



Jahresbericht vom 14. Dezember 2016

70 MPa H₂-Tankstellen

Aufbau und Betrieb der ersten Wasserstoff-Tankstellen in der Schweiz mit einem Nenn- druck von 70 MPa





Datum: 14 Dezember 2016

Ort: Dübendorf

Subventionsgeberin:

Schweizerische Eidgenossenschaft, handelnd durch das
Bundesamt für Energie BFE
Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprogramm
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger:

Empa
Überlandstrasse 129, CH-8600/Dübendorf
www.empa.ch

H2-Energy AG
Sihlstrasse 21, CH-8001/Zürich
www.h2energy.ch

Korean Motor Company – Kontich, Branch Dietlikon, “Hyundai Suisse”
Brandbachstrasse 6, CH-8305 Dietlikon
www.hyundai.ch

Autoren:

Urs Cabalzar, Empa, urs.cabalzar@empa.ch
Hansjörg Vock, H2-Energy, hans.vock@h2energy.ch (Abschnitt zu AP2)

BFE-Programmleitung: Yasmine Calisesi, yasmine.calisesi@bfe.admin.ch
BFE-Projektbegleitung: Stefan Oberholzer, stefan.oberholzer@bfe.admin.ch
BFE-Vertragsnummer: SI/ 501285-01

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

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Projektziele.....	4
Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse.....	5
1.1. AP1: Planung und Realisierung der 70 MPa H ₂ -Tankstelle an der Empa	5
1.2. AP2: Planung und Realisierung der 70/35 MPa H ₂ -Tankstelle in Hunzenschwil	8
1.3. AP3: Klärung rechtlicher Fragen zu Errichtung und Betrieb von H ₂ -Tankstellen.....	11
1.3.1. AP3 A: Genehmigungsverfahren von H ₂ -Tankstellen in der Schweiz	11
1.3.2. AP3 B: Untersuchungen zur Ex-Zonenregelung an H ₂ -Zapfsäulen.....	12
1.3.3. AP3 C: Erlangung der Eichfähigkeit für H ₂ -Zapfsäulen	13
1.4. AP4: Monitoring des H ₂ -Verdichters, der Speicher und des Anlagenbetriebs	14
1.5. AP5: Betrieb und Monitoring der Brennstoffzellen Fahrzeuge.....	15
Nationale Zusammenarbeit	17
Internationale Zusammenarbeit	18
Bewertung 2016 und Ausblick 2017	19
Referenzen	20
Abkürzungsverzeichnis	21
Anhang	22



Projektziele

Das Projekt beinhaltet die Realisierung zweier 70 MPa-H₂-Tankstellen inklusive vorgelagerten Verdichtern, Speichern und Vorkühlsystemen. Als Tankstellenstandorte wurden der Empa-Campus in Dübendorf – mit Fokus auf technische & wissenschaftliche Untersuchungen – und eine Coop-Tankstelle in Hunzenschwil – mit Fokus auf Kostenoptimierung von Konzept & Betrieb – festgelegt.

Mit vorliegendem Projekt sollen zudem die in der Schweiz an den Aufbau solcher Anlagen gestellten, allgemeinen rechtlichen Anforderungen hinsichtlich Umsetzbarkeit zusammengestellt und geklärt werden. Dabei sind Untersuchungen zur Eichfähigkeit von H₂-Zapfsäulen sowie Abklärungen zu Ex-Schutz- und Brandschutz-Vorschriften vorgesehen. Des Weiteren sollen durch ein Monitoring von Anlage und Brennstoffzellen-Fahrzeugen energetische und ökonomische Aspekte analysiert werden.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Die Aktivitäten im Jahr 2016 konzentrierten sich mehrheitlich auf die ersten beiden Arbeitspakete, welche die Planung und Realisierung der H₂-Tankstellen an der Empa und in Hunzenschwil beinhalten. Beide Tankstellen wurden in diesem Jahr erfolgreich in Betrieb genommen.

- Medienmitteilung Empa vom 06.10.2016 [1]
- Medienmitteilung Coop vom 04.11.2016 [2]
- Medienmitteilung Hyundai vom 04.11.2016 [3]

Die Medienmitteilungen bewirkten eine hohe Resonanz, was ein grosses Interesse der Medien an dieser Thematik aufzeigt. Beispielsweise erzielte obengenannte Medienmitteilung der Empa über 70 Hits (d.h. die Mitteilung wurde von über 70 Medien aufgenommen und weiterverbreitet).

1.1. AP1: Planung und Realisierung der 70 MPa H₂-Tankstelle an der Empa

Die Power-to-Gas Demonstrationsanlage *move*, welche im Rahmen des BFE P&D-Projektes „Future Mobility“ im November 2015 in Betrieb genommen wurde, dient als Basis der in diesem Arbeitspaket realisierten Anlagenerweiterung. Bereits zu Projektbeginn war somit eine Anlage vorhanden, welche die Produktion, Verdichtung, Speicherung und das Dispensing von Wasserstoff beim Standarddruck von 35 MPa ermöglicht.

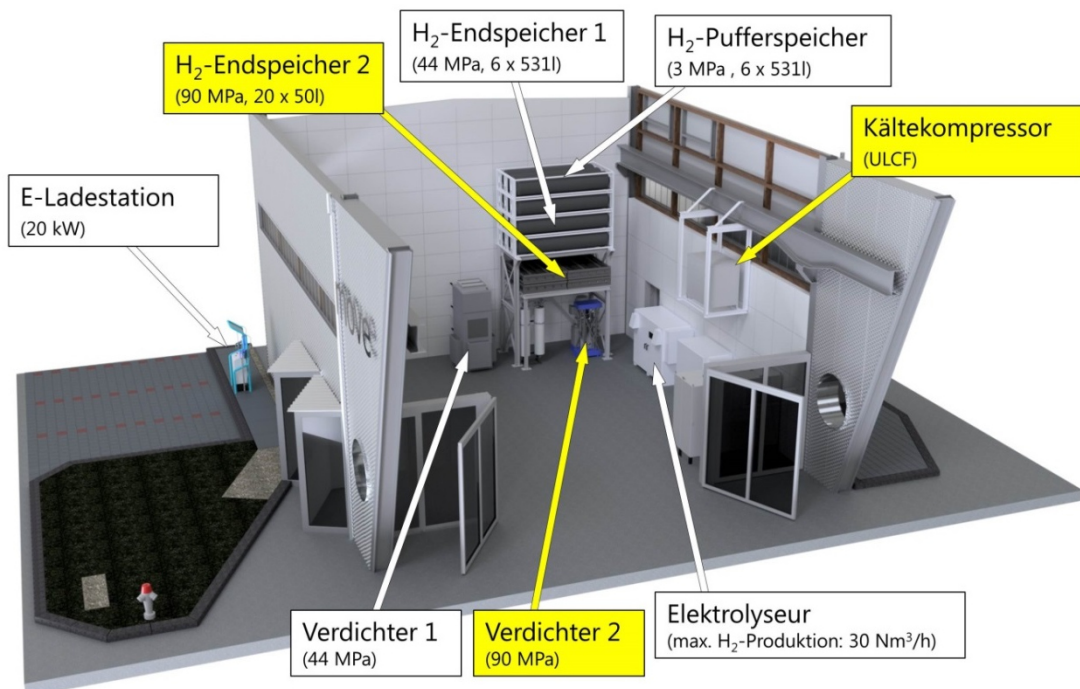


Abb. 1 Demonstrationsanlage *move* inkl. Komponenten zur 70 MPa-Anlagenerweiterung (in Gelb)

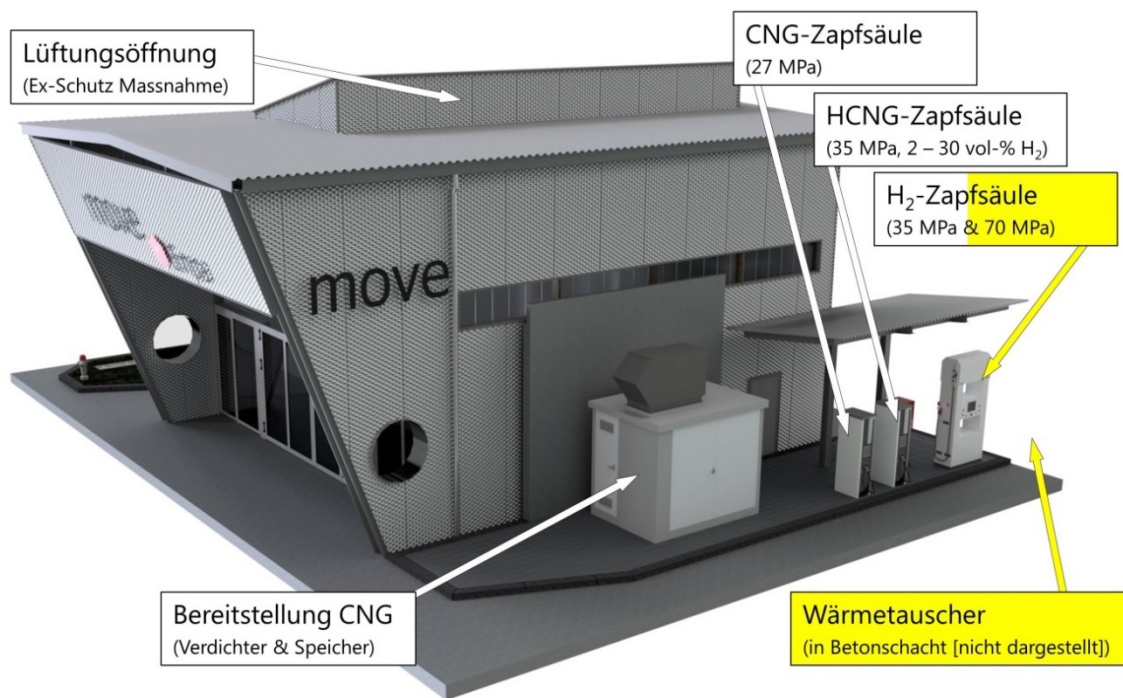


Abb. 2 Tankstelle der Demonstrationsanlage *move* inkl. Erweiterung der Zapfsäule mit 70 MPa Zapfpunkt

Im Zuge des Arbeitspaketes 1 erfolgte nach Projektstart die Planung, Auslegung und Beschaffung der notwendigen Komponenten für eine H₂-Betankung beim Standarddruck von 70 MPa. Es handelt sich dabei um den Standarddruck für die Betankung von Brennstoffzellen-Personenwagen. Konkret umfasst die Erweiterung folgende Hauptbestandteile:

- Verdichter (Ausgangsdruck: 90 MPa)
- Hochdruckspeicher (90 MPa)
- Vorkühlsystem (Kältekompressor und Aluminiumblock-Wärmetauscher)
- Zapfsäulenerweiterung inkl. Ventilmanifold zur Betankungssteuerung

Die Komponenten 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 Kältekompressor des Vorkühlsystems wurde eine Stahlkonstruktion zur Befestigung an der Wand gefertigt.

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. Die Installation der Kältemittelleitungen (≠ Kühlwasserleitungen) zwischen Kältekompressor und Wärmetauscher wurde bei der Firma Cofely in Auftrag gegeben.



Nachfolgende Bilder zeigen die Positionierung einiger Hauptkomponenten (Verdichter, Kältekompressor, Wärmetauscher), welche mit Hilfe eines Staplers und eines Krans erfolgten.



Abb. 3 Positionierung von Verdichter (o.l.), Kältekompressor (o.r.) und Wärmetauscher im Betonschacht (u.)



Nach Abschluss aller Installationsarbeiten wurden sämtliche H₂-Verbindungsleitungen durch die Firma Maximator unter Aufsicht der benannten Stelle TÜV Thüringen Schweiz druckgeprüft. Die Inbetriebnahme der Anlagenerweiterung wurde Anfang Juli durchgeführt. Am 06.07.2016 erfolgte die schweizweit erste H₂-Betankung eines Brennstoffzellenfahrzeugs bei einem Tankdruck 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. Derzeit zählen insgesamt elf Brennstoffzellenfahrzeuge zum Nutzerkreis der 70 MPa Tankstelle, wobei im Durchschnitt etwas mehr als eine Betankung pro Tag durchgeführt wird. Bei sämtlichen Fahrzeugen handelt es sich um das Modell ix35 FC von Hyundai.

1.2. AP2: Planung und Realisierung der 70/35 MPa H₂-Tankstelle in Hunzenschwil

Die ursprünglich geplante Tankstelle in Dietikon konnte nicht verwirklicht werden. Als Alternative wurde die Coop Tankstelle in Hunzenschwil mit bestehender separater Diesel Zapfsäule ausgewählt. Hunzenschwil liegt nahe an der neuen Coop Verteilzentrale Schafisheim und ermöglicht Betankungen durch LKW und eine gute Auslastung der Tankstelle, zusammen mit den PW's von Coop und anderen privaten Hyundai BZ-Fahrzeugen.

Aus Platzgründen wurde eine unterirdische Anordnung des 5 MPa Vorrattanks gewählt.

Die Baugenehmigung für die Erweiterung der Tankstelle mit Wasserstoff wurde ohne Einsprache erteilt.



Abb. 4 Einsanden des erdverlegten 5 MPa Tanks

Das Konzept der Tankstelle ist wie folgt:

- Anlieferung des Wasserstoffs durch H₂-Energy in einem 20 MPa Trailer ab der Produktion am Laufwasserkraftwerk in Aarau.
- Überströmen in den unterirdischen Tank bis max. 5 MPa, wobei der Trailer an einem speziellen Anschlusskasten angedockt wird. Der Transport wird durch eine Spezialfirma mit ADR Bewilligung durchgeführt.
- Durch eine unterirdische Leitung wird der Wasserstoff aus dem 5 MPa Tank angesaugt und im ionischen Verdichter von Linde, der in einem Container eingebaut ist, auf 90 MPa verdichtet.
- Der Wasserstoff wird in 90 MPa Tanks im Container gespeichert.
- Für die Betankung bei 35 MPa strömt H₂ aus den zugewiesenen 90 MPa Speichern via unterirdischer Leitung zur Zapfsäule und mit Highflow-Pistole in das Fahrzeug (LKW, Bus, etc.).
- Für die Betankung bei 70 MPa strömt H₂ aus den zugewiesenen 90 MPa Speichern via unterirdischer Leitung und via Vorkühler (-40°C) zur Zapfsäule und in das Fahrzeug.

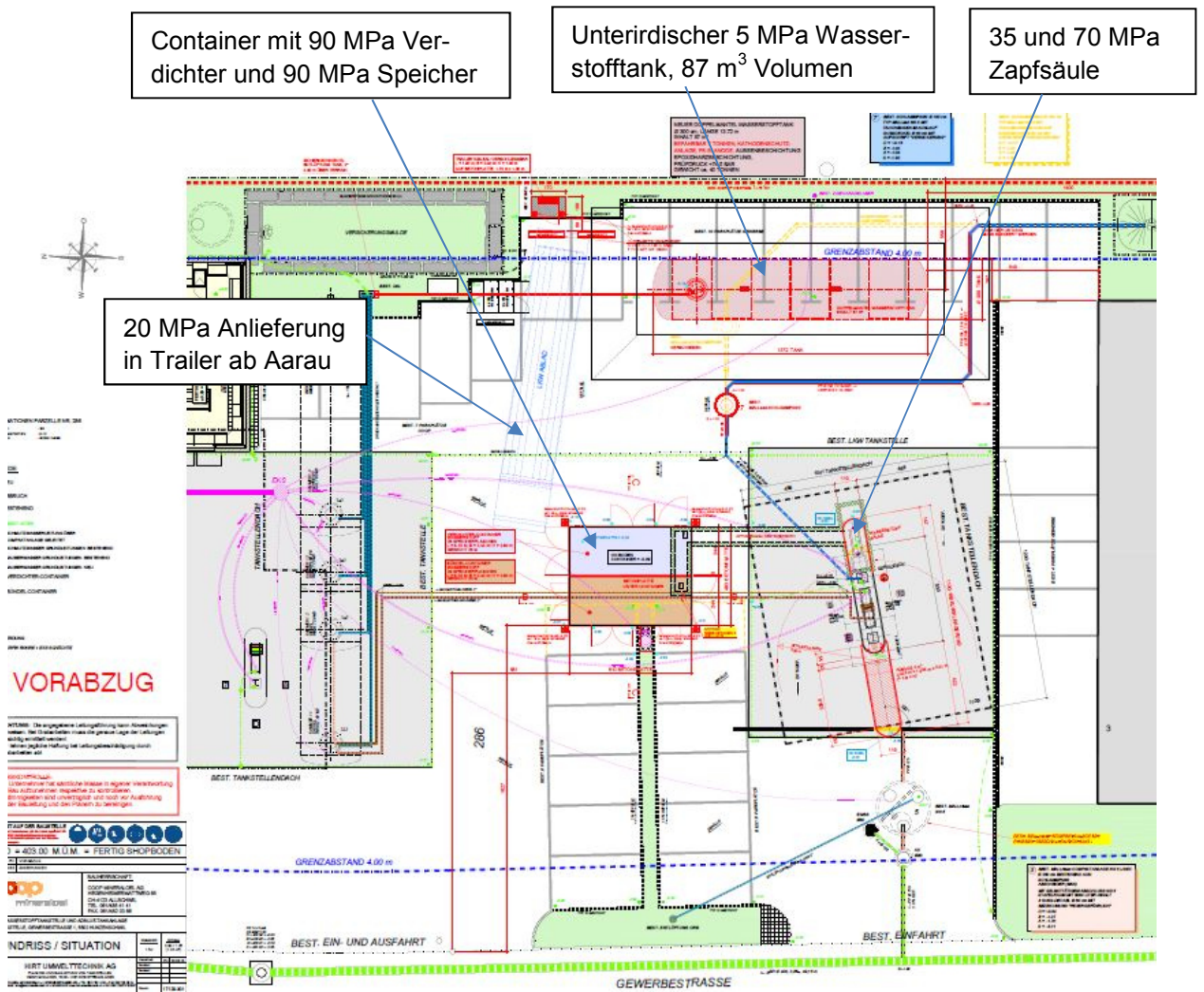


Abb. 5 Grundriss der Tankstelle Hunzenschwil



Abb. 6 Ansicht Tankstelle bei H₂ Anlieferung

Aktuell werden täglich die 12 Hyundai Fahrzeuge von Coop betankt und ab Mitte Dezember der Coop LKW. Ebenso tanken in unregelmässigen Abständen ca.10 private Hyundai.

1.3. AP3: Klärung rechtlicher Fragen zu Errichtung und Betrieb von H₂-Tankstellen

1.3.1. AP3 A: Genehmigungsverfahren von H₂-Tankstellen in der Schweiz

Als wichtigstes Arbeitsergebnis soll aus dem Arbeitspaket 3 A ein Genehmigungsleitfaden für H₂-Tankstellen in der Schweiz resultieren. Zu diesem Zweck wurden im Jahr 2016 während der Planungs- und Aufbauphase der Tankstelle an der Empa relevante Dokumente gesammelt, welche die Grundlage für einen entsprechenden Leitfaden bilden sollen.

In Absprache mit dem Projektpartner H₂-Energy sollen im kommenden Jahr die beim Tankstellenbau zu beachtenden Punkte zusammengetragen und festgehalten werden. Vorstellbar ist ein Leitfaden nach dem Vorbild des Deutschen „Genehmigungsleitfaden für Wasserstoff-Stationen“ von NOW GmbH [4].



1.3.2. AP3 B: Untersuchungen zur Ex-Zonenregelung an H₂-Zapfsäulen

Der ursprüngliche Titel des Arbeitspakets 3 B „Untersuchungen an neuartigen H₂-Zapfpistolen“ wurde auf obige Benennung angepasst. Das Ziel der auszuführenden Arbeiten bleibt dabei unverändert. Allerdings soll vorderhand angestrebt werden, eine zweckmässige Ex-Zonenregelung zu erreichen, ohne dass die Einführung von neuartigen H₂-Zapfpistolen nötig wird. Im Jahr 2016 fanden zu dieser Thematik diverse Sitzungen und Telefongespräche mit der SUVA statt. Erkenntnisse aus den ersten Abklärungen werden in den nachfolgenden Abschnitten zusammengefasst.

Aufgrund der Ähnlichkeit der Kraftstoffe Wasserstoff und Methan in Bezug auf verschiedene relevanten Stoffeigenschaften (gasförmig bei Normbedingungen und erhöhtem Druck, geringere Dichte als Luft, ...) werden für die Bestimmung der Ex-Zoneneinteilung bei H₂-Tankstellen die wesentlichen Vorgaben von Erdgas/Biogas-Tankstellen übernommen. Insbesondere gilt für H₂-Tankstellen somit auch der Minimalabstand von einem Meter von Verbindungsstelle Zapfpistole/Fahrzeugstutzen bis zu einer potentiellen Zündquelle (Ex-Zone). Eine solche Zündquelle stellt beispielsweise ein Rechner einer benachbarten Zapfsäule dar, was dazu führt, dass Zapfsäulen für gasförmige Kraftstoffe nur unter bestimmten Bedingungen in eine konventionelle Tankstelle integriert werden können.

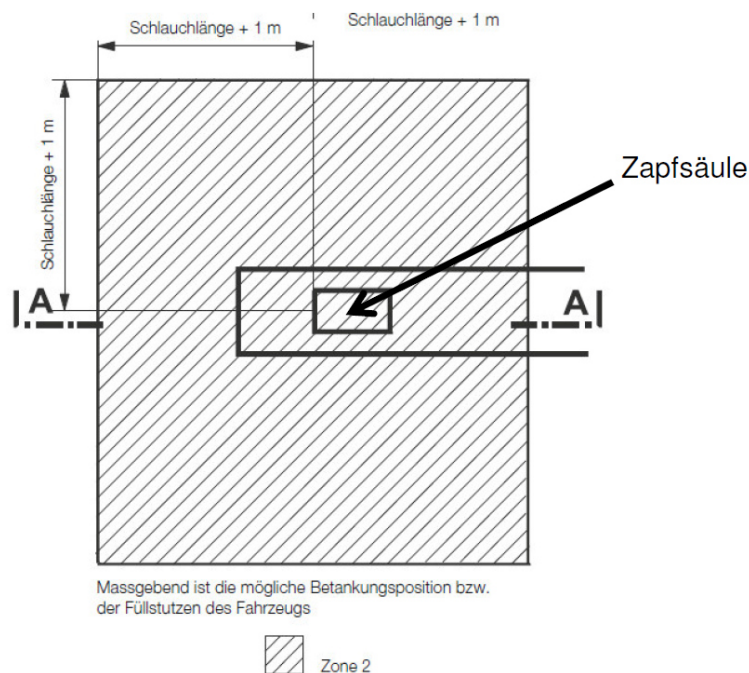


Abb. 7 Zoneneinteilung einer Erdgas/Biogas-Zapfsäule gemäss Suva Merkblatt 2153

Für die Betankung von Erdgas/Biogas wurde mittlerweile eine Lösung in Form einer neuartigen Zapfpistole gefunden, welche die austretende Gasmenge bei einem Leck signifikant reduziert und womit das Vorsehen einer Ex-Zone obsolet wird. Auch für Wasserstoff wäre eine solche Lösung denkbar, allerdings soll, wie oben erwähnt, vorderhand nach anderen Lösungen gesucht werden. Neben weiteren Ansätzen stehen bislang folgende mögliche Optionen im Vordergrund, welche eine Reduktion der Ex-Zoneneinteilung ebenfalls rechtfertigen können:

- *Anpassung an ausländische Gesetzgebung*
Die geltenden Ex-Zonevorschriften im Nachbarstaat Deutschland, welchem europaweit eine Vorreiterrolle in Bezug auf die Wasserstoffmobilität zugeordnet werden kann, sind weniger restriktiv im Vergleich zur Schweizer Regelung. Die festgelegten Minimalabstände sind kleiner und die Integration von H₂-Zapfsäulen in konventionelle Tankstellen stellt diesbezüglich keine Probleme dar.
- *Lecktest zu Beginn der Betankung*
Durch einen zuverlässig funktionierenden Lecktest zu Beginn des Betankungsprozesses wird eine Reduktion der Ex-Zoneneinteilung akzeptiert. Dies auch wenn eine geringe Menge an Wasserstoff während des Lecktests an die Umgebung austritt. Ein entsprechender Lecktest ist in der international angewandten SAE-Norm J2601 [5] für die Betankung von Wasserstofffahrzeugen festgehalten.
- *Neueinschätzung des Risikos einer Undichtigkeit*
Im Vergleich zur Erdgas/Biogas-Variante ist der Dichtungsring für die 70 MPa H₂-Betankung eines Brennstoffzellenfahrzeugs konstruktiv auf eine andere Weise in den Stützen eingebettet und wird durch zwei Stützringe gehalten [6]. Eine Neueinschätzung des Risikos von Undichtigkeiten ist damit legitim und könnte zu einer weniger restriktiven Ex-Zoneneinteilung führen.

Als Basis für die letzten beiden Ansätze wurden in einem ersten Schritt Informationen zusammengetragen, um das Zustandekommen der Ex-Zonevorschriften für den Fall Erdgas-/Biogas zu rekonstruieren. Neben den Berichten [7] und [8] konnten jedoch keine weiteren offiziellen Dokumente gefunden werden, welche eine vollständige Aufklärung zum entsprechenden Thema liefern. Die vorliegenden Informationen basieren demzufolge grösstenteils auf Erfahrungsberichten von involvierten Personen.

In weiteren Schritten werden vorrangig die ersten beiden Ansätze verfolgt. Die Möglichkeit der Anpassung der Ex-Zone mit Orientierung auf ausländische Gesetzgebung wird in Gesprächen unter Beteiligung der SUVA, des Projektpartners H₂-Energy, der benannten Stelle TÜV Thüringen Schweiz und der Empa erörtert.

Eine Anerkennung des zweiten Ansatzes zur Reduktion der Ex-Zoneneinteilung hängt von der Zuverlässigkeit des Lecktests ab. In einem nächsten Schritt sollen Methoden gefunden werden, welche die Prüfung der Zuverlässigkeit ermöglichen. Denkbar ist beispielsweise die Durchführung von entsprechenden Messungen an der H₂-Tankstelle der Empa.

1.3.3. AP3 C: Erlangung der Eichfähigkeit für H₂-Zapfsäulen

Für die geplanten ersten Schritte zur Entwicklung eines Eichverfahrens für H₂-Zapfsäulen wird eine mobile Eichvorrichtung benötigt. Bereits zum Zeitpunkt der Erstellung des Projektantrags wurde festgelegt, dass die Eichmessung auf Basis der gravimetrischen Methode erfolgen soll. Die Eichung von Erdgas/Biogas-Zapfsäulen wird ebenfalls mit dieser Methode durchgeführt. Andere Methoden wie die Messung mit Hilfe eines Referenzsensors oder mit Hilfe von Druck- und Temperaturmessungen (pVT-Methode) werden im Rahmen dieses Projektes nicht untersucht.

Eine entsprechende Eichvorrichtung wurde im Jahr 2016 durch den Projektpartner Metas (Metrologisches Institut der Schweiz) konzipiert. Die nachfolgende Suche nach Anbietern für die benötigten Komponenten stellte eine Herausforderung dar. Insbesondere für Hochdruck-Gasbehälter und dessen



Anschlussventile existieren nur wenige Lieferanten, welche zudem am Verkauf von solchen Produkten in geringen Stückzahlen kein Interesse haben. Ein weiteres Hindernis stellte die Beschaffung der dazu benötigten Zulassungsdokumente dar. Aus diesen Gründen konnte der Aufbau der Eichvorrichtung noch nicht fortgesetzt werden. Die Lieferung der benötigten Komponenten erfolgt im Januar 2017, sodass die Vorrichtung im ersten Quartal fertiggestellt werden kann.

1.4. AP4: Monitoring des H₂-Verdichters, der Speicher und des Anlagenbetriebs

Wie in Kapitel 1.1. beschrieben, umfasst das vorliegende Projekt die Erweiterung der bestehenden Demonstrationsanlage um Anlagenkomponenten zur Ermöglichung der H₂-Betankung bei 70 MPa. Die Gesamtanlage besteht aus Komponentengruppen von unterschiedlichen Herstellern, welche jeweils eine individuelle Steuerungseinheit besitzen. Über diese Einheit werden auch die Messdaten der entsprechenden Komponentengruppe aufgezeichnet. Um sämtliche Messdaten der gesamten Anlage an einer Stelle zusammenzuführen wurde die Demonstrationsanlage mit einer SPS ausgerüstet, welche zudem die Funktion der übergeordneten Steuerung übernimmt.

Im Jahr 2016 begonnen und noch in Arbeit ist die Implementation der Kommunikation zwischen dieser SPS und der Komponentengruppe für die 70 MPa H₂-Betankung (Hersteller Linde). Zudem wurden im Verlaufe des Jahres Energiezähler der Firma Janitza installiert, welche den Energieverbrauch der einzelnen Hauptkomponenten messen. Neben weiteren kleineren Vorbereitungsarbeiten für die ausführlichen Messreihen im kommenden Jahr, wurden bereits einzelne Messungen durchgeführt und analysiert, um erste Erfahrungen zu sammeln. Konkret wurden beispielsweise Messdaten der H₂-Zapfsäule bei einer 70MPa Betankung aufgezeichnet:

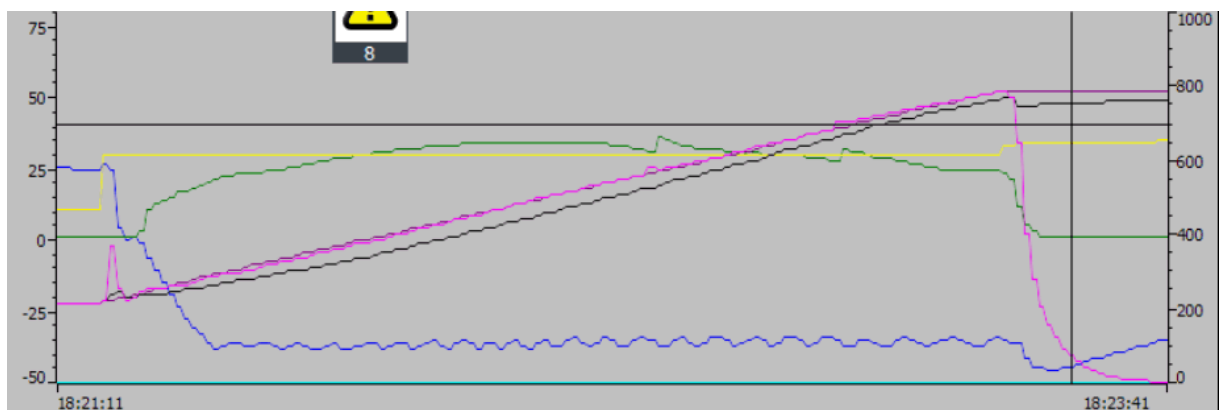


Abb. 8 Aufgezeichnete Druck-, Temperatur- und Massenstrommessungen während einer 70MPa H₂-Betankung

Bei obigem Diagramm handelt es sich um einen Screenshot der Aufzeichnungseinheit von Linde. Folgende Parameter können dem Diagramm entnommen werden:

Druck in der Zapfsäule	rosa	[bar]	vertikale Achse rechts
Druck im Fahrzeug	schwarz	[bar]	vertikale Achse rechts
Temperatur in der Zapfsäule	blau	[°C]	vertikale Achse links
Massenstrom	grün	[g/s]	vertikale Achse links

Nach einem kurzen Druckstoss nach Betankungsstart und der anschliessenden Haltephase (Durchführung des Lecktests) wird der Druck in der Zapfsäule mit Hilfe eines sogenannten Rampenreglers so gesteuert, dass er in etwa linear ansteigt. Die Gastemperatur sinkt rasch von Umgebungstemperatur auf unter -30°C ab und pendelt anschliessend zwischen ungefähr -37°C und -33°C auf und ab. Der Grund für die Oszillationen liegt darin, dass dem vorgekühlten Wasserstoff über einen sich periodisch öffnenden Bypass ungekühlter Wasserstoff beigemischt wird. Auf diese Weise kann die zu kühlende Wasserstoffmenge reduziert und Energie gespart werden. Falls die vorherrschenden Bedingungen es erfordern, hat man aber dennoch die Möglichkeit auf die Beimischung von ungekühltem Wasserstoff zu verzichten und tiefere Temperaturen zu erreichen.

Ausführliche Messungen und Auswertungen, welche insbesondere auch den Energieverbrauch der Hauptkomponenten der Anlage umfassen, werden im kommenden Jahr durchgeführt.

1.5. AP5: Betrieb und Monitoring der Brennstoffzellen Fahrzeuge

Im Rahmen des vorliegenden Projektes erwarb die Empa im Februar 2016 ein Brennstoffzellenfahrzeug von Hyundai, welches mit zehn weiteren Fahrzeugen den momentanen Nutzerkreis (Stand Dezember 2016) der 70MPa H₂-Tankstelle der Empa bildet. Das Fahrzeug wurde mit einem Aufzeichnungsgerät ausgerüstet, welches von der Empa im Jahr 2016 aufgebaut und programmiert wurde. Die Komponenten des Gerätes stammen von der Firma National Instruments. Untenstehendes Foto zeigt das eingebaute Aufzeichnungsgerät.

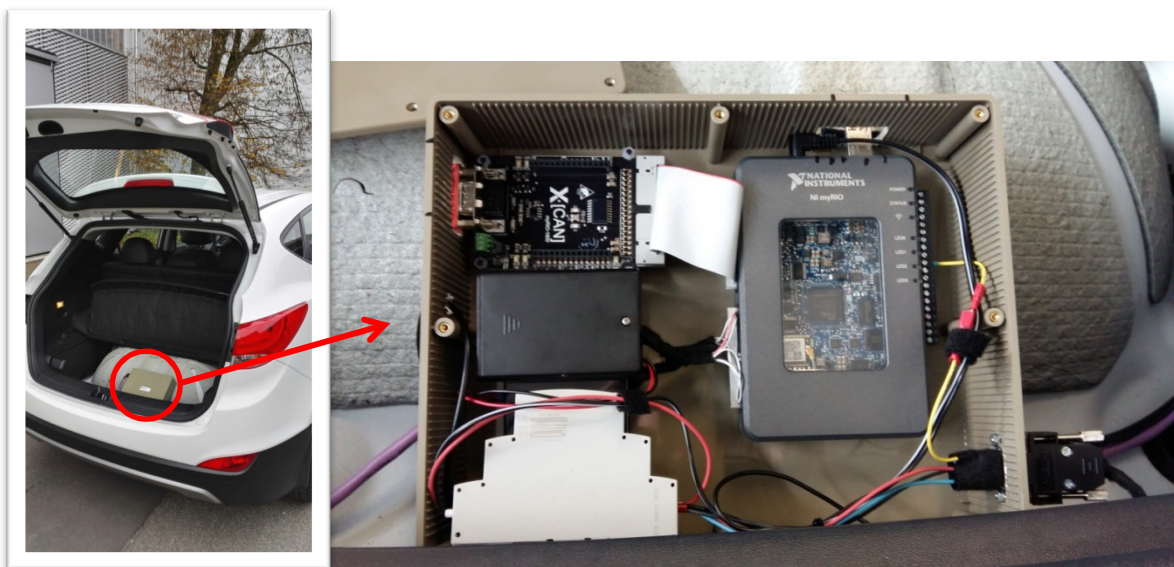


Abb. 9 Eingebautes Aufzeichnungsgerät im Hyundai ix35 FC der Empa

Nach abteilungsinternen Testfahrten wurde das Fahrzeug in die Flotte der Empa Dübendorf integriert. Neben vier weiteren Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen (NGV, BEV, HEV, PHEV) kann es von Empa-Mitarbeitenden für dienstliche und private Zwecke gemietet werden. Die Mieter werden mittels Datenschutzdokument auf das eingebaute Aufzeichnungsgerät hingewiesen und die Sammlung der Daten erfolgt anonymisiert.



Folgende Auflistung zeigt die aufgezeichneten Daten. Sie werden vom CAN-Bus des Fahrzeugs abgegriffen.

Fahrzeugtank	Druck, Temperatur, Füllstand
BZ-Zellenstapel	Spannung, Strom, Druck in H2-Zufuhrleitung, Kühlflüssigkeitstemperatur am Ein- und Austritt, Luftmassenstrom am Eintritt, Druck am Ein- und Auslass, Abgastemperatur
DC/DC-Wandler	Temperatur
Batteriesystem	SOC, Strom, Spannung, Temperatur
Elektromotor	Drehzahl, Spannung, <u>Strom</u> , Temperatur
Fahrzeug	<u>Geschwindigkeit</u> , gefahrene Kilometer, Position (GPS)

Als Beispiel zeigt nachfolgendes Diagramm den am Elektromotor anliegenden Strom und die Fahrzeuggeschwindigkeit (in obiger Auflistung unterstrichen) während eines sechsminütigen Teilausschnitts einer Testfahrt. Leicht erkennbar sind dabei die entstehenden Stromspitzen bei Beschleunigungsvorgängen sowie die negativen Stromwerte beim Bremsen beziehungsweise unter Umständen bereits beim Loslassen des Gaspedals. In dieser Phase wird kinetische Energie rekuperiert. Auch bei nahezu konstanter Fahrzeuggeschwindigkeit kann die Stromstärke relativ stark variieren.

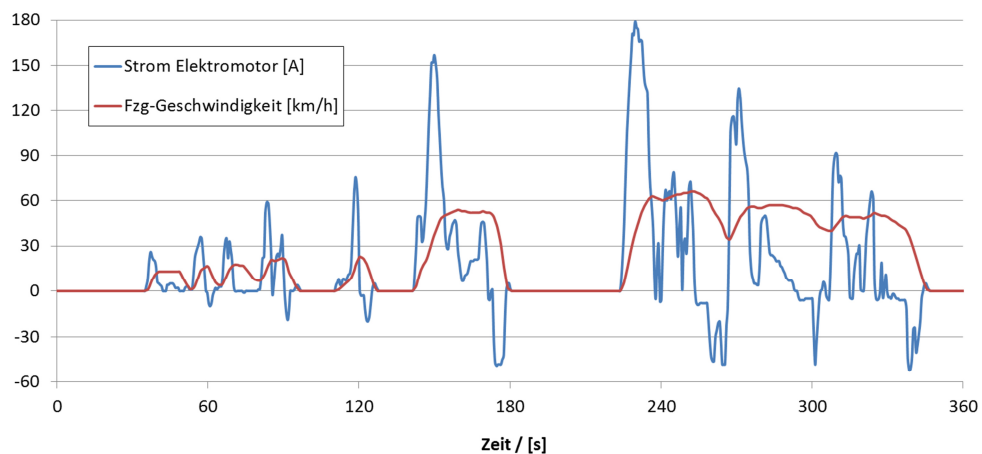


Abb. 10 Am Elektromotor anliegender Strom und Fahrzeuggeschwindigkeit während einer Testfahrt

Analog dem Arbeitspaket 4 sind auch in diesem Arbeitspaket ausführliche Messungen und Auswertungen, welche insbesondere auch den Energieverbrauch des Fahrzeugs in realem Betrieb umfassen, im weiteren Verlauf des Projektes geplant.



Nationale Zusammenarbeit

Zusammenarbeit mit Industriepartnern (mit finanzieller Beteiligung)

- H₂-Energy Erfahrungsaustausch bezüglich Planung, Realisierung und Einhaltung von gesetzlichen Bestimmungen beim Bau von H₂-Tankstellen
- Hyundai Erfahrungsaustausch bezüglich Nutzung von BZ-Fahrzeugen und Tankstellen

Zusammenarbeit mit Projektpartnern (ohne finanzielle Beteiligung)

- Metas Erfahrungsaustausch bezüglich Eichmessungen von H₂-Zapfsäulen
Zudem: mit Metrologischen Instituten aus weiteren europäischen Ländern ist derzeit (Stand Dezember 2016) die Eingabe eines EU-Projektes geplant, welches unter anderem die Themen „Eichung“ und „H₂-Reinheit“ von H₂-Zapfsäulen adressiert. Es ist geplant, dass Metas und die Empa an diesem Projekt teilnehmen.
- Stäubli Im 2016 noch keine Kontakte nötig

Erfahrungsaustausch mit H₂-Tankstellenbetreibern

Es besteht ein aktiver Erfahrungsaustausch mit den Betreibern der übrigen H₂-Tankstellen in der Schweiz. Namentlich:

- Hunzenschwil, H₂-Energy/Coop -> in AP2 integriert
- Brugg, PostAuto
- Martigny, EPFL

Mit den Verantwortlichen der H₂-Tankstelle in Martigny wurden im Jahr 2016 Erfahrungen im Rahmen von Sitzungen und Korrespondenzen per E-Mail und Telefon ausgetauscht. Konkret wurden beispielsweise Informationen zu relevanten Behörden weitergegeben sowie technische Fragen diskutiert. Für die Erstellung des in AP3 geplanten Leitfadens im kommenden Jahr, sollen bei Aufbau und Betrieb der Anlage in Martigny gesammelte Erfahrungen einfließen.

Neben bilateralen Kontakten findet ein regelmässiges Treffen (Erf-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 Brugg und Martigny nehmen ebenfalls an diesen Treffen teil.

Anlagenbesichtigungen

Als Teil der Power-to-Gas Demonstrationsanlage *move* wird die H₂-Tankstelle der Empa mehrmals wöchentlich von Vertretern aus Industrie, Wissenschaft und Politik besucht. Im Schnitt liegen die Besucherzahlen bei ca. 150 Personen pro Monat.



Internationale Zusammenarbeit

Erfahrungsaustausch mit H₂-Tankstellenbetreibern

Auch mit Betreibern von H₂-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 (DE)

Die Graforce Hydro GmbH planen ein Projekt im Bereich Power-to-Gas und Betankung gasförmiger Kraftstoffe, bei welchem die Empa eine Beratungsfunktion übernehmen soll.

Erste Kontakte zu Wenger Engineering GmbH (DE)

Im 2016 wurden erste Kontakte zu Wenger Engineering geknüpft, welche unter anderem eine hohe Kompetenz der Betankung von gasförmigen Kraftstoffen aufweisen (Mitwirkung bei der Erstellung der SAE-Norm 2601 [5]).

Informationsaustausch mit h2mobility.org / TÜV Süd

Kommunikation von Spezifikationen, Standort und Verfügbarkeit der H₂-Tankstelle auf dem Empa Campus über eine internationale Plattform.



Bewertung 2016 und Ausblick 2017

Das Projekt kam im Jahr 2016 insgesamt gut voran. Mit der Inbetriebnahme der beiden Tankstellen (AP1&2) wurden zwei wichtige Meilensteine erreicht. Abgesehen von dem noch ausstehenden (Stand Dezember 2016) Abschluss des Bewilligungsverfahrens der Tankstelle in Hunzenschwil konnten damit die ersten beiden Arbeitspakete erfolgreich abgeschlossen werden. Somit ist die Grundlage geschaffen, um die mehrheitlich wissenschaftlichen Aktivitäten der weiteren Arbeitspakete starten zu können.

Im Jahr 2017 ist es entscheidend, dass die Aufgaben des dritten Arbeitspaketes (Klärung rechtlicher Fragen zu Errichtung und Betrieb von H₂-Tankstellen) möglichst rasch angegangen werden. Konkret ist es beispielsweise von Bedeutung, dass zusammen mit dem Projektpartner Metas erste Eichmessungen durchgeführt werden können. Diese Messungen sind auch von Relevanz für den weiteren Ausbau der H₂-Tankstelleninfrastruktur durch Coop/H₂-Energy. Gleichermassen kann auch der Weiterführung der Abklärungen zur Ex-Zonenregelung eine gewisse Dringlichkeit zugeordnet werden. In Absprache mit SUVA, H₂-Energy und TÜV Thüringen Schweiz sollen notwendige Untersuchungen (Bsp. Lecktests) definiert werden, welche zu einer Redimensionierung der aktuell geltenden Zonenregelung führen können.

Der Start von ausführlichen Messungen und energetischen Analysen an Anlage und Fahrzeuge (AP4&5) ist für das kommende Jahr geplant.

Im Rahmen einer Semesterarbeit an der ETH Zürich konnte ein Simulationsmodell des *move* erstellt werden. Es ist geplant, dieses Modell zur Untersuchung verschiedener Auslegungs- und Betriebsparameter von PtG-Anlagen einzusetzen.



Referenzen

- [1] <https://www.empa.ch/web/s604/move-700bar>, 2016
- [2] http://www.coop.ch/pb/site/medien/node/84732590/Lde/index.html#http://www.coop.ch/pb/site/medien/get/params_Dattachment/84734082/DSC_9359_g.jpg, 2016
- [3] <https://press.hyundai.ch/meilenstein-in-der-schweizer-mobilitat#>, 2016
- [4] Genehmigungsleitfaden für Wasserstoff-Stationen, NOW GmbH - Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
- [5] SAE J2601 Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles, SAE International, 2014
- [6] SAE J2799: 70 MPa Compressed Hydrogen Surface Vehicle Fueling Connection Device and Optional Vehicle to Stations Communications, SAE International, 2007
- [7] Überprüfung des Explosionsschutzkonzeptes Erdgas-Busbetankung BERNMOBIL, Weyer und Partner (Schweiz) AG, 2006
- [8] Risikoabschätzung beim Betankungsvorgang von Erdgasfahrzeugen, Basler&Hofmann/Empa i.A. von Gasmobil, 2013



Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
BEV	Battery Electric Vehicle (Batterieelektrisches Fahrzeug)
BZ	Brennstoffzelle
CMA	Coop Mineralöl AG
Ex-Zone	Explosionsschutz-Zone
H ₂	Wasserstoff
HEV	Hybrid Electric Vehicle (Hybridelektrisches Fahrzeug)
LKW	Lastkraftwagen
MPa	Megapascal (1 MPa = 10 bar)
NGV	Natural Gas Vehicle (Erdgas/Biogas Fahrzeug)
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Plug-in Hybridelektrisches Fahrzeug)
PW	Personenwagen



Anhang

(keine Anlagen)