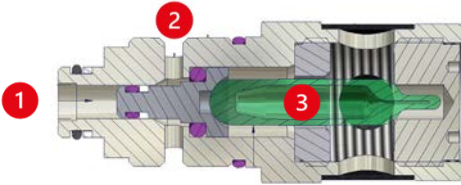
38

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

Tankventil & TPRD Ventil

- Temperaturanstieg „Brand“
- Situation Fahrtschalter „OFF“
- Manual Valve offen
- TPRD, Absicherung Gaslagertanks im Brandfall, schnelle, gezielte Entgasung bei erhöhten Temperaturen, verhindert Bersten der Tanks verhindert
- Am Austritt der Abblasleitung kann sich das Gas entzünden
- Pro Hochdruckzylinder können mehr als ein TPRD verbaut sein (abhängig von Länge/Durchmesser)

1. Gas Eingang
2. Austritt zu Abblasleitung
3. Glaszylinder mit Flüssigkeit



39

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

Lecksensoren

Zur Überwachung des Systems auf eventuelle Undichtigkeiten sind H₂-Sensoren an wesentlichen Baugruppen wie Tank, Ventilgruppen und Brennstoffzellenstack verbaut.

Die **Leckageüberwachungseinrichtung** in Fahrzeugen mit Wasserstoff ist **zwingend**.



40

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

Beurteilung Explosionsgefährdung TRGS 720/721

Im Rahmen seiner Verpflichtung hat der **Arbeitgeber** die **Gefährdungen** seiner Beschäftigten zu **ermitteln**, zu **beurteilen** und die notwendigen **Schutzmassnahmen abzuleiten**.



41

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

Beispiel Reparaturwerkstatt Risikoanalyse - Leckage

Untersuchungseinheit:	Werkstatt Auto AG Truck Rothenburg (TRO)			
Medium / Menge /Zustand	Wasserstoff; maximal 4 LKW à 34.51 kg/350 bar Wasserstoff (7 Hochdruckflaschen à 4.93 kg/350 bar je LKW), gasförmig			
Halle	8 Bahnen (ca. B 5.35m x H 8.50m x L 27.50m); Rolltore an jeder Seite, an jeder Bahn mit Öffnungshöhe 4.50m			
.	Hallenvolumen ca. 10'500 m ³			
Störfall	Ursache	Freigesetzte Mengen	Sicherheitsmassnahmen	Schäden (Worst Case)
1. Leckage im Hz System vor Einfahrt in Werkstatt	Unfall, Beschädigungen, Vibrationen etc.	unbekannt	Im Freien haben Leckagen kaum Bedeutung. Arbeitsanweisung (Checkliste) vor Einfahrt in Werkstatt. Vor Einfahrt ist das Fahrzeug visuell zu kontrollieren und die Verbindungen mit einem Lecksuchgerät zu prüfen.	keine

42

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

Beispiel Reparaturwerkstatt Risikoanalyse - Leckage

Störfall	Ursache	Freigesetzte Mengen	Sicherheitsmassnahmen	Schäden (Worst Case)
2. Leckage im H ₂ Rohrleitungssystem in der Werkstatt (unbemerkt)	Beschädigungen der Rohrleitungen	Wenige Gramm, Solenoid Ventile an Tanks sind bei ausgeschaltetem Fahrzeug geschlossen	Keine Alarm Auslösung wahrscheinlich: Menge Wasserstoff ist zu gering Falls Grenzwerte überschritten werden: Gassensornik (4 Sensoren am Hallendach) gemäss Ex-Schutzplan Fahrzeugracks direkt unter den Sensoren (Positionsmarkierungen am Boden) Alarmwert 5 % UEG Dachlüfter (4 x 2'500 m ³ /h) schalten ein Hallentore öffnen automatisch Gasmeldezentrale löst Alarm über SMS aus, da geöffnete Tore (Tag/Nacht) Optisches und akustisches Signal in der Werkstatt und vor der Werkstatt Alarmwert 10 % UEG Dachlüfter (4 x 2'500 m ³ /h) laufen weiter Werkstatt wird stromlos geschaltet Notbeleuchtung schaltet ein	keine

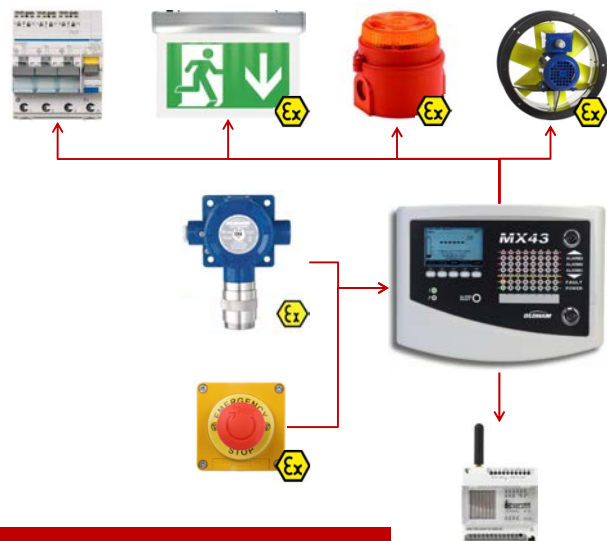
43

WERKSTATT INFRASTRUKTUR

Gasdetektion und Belüftung

Das Gebäudeexplosionsschutzsystem ist ausgestattet mit:

- Detektionssystem, Sensoren
- Notschalter
- zentrales Verwaltungssystem, Gaswarnanlage
- Trennsystem Stromversorgungen
- visuelles Alarmsystem
- akustisches Alarmsystem
- "Ex"-Fluchtweg-Signalsystem, Notleuchten
- "Ex"-Lüftungssystem (Zu- & Abluft)
- Alarmsystem für die Rettungsdienste



Prüfzyklen von Gaswarnsystem einhalten!

44

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

Beispiel Reparaturwerkstatt Risikoanalyse - Zündquellen

Störfall	Ursache	Freigesetzte Mengen	Sicherheitsmassnahmen	Schäden (Worst Case)
9. Zündquellen (statische Elektrizität)	Statische Entladung	Lokal freigesetzte Menge bei Manipulationen	Fahrzeug wird nach Einfahrt in Werkstatt an Potenzialausgleich angeschlossen Ableitfähige Arbeitsschuhe Korrekte Arbeitskleidung (EN 1149-5) Geräteategorie für Arbeiten in Ex Schutz Zone 2 (mind. Kategorie 3G)	keine

45

WERKSTATT INFRASTRUKTUR

Potentialausgleich

DIN VDE 0100: „Elektrische Verbindung, die die Körper elektrischer Betriebsmittel und fremde leitfähige Teile auf gleiches oder annähernd gleiches Potential bringt.“

Um Potentialunterschiede zwischen Objekten (Fahrzeug, Abblasrohr,...) zu vermeiden, werden diese miteinander verbunden, um die unterschiedlichen Potentiale auszugleichen. (**Funkenbildung**)

Erdung

„Die Erdung ist eine elektrisch leitfähige Verbindung mit dem elektrischen Potential des Erdbodens.“

Um jegliches Risiko mit anderen Objekten zu vermeiden, ist der Potentialausgleich mit der Erde verbunden, was maximale Sicherheit garantiert.



46

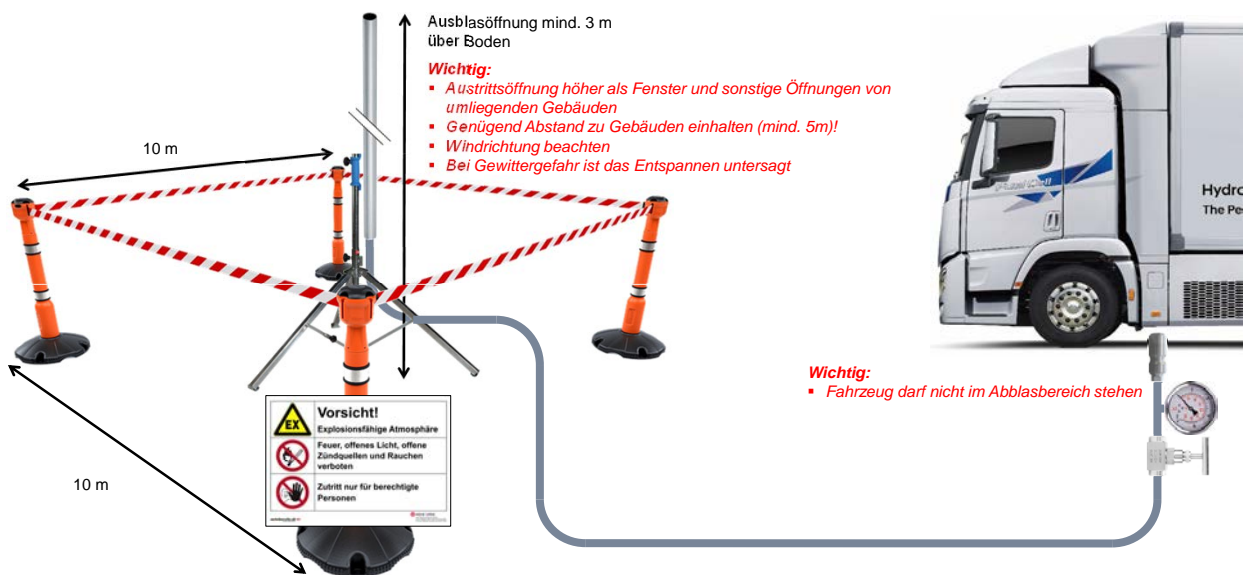
WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

Beispiel Reparaturwerkstatt Risikoanalyse - Zündquellen

Störfall	Ursache	Freigesetzte Mengen	Sicherheitsmassnahmen	Schäden (Worst Case)
10. Zündquellen (mechanisch erzeugte Funken)	Reib-, Schlag- oder Abtragevorgänge, u.a. Schleifen	Lokal freigesetzte Menge bei Manipulationen	Beurteilung durch Fachperson, müssen in explosionsgefährdeten Bereichen Arbeitsmittel verwendet werden, die als Zündquelle wirksam werden können, u.a. elektrische Handwerkzeuge, Fahrzeuge, Schweißgeräte, Messgeräte, so ist dafür zu sorgen, dass während der Verwendung keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre entstehen kann. Dies kann bei Gasen und Dämpfen messtechnisch durch Gaswarngeräte überwacht werden (frei messen), ggf. Leitungs- oder Tanksystem entleeren und inertisieren Formular «Freigabe funkenbildender Arbeiten»	keine

47

ENTSPANNEN – INERTISIEREN – SPÜLEN



48

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

Beispiel Reparaturwerkstatt Risikoanalyse - Zündquellen

Störfall	Ursache	Freigesetzte Mengen	Sicherheitsmassnahmen	Schäden (Worst Case)
11. Zündquelle (Blitzschlag)	Blitzeinschlag	Lokal freigesetzte Menge bei Manipulationen	Blitzschutzanlage Kategorie 1	keine
Störfall	Ursache	Freigesetzte Mengen	Sicherheitsmassnahmen	Schäden (Worst Case)
12. Zündquelle	Schweissen oder Schneidbrennen in der Nähe von wasserstoffführenden Komponenten	Lokal freigesetzte Menge bei Manipulationen	Beurteilung durch Fachperson, müssen in explosionsgefährdeten Bereichen Arbeitsmittel verwendet werden, die als Zündquelle wirksam werden können, u. a. elektrische Handwerkzeuge, Fahrzeuge, Schweißgeräte, Messgeräte, so ist dafür zu sorgen, dass während der Verwendung keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre entstehen kann. Dies kann bei Gasen und Dämpfen messtechnisch durch Gaswarngeräte überwacht werden (frei messen), ggf. Leitungs- oder Tanksystem entleeren und inertisieren Formular «Freigabe funkenbildender Arbeiten»	keine

49

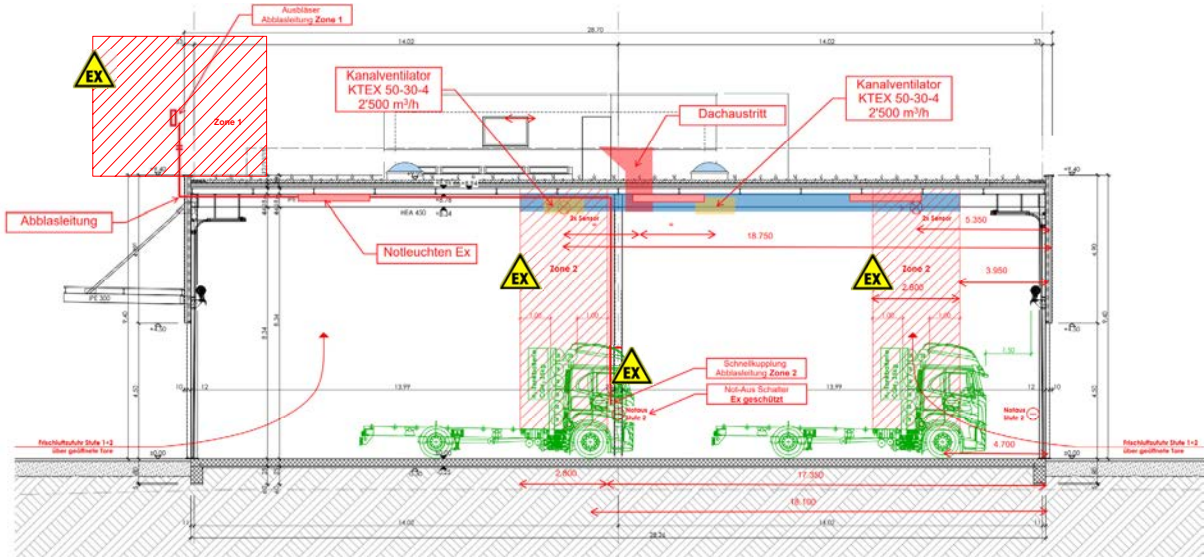
WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

Beispiel Reparaturwerkstatt Risikobeurteilung

Risikobeurteilung	1. Sind brennbare Stoffe vorhanden? <input type="checkbox"/> Nein <input checked="" type="checkbox"/> Ja 2. Kann durch ausreichende Verteilung in der Luft explosionsfähige Atmosphäre entstehen? <input type="checkbox"/> Nein <input checked="" type="checkbox"/> Ja 3. Ist die Bildung eines explosionsgefährdeten Bereichs möglich? <input type="checkbox"/> Nein <input checked="" type="checkbox"/> Ja 4. Ist die Bildung eines explosionsgefährdeten Bereichs zuverlässig verhindert? <input type="checkbox"/> Nein <input checked="" type="checkbox"/> Ja <i>Mit wirksamer Absaugung oder durch Inertisieren des entleerten Behälters oder der Leitung mit Stickstoff, die die Bildung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre verhindert.</i> 5. Ist die Entzündung in einem explosionsgefährdeten Bereich zuverlässig verhindert? <input type="checkbox"/> Nein <input checked="" type="checkbox"/> Ja <i>Bei Umsetzung und Einhaltung technischer und organisatorischer Massnahmen</i>
Zoneneinteilung	<input type="checkbox"/> Nein <input checked="" type="checkbox"/> Ja, siehe Anhang (Ex-Zonenplan)

50

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN – EX ZONEN



51

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

Beispiel Reparaturwerkstatt Umsetzung des Explosionsschutzes

<p>Technische Schutzmassnahmen (Vermeidung explosionsfähiger Atmosphäre)</p>	<ol style="list-style-type: none"> Messung der Gaskonzentration durch 4 Gassensoren Prozesseingriff bei Überschreitung der Schwellwerte <ol style="list-style-type: none"> UEG 5% (Voralarm) (Hallenhöhe, Sensoren unter Decke) UEG 10% (Hauptalarm) (Hallenhöhe, Sensoren unter Decke) Konzentrationsbeschränkung durch technische Lüftung <ol style="list-style-type: none"> 4 Ventilatoren (2500 m³/h, Explosionsgruppe IIC oder IIB-H2) über 2 Abluftkanäle unter der Decke montiert, pro Kanal 1 Dachkamin Öffnung der Hallentore zur Gewährleistung ausreichender Zuluft Manuelle Not/Aus Taster <ol style="list-style-type: none"> Massnahmen gemäss Hauptalarm Zentrale Freischaltung der gesamten Elektroinstallation, ausgenommen explosionsgeschützte Baugruppen (Notbeleuchtung, Gasmonitoring, Dachlüfter) <ol style="list-style-type: none"> UEG 10% (Hauptalarm) Optische und akustische Signale innerhalb und ausserhalb der Werkstatt bei Überschreitung des Schwellwertes <ol style="list-style-type: none"> UEG 5% (Voralarm) UEG 10% (Hauptalarm) externe Alarmierung SMS/E-mail ausserhalb Öffnungszeiten <ol style="list-style-type: none"> UEG 5% (Voralarm) UEG 10% (Hauptalarm) Gefahrloses Abblasen aus Sicherheitsventilen über Abblaskamin, Ende 1.0 m über Dach Installation Feuerföcher 	<p>Technische Schutzmassnahmen (Vermeidung potenzieller Zündquellen)</p>	<ol style="list-style-type: none"> Elektrische Betriebsmittel sind zonenkonform <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein, Massnahmen : Elektrostatische Entladung verhindert <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Ja, alle Anlagenteile sind miteinander verbunden und geerdet <input checked="" type="checkbox"/> Nein, Massnahmen : Potenzialausgleichsleitung wird mit Fahrzeug verbunden Blitzschutzanlage ist vorhanden <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Blitzschutzklasse I <input type="checkbox"/> Blitzschutzklasse II <input type="checkbox"/> Blitzschutzklasse III <input type="checkbox"/> Nicht notwendig weil : <input type="checkbox"/> Nein, Massnahmen :
<p>Technische Schutzmassnahmen (konstruktiver Explosionsschutz)</p>			<ol style="list-style-type: none"> Es werden keine Massnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes ergriffen, da der Explosionsschutz mit vorbeugenden Massnahmen realisiert werden kann und auch nicht mit Explosionsübertragungen gerechnet werden muss.

52

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

Beispiel Reparaturwerkstatt Umsetzung des Explosionsschutzes

Organisatorische Schutzmassnahmen	1. Verbotstafeln für Rauchverbot, bzw. Zündquellen <input checked="" type="checkbox"/> Ja, angebracht <input type="checkbox"/> Nein, Massnahmen :	10. Unterweisung Mitarbeiter <input checked="" type="checkbox"/> Ja, durchgeführt, siehe Anhang (OZ FCEV Training Cheoman) <input type="checkbox"/> Nein, Massnahmen :	
	2. Warnzeichen EX <input checked="" type="checkbox"/> Ja, angebracht <input type="checkbox"/> Nein, Massnahmen :	Konformitätserklärungen	1. Behälter Fuel Cell Fahrzeuge <input checked="" type="checkbox"/> Ja, vorhanden, siehe Anhang (Konformitätserklärung FC Fahrzeug) 2. Betriebsmittel in der Ex-Zone wie Lüftung, Leuchten, ... <input checked="" type="checkbox"/> Ja, vorhanden, siehe Anhang (Konformitätserklärung ATEX)
	3. Verbotstafeln Zutritt für Unbefugte <input checked="" type="checkbox"/> Ja, angebracht <input type="checkbox"/> Nein, Massnahmen :	Prüfungen	1. Prüfung Blitzschutzanlage <input checked="" type="checkbox"/> Ja, durchgeführt, siehe Anhang (Installationsattest Blitzschutzanlage) <input type="checkbox"/> Nein, nicht notwendig weil: 2. Meldung Druckbehälter <input type="checkbox"/> Ja, durchgeführt, siehe Anhang (x) <input checked="" type="checkbox"/> Nein, nicht notwendig weil: Fahrzeug 3. Prüfung Arbeitsplätze/Arbeitsmittel <input type="checkbox"/> vor erstmaliger Nutzung <input type="checkbox"/> regelmässige Prüfung, Intervall 12 Monate
	4. Erlaubnis für Feuerarbeiten in Ex-Zonen <input checked="" type="checkbox"/> Ja, vorhanden, siehe Anhang (Freigabe funkenbildender Arbeiten) <input type="checkbox"/> Nein, Massnahmen :	Anhänge	1.0 Sicherheitsdatenblatt 1.1 Risikoanalyse 2.0 Lageplan 2.1 Ex-Zonenplan Grundriss 2.2 Ex-Zonenplan Ansicht 3.0 Freigabe funkenbildender Arbeiten 3.1 Betriebsanweisung Prozess Fuel Cell Fahrzeug 4.X Konformitätserklärungen Behälter Fahrzeug 4.5 Installationstest Blitzschutzanlage 4.6 Prüfbericht Dichtheitsprüfung Abblasteitung 5.0 Unterweisung OZ FCEV Training 6.1 Mitarbeiterinformation 7.0 Notfallplan
5. Betriebsanweisungen <input checked="" type="checkbox"/> Ja, vorhanden, siehe Anhang (Betriebsanweisung) <input type="checkbox"/> Nein, Massnahmen :			
6. Notfallplan <input checked="" type="checkbox"/> Ja, vorhanden, siehe Anhang (Notfallplan) <input type="checkbox"/> Nein, Massnahmen :			
7. Kennzeichnung Flucht-/Rettungswege <input checked="" type="checkbox"/> Ja, angebracht <input type="checkbox"/> Nein, Massnahmen :			
8. Sperrbereich vor Tor durch Bodenmarkierung, 1.5 m <input checked="" type="checkbox"/> Ja, angebracht <input type="checkbox"/> Nein, Massnahmen :			
9. Information Mitarbeiter <input checked="" type="checkbox"/> Ja, durchgeführt, siehe Anhang (Mitarbeiterinformation Gefahren) <input type="checkbox"/> Nein, Massnahmen :			

53

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN

Beispiel Reparaturwerkstatt Umsetzung des Explosionsschutzes

Bemerkungen:

Die Werkstatthalle Firma Beispiel mit ca. 10'000 m³ hat ein grosses Gesamtvolumen. Kleine Leckagen von Wasserstoff werden sich durch Konvektion und Diffusion schnell in der gesamten Halle verteilen. Die höchsten Konzentrationen (nebst dem Bereich des lokalen Austritts) werden zuerst unter der Hallendecke erreicht.

Eine kontinuierliche Ansammlung von Wasserstoff bei kleiner Leckage unter der Hallendecke ist aufgrund der Diffusionsgesetze und der Konvektion bei dieser Hallengrösse nicht zu erwarten.

Da Wasserstoff für die Betriebsmitarbeiter ein neues Medium mit neuen Gefahren darstellt, sind Ausbildung und kontinuierliche Schulungen der Mitarbeiter, aber auch klare Arbeitsanweisungen ein zentraler Punkt für die Arbeitssicherheit.

**Voralarm Standard Wert: UEG 20 %, muss aber je nach Hallenhöhe, -volumen und Montagehöhe der Sensoren angepasst werden!*

**Hauptalarm Standard Wert: UEG 40 %, muss aber je nach Hallenhöhe, -volumen und Montagehöhe der Sensoren angepasst werden!*

- mindestens 2 Gassensoren pro Raum installieren

54

WASSERSTOFF GEFAHREN & MASSNAHMEN - NOTFALLPLAN

Verhalten bei Gasalarm

Ruhe bewahren



Voralarm

- Motor abstellen, Gaszufuhr unterbrechen
- Zündquellen verhindern
- Kollegen warnen
- Durchlüftung sicherstellen
- Gaskonzentration überwachen

Hauptalarm

- Gebäude über Fluchtweg verlassen
- Feuerwehr alarmieren **112**
- Sammelplatz aufsuchen

Verhalten bei Brandfall

Ruhe bewahren



Alarmieren 112

- Alarmtaste drücken wenn vorhanden
- Feuerwehr alarmieren – **wo** ist es passiert – **was** ist passiert – **wer** meldet – **wie viele** sind betroffen/verletzt – **besondere Gefahren**

Retten und Warnen

- Gefährdete Personen warnen
- Retten unter Wahrnehmung der eigenen Sicherheit
- Fester & Türen schliessen
- Fluchtweg folgen
- Aufzüge **nicht** benutzen
- Anweisungen beachten

Löschen

- Feuerlöschgeräte benutzen

55

EKAS INFORMATIONSBROSCHÜRE

Informationsunterlagen

CH → EKAS-Informationsbroschüre 6282.d
„Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz im Umgang mit
Gasfahrzeugen“

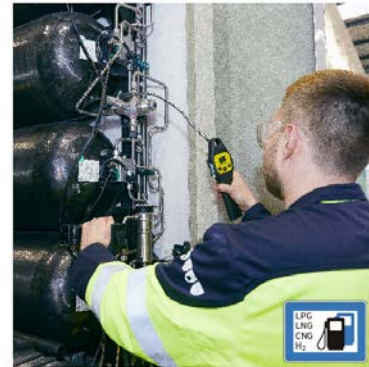


EKAS BROSCHÜRE

EKAS INFORMATIONSBROSCHÜRE

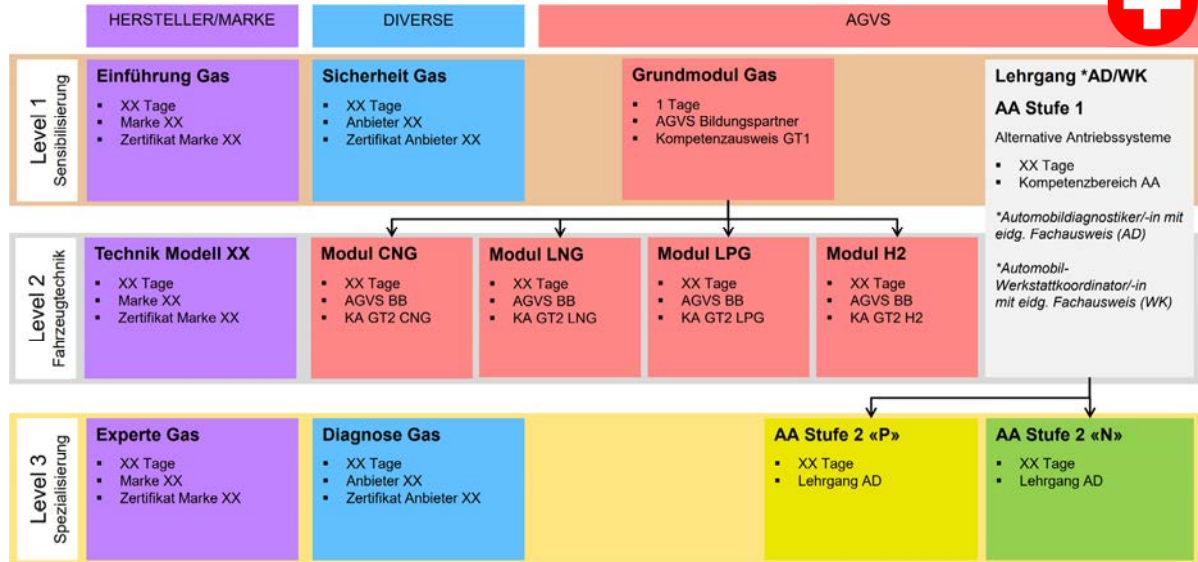
Arbeits- und Gesundheitsschutz
in der Schweiz
für die Schweiz
für die Schweiz

Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz im Umgang mit Gasfahrzeugen



autoberufe.ch >>> 56

ZERTIFIZIERUNG GAS SCHWEIZ - FAHRZEUGE



autoberufe.ch >>> 57

WASSERSTOFF – VON DER ERNEUERBAREN ENERGIE ZUR MOBILITÄT

Informationsthemen

- **Teil 1** | Nachhaltigkeit – Energieträger der Energiewende
- **Teil 2** | Grüner Wasserstoff – Energieträger der Zukunft
- **Teil 3** | Der Wasserstoffkreislauf
- **Teil 4** | Grüner Wasserstoff in der Mobilität



autoberufe.ch >>> 58

FRAGEN



Auto Gewerbe Verband Schweiz AGVS
Sektion Zentralschweiz
Jörg Merz
+41 79 198 54 68
joerg.merz@agvs-zs.ch

IMPRESSUM

Kontaktadresse

Auto Gewerbe Verband Schweiz
Sektion Zentralschweiz
Ebenastrasse 14
CH-6048 Horw
Schweiz

info@agvs-zs.ch
+41 41 349 00 20
CHE-112.378.983

Diese Informationen werden ohne kommerzielle Interessen zur Verfügung gestellt.

Haftungsausschluss

Der Autor übernimmt keinerlei Gewähr hinsichtlich der inhaltlichen Richtigkeit, Genauigkeit, Aktualität, Zuverlässigkeit und Vollständigkeit der Informationen.

Haftungsansprüche gegen den Autor wegen Schäden materieller oder immaterieller Art, welche aus dem Zugriff oder der Nutzung bzw. Nichtnutzung der veröffentlichten Informationen, durch Missbrauch der Verbindung oder durch technische Störungen entstanden sind, werden ausgeschlossen.

Alle Angebote sind unverbindlich. Der Autor behält es sich ausdrücklich vor, Teile der Seiten oder das gesamte Angebot ohne gesonderte Ankündigung zu verändern, zu ergänzen, zu löschen oder die Veröffentlichung zeitweise oder endgültig einzustellen.

Haftung für Links

Verweise und Links auf Webseiten Dritter liegen ausserhalb unseres Verantwortungsbereichs. Es wird jegliche Verantwortung für solche Webseiten abgelehnt. Der Zugriff und die Nutzung solcher Webseiten erfolgen auf eigene Gefahr des Nutzers oder der Nutzerin.

Urheberrechte

Die Urheber- und alle anderen Rechte an Inhalten, Bildern, Fotos oder anderen Dateien auf der Website gehören ausschliesslich dem Betreiber dieser Webseite oder den speziell genannten Rechteinhabern. Für die Reproduktion jeglicher Elemente ist die schriftliche Zustimmung der Urheberrechtsträger im Voraus einzuholen.