



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**  
Energieforschung und Cleantech

**Schlussbericht vom 09.12.2019**

---

## **Aufbau und Betrieb der ersten Wasserstofftankstellen in der Schweiz mit einem Nenndruck von 70 MPa**

---



**Quelle:** Tagesanzeiger, 2016



**Empa**

Materials Science and Technology



**Datum:** 09.12.2019

**Ort:** Dübendorf

**Subventionsgeberin:**

Bundesamt für Energie BFE  
Sektion Energieforschung und Cleantech  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Subventionsempfänger/innen:**

H2 Energy AG  
Boulevard Lilienthal 42, CH-8152 Glattpark (Opfikon)  
[https://h2energy.ch/](http://h2energy.ch/)

Hyundai Suisse, BERSAN Automotive Switzerland AG  
Brandbachstrasse 6, CH-8305 Dietlikon  
[https://www.hyundai.ch/de/](http://www.hyundai.ch/de/)

Empa  
Überlandstrasse 129, CH-8600 Dübendorf  
[https://www.empa.ch/](http://www.empa.ch/)

**Autor/in:**

Urs Cabalzar, Empa, [urs.cabalzar@empa.ch](mailto:urs.cabalzar@empa.ch)

**BFE-Projektbegleitung:**

Stefan Oberholzer, [stefan.oberholzer@bfe.admin.ch](mailto:stefan.oberholzer@bfe.admin.ch)  
Men Wirz, [men.wirz@bfe.admin.ch](mailto:men.wirz@bfe.admin.ch)

**BFE-Vertragsnummer:** SI/501285-01

**Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.**



## Zusammenfassung

Das Projekt beinhaltet die Realisierung und den Betrieb der ersten beiden Wasserstoff-Tankstellen in der Schweiz, welche für Private zugänglich sind und zudem eine Betankung bei einem Nenndruck von 70 MPa ermöglichen. Ein Nenndruck von 70 MPa entspricht dem weltweiten Standard für die Betankung von Brennstoffzellen-Personenwagen. Die beiden Wasserstoff-Tankstellen sind seit 2016 an der Empa in Dübendorf und bei Coop in Hunzenschwil in Betrieb und werden derzeit von über 60 in der Schweiz immatrikulierten Brennstoffzellen-Personenwagen und einem Brennstoffzellen-Lastwagen genutzt (Stand: Sept. 2019). Wird die an beiden Tankstellen betankte Menge zusammengezählt, ergibt sich gegenwärtig ein Umsatz von über 6 Tonnen Wasserstoff pro Jahr.

Mit dem Betrieb der Tankstellen konnten wertvolle Erfahrungen zum Praxisbetrieb und zum Nutzerverhalten gewonnen werden. Kinderkrankheiten, welche insbesondere in den ersten 1 – 1.5 Betriebsjahren vermehrt zu Störungen an den Tankstellen führten, konnten ausgemerzt werden. Dabei wurde festgestellt, dass es bei beiden Tankstellen von Beginn weg mit den Hauptkomponenten und dem der Wasserstoff-Betankung zugrundeliegenden Prozess keine Probleme gab. Elektrolyse, Verdichtung und Armaturen zur Steuerung der Betankung funktionierten nahezu einwandfrei über die gesamte Projektlaufzeit. Die Ursache für Störungen lag fast ausschliesslich bei kleineren Komponenten wie z.B. bei Temperatur- und Drucksensoren oder an Ausfällen am Kartenlesegerät.

Neben praxisorientierten und wissenschaftlichen Analysen zum Wasserstoff-Pfad von Produktion bis ans Fahrzeugrad (Well-to-Wheel Bilanzen), wurden auch regulatorische und rechtliche Fragen zu Aufbau und Betrieb von Wasserstoff-Tankstellen untersucht. Im Rahmen des Projektes wurde ein Leitfaden erstellt, welcher den Genehmigungsprozess für Wasserstoff-Tankstellen in der Schweiz in Form einer Schritt-für-Schritt Anleitung aufschlüsselt. Im Anhang des Leitfadens sind sämtliche Gesetze, Verordnungen und Normen aufgeführt, welche für die Realisierung von Wasserstoff-Tankstellen in der Schweiz von Bedeutung sind. In diesen Vorschriften ist unter anderem die bei der Betankung von gasförmigen Treibstoffen geltende Ex-Zoneneinteilung festgehalten. Dabei führten die zu Projektstart schweizweit geltenden Ex-Zone Vorschriften zu Zusatzaufwand und Mehrkosten bei der Integration von Wasserstoff-Zapfsäulen in konventionelle Tankstellen. Im Rahmen des Projektes wurde in Zusammenarbeit mit der Suva und basierend auf ausführlichen Berechnungen und Messreihen eine Möglichkeit gefunden, welche eine Re-Definition der Ex-Zone unter Beibehaltung gleicher Sicherheit ermöglicht. Damit konnte die Integration in konventionelle Tankstellen durch dieses Projekt für den Aufbau künftiger Wasserstoff-Tankstellen massgeblich vereinfacht werden. Ein entsprechendes offizielles Schreiben wurde unter anderem Suva-intern hinterlegt.

Während sich obige Aktivitäten auf rechtliche und regulatorische Aspekte in der Schweiz konzentrierten, wurden im Rahmen des Projektes auch Tätigkeiten ausgeführt, um die international bestehenden Herausforderungen zu Eichfähigkeit und Wasserstoff-Reinheit zu adressieren. Im Zuge des Projektes baute das Eidgenössische Institut für Metrologie METAS eine Eichvorrichtung, mit welcher erste Eichmessungen an der Wasserstoff-Tankstelle der Empa durchgeführt wurden. Die Ergebnisse zeigten unter anderem, dass neben Unsicherheiten an der Mess- und der Eichvorrichtung insbesondere die Konstruktion und Konzeption der Wasserstoff-Zapfsäule einen grossen Einfluss auf Abweichungen bei der Massenmessung hat. Die gewonnenen Erkenntnisse und die Eichvorrichtung bilden eine wichtige Basis für weitere Untersuchungen im 2017 gestarteten Europäischen Projekt „MetroHyVe“, an welchem sich METAS und Empa beteiligen.

Die Wasserstoffmobilität in der Schweiz ist erst am Anfang und es sind viele weitere Anstrengungen nötig, um deren Verbreitung voranzubringen. Mit den Resultaten des vorliegenden Projektes konnte aber ein entscheidender Schritt nach vorne gemacht und die Grundlage für weitere Initiativen zum Aufbau einer Wasserstoff-Tankstelleninfrastruktur gelegt werden.



## Summary

The project involves the realisation and operation of the first two hydrogen filling stations in Switzerland, which are accessible to private individuals and also enable refuelling at a nominal pressure of 70 MPa. A nominal pressure of 70 MPa corresponds to the worldwide standard for refuelling fuel cell passenger cars. The filling stations located at Empa in Dübendorf and at Coop in Hunzenschwil have been in operation since 2016 and are currently used by more than 60 fuel cell passenger cars registered in Switzerland and one fuel cell truck (as of Sept. 2019). Adding up the quantities refuelled at the two filling stations results in a turnover of more than 6 tonnes of hydrogen per year.

The operation of the filling stations has provided valuable experience in practical operation and user behaviour. Teething troubles, which in the first 1 - 1.5 years of operation increasingly led to malfunctions at the filling stations, were eradicated. It was found that, from beginning of operation, there were no problems with the main components and the intrinsic process underlying hydrogen refuelling at either filling station. Electrolysis, compression and fittings for controlling the refuelling functioned almost flawlessly over the entire duration of the project. The cause of malfunctions was almost exclusively small components such as temperature and pressure sensors or card reader failures.

In addition to practice-oriented and scientific analyses of the hydrogen path from production to the vehicle wheel (well-to-wheel balances), regulatory and legal issues relating to the construction and operation of hydrogen filling stations were also investigated. Within the framework of the project, a guideline was drawn up which breaks down the approval process for hydrogen filling stations in Switzerland in the form of a step-by-step instruction. In the appendix of the guideline all laws, regulations and standards are listed which are important for the realisation of hydrogen filling stations in Switzerland. Among other things, these regulations specify the Ex zone classification applicable to the refuelling of gaseous fuels. The Ex zone regulations applicable throughout Switzerland at the start of the project led to additional expenditure and costs for the integration of hydrogen dispensers into conventional filling stations. Within the framework of the project, an option was found in cooperation with Suva and based on detailed calculations and series of measurements, which allows a redefinition of the Ex zone while maintaining the same safety. Thus the integration into conventional filling stations could be simplified substantially by this project which will help for the construction of future hydrogen filling stations. To this effect, an official letter describing this option and the associated conditions was filed internally by Suva and can, as of now, be referenced by filling station constructors.

While the above activities concentrated on legal and regulatory aspects in Switzerland, activities were also carried out in order to address the existing international challenges with regard to calibration capability (traceability) and hydrogen purity. As part of the project, the Swiss Federal Institute of Metrolology (METAS) built a calibration device with which initial calibration measurements were carried out at Empa's hydrogen filling station. The results showed, among other things, that in addition to uncertainties at the measuring and calibration device, the design and concept of the hydrogen dispenser in particular had a major influence on deviations in the mass measurement. The knowledge gained and the calibration device itself form an important basis for further investigations in the European project "MetroHyVe" launched in 2017, in which METAS and Empa are participating.

Hydrogen mobility in Switzerland is only just beginning and many further efforts are needed to promote it. With the results of the present project, however, a decisive step forward could be taken and the basis could be laid for further initiatives to set up a hydrogen filling station infrastructure.



## Résumé

(traduit par machine)

Le projet comprend la réalisation et l'exploitation des deux premières stations-service d'hydrogène en Suisse, qui sont accessibles aux particuliers et permettent également de faire le plein à une pression nominale de 70 MPa. Une pression nominale de 70 MPa correspond à la norme mondiale pour le ravitaillement des voitures particulières à pile à combustible. Les deux stations-service à hydrogène sont en service depuis 2016 à l'Empa à Dübendorf et à Coop à Hunzenschwil et sont actuellement utilisées par plus de 60 voitures particulières à pile à combustible immatriculées en Suisse et un camion à pile à combustible (depuis septembre 2019). Si l'on additionne les quantités ravitaillées dans les deux stations-service, on obtient actuellement un chiffre d'affaires de plus de 6 tonnes d'hydrogène par an.

L'exploitation des stations-service a permis d'acquérir une expérience précieuse en matière d'utilisation pratique et de comportement des utilisateurs. Les maladies infantiles, qui, au cours des 1 à 1,5 premières années d'exploitation en particulier, provoquaient de plus en plus de dysfonctionnements dans les stations-service, ont été éradiquées. Il a été constaté qu'il n'y avait aucun problème avec les principaux composants et le processus sous-jacent au ravitaillement en hydrogène dans l'une ou l'autre des stations-service dès le début. L'électrolyse, la compression et les raccords de contrôle du ravitaillement ont fonctionné presque sans faille pendant toute la durée du projet. La cause des dysfonctionnements était presque exclusivement due à de petits composants tels que des capteurs de température et de pression ou des pannes de lecteurs de cartes.

Outre les analyses pratiques et scientifiques du trajet de l'hydrogène de la production à la roue du véhicule (équilibrage du puits à la roue), des questions réglementaires et juridiques concernant la construction et le fonctionnement des stations de remplissage d'hydrogène ont également été examinées. Dans le cadre de ce projet, une directive a été élaborée, qui décompose le processus d'homologation des stations-service d'hydrogène en Suisse sous la forme d'un guide étape par étape. Dans l'annexe de la directive figurent toutes les lois, réglementations et normes importantes pour la réalisation des stations-service à hydrogène en Suisse. Entre autres, ces règlements précisent la classification en zone Ex applicable au ravitaillement en carburant gazeux. La réglementation sur les zones à risque d'explosion en vigueur dans toute la Suisse au début du projet a entraîné des dépenses et des coûts supplémentaires pour l'intégration des pompes à hydrogène dans les stations-service conventionnelles. Dans le cadre du projet, une possibilité a été trouvée en coopération avec la Suva et basée sur des calculs détaillés et des séries de mesures, ce qui permet une redéfinition de la zone Ex tout en maintenant le même niveau de sécurité. Ainsi, l'intégration dans les stations-service conventionnelles pourrait être simplifiée par ce projet pour la construction de futures stations-service à hydrogène. Une lettre officielle à cet effet a été déposée en interne par la Suva, entre autres.

Si les activités susmentionnées ont porté sur les aspects juridiques et réglementaires en Suisse, des activités ont également été menées dans le cadre du projet afin de relever les défis internationaux en matière de vérifiabilité et de pureté de l'hydrogène. Dans le cadre de ce projet, l'Institut fédéral de métrologie METAS a construit un appareil d'étalonnage avec lequel des mesures d'étalonnage initiales ont été effectuées dans la station de remplissage d'hydrogène de l'Empa. Les résultats ont montré, entre autres, qu'en plus des incertitudes au niveau du dispositif de mesure et d'étalonnage, la conception et le concept du distributeur d'hydrogène en particulier ont eu une influence majeure sur les écarts dans la mesure de masse. Les connaissances acquises et le dispositif d'étalonnage constituent une base importante pour la poursuite des recherches dans le cadre du projet européen "MetroHyVe" lancé en 2017, auquel METAS et l'Empa participent.



La mobilité de l'hydrogène en Suisse n'en est encore qu'à ses balbutiements et de nombreux efforts supplémentaires sont nécessaires pour la généraliser. Toutefois, les résultats du présent projet permettraient de faire un pas en avant décisif et de jeter les bases de nouvelles initiatives visant à mettre en place une infrastructure de stations-service pour l'hydrogène.



## «Take-home messages»

- Die ersten beiden Wasserstoff-Tankstellen in der Schweiz, welche für Private zugänglich sind und zudem die Betankung bei einem Nenndruck von 70 MPa erlauben, wurden aufgebaut und sind seit 2016 in Betrieb.
- Ein Leitfaden zum Genehmigungsprozess beim Aufbau von Wasserstoff-Tankstellen in der Schweiz wurde erstellt und wird demnächst veröffentlicht (voraussichtlich über die Schweizerische Normen-Vereinigung SNV).
- In Zusammenarbeit mit der Suva konnte eine Möglichkeit gefunden werden, welche unter bestimmten Bedingungen den Verzicht auf eine Ex-Zone bei der Wasserstoff-Betankung erlaubt. Dank dieser Möglichkeit können zukünftig Zusatzaufwände und Mehrkosten verhindert werden. Ein entsprechendes Schreiben ist Suva-intern hinterlegt.
- Betreffend Herausforderungen zu Wasserstoff-Tankstellen auf internationaler Ebene wurden erste Untersuchungen zu Eichfähigkeit und Wasserstoff-Reinheit durchgeführt und erste Erkenntnisse gewonnen. Die entsprechenden Arbeiten legten die Basis für die Teilnahme am Europäischen Projekt „MetroHyVe“ und werden in diesem fortgeführt.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	3
<b>Summary</b> .....	4
<b>Résumé</b> .....	5
<b>Take-home messages</b> .....	7
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	8
<b>1 Einleitung</b> .....	9
1.1 Ausgangslage und Hintergrund .....	9
1.2 Motivation des Projektes .....	10
1.3 Projektziele .....	10
<b>2 Anlagenbeschrieb</b> .....	11
2.1 Wasserstoff-Tankstelle Empa.....	11
2.2 Wasserstoff-Tankstelle Hunzenschwil.....	14
<b>3 Vorgehen und Methode</b> .....	19
3.1 Leitfaden.....	19
3.2 Re-Definition Ex-Zoneneinteilung.....	20
3.3 Eichfähigkeit .....	24
3.4 Betrieb Tankstelle & Fahrzeug .....	27
<b>4 Ergebnisse und Diskussion</b> .....	30
4.1 Leitfaden .....	30
4.2 Re-Definition Ex-Zoneneinteilung.....	32
4.3 Eichfähigkeit .....	35
4.4 Betrieb Tankstelle & Fahrzeug .....	38
<b>5 Schlussfolgerungen und Fazit</b> .....	47
<b>6 Nationale und internationale Zusammenarbeit</b> .....	48
<b>7 Kommunikation &amp; Publikationen</b> .....	50
<b>8 Literaturverzeichnis</b> .....	52
<b>9 Anhang</b> .....	53



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Zum Zeitpunkt des Projektstarts (2015) existierten in der Schweiz keine Wasserstoff-Tankstellen für die Betankung von Personenwagen bei einem Nenndruck von 70 MPa. Die bereits realisierten Anlagen erlaubten eine Betankung bei 35 MPa und waren als Betriebs- oder Forschungstankstellen für Private nicht zugänglich. Die Wasserstoffmobilität nahm währenddessen einen wichtigen Schritt in Form der ersten in Serie hergestellten Brennstoffzellen-Fahrzeugen. Als erstes Serienmodell wurde der Hyundai ix35 FC im Jahr 2013 auf den Markt gebracht, wobei dieses Fahrzeug in der Schweiz aufgrund der fehlenden Tankstellen noch nicht angeboten wurde.

Die an der Empa im Rahmen des BFE-Projektes „Future Mobility“ (2013 – 2017, [Projekt move - ARAMIS](#)) aufgebaute Power-to-X Demonstrationsanlage „move“, wurde im Jahr 2015 in Betrieb genommen und beinhaltet die Produktion und Verdichtung von Wasserstoff sowie eine Tankmöglichkeit bei 35 MPa. Diese Anlage bot eine geeignete Grundlage für die in vorliegendem Projekt durchgeführte Erweiterung um ein 70 MPa Betankungssystem. Neben dieser Erweiterung wurde auch der Aufbau der ersten öffentlichen Wasserstoff-Tankstelle von Coop / H2 Energy Teil des vorliegenden Projektes. Mit der Aussicht auf die Realisierung dieser beiden Tankstellen mit Zugänglichkeit für Privatpersonen, wurden 2015 die ersten in Serie produzierten Brennstoffzellen-Fahrzeuge in der Schweiz immatrikuliert. Zwei Jahre nach Einführung des Hyundai ix35 FC in der Schweiz erfolgten 2017 die ersten Zulassungen für das Brennstoffzellen-Fahrzeug von Toyota, den Mirai.

Neben den Wasserstoff-Tankstellen selbst, fehlten auch auf realen Anlagen basierende Erfahrungs-werte zum Wasserstoffpfad von Produktion bis Fahrzeugrad für Personenwagen. Konkret waren beispielsweise Verbrauchswerte des Vorkühlsystems einer 70 MPa Betankung nicht bekannt. Aus diesem Grund wurden für das vorliegende Projekt detaillierte Aufzeichnungen für den Produktions- und Betankungsprozess sowie für den Fahrzeugbetrieb vorgesehen.

Ausserdem wurden zu Projektstart verschiedene regulatorische und rechtliche Hürden für den Aufbau einer Wasserstoff-Tankstelleninfrastruktur in der Schweiz identifiziert, welche im Rahmen des vorliegenden Projektes angegangen wurden. Beispielsweise waren dies bestehende Unklarheiten im Genehmigungsprozess von Wasserstoff-Tankstellen oder offene Fragen zur Ex-Zoneneinteilung und Brandschutzabständen.

Während sich das vorliegende Projekt auf die Betankung von Brennstoffzellen-Personenwagen fokussiert, wurde 2016 ein weiteres BFE-Projekt lanciert, welches sich auf die Wasserstoff-Produktion mittels Elektrolyse am Laufwasserkraftwerk in Aarau fokussiert und die Belieferung der Tankstelle von Coop / H2 Energy sicherstellt (2016 – 2019, [Projekt H2-Produktion - ARAMIS](#)). Auch hier steht die Erhebung von Messdaten an einer realen Anlage im Vordergrund. Dasselbe gilt für das im gleichen Jahr gestartete Projekt zum ersten Einsatz eines Brennstoffzellen-Lastwagen im 34 Tonnen Anhängerzug-Betrieb (2016 – 2020, [Projekt BZ-LkW - ARAMIS](#)), welcher bei Coop im Einsatz steht.



## 1.2 Motivation des Projektes

Die wesentlichen Beweggründe zur Durchführung des Projektes sind nachfolgend aufgelistet.

- Unterstützung des Aufbaus der Wasserstoffmobilität in der Schweiz auf Basis von erneuerbaren Energiequellen -> Wasserstoffmobilität als Option zur Reduktion des Treibhausgasausstosses im Mobilitätssektor
- Erhebung von Messdaten an einer realen Wasserstoffproduktions und -betankungsanlage in mehrjährigem Betrieb
- Ausbau von anwendungsorientiertem Know-how im Bereich der Produktion, Betankung und Verbrauch von strombasierten erneuerbaren Treibstoffen
- Bewusstseinsbildung und Aufklärung von Öffentlichkeit, Industrie, Behörden und Politik zum Umgang mit Wasserstoff als Treibstoff mit Hilfe einer realen Anlage

## 1.3 Projektziele

Aus den oben aufgeführten Beweggründen zur Durchführung des Projektes wurden untenstehende konkrete Ziele abgeleitet:

- Erweiterung der bestehenden Power-to-X Demonstrationsanlage an der Empa mit Komponenten zur Betankung von Wasserstoff mit 70 MPa Nenndruck und deren Betrieb
- Realisierung und Betrieb der ersten öffentlichen Wasserstoff-Tankstelle in Hunzenschwil mit einem Nenndruck von 35 MPa und 70 MPa (durch Projektbeteiligte Coop / H2 Energy)
- Erstellen eines Leitfadens zum Genehmigungsprozess von Wasserstoff-Tankstellen in der Schweiz
- Re-Definition der bestehenden Ex-Zoneneinteilung bei der Betankung von Wasserstoff zur Vereinfachung der Integration von Wasserstoff-Zapfsäulen in konventionelle Tankstellen
- Durchführung erster Messungen zur Eichung von Wasserstoff-Tankstellen
- Mehrjährige Aufzeichnung und Auswertung von Energieverbrauch und weiterer Prozessgrössen im Tankstellenbetrieb



## 2 Anlagenbeschrieb

### 2.1 Wasserstoff-Tankstelle Empa

Abbildung 1 zeigt die Hauptkomponenten der Wasserstoff-Anlage der Empa. Während der Elektrolyseur und der Pufferspeicher bereits im Rahmen des BFE-Projektes „Future Mobility“ installiert wurden, umfasste das vorliegende Projekt die Erweiterung der Anlage um einen Verdichter und Endspeicher mit Nenndruck 90 MPa sowie ein Vorkühlsystem und eine Zapfsäule für die Wasserstoffbetankung bei einem Nenndruck von 70 MPa.



Abb. 1 Hauptkomponenten der Wasserstoff-Anlage an der Empa

Wasserstoff während der Betankung vom Endspeicher ins Fahrzeug überströmt und sich dabei Druckverluste in den dazwischenliegenden Leitungen und Armaturen einstellen. Zudem sinkt der Druck in den Endspeichern während der Betankung aufgrund des ausfliessenden Wasserstoffs ab. Auch die Umgebungs-temperatur und die im Fahrzeugtank entstehende Kompressionswärme haben Einfluss auf den Betankungszieldruck, welcher unter deren Einfluss bis mehr als 10 MPa über dem Nenndruck liegen kann. Der Nenndruck von 70 MPa gilt für eine Fahrzeugtanktemperatur von 15°C.

Die oben erwähnte Kompressionswärme, welche durch die Verdichtung des im Fahrzeugtank befindlichen Wasserstoffs freigesetzt wird, kann eine Temperaturerhöhung von mehr als 100°C nach sich ziehen. Da die derzeit eingesetzten Tanks von Brennstoffzellen-Fahrzeugen ein Temperaturlimit von 85°C nicht überschreiten dürfen, muss der Wasserstoff während der Betankung gekühlt werden, wenn die Betankung innerhalb weniger Minuten erfolgen soll (Betankungszeit 3 – 5 min). Aus diesem Grund befindet sich ein Vorkühlsystem zwischen Endspeicher und Zapfsäule. Das Konzept der Vorkühlung und der Betankungssteuerung ist auf internationaler Ebene standardisiert [1]. Gleichermaßen gilt auch für die Zapfpistole und den Fahrzeugstutzen [2].

Die Hauptkomponenten für die Anlagenerweiterung wurden bei PanGas/Linde bestellt und vormontiert angeliefert. Die Leitungen und Armaturen zwischen den Komponenten wurden bei Swagelok beschafft und durch Atlas Copco installiert. Bauseits wurde zudem der Kühlkreislauf erweitert, um den Verdichter und das Vorkühlsystem mit Kühlwasser versorgen zu können. Die Druckluftleitungsführung für die Ansteuerung der Prozessventile in der Ex-Zone wurde ebenfalls erweitert. Für den Kältekompessor des Vorkühlsystems wurde eine Stahlkonstruktion zur Befestigung an der Wand gefertigt. Positionierung, Größenverhältnisse und Spezifikationen der vorgängig installierten (weiss) und im Rahmen des Projektes ergänzten (gelb) Komponenten sind in nachfolgender Darstellung aufgezeigt.

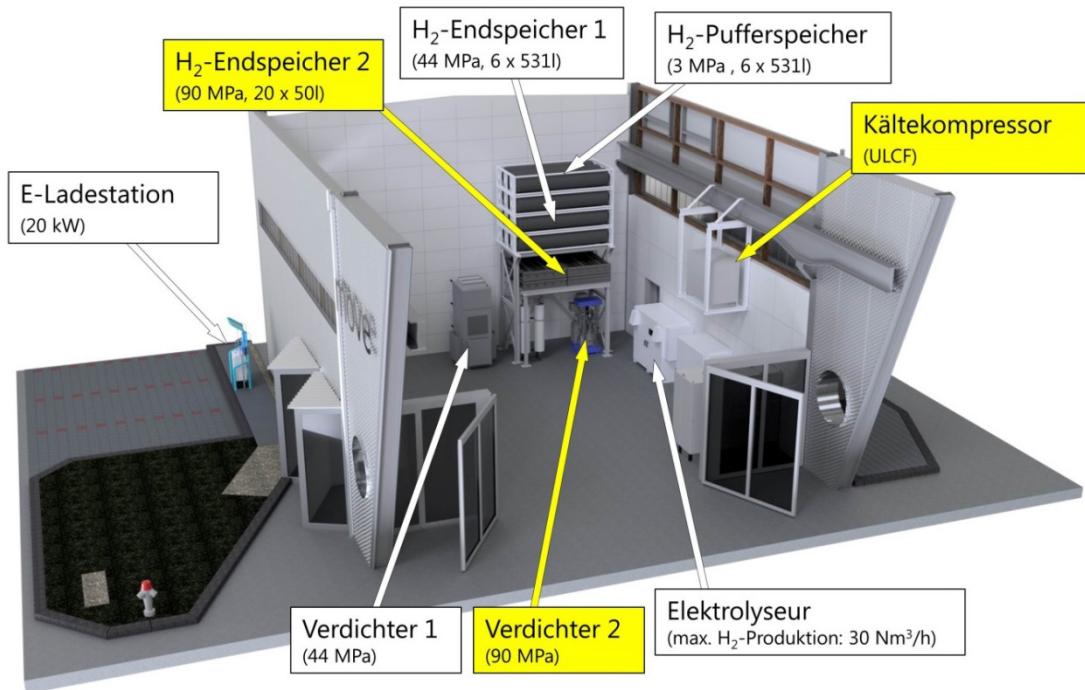


Abb. 2 Vorgängig installierte (weiss) und ergänzte (gelb) Hauptkomponenten der Anlage move (Innenansicht)

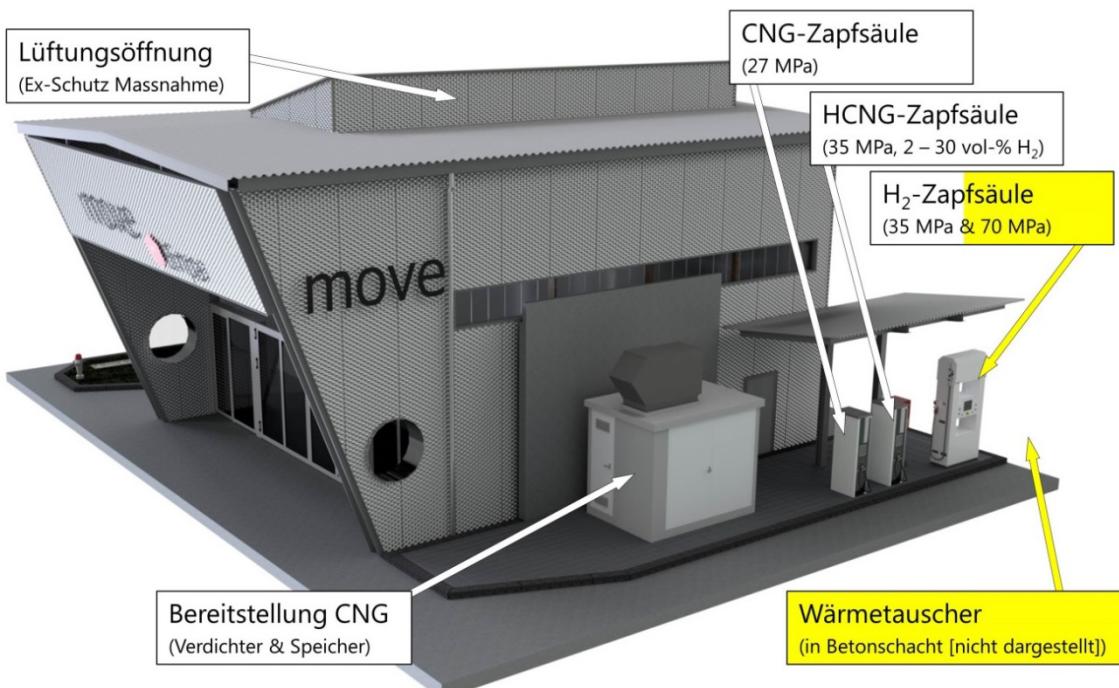


Abb. 3 Vorgängig installierte (weiss) und ergänzte (gelb) Hauptkomponenten der Anlage move (Aussenansicht)



Neben dem Kältekompressor umfasst das Vorkühlsystem einen Aluminiumblock mit den Abmassen 2450x1875x350mm, welcher neben der Zapfsäule in einem Betonschacht positioniert wurde und als Wärmetauscher fungiert. Durch diesen Wärmetauscher fliesst der Wasserstoff während der Betankung und wird auf ca. -40°C abgekühlt. Die Installation der Kältemittelleitungen zwischen Kältekompresstor und Wärmetauscher wurde bei der Firma Cofely in Auftrag gegeben.



Abb. 4 Links: offener Betonschacht mit isoliertem Aluminiumblock (Wärmetauscher), rechts: Installation des Kältekompessors

Nach Abschluss aller Installationsarbeiten wurden sämtliche Wasserstoff-Verbindungsleitungen durch die Firma Maximator unter Aufsicht der benannten Stelle TÜV Thüringen Schweiz druckgeprüft. Die Inbetriebnahme der Anlagenerweiterung wurde Anfang Juli 2016 durchgeführt.



Abb. 5 Innenansicht der Anlage nach Abschluss der Installationsarbeiten



Abb. 6 Tankstelle nach Abschluss der Installationsarbeiten (rechts in weiss: Wasserstoff-Zapfsäule)

Am 06.07.2016 erfolgte die schweizweit erste Wasserstoff-Betankung eines Brennstoffzellen-Fahrzeugs bei einem Nenndruck von 70 MPa. Nachfolgend stand die Tankstelle vorübergehend im Testbetrieb für die Nutzer zur Verfügung. Mit dem abschliessenden Prüfbericht des TÜV Thüringen Schweiz startete der uneingeschränkte Tankstellenbetrieb im Dezember 2016.

## 2.2 Wasserstoff-Tankstelle Hunzenschwil

Die Wasserstoff-Tankstelle in Hunzenschwil wurde auf dem bestehenden Tankstellenareal von Coop realisiert (nahe der Autobahnausfahrt Aarau-Ost). Im Unterschied zur Anlage an der Empa, wird der Wasserstoff für die Tankstelle in Hunzenschwil nicht vor Ort produziert. Stattdessen befindet sich der Elektrolyseur auf dem Gelände des Laufwasserkraftwerks in Aarau. Ebenfalls in Aarau wurde ein Verdichter installiert, welcher den Wasserstoff in einen Tanklastwagen mit einem Nenndruck von 20 MPa fördert. Der Tanklastwagen pendelt zwischen Laufwasserkraftwerk und Tankstelle, wobei der Wasserstoff an der Tankstelle in einen Pufferspeicher überströmt wird.

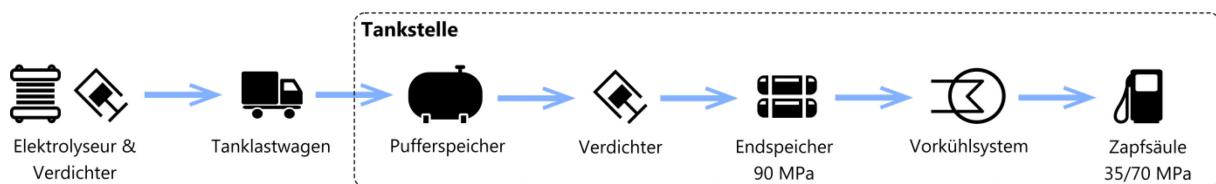


Abb. 7 Hauptkomponenten der Tankstelle in Hunzenschwil mit vorgelagerter Wasserstoffproduktion in Aarau



Der Hauptgrund, den Wasserstoff nicht vor Ort an der Tankstelle zu produzieren, liegt an den Gebühren, welche nach der heutigen Gesetzgebung bei Anschluss einer Power-to-X Anlage für den Bezug von Strom aus dem Netz entrichtet werden müssen. Kostenrechnungen zur Produktion von Wasserstoff per Elektrolyse zeigen, dass die Stromkosten einen hohen Anteil an den Gesamtkosten ausmachen. Für grössere Anlagen im MW-Bereich kann dieser Anteil gar 50% übersteigen. Kommen folglich zu den Energiekosten Gebühren für den Netzbezug in gleicher Grössenordnung dazu, rückt die wirtschaftliche Produktion von Wasserstoff in Weite ferne. Durch das Aufstellen des Elektrolyseurs direkt bei einem Laufwasserkraftwerk entfallen diese Gebühren. Die Installation des Elektrolyseurs bei der Tankstelle ist zudem teilweise auch aus Platzgründen nicht möglich.

Ein Vergleich der Abbildungen 1 und 7 zeigt, dass die Tankstellen an der Empa und in Hunzenschwil auf unterschiedliche Arten mit Wasserstoff versorgt werden, aber grundsätzlich mit den gleichen Hauptkomponenten ausgerüstet sind. Von Tankstellen-Verdichter bis Zapfsäule wurden auch in Hunzenschwil die Komponenten von PanGas/Linde geliefert. Sie unterscheiden sich allerdings hinsichtlich Modell und Spezifikationen, wie nachfolgender Tabelle entnommen werden kann.

Hauptkomponente	Spezifikation	Einheit	Tankstelle Empa	Tankstelle Hunzenschwil
Pufferspeicher	Hersteller		Hexagon/Lincoln	Elkuch
	Geom. Volumen	m <sup>3</sup>	3.2	87
	Betriebsdruck	MPa	3	5
	Installation		auf Metallgestell	erdverlegt
Verdichter	Hersteller		Linde	Linde
	Verdichtertyp		Kolbenverdichter	Ionischer Verdichter
	Durchsatz	kg/h	11	34
	Min. Eingangsdruck	MPa	2	0.7
Endspeicher 90 MPa (für PkW-Bet.)	Hersteller		Faber	Faber
	Geom. Volumen	m <sup>3</sup>	1	0.9
	Betriebsdruck	MPa	90	90

Tab. 1 Spezifikationen ausgewählter Komponenten der Tankstelle an der Empa und in Hunzenschwil

Weitere Angaben zu den eingesetzten Komponenten können in den Anhängen IV bis VI oder über die Webseiten der Empa ([Empa - move](#)) und der Coop ([Coop - Aarau & Hunzenschwil](#)) aufgerufen werden.

Für die Realisierung der Wasserstofftankstelle wurde der Standort Hunzenschwil gewählt, da die Coop Verteilzentrale Schafisheim in unmittelbarer Nähe liegt. Der bereits bei Coop im Einsatz befindliche Brennstoffzellen-Lastwagen sowie die weiteren für die nahe Zukunft eingeplanten Brennstoffzellen-Lastwagen profitieren damit von einer minimalen Distanz zur Wasserstoff-Tankstelle. Die Baugenehmigung für den Aufbau der Wasserstofftankstelle an der bestehenden Coop-Tankstelle wurde ohne Einsprache erteilt. Im Vorfeld hatte Projektpartner H2 Energy mit sämtlichen involvierten Behörden Gespräche geführt, während die Anstösser durch Coop Mineralöl AG vorinformiert wurden.

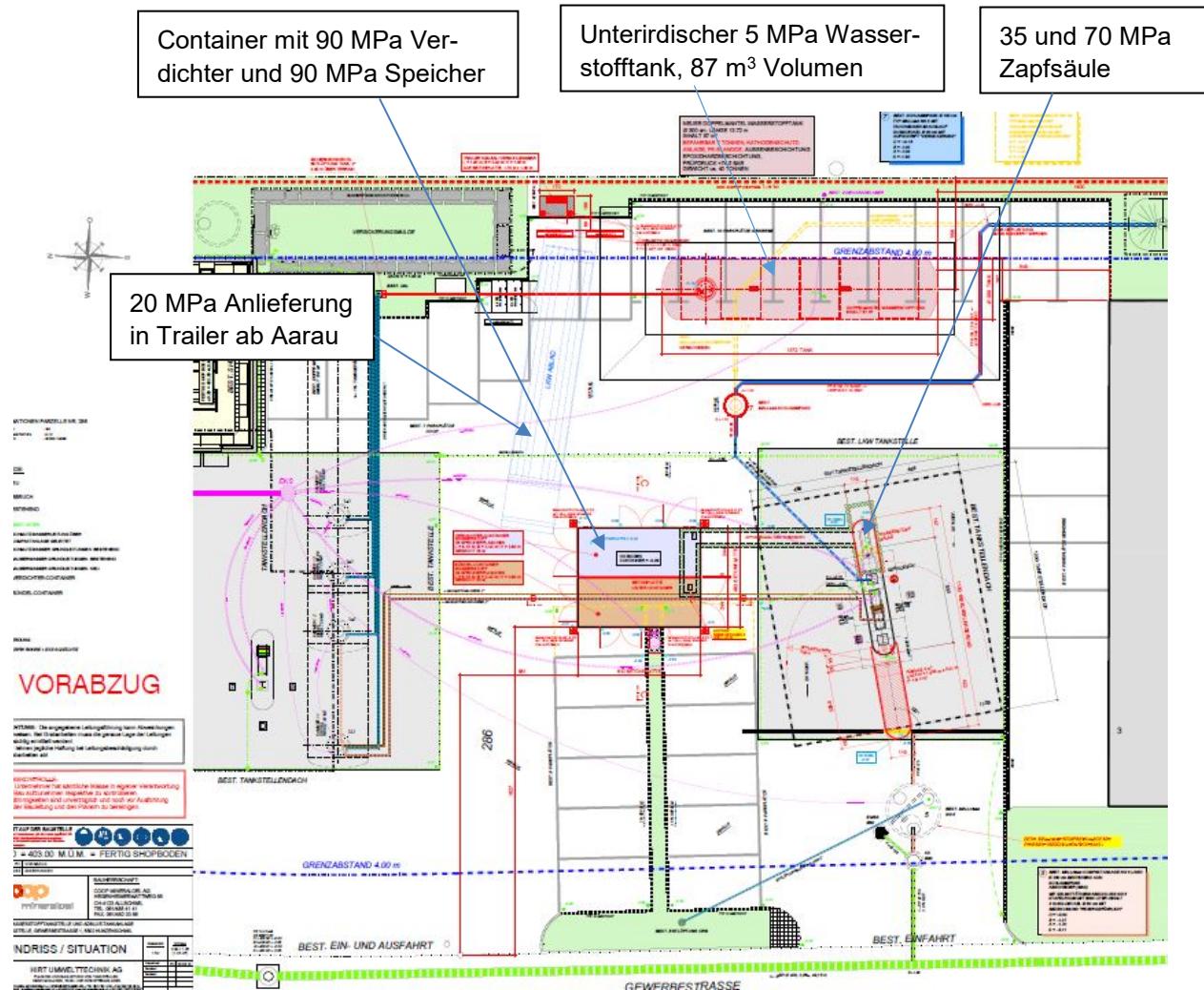


Abb. 8 Grundriss der Coop-Tankstelle in Hunzenschwil mit ergänzten Komponenten zur Betankung von Wasserstoff (Quelle: CMA)

Die Integration der Wasserstoff-Komponenten in die bestehende Tankstelle ist in Abbildung 8 dargestellt. Der Puffertank wurde unter anderem aus Platzgründen erdverlegt und kann über einen Anschluss auf dessen nördlichen Seite (links) vom Tanklastwagen befüllt werden. Die Position des Tanklastwagens ist in leicht transparenter blauer Farbe eingezeichnet. Da Drucktanks in regelmässigen Abständen geprüft werden müssen, wurde der Puffertank bereits bei der Installation mit Sensoren ausgerüstet, welche eine Prüfung mittels Schallemissionsverfahren ermöglichen.

Bei der Auslegung von Puffer- und Endspeicher ist zu berücksichtigen, dass diese im Betrieb nicht bis zum maximal angegebenen Druck betrieben werden können. Die geltenden Bestimmungen schreiben vor, dass die im Speichersystem installierten Sicherheitsventile auf einen Wert eingestellt werden, welcher 10% unterhalb des maximal erlaubten Drucks liegt. Zudem können Limitierungen in der Druckwechsel-Zyklenzahl dazu führen, dass der Druck im Speicher im Regelbetrieb nicht unterhalb eines minimalen Werts abfallen darf. Beides führt zu einer Reduktion der nutzbaren Speicherkapazität und ist bei der Auslegung solcher Anlagen entsprechend zu berücksichtigen.

Verdichter, Endspeicher und Teile des Vorkühlsystems sind in Containern untergebracht und speisen die Zapfsäule mit je einem Zapfpunkt für Wasserstoff bei einem Nenndruck von 35 MPa und 70 MPa.



Abb. 9 Erdverlegung des Puffertanks an der Tankstelle in Hunzenschwil (Quelle: CMA)

Die Installationsarbeiten der Wasserstoff-Komponenten wurden im 2016 abgeschlossen und die Tankstelle in Hunzenschwil wurde als erste öffentliche Wasserstoff-Tankstelle in der Schweiz am 4. November 2016 offiziell eröffnet.



Abb. 10 Coop-Tankstelle in Hunzenschwil nach Abschluss der Installationsarbeiten mit Wasserstoff-Tanklastwagen im Hintergrund (Quelle: [3])



Abb. 11 Wasserstoffzapfsäule an der Tankstelle in Hunzenschwil (Quelle: [3])

Die Medienmitteilungen zu den offiziellen Eröffnungen der Wasserstoff-Tankstellen an der Empa und in Hunzenschwil bewirkten eine hohe Resonanz, was ein grosses Interesse der Medien an dieser Thematik aufzeigt. Beispielsweise erzielte die unten aufgeführte Medienmitteilung der Empa über 70 Hits (d.h. die Mitteilung wurde von über 70 Medien aufgenommen und weiterverbreitet).

- Medienmitteilung Empa vom 06.10.2016 [3]
- Medienmitteilung Coop vom 04.11.2016 [4]
- Medienmitteilung Hyundai vom 04.11.2016 [5]

Beide Wasserstoff-Tankstellen sind seit der Eröffnung in Betrieb und werden in der Regel mehrfach täglich genutzt. Im Europäischen Vergleich weisen Sie einen verhältnismässig hohen Wasserstoffumsatz auf. Aufzeichnungen zur Nutzung der Tankstellen sind in Kapitel 4.4 zu finden.



## 3 Vorgehen und Methode

Die beiden im Rahmen des Projektes realisierten Wasserstoff-Tankstellen dienten als Basis für die nachfolgend beschriebenen Arbeiten zur Klärung von rechtlichen und regulatorischen Fragen (Kapitel 3.1 – 3.3) und für Untersuchungen zum Betrieb von Tankstelle und Fahrzeug (Kapitel 3.4).

### 3.1 Leitfaden

In Bezug auf rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen für den Aufbau von Wasserstoff-Tankstellen bestehen sowohl bei Tankstellenbauern als auch bei den involvierten Behörden aufgrund der noch geringen Verbreitung der Wasserstoff-Technologie viele Unklarheiten. Während des Genehmigungsprozesses kann es dadurch leicht zu Zeitverzögerungen oder Zusatzaufwand für den Projektersteller kommen.

Um die Realisierung von zukünftigen Wasserstoff-Tankstellen zu erleichtern, wurde die Erstellung eines Leitfadens zur übersichtlichen Darstellung der Abläufe im Genehmigungsprozess als eines der Ziele dieses Projektes definiert. Dazu wurden während der Planungs- und Aufbauphase der beiden Tankstellen an der Empa und in Hunzenschwil entsprechende Dokumente und Korrespondenzen gesammelt. Ausserdem diente der „Genehmigungsleitfaden für Wasserstoff-Stationen“ als Orientierung, welcher von der Nationalen Organisation für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie NOW für Deutschland herausgegeben wurde [6]. Die Genehmigungsprozesse der beiden Länder unterscheiden sich allerdings stark, sodass von der Deutschen Version kaum etwas übernommen werden konnte.

Dank der Projektpartnerschaft mit H2 Energy standen zusätzlich Informationen zu den Bewilligungsverfahren der weiteren geplanten Wasserstoff-Tankstellen zur Verfügung, die im Verlauf des vorliegenden Projektes bereits gestartet wurden. Bei den Verfahren für diese Tankstellen sowie auch für die Tankstellen an der Empa und in Hunzenschwil war die benannte Stelle TÜV Thüringen Schweiz involviert, weshalb sie für die Erstellung des Leitfadens zum Aufbau von Wasserstoff-Tankstellen beigezogen wurde.

Für einen Leitfaden dieser Art ist es entscheidend, dass möglichst alle betroffenen Parteien die Möglichkeit haben, sich an dessen Ausarbeitung zu beteiligen. Zu diesem Zweck wurden Vertreter von Tankstellenbauern, Behörden und Prüfstellen hinsichtlich Mitwirkung bei der Ausarbeitung kontaktiert. Folgende Stellen haben sich entschieden, an der Erstellung des Leitfadens mitzuwirken (in alphabetischer Reihenfolge) und sorgen für eine breite Abstützung und hohe Akzeptanz:

- Avenergy Suisse (ehemals Erdölvereinigung)
- ESTI Eidgenössisches Starkstrominspektorat
- GVZ Gebäudeversicherung Kanton Zürich
- IVA Kantonale Arbeitsinspektorate
- Suva Bereich Chemie
- SVGW / TISG Technisches Inspektorat des Schweizerischen Gasfaches
- SVS / Inspektorat Arbeitssicherheit
- SVTI / Kesselinspektorat
- Swiss Safety Center AG
- VKF - Vereinigung Kantonaler Gebäudeversicherungen



Während mit dem Leitfaden die einzelnen Schritte im Genehmigungsprozess geklärt werden können (z.B. wann muss ich welche Behörde kontaktieren?), existieren auch bei der Anwendung der im Leitfaden aufgeführten Regularien noch Unklarheiten. Beispielsweise können den geltenden Regularien keine klaren Vorgaben zu den Brandschutzabständen an Wasserstoff-Tankstellen entnommen werden. Dies führt zu erhöhtem Bearbeitungsaufwand für Tankstellenbauer und Behörden. Da bei den Bewilligungsverfahren in der Regel die kantonalen Stellen involviert werden (z.B. Gebäudeversicherung des Kantons), ist es zudem so, dass je nach Kanton unterschiedliche Anforderungen zum Aufbau einer Wasserstoff-Tankstelle gestellt werden.

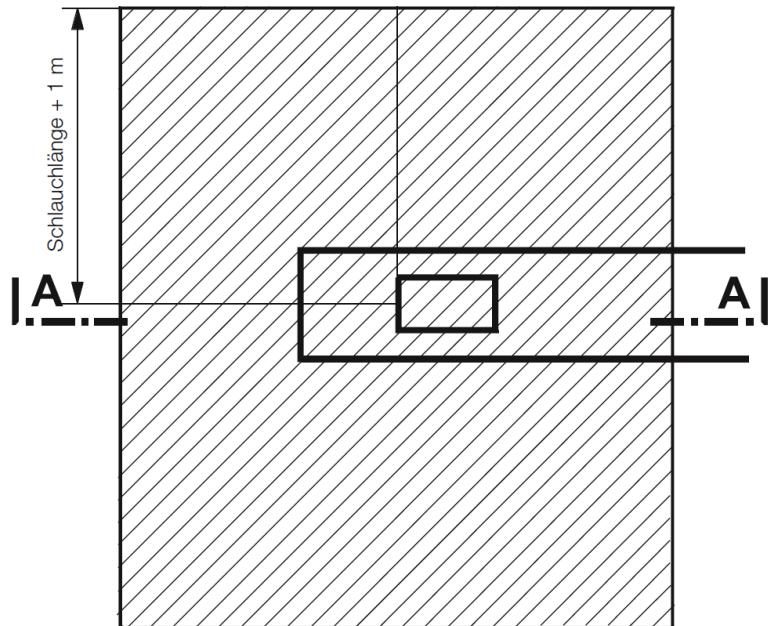
Die klare Definition von Anforderungen und deren interkantonale Harmonisierung kann durch die Erstellung eines entsprechenden Merkblatts erzielt werden. Die Erarbeitung eines solchen Merkblatts wurde im Rahmen des vorliegenden Projektes mit einigen der oben aufgeführten Stellen initiiert. Die Erstellung des Merkblatts war aber nicht Teil des vorliegenden Projekts und ist zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Projektabschlussberichts noch in Bearbeitung.

### 3.2 Re-Definition Ex-Zoneneinteilung

Aus Gründen des Explosionsschutzes werden an Anlagen zur Lagerung und zum Umgang mit brennbaren Stoffen explosionsgefährdete Zonen (Ex-Zonen) vorgesehen, für die bestimmte Vorschriften gelten. Eine solche Vorschrift ist beispielsweise das Verbot einer Zündquelle in dieser Zone.

Durch die Ähnlichkeit der Kraftstoffe Wasserstoff und Methan in Bezug auf verschiedene relevante Stoffeigenschaften (gasförmig bei Normbedingungen und erhöhtem Druck, geringere Dichte als Luft, etc.) werden für die Bestimmung der Ex-Zoneneinteilung bei Wasserstoff-Tankstellen die wesentlichen Vorgaben von Erdgas/Biogas-Tankstellen übernommen. Insbesondere gilt für Wasserstoff-Tankstellen somit auch der Minimalabstand von einem Meter von Verbindungstelle Zapfpistole/Fahrzeugstutzen bis zu einer potentiellen Zündquelle. Eine solche Zündquelle stellt beispielsweise ein Rechner einer benachbarten Zapfsäule dar.

Dies führt dazu, dass Zapfsäulen für gasförmige Kraftstoffe nur unter bestimmten Bedingungen in eine konventionelle Tankstelle integriert werden können. Überlappt die in Abbildung 12 schraffiert dargestellte Ex-Zone eine benachbarte Zapfsäule, muss diese mit Komponenten ausgerüstet sein, welche den Einsatz in einer Ex-Zone 2 Gruppe IIC erlauben.



Massgebend ist die mögliche Betankungsposition bzw. der Füllstutzen des Fahrzeugs



Abb. 12 Horizontale Ausbreitung der Ex-Zone an einer Wasserstoff-Zapfsäule ohne Einschränkung der Betankungsposition (Quelle: [7])

In der Regel ist dies nicht der Fall und eine kostenintensive Nachrüstung würde nötig. Alternativ können Absätze und Randsteine vorgesehen werden, um die Distanz zwischen Verbindungsstelle Zapfpistole/Fahrzeugstutzen und Zapfsäulen auf einen Meter zu erhöhen. Oder es werden individuelle Risikobewertungen vorgenommen, welche den Verzicht auf eine Ex-Zone rechtfertigen können, sofern dafür plausible Gründe angegeben werden können. Die Integration von Wasserstoff-Zapfsäulen in bestehende Tankstellen ist folglich grundsätzlich möglich, führt aber in der Regel zu Mehrkosten.

Um diese Mehrkosten zu vermeiden, wurde die Re-Definition der bestehenden Ex-Zone Vorschriften als eines der Ziele dieses Projektes definiert. Selbstverständlich ist eine Re-Definition der Vorschriften nur möglich, sofern im Vergleich zu den ursprünglichen Vorschriften mindestens die gleiche Sicherheit gewährleistet ist. Auf nationaler Ebene ist die Suva für den Explosionsschutz zuständig, weshalb die entsprechenden Projektaktivitäten in enger Zusammenarbeit mit ihnen erfolgten.

Im Rahmen mehrerer Sitzungen wurden unterschiedliche Optionen zur Re-Definition der Ex-Zoneneinteilung untersucht. Als vielversprechendste Lösung wurde schlussendlich der zu Beginn jeder Wasserstoff-Betankung durchgeführte Lecktest identifiziert. Im weltweit gültigen SAE Standard J2601 [1] wird beschrieben, wie die Zapfsäulensteuerung über Druckmessungen im Füllschlauch vor dem Start einer Wasserstoff-Betankung das aus Tankstelle und Fahrzeug bestehende Betankungssystem auf Lecks überprüfen kann. Die Suva signalisierte, dass, unter der Voraussetzung eines robust funktionierenden Lecktests, die bestehende Ex-Zoneneinteilung angepasst werden kann. Die Grundlage für die Anpassung besteht dabei darin, dass mit der Durchführung eines Lecktests die Entstehung einer explosionsfähigen Atmosphäre nach [7] verhindert werden kann.

Für den Nachweis der Zuverlässigkeit des Lecktests und zur Bestimmung der austretenden Wasserstoff-Masse für vordefinierte Leckquerschnitte waren Berechnungen und Messungen nötig. Letztere wurden im Rahmen des vorliegenden Projektes an der Wasserstoff-Tankstelle der Empa durchgeführt.



Im Rahmen verschiedener Vorversuche wurden Lecks unter anderem durch Entfernen des Dichtungsringes am Fahrzeugstutzen erzeugt und es wurde geprüft, ob die Betankung durch Detektion des Lecks abgebrochen wird. Da sich die Leckquerschnittsfläche bei diesem Vorgehen eher zufällig ergibt, sind die entsprechenden Messungen nur bedingt reproduzierbar. Weitere Informationen zu den Vorversuchen sind in den Projekt-Zwischenberichten nachzulesen und werden an dieser Stelle nicht weiter erläutert.

Für die finalen Versuche wurde eine simple Lecktestvorrichtung konzipiert, bei welcher das Leck mit Hilfe einer Blende mit vordefiniertem Querschnitt erzeugt wird, sodass reproduzierbare Messungen durchgeführt werden können. Die Vorrichtung ist in Abbildung 13 schematisch dargestellt. Bei der Durchführung der Versuche kann die Kupplung an das Testfahrzeug bzw. an den Teststand angeschlossen werden und die Zapfpistole der Tankstelle wird mit dem Anschlussstutzen der Vorrichtung verbunden. Durch Öffnen des Handventils kann über die stromabwärts eingebaute Blende ein künstliches Leck erzeugt werden.

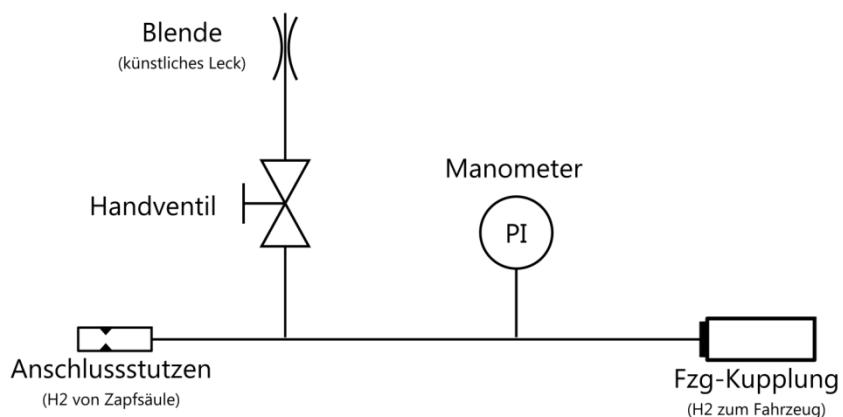


Abb. 13 Vorrichtung zur Überprüfung der Zuverlässigkeit des Lecktests zu Beginn einer Wasserstoff-Betankung

Als Blenden wurden konventionelle Verschlusskappen von Swagelok eingesetzt, welche durch die Firma Rekolas mit Bohrungen verschiedener Grösse versehen wurden. Ein Lasergerät ermöglichte die sehr kleinen Bohrungen im  $\mu\text{m}$ -Massstab. Die Bestimmung der Durchmesser der Blendenöffnungen wurde mit Hilfe der Beziehung für Strömung kompressibler Fluide durch Düsen ermittelt und ist in den Projekt-Zwischenberichten näher erläutert. Es wurden fünf Blenden mit folgenden Durchmessern eingesetzt:

Blendendurchmesser in  $\mu\text{m}$ : 20, 40, 60, 100, 200

Die Durchmesser wurden dabei so gewählt, dass bei einem Vordruck von 70 MPa ein Leckmassenstrom in der Grössenordnung von einigen Zehntelgramm pro Sekunde entsteht. Gemäss Angaben der Suva liegt in diesem Bereich die Grenze für die Entstehung einer explosionsfähigen Atmosphäre.

Aufgrund unbekannter Parameter birgt die Berechnung der Leckmassenströme in Abhängigkeit der Blendendurchmesser gewisse Unsicherheiten. Auch bei der Herstellung der Blenden, ist die Genauigkeit der Bohrung insbesondere für kleine Durchmesser mit Ungenauigkeiten behaftet. Die fünf Blenden wurden deshalb auf einem Prüfstand getestet und die Berechnungen zum Leckmassenstrom damit validiert. Zu diesen Versuchen sind in den Zwischenberichten des Projekts weitere Ausführungen zu finden.

Mit der in Abbildung 13 skizzierten Lecktestvorrichtung wurden anschliessend mehrere Messreihen durchgeführt. Die finalen Messungen fanden am 03.10.2018 unter Anwesenheit der Suva statt. Dabei wurde ein Prüfstand mit einem einzelnen Druckspeicher verwendet, welcher das zu betankende Fahrzeug simulierte. Die Lecktestvorrichtung befand sich zwischen Zapfpistole und Fahrzeugtank und wurde abwechselnd mit den verschiedenen Blenden bestückt. Der Druck im Fahrzeugtank wurde jeweils auf vordefinierte Werte eingestellt, um die Zuverlässigkeit des Lecktests bei verschiedenen Tankfüllgraden zu untersuchen.

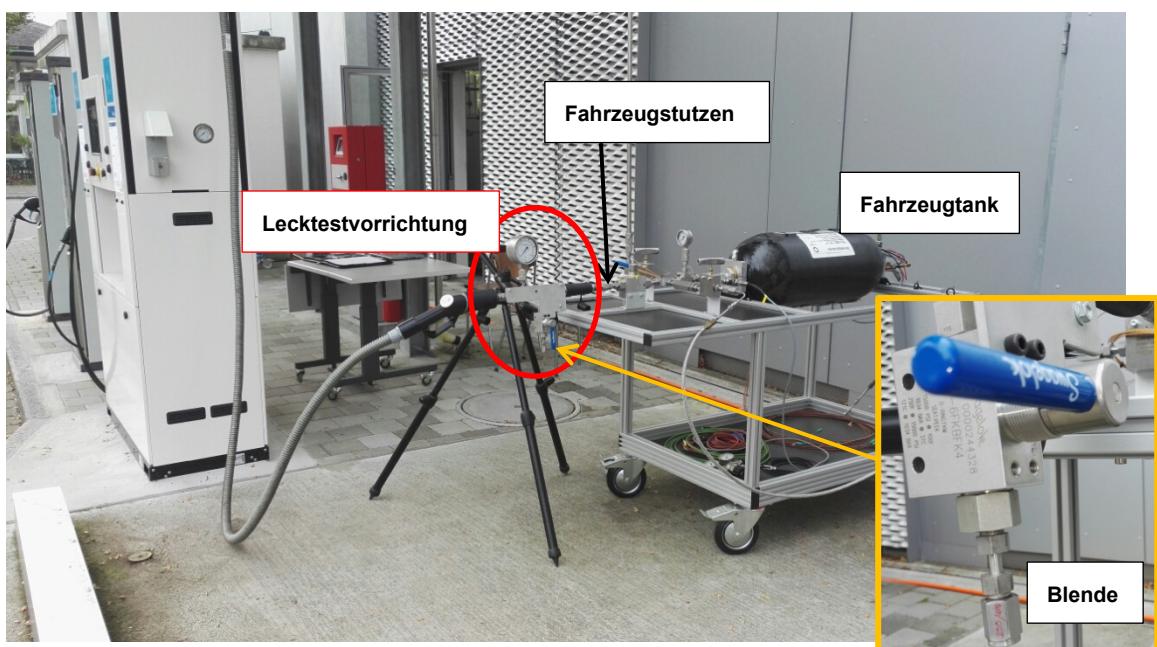


Abb. 14 Durchführungen von Messungen mit der Lecktestvorrichtung an der Wasserstoff-Tankstelle der Empa

Obige Abbildung zeigt die rot eingekreiste Lecktestvorrichtung während der Durchführung der Messungen. Zu erkennen sind das Manometer und der blaue Griff des Handventils. Auf dem vergrösserten Bild unten rechts ist die nach dem Handventil installierte Blende (Verschlusskappe mit kleiner Bohrung) zu erkennen. Bei geöffnetem Handventil und Druck in der Leitung ist der Wasserstoff nach unten ausgeströmt. Das Ausströmen ist bereits bei tiefem Druck und kleinem Leckdurchmesser hörbar.

In der Steuerung der Wasserstofftankstelle der Empa erfolgt die Prüfung auf ein Leck folgendermassen.

1. Initialisierungsstoss – Tankventil in der Zapsäule öffnet für wenige Sekunden (stellt sicher, dass der Druck im Tankschlauch dem Fahrzeug-Tankdruck entspricht)
2. Wartezeit 1 (z.B. 7s)
3. Erste Druckmessung im Tankschlauch
4. Wartezeit 2 (z.B. 8s)
5. Zweite Druckmessung im Tankschlauch
6. Tankabbruch falls die zweite Messung um einen vordefinierten Wert tiefer liegt als die erste



Dieser vordefinierte Wert beträgt an der Empa-Tankstelle 0.5 MPa. Ein Leck wird folglich erkannt, wenn aus dem Leitungsvolumen zwischen Tankventil in der Zapfsäule und Fahrzeugstutzen (=Totvolumen) während der Wartezeit 2 so viel Wasserstoff ausströmt, dass der Druck um 0.5 MPa sinkt. Ein Rückschlagventil im Stutzen verhindert, dass Wasserstoff vom Fahrzeugtank zurück in den Tankschlauch gelangen kann. Es ist wichtig, dass im Vergleich der beiden Druckmessungen ein bestimmter Druckabfall toleriert wird, da dieser auch durch Temperaturschwankungen hervorgerufen wird. Eine Reduktion der Toleranz (im Fall Empa: Drucktoleranz < 0.5 MPa) kann dazu führen, dass Betankungen abgebrochen werden ohne dass ein Leck vorliegt.

Im Rahmen der finalen Messungen wurden insgesamt 20 Testbetankungen ausgewertet, welche bei den Ergebnissen in Kapitel 4.2 erläutert werden.

### 3.3 Eichfähigkeit

Methoden zur Überprüfung der von einer Zapfsäule an das Fahrzeug abgegebenen Masse bzw. die Durchführung von Eichmessungen sind für Wasserstoff noch nicht etabliert. Damit ist der Pfad der Rückführbarkeit von Massemessungen an Wasserstoff-Zapfsäulen unvollständig, was den kommerziellen Einsatz von Wasserstoff in der Mobilität stark behindert. Während die oben beschriebenen Herausforderungen zum Genehmigungsprozess und zur Ex-Zoneneinteilung vor allem die Schweiz betreffen, handelt es sich bei der unvollständigen Rückführbarkeit um eine internationale Problematik.

Ziel des vorliegenden Projektes war der Aufbau einer Eichvorrichtung und die Durchführung von ersten Messungen mit dieser Vorrichtung an der Wasserstoff-Tankstelle der Empa. Diese Arbeiten erfolgten in enger Zusammenarbeit mit dem Eidgenössischen Institut für Metrologie METAS. In einem ersten Schritt wurden verschiedene Möglichkeiten der Massemessung geprüft. Beispielsweise gibt es gravimetrische Messmethoden, bei welchen die Masse des in einen Testbehälter betankten Kraftstoffs mit einer Waage bestimmt wird. Bei weiteren Methoden werden Referenzsensoren (Coriolis-

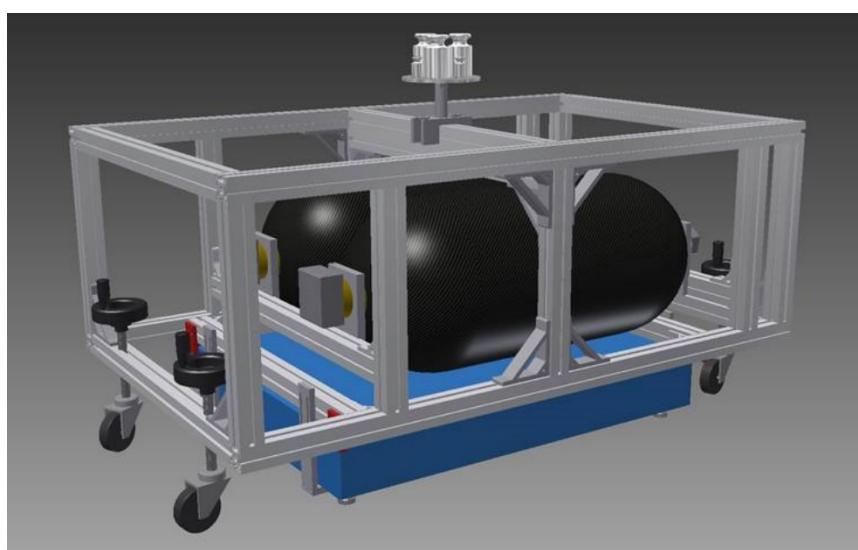


Abb. 15 Hydrogen Field Test Standard (Eichvorrichtung) von METAS (Quelle: METAS)

Massenstromsensoren) eingesetzt oder die Masse auf Basis von Druck-, Volumen- und Temperaturmessungen (pVT-Methode) bestimmt. Die Eichung von Erdgas/Biogas-Zapfsäulen erfolgt mittels gravimetrischer Methode.



Auch für die Eichung von Wasserstoff-Zapfsäulen fiel die Entscheidung schlussendlich auf die gravimetrische Methode, wobei für die ersten Versuche zusätzlich der Einsatz eines Referenzsensors eingeplant wurde. METAS baute mit Unterstützung der Empa eine entsprechende Vorrichtung auf, die im Englischen als Hydrogen Field Test Standard (HFTS) bezeichnet wird. Der in Abbildung 15 dargestellte HFTS, besteht aus zwei Hochdrucktanks mit einem Volumen von je 36 Litern (schwarz), die auf einem Rahmen montiert sind und auf eine Waage von Mettler Toledo mit einer Auflösung von 0.1 g (blau) abgesenkt werden können. Mehrere Ventile, Rohrleitungen, Druck- und Temperatursensoren sowie ein Coriolis-Durchflussmesser als Referenzsensor sind ebenfalls am Rahmen montiert (nicht dargestellt). Ein detailliertes Rohrleitungs- und Instrumentenfliessschema des HFTS ist in Abbildung 16 gezeigt.

Sämtliche Komponenten innerhalb des blauen Rechtecks sind auf dem Rahmen montiert und können auf die Waage abgesenkt werden. Das rot markierte Hydrauliksystem ermöglicht das Heben und Senken des Rahmens. Um die Waage vor Luftbewegungen zu schützen, sind Waage und Rahmen in einem ESD-Kunststoffrahmen untergebracht. Mehrere Düsen unterhalb des Rahmens ermöglichen es, das Gehäuse mit einem Inertgas zu fluten. Damit soll eine mögliche Eisbildung an den Rohren während des Füllvorgangs verhindert werden, da der zugeführte Wasserstoff auf -40°C abgekühlt werden kann. Inwiefern eine entsprechende Umspülung mit Inertgas überhaupt notwendig ist, sollte bei den Messungen ebenfalls untersucht werden. Der nach dem Wiegen in den Tanks gespeicherte Wasserstoff kann über eine Abblasleitung mit einem vier Meter hohen Mast in die Atmosphäre entlüftet werden.

Abbildung 17 zeigt den ersten Einsatz des HFTS an der Wasserstoff-Tankstelle der Empa. Während den Betankungen wurden über das Aufzeichnungssystem Werte zu Umgebungslufttemperatur und –druck, Lufttemperatur unter dem Gehäuse an verschiedenen Positionen und Tankdruck im leeren und vollen Zustand erfasst. Die abgegebene Wasserstoffmasse ergibt sich aus der Massendifferenz von gefüllten und leeren Tanks, welche um den Luftauftrieb korrigiert wird. Die Korrektur berücksichtigt die Umrechnung von der konventionellen Masse zur realen Masse sowie die Änderung der Temperatur im Gehäuse und die volumetrische Ausdehnung der Tanks. Bei einem maximalen Druck von 87,5 MPa beträgt die volumetrische Ausdehnung des Tanks 1.14 L und ist daher nicht vernachlässigbar. Die thermische Ausdehnung ist zehnmal kleiner und wurde daher nicht berücksichtigt. Für alle in vorliegendem Projekt durchgeföhrten Messungen wurde das Gehäuse kontinuierlich mit Stickstoff geflutet.

Grundsätzlich ist wichtig festzuhalten, dass Eichmessungen bei Wasserstoff im Vergleich zu Erdgas/Biogas deutlich anspruchsvoller sind. Neben den Unterschieden in Bezug auf Temperatur- und Druckbereiche, besteht die Herausforderung insbesondere darin, dass die betankte Masse im Fall von Wasserstoff nahezu eine Größenordnung tiefer liegt. Folglich fallen tankstellenseitige Unsicherheitsquellen (siehe Kapitel 4.3) sowie auch dem HFTS zugeordnete Unsicherheiten viel deutlicher ins Gewicht. Wie oben erläutert können die Messungen beispielsweise durch Wind, Eisbildung an Leitungen und Veränderungen des Auftriebs der Tanks signifikant beeinflusst werden. Dies führt zu einer deutlich komplexeren Eichvorrichtung.



## P&ID METAS- Hydrogen Field Test Standard (HFTS)

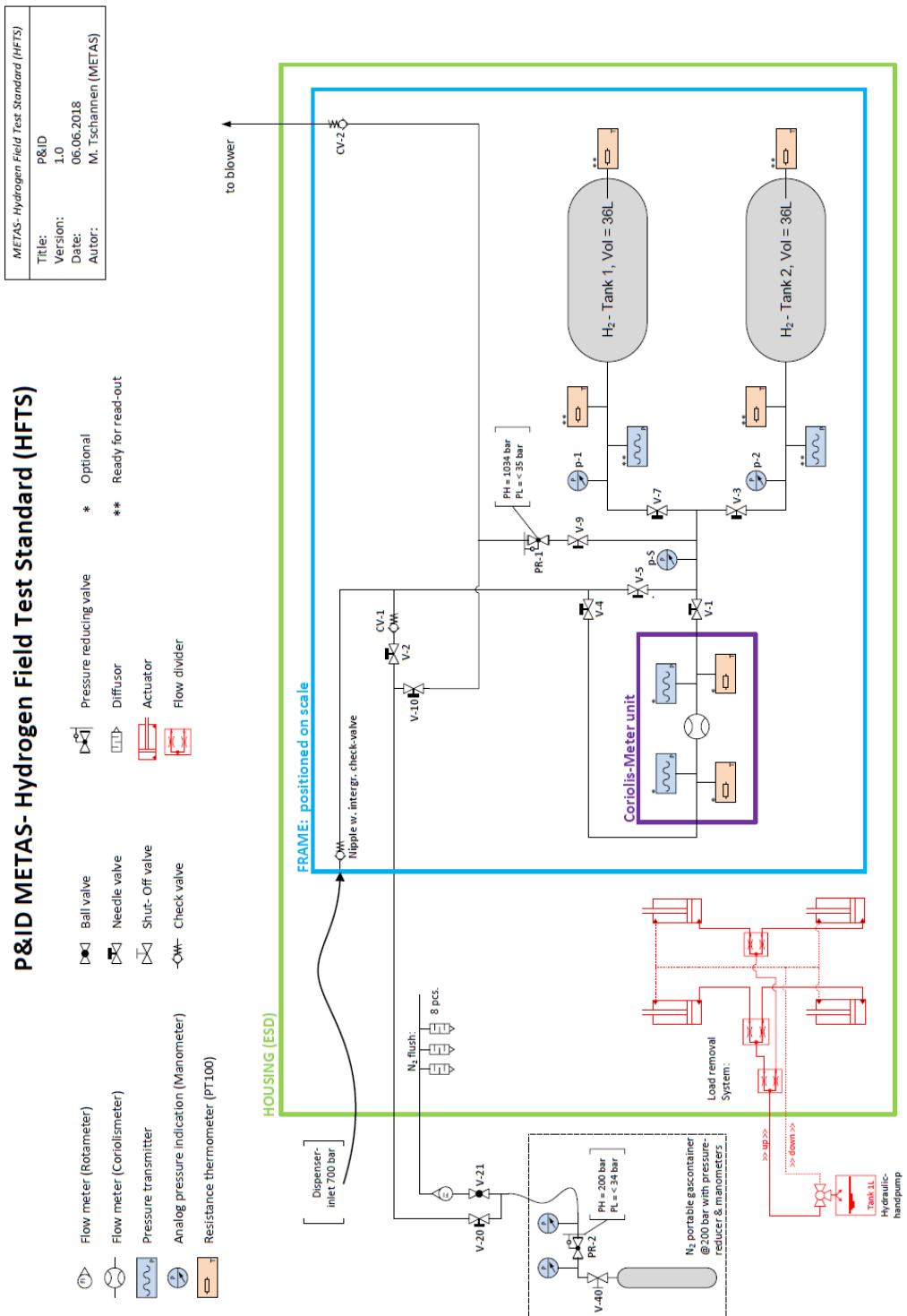




Abb. 17 Erster Einsatz des HFTS an der Wasserstoff-Tankstelle der Empa

Die Resultate und Erkenntnisse aus den ersten Messungen mit dem HFTS von METAS werden in Kapitel 4.3 ausgeführt.

### 3.4 Betrieb Tankstelle & Fahrzeug

Die beiden Tankstellen an der Empa und in Hunzenschwil bieten eine einzigartige Möglichkeit um Daten zum Realbetrieb solcher Anlagen zu erheben. Insbesondere an der Empa wurde die Demonstrationsanlage *move* so konzipiert, dass möglichst viele Betriebsdaten gemessen und aufgezeichnet werden können. Messwerte zu Druck, Temperatur, Stromverbrauch, etc. wurden über die Projektdauer in einer Empa-internen Datenbank erfasst. Bereits im Rahmen des ebenfalls vom BFE unterstützten und im Jahr 2017 abgeschlossenen Projektes „Future Mobility“, wurden unter anderem Messungen zur energetischen Effizienz der Anlagenkomponenten des *move* durchgeführt. Diese beschränkten sich allerdings auf den Wasserstoff-Produktionsteil und die Verdichtung bis 35 MPa. Im vorliegenden Projekt wurden zusätzlich Messungen am 70 MPa-Verdichter und am Vorkühlsystem durchgeführt, welche die Bestimmung aller Verluste von der Stromquelle bis zum Tank von Wasserstoff-Fahrzeugen mit 70 MPa Nenndruck ermöglichen. Die Anzeigeeinheiten der Stromzähler für die Hauptkomponenten im *move* sind in Abbildung 18 ersichtlich.

Des Weiteren wurden Daten aus dem Monitoring des Brennstoffzellen-Fahrzeuges der Empa ausgewertet. Das Fahrzeug war während der Projektlaufzeit mit einem Aufzeichnungsgerät ausgerüstet, welches von der Empa aufgebaut und programmiert wurde. Die Komponenten des Gerätes stammen



von der Firma National Instruments. Abbildung 19 zeigt das eingebaute Aufzeichnungsgerät. Nach abteilungsinternen Testfahrten wurde das Fahrzeug in die Flotte der Empa Dübendorf integriert, wobei es von Empa-Mitarbeitenden für dienstliche und private Zwecke gemietet werden konnte. Die Mieter wurden mittels Datenschutzzdokument auf das eingebaute Aufzeichnungsgerät hingewiesen und die Sammlung der Daten erfolgte anonymisiert. Außerdem wurden mit dem Fahrzeug auf dem Rollenprüfstand der Empa verschiedene standardisierte Testzyklen (NEFZ, WLTP, ...) abgefahren, um weitere Erkenntnisse hinsichtlich Verbrauch und Betriebsverhalten zu gewinnen.



Abb. 18 Anzeigeeinheiten der Stromzähler für die Hauptkomponenten im move

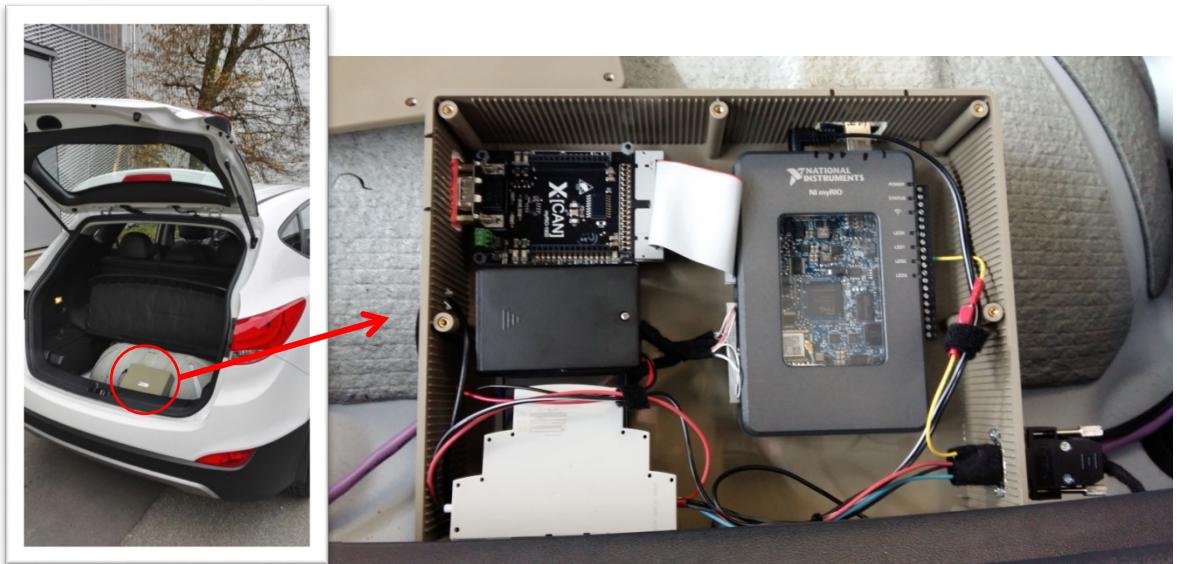


Abb. 19 Datenaufzeichnungssystem im Brennstoffzellen-Fahrzeug der Empa

Mit den Daten von Anlage und Fahrzeug konnte eine Well-to-Wheel Bilanz erstellt werden, welche auf Messungen unter Realbedingungen basiert. Die Ergebnisse dieser Auswertungen sind in Form von



Sankey-Diagrammen in Kapitel 4.4 zu finden. Neben energetischen Untersuchungen werden auch Auswertungen zur Nutzung der beiden Tankstellen über die Projektjahre gezeigt. Grundlage dafür sind Aufzeichnungen an den Tankstellen zu Anzahl an durchgeführten Betankungen, zu betankter Wasserstoff-Menge und zur Uhrzeit der Betankung während der Projektlaufzeit.

Die technischen Analysen wurden zudem mit einer Umfrage zum Nutzerverhalten von Brennstoffzellen-Fahrzeugbetreibern ergänzt. Die Umfrage wurde unter Verwendung des Online-Umfragetools von umfrageonline.com erstellt. Der Link zur Teilnahme an der Befragung wurde an Hyundai Schweiz und Toyota AG zur Weiterleitung an die Nutzer verschickt. Die Fahrzeugbetreiber wurden unter anderem zu folgenden Themen befragt:

- Beweggründe beim Kaufentscheid
- Einsatzzweck des Fahrzeugs
- Jährliche Laufleistung & geschätzter Verbrauch
- Alltagstauglichkeit & generelle Zufriedenheit mit dem Brennstoffzellen-Fahrzeug

Die Umfrage bestand aus gut 30 Fragen und wurde von 15 Brennstoffzellen-Fahrzeugbetreibern ausgefüllt. Zum Zeitpunkt der Umfrage waren in der Schweiz etwas mehr als 40 Brennstoffzellen-Fahrzeuge immatrikuliert. Einige ausgewählte Resultate werden in Kapitel 4.4 vorgestellt.



## 4 Ergebnisse und Diskussion

Analog zu Kapitel 3 sind die Ergebnisse in vorliegendem Kapitel den Arbeiten zur Klärung von rechtlichen und regulatorischen Fragen (Kapitel 4.1 – 4.3) und der Untersuchungen zum Betrieb von Tankstelle und Fahrzeug (Kapitel 4.4) zugeordnet.

### 4.1 Leitfaden

Nach mehreren Runden zur Einarbeitung von Anpassungsvorschlägen der in Kapitel 3.1 aufgelisteten mitwirkenden Parteien, wurde der Genehmigungsleitfaden zum Aufbau von Wasserstoff-Tankstellen in der Schweiz im Sommer 2019 finalisiert. Die Abbildungen 20 und 21 zeigen das Titelblatt und die Übersicht zum Inhalt des Leitfadens.



Abb. 20 Titelblatt des Leitfadens zum Aufbau von Wasserstoff-Tankstellen in der Schweiz

Der Leitfaden wurde in zwölf Abschnitte unterteilt, welche den Genehmigungsprozess in Form einer Schritt-für-Schritt Anleitung abhandeln. Die Abschnitte geben Empfehlungen ab, was in welcher Abfolge erledigt werden soll und wann es ratsam ist, mit entsprechenden Fachstellen oder Behörden in Kontakt zu treten. Grundsätzlich ist es immer hilfreich, alle Anspruchsgruppen möglichst früh und vollständig zu informieren. Liegen unzureichende Kenntnisse zu den für den Aufbau von Wasserstoff-Tankstellen relevanten Vorschriften vor, bietet es sich an, einen Planer oder ein Ingenieurbüro beizuziehen. Diese sollten sich mit den im Anhang des Leitfadens aufgelisteten Gesetze, Verordnungen und Normen auskennen.

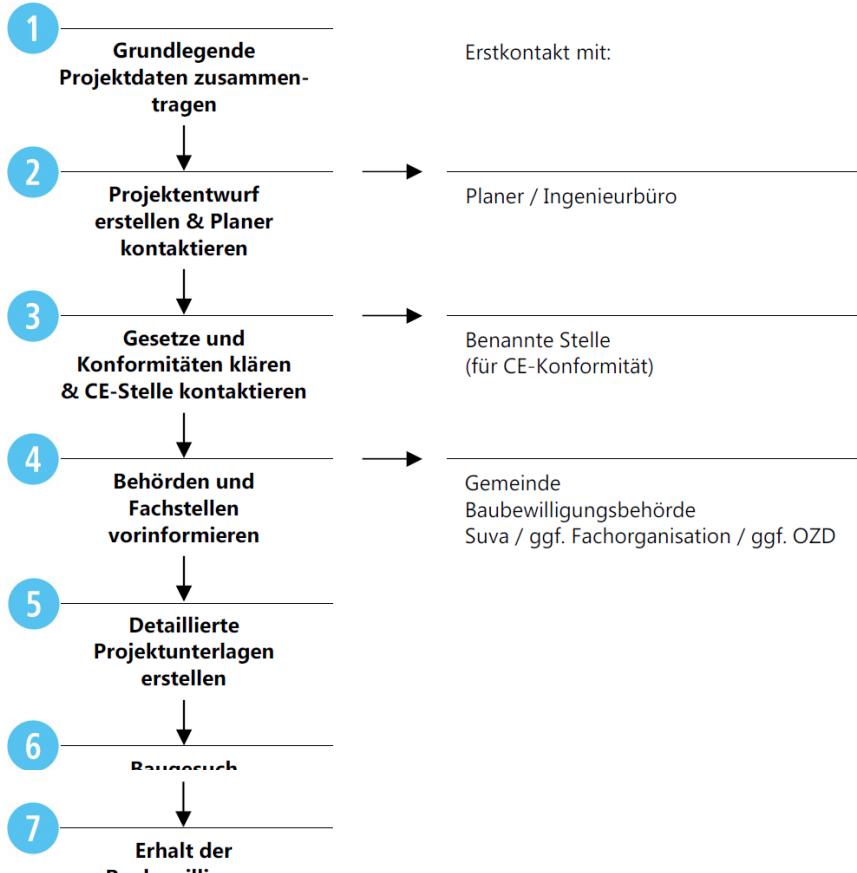
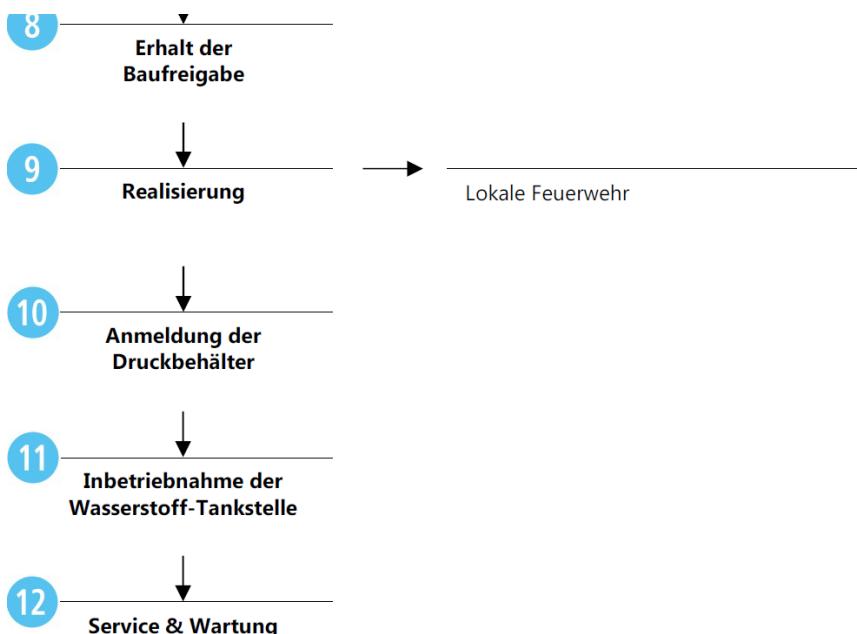


Abb. 21 Übersicht zum Inhalt des Leitfadens zum Aufbau von Wasserstoff-Tankstellen in der Schweiz





Da sich die Wasserstoff-Technologie im Mobilitätssektor noch in der Entwicklungsphase befindet, ist es äusserst wichtig, dass der Leitfaden in regelmässigen Abständen geprüft und aktualisiert werden kann. Aus diesem Grund fanden zu Projektabschluss Gespräche mit der Schweizerischen Normen-Vereinigung SNV statt.

Nach Klärung der Formalitäten wurde der Leitfaden von der SNV als Schweizer Guideline (SNG) aufgenommen und am 28.10.2019 veröffentlicht: [SNV Medienmitteilung](#)

Über folgenden Link kann der Leitfaden mit der Bezeichnung "SNG 10000:2019" über die Webseite der SNV kostenlos bezogen werden: [SNV Shop - Leitfaden zum Aufbau von H2-Tankstellen](#)

Die SNG 10000:2019 wurde dem Normenkomitee "INB NK 162 Gas" zugeordnet und gehört damit offiziell dem nationalen Arbeitsprogramm an, welches einmal im Jahr aktualisiert wird. Eine regelmässige Pflege des Dokumentes kann somit sichergestellt werden und die Mitwirkenden können als Teil eines Berater-Konsortiums weiterhin Aktualisierungen einfließen lassen.

## 4.2 Re-Definition Ex-Zoneneinteilung

Mit der in Kapitel 3.2 vorgestellten Testvorrichtung wurden insgesamt 20 Testbetankungen durchgeführt, welche in nachfolgender Abbildung mit grünen und roten Markierungen dargestellt sind. Bei Betankungen mit grüner Markierung konnte das Leck durch die Zapfsäulensteuerung erkannt werden und der Tankvorgang wurde abgebrochen. Rote Markierungen stehen für Betankungen, bei welchen das Leck nicht festgestellt werden konnte. Ein Leck wird nur erkannt, wenn innerhalb der Wartezeit 2 (siehe Kapitel 3.2) eine ausreichend grosse Menge an Wasserstoff aus dem Tankschlauch austritt. Diese Menge ist abhängig vom Leckdurchmesser (y-Achse) und vom Fahrzeutankdruck (x-Achse). In der Abbildung ist zu sehen, dass für die Messungen die in Kapitel 3.2 erwähnten Blenden mit 20 µm, 40 µm, 60 µm, 100 µm und 200 µm Durchmesser eingesetzt und der Fahrzeutankdruck über 2, 6,

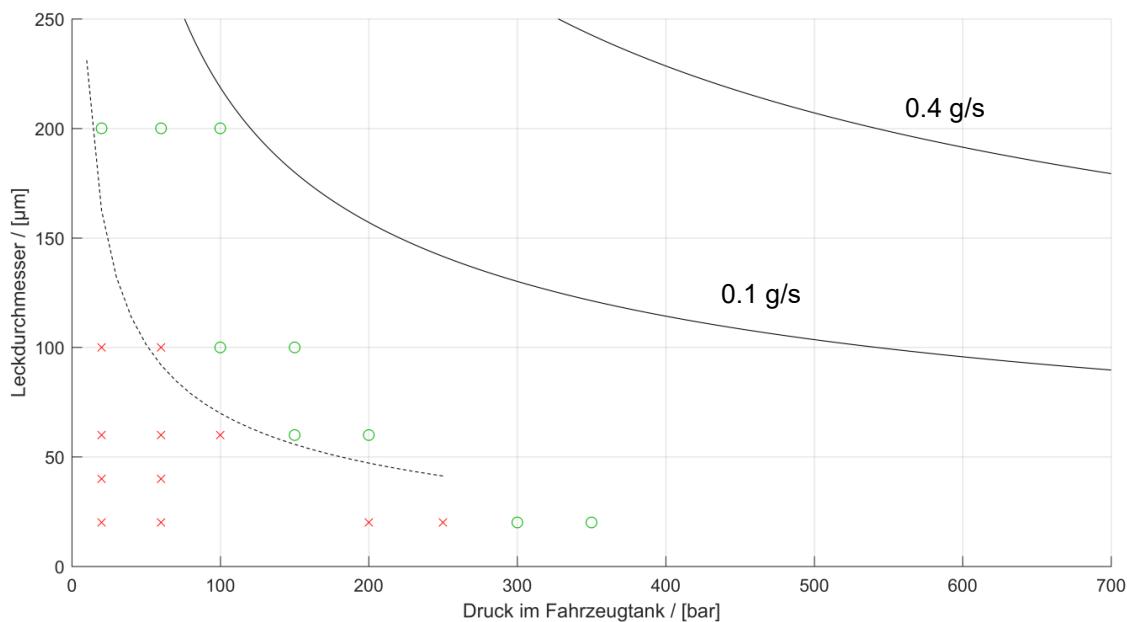


Abb. 22 Resultate von Testbetankungen bei welchen das Leck erkannt (grün) oder nicht erkannt (rot) wurde



10, 15, 20, 25, 30 und 35 MPa variiert wurden. Die gestrichelte Linie zeigt die rechnerisch ermittelte Kombination von Leckdurchmesser und Fahrzeugtankdruck, bei welcher genau jene Menge aus dem Tankschlauch austritt, welche die Detektion eines Lecks ermöglicht. Nach den Berechnungen sollten folglich sämtliche roten Markierungen links unterhalb und sämtliche grünen Markierungen rechts oberhalb der gestrichelten Linie zu liegen kommen. Aufgrund der bereits weiter oben beschriebenen Unsicherheiten bei den Berechnungen und den durchgeföhrten Messungen ergeben sich allerdings gewisse Abweichungen. Insbesondere bei Messpunkten nahe der gestrichelten Linie stimmen Berechnungen und Messungen nicht immer überein. Beispielsweise hätte die Messung mit 100µm-Blende bei 6 MPa gemäss Berechnungen als Leck erkannt werden sollen. Abgesehen von Messungen bei kleinen Blendendurchmessern (< ca. 50 µm), bei welchen grössere Abweichungen aufgrund der Ungenauigkeiten bei der Laserbohrung bestehen, stimmen die Berechnungen ansonsten gut mit den Messresultaten überein.

Die ausgezogenen Linien entsprechen der Kombination von Leckdurchmesser und Fahrzeugtankdruck, welche zu einem Leckmassenstrom von 0.1 g/s und 0.4 g/s führen. Wie in Kapitel 3.2 erwähnt, liegt die Grenze für die Entstehung einer explosionsfähigen Atmosphäre gemäss Suva in der Größenordnung von einigen Zehntelgramm pro Sekunde. Da deren Entstehung allerdings nicht nur abhängig vom Leckmassenstrom ist, kann kein fixer Wert angegeben werden. Unter Vorgabe eines beispielhaften Grenzwerts von 0.4 g/s können folgende Aussagen gemacht werden:

- Startet eine Betankung bei einem Fahrzeugtankdruck von 2 MPa und besteht ein Leck der Grösse von 200 µm wird das Leck von der Zapfsäulensteuerung erkannt und die Betankung abgebrochen. Dies ist auch wichtig, da der Grenzwert von 0.4 g/s bei fortschreitender Betankung und Zunahme des Fahrzeugtankdrucks bei ca. 55 MPa überschritten würde (eine Betankung entspricht im Diagramm einer horizontalen Verschiebung von links nach rechts beim entsprechenden Leckquerschnitt, hier also auf Höhe der 200µm-Marke) Wie das Diagramm zeigt, werden Lecks bei höherem Fahrzeugtankdruck und grösserem Leckdurchmesser ebenfalls detektiert.
- Startet eine Betankung bei einem Fahrzeugtankdruck von 2 MPa und besteht ein Leck der Grösse von 100 µm wird das Leck von der Zapfsäulensteuerung nicht erkannt. Bei fortschreitender Betankung (Verschiebung im Diagramm nach rechts) ist zu sehen, dass allerdings selbst bei einem Fahrzeugtankdruck von 70 MPa der Leckmassenstrom nur leicht oberhalb 0.1 g/s liegt und damit die austretende Menge unbedenklich ist. Dies gilt natürlich auch für Lecks mit kleinerem Querschnitt

Obige Aussagen wurden für einen Fahrzeug-Startdruck von 2 MPa gemacht, da dies dem Worst-Case entspricht. Bei einem höheren Fahrzeug-Startdruck sind Lecks einfacher zu detektieren, weil mehr Masse aus dem Tankschlauch austritt. Fahrzeugtanks von Brennstoffzellen-Fahrzeugen werden im Normalbetrieb nicht unter 2 MPa entspannt und die Zapfsäulensteuerungen gibt die Betankung bei tieferem Druck auch nicht frei.

Es ist wichtig festzuhalten, dass die gestrichelte Linie im Diagramm und obige Aussagen für die Tankstelle an der Empa Gültigkeit haben. Werden folgende Parameter geändert bzw. weisen diese bei einer anderen Tankstelle einen unterschiedlichen Wert auf, werden die Grenzen zur Erkennung eines Lecks verschoben:

- Wartezeit 2 (Wartezeit zwischen den beiden Druckmessungen nach dem Initialisierungsstoss, siehe Kapitel 3.2)  
Empa-Tankstelle: 8 s



- Druckabfalltoleranz (um diesen Wert darf der Druck von erster zur zweiten Messung absinken, ohne dass die Ursache des Druckabfalls einem Leck zugeschrieben wird)  
Empa-Tankstelle: 0.5 MPa
- Totvolumen (Volumen von Schlauch und Leitungen zwischen Tankventil in Zapfsäule und Zapfpistole)  
Empa-Tankstelle: 0.22 l

Weitere Informationen zum Einfluss dieser Parameter und zu den Messungen im Allgemeinen sind in den Projekt-Zwischenberichten nachzulesen.

Fazit der Auswertungen von den in Anwesenheit der Suva durchgeführten Messungen können folgendemmassen zusammengefasst werden:

1. Der Leckmassenstrom konnte mit Hilfe von Berechnungen und Messungen in Abhängigkeit des Leckdurchmessers und des Fahrzeugdrucks bestimmt werden. Dabei hat sich gezeigt, dass der Leckmassenstrom beim Nenndruck von 70 MPa bei einem nicht detektierten Leck ausreichend tief ist, dass keine explosionsfähige Atmosphäre entsteht. Lecks, welche bei 70 MPa eine explosionsfähige Atmosphäre verursachen würden, werden von der Zapfsäulensteuerung erkannt und die Betankung wird abgebrochen.
2. Das Erkennen eines Lecks funktioniert sehr zuverlässig. Bei ausreichend grossem Durchmesser, wurde das Leck von der Zapfsäulensteuerung immer erkannt.

Aufgrund der positiven Messresultate entschied die Suva, dass die Ex-Zoneneinteilung um die Verbindungstelle Zapfpistole/Fahrzeugstutzen entfällt, sofern bestimmte Bedingungen eingehalten werden. Eine Bedingung ist die Implementation eines Lecktests in der Zapfsäulensteuerung nach SAE J2601 [1], was bei derzeit hergestellten Wasserstoff-Tankstellen ohnehin Stand der Technik ist. Eine weitere Bedingung ist die Einhaltung von Vorgaben zu Einstellparametern und zum Totvolumen der Tankstelle. Wie oben beschrieben, haben diese einen entscheidenden Einfluss auf die Detektion eines Lecks. Die Suva hat die Bedingungen für eine Ex-zonenfreie Wasserstoff-Betankung in einem Schreiben zusammengefasst, aus welchem nachfolgend ein Ausschnitt aufgeführt ist:

*Die Empa führte in Zusammenarbeit mit der Suva Versuche durch um abzuklären, ab welcher Freisetzungsraten von Wasserstoff eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre aus Wasserstoff/Luft entstehen kann und ob solche Leckagen bei der standardmässigen Dichtheitsprüfung vor dem Start der Betankung sicher detektiert werden.*

*Die Versuche mit Leckraten bis maximal 0.6 g H<sub>2</sub>/s zeigten, dass die Dichtheitskontrolle vor dem Start der Betankung mit Wasserstoff gemäss dem Protokoll SAE J2601 Leckraten von >0.33 g/s sicher detektiert und der Betankungsvorgang nicht gestartet wird.*

*Damit ist gewährleistet, dass auch im Falle eines Leckes, z.B. bei fehlendem oder defektem Dichtungsring, der freigesetzte Wasserstoff keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre bildet. Auf die Festlegung einer Ex-Zone für den Betankungsvorgang mit Wasserstoff kann somit verzichtet werden.*



*Der Verzicht auf eine Ex-Zone gilt unter den nachfolgenden Voraussetzungen:*

- *Das System Zapfsäule - Betankung - Tank inkl. Kommunikation entspricht den Vorgaben des SAE J2601 Protokolls.*
- *Für die Dichtheitsprüfung sind in der Steuerung der Betankung die Parameter so festgelegt, dass die nachfolgende Formel eingehalten ist:*

$$\Delta p * V / \Delta t \leq 14 \text{ Pa} * \text{m}^3 / \text{s}$$

Wobei:

$\Delta p$  = Druckabfalltoleranz in [Pa]

$V$  = Totvolumen in [ $\text{m}^3$ ]

$\Delta t$  = Wartezeit 2 in [s]

Wenn die weiter oben genannten Werte der Empa-Tankstelle (0.5 MPa, 0.22 l, 8 s) in diese Formel eingesetzt werden, ergibt sich ein Wert von 14 Pa\*m<sup>3</sup>/s (aufgerundet). Werden Einstellparameter und Totvolumen einer künftigen Wasserstoff-Tankstelle so festgelegt, dass der gleiche oder ein tieferer Wert resultiert, kann folglich auf die Ex-Zone verzichtet werden. Die Einführung der Formel erhöht die Flexibilität für die Hersteller von Wasserstoff-Tankstellen. Weist eine Wasserstoff-Tankstelle eines bestimmten Herstellers beispielsweise ein höheres Totvolumen auf (> 0.22 l), kann die Druckabfalltoleranz reduziert und/oder die Wartezeit 2 erhöht werden und eine Ex-zonenfreie Betankung ist immer noch möglich. Aus diesem Grund wurden nicht die Parameter einzeln limitiert sondern deren Korrelation ( $\Delta p * V / \Delta t$ ).

Das entsprechende Schreiben ist bei der Suva intern hinterlegt. Mit einem Verweis auf dieses Schreiben kann jede künftige Wasserstoff-Tankstelle in der Schweiz unter Einhaltung der erwähnten Bedingungen auf eine Ex-Zoneneinteilung bei der Verbindungstelle Zapfpistole/Fahrzeugstutzen verzichten. Die Integration von Wasserstoff-Zapfsäulen in konventionelle Tankstellen wird damit stark erleichtert und Zusatzaufwände und Mehrkosten können vermieden werden.

#### 4.3 Eichfähigkeit

Der in Kapitel 3.3 vorgestellte Hydrogen Field Test Standard HFTS von METAS wurde an der Empa-Tankstelle für erste Eichmessungen eingesetzt. Es handelt sich dabei lediglich um erste Versuche, um sich mit dem System vertraut zu machen und mögliche Fehlerquellen zu eruieren. Beim Zapfpunkt für 70 MPa-Betankungen wurden zwei Versuche durchgeführt.

In Tabelle 2 sind die wichtigsten Randbedingungen und Resultate der zweiten Eichmessung zusammengefasst. Beim Betanken konnte eine Eisbildung an den Leitungen und am Anschluss des HFTS beobachtet werden, obwohl dessen Gehäuse ständig mit Stickstoff geflutet wurde. Dies beeinflusste die Messung und führte beim Wägen zu zusätzlichen Unsicherheiten. Es wurde beobachtet, dass das Eis ziemlich rasch schmilzt (innerhalb einiger Minuten). Der von der Waage angezeigte Wert hat sich nach dem Tanken nicht stabilisiert, was darauf hindeutet, dass einige thermische Effekte (Eisverlust oder Temperaturstabilisierung) die Messung noch beeinflussten.

<b>Umgebungstemperatur</b>	°C	27.5
<b>Initial-Tankdruck</b>	MPa	15
<b>Finaler Tankdruck</b>	MPa	71
<b>Betankungszeit</b>	s	212
<b>Betankte Masse HFTS</b>	g	2168.5
<b>Abweichung METAS Referenzsensor</b>	%	0.6
<b>Abweichung Massenstromsensor Tankstelle</b>	%	-1.2

Tab. 2 Randbedingungen und Resultate der ersten Eichmessungen an der Wasserstoff-Tankstelle der Empa

Die Messabweichung des Referenzsensors von METAS gegenüber dem HFTS beträgt 0.6% und ist damit in besserer Übereinstimmung als der gemessene Wert an der Tankstelle. Es ist jedoch zu beachten, dass bei dieser Messung nebst Unsicherheiten bei der Messeinrichtung selbst, weitere tankstellenseitige Unsicherheitsquellen eine Rolle spielen, wie nachfolgend aufgelistet:

- *Initialisierungsstoss und Lecktest*

Die beim Initialisierungsstoss in den HFTS übertragene Masse wird vom Massenstromsensor der Tankstelle nicht aufgezeichnet

- *Entlüftung Totvolumen (rot in Abbildung 24)*

Das Volumen von Leitungen und Zapfschlauch zwischen Tankventil (Cutoff valve) in der Zapfsäule und der Zapfpistole ist bei Betankungsbeginn auf Atmosphärendruck entlastet und weist am Ende der Betankung den finalen Tankdruck (71 MPa) auf. Die in dieses Volumen einströmende Masse fliesst zwar durch den Tankstellen-Massenstromsensor gelangt aber nicht bis in den HFTS

- *Ausgangsdruck Tankstellenleitungen (orange in Abbildung 24)*

Der Druck in den Leitungen vor dem Tankventil ist abhängig vom Enddruck der letzten Betankung und kann sich vom Enddruck der Eichmessung unterscheiden.

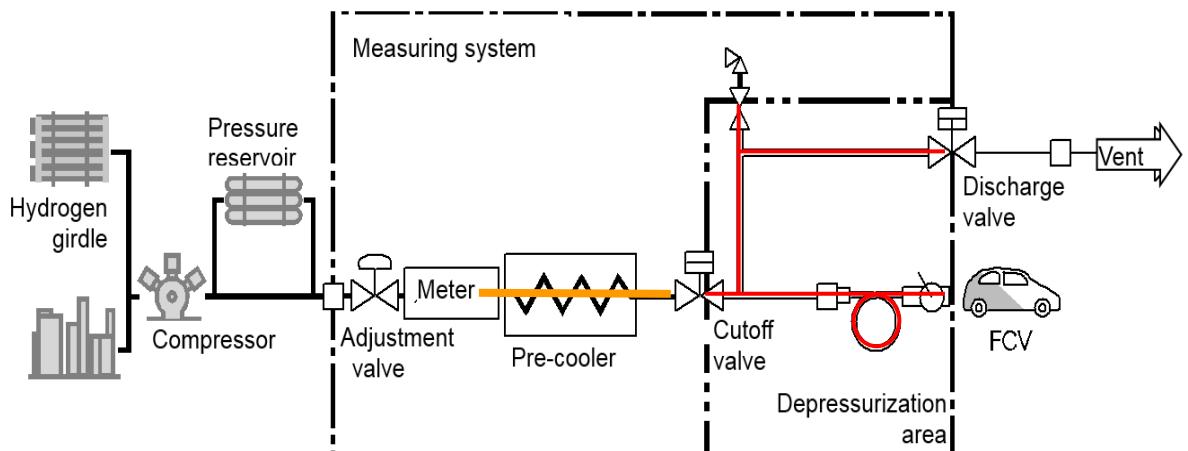


Abb. 24 Schematischer Aufbau einer Wasserstoff-Tankstelle. Markiert sind Leitungsabschnitte, die zu Messabweichungen führen.  
(Quelle: MetroHyVe-Projekt - Bild wurde ergänzt)



Messungen von anderen Europäischen Metrologie-Instituten haben zudem gezeigt, dass die Massenmessung an Wasserstoff-Tankstellen je nach Sensortyp, Tankstellenauslegung und Betankungs-Massenstrom Fehler von bis zu  $\pm 10\%$  aufweisen. Des Weiteren ergaben sich bei der Wiederholung von Messungen teilweise stark abweichende Ergebnisse. Dementsprechend sind weitere Messungen nötig, um aussagekräftige Rückschlüsse auf die Genauigkeit der Massenstrommessungen zu ziehen.

Aus den ersten Eichmessungen an der Empa konnten unter anderem folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Obwohl das Gehäuse mit Stickstoff geflutet wurde, konnte eine Eisbildung an den Leitungen beobachtet werden. Feuchtigkeit im Gehäuse kann mit dem gewählten Konzept folglich nicht ausreichend beseitigt werden.
- Der an der Waage bei Betankungsende angezeigte Wert hatte sich nicht stabilisiert. Tauendes Eis oder anderweitige thermische Effekte beeinflussen folglich die Messung nennenswert und erschweren die Ermittlung der tatsächlich betankten Masse.
- Die oben aufgeführten tankstellenseitigen Unsicherheiten haben erheblichen Einfluss auf die Eichmessung. Neben Verbesserungen an Massenstromsensoren und am HFTS ist es folglich zentral, dass diese Unsicherheiten reduziert oder abgeschätzt und eingerechnet werden können.

Von anderen Europäischen Tankstellen ist bekannt, dass das Totvolumen eine Masse von 10 g bis 50 g Wasserstoff aufnehmen kann. Bei einer gewöhnlichen Betankung von wenigen Kilogramm ergibt sich damit bereits eine Abweichung in der Größenordnung von 1%. Da die neuesten Generationen der Massenstromsensoren bereits eine vergleichsweise hohe Genauigkeit aufweisen, werden die tankstellenseitigen Unsicherheiten weiter an Relevanz gewinnen.

Neben der Bestimmung der Ursachen und der Größenordnung verschiedener Unsicherheitsquellen, wurden Erfahrungen gesammelt, wie ein HFTS aufgebaut sein soll, welches später im Feld zum Einsatz kommt.

Im Jahr 2017 wurde das EU-Projekt *MetroHyVe* gestartet, welches unter anderem die Themen Eichung und Reinheit bei Wasserstoff-Betankungen adressiert (<https://www.metrohyve.eu/>). Zu beiden Themen gibt es noch zahlreiche offene Fragestellungen und es besteht international grosses Interesse zu deren Klärung. Neben weiteren Europäischen Metrologie-Instituten sind METAS und die Empa an diesem Projekt beteiligt.

Der in vorliegendem Projekt aufgebaute HFTS und die Erkenntnisse aus den ersten Messungen bilden eine wertvolle Grundlage für weiterführende Untersuchungen im Rahmen des *MetroHyVe*-Projektes. Auch die Demonstrationsanlage *move* zeigt sich erneut als wertvolle Forschungs-Plattform. Im Rahmen des *MetroHyVe*-Projektes konnte durch eine temporäre Anlagenerweiterung ein Massenstromsensor der neuesten Generation im *move* eingesetzt und vermessen werden. Im Zuge des bereits geplanten Nachfolgeprojektes *MetroHyVe II* ist zudem ein ähnlicher Einsatz von Sensoren zur Reinheitsmessung vorgesehen.



## 4.4 Betrieb Tankstelle & Fahrzeug

Ein Hauptergebnis des vorliegenden Projektes ist der Aufbau der ersten beiden für Private zugängliche Wasserstoff-Tankstellen in der Schweiz und deren mehrjährigen Betrieb. Die Tankstelle in Hunzenschwil wird wie geplant auch nach Projektabschluss weiterhin betrieben. An der Empa kann mindestens bis Ende 2022 ebenfalls weiterhin Wasserstoff betankt werden. Bereits ab Eröffnung im 2016 konnte sichergestellt werden, dass beide Tankstellen auch regelmässig genutzt wurden. In Hunzenschwil gehörten zwölf von Coop eingesetzte Personenwagen und ein Lastwagen und an der Empa zehn Personenwagen zum anfänglichen Nutzerkreis, welcher sich während der Projektlaufzeit ausweitete. Zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Projektabschlussberichts wurden an der Empa insgesamt 30 Zugangs-Badge für die Wasserstoff-Tankstelle beantragt und ausgestellt. Der Anteil an Nutzern, welche das Brennstoffzellen-Fahrzeug mit privaten Mitteln erworben haben und für private Zwecke nutzen, liegt bei zirka einem Drittel.

### *Praxiserfahrungen*

Während der ersten 1 – 1.5 Betriebsjahre kam es insbesondere an der Empa öfters als erwartet zu Ausfällen an der Tankstelle. Im Durchschnitt wurden mehrere Störungen pro Monat registriert, die allerdings in der Regel rasch behoben werden konnten, sodass die Verfügbarkeit insgesamt ausreichend hoch war. Nachfolgend werden einige Ursachen für die Störungen aufgelistet:

- Defekter Temperatursensor in Zapfsäule (Störung mehrfach aufgetaucht)
- Defekter Temperatursensor am Wärmetauscher des Vorkühlsystems
- Defekter Drucksensor am Auslass des Verdichters
- Defekte Zapfpistole (fiel zu Boden, ev. mehrmals)
- Unsachgemäßes Einhängen der Zapfpistole (führt zu Fehlermeldung)
- Betätigung des Not-Aus Tasters ohne Grund (durch vorbeilaufende Passanten)
- Störungen am Badge-Lesegerät

Details und weitere Informationen zu den Störungen sind in den Zwischenberichten des Projektes zu finden. Die Auflistung zeigt, dass das Auftreten vieler Störungen verhältnismässig einfach verhindert werden kann. Die Hersteller der Tankstellenkomponenten konnten im Verlaufe des Projektes ebenfalls viele Erfahrungen zum Betrieb im realen Umfeld dazugewinnen und nahmen für die nachfolgenden Tankstellen-Generationen bereits Anpassungen vor. Beispielsweise wurden Sensortypen getauscht oder andere Systeme zur Detektion des Einhängens der Zapfpistole vorgesehen. Zapfpistolen neuerer Generation sind mit einem Aufprallschutz versehen.

Es ist wichtig festzuhalten, dass es bei beiden Tankstellen von Beginn weg mit den Hauptkomponenten und dem der Wasserstoff-Betankung zugrundeliegenden Prozess keine Probleme gab. Elektrolyse, Verdichtung und Armaturen zur Steuerung der Betankung funktionierten nahezu einwandfrei über die gesamte Projektlaufzeit. Die Technologie zur Betankung von Wasserstoff kann damit grundsätzlich als ausgereift bezeichnet werden. Ab 2018 waren die Kinderkrankheiten ausgemerzt und auch bei der Tankstelle an der Empa treten nur noch selten Störungen auf.



### Tankstellennutzung

An der Empa wurden sämtliche Betankungen am 70 MPa Zapfpunkt seit Projektbeginn aufgezeichnet. Für die Tankstelle in Hunzenschwil sind die entsprechenden Daten seit Frühjahr 2018 verfügbar. Aufzeichnungen zum gesamten Wasserstoffumsatz an der Tankstelle in Hunzenschwil sind ebenfalls seit deren Inbetriebnahme vorhanden. Deren Auswertung ist Teil des in der Einleitung erwähnten BFE-Projektes zur Wasserstoff-Produktion in Aarau und zur Belieferung der Tankstelle in Hunzenschwil ([Projekt H2-Produktion - ARAMIS](#)) und können in den entsprechenden Projektberichten nachgelesen werden.

Nachfolgende Abbildungen zeigen die Anzahl Betankungen pro Woche über die Projektlaufzeit, wobei für die y-Achse der Diagramme die gleiche Skala verwendet wurde. An der Empa fand bis Ende 2018 durchschnittlich in etwa eine Betankung pro Tag statt. Zum letzten Jahreswechsel wuchs der Nutzerkreis um nahezu das doppelte, sodass die durchschnittliche Anzahl an Betankungen bis zum Projektende auf ungefähr 2 – 3 anstieg. In Hunzenschwil werden seit Aufzeichnungsstart in etwa 4 PW-Betankungen täglich durchgeführt.



Abb. 25 Anzahl 70MPa-Betankungen pro Woche über die Projektlaufzeit an der Empa (oben) und in Hunzenschwil (unten)

Es ist zu sehen, dass die Anzahl Betankungen von Woche zu Woche stark variieren, da der Nutzerkreis im Vergleich zu konventionellen Tankstellen verhältnismässig klein ist. Dementsprechend hat das Betankungsverhalten einzelner Nutzer einen grossen Einfluss auf die gezeigten Aufzeichnungen und das Treffen einer allgemein gültigen Aussage zur Tankstellennutzung ist schwierig. Bei der Tankstelle in Hunzenschwil kann ein Rückgang der Betankungen über Weihnachten und Neujahr festgestellt werden. Viele der dort betankten Fahrzeuge sind bei Aussendienstmitarbeitern von Coop im Einsatz.



Abb. 26 Betankte Menge am 70MPa-Zapfpunkt pro Woche über die Projektlaufzeit an der Empa (oben) und in Hunzenschwil (unten)



Die in Abbildung 26 gezeigte Betankungsmenge betrug an der Empa bis Ende 2018 im Durchschnitt etwa 3 kg pro Tag. Mit der Erweiterung des Nutzerkreises stieg sie bis zum Projektende auf ungefähr 7 kg täglich. An der Tankstelle in Hunzenschwil liegt der Durchschnitt über die letzten knapp 1.5 Jahre bei zirka 8 – 9 kg betankter Masse pro Tag. Wird die Masse für die Betankung des Brennstoffzellen-Lastwagens dazugerechnet, gehört die Wasserstoff-Tankstelle in Hunzenschwil derzeit europaweit zu den Wasserstoff-Tankstellen mit dem höchsten Umsatz.

Abbildung 27 zeigt zu welcher Tageszeit die 70MPa-Betankungen durchgeführt wurden. Die Verteilung der Betankungszeiten über 24 Stunden an der Empa wurden über die gesamte Projektlaufzeit gemittelt. In Hunzenschwil dienen die Aufzeichnungen der vergangenen 1.5 Jahre als Grundlage.

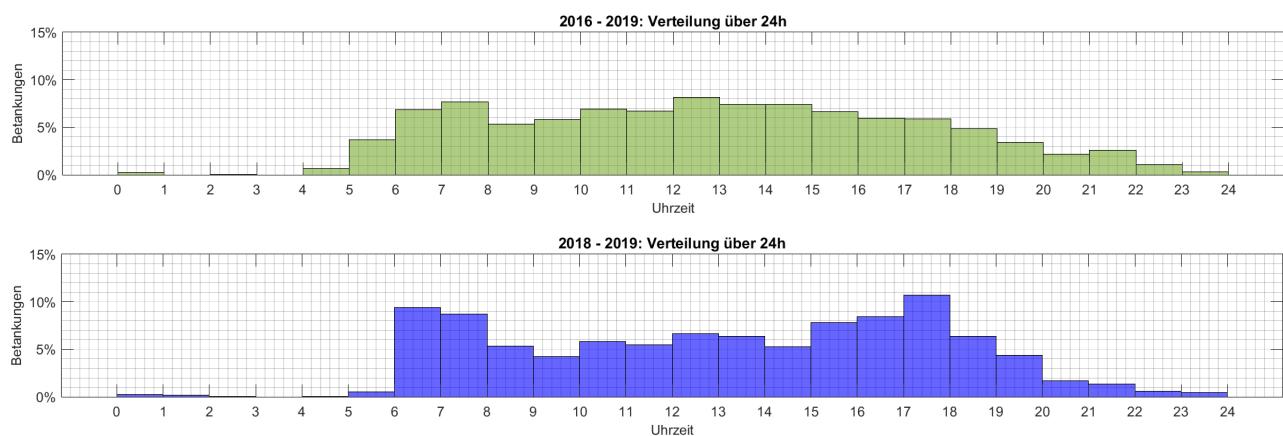


Abb. 27 Tageszeiten der 70MPa-Betankungen für die Tankstelle an der Empa (oben) und in Hunzenschwil (unten)

Wie zu erwarten ist, wurden nachts kaum Fahrzeuge betankt. Vor Arbeitsbeginn zwischen 6:00 Uhr und 8:00 Uhr werden sowohl an der Empa als auch in Hunzenschwil viele Betankungen registriert. Fast 20% aller Betankungen werden in diesem Zeitraum durchgeführt. In Hunzenschwil ist zudem auch zwischen 17:00 Uhr und 18:00 Uhr eine Häufung der Betankungen feststellbar. Während ab 20:00 Uhr nur noch vereinzelt betankt wird, ist der Nutzungsanteil zwischen 6:00 Uhr und 19:00 Uhr durchgehend verhältnismässig hoch mit zusätzlich erhöhten Werten zur Mittagszeit. Wie bereits erwähnt, sind verallgemeinernde Aussagen zur Tankstellennutzung aufgrund des kleinen Nutzerkreises allerdings schwierig anzustellen.

### Energetische Analyse

Wie in Kapitel 3.4 erwähnt, wurden an der Anlage der Empa unter anderem Messungen zum Energieverbrauch der einzelnen Komponenten durchgeführt. Mit den Verbrauchsmessungen am Brennstoffzellen-Fahrzeug liegen damit Daten für eine Well-to-Wheel Analyse des Wasserstoffpfades auf Basis von Messungen unter Realbedingungen vor. Da die Anlagenkomponenten des *move* im Vergleich zu zukünftigen industriellen Anlagen deutlich kleiner dimensioniert sind, weisen diese allerdings auch verhältnismässig hohe Verluste auf. So können beispielsweise die Peripherieverluste bei grösseren Elektrolyseuren deutlich reduziert werden. Aus diesem Grund wurde die Energiebilanz zum *move* mit einer Energiebilanz zu einer fiktiven Industrieanlage ergänzt. Die entsprechenden Zahlen basieren dabei auf Literaturdaten und Herstellerangaben. Die verwendeten Herstellerangaben konnten für die *move*-



Komponenten bereits bestätigt werden, sodass davon ausgegangen werden kann, dass auch die Angaben zu Komponenten für Anlagen industrieller Grösse zutreffen (in Tab. 4 als "Herstellerang. (geprüft)" vermerkt). Sämtliche aufgeführten Zahlen beschreiben den heutigen Stand der Technik. Durch die Weiterentwicklung der entsprechenden Technologien sind in Zukunft Verbesserungen hinsichtlich Umwandlungseffizienz zu erwarten, die hier nicht berücksichtigt wurden.

Die Well-to-Wheel Bilanz ist nachfolgend für den *move* und die fiktive industrielle Anlage in Form von je einer Tabelle und einem Sankey-Diagramm dargestellt. Wirkungsgrade und Abwärme bzw. Verluste wurden auf Basis des Brennwerts (HHV) berechnet. Grund dafür ist die Tatsache, dass die Kondensationsenthalpie im Wasserstoff auf dem gesamten Energiepfad bis zur Brennstoffzelle enthalten ist. Erst bei der Umwandlung von Wasserstoff in elektrische Energie bleibt diese ungenutzt und verschlechtert damit den Wirkungsgrad der Brennstoffzelle. Deren Wirkungsgrad wird allerdings oft auf Basis des Heizwerts (LHV) angegeben, weshalb die in untenstehenden Tabellen aufgeführten Werte für den Antriebsstrang auf den ersten Blick niedrig erscheinen. Das Resultat der gesamten Well-to-Wheel Bilanz ist allerdings unabhängig von der Verwendung von Brennwert oder Heizwert.

Einheit	Datenquelle	Wirkungsgrad Energieumwandlung [%]	Abwärme bzw. Verluste bezogen auf ... [%]	Abwärme bzw. Verluste bezogen auf insgesamt eingesetzte Energie [%]
			...Strominput am Elektrolyseur	
Elektrolyseur	Messdaten <i>move</i>	61.0	39.0	36.8
			...H <sub>2</sub> -Menge (Brennwert)	
Verdichter	Messdaten <i>move</i>	-	6.8	4.0
Vorkühlsystem	Messdaten <i>move</i>	-	2.5	1.5
Antriebsstrang	Messdaten Test-Fzg.	36.8	63.2	36.5
				Energie am Rad [%]
<b>Well-to-Wheel Effizienz:</b>				<b>21.2</b>

Tab. 3 Wirkungsgrad und Abwärme bzw. Verluste entlang des Wasserstoff-Pfads für die Anlage *move* (bezogen auf den Brennwert von Wasserstoff)

Der in Tabelle 3 angegebene Wirkungsgrad für den Antriebsstrang basiert auf Messungen zum Realverbrauch des Hyundai ix35 FC. Im Schnitt lag der Realverbrauch bei zirka 1.2 kg/100km, wobei der Antriebsstrang sämtliche Energiewandler im Fahrzeug umfasst (Brennstoffzelle, Batterie, Leistungselektronik, Elektromotor, Untersetzungsgetriebe). Die Zahlen zu Vorkühlsystem und Antriebsstrang aus den Spalten 2 und 3 wurden für die industrielle Anlage unverändert übernommen, da sich diese mit steigender Anlagengrösse nicht ändern. Bei der industriellen Anlage wird davon ausgegangen, dass der Wasserstoff nicht lokal bei der Tankstelle produziert, sondern von einer zentralen Produktionsanlage zur Tankstelle gebracht wird. Insbesondere die zumeist stark eingeschränkten Platzverhältnisse bei Tankstellen erlauben keine lokale Produktion. Die Vermeidung von Netzgebühren stellt zudem ein weiterer Grund für eine zentrale Wasserstoff-Produktion dar. Da der Wasserstoff nicht lokal produziert wird, wurde der Wasserstoff-Pfad der industriellen Anlage mit der Einheit „Transport“ ergänzt, welche die Verdichtungsarbeit zur Beladung eines Tanklasters auf einen Nenndruck von 20 MPa sowie auch dessen Treibstoffverbrauch für die Fahrten zwischen Tankstelle und Produktionsanlage umfasst. In Bezug auf den Transport des Wasserstoffs sind zum Zeitpunkt des Projektabschlusses bereits neue Konzepte in Diskussion, bei welchen die transportierte Wasserstoffmenge deutlich erhöht und die Gesamteffizienz damit verbessert werden kann.



Einheit	Datenquelle	Wirkungsgrad Energieum- wandlung [%]	Abwärme bzw. Verluste bezogen auf ... [%]	Abwärme bzw. Verluste bezogen auf insgesamt eingesetzte Energie [%]
			...Strominput am Elektrolys.	
Elektrolyseur	Herstellerang. (geprüft)	74.0	26.0	23.3
			...H <sub>2</sub> -Menge (Brennwert)	
Transport	Herstellerang. (geprüft)	-	6.5	4.3
Verdichter	Herstellerang. (geprüft)	-	6.8	4.5
Vorkühlsystem	Messdaten move	-	2.5	1.7
Antriebsstrang	Messdaten Test-Fzg.	36.8	63.2	41.8
				Energie am Rad [%]
<b>Well-to-Wheel Effizienz:</b>				<b>24.4</b>

Tab. 4 Wirkungsgrad und Abwärme bzw. Verluste entlang des Wasserstoff-Pfads für eine industrielle Anlage (bezogen auf den Brennwert von Wasserstoff)

Für den Verdichter und das Vorkühlsystem wird kein Wirkungsgrad angegeben, da deren Zweck eine Druckerhöhung bzw. eine Wärmeabfuhr darstellt. Die für Verdichtung und Vorkühlung eingesetzte Energie kann aber auf den Brennwert der geförderten bzw. gekühlten Wasserstoff-Menge bezogen werden. So braucht die Verdichtung von Wasserstoff beispielsweise 6.8% vom Energieinhalt des geförderten Wasserstoffs in Form von elektrischer Energie. Diese Werte erlauben dann einen Vergleich mit den Energieumwandlungsverlusten von Elektrolyseur und Antriebsstrang (Spalte 3 der Tabelle). In der vierten Spalte werden Abwärme bzw. Verluste auf die insgesamt eingesetzte Energie bezogen.

Streng genommen wird die zur Verdichtung eingesetzte Energie nicht nur in Abwärme bzw. Verluste umgesetzt, sondern ein Teil der Energie wird in Form einer Enthalpieerhöhung (Druckerhöhung) im Wasserstoff gespeichert. Dieser Teil ist in Relation zu den Verlusten sehr gering. Aus diesem Grund werden in den nachfolgenden Sankey-Diagrammen die gesamte am Verdichter eingesetzte Energie nach dem Verdichter als Abwärme bzw. Verluste dargestellt. Das Gleiche gilt für das Vorkühlsystem.

Bei Anlagen von industrieller Grösse mit derzeit verfügbaren Komponenten steht damit zirka ein Viertel der eingesetzten Energie am Rad als mechanische Energie zur Verfügung. Die grössten Umwandlungsverluste entstehen bei der Elektrolyse und im Antriebsstrang. Es ist allerdings zu beachten, dass die in rot dargestellten Pfade nicht zwingend Verluste sind. Beispielsweise wird die Abwärme bei der *move*-Anlage im Winterhalbjahr zu Heizzwecken verwendet und stellt somit auch eine Nutzenergie dar. Analog ist es denkbar, dass die Abwärme von einer Elektrolyse-Anlage von industrieller Grösse in ein Fernwärmennetz eingespeist wird. Dasselbe gilt für die Abwärme der Brennstoffzelle, welche bei niedrigen Aussentemperaturen zur Heizung der Fahrgastkabine eingesetzt werden kann. Der Gesamtwirkungsgrad des dargestellten Pfads kann dementsprechend deutlich über dem Umwandlungswirkungsgrad von Strom zu Radleistung liegen.

In obigen Tabellen und nachfolgenden Diagrammen werden Energieaufwände, welche im stand-by-Betrieb der Komponenten anfallen, nicht berücksichtigt. Neben dem geringen Grundverbrauch von Steuerungen, Lichter und Lüfter der Gesamtanlage weisen insbesondere die Elektrolyse (im hot stand-by) und die Vorkühlung eine erwähnenswerte Leistungsaufnahme im stand-by Modus auf. Allerdings kann der stand-by Verbrauch nicht ohne weiteres zu obigen Zahlen ergänzt werden, da er stark von der Betriebsart und der Anzahl Betankungen bzw. dem Wasserstoff-Bedarf abhängt. Nähere Be-



trachtungen zum Energieverbrauch des Vorkühlsystems – bei der Betankung sowie im stand-by Modus – werden im Projekt „efficient Hydrogen Fueling“ angestellt, welches im 2017 gestartet wurde und ebenfalls vom BFE unterstützt wird. Erste Messungen zeigen, dass der durchschnittliche stand-by Verbrauch der Vorkühlung bei zirka 1 kW<sub>el</sub> liegt.

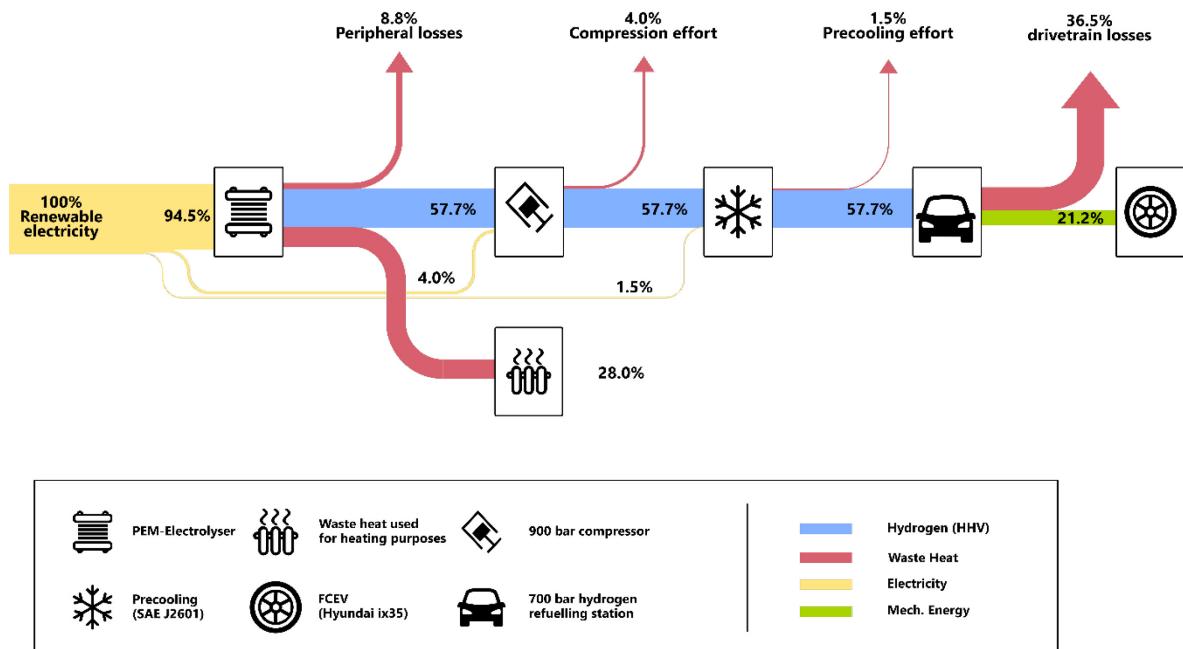


Abb. 28 Well-to-Wheel Bilanz entlang des Wasserstoff-Pfads für die Anlage move (bezogen auf den Brennwert von Wasserstoff)  
(Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf die insgesamt eingesetzte Energie)

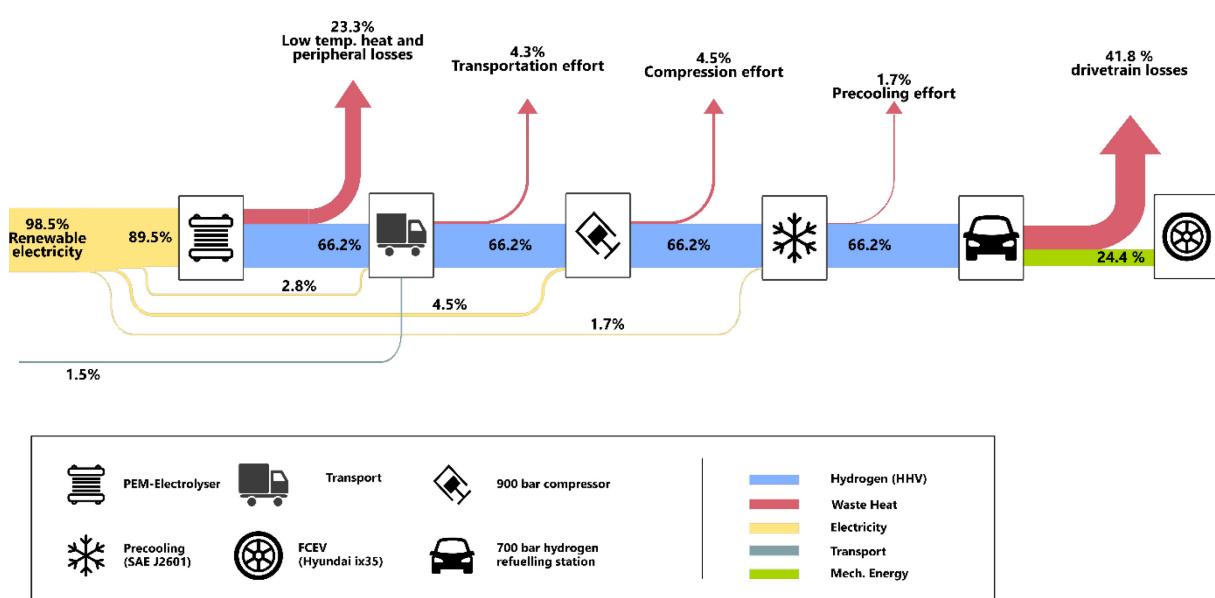


Abb. 29 Well-to-Wheel Bilanz entlang des Wasserstoff-Pfads für eine industrielle Anlage (bezogen auf den Brennwert von Wasserstoff)  
(Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf die insgesamt eingesetzte Energie)



Während obige Sankey-Diagramme die Energieflüsse als Prozentsatz der eingesetzten Energie zeigen, erlauben die nachfolgenden Darstellungen eine Betrachtung der Energieflüsse für das Zurücklegen einer Strecke von 100 Kilometern.

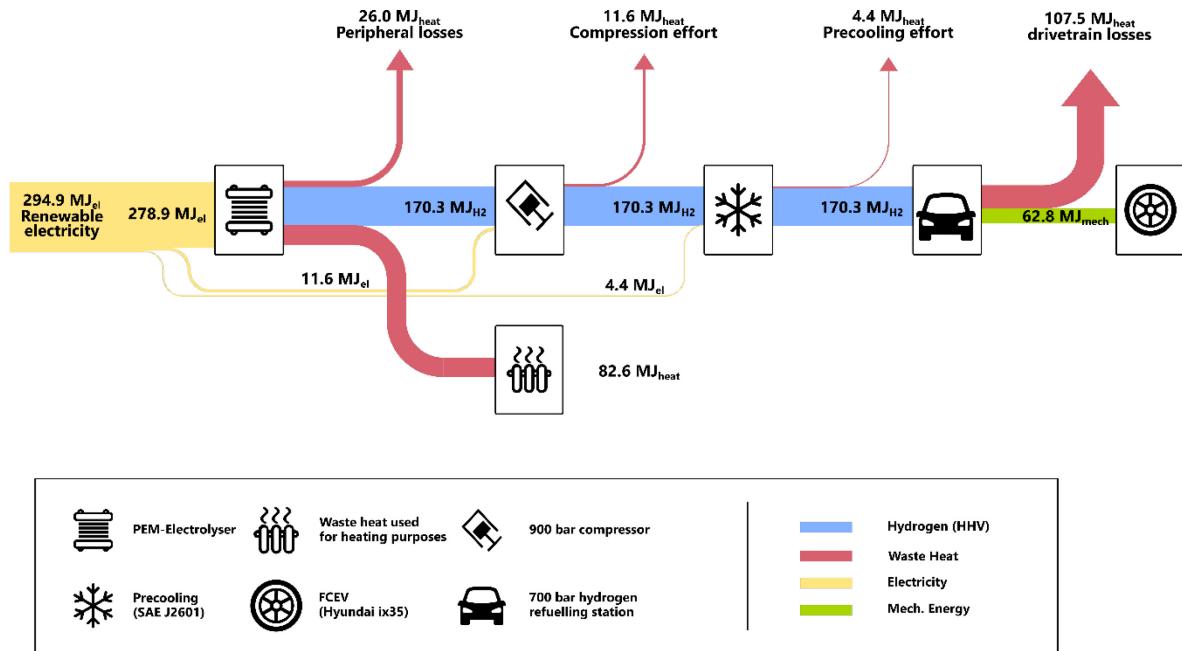


Abb. 31 Well-to-Wheel Bilanz entlang des Wasserstoff-Pfads für eine industrielle Anlage (bezogen auf den Brennwert von Wasserstoff)  
(Die angegebenen Werte beziehen sich auf eine Fahrtstrecke von 100 km)

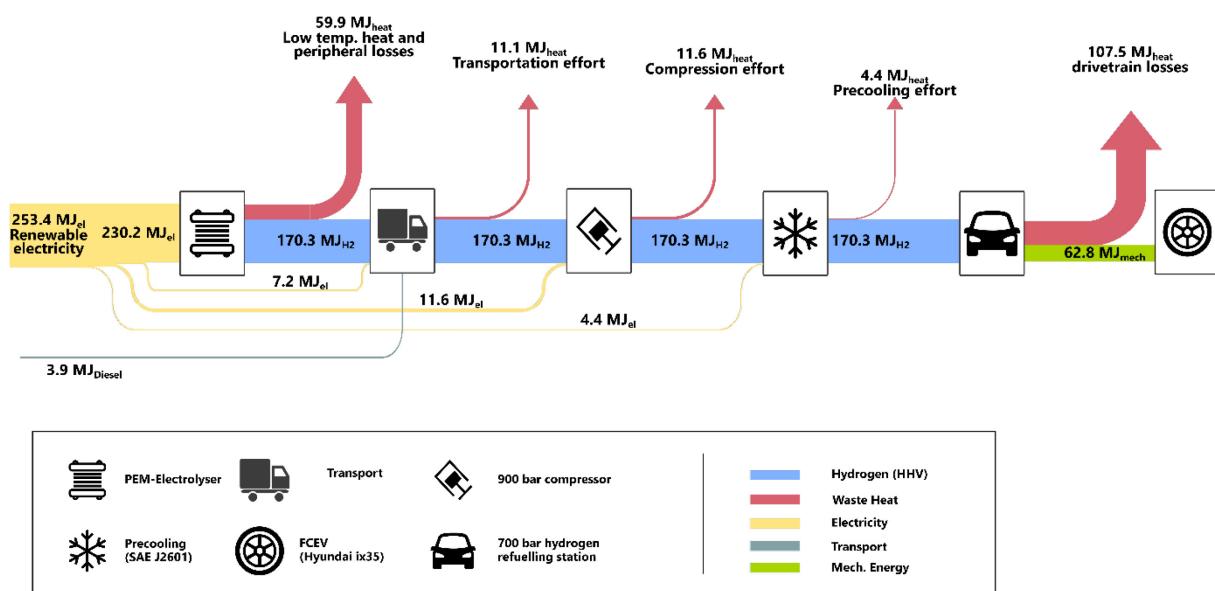


Abb. 30 Well-to-Wheel Bilanz entlang des Wasserstoff-Pfads für die Anlage move (bezogen auf den Brennwert von Wasserstoff)  
(Die angegebenen Werte beziehen sich auf eine Fahrtstrecke von 100 km)



Unter Berücksichtigung des in vorliegenden Projektes ermittelten durchschnittlichen Realverbrauchs für das Fahrzeug Hyundai ix35 FC beträgt die benötigte Energiemenge im Wasserstoff 170.3 MJ für 100 km. Der dafür eingesetzte erneuerbare Strom beträgt für den move 294.9 MJ und für die industrielle Anlage 253.4 MJ. Wobei bei letzterem Energiepfad noch zusätzlich 3.9 MJ Energie in Form von Diesel zugeführt werden.

Nicht berücksichtigt in obigen Darstellungen sind Auswirkungen von Last- oder Drehzahländerungen an den Komponenten. Allerdings haben solche Änderungen grösstenteils auch einen relativ geringen Einfluss auf den Energieverbrauch. Der im *move* eingesetzte Elektrolyseur weist im Lastbereich von ca. 30 – 100% eine nahezu konstante Umwandlungseffizienz auf. Wird der Elektrolyseur jedoch unter 30% Last betrieben, steigt der spezifische Verbrauch rasch deutlich an. Alle Energieverbraucher auf dem Wasserstoffpfad weisen noch massgebliche Optimierungspotentiale auf. Neben neuen effizienteren Konzepten aus der Industrie zu Verdichtung und Transport von Wasserstoff, laufen an der Empa derzeit Untersuchungen zu alternativen Vorkühlkonzepten mit tieferem Stromverbrauch.

Anmerkung:

Die in der Anlage *move* zur Wasserstoffproduktion eingesetzte elektrische Energie stammt einerseits aus Photovoltaik-Modulen an der Fassade und auf dem Dach des Nachbargebäudes. Zusätzlich wird Strom über das Netz aus dem Laufwasserkraft Eglisau bezogen (mit Herkunftsachweis). Der exakte Anteil dieser beiden Stromquellen wurde nicht aufgezeichnet. Abschätzungen für das Jahr 2018 ergeben folgende Anteile: lokale Photovoltaik 53%, Laufwasserkraftwerk 47%. Für die fiktive Industrieanlage kann angenommen werden, dass die elektrische Energie vollständig durch Wasserkraft bereitgestellt wird. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen und aufgrund der regulatorischen Randbedingungen ist die Wasserkraft zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Berichts die vorteilhafteste Stromquelle.

#### *Umfrage zum Nutzerverhalten*

Die in Kapitel 3.4 beschriebene Umfrage zum Nutzerverhalten wurde von 15 Brennstoffzellen-Fahrzeugbetreibern ausgefüllt. Drei der Teilnehmer gaben an einen Toyota Mirai zu fahren. Die übrigen zwölf Teilnehmer fahren einen Hyundai ix35 Fuel Cell. Nachfolgend sind einige ausgewählte Rückmeldungen in Diagrammen dargestellt.

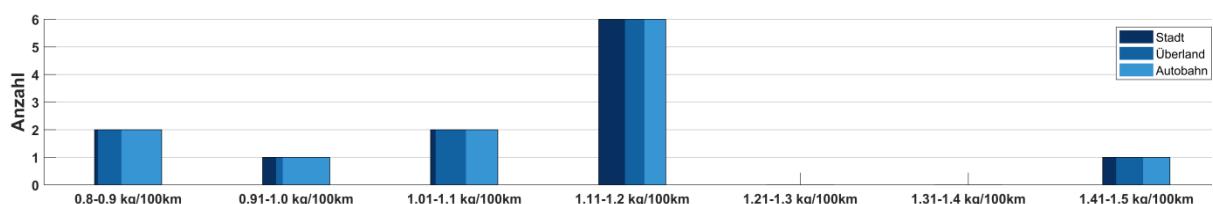


Abb. 32 Einschätzungen der Umfrageteilnehmer zum durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch ihres Fahrzeugs

elf Teilnehmer einen Wert zwischen 0.8 kg/100km und 1.2 kg/100km an, wobei sechs Teilnehmer den Verbrauch auf 1.11 – 1.2 kg/100km einschätzten. Ein Teilnehmer gab an, dass sein Fahrzeug 1.41 – 1.5 kg/100km verbraucht und drei Teilnehmer vermerkten, den Verbrauch nicht beurteilen zu können. Wie bei konventionellen Fahrzeugen ist auch bei Brennstoffzellenfahrzeugen der Verbrauch stark von der Fahrweise abhängig. Im Gegensatz zu verbrennungsmotorischen Fahrzeugen, hat allerdings das Einsatzgebiet des Fahrzeugs (Stadt, Überland, Autobahn) deutlich geringeren Einfluss auf die Verbrauchswerte. Die Messungen am Hyundai ix35 Fuel Cell, welcher in der Fahrzeugflotte der Empa zum Einsatz kam, ergaben einen durchschnittlichen Realverbrauch von zirka 1.2 kg/100km.

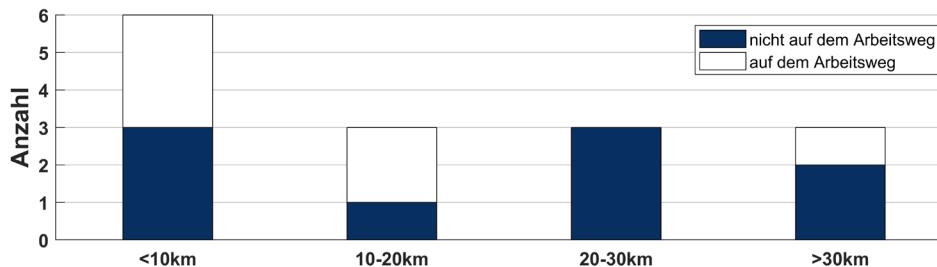


Abb. 33 Distanz zwischen Wohnort und Wasserstoff-Tankstelle

Die Distanz zwischen Wohnort und Wasserstoftankstelle beträgt bei sechs der 15 Teilnehmer weniger als zehn Kilometer. Je drei Teilnehmer geben eine Fahrstrecke von 10 – 20 km, 20 – 30 km und mehr als 30 km an. Bemerkenswert ist, dass bei den sechs Teilnehmern, welche zwischen Wohnort und Tankstelle eine Distanz von mehr als 20 km zurücklegen müssen, lediglich bei einem Nutzer die Tankstelle auf dem Arbeitsweg liegt. Die längste angegebene Fahrstrecke zwischen Wohnort und Tankstelle beträgt 80 km.

In Bezug auf den hauptsächlichen Einsatzzweck der Brennstoffzellenfahrzeuge wurde das Pendeln zum Arbeitsplatz am häufigsten genannt (12 von 15 Teilnehmern). Knapp dahinter liegen Geschäftsfahrten und Fahrten zum Einkaufen, welche von elf Teilnehmern als Einsatzzwecke angegeben wurden. Auch die Nutzung des Fahrzeugs für Sport und Freizeit gaben zehn Teilnehmer an. Bei dieser Frage waren Mehrfachnennungen möglich.

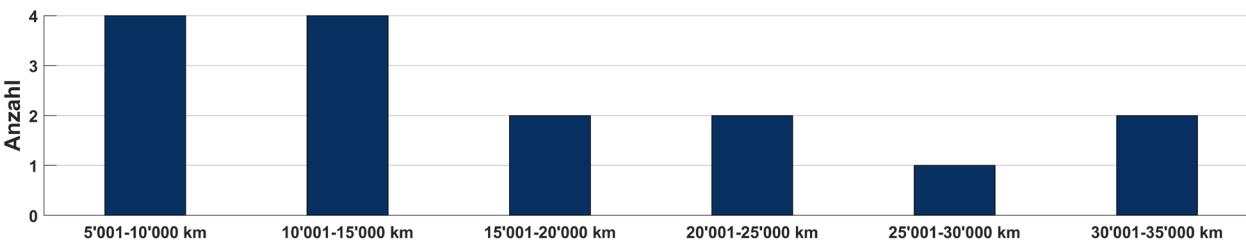


Abb. 34 Jährliche Laufleistung der Brennstoffzellen-Fahrzeuge

In obigem Diagramm sind die Angaben zur jährlichen Laufleistung der 15 Brennstoffzellen-Fahrzeuge dargestellt. Es zeigt, dass der Einsatz der Brennstoffzellen-Fahrzeuge dem konventioneller Fahrzeuge entspricht und sie diese ohne weiteres ersetzen können (kein Einsatz als Zweitfahrzeug). Einige Umfrageteilnehmer sind Aussendienstmitarbeiter von Coop und legen jährlich grosse Distanzen zurück.

Auf Fragen zu Vor- und Nachteilen und Verbesserungspotentialen wurde erwartungsgemäss mit grosser Häufigkeit das Fehlen einer Wasserstoff Tankstelleninfrastruktur als Nachteil genannt. Des Weiteren wurde bemängelt, dass die zum Zeitpunkt der Umfrage verfügbaren Modelle trotz hohem Preis verhältnismässig wenig böten (z.B. wenig Fahrerassistenzsysteme, kein 4x4). Einige gaben auch an, dass die Reichweite noch ungenügend sei. Andere verglichen die Reichweite mit batterie-elektrischen Fahrzeugen und nannten sie als Vorteil des Brennstoffzellen-Fahrzeugs. Als Pluspunkt wurde zudem hervorgehoben, dass der zur Verfügung stehende Wasserstoff aus einheimischem erneuerbarem Strom hergestellt wird. Ausserdem könnte das Fahrzeug innerhalb weniger Minuten betankt werden, sei lokal emissionsfrei und absolut alltagstauglich. Einige freuen sich über die Vorreiterrolle, welche sie als erste Brennstoffzellen-Fahrzeugbetreiber einnehmen können.



## 5 Schlussfolgerungen und Fazit

Das vierjährige Projekt konnte erfolgreich abgeschlossen und die gesteckten Ziele erreicht werden. Mit einigen Projektresultaten wurde ein grosser Impact erzielt und die Weiterentwicklung der Wasserstoffmobilität in der Schweiz konnte massgeblich vorangetrieben werden. Nachfolgende Auflistung zeigt die wichtigsten Errungenschaften.

- **Verkauf von Brennstoffzellen-Personenwagen in der Schweiz lanciert (Hyundai/Toyota)**  
Der Aufbau und Betrieb der ersten beiden für Private zugänglichen Wasserstoff-Tankstellen in der Schweiz, bildete die Grundlage für die Immatrikulation der ersten Brennstoffzellen-Personenwagen in der Schweiz im Jahr 2015.
- **Hürden zum Ausbau der Wasserstoff-Tankstelleninfrastruktur abgebaut**
  1. Mit dem Leitfaden zum Aufbau von Wasserstoff-Tankstellen wird das Durchlaufen des Genehmigungsprozesses für Tankstellenbauer und Behörden zukünftig unterstützt.
  2. Die Re-Definition der Ex-Zoneneinteilung bei der Betankung von Wasserstoff in Zusammenarbeit mit der Suva ermöglicht die vereinfachte Integration von Wasserstoff-Zapfsäulen in konventionelle Tankstellen und verhindert Mehrkosten.
  3. Mit der Initiierung eines Merkblatts zur interkantonalen Harmonisierung von Vorschriften zu Wasserstoff-Tankstellen (z.B. Brandschutzbauvorschriften) und der Durchführung erster Eichmessungen in Zusammenarbeit mit METAS konnte die Grundlage zum Abbau weiterer Hürden gelegt werden.
- **Förderung der Bekanntheit bzw. des Bewusstseins für die Wasserstoffmobilität**  
Durch Auftritte im Fernsehen/Radio sowie Artikel in Zeitungen und Fachzeitschriften  
Durch zwei Auftritte an der GIMS (Genfer Autosalon)  
Durch öffentliche Anlässe und Events (z.B. Eröffnung)  
Durch Workshops  
Durch Führungen auf den Anlagen (*move*-Besucher: > 100 pro Monat)
- **Basis für Initiativen im Bereich der Wasserstoffmobilität geschaffen**  
In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern konnte im Rahmen des vorliegenden Projektes eine Basis geschaffen werden, auf welcher darauffolgende Initiativen zur Verbreitung der Wasserstoffmobilität in der Schweiz aufzubauen. Beispielsweise sind hier die Bestrebungen des Fördervereins H2 Mobilität Schweiz zu nennen, an welchem namhafte Vertreter von Logistik und Tankstellenbetreibern beteiligt sind. Know-how-Träger in diesem Verein ist Projektpartner H2 Energy. Zusammen mit Projektpartner Hyundai sollen bis 2025 1'600 Brennstoffzellen-Lastwagen in die Schweiz gebracht und gleichzeitig eine Grundinfrastruktur mit 50 – 80 Tankstellen aufgebaut werden.

Die Wasserstoffmobilität in der Schweiz ist erst am Anfang und es sind viele weitere Anstrengungen nötig, um deren Verbreitung voranzubringen. Mit den Resultaten des vorliegenden Projektes konnte aber ein entscheidender Schritt nach vorne gemacht werden.



## 6 Nationale und internationale Zusammenarbeit

### Auf nationaler Ebene

#### *Zusammenarbeit mit Industriepartnern (mit finanzieller Beteiligung)*

H2 Energy	Erfahrungsaustausch bezüglich Planung, Realisierung und Einhaltung von gesetzlichen Bestimmen beim Bau, Betrieb und Wartung von Wasserstoff-Tankstellen
Hyundai	Erfahrungsaustausch bezüglich Nutzung von Brennstoffzellen-Fahrzeugen und Tankstellen

#### *Zusammenarbeit mit Projektpartnern (ohne finanzielle Beteiligung)*

METAS	Erfahrungsaustausch bezüglich Eichmessungen von Wasserstoff-Zapfsäulen Zudem: mit Metrologischen Instituten aus weiteren europäischen Ländern wurde im Jahr 2017 das EU-Projekt „MetroHyVe“ gestartet, welches unter anderem die Themen „Eichung“ und „Wasserstoff-Reinheit“ adressiert. METAS und Empa sind an diesem Projekt beteiligt (METAS hat die Leitung eines Arbeitspakets)
Stäubli	Kontakte in Bezug auf die Lecktest-Vorrichtung (Stutzen und Kupplung)

#### *Erfahrungsaustausch mit Wasserstoff-Tankstellenbetreibern*

Es besteht ein aktiver Erfahrungsaustausch mit den Betreibern der übrigen Wasserstoff-Tankstellen in der Schweiz. Namentlich:

- Hunzenschwil, H2 Energy / Coop -> in Projekt integriert
- Martigny, EPFL

Neben bilateralen Kontakten findet ein regelmässiges Treffen (Erfa-Gruppe) zum Thema Power-to-Gas statt, welches von der Hochschule Rapperswil organisiert wird. Neben der Produktion von strombasierten Kraftstoffen, werden dabei auch Erfahrungen zu deren Betankung ausgetauscht. Die Vertreter der Tankstellen Hunzenschwil und Martigny nehmen ebenfalls an diesen Treffen teil.

Ein intensiver Erfahrungsaustausch mit anderen Tankstellen- und PtX-Anlagen-Betreibern findet zudem über das Projekt *CEDA* (SCCER JA) statt, welches Anfang 2017 gestartet wurde.

### Auf internationaler Ebene

#### *Erfahrungsaustausch mit Wasserstoff-Tankstellenbetreibern*

Auch mit Betreibern von Wasserstoff-Tankstellen im Ausland bestehen Kontakte und es werden gelegentlich Erfahrungen ausgetauscht. Beispielsweise:

- Freiburg (DE), Fraunhofer ISE
- Bozen (IT), Institut für innovative Technologien (IIT)

#### *Erfahrungsaustausch mit Graforce Hydro GmbH & Schulz Systemtechnik (DE)*

Die Empa übernimmt eine Beratungsfunktion im Projekt „CombiFuel“ (Projektleitung Graforce), welches im Themenbereich Power-to-Gas und Betankung gasförmiger Kraftstoffe angesiedelt ist.



Über das im 2017 gestartete Projekt *efficient Hydrogen Fueling* bestehen zudem Kontakte zu Schulz-Systemtechnik, welche ihr Tätigkeitsfeld im Anlagenbau erweitern und sich Kompetenzen zur Realisierung von Wasserstoff-Tankstellen erarbeiten. Schulz-Systemtechnik baut unter anderem die Anlage für Graforce Hydro.

#### *Wenger Engineering GmbH (DE)*

Kontakte bestehen auch zu Wenger Engineering, welche unter anderem eine hohe Kompetenz in der Betankung von gasförmigen Kraftstoffen aufweisen (Mitwirkung bei der Erstellung des Standards SAE J2601).

#### *TME - Toyota Motor Europe (Belgien)*

Vertreter von TME besuchten die Empa im September 2017. Bei Testfahrten auf Schweizer Strassen mit dem Brennstoffzellenfahrzeug-Fahrzeug Mirai betankten sie ihre Fahrzeuge in Hunzenschwil und an der Empa. Während den Betankungen wurden von TME und der Empa Messungen durchgeführt, welche im Anschluss ausgetauscht wurden.

#### *Hydrogen Europe*

Die Empa ist Mitglied bei Hydrogen Europe. Im Rahmen von Sitzungen von Hydrogen Europe Research findet ein Informationsaustausch auf europäischer Ebene statt.

#### *Projekt MetroHyVe (siehe auch Nationale Zusammenarbeit Abschnitt METAS)*

Das EU-Projekt MetroHyVe zielt auf die Reduktion bzw. Beseitigung von weltweit bestehenden Hindernissen für eine Verbreitung der Wasserstoffmobilität ab. Insbesondere stehen die Erreichung der Eichfähigkeit für Wasserstoff-Zapfsäulen sowie die Überprüfung der Reinheit des an den Zapfsäulen ausgegebenen Wasserstoffs im Mittelpunkt. Die Empa nimmt zusammen mit 20 weiteren Instituten und Firmen aus Europa an diesem Projekt teil (siehe: <http://www.metrohyve.eu/>).



## 7 Kommunikation & Publikationen

Neben dem Austausch mit Vertretern aus der Branche wie in vorangegangenem Kapitel beschrieben, wurden Projektinhalt und -ergebnisse auch über verschiedene Kanäle an Fachpublikum und Öffentlichkeit kommuniziert.

### *Medienmitteilungen zur Eröffnung der Wasserstoff-Tankstellen*

- Medienmitteilung Empa vom 06.10.2016 [3]
- Medienmitteilung Coop vom 04.11.2016 [4]
- Medienmitteilung Hyundai vom 04.11.2016 [5]

### *Auftritte im Fernsehen und Radio*

- SRF Tacho, 04.09.2016  
Beitrag mit dem Titel „Wasserstoffauto“
- Radio SRF – Regionaljournal Zürich/Schaffhausen, Oktober 2016  
Beitrag im Rahmen der Regionalnachrichten
- SRF Tagesschau, 04.11.2017  
Beitrag zur Eröffnung der ersten öffentlichen Wasserstoff-Tankstelle in Hunzenschwil
- SRF Einstein, Februar 2017  
Sendung mit dem Titel “Fahren mit Gas”
- SRF Tagesschau, 01.06.2019  
Beitrag mit dem Titel „Wasserstoff, Treibstoff der Zukunft“
- SRF Radio – Sendung Rendez-vous, 28.06.2019  
Beitrag mit dem Titel „Mehr Wasserstoff-Tankstellen in der Schweiz“ (wurde im Rahmen der Abschlussveranstaltung des vorliegenden Projektes aufgenommen)

### *Artikel in Zeitungen*

- Zürcher Oberländer & Glatttaler, 17.02.2016  
Artikel mit dem Titel „Wasserstoff ist ein zentrales Element“
- NZZ, 01.04.2016  
Artikel mit dem Titel „Wie der Wasserstoff in den Tank kommt“
- Tagesanzeiger, November 2016  
Artikel mit dem Titel „Mit fünf Kilo Wasserstoff über 5 Pässe“

### *Artikel in Fachzeitschriften*

- Hydropole - Hydrogen Report Switzerland, 2016 – 2017  
Artikel mit dem Titel “move: the future mobility demonstrator at Empa”
- Jahresbericht Empa, 2017  
Artikel mit dem Titel „move: Bereit für die nächste Ausbaustufe“



- Swiss Engineering STZ/RTS Sonderausgabe Energie/énergie, April 2018  
Artikel mit dem Titel „Wie Wasserstoff-Autos sicher tanken können“  
(Dieser Artikel wurde im Auftrag des BFE erstellt und über verschiedene weitere Stellen veröffentlicht. Z.B.: ee-news.ch, Energierundschau, BFE-Webpage)
- energate-messenger Schweiz, April 2018  
Artikel mit dem Titel „Wasserstoff-Tankstellen: Noch drei Probleme“
- Artikel im Aqua&Gas, September 2018 (Ausgabe Nr. 9)  
Artikel mit dem Titel „Betankung gasförmiger Treibstoffe“
- TEC 21 (Schweizerische Bauzeitung), November 2018  
Artikel mit dem Titel „Geteilte E-Mobilität“
- Jahresbericht Empa, 2018  
Artikel mit dem Titel „Auf dem Weg in die postfossile Mobilität“

#### *Kapitel in Fachbuch (auf Englisch)*

- De Gruyter – Buchserie zu Wasserstoff (mit drei Bändern), erscheint vorauss. Ende Jahr  
Voraussichtlicher Titel des Kapitels ist „Hydrogen Refuelling of Road Vehicles“

#### *Anlagenbesichtigungen*

Als Teil der Power-to-Gas Demonstrationsanlage *move* wird die Wasserstoff-Tankstelle der Empa mehrmals wöchentlich von Vertretern aus Industrie, Wissenschaft und Politik besucht. Im Schnitt liegen die Besucherzahlen bei ca. 100 Personen pro Monat.

Im Rahmen des Vorgänger-Projektes „Future Mobility“ wurde eine 3D-Visualisierung der Anlage erstellt, welche vor Ort über einen Touchscreen und auf der Empa Webpage abrufbar ist. Über die Visualisierung können Interessierte Informationen zur Funktion der Anlage und Ihrer einzelnen Komponenten sowie auch aktuelle Betriebswerte (Output Photovoltaik-Anlage, Produktion Elektrolyse, etc.) abrufen. Die Visualisierung umfasst auch die Komponenten für die Betankung bei 70 MPa.

Im 2017 wurde zudem eine Station für den „Umweltveloweg“ errichtet, welcher an der Empa vorbeiführt. Die Station ist unmittelbar vor dem *move* platziert und stellt ein familienfreundliches Buch bereit, welches die Anlage auf einfache Weise erklärt.

#### *Weiteres*

- Das Projekt wurde an verschiedenen Fachveranstaltungen und Workshops vorgestellt und diskutiert.
- Im 2018 und im 2019 beteiligte sich die Empa mit den Partnern Avenergy Suisse (ehemals Erdölvereinigung), Hyundai und Amag an der Ausstellung „Tankstelle der Zukunft“ an der Geneva International Motor Show (Genfer Autosalon).



## 8 Literaturverzeichnis

- [1] SAE J2601 Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles, SAE International, 2016
- [2] SAE J2799 70 MPa Compressed Hydrogen Surface Vehicle Fuelling Connection Device and Optional Vehicle to Station Communications, SAE International, 2007
- [3] Medienmitteilung zur Eröffnung der Wasserstoff-Tankstelle an der Empa:  
<https://www.empa.ch/web/s604/move-700bar>, 2016
- [4] Medienmitteilung zur Eröffnung der Wasserstoff-Tankstelle in Hunzenschwil (Coop):  
<https://www.coop.ch/de/ueber-uns/medien/medienmitteilungen/2016/coop-eroeffnet-erste-oef-fentliche-wasserstofftankstelle-der-schweiz.html>, 2016
- [5] Medienmitteilung zur Eröffnung der Wasserstoff-Tankstelle in Hunzenschwil (Hyundai):  
<https://press.hyundai.ch/meilenstein-in-der-schweizer-mobilitat#>, 2016
- [6] Genehmigungsleitfaden für Wasserstoff-Stationen, NOW GmbH - Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
- [7] Merkblatt 2153, Explosionsschutz - Grundsätze Mindestvorschriften Zonen, Suva, 2013



## 9 Anhang

Medienmitteilung zur Eröffnung der Wasserstoff-Tankstelle an der Empa.....	I
Medienmitteilung zur Eröffnung der Wasserstoff-Tankstelle in Hunzenschwil (Coop) .....	II
Medienmitteilung zur Eröffnung der Wasserstoff-Tankstelle in Hunzenschwil (Hyundai).....	III
Spezifikationen Demonstrationsanlage <i>move</i> .....	IV
Spezifikationen Wasserstoffproduktionsanlage Aarau.....	V
Spezifikationen Wasserstofftankstelle Hunzenschwil .....	VI



## **Anhang I**

«move» mit 700 bar-Wasserstoftankstelle

# Schnell betankt und grosse Reichweite

06.10.2016 | MICHAEL HAGMANN

Auf ihrem Campus in Dübendorf hat die Empa die erste Wasserstoftankstelle der Schweiz für Personenwagen mit einem Fülldruck von 700 bar in Betrieb genommen. Damit lassen sich Brennstoffzellen-Fahrzeuge in zwei bis drei Minuten betanken. Die Tankstelle ist Teil des Mobilitätsdemonstrators «move» und wird für verschiedene Projektfahrzeuge der Empa sowie für Wasserstofffahrzeuge von privaten Besitzern genutzt.



Der vom Bundesamt für Energie (BFE), von Coop und verschiedenen anderen Industriepartnern unterstützte Mobilitätsdemonstrator «move» auf dem Empa-Areal in Dübendorf ist seit November 2015 in Betrieb; er bietet neben einer Elektro-Tankstelle auch Zapfsäulen mit Erd-/Biogas (CNG für «compressed natural gas») und mit einer Mischung von Erd-/Biogas und Wasserstoff (HCNG). Reiner Wasserstoff stand bis anhin mit einem Fülldruck von 350 bar zur Verfügung. Dieser Druck eignet sich in erster Linie für die Betankung von Nutzfahrzeugen, die über grosse Tanks verfügen. Mit der nun neu aufgebauten 700 bar-Zapfsäule für Wasserstoff reagiert die Empa auf die Bedürfnisse von Brennstoffzellen-Personenfahrzeugen: kompakte Tanks, möglichst grosse Reichweite und eine schnelle Betankung. Personenwagen mit Wasserstoffantrieb lassen sich damit innerhalb von 2 bis 3 Minuten betanken und haben bei vollem Tank eine Reichweite von bis zu 600 km. Damit werden Brennstoffzellen-Fahrzeuge gegenüber herkömmlichen Benzin- oder Dieselfahrzeugen hinsichtlich des Betankungskomforts auf einen Schlag konkurrenzfähig.

Um die rasche Betankung zu ermöglichen, wird der komprimierte Wasserstoff auf -40°C vorgekühlt. Dies ist nötig, damit die Temperatur im Tank durch die Kompressionswärme, die während der Betankung entsteht, nicht zu stark ansteigt. Über eine intelligente Infrarot-Schnittstelle «kommuniziert» das Fahrzeug während des Tankvorgangs mit der Zapfpistole und macht etwa Angaben zu Temperatur und Füllstand. Die neue Wasserstoftankstelle der Empa ist eng verknüpft mit der ersten komplett öffentlichen Wasserstoftankstelle in Hunzenschwil, welche die Coop Mineraloel AG in Zusammenarbeit mit der «H<sub>2</sub> Energy AG» Anfang November eröffnen wird.

## **Der Schlüssel zum Erfolg: erneuerbare Energien speichern zu können**

Wasserstoff ist ganz wesentlich für die Integration von erneuerbarer Energie, die nicht immer dann anfällt, wenn sie gebraucht wird. Deshalb muss man in der Lage sein, sie zwischenzuspeichern. Heute stehen dazu auf der untersten Stromnetzebene kleinskalige Batteriespeicher beziehungsweise grosskalige Pumpspeicherkraftwerke auf der höchsten Netzebene zur Verfügung. Immer mehr zeigt sich aber der Bedarf an Technologien, die kapazitäts- und leistungsmässig dazwischen liegen und auf einer mittleren Netzebene angebunden sind. Dazu zählen etwa «Power-to-Gas»-Anlagen. Diese können erneuerbaren Strom immer dann, wenn er im Strommarkt nicht wirtschaftlich eingesetzt werden kann, in Treibstoff, etwa Wasserstoff oder Methan, umwandeln und so Benzin und Diesel ersetzen.

Das ist vor allem für «Vielfahrer» sinnvoll: Rund 20% der Fahrzeuge in der Schweiz weisen jährliche Fahrleistungen von mehr als 20'000 km auf und sind zusammen für fast die Hälfte aller gefahrenen Kilometer verantwortlich. Um solche Fahrzeuge von fossiler auf erneuerbare Energie umzustellen, sind daher hohe Reichweiten erforderlich, die rein elektrisch betriebene Fahrzeuge mit Batterie zumindest in naher Zukunft nicht bieten können. Wasserstofffahrzeuge eignen sich dagegen auch für Langstreckenfahrten. Die Empa untersucht an der nun erweiterten Tankstelle verschiedene Nutzungsarten von Wasserstoff: direkt für Arbeitsmaschinen, Nutzfahrzeuge und Personenwagen mit Brennstoffzellen sowie als Beimischung zu Erd-/Biogas für Gasfahrzeuge.



## «move» – Demonstrations- und Technologietransfer-Plattform für die Mobilität der Zukunft

«move» ist ein Demonstrationsprojekt der Empa und wird unterstützt von zahlreichen Partnern aus der Forschung, der Wirtschaft und von Seiten der öffentlichen Hand. Zu den Hauptpartnern gehören der ETH-Rat, das Bundesamt für Energie (BFE), die Stadt Dübendorf und die Glattwerk AG sowie die Unternehmen AtlasCopco, H2 Energy und Hyundai. Hinzu kommt eine Reihe akademischer und industrieller Partner, die bei einzelnen Projekten im Rahmen des Demonstrators mitwirken.

---

### Mehr Informationen

Christian Bach  
Abteilung Fahrzeugantriebssysteme  
Tel. +41 58 765 41 37  
christian.bach@empa.ch

---

## Medienkontakt

Stephan Kälin  
Abteilung Kommunikation  
Tel. +41 58 765 49 93  
redaktion@empa.ch

---

## Video

Beitrag in der Sendung «tacho» zum ersten privaten Halter eines Wasserstofffahrzeugs – mit Tankstopp an der Empa.



---

## Bilder

Download von Bildern mit hoher Auflösung hier

---

## Audio





0:00 / 4:01

**Künftig sollen mehr Fahrzeuge mit Wasserstoff als Treibstoff fahren. Die Empa betreibt eine der aktuell zwei Wasserstoftankstellen in der Schweiz. Empa-Forscher Urs Cabalzar spricht über Vorteile und Herausforderungen des Antriebs mit Wasserstoff.**

[www.srf.ch/sendungen/rendez-vous/](http://www.srf.ch/sendungen/rendez-vous/)



## **Anhang II**

Home > Medienmitteilungen > 2016 >

04.11.2016

Coop investiert in ein visionäres Mobilitätssystem.

## Coop eröffnet erste öffentliche Wasserstofftankstelle der Schweiz

**Heute Freitag, 4. November hat die Basler Detailhändlerin in Hunzenschwil (AG) die erste öffentliche Wasserstofftankstelle der Schweiz eröffnet. Gleichzeitig hat sie den weltweit ersten mit Wasserstoff betriebenen Lastwagen mit Anhänger, welcher die Anforderungen für die Coop-Logistik erfüllen kann, und zwölf Wasserstoff-Personenwagen in die eigene Wagenflotte aufgenommen. Der für den Antrieb notwendige Wasserstoff wird am wenige Kilometer entfernten Laufwasserkraftwerk der IBAarau in Aarau CO2- und schadstofffrei durch die H2 Energy AG produziert und an die Coop Mineraloel AG geliefert. Coop macht damit einen wegweisenden Schritt hin zu einer nachhaltigen Mobilität.**



In Hunzenschwil hat die Coop Mineraloel AG heute die erste öffentliche Wasserstofftankstelle der Schweiz eröffnet, weitere Wasserstofftankstellen in anderen Schweizer Regionen sind bereits in Planung. «Wir möchten für die Zukunft gerüstet sein, denn die Nachfrage nach fossilen Treibstoffen sinkt, Mobilität wird es aber immer geben. Mit unserer eigenen Wasserstofftankstelle und den Wasserstofffahrzeugen von Coop haben wir beste Voraussetzungen, um mit diesem neuen Treibstoff Erfahrungen zu sammeln», äussert sich Roger Oser, Vorsitzender der Geschäftsleitung der Coop Mineraloel AG.

### Antrieb für nachhaltige Antriebsform

«Wir wollen die Initialzündung geben und dazu beitragen, dass eine zukunftsweisende Technologie den Durchbruch schafft», verkündete Joos Sutter, Vorsitzender der Geschäftsleitung von Coop, in Hunzenschwil. «Indem wir eine Wasserstofftankstelle eröffnen und gleichzeitig einen ersten Wasserstoff-Lastwagen und zwölf Wasserstoff-Personenwagen in die eigene Wagenflotte aufnehmen, sorgen wir für Angebot und Nachfrage», so Joos Sutter weiter. Die zwölf Personenwagen werden Mitarbeitenden der nahegelegenen Verteilzentrale Schafisheim als Firmenwagen zur Verfügung gestellt. Der Lastwagen wird ebenfalls in Schafisheim eingesetzt, und zwar zur Belieferung der Verkaufsstellen der Region Nordwestschweiz-Zentralschweiz-Zürich.

### Wasserstofffahrzeug: 100 % Leistung – 0 % Abgase

In der Handhabung unterscheidet sich ein Wasserstofffahrzeug nur unwesentlich von einem mit fossilen Brennstoffen betriebenen Fahrzeug: Betankungszeit, Reichweite mit einer Tankfüllung sowie Betriebskosten pro gefahrenem Kilometer sind praktisch identisch. Der grosse Unterschied besteht darin, dass ein Wasserstofffahrzeug keine Schadstoffe ausstößt.

### Wasserstoff aus Schweizer Wasserkraftwerk

Den Wasserstoff, welcher zum Antrieb des Wasserstoff-Lastwagens und der Wasserstoff-Personenwagen benötigt wird, lässt Coop am Laufwasserkraftwerk IBAarau in Aarau durch H2 Energy AG mittels Elektrolyse herstellen. Das

heisst, dass Wasser mit Energie aus dem Laufwasserkraftwerk in seine Bestandteile Wasserstoff (H2) und Sauerstoff (O2) aufgespaltet wird: Die Elektrolyse am Laufwasserkraftwerk in Aarau findet vor allem dann statt, wenn die Nachfrage nach Strom im Netz gering ist. Bei der Produktion des Wasserstoffs werden weder CO2 noch andere Schadstoffe ausgestossen. Und auch beim Fahren mit dem Wasserstoff-Auto und -LKW strömt einzig Wasserdampf aus dem Auspuff. Deshalb läuft der Wasserstoff bei Coop unter der Nachhaltigkeitseigenmarke Oecoplan.

## Taten statt Worte Nr. 326

Unter dem Motto Taten statt Worte fasst Coop ihre Taten für mehr Nachhaltigkeit zusammen. Seit über 25 Jahren engagiert sich die Detailhändlerin mit Partnern tatkräftig für nachhaltigen Konsum, Umweltschutz und Soziales. Über 320 Taten umfasst die Plattform [www.taten-statt-worte.ch](http://www.taten-statt-worte.ch) und es kommen laufend neue dazu. Um die Zukunft zu verbessern, engagiert sich Coop im Hier und Jetzt für Mensch, Tier und Natur. Die Eröffnung der ersten öffentlichen Wasserstofftankstelle der Schweiz ist unsere Tat 326 ( [www.taten-statt-worte.ch/326](http://www.taten-statt-worte.ch/326) ).

## Downloads

- [Wasserstoffsystem Coop \(0.4 MB\)](#)
- [Factsheet Elektrolyse \(0.2 MB\)](#)
- [Factsheet Lastwagen \(0.2 MB\)](#)
- [Factsheet Tankstelle \(0.2 MB\)](#)

[Bilder zum Download \(302.4 MB\)](#)

[Bilder Eröffnung \(31.9 MB\)](#)

## Kontakt

Urs Meier, Leiter Medienstelle  
Tel. +41 61 336 71 10

Ramón Gander, Mediensprecher  
Tel. +41 61 336 71 67

Andrea Bergmann, Mediensprecherin  
Tel. +41 61 336 67 37

## Medien-Newsletter anfordern und

Ihre F

Jetzt Newsletter abonnieren



## informiert bleiben

Medien	Unternehmen	Services	Mehr zu Coop
Medienmitteilungen	Unternehmen	Standorte & Öffnungszeiten	Coop Supermarkt
Mediathek	Geschäftsbericht	Coopzeitung	Einkaufen
Social Media News	Nachhaltigkeit	Kundendienst	Supercard
Medienkontakt	Sponsoring	Geschäftsbericht	Hello Family Club
	Jobs	Adressen	Mondovino

## Folgen Sie uns





### **Anhang III**



# Meilenstein in der Schweizer Mobilität

Coop eröffnet die erste öffentliche Wasserstoff-Tankstelle der Schweiz und nimmt zwölf neue Hyundai ix35 Fuel Cell in den Fuhrpark auf

Freitag, 4. November 2016 — Coop schreibt Schweizer Mobilitätsgeschichte. Am 4. November 2016 eröffnete Coop Pronto in Hunzenschwil (AG) die erste öffentliche Wasserstoff-Tankstelle für Automobile und Nutzfahrzeuge. Gleichzeitig nimmt Coop zwölf neue Hyundai ix35 Fuel Cell in den eigenen Fuhrpark auf. Als globaler Leader in der Entwicklung und Fabrikation von Fahrzeugen mit Wasserstoffantrieb produziert Hyundai seit 2013 das weltweit erste, serienmäßig hergestellte Brennstoffzellenfahrzeug. Der ix35 Fuel Cell, ein modernes und alltagstaugliches Crossover-Fahrzeug, steht in der Schweiz bereits im Verkauf und kann – unter anderem – an der Auto Zürich Car Show 2016 getestet werden.

Für einmal kommt die Revolution still und leise an, in Form eines Hyundai ix35 Fuel Cell. Das weltweit erste Brennstoffzellenfahrzeug fährt elektrisch. Den Strom dafür produziert das Fahrzeug selbst, mit Wasserstoff, der direkt im Fahrzeug in elektrischen Strom umgewandelt wird. Das Resultat: 100% elektrisch, eine Reichweite von rund 600 km und weniger als 3

Minuten zum Tanken. Das ist heute Realität, zumindest bei Hyundai. Der Hyundai ix35 Fuel Cell verbindet diese fortschrittliche Antriebstechnologie mit allen Vorzügen und Qualitäten eines modernen Crossover-Fahrzeugs.

## Coop als Schweizer Pionier im Einsatz von Wasserstoff-Fahrzeugen

Ein Pionier allein genügt allerdings nicht, um die Technologie des Wasserstoffantriebs auf die Strasse zu bringen. Obwohl die Reichweite von 600 km einen grossen Aktionsradius zulässt, zählen die Verfügbarkeit von öffentlichen Tankstellen und die Produktion des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen zu den unabdingbaren Voraussetzungen, um dieser vielversprechenden Technologie zum Durchbruch zu verhelfen. An genau diesem Punkt setzt Coop an.

Einen wichtigen Meilenstein setzt Coop mit der Eröffnung der ersten öffentlichen Wasserstoff-Tankstelle in der Schweiz. Joos Sutter, Vorsitzender der Geschäftsleitung von Coop bei der offiziellen Einweihung im Hunzenschwil: «*Nachhaltigkeit ist ein zentraler, strategischer Pfeiler unseres Unternehmens. Wir investieren in die Zukunft und in ein visionäres Mobilitätssystem. Mit der Eröffnung der ersten öffentlichen Wasserstoff-Tankstelle in der Schweiz wollen wir die Initialzündung geben und dazu beitragen, dass eine zukunftsweisende Technologie den Durchbruch schafft.*»

Diego Battiston, Managing Director von Hyundai Suisse, begrüsst den Aufbau des Tankstellennetzes: «*Seit der Einführung des ersten Hyundai ix35 Fuel Cell vor rund einem Jahr hat sich in der Schweiz bereits viel bewegt. Bei der EMPA in Dübendorf steht bereits eine 700-bar-Tankstelle für Forschungszwecke im Einsatz, die ersten zehn von uns importierten Brennstoffzellenfahrzeuge sind seit Monaten in der Schweiz unterwegs und – das Beste – wir erhalten nur positive Rückmeldungen. Die Kunden schätzen die Annehmlichkeiten des Elektroantriebs genauso wie die hohe Reichweite und die Alltagstauglichkeit des Fahrzeugs. Diese neue Mobilität aber ist für unsere Kunden nur zugänglich, wenn auch die Versorgung mit Wasserstoff gewährleistet ist. Mit der Eröffnung der ersten öffentlichen Tankstelle setzt Coop ein wichtiges Zeichen in diese Richtung und leistet einen grossen Beitrag zur umweltfreundlichen und nachhaltigen Mobilität.*»

## Coop Wasserstoff-Tankstelle in Hunzenschwil (A1 Ausfahrt Aarau-Ost)

Die 700- sowie 350-bar-Wasserstofftankstelle an der Gewerbestrasse 1 in 5502 Hunzenschwil steht während den Öffnungszeiten der Coop Pronto Tankstelle zur Verfügung. Strategisch zentral gelegen, 500 m ab der Autobahnausfahrt Aarau-Ost, kann mit dem ix35 Fuel Cell (theoretisch) jeder Ort der Schweiz erreicht werden, inklusive Rückfahrt zum Tanken.

Der Wasserstoff an der Coop Pronto Tankstelle kostet 93 Rappen pro 100 g, was bei einer vollen Tankfüllung (und 600 km Reichweite) Treibstoffkosten von ca. CHF 52.45, bzw. CHF 0.08/km bedeutet.

## **Hyundai ix35 Fuel Cell testen: An der Auto Zürich Car Show 2016 ist es möglich**

Wer sich selber hinter das Lenkrad des weltweit ersten, serienmäßig hergestellten Fahrzeugs mit Wasserstoffantrieb setzen will, hat schon bald eine gute Gelegenheit dazu. Hyundai Suisse stellt an der kommenden Auto Zürich Car Show, vom 10. bis 13. November, einen Hyundai ix35 Fuel Cell aus und bietet vor Ort die Möglichkeit, das Fahrzeug auf der Strasse zu testen. Reservationen können direkt am Stand von Hyundai (Halle 2) getätigkt werden, ohne Voranmeldung.

### **Ein vollwertiges Fahrzeug**

Der Hyundai ix35 Fuel Cell ist in der Schweiz offiziell erhältlich, entweder zum Preis von CHF 66'990.- oder im Leasing. Nebst der hochmodernen Brennstoffzellen-Technologie verfügt das Fahrzeug über eine umfangreiche Ausstattung. Diese beinhaltet unter anderem das Radio-Navigationssystem mit integrierter Rückfahrkamera, aber auch Komfortelemente wie die Sitzheizung vorne, die 2-Zonen-Klimaautomatik oder die Einparkhilfe hinten. Die Zuverlässigkeit des Hyundai ix35 und der Brennstoffzellen-Technologie unterstreicht Hyundai mit der Werksgarantie von 5 Jahren oder 100'000 km.

### **01 B Fuel Cell Intro**



01 B Fuel Cell Intro

## 02 Hydrogen + Fuel Cells



02 Hydrogen + Fuel Cells

## Hyundai ix35 Fuel Cell



Hyundai ix35 Fuel Cell





COOP Medienbericht



COOP eröffnet erste öffentliche Wasserstofftankstelle in der Schweiz



Factsheet - Hyundais Meilensteine in der Brennstoffzellen-Technologie



Preisliste ix35 Fuel Cell



Techn. Daten zum ix35 Fuel Cell

## ÜBER HYUNDAI SUISSE

**Ihr Ansprechpartner** - Gerne steht das Public Relations Team Medienschaffenden für Auskünfte zur Verfügung. Für generelle Anfragen wenden Sie sich bitte an [info@hyundai.ch](mailto:info@hyundai.ch)

**HYUNDAI SUISSE** – BERSAN Automotive Switzerland AG ist der offizielle Importeur für Hyundai in der Schweiz. Die Erwähnung bestimmter Ausstattungen und Spezifikationen in den Pressemitteilungen ist nicht verbindlich. Gewisse Angaben, Ausstattungen und Zahlen sind für Modelle ausserhalb des Schweizer Marktes bestimmt.

 [hyundai.ch](http://hyundai.ch)  
 +41 44 816 43 00

Newsroom published with Prezly: PR Software

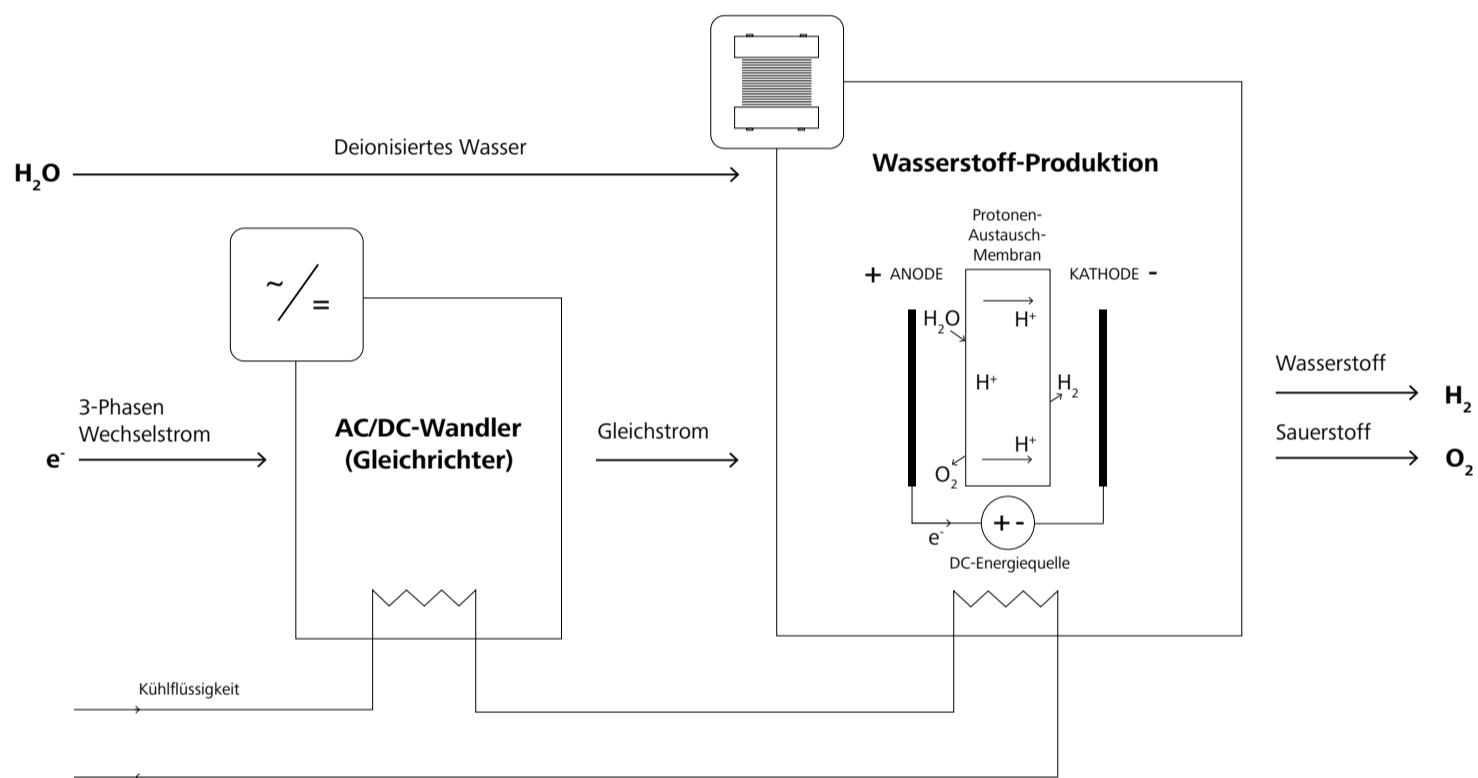




## **Anhang IV**

# Elektrolyseur

Im Elektrolyseur wird Wasser ( $H_2O$ ) in seine chemischen Bestandteile Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) gespalten. Dazu benötigt man elektrischen Strom, der aus Gründen der Nachhaltigkeit von erneuerbaren Energiequellen stammen sollte. Mit Hilfe der Elektrolyse kann somit elektrische Energie in einen chemischen Energieträger ( $H_2$ ) umgewandelt werden. Die Umwandlung bietet den Vorteil, dass sich Wasserstoff einfacher speichern und in der Mobilität nutzen lässt.



**Spezifikationen: PEM-Elektrolyseanlage (Polymer Electrolyte Membrane)**

**180** kW

Nennleistung

**99.9998** %

Reinheit

**3** MPa

Ausgangsdruck

**5.8** kWh/Nm<sup>3</sup>

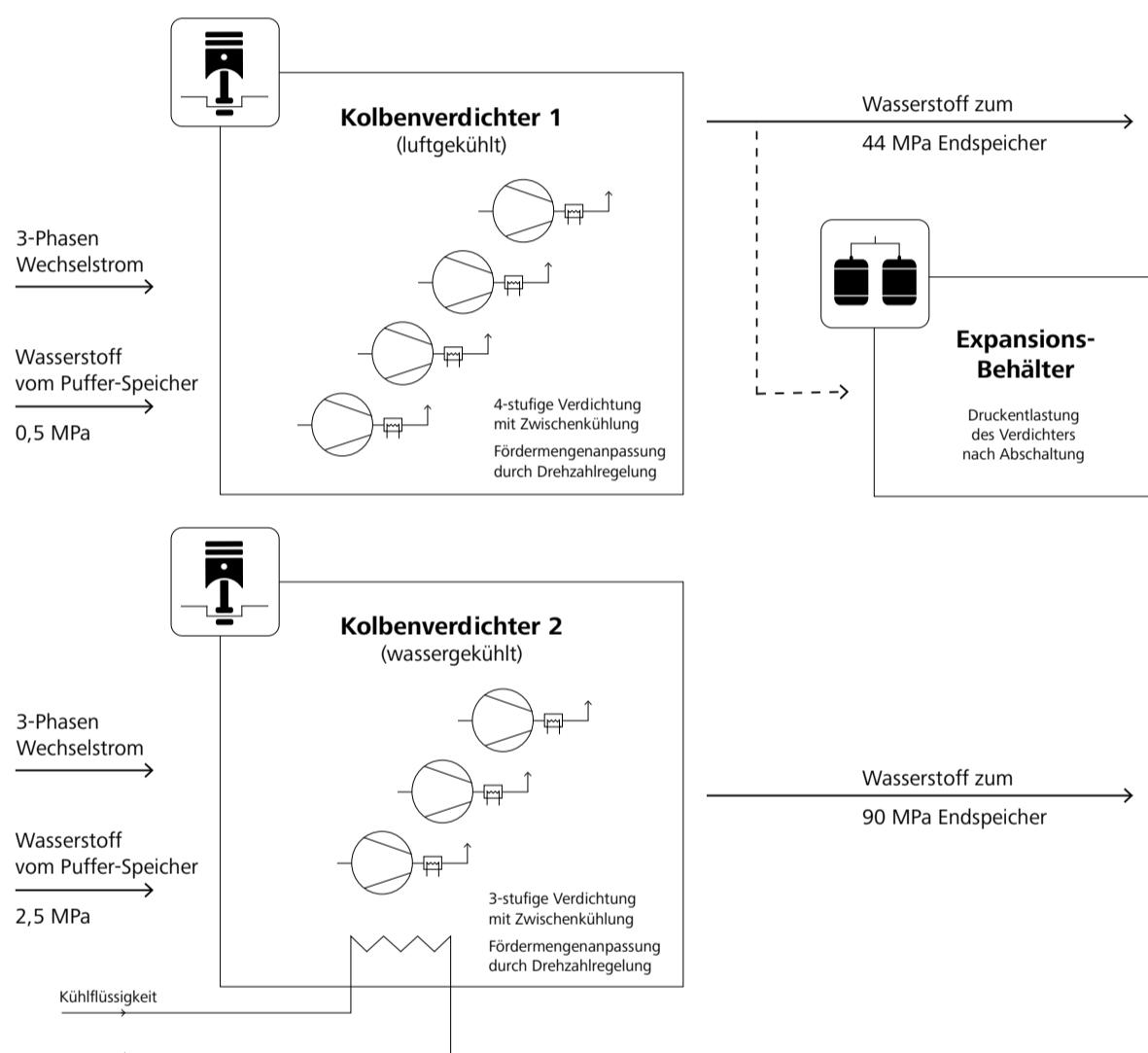
Spezifischer Energieverbrauch

**30** Nm<sup>3</sup>/h / **2.7** kg/h

Max. Produktionsrate

# Verdichter

Im Verdichter wird der Wasserstoff vom Ausgangsdruck des Elektrolyseurs über mehrere Stufen auf den Endspeicherdruck komprimiert. Dadurch erhöht sich der Energieinhalt pro Volumeneinheit, was die Speicherung einer grösseren Menge Wasserstoff in Druckspeichern ermöglicht. Das hohe Druckniveau in den Druckspeichern ist die Voraussetzung für eine rasche Betankung der Fahrzeuge.



## Spezifikationen: Kolbenverdichter 1 (luftgekühlt)

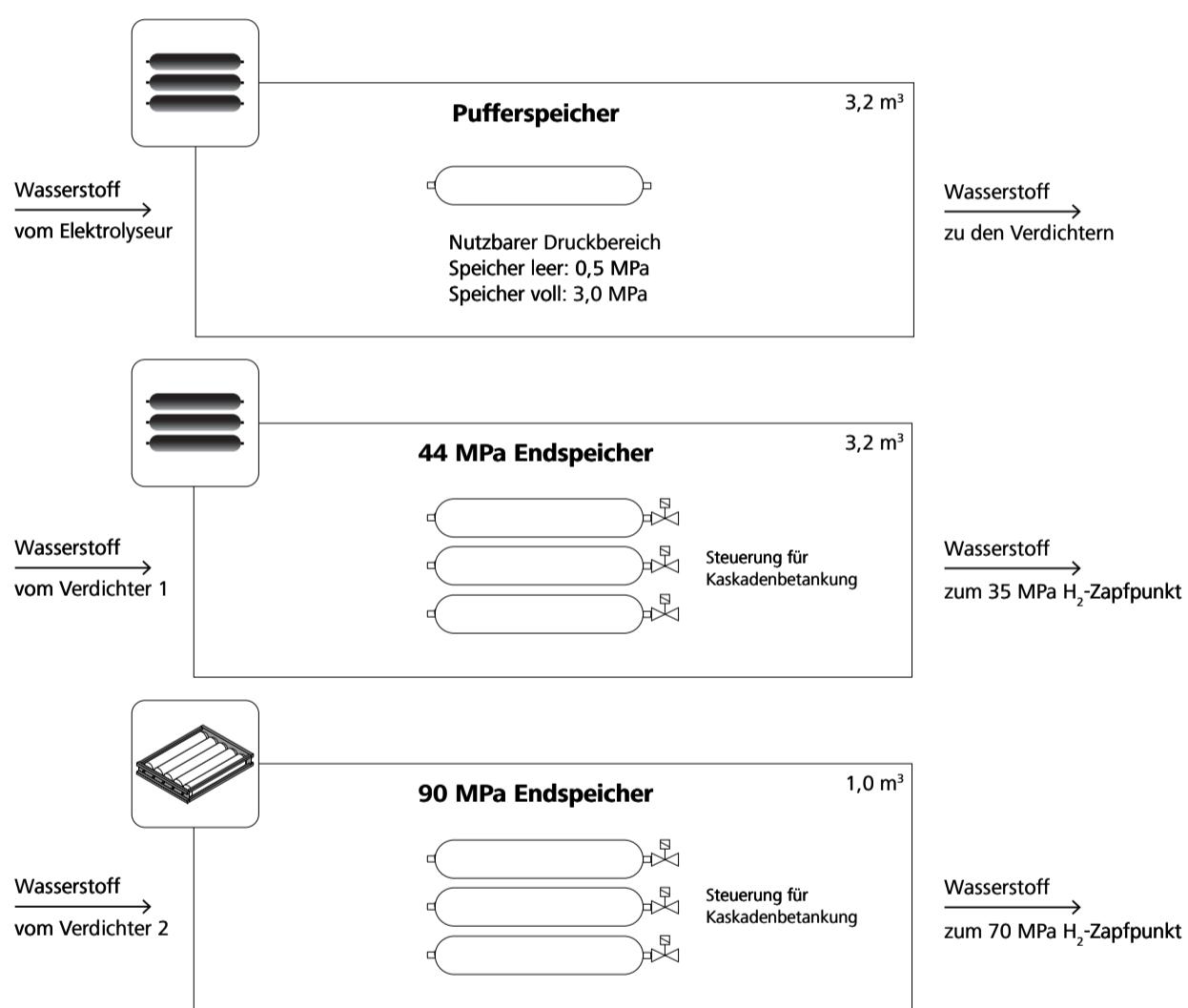
<b>0.5</b> MPa	<b>30</b> kW
Eingangsdruck	Nennleistung
<b>65</b> Nm <sup>3</sup> /h / <b>5.9</b> kg/h	<b>4</b>
Maximale Förderleistung	Verdichterstufen
	<b>44</b> MPa
	Maximaler Ausgangsdruck

## Spezifikationen: Kolbenverdichter 2 (wassergekühlt)

<b>2.5</b> MPa	<b>45</b> kW
Eingangsdruck	Nennleistung
<b>150</b> Nm <sup>3</sup> /h / <b>13.5</b> kg/h	<b>3</b>
Maximale Förderleistung	Verdichterstufen
	<b>90</b> MPa
	Maximaler Ausgangsdruck

# Speicher

Die Speicherung des Wasserstoffs erfolgt in zwei Schritten: Die Pufferspeicher zwischen Elektrolyseur und Verdichter dienen der Nivellierung von Produktionsschwankungen und verschaffen der Gesamtanlage eine höhere Betriebsflexibilität. Der Speicherdruck kann dabei zwischen 0.5 MPa (leer) und 3 MPa (voll) schwanken. Nach der Verdichtung gelangt der Wasserstoff in die Endspeicher, wo er bei einem Enddruck von 44 MPa zur Betankung von Nutzfahrzeugen beziehungsweise von 90 MPa zur Betankung von Personenwagen gespeichert wird.



## Spezifikationen: Kohlefaser-Druckbehälter

Pufferspeicher

**3.2** m<sup>3</sup> **0.5–3** MPa  
Geometrisches Volumen Druckbereich

1. Endspeicher

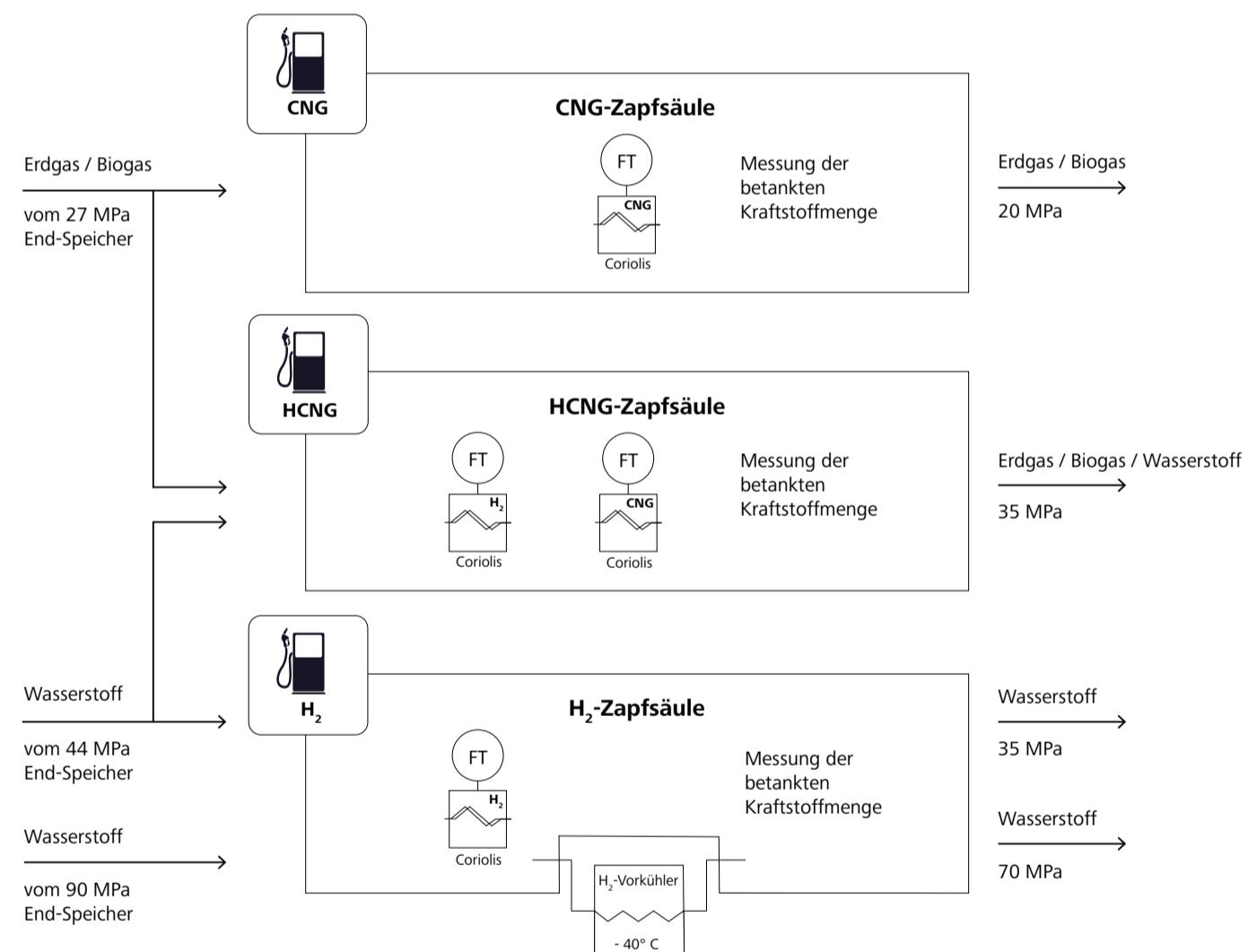
**3.2** m<sup>3</sup> **44** MPa  
Geometrisches Volumen Maximaler Druck

2. Endspeicher

**1** m<sup>3</sup> **90** MPa  
Geometrisches Volumen Maximaler Druck

# Tankstelle

Die Tankstelle umfasst drei Zapfsäulen, an welchen die drei gasförmigen Kraftstoffe Erdgas/Biogas (CNG), Wasserstoff ( $H_2$ ) und deren Gemisch (HCNG) getankt werden können. Die Betankungsdauer eines mit Erdgas/Biogas oder mit Wasserstoff betriebenen Personewagens ist dabei vergleichbar mit der Zeit, die nötig ist, um ein konventionelles Fahrzeug zu betanken. Wie bei flüssigen Kraftstoffen gelten auch für die Abgabe von gasförmigen Kraftstoffen strenge Sicherheitsbestimmungen.



## **Spezifikationen: Gasförmige Kraftstoffe**

CNG-Zapfsäule	HCNG-Zapfsäule	H <sub>2</sub> -Zapfsäule
<b>3</b> <i>min</i>	<b>20</b> <i>MPa</i>	<b>35</b> <i>MPa</i>
Ungefähr Betankungszeit für Pkw	Nenndruck bei 15°C	Nenndruck bei 15°C



## **Anhang V**

# In Aarau steht die weltweit erste PEM-Elektrolyseanlage\*, welche direkt an einem Wasserkraftwerk nachhaltig Wasserstoff erzeugt

$H_2$  Energy und IBAarau realisieren gemeinsam den Bau einer Produktionsanlage für Wasserstoff, mit welchem die erste Coop-Wasserstofftankstelle beliefert wird.

Die Elektrolyse-Anlage in Verbindung mit einer Verdichter-Station ist die erste Anlage in der Schweiz, die direkt mit einem Wasserkraftwerk verbunden ist. Die Anlage bezieht ausschliesslich erneuerbare Energie und dient zur Versorgung von Tankstellen mit Wasserstoff-Zapfsäulen. Die Anlage befindet sich am Wasserkraftwerk der IBAarau in Aarau.

Die Schweiz, das Wasserschloss Europas, bietet dank ihrer Topographie und beträchtlichen durchschnittlichen Niederschlagsmengen ideale Bedingungen für die Wasserkraftnutzung. Nach wie vor ist die Wasserkraft in der Schweiz die wichtigste einheimische Quelle erneuerbarer Energie.

Mit der Energie der Wasserkraft kann das Wasser mittels Elektrolyse in Wasser- und Sauerstoff zerlegt werden. Wasserstoff bietet nicht nur die für die Energiewende unabdingbare Möglichkeit, (schwankende, erneuerbare) Energie in grösseren Mengen zu speichern, sondern kann diese auch ‚veredeln‘ und für andere Anwendungsgebiete und Märkte bereitstellen. In diesem Sinne kann die Energie zu Zeiten tiefer Strompreise oder Stromüberschuss in Wasserstoff umgewandelt und anderen Bereichen zugeführt werden. Mit der geplanten Wasserstoff-Produktionsanlage werden rund 2% der

Stromproduktion des Wasserkraftwerks in Wasserstoff umgewandelt.

## Umsetzung am Wasserkraftwerk Aarau

Die Erstellung der Wasserstoff-Produktionsanlage erfolgt beim Wasserkraftwerk der IBAarau Kraftwerk AG. Der Einbau der Wasserstoff-Produktionsanlage erfolgt in das bestehende Gebäude der ehemaligen 50 kV Schaltanlage.

Die Planung sieht eine jährliche Produktionsdauer von rund 7'500 Stunden vor. Bei der 200 kW Anlage ergibt dies eine erwartete Jahresproduktion von rund 20'000 kg  $H_2$ , dies ermöglicht den Betrieb von ca. 170 Personenwagen oder drei bis vier grossen LKWs.

Der Wasserstoff wird nach dem Elektrolyseur über einen Kompressor auf 200 bar verdichtet und in einem Trailer gespeichert.

## Wasserstoff-Produktion durch Elektrolyse

Unter Elektrolyse versteht man die Zersetzung von Wasser ( $H_2O$ ) in Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ), in diesem Fall mit Hilfe erneuerbaren Stroms des Kraftwerks.

Der Elektrolyseur kann innerhalb kurzer Zeit an Laständerungen angepasst, schnell

gestartet und auch wieder gestoppt werden. Durch die hohe Druckdifferenz zwischen dem  $H_2$ - und dem  $O_2$ -Gas kann keine störende Verunreinigung von  $O_2$  im  $H_2$  entstehen. Der Reinheitsgrad des produzierten Wasserstoffs, entspricht der Norm «SAE J2719» und erfüllt die hohen Anforderungen für Brennstoffzellen-Personenwagen.

## Wasserstoff-Logistik für die Mobilität

$H_2$  Energy AG hat mit der Coop Mineraloel AG einen Liefervertrag für erneuerbar hergestellten Wasserstoff abgeschlossen und wird den Wasserstoff mit einem eigenen Trailer auf der ersten Coop-Wasserstofftankstelle in Hunzenschwil ausbringen.

Da der Wasserstoff momentan steuerbefreit ist (keine Mineralölsteuer, LSVA, etc.), können auch bei den heute sehr tiefen Benzin- und Dieselpreisen, mit nachhaltigem Wasserstoff vergleichbare Treibstoffkosten pro Strecke wie mit herkömmlichen fossilen Treibstoffen erzielt werden. Sowohl aus ökologischer wie auch aus wirtschaftlicher Sicht ist die Umwandlung elektrischer Energie in Wasserstoff sinnvoll. Der Trailer wird aus Gründen der Qualitätssicherung einzig für den Transport des erneuerbaren  $H_2$  eingesetzt («Punkt-Punkt»).



Frontansicht des IBAarau  
Wasserkraftwerks in Aarau



Elektrolyseur



Wasserstoff-Trailer

## Technische Daten

### PEM-Elektrolyse

Lieferant	Diamond Lite S.A.
Hersteller	Proton OnSite (USA)
Typ	C Series, C 30, Proton Exchange Membrane (PEM)
Leistung elektrisch	5,8 kWh/Nm <sup>3</sup>
Ertrag	30 Nm <sup>3</sup> /h H <sub>2</sub> bzw. 2,7 kg H <sub>2</sub> /h
Ausgangsdruck	30 bar
Reinheit	99,9998%
Max. Wasserverbrauch	30 Liter/h

### Trailer

Lieferant	Messer Schweiz AG
Druckbehälter	10 Stahlbehälter
Betriebsdruck	200 bar
Geometrisches Volumen	23 m <sup>3</sup>
Wasserstoff-Transportkapazität	338 kg
Masse Trailer (ohne Zugfahrzeug)	Länge: 12,7 m Breite: 2,5 m Höhe: 3,6 m
Gewicht Trailer	32 Tonnen

### Kompressor

Lieferant	sera ComPress GmbH
Typ	Metall Membran Kompressor
Ansaugdruck	27– 31 bar
Ausgangsdruck	max. 211 bar
Leistung	30 Nm <sup>3</sup> /h
Antrieb	Kurbeltrieb mit Schwungrad

### Kraftwerk IBAarau

Baujahr	1895/1912, Erneuert 1957
Turbinen	11 Kaplan turbinen
Mittlere Jahresproduktion	109 GWh
Sommererzeugung	60 GWh
Wintererzeugung	ca. 49 GWh
Maximalleistung	16 MW
Mittlere Leistung	12,5 MW
Durchschnittliche Jahresabflussmenge	300 m <sup>3</sup> /s



## **Anhang VI**

# Die erste öffentliche Wasserstofftankstelle der Schweiz

Am Standort der bestehenden Tankstelle der Coop Mineraloel AG in Hunzenschwil eröffnet Coop die erste öffentlich zugängliche Wasserstofftankstelle in der Schweiz mit erneuerbarem Wasserstoff.

Aktuell gibt es weltweit bereits über 220 öffentlich zugängliche und funktionierende Wasserstofftankstellen. Deutschland alleine hatte per Mitte 2016 bereits 33 Wasserstofftankstellen in Betrieb und vergrössert sein Wasserstofftankstellennetz in den nächsten Jahren sukzessiv auf rund 400. Auch die übrigen europäischen Nachbarländer betreiben einige Wasserstofftankstellen, sodass in absehbarer Zeit ganz Europa mit Wasserstofffahrzeugen durchquert werden kann. Diese Entwicklung zeigt klar auf, dass einerseits die Brennstoffzellentechnologie für die Mobilität weit fortgeschritten ist und andererseits aufgrund der CO<sub>2</sub>-Reduktionsbestrebungen die Tankstellenbetreiber alternative und klimaneutrale Treibstoffe in ihr Sortiment aufnehmen und vermarkten wollen.

Wasserstoff bietet für die Lenker von Brennstoffzellenfahrzeugen den gleichen Komfort wie die heutigen Verbrennungsmotoren (Reichweite, Betankungszeit, etc.), ohne dass CO<sub>2</sub> und sonstige Abgase in die Umwelt gelangen. Die Coop Mineraloel AG will für ihre Kunden sicherstellen, dass diese den erneuerbaren Wasserstoff zu einem Preis erwerben können, der bezüglich Treibstoffkosten pro gefahrene Kilometer vergleichbar ist mit dem für fossile Treibstoffe.

Mit der Eröffnung der ersten öffentlichen Wasserstofftankstelle macht Coop einen ersten Schritt, das Netz an die ökologischen Anforderungen der Zukunft

auszurichten. Coop wird das Wasserstoffangebot auf weitere Tankstellen ausweiten. Zu Beginn werden der erste Wasserstoff-LKW von Coop und 12 Wasserstoff-PKWs von Coop die grössten Abnehmer des Wasserstoffs sein. Selbstverständlich steht die Tankstelle auch allen anderen Kunden mit Wasserstofffahrzeugen zur Verfügung.

**Die Tankstelle im Wasserstoffsystem**  
Da Wasserstoff ein sehr leichtes Gas ist, erfolgt der Transport und die Speicherung im Coop-System immer unter hohem Druck. Produktionsseitig entsteht ein Ausgangsdruck von 30bar. Danach erfolgt für den Transport mittels eines speziellen Kompressors eine Verdichtung auf 200bar. Der Wasserstoff-Trailer muss den Wasserstoff möglichst schnell abladen können, daher wird dieser in den 50bar Grosstank auf der Tankstelle überströmt, wo er anschliessend auf 950bar in Hochdrucktanks verdichtet wird. Auch der Betankungsvorgang soll schnell erfolgen. Dies wird durch ein Überströmen des Wasserstoffs aus den Hochdrucktanks in die 700bar Tanks der Wasserstoffautos ermöglicht.

**Wasserstoffverdichtung in Hochdruckspeicher**  
Die Verdichtung des Wasserstoffs auf 950bar stellt an der Tankstelle die grösste technische Herausforderung dar. Ausfälle von Kompressoren sind weltweit die häufigsten Gründe für die Betriebsausfälle von bestehenden

Wasserstofftankstellen. Die Coop Mineraloel AG hat aus diesem Grund auf einen sehr verlässlichen und innovativen Kompressor von Linde gesetzt.

Wasserstoff-PKWs werden mit 700bar, die Wasserstoff-LKWs und -Busse in der Regel mit 350bar betankt. Die Coop-Tankstelle in Hunzenschwil bietet beide Druckstufen an. Die Speicherflaschen für die 700bar Betankungen sind im gleichen Container wie der Verdichter untergebracht, während diejenigen für die 350bar Betankung in einem separaten Container platziert sind.

**Zapfsäule und Betankungsvorgang**  
In der Zapfsäule ist sowohl die 350bar Betankungseinrichtung für LKWs und Busse als auch diejenige für die PKWs integriert. LKWs und PKWs können parallel betankt werden.

Der gasförmige Wasserstoff wird über eine spezielle Zapfpistole direkt in das Fahrzeug gefüllt. Dieser Vorgang dauert nur wenige Minuten und ist mit demjenigen von klassischen fossilen Treibstoffen (Benzin und Diesel) vergleichbar. Für PKW (700bar) wird der Wasserstoff während des Betankungsvorgangs über einen Kühler auf -40°C vorgekühlt.

## Druckstufenmodell von der Elektrolyse bis zum Fahrzeug



## Technische Daten

### Kapazität Wasserstofftankstelle

Wasserstoffmenge	388 kg Wasserstoff
max. auf Tankstelle	
Anzahl Betankungen nacheinander, PKW	12 x 3 kg in 2' 6 x 6 kg in 3' Standzeit ca. 10'
Anzahl Betankungen nacheinander, LKW	4 x 15 kg in 4' 2 x 30 kg in 7' Standzeit ca. 12'
Dauer, um alle Speicher zu füllen	2 Stunden

### Hochdruckspeicher

Flaschen 700 bar	18 Stück, 3 Sektionen
Betankung	weiter ausbaubar
Flaschen 350 bar	39 Stück
Betankung	weiter ausbaubar
Unterbringung	In 2 Stück 20 Fuss-Container, 6 m, mit Verdichter

### Verdichter

Hersteller	Linde
Typ	5-stufiger ionischer Verdichter, IC90
Ansaugdruck	7 bar
Enddruck	950 bar
Verbrauch Verdichter	7-950 bar
	2,7 kWh/kg
Unterbringung	20 Fuss-Container, 6 m

### Mitteldruckspeicher

Hersteller	Ludwig Elkuch AG
Inhalt	87 m <sup>3</sup>
Tanklänge	17,7 m
Tankdurchmesser	3 m
Gewicht	40 Tonnen
H <sub>2</sub> -Kapazität	310 kg
Unterbringung	Erdverlegt



## **Anhang I**

«move» mit 700 bar-Wasserstoftankstelle

# Schnell betankt und grosse Reichweite

06.10.2016 | MICHAEL HAGMANN

Auf ihrem Campus in Dübendorf hat die Empa die erste Wasserstoftankstelle der Schweiz für Personenwagen mit einem Fülldruck von 700 bar in Betrieb genommen. Damit lassen sich Brennstoffzellen-Fahrzeuge in zwei bis drei Minuten betanken. Die Tankstelle ist Teil des Mobilitätsdemonstrators «move» und wird für verschiedene Projektfahrzeuge der Empa sowie für Wasserstofffahrzeuge von privaten Besitzern genutzt.



Der vom Bundesamt für Energie (BFE), von Coop und verschiedenen anderen Industriepartnern unterstützte Mobilitätsdemonstrator «move» auf dem Empa-Areal in Dübendorf ist seit November 2015 in Betrieb; er bietet neben einer Elektro-Tankstelle auch Zapfsäulen mit Erd-/Biogas (CNG für «compressed natural gas») und mit einer Mischung von Erd-/Biogas und Wasserstoff (HCNG). Reiner Wasserstoff stand bis anhin mit einem Fülldruck von 350 bar zur Verfügung. Dieser Druck eignet sich in erster Linie für die Betankung von Nutzfahrzeugen, die über grosse Tanks verfügen. Mit der nun neu aufgebauten 700 bar-Zapfsäule für Wasserstoff reagiert die Empa auf die Bedürfnisse von Brennstoffzellen-Personenfahrzeugen: kompakte Tanks, möglichst grosse Reichweite und eine schnelle Betankung. Personenwagen mit Wasserstoffantrieb lassen sich damit innerhalb von 2 bis 3 Minuten betanken und haben bei vollem Tank eine Reichweite von bis zu 600 km. Damit werden Brennstoffzellen-Fahrzeuge gegenüber herkömmlichen Benzin- oder Dieselfahrzeugen hinsichtlich des Betankungskomforts auf einen Schlag konkurrenzfähig.

Um die rasche Betankung zu ermöglichen, wird der komprimierte Wasserstoff auf -40°C vorgekühlt. Dies ist nötig, damit die Temperatur im Tank durch die Kompressionswärme, die während der Betankung entsteht, nicht zu stark ansteigt. Über eine intelligente Infrarot-Schnittstelle «kommuniziert» das Fahrzeug während des Tankvorgangs mit der Zapfpistole und macht etwa Angaben zu Temperatur und Füllstand. Die neue Wasserstoftankstelle der Empa ist eng verknüpft mit der ersten komplett öffentlichen Wasserstoftankstelle in Hunzenschwil, welche die Coop Mineraloel AG in Zusammenarbeit mit der «H<sub>2</sub> Energy AG» Anfang November eröffnen wird.

## **Der Schlüssel zum Erfolg: erneuerbare Energien speichern zu können**

Wasserstoff ist ganz wesentlich für die Integration von erneuerbarer Energie, die nicht immer dann anfällt, wenn sie gebraucht wird. Deshalb muss man in der Lage sein, sie zwischenzuspeichern. Heute stehen dazu auf der untersten Stromnetzebene kleinskalige Batteriespeicher beziehungsweise grosskalige Pumpspeicherkraftwerke auf der höchsten Netzebene zur Verfügung. Immer mehr zeigt sich aber der Bedarf an Technologien, die kapazitäts- und leistungsmässig dazwischen liegen und auf einer mittleren Netzebene angebunden sind. Dazu zählen etwa «Power-to-Gas»-Anlagen. Diese können erneuerbaren Strom immer dann, wenn er im Strommarkt nicht wirtschaftlich eingesetzt werden kann, in Treibstoff, etwa Wasserstoff oder Methan, umwandeln und so Benzin und Diesel ersetzen.

Das ist vor allem für «Vielfahrer» sinnvoll: Rund 20% der Fahrzeuge in der Schweiz weisen jährliche Fahrleistungen von mehr als 20'000 km auf und sind zusammen für fast die Hälfte aller gefahrenen Kilometer verantwortlich. Um solche Fahrzeuge von fossiler auf erneuerbare Energie umzustellen, sind daher hohe Reichweiten erforderlich, die rein elektrisch betriebene Fahrzeuge mit Batterie zumindest in naher Zukunft nicht bieten können. Wasserstofffahrzeuge eignen sich dagegen auch für Langstreckenfahrten. Die Empa untersucht an der nun erweiterten Tankstelle verschiedene Nutzungsarten von Wasserstoff: direkt für Arbeitsmaschinen, Nutzfahrzeuge und Personenwagen mit Brennstoffzellen sowie als Beimischung zu Erd-/Biogas für Gasfahrzeuge.



## «move» – Demonstrations- und Technologietransfer-Plattform für die Mobilität der Zukunft

«move» ist ein Demonstrationsprojekt der Empa und wird unterstützt von zahlreichen Partnern aus der Forschung, der Wirtschaft und von Seiten der öffentlichen Hand. Zu den Hauptpartnern gehören der ETH-Rat, das Bundesamt für Energie (BFE), die Stadt Dübendorf und die Glattwerk AG sowie die Unternehmen AtlasCopco, H2 Energy und Hyundai. Hinzu kommt eine Reihe akademischer und industrieller Partner, die bei einzelnen Projekten im Rahmen des Demonstrators mitwirken.

---

### Mehr Informationen

Christian Bach  
Abteilung Fahrzeugantriebssysteme  
Tel. +41 58 765 41 37  
christian.bach@empa.ch

---

## Medienkontakt

Stephan Kälin  
Abteilung Kommunikation  
Tel. +41 58 765 49 93  
redaktion@empa.ch

---

## Video

Beitrag in der Sendung «tacho» zum ersten privaten Halter eines Wasserstofffahrzeugs – mit Tankstopp an der Empa.



---

## Bilder

Download von Bildern mit hoher Auflösung hier

---

## Audio





0:00 / 4:01

**Künftig sollen mehr Fahrzeuge mit Wasserstoff als Treibstoff fahren. Die Empa betreibt eine der aktuell zwei Wasserstoftankstellen in der Schweiz. Empa-Forscher Urs Cabalzar spricht über Vorteile und Herausforderungen des Antriebs mit Wasserstoff.**

[www.srf.ch/sendungen/rendez-vous/](http://www.srf.ch/sendungen/rendez-vous/)



## **Anhang II**

Home > Medienmitteilungen > 2016 >

04.11.2016

Coop investiert in ein visionäres Mobilitätssystem.

## Coop eröffnet erste öffentliche Wasserstofftankstelle der Schweiz

**Heute Freitag, 4. November hat die Basler Detailhändlerin in Hunzenschwil (AG) die erste öffentliche Wasserstofftankstelle der Schweiz eröffnet. Gleichzeitig hat sie den weltweit ersten mit Wasserstoff betriebenen Lastwagen mit Anhänger, welcher die Anforderungen für die Coop-Logistik erfüllen kann, und zwölf Wasserstoff-Personenwagen in die eigene Wagenflotte aufgenommen. Der für den Antrieb notwendige Wasserstoff wird am wenige Kilometer entfernten Laufwasserkraftwerk der IBAarau in Aarau CO2- und schadstofffrei durch die H2 Energy AG produziert und an die Coop Mineraloel AG geliefert. Coop macht damit einen wegweisenden Schritt hin zu einer nachhaltigen Mobilität.**



In Hunzenschwil hat die Coop Mineraloel AG heute die erste öffentliche Wasserstofftankstelle der Schweiz eröffnet, weitere Wasserstofftankstellen in anderen Schweizer Regionen sind bereits in Planung. «Wir möchten für die Zukunft gerüstet sein, denn die Nachfrage nach fossilen Treibstoffen sinkt, Mobilität wird es aber immer geben. Mit unserer eigenen Wasserstofftankstelle und den Wasserstofffahrzeugen von Coop haben wir beste Voraussetzungen, um mit diesem neuen Treibstoff Erfahrungen zu sammeln», äussert sich Roger Oser, Vorsitzender der Geschäftsleitung der Coop Mineraloel AG.

### Antrieb für nachhaltige Antriebsform

«Wir wollen die Initialzündung geben und dazu beitragen, dass eine zukunftsweisende Technologie den Durchbruch schafft», verkündete Joos Sutter, Vorsitzender der Geschäftsleitung von Coop, in Hunzenschwil. «Indem wir eine Wasserstofftankstelle eröffnen und gleichzeitig einen ersten Wasserstoff-Lastwagen und zwölf Wasserstoff-Personenwagen in die eigene Wagenflotte aufnehmen, sorgen wir für Angebot und Nachfrage», so Joos Sutter weiter. Die zwölf Personenwagen werden Mitarbeitenden der nahegelegenen Verteilzentrale Schafisheim als Firmenwagen zur Verfügung gestellt. Der Lastwagen wird ebenfalls in Schafisheim eingesetzt, und zwar zur Belieferung der Verkaufsstellen der Region Nordwestschweiz-Zentralschweiz-Zürich.

### Wasserstofffahrzeug: 100 % Leistung – 0 % Abgase

In der Handhabung unterscheidet sich ein Wasserstofffahrzeug nur unwesentlich von einem mit fossilen Brennstoffen betriebenen Fahrzeug: Betankungszeit, Reichweite mit einer Tankfüllung sowie Betriebskosten pro gefahrenem Kilometer sind praktisch identisch. Der grosse Unterschied besteht darin, dass ein Wasserstofffahrzeug keine Schadstoffe ausstößt.

### Wasserstoff aus Schweizer Wasserkraftwerk

Den Wasserstoff, welcher zum Antrieb des Wasserstoff-Lastwagens und der Wasserstoff-Personenwagen benötigt wird, lässt Coop am Laufwasserkraftwerk IBAarau in Aarau durch H2 Energy AG mittels Elektrolyse herstellen. Das

heisst, dass Wasser mit Energie aus dem Laufwasserkraftwerk in seine Bestandteile Wasserstoff (H2) und Sauerstoff (O2) aufgespaltet wird: Die Elektrolyse am Laufwasserkraftwerk in Aarau findet vor allem dann statt, wenn die Nachfrage nach Strom im Netz gering ist. Bei der Produktion des Wasserstoffs werden weder CO2 noch andere Schadstoffe ausgestossen. Und auch beim Fahren mit dem Wasserstoff-Auto und -LKW strömt einzig Wasserdampf aus dem Auspuff. Deshalb läuft der Wasserstoff bei Coop unter der Nachhaltigkeitseigenmarke Oecoplan.

## Taten statt Worte Nr. 326

Unter dem Motto Taten statt Worte fasst Coop ihre Taten für mehr Nachhaltigkeit zusammen. Seit über 25 Jahren engagiert sich die Detailhändlerin mit Partnern tatkräftig für nachhaltigen Konsum, Umweltschutz und Soziales. Über 320 Taten umfasst die Plattform [www.taten-statt-worte.ch](http://www.taten-statt-worte.ch) und es kommen laufend neue dazu. Um die Zukunft zu verbessern, engagiert sich Coop im Hier und Jetzt für Mensch, Tier und Natur. Die Eröffnung der ersten öffentlichen Wasserstofftankstelle der Schweiz ist unsere Tat 326 ( [www.taten-statt-worte.ch/326](http://www.taten-statt-worte.ch/326) ).

## Downloads

- [Wasserstoffsystem Coop \(0.4 MB\)](#)
- [Factsheet Elektrolyse \(0.2 MB\)](#)
- [Factsheet Lastwagen \(0.2 MB\)](#)
- [Factsheet Tankstelle \(0.2 MB\)](#)

[Bilder zum Download \(302.4 MB\)](#)

[Bilder Eröffnung \(31.9 MB\)](#)

## Kontakt

Urs Meier, Leiter Medienstelle  
Tel. +41 61 336 71 10

Ramón Gander, Mediensprecher  
Tel. +41 61 336 71 67

Andrea Bergmann, Mediensprecherin  
Tel. +41 61 336 67 37

## Medien-Newsletter anfordern und

Ihre F

Jetzt Newsletter abonnieren



## informiert bleiben

Medien	Unternehmen	Services	Mehr zu Coop
Medienmitteilungen	Unternehmen	Standorte & Öffnungszeiten	Coop Supermarkt
Mediathek	Geschäftsbericht	Coopzeitung	Einkaufen
Social Media News	Nachhaltigkeit	Kundendienst	Supercard
Medienkontakt	Sponsoring	Geschäftsbericht	Hello Family Club
	Jobs	Adressen	Mondovino

## Folgen Sie uns





### **Anhang III**



# Meilenstein in der Schweizer Mobilität

Coop eröffnet die erste öffentliche Wasserstoff-Tankstelle der Schweiz und nimmt zwölf neue Hyundai ix35 Fuel Cell in den Fuhrpark auf

Freitag, 4. November 2016 — Coop schreibt Schweizer Mobilitätsgeschichte. Am 4. November 2016 eröffnete Coop Pronto in Hunzenschwil (AG) die erste öffentliche Wasserstoff-Tankstelle für Automobile und Nutzfahrzeuge. Gleichzeitig nimmt Coop zwölf neue Hyundai ix35 Fuel Cell in den eigenen Fuhrpark auf. Als globaler Leader in der Entwicklung und Fabrikation von Fahrzeugen mit Wasserstoffantrieb produziert Hyundai seit 2013 das weltweit erste, serienmäßig hergestellte Brennstoffzellenfahrzeug. Der ix35 Fuel Cell, ein modernes und alltagstaugliches Crossover-Fahrzeug, steht in der Schweiz bereits im Verkauf und kann – unter anderem – an der Auto Zürich Car Show 2016 getestet werden.

Für einmal kommt die Revolution still und leise an, in Form eines Hyundai ix35 Fuel Cell. Das weltweit erste Brennstoffzellenfahrzeug fährt elektrisch. Den Strom dafür produziert das Fahrzeug selbst, mit Wasserstoff, der direkt im Fahrzeug in elektrischen Strom umgewandelt wird. Das Resultat: 100% elektrisch, eine Reichweite von rund 600 km und weniger als 3

Minuten zum Tanken. Das ist heute Realität, zumindest bei Hyundai. Der Hyundai ix35 Fuel Cell verbindet diese fortschrittliche Antriebstechnologie mit allen Vorzügen und Qualitäten eines modernen Crossover-Fahrzeugs.

## Coop als Schweizer Pionier im Einsatz von Wasserstoff-Fahrzeugen

Ein Pionier allein genügt allerdings nicht, um die Technologie des Wasserstoffantriebs auf die Strasse zu bringen. Obwohl die Reichweite von 600 km einen grossen Aktionsradius zulässt, zählen die Verfügbarkeit von öffentlichen Tankstellen und die Produktion des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen zu den unabdingbaren Voraussetzungen, um dieser vielversprechenden Technologie zum Durchbruch zu verhelfen. An genau diesem Punkt setzt Coop an.

Einen wichtigen Meilenstein setzt Coop mit der Eröffnung der ersten öffentlichen Wasserstoff-Tankstelle in der Schweiz. Joos Sutter, Vorsitzender der Geschäftsleitung von Coop bei der offiziellen Einweihung im Hunzenschwil: «*Nachhaltigkeit ist ein zentraler, strategischer Pfeiler unseres Unternehmens. Wir investieren in die Zukunft und in ein visionäres Mobilitätssystem. Mit der Eröffnung der ersten öffentlichen Wasserstoff-Tankstelle in der Schweiz wollen wir die Initialzündung geben und dazu beitragen, dass eine zukunftsweisende Technologie den Durchbruch schafft.*»

Diego Battiston, Managing Director von Hyundai Suisse, begrüsst den Aufbau des Tankstellennetzes: «*Seit der Einführung des ersten Hyundai ix35 Fuel Cell vor rund einem Jahr hat sich in der Schweiz bereits viel bewegt. Bei der EMPA in Dübendorf steht bereits eine 700-bar-Tankstelle für Forschungszwecke im Einsatz, die ersten zehn von uns importierten Brennstoffzellenfahrzeuge sind seit Monaten in der Schweiz unterwegs und – das Beste – wir erhalten nur positive Rückmeldungen. Die Kunden schätzen die Annehmlichkeiten des Elektroantriebs genauso wie die hohe Reichweite und die Alltagstauglichkeit des Fahrzeugs. Diese neue Mobilität aber ist für unsere Kunden nur zugänglich, wenn auch die Versorgung mit Wasserstoff gewährleistet ist. Mit der Eröffnung der ersten öffentlichen Tankstelle setzt Coop ein wichtiges Zeichen in diese Richtung und leistet einen grossen Beitrag zur umweltfreundlichen und nachhaltigen Mobilität.*»

## Coop Wasserstoff-Tankstelle in Hunzenschwil (A1 Ausfahrt Aarau-Ost)

Die 700- sowie 350-bar-Wasserstofftankstelle an der Gewerbestrasse 1 in 5502 Hunzenschwil steht während den Öffnungszeiten der Coop Pronto Tankstelle zur Verfügung. Strategisch zentral gelegen, 500 m ab der Autobahnausfahrt Aarau-Ost, kann mit dem ix35 Fuel Cell (theoretisch) jeder Ort der Schweiz erreicht werden, inklusive Rückfahrt zum Tanken.

Der Wasserstoff an der Coop Pronto Tankstelle kostet 93 Rappen pro 100 g, was bei einer vollen Tankfüllung (und 600 km Reichweite) Treibstoffkosten von ca. CHF 52.45, bzw. CHF 0.08/km bedeutet.

## **Hyundai ix35 Fuel Cell testen: An der Auto Zürich Car Show 2016 ist es möglich**

Wer sich selber hinter das Lenkrad des weltweit ersten, serienmäßig hergestellten Fahrzeugs mit Wasserstoffantrieb setzen will, hat schon bald eine gute Gelegenheit dazu. Hyundai Suisse stellt an der kommenden Auto Zürich Car Show, vom 10. bis 13. November, einen Hyundai ix35 Fuel Cell aus und bietet vor Ort die Möglichkeit, das Fahrzeug auf der Strasse zu testen. Reservationen können direkt am Stand von Hyundai (Halle 2) getätigkt werden, ohne Voranmeldung.

### **Ein vollwertiges Fahrzeug**

Der Hyundai ix35 Fuel Cell ist in der Schweiz offiziell erhältlich, entweder zum Preis von CHF 66'990.- oder im Leasing. Nebst der hochmodernen Brennstoffzellen-Technologie verfügt das Fahrzeug über eine umfangreiche Ausstattung. Diese beinhaltet unter anderem das Radio-Navigationssystem mit integrierter Rückfahrkamera, aber auch Komfortelemente wie die Sitzheizung vorne, die 2-Zonen-Klimaautomatik oder die Einparkhilfe hinten. Die Zuverlässigkeit des Hyundai ix35 und der Brennstoffzellen-Technologie unterstreicht Hyundai mit der Werksgarantie von 5 Jahren oder 100'000 km.

### **01 B Fuel Cell Intro**



01 B Fuel Cell Intro

## 02 Hydrogen + Fuel Cells



02 Hydrogen + Fuel Cells

## Hyundai ix35 Fuel Cell



Hyundai ix35 Fuel Cell





COOP Medienbericht



COOP eröffnet erste öffentliche Wasserstofftankstelle in der Schweiz



Factsheet - Hyundais Meilensteine in der Brennstoffzellen-Technologie



Preisliste ix35 Fuel Cell



Techn. Daten zum ix35 Fuel Cell

## ÜBER HYUNDAI SUISSE

**Ihr Ansprechpartner** - Gerne steht das Public Relations Team Medienschaffenden für Auskünfte zur Verfügung. Für generelle Anfragen wenden Sie sich bitte an [info@hyundai.ch](mailto:info@hyundai.ch)

**HYUNDAI SUISSE** – BERSAN Automotive Switzerland AG ist der offizielle Importeur für Hyundai in der Schweiz. Die Erwähnung bestimmter Ausstattungen und Spezifikationen in den Pressemitteilungen ist nicht verbindlich. Gewisse Angaben, Ausstattungen und Zahlen sind für Modelle ausserhalb des Schweizer Marktes bestimmt.

 [hyundai.ch](http://hyundai.ch)  
 +41 44 816 43 00

Newsroom published with Prezly: PR Software

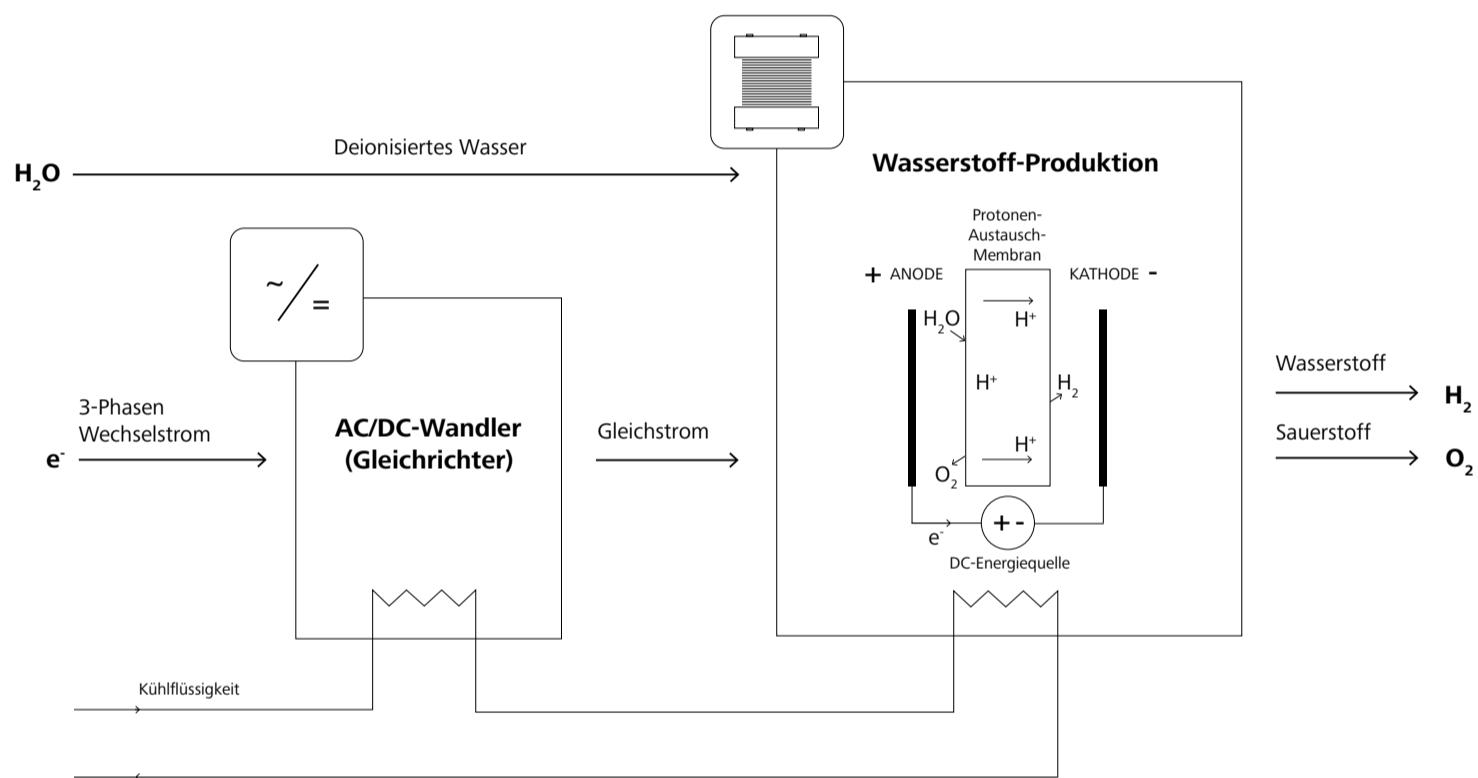




## **Anhang IV**

# Elektrolyseur

Im Elektrolyseur wird Wasser ( $H_2O$ ) in seine chemischen Bestandteile Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) gespalten. Dazu benötigt man elektrischen Strom, der aus Gründen der Nachhaltigkeit von erneuerbaren Energiequellen stammen sollte. Mit Hilfe der Elektrolyse kann somit elektrische Energie in einen chemischen Energieträger ( $H_2$ ) umgewandelt werden. Die Umwandlung bietet den Vorteil, dass sich Wasserstoff einfacher speichern und in der Mobilität nutzen lässt.



**Spezifikationen: PEM-Elektrolyseanlage (Polymer Electrolyte Membrane)**

**180** kW

Nennleistung

**99.9998** %

Reinheit

**3** MPa

Ausgangsdruck

**5.8** kWh/Nm<sup>3</sup>

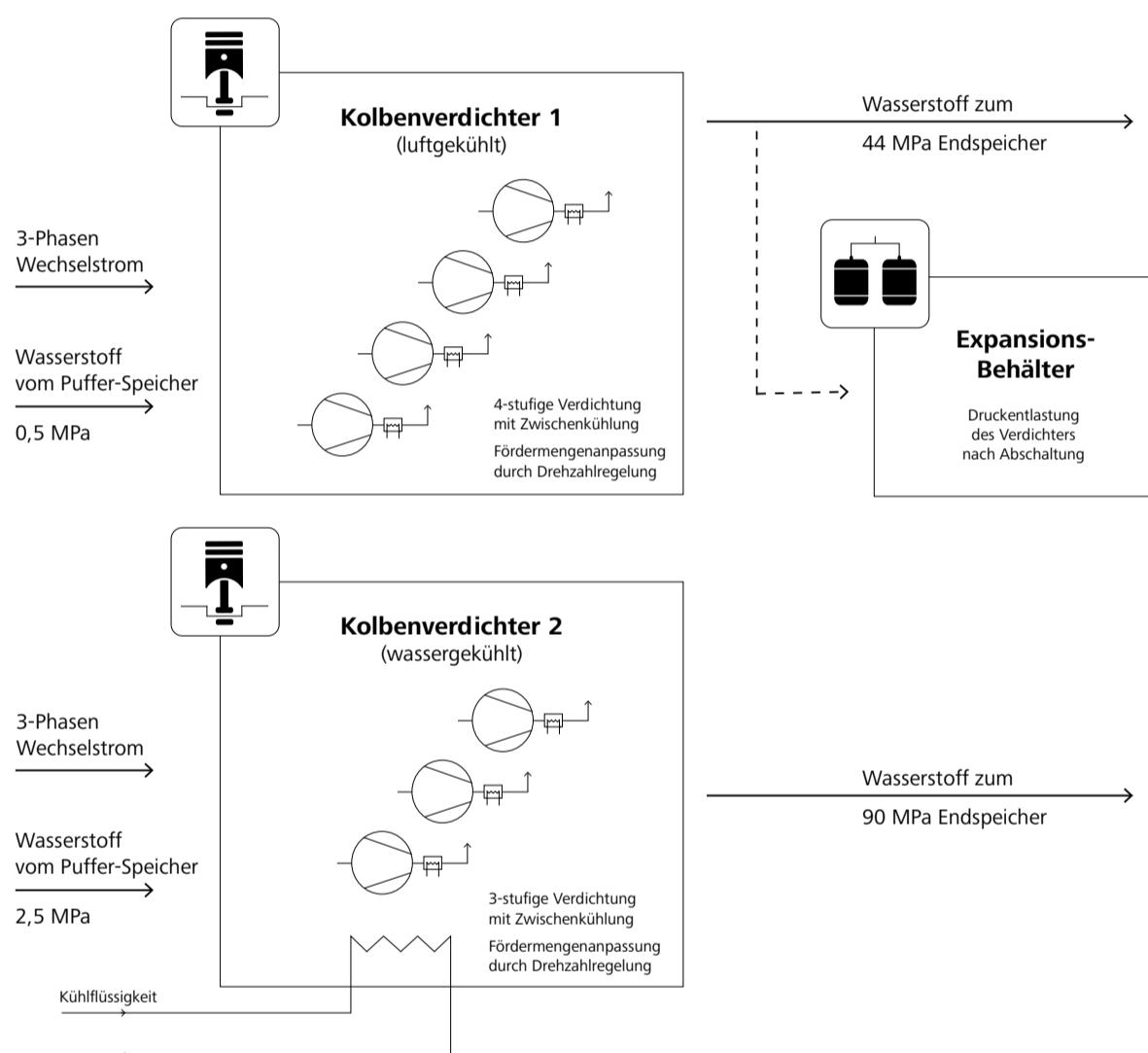
Spezifischer Energieverbrauch

**30** Nm<sup>3</sup>/h / **2.7** kg/h

Max. Produktionsrate

# Verdichter

Im Verdichter wird der Wasserstoff vom Ausgangsdruck des Elektrolyseurs über mehrere Stufen auf den Endspeicherdruck komprimiert. Dadurch erhöht sich der Energieinhalt pro Volumeneinheit, was die Speicherung einer grösseren Menge Wasserstoff in Druckspeichern ermöglicht. Das hohe Druckniveau in den Druckspeichern ist die Voraussetzung für eine rasche Betankung der Fahrzeuge.



## Spezifikationen: Kolbenverdichter 1 (luftgekühlt)

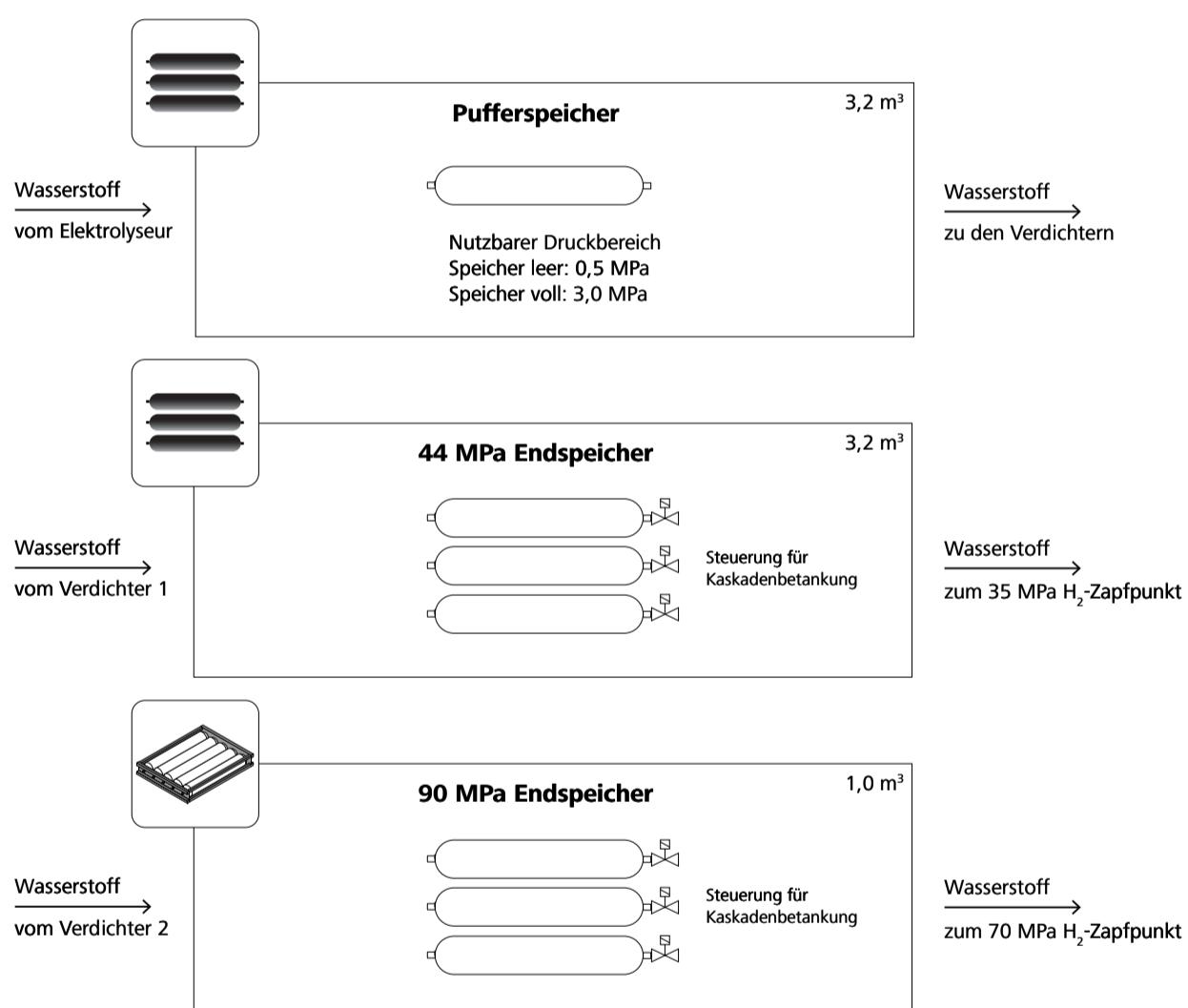
<b>0.5</b> MPa	<b>30</b> kW
Eingangsdruck	Nennleistung
<b>65</b> Nm <sup>3</sup> /h / <b>5.9</b> kg/h	<b>4</b>
Maximale Förderleistung	Verdichterstufen
	<b>44</b> MPa
	Maximaler Ausgangsdruck

## Spezifikationen: Kolbenverdichter 2 (wassergekühlt)

<b>2.5</b> MPa	<b>45</b> kW
Eingangsdruck	Nennleistung
<b>150</b> Nm <sup>3</sup> /h / <b>13.5</b> kg/h	<b>3</b>
Maximale Förderleistung	Verdichterstufen
	<b>90</b> MPa
	Maximaler Ausgangsdruck

# Speicher

Die Speicherung des Wasserstoffs erfolgt in zwei Schritten: Die Pufferspeicher zwischen Elektrolyseur und Verdichter dienen der Nivellierung von Produktionsschwankungen und verschaffen der Gesamtanlage eine höhere Betriebsflexibilität. Der Speicherdruck kann dabei zwischen 0.5 MPa (leer) und 3 MPa (voll) schwanken. Nach der Verdichtung gelangt der Wasserstoff in die Endspeicher, wo er bei einem Enddruck von 44 MPa zur Betankung von Nutzfahrzeugen beziehungsweise von 90 MPa zur Betankung von Personenwagen gespeichert wird.



## Spezifikationen: Kohlefaser-Druckbehälter

Pufferspeicher

**3.2** m<sup>3</sup> **0.5–3** MPa

Geometrisches Volumen Druckbereich

1. Endspeicher

**3.2** m<sup>3</sup> **44** MPa

Geometrisches Volumen Maximaler Druck

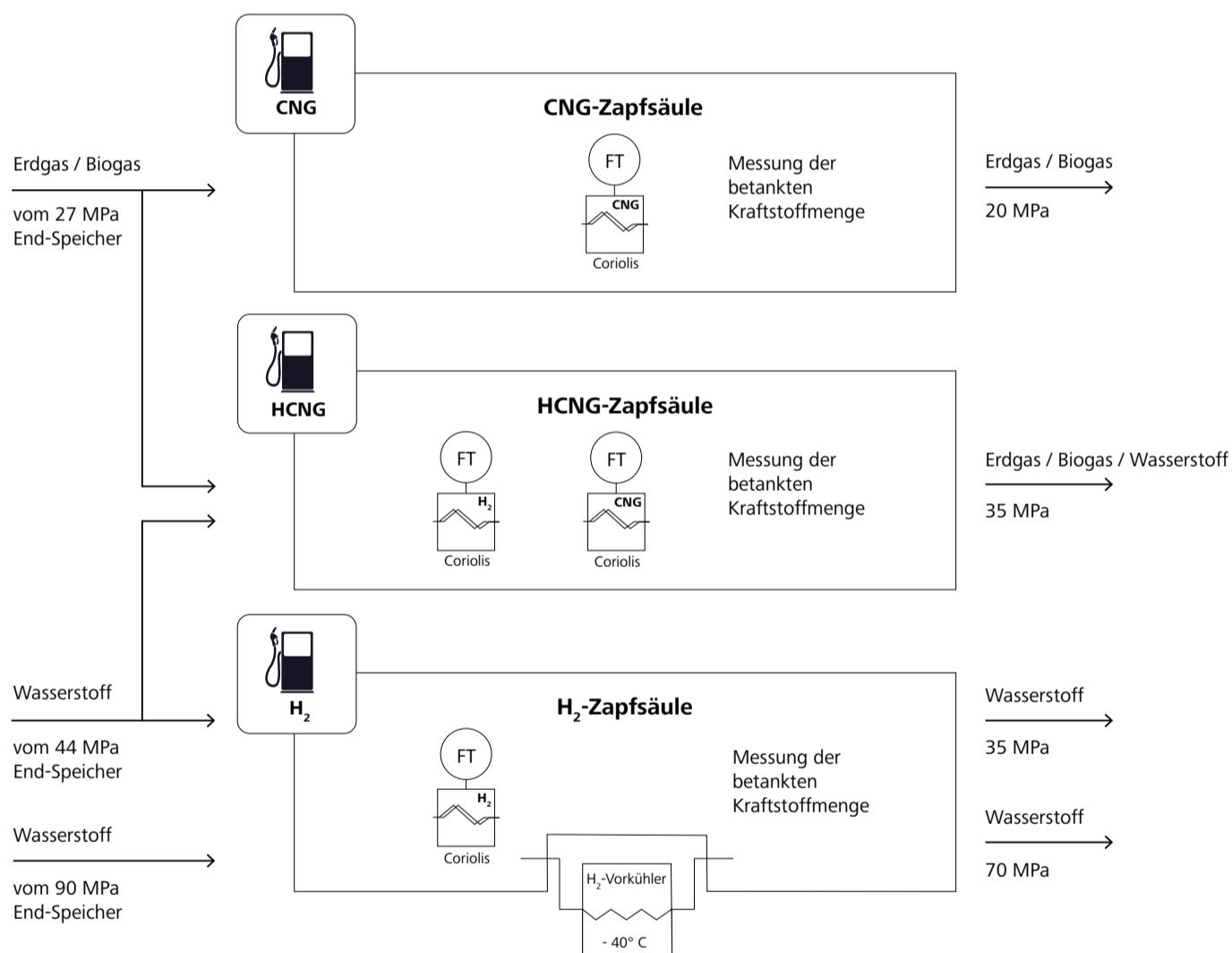
2. Endspeicher

**1** m<sup>3</sup> **90** MPa

Geometrisches Volumen Maximaler Druck

# Tankstelle

Die Tankstelle umfasst drei Zapfsäulen, an welchen die drei gasförmigen Kraftstoffe Erdgas/Biogas (CNG), Wasserstoff ( $H_2$ ) und deren Gemisch (HCNG) getankt werden können. Die Betankungsdauer eines mit Erdgas/Biogas oder mit Wasserstoff betriebenen Personewagens ist dabei vergleichbar mit der Zeit, die nötig ist, um ein konventionelles Fahrzeug zu betanken. Wie bei flüssigen Kraftstoffen gelten auch für die Abgabe von gasförmigen Kraftstoffen strenge Sicherheitsbestimmungen.



## Spezifikationen: Gasförmige Kraftstoffe

CNG-Zapfsäule	HCNG-Zapfsäule	H <sub>2</sub> -Zapfsäule
<b>3</b> min	<b>35</b> MPa	<b>3</b> min
Ungefähr Betankungszeit für Pkw	Nenndruck bei 15°C	Ungefähr Betankungszeit für Pkw

CNG-Zapfsäule	HCNG-Zapfsäule	H <sub>2</sub> -Zapfsäule
<b>20</b> MPa	<b>2–30</b> vol-%	<b>35/70</b> MPa
Nenndruck bei 15°C	H <sub>2</sub> -Beimischrate	Nenndruck bei 15°C



## **Anhang V**

# In Aarau steht die weltweit erste PEM-Elektrolyseanlage\*, welche direkt an einem Wasserkraftwerk nachhaltig Wasserstoff erzeugt

$H_2$  Energy und IBAarau realisieren gemeinsam den Bau einer Produktionsanlage für Wasserstoff, mit welchem die erste Coop-Wasserstofftankstelle beliefert wird.

Die Elektrolyse-Anlage in Verbindung mit einer Verdichter-Station ist die erste Anlage in der Schweiz, die direkt mit einem Wasserkraftwerk verbunden ist. Die Anlage bezieht ausschliesslich erneuerbare Energie und dient zur Versorgung von Tankstellen mit Wasserstoff-Zapfsäulen. Die Anlage befindet sich am Wasserkraftwerk der IBAarau in Aarau.

Die Schweiz, das Wasserschloss Europas, bietet dank ihrer Topographie und beträchtlichen durchschnittlichen Niederschlagsmengen ideale Bedingungen für die Wasserkraftnutzung. Nach wie vor ist die Wasserkraft in der Schweiz die wichtigste einheimische Quelle erneuerbarer Energie.

Mit der Energie der Wasserkraft kann das Wasser mittels Elektrolyse in Wasser- und Sauerstoff zerlegt werden. Wasserstoff bietet nicht nur die für die Energiewende unabdingbare Möglichkeit, (schwankende, erneuerbare) Energie in grösseren Mengen zu speichern, sondern kann diese auch ‚veredeln‘ und für andere Anwendungsgebiete und Märkte bereitstellen. In diesem Sinne kann die Energie zu Zeiten tiefer Strompreise oder Stromüberschuss in Wasserstoff umgewandelt und anderen Bereichen zugeführt werden. Mit der geplanten Wasserstoff-Produktionsanlage werden rund 2% der

Stromproduktion des Wasserkraftwerks in Wasserstoff umgewandelt.

## Umsetzung am Wasserkraftwerk Aarau

Die Erstellung der Wasserstoff-Produktionsanlage erfolgt beim Wasserkraftwerk der IBAarau Kraftwerk AG. Der Einbau der Wasserstoff-Produktionsanlage erfolgt in das bestehende Gebäude der ehemaligen 50 kV Schaltanlage.

Die Planung sieht eine jährliche Produktionsdauer von rund 7'500 Stunden vor. Bei der 200 kW Anlage ergibt dies eine erwartete Jahresproduktion von rund 20'000 kg  $H_2$ , dies ermöglicht den Betrieb von ca. 170 Personenwagen oder drei bis vier grossen LKWs.

Der Wasserstoff wird nach dem Elektrolyseur über einen Kompressor auf 200 bar verdichtet und in einem Trailer gespeichert.

## Wasserstoff-Produktion durch Elektrolyse

Unter Elektrolyse versteht man die Zersetzung von Wasser ( $H_2O$ ) in Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ), in diesem Fall mit Hilfe erneuerbaren Stroms des Kraftwerks.

Der Elektrolyseur kann innerhalb kurzer Zeit an Laständerungen angepasst, schnell

gestartet und auch wieder gestoppt werden. Durch die hohe Druckdifferenz zwischen dem  $H_2$ - und dem  $O_2$ -Gas kann keine störende Verunreinigung von  $O_2$  im  $H_2$  entstehen. Der Reinheitsgrad des produzierten Wasserstoffs, entspricht der Norm «SAE J2719» und erfüllt die hohen Anforderungen für Brennstoffzellen-Personenwagen.

## Wasserstoff-Logistik für die Mobilität

$H_2$  Energy AG hat mit der Coop Mineraloel AG einen Liefervertrag für erneuerbar hergestellten Wasserstoff abgeschlossen und wird den Wasserstoff mit einem eigenen Trailer auf der ersten Coop-Wasserstofftankstelle in Hunzenschwil ausbringen.

Da der Wasserstoff momentan steuerbefreit ist (keine Mineralölsteuer, LSVA, etc.), können auch bei den heute sehr tiefen Benzin- und Dieselpreisen, mit nachhaltigem Wasserstoff vergleichbare Treibstoffkosten pro Strecke wie mit herkömmlichen fossilen Treibstoffen erzielt werden. Sowohl aus ökologischer wie auch aus wirtschaftlicher Sicht ist die Umwandlung elektrischer Energie in Wasserstoff sinnvoll. Der Trailer wird aus Gründen der Qualitätssicherung einzig für den Transport des erneuerbaren  $H_2$  eingesetzt («Punkt-Punkt»).



Frontansicht des IBAarau  
Wasserkraftwerks in Aarau



Elektrolyseur



Wasserstoff-Trailer

## Technische Daten

### PEM-Elektrolyse

Lieferant	Diamond Lite S.A.
Hersteller	Proton OnSite (USA)
Typ	C Series, C 30, Proton Exchange Membrane (PEM)
Leistung elektrisch	5,8 kWh/Nm <sup>3</sup>
Ertrag	30 Nm <sup>3</sup> /h H <sub>2</sub> bzw. 2,7 kg H <sub>2</sub> /h
Ausgangsdruck	30 bar
Reinheit	99,9998%
Max. Wasserverbrauch	30 Liter/h

### Trailer

Lieferant	Messer Schweiz AG
Druckbehälter	10 Stahlbehälter
Betriebsdruck	200 bar
Geometrisches Volumen	23 m <sup>3</sup>
Wasserstoff-Transportkapazität	338 kg
Masse Trailer (ohne Zugfahrzeug)	Länge: 12,7 m Breite: 2,5 m Höhe: 3,6 m
Gewicht Trailer	32 Tonnen

### Kompressor

Lieferant	sera ComPress GmbH
Typ	Metall Membran Kompressor
Ansaugdruck	27– 31 bar
Ausgangsdruck	max. 211 bar
Leistung	30 Nm <sup>3</sup> /h
Antrieb	Kurbeltrieb mit Schwungrad

### Kraftwerk IBAarau

Baujahr	1895/1912, Erneuert 1957
Turbinen	11 Kaplan turbinen
Mittlere Jahresproduktion	109 GWh
Sommererzeugung	60 GWh
Wintererzeugung	ca. 49 GWh
Maximalleistung	16 MW
Mittlere Leistung	12,5 MW
Durchschnittliche Jahresabflussmenge	300 m <sup>3</sup> /s



## **Anhang VI**

# Die erste öffentliche Wasserstofftankstelle der Schweiz

Am Standort der bestehenden Tankstelle der Coop Mineraloel AG in Hunzenschwil eröffnet Coop die erste öffentlich zugängliche Wasserstofftankstelle in der Schweiz mit erneuerbarem Wasserstoff.

Aktuell gibt es weltweit bereits über 220 öffentlich zugängliche und funktionierende Wasserstofftankstellen. Deutschland alleine hatte per Mitte 2016 bereits 33 Wasserstofftankstellen in Betrieb und vergrössert sein Wasserstofftankstellennetz in den nächsten Jahren sukzessiv auf rund 400. Auch die übrigen europäischen Nachbarländer betreiben einige Wasserstofftankstellen, sodass in absehbarer Zeit ganz Europa mit Wasserstofffahrzeugen durchquert werden kann. Diese Entwicklung zeigt klar auf, dass einerseits die Brennstoffzellentechnologie für die Mobilität weit fortgeschritten ist und andererseits aufgrund der CO<sub>2</sub>-Reduktionsbestrebungen die Tankstellenbetreiber alternative und klimaneutrale Treibstoffe in ihr Sortiment aufnehmen und vermarkten wollen.

Wasserstoff bietet für die Lenker von Brennstoffzellenfahrzeugen den gleichen Komfort wie die heutigen Verbrennungsmotoren (Reichweite, Betankungszeit, etc.), ohne dass CO<sub>2</sub> und sonstige Abgase in die Umwelt gelangen. Die Coop Mineraloel AG will für ihre Kunden sicherstellen, dass diese den erneuerbaren Wasserstoff zu einem Preis erwerben können, der bezüglich Treibstoffkosten pro gefahrene Kilometer vergleichbar ist mit dem für fossile Treibstoffe.

Mit der Eröffnung der ersten öffentlichen Wasserstofftankstelle macht Coop einen ersten Schritt, das Netz an die ökologischen Anforderungen der Zukunft

auszurichten. Coop wird das Wasserstoffangebot auf weitere Tankstellen ausweiten. Zu Beginn werden der erste Wasserstoff-LKW von Coop und 12 Wasserstoff-PKWs von Coop die grössten Abnehmer des Wasserstoffs sein. Selbstverständlich steht die Tankstelle auch allen anderen Kunden mit Wasserstofffahrzeugen zur Verfügung.

**Die Tankstelle im Wasserstoffsystem**  
Da Wasserstoff ein sehr leichtes Gas ist, erfolgt der Transport und die Speicherung im Coop-System immer unter hohem Druck. Produktionsseitig entsteht ein Ausgangsdruck von 30bar. Danach erfolgt für den Transport mittels eines speziellen Kompressors eine Verdichtung auf 200bar. Der Wasserstoff-Trailer muss den Wasserstoff möglichst schnell abladen können, daher wird dieser in den 50bar Grosstank auf der Tankstelle überströmt, wo er anschliessend auf 950bar in Hochdrucktanks verdichtet wird. Auch der Betankungsvorgang soll schnell erfolgen. Dies wird durch ein Überströmen des Wasserstoffs aus den Hochdrucktanks in die 700bar Tanks der Wasserstoffautos ermöglicht.

**Wasserstoffverdichtung in Hochdruckspeicher**  
Die Verdichtung des Wasserstoffs auf 950bar stellt an der Tankstelle die grösste technische Herausforderung dar. Ausfälle von Kompressoren sind weltweit die häufigsten Gründe für die Betriebsausfälle von bestehenden

Wasserstofftankstellen. Die Coop Mineraloel AG hat aus diesem Grund auf einen sehr verlässlichen und innovativen Kompressor von Linde gesetzt.

Wasserstoff-PKWs werden mit 700bar, die Wasserstoff-LKWs und -Busse in der Regel mit 350bar betankt. Die Coop-Tankstelle in Hunzenschwil bietet beide Druckstufen an. Die Speicherflaschen für die 700bar Betankungen sind im gleichen Container wie der Verdichter untergebracht, während diejenigen für die 350bar Betankung in einem separaten Container platziert sind.

**Zapfsäule und Betankungsvorgang**  
In der Zapfsäule ist sowohl die 350bar Betankungseinrichtung für LKWs und Busse als auch diejenige für die PKWs integriert. LKWs und PKWs können parallel betankt werden.

Der gasförmige Wasserstoff wird über eine spezielle Zapfpistole direkt in das Fahrzeug gefüllt. Dieser Vorgang dauert nur wenige Minuten und ist mit demjenigen von klassischen fossilen Treibstoffen (Benzin und Diesel) vergleichbar. Für PKW (700bar) wird der Wasserstoff während des Betankungsvorgangs über einen Kühler auf -40°C vorgekühlt.

## Druckstufenmodell von der Elektrolyse bis zum Fahrzeug



Coop Pronto mit Tankstelle in Hunzenschwil mit Wasserstoff im Angebot



Ionischer Verdichter (IC 90)



Coop Wasserstoffzapfsäule

## Technische Daten

### Kapazität Wasserstofftankstelle

Wasserstoffmenge	388 kg Wasserstoff
max. auf Tankstelle	
Anzahl Betankungen nacheinander, PKW	12 x 3 kg in 2' 6 x 6 kg in 3' Standzeit ca. 10'
Anzahl Betankungen nacheinander, LKW	4 x 15 kg in 4' 2 x 30 kg in 7' Standzeit ca. 12'
Dauer, um alle Speicher zu füllen	2 Stunden

### Hochdruckspeicher

Flaschen 700 bar	18 Stück, 3 Sektionen
Betankung	weiter ausbaubar
Flaschen 350 bar	39 Stück
Betankung	weiter ausbaubar
Unterbringung	In 2 Stück 20 Fuss-Container, 6 m, mit Verdichter

### Verdichter

Hersteller	Linde
Typ	5-stufiger ionischer Verdichter, IC90
Ansaugdruck	7 bar
Enddruck	950 bar
Verbrauch Verdichter	7-950 bar
	2,7 kWh/kg
Unterbringung	20 Fuss-Container, 6 m

### Mitteldruckspeicher

Hersteller	Ludwig Elkuch AG
Inhalt	87 m <sup>3</sup>
Tanklänge	17,7 m
Tankdurchmesser	3 m
Gewicht	40 Tonnen
H <sub>2</sub> -Kapazität	310 kg
Unterbringung	Erdverlegt