



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

Schlussbericht 22.08.2014

---

## **IHPoS to Market**

Integration von Radio-Frequency Identification  
für portable Metallhydridspeicher und In-System  
Aktivierungsfunktionalitäten

---

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm XY  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Kofinanzierung:**

CEKAtec AG  
Industriestrasse 2  
CH-9630 Wattwil  
[www.cekatec.ch](http://www.cekatec.ch)

MaHyTec SA  
210 avenue de Verdun  
39100 Dole  
Frankreich  
[www.mahytec.com](http://www.mahytec.com)

**Auftragnehmer:**

BFH-TI Biel  
Prof. Michael Höckel  
Quellgasse 23  
2503 Biel  
[www.ti.bfh.ch](http://www.ti.bfh.ch)

**Autoren:**

Prof. Michael Höckel, BFH-TI, [hkm1@bfh.ch](mailto:hkm1@bfh.ch)  
Alain Trachsel, BFH-TI, [alain.trachsel@bfh.ch](mailto:alain.trachsel@bfh.ch)  
Marc Hachen, BFH-TI, [marc.hachen@bfh.ch](mailto:marc.hachen@bfh.ch)

**BFE-Bereichsleiter:** Dr. Stefan Oberholzer  
**BFE-Programmleiter:** Dr. Stefan Oberholzer  
**BFE-Vertragsnummer:** SI/500893-01

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

## Zusammenfassung

Ziel des Projektes war es, Verbesserungen des Handlings und der Produktion von Brennstoffzellensystemen mit Wasserstoffspeichern auf Basis von Metallhydriden für deren Einsatz in mobilen Anwendungen zu entwickeln.

Das Handling kann entscheidend verbessert werden, wenn der Füllstand der H<sub>2</sub>-Speicher überwacht und angezeigt wird. Im Rahmen dieses Projektes wurde ein auf RFID (Radio-Frequency Identification)-Technologie basiertes System zur Kennzeichnung des Füllstandes von Metallhydridspeichern aufgebaut und erfolgreich getestet. Ein System benötigt ca. drei Speicher pro Tag, welche über einen Schnellverschluss einfach ausgetauscht werden können. Die Wasserstoffentnahme wird bei jedem Speicher über die Betriebsdaten des Brennstoffzellensystems berechnet und auf seinem RFID-Chip abgelegt. An der Ladestation der Speicher werden die Daten für eine zentrale Auswertung gelesen und in einer Datenbank hinterlegt und bei jeder Befüllung die Chips wieder zurückgesetzt. Darüber hinaus wurde eine Software für die mobile Datenanzeige auf optional einsetzbare Handlesegeräte entwickelt.

PEM-Brennstoffzellen müssen vor der Auslieferung mindestens 50 Stunden betrieben und getestet werden, damit ihre maximale Performance garantiert werden kann. Die Produktionszeiten und somit die Kosten von Brennstoffzellensystemen können also dadurch reduziert werden, dass der Hersteller die Brennstoffzellen direkt im System „einführt“. Es wurde ein Code geschrieben, erfolgreich getestet und in den Systemmonitor integriert, über welchen Brennstoffzellen-Stacks im fertigen System diesem abschliessenden Prozess unterzogen werden können. Es werden dabei alle relevanten Systemdaten überwacht und es besteht die Möglichkeit, ein automatisches Reporting zu erstellen.

Zusätzlich zu den im Projektantrag genannten Zielen wurde eine Wasserstoffdetektion in der Abluft luftbetriebener Brennstoffzellensysteme entwickelt. Dadurch ist es möglich, allfällige interne Leckagen im System frühzeitig zu erkennen und im Falle einer Grenzwertüberschreitung die Systemabschaltung einzuleiten.

Die im Antrag beschriebenen Projektziele konnten unter Einhaltung der Budgetvorgaben vollumfänglich erreicht werden. Die vorgeschlagenen Systemoptimierungen wurden bereits in den Teststand der Firma CEKAtec bzw. in die ausgelieferten SBB-Minibarsysteme integriert. Bei Projektende sind 60 Metallhydridspeicher im Einsatz.



# **Teil 1: Beschreibung Funktionsumfang: RFID**

Beschreibung der implementierten Funktionen für die RFID Anbindung im IHPoS

Erstellt durch: Alain Trachsel, Michael Höckel

Version 1.0

Datum: Freitag, 22. August 2014

# 1 Inhalt

1 Inhalt .....	6
2 Einleitung .....	7
3 Konzept .....	7
3.1 Systemübersicht .....	7
3.2 Implementierte Funktionen .....	8
3.3 Füllstandsanzeige .....	9
3.3.1 Auf der Minibar .....	9
3.3.2 Tablett / Laptop .....	9
3.3.3 Ladestation .....	9
3.3.4 Handlesegerät für das Bedienpersonal .....	10
4 Minibar .....	11
4.1 Vorgesehener Montageort von Reader und RFID-TAG .....	11
4.1.1 Lesegerät .....	11
4.1.2 RFID-TAG .....	11
4.1.3 Platzproblematik .....	11
4.2 Validierung .....	12
4.2.1 Test im Labor in Biel .....	12
4.2.2 Erste Feldtests mit Ladestation .....	12
5 MH-Speicher .....	19
5.1 Definierte Speicherbelegung .....	19
5.1.1 Block-Organisation / Kapazität .....	19
5.1.2 Belegung .....	19
6 Ladestation .....	20
6.1 Funktionsbeschreibung .....	21
6.2 Nutzen .....	21
6.3 Validierung .....	22
7 Fazit .....	23
7.1 Mögliche Erweiterungen .....	23
8 Abbildungsverzeichnis .....	25
9 Tabellenverzeichnis .....	25
10 Glossar / Formelzeichen .....	25
11 Anhang .....	26

## 2 Einleitung

Radio Frequency IDentification (RFID) ist ein automatisches Identifikationsverfahren, welches in den letzten Jahren eine grosse Verbreitung in zahlreichen Anwendungsgebieten gefunden hat.

Es handelt sich hierbei um eine kontaktlose Kommunikationstechnik, die Informationen zur Identifikation von Personen, Tieren, Waren sowie Gütern überträgt. Der Einsatz von RFID ermöglicht viele neue Anwendungen, die mit herkömmlichen Identifikationssystemen nicht realisierbar waren. Ein RFID-System besteht auf der einen Seite aus einem Datenträger (Transponder oder TAG genannt) und auf der anderen Seite aus einem Schreib/Lesegerät mit Antenne. RFID arbeitet mit schwachen elektromagnetischen Wellen, die von einem Lesegerät abgestrahlt werden. Bringt man einen Transponder in die Reichweite dieser Antenne, kann man Informationen berührungslos vom Speicher des Transponders lesen oder auch Daten darauf speichern.

Die Technologie hat üblicherweise Reichweiten von 1–20 cm und ist im Bereich der Nahfeldkommunikation (NFC) eingegliedert. (Quelle: <http://www.tagnology.com/rfid/was-ist-rfid.html>)

## 3 Konzept

### 3.1 Systemübersicht

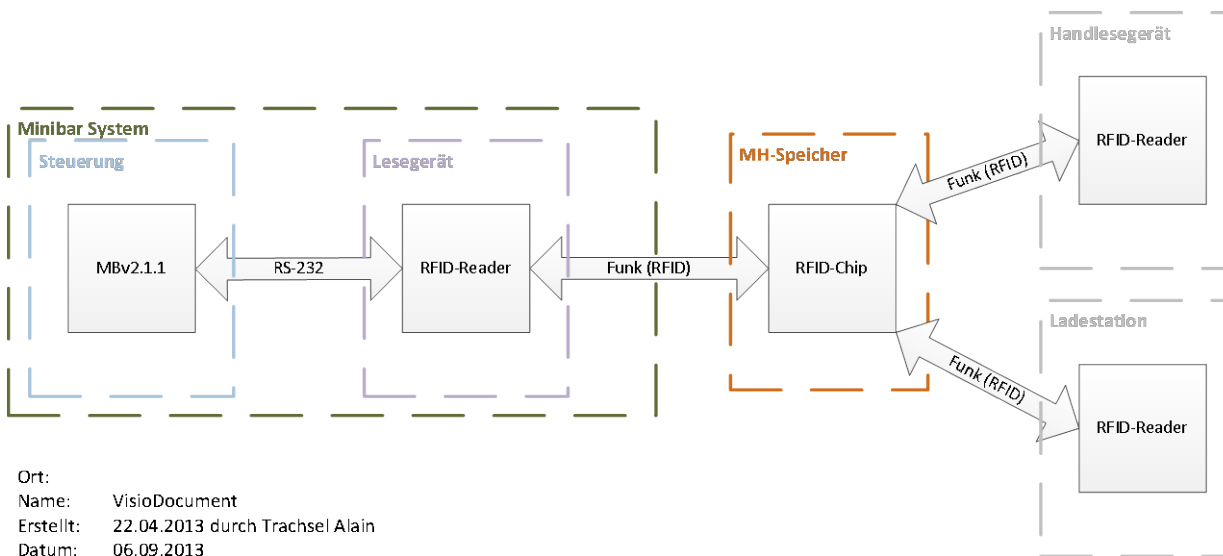


Abbildung 1 Systemübersicht

Die Steuerung besteht aus dem Mainboard, der dazugehörigen Peripherie sowie weiteren Platinen und Sensoren. Neben der Steuerung der Brennstoffzelle und weiteren Baugruppen übernimmt sie noch die Kommunikation mit dem Lesegerät.

Das Lesegerät ist mit einer seriellen Schnittstelle mit der Steuerung verbunden. Das Lesegerät ist in Abschnitt 3.3.1 näher beschrieben. Es stellt eine Verbindung zum RFID-Chip her und ermöglicht so dessen lesen und schreiben.

Der RFID-Chip ist ein komplett passives Bauteil und wird nur durch das Energiefeld des Lesegerätes gespeist. Sobald der RFID-Chip (resp. die Antenne) das Feld des Lesegerätes verlässt, können die Daten nicht mehr gelesen oder überschrieben werden. Der RFID-Chip ist in Abschnitt 3.3.2 näher beschrieben. Auf diesem Bauteil, welches fest mit dem MH-Speicher verbunden ist, werden die Daten von der Füllstation gespeichert. Beim Leeren des MH-Speichers durch das Minibar-System werden diese aktualisiert.

In der Ladestation werden die MH-Speicher mit neuem Wasserstoff nachgeladen. Sobald ein MH-Speicher zur Befüllung an die Ladestation angeschlossen wird, registriert die Ladestation den Vorgang und aktualisiert eine Statistik über die Verwendung der MH-Speicher. Die Ladestation ist in Abschnitt 3.2.3 beschrieben.

### 3.2 Implementierte Funktionen

Die Steuerung liest nach dem Starten den TAG aus und übernimmt die Werte des Speichers. Die Steuerung übernimmt den Nominalfüllstand des Speichers und den aktuellen Füllstand. Während dem die Brennstoffzelle in Betrieb ist und Wasserstoff bezieht, wird über den Strom die bezogene Wasserstoffmenge berechnet und dem aktuellen Füllstand abgezogen. Alle 10 Sekunden schreibt die Steuerung die aktuellen Werte auf den RFID-TAG zurück um die aktuellen Daten zu Speichern.

Ist ein Speicher geleert werden die Daten auf dem RFID-TAG von der Ladestation aktualisiert. Die Ladestation erstellt eine Logdatei und führt eine Statistik über die Speicherbenutzung.

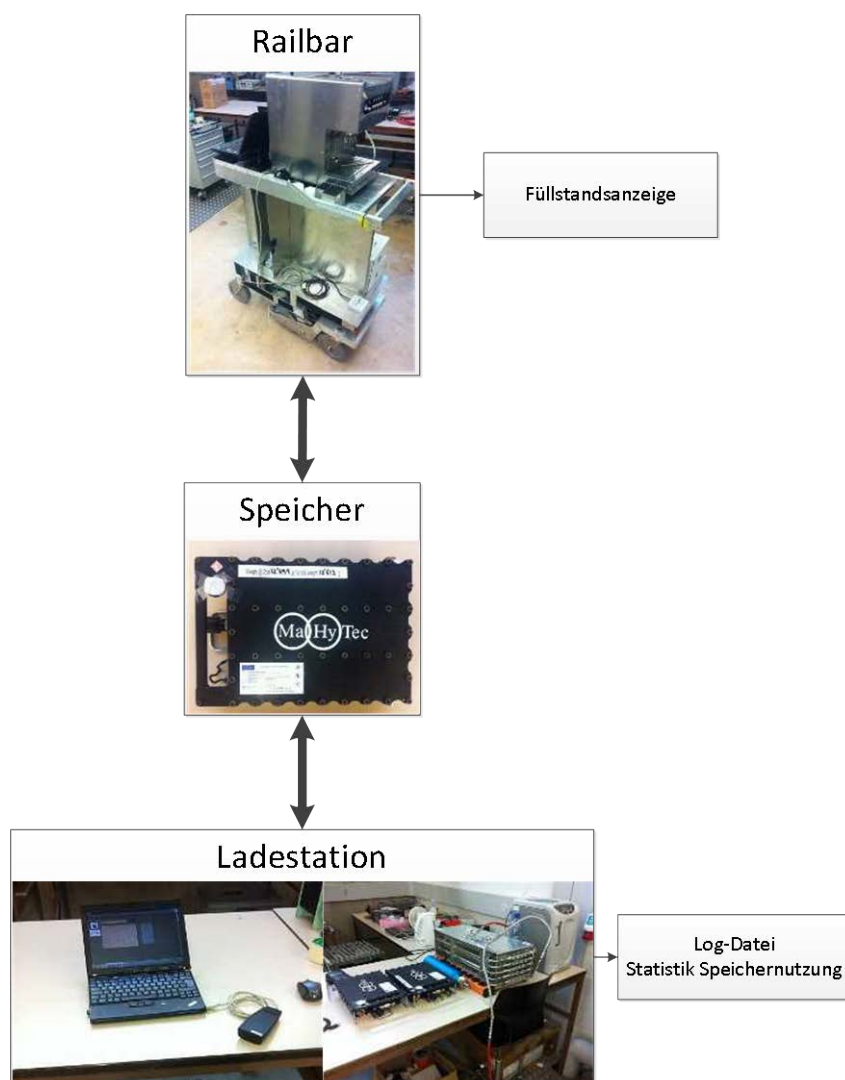


Abbildung 2 Informationsfluss

## 3.3 Füllstandsanzeige

### 3.3.1 Auf der Minibar

Die Füllstandsanzeige ist mit einer einfachen LED-Reihe von 4 LEDs gelöst. Drei grüne LEDs für die obersten LEDs und ein oranges für das unterste LED.



Abbildung 3 Füllstandsanzeige auf der Minibar

Ist der Speicher vollständig geladen, leuchten auf der Anzeige alle LEDs auf. Während dem Betrieb der Brennstoffzelle wird dem MH-Speicher Wasserstoff entnommen. Die entnommene Menge wird über den Brennstoffzellenstrom bestimmt und auf Normliter umgerechnet. Über den Strom ist die Ladungsmenge bekannt. Da jedes Wasserstoffmolekül zwei Elektronen abgibt, lässt sich unter Berücksichtigung der mittleren  $H_2$ -Verluste aufgrund der Spülvorgänge an der Anode der  $H_2$ -Verbrauch relativ einfach hochrechnen. Sind 25 % des  $H_2$ -Inhaltes bei einem Speicher entnommen, wird das oberste LED ausgeschaltet. Verbleiben noch 25 % im MH-Speicher, so leuchtet nur noch das unterste LED (orange). Dem Benutzer wird so mitgeteilt, dass er in Kürze den Speicher wechseln muss.

### 3.3.2 Tablett / Laptop

Mit einem Laptop und dem Handlesegerät können die RFID-TAGs konfiguriert werden. Mit der dafür geschriebenen Software kann man den nominalen und den aktuellen Füllstand des Speichers einstellen.

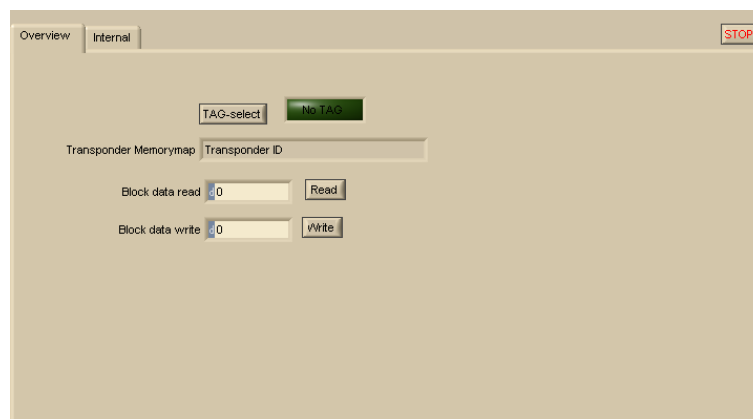


Abbildung 4 Füllstandsanzeige auf dem Tablett

Die oben beschriebene Funktionalität ist nur für die Entwicklung gedacht. Sobald das System installiert wurde und alle RFID-TAG richtig konfiguriert, sind dürfen keine Daten auf den RFID-TAGs manuell verändert werden, da dies sonst die Auswertung der Statistik und die Performance der einzelnen Speicher verfälschen würde.

### 3.3.3 Ladestation

Die RFID-Funktionalität für die Ladestation wird mit einem separaten BFH-Rechner gelöst. Die Aufgabe des Rechners besteht darin, den Füllstand des Speichers zu zurückzustellen und eine Statistik über die

Speicher zu führen. In dieser Statistik werden folgende Daten von den Speichern erhoben: Speicher-ID, restlicher Füllstand und die aktuelle Zeit und Datum der Befüllung. Die Daten werden lokal zwischengespeichert und müssten periodisch ausgelesen werden. Eine Übersicht der Funktionen der Ladestation ist in Abschnitt 5.1 aufgeführt.

The screenshot shows a software interface for an H2 charging station. It features a top navigation bar with 'Overview', 'Internal', and 'Act' tabs. A 'STOP' button is visible in the top right corner. The main area is divided into two sections: 'Slot' and 'Statistics'. The 'Slot' section contains a table with columns for 'Nr', 'State', 'Speicher ID', 'Last System', 'Return SOC', 'Return Er', and 'Füllcycle'. The 'Statistics' section contains a table with columns for 'Speicher ID' and 'Anz befüllungen'. A logo for 'IHPoS' is visible on the left side of the interface.

Nr	State	Speicher ID	Last System	Return SOC	Return Er	Füllcycle
1	empty	0	0	0	0	0
2	empty	0	0	0	0	0
3	empty	0	0	0	0	0
4	offline					
5	offline					
6	offline					
7	offline					
8	offline					
9	offline					
10	offline					
11	offline					
12	offline					
13	offline					
14	offline					
15	offline					
16	offline					
17	offline					
18	offline					
19	offline					
20	offline					

Speicher ID	Anz befüllungen
1	0
2	19
3	19
4	9
5	4
6	0
7	9
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0
20	0
21	0
22	0

Abbildung 5 Bedienoberfläche H2-Ladestation

### 3.3.4 Handlesegerät für das Bedienpersonal

Damit das Personal einfach den Zustand eines MH-Speichers feststellen kann, könnte ein Handlesegerät entwickelt werden, mit dem man die Daten auf dem RFID-TAG nur lesen kann.

Momentan ist kein Handlesegerät für das Personal vorgesehen.

## 4 Minibar

### 4.1 Vorgesehener Montageort von Reader und RFID-TAG

#### 4.1.1 Lesegerät

Das Lesegerät ist 20 mm dick. Der Freiraum zwischen MH-Speicher und Snack-Körbe beträgt rund 10 mm (siehe roter Pfeil in Abbildung 7). Der MH-Speicher (siehe grüner Pfeil in Abbildung 7) befindet sich gerade unter dem Blech vom Aufbau mit den Snack-Körben. Der Blechaufbau muss stark bearbeitet werden um das Lesegerät zu montieren. Das Lesegerät braucht direkten Sichtkontakt zum RFID-TAG damit das Empfangsfeld den TAG aktivieren und auslesen kann.



Abbildung 6 Montageplatz für Lesegerät

#### 4.1.2 RFID-TAG

Der RFID-TAG soll am Rand des Griffes befestigt werden (siehe gelber Pfeil in Abbildung 8). Der RFID-TAG kann auf beiden Seiten platziert werden.

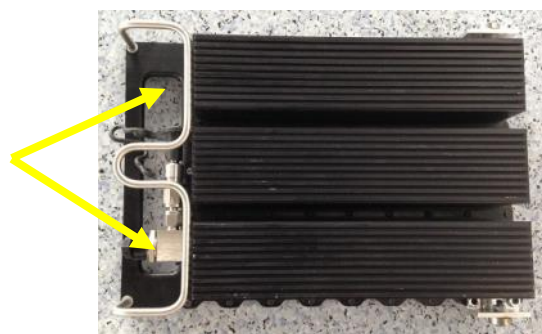


Abbildung 7 Montageplatz für RFID-TAG

#### 4.1.3 Platzproblematik

Aus Zeit- und Platzgründen wurde auf die serienmäßige Implementierung des Systems verzichtet. Es ist jedoch die Validierung des Systems mit der Ladestation zu machen. Die Validierung ist im Abschnitt 4.2.2 beschrieben.

## 4.2 Validierung

### 4.2.1 Test im Labor in Biel

Die Validierung der Füllstandsanzeige mit der RFID-Funktionalität wurde am 6.9.2013 in Biel durchgeführt. Mittels vorbereiteten RFID-TAGs wurde das Wechseln der MH-Speicher simuliert. Es wurden 5 RFID-TAGs mit verschiedenen Füllständen und unterschiedlichen Nennkapazitäten getestet.

TAG	Nominale Kapazität [NI]	Aktueller Ladezustand [NI]	Anzeige Bedienpanel (LED)
1	900	900	4
2	900	450	2
3	900	50	0
4	600	600	4
5	450	450	4

Tabelle 1 Anzeige der Informationen der RFID-Tags zur Überprüfung der korrekten Verarbeitung

Somit wurde die korrekte Darstellung der Füllstandsanzeige mit unterschiedlichen MH-Speicherkapazitäten geprüft. Der Füllstand wurde bei allen Versuchen korrekt angezeigt.

### 4.2.2 Erste Feldtests mit Ladestation

„Feldtests“ mit simulierter Ladestation in Biel:

Die Validierung des Gesamtsystems erfolgte zwischen dem 5.12.13 und 12.12.13 im Brennstoffzellenlabor der BFH in Biel. Dazu wurde eine Minibar mit einem RFID-Reader ausgerüstet, zwei MH-Speicher mit einem RFID-TAG versehen und mit einem Laptop die Ladestation simuliert.

## Prüfaufbau

### Minibar



Abbildung 8 Minibar mit Monitoring-Laptop

### Reader



Abbildung 9 RFID-Reader eingebaut

Ansicht oben



Abbildung 10 RFID-Reader eingebaut

Ansicht unten mit Ausschnitt im Blech

Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen das RFID-Lesegerät im eingebauten Zustand und den dazugehörigen Ausschnitt für das Magnetfeld im Blech. Beim Ausschnitt ist wichtig, dass dieser genügend gross ist. Im vorliegenden Beispiel ist er 50x80 mm gross. Der RFID-Reader kann mit vier Schrauben auf dem Blech befestigt werden.

Dem Lesegerät spielt es keine Rolle ob sich der RFID-TAG auf der Ober- oder Unterseite befindet. Das Magnetfeld breitet sich auf beide Seiten der Spule gleich aus.

## Speicher



Abbildung 11 MH-Speicher mit RFID-TAG

Abbildung 11 unten links zeigt, wie der RFID-TAG auf den MH-Speicher angebracht wurde. Versuche, den TAG bündig in den Griff einzulegen, zeigten, dass das Lesegerät Schwierigkeiten hat, den TAG korrekt anzusprechen. Es konnte keine zuverlässige Verbindung hergestellt werden weshalb der TAG nach oben versetzt wurde.

Abbildung 11 unten rechts zeigt den Luftspalt zwischen RFID-TAG (grünes Rechteck) und dem Lesegerät (rotes Rechteck). Der Luftspalt beträgt rund 5-10 mm.

## Ladestation



Abbildung 12 Ladestation mit Verschiedene Speichern



Abbildung 13 Übersicht



Abbildung 14 Ladestation mit Laptop

Als Ladestation wurde der Elektrolyseur (Abbildung 12 rechts im Bild) aus dem Labor verwendet. Es handelt sich um einen PEM-Elektrolyseur der Firma Schmidlin. Der Elektrolyseur ist an einen Zwischenspeicher angeschlossen. In Abbildung 13 wird die Minibar direkt aus Elektrolyseur und H<sub>2</sub>-Zwischenspeicher betrieben.

Abbildung 14 zeigt einen Laptop auf dem die Software für die Ladestation läuft. An den Laptop ist das Handlesegerät angeschlossen mit welchem die RFID-TAGs ausgelesen werden.

### Prüfablauf

Im gesamten Prüfablauf wurden zwei Ladezyklen für beide MH-Speicher durchlaufen.

Speicher	Nominal Kapazität	Startwert Füllzyklen
1	900	1
2	800	1

Tabelle 2 Einstellungen MH-Speicher

5.12.13: Funktionstest nach Einrichten des Readers

6.12.13: 1.Testserie: Die Speicher sind noch nicht mit den richtigen Daten beschrieben. Einige kleine Fehler wurden in der SW gefunden. Beide Speicher sind nun leer und werden am Elektrolyseur mit 4 Bar geladen.

10.12.13: 2.Testserie: Füllstandsanzeige auf Bediengerät zeigt immer 0 an. Die SOC-Anzeige auf dem Laptopmonitor ist 10 mal zu hoch (mal 1024 statt 100).

12.12.13: Abschlusstests mit zwei MH-Speichern. Es wurden zwei Ladezyklen durchlaufen.

Abbildung 15 zeigt den Prüfablauf vom 12.12.13 während rund sechs Stunden. Die Zeitskala zeigt die vergangenen Minuten seit Messbeginn an. Bei Minute 180, 240 und 280 wurde der Speicher gewechselt. Da der Elektrolyseur Wasserstoff mit einer Flussrate von max. 1 NI/min produziert, wurden die MH-Speicher in dieser kurzen Zeit zwischen zwei Einsätzen nicht vollständig nachgeladen. Die nachgeladene Wasserstoffmenge wird allerdings nicht gemessen und die Tags werden unabhängig vom Füllstand automatisch auf „voll“ gesetzt. Das Brennstoffzellensystem erkennt also einen vollen Speicher. Natürlich sinkt aber der Speicherdruck der MH-Speicher während dem zweiten Einsatz schneller ab. Das erkennt man daran, dass den Speichern rund 20 % der Kapazität entnommen wurde und der Druck rasch unter 200 mbar sank. Zudem zeigen die unterschiedlichen Gradienten der Füllstandlinie, dass das System mit verschiedenen Arbeitspunkten betrieben wurde. Bei stärkerer Belastung der Brennstoffzelle sinkt der Füllstand schneller. Die verschiedenen Gradienten sind in den Perioden 40–60 und 100–140 Minuten sehr gut erkennbar.

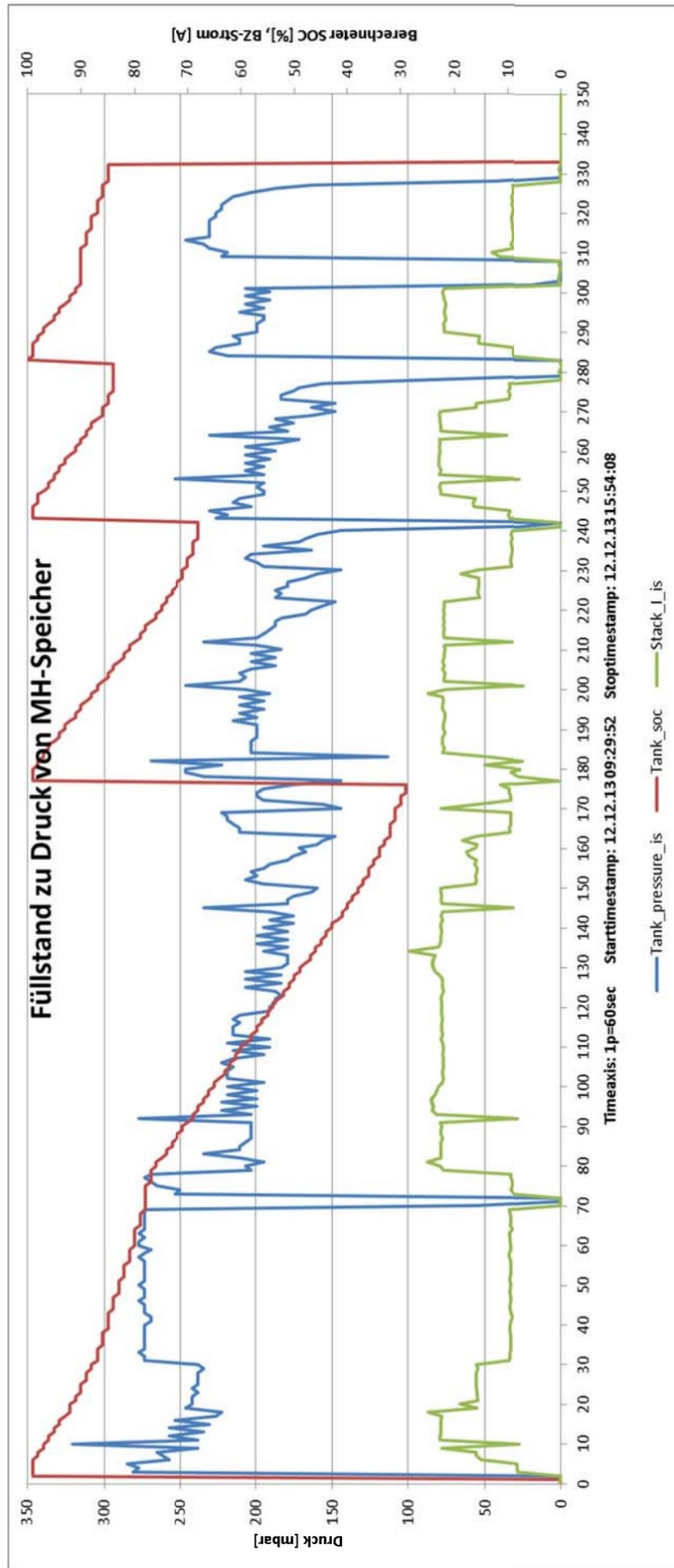


Abbildung 15 Prüfablauf

Datum und Uhrzeit	Speicher ID	Return Error	Initial CAP	Return SOC	Fillcycle	Last System ID
12.12.2013 13:45	1	0	900	265	1	9999
12.12.2013 14:05	2	0	800	546	1	9999
12.12.2013 15:05	1	0	900	757	2	9999
12.12.2013 15:56	2	0	800	687	2	9999

**Tabelle 3 Auszug Logdatei der Füllstation**

Tabelle 3 zeigt einen Ausschnitt aus der Logdatei der Füllstation. Beim Wert „Return SOC“ wird der aktuelle Füllstand des Speichers angegeben, wenn er zur Ladestation kommt. An diesem Wert kann man feststellen, ob alles in Ordnung ist. Dies ist sicherlich der Fall, wenn dieser Wert rund 10 % der Nennkapazität unterschreitet.

Ist der Return SOC höher als 10 % der Nennkapazität, wurde der Speicher (wie in diesem Fall) nicht vollständig nachgeladen oder es ist irgendwo ein Leck aufgetreten. Dazu wird die Seriennummer der letzten Minibar auf dem RFID-TAG hinterlegt. Somit kann überprüft werden, ob der Wasserstoffschlauch zwischen Speicher und System (Minibar) beschädigt wurde.

Der Return SOC kann auch negative Werte annehmen. In diesem Fall wurde der Speicher nachgeladen, ohne dass die Werte auf dem RFID-TAG aktualisiert wurden. Die Füllstandsanzeige würde in diesem Fall leer anzeigen. Das System (Railbar) würde aber trotzdem laufen, da die Abschaltung druckabhängig erfolgt.

Der Wert „Fillcycle“ zeigt an, wie viel Füllzyklen mit diesem Speicher gemacht wurden.

# 5 MH-Speicher

## 5.1 Definierte Speicherbelegung

### 5.1.1 Block-Organisation / Kapazität

Der RFID-Tag vom Typ Hitag-S 2048 mit 2048 bit Speicherkapazität enthält Platz für 256 Bytes (2048/8=256). Der Speicher ist in Blöcke zu vier Bytes unterteilt. Das heisst, es sind 64 Speicherblöcke auf dem RFID-Tag vorhanden. Beim Speichertyp Hitag-S sind die ersten zwei Blöcke für die Seriennummer und Einstellungen reserviert. Somit bleiben 62 Blöcke für Benutzerdaten übrig, die mit einer Gleitkommazahl beschrieben werden können.

### 5.1.2 Belegung

Block	Titel	Einheit	Beschreibung
0	Seriennummer	-	Enthält eine Seriennummer des RFID-Tags
1	Einstellungen	-	Tagspezifische Einstellungen.
2	Nennkapazität des Speichers	NI	Nach einer ersten Charakterisierung des MH.-Speichers wird die Nennkapazität des Speichers bestimmt und in diesen Block eingetragen.
3	Momentaner Füllstand in NI	NI	Enthält den momentanen füllstand des MH-Speichers. Dieser Wert wird während dem Betrieb der Brennstoffzelle durch die Steuerung dekrementiert.
4	MH-Speicher ID	-	Speichernummer fortlaufend Nummeriert.
5	MH-Speicher Zustand	-	Zeigt an ob ein MH-Speicher vom Hersteller überprüft werden muss. Das IHPoS registriert einen zu früh entleerten Speicher. Dieser Speicher hat entweder ein Leck oder konnte auf der Füllstation nicht korrekt befüllt werden. Diese Funktion ist noch nicht implementiert, Speicherblock dient nur als Platzhalter.
6	Anzahl Ladezyklen	-	Enthält die Anzahl der Ladezyklen. Diese Zahl wird von der Ladestation aktualisiert.
7	Letztes System	-	Enthält die Wagennummer des Letzten Systems in dem der Speicher verwendet wurde.
8-63	Reserve	-	reserve

**Tabelle 4 Speicherbelegung RFID-TAG**

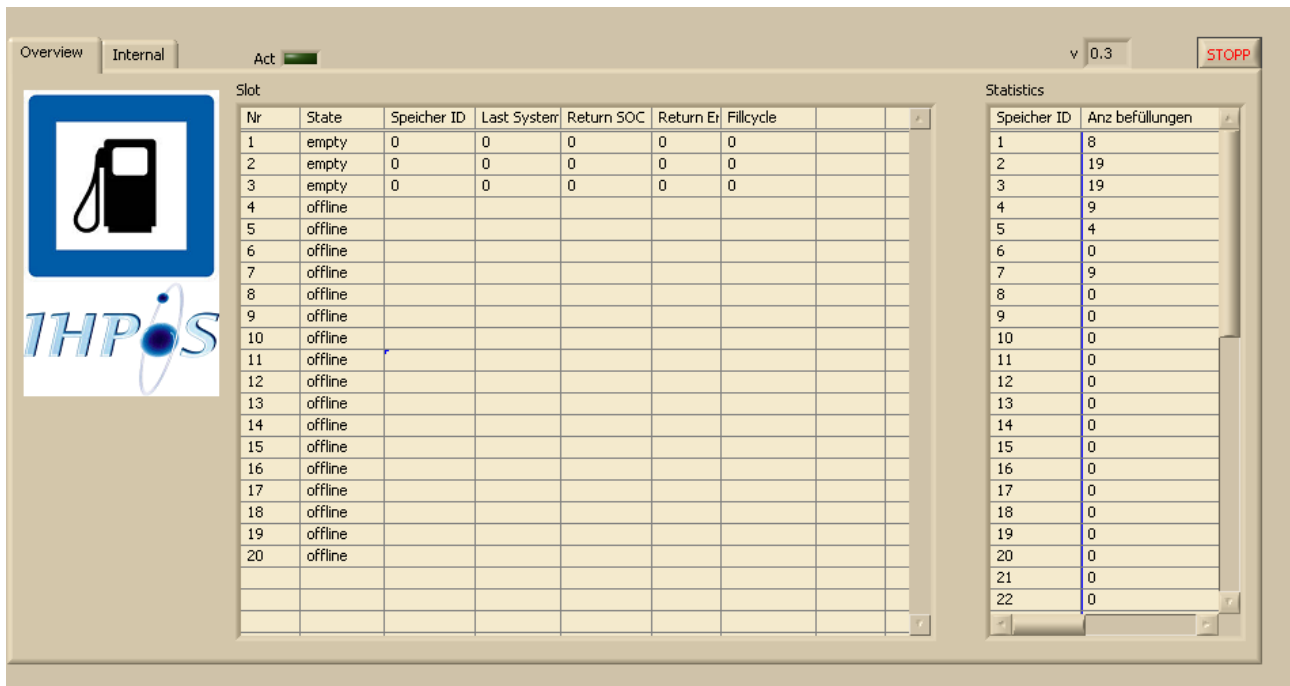
Da nicht alle Blöcke belegt werden, können weitere Daten auf den TAG gespeichert werden.

Beispielsweise könnten auf dem TAG die letzten 20 Fehlermeldungen der Minibar gespeichert werden. Siehe Erweiterungsvorschlag unter Kapitel 7.1.

## 6 Ladestation

In der Liste „Slot“ werden alle RFID-Reader aufgelistet, welche gefunden wurden. Beim Hochfahren sucht die Software alle Reader, die sie erreichen kann. In Fall unten (Abbildung 16) wurden nur 20 vorgegeben, gefunden wurden drei. Der Zustand in der Spalte „State“ bezieht sich auf den „Slot“. In diesem Fall sind alle leer, da kein MH-Speicher eingelegt ist. In der Spalte „Speicher ID“ wird eine eindeutige Nummerierung angegeben, die zu jedem Speicher zugeordnet werden kann. Die Spalte „Last System“ bezieht sich auf die Minibar, in welcher der MH-Speicher verwendet wurde. In der Spalte „Return SOC“ wird angegeben, mit welchem Restladezustand der Speicher retourniert wurde. In der Spalte „Return Error“ wird die letzte Fehlermeldung der Minibar als Nummer angezeigt. In der Spalte „Fillcycle“ ist angegeben, in welchem Füllzyklus sich der MH-Speicher befindet.

In der Liste „Statistics“ sind alle Speicher-IDs angezeigt und der momentane zwischenstand der Füllzyklen für jeden Speicher.



Slot	
Nr	State
1	empty
2	empty
3	empty
4	offline
5	offline
6	offline
7	offline
8	offline
9	offline
10	offline
11	offline
12	offline
13	offline
14	offline
15	offline
16	offline
17	offline
18	offline
19	offline
20	offline

Statistics	
Speicher ID	Anz befüllungen
1	8
2	19
3	19
4	9
5	4
6	0
7	9
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0
20	0
21	0
22	0

Abbildung 16 Bedienoberfläche der Füllstation

## 6.1 Funktionsbeschreibung

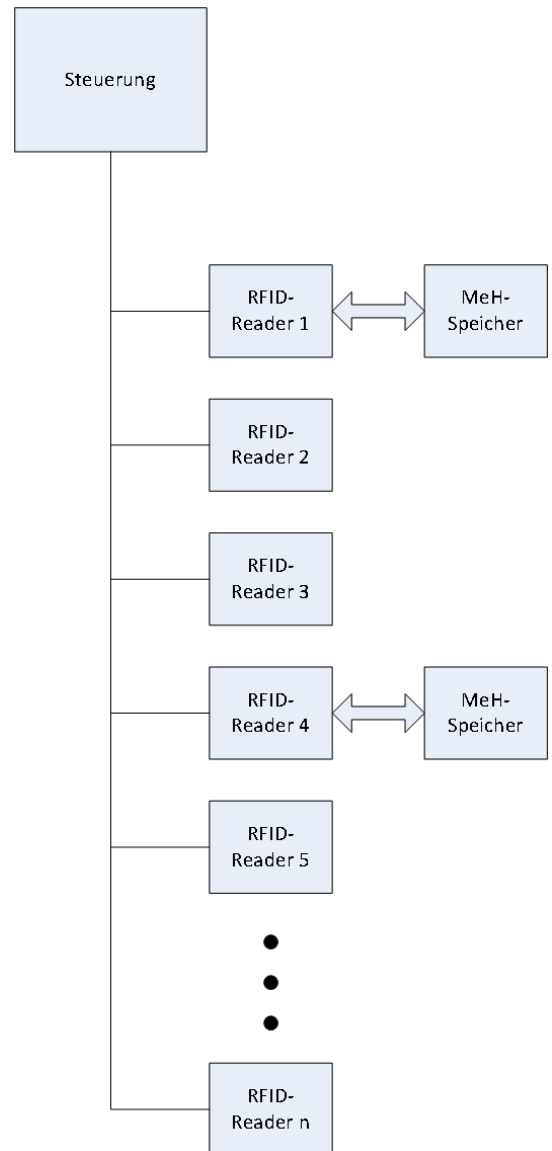
Die Steuerung „pollt“ alle Reader nacheinander im Zeitraum von ca. 15 Minuten ab. Das heisst, die Steuerung kann alle RFID-Reader nacheinander ansprechen<sup>1</sup> und prüfen ob ein neuer MH-Speicher eingesetzt wurde.

Beispielsweise wurde gerade beim Reader 1 ein leerer MH-Speicher zur Befüllung eingesetzt. Nach spätestens 15 Minuten stellt die Steuerung fest, dass dort ein neuer MH-Speicher eingesetzt wurde. Da in der ersten Phase des Ladevorganges die Ladestation eine Dichtprüfung macht, werden die Daten auf dem RFID-TAG nicht sofort aktualisiert. Erst wenn derselbe MH-Speicher nach weiteren 15 Minuten immer noch im selben Slot ist, werden die Daten auf dem RFID-TAG aktualisiert. Da die Dichtprüfung abgeschlossen wurde, kann man sich sicher sein, dass dieser MH-Speicher auch wirklich befüllt wird. Nachdem der Ladevorgang durch die Ladestation abgeschlossen wurde (was rund 2–3 Stunden dauert), wird der volle MH-Speicher durch den Benutzer entfernt. Die Steuerung merkt jetzt, dass dieser Platz wieder frei wurde. Beim Einfügen eines neuen leeren MH-Speichers beginnt der Vorgang wieder von vorne.

Das Betriebssystem Windows kann bis zu 127 USB-Geräte verwalten. Da eine Ladestation aber höchstens 40 Slots verfügt, ist das kein Problem.

Wird ein Laptop verwendet, kann auch die schon entwickelte LabView-Software für die Steuerung verwendet werden. Diese muss hauptsächlich nur durch die Funktion erweitert werden, dass mehrere Reader angeschlossen werden können.

Die LabView-Steuerung ist unabhängig von der Steuerung der Ladestation von PanGas.



## 6.2 Nutzen

Eine belegbare Alterungskurve der MH-Speicher wäre vorhanden. Das heisst, die Degradation der MH-Speicher kann zu jeder Zeit überwacht werden und die Speicher, welche eine schlechte Leistung aufzeigen, können gezielt überprüft oder ausgetauscht werden.

Zudem kann man durch die Analyse der Logdateien feststellen, ob eine Minibar nicht optimal funktioniert. Wenn beispielsweise immer dieselbe Minibar einen MH-Speicher zurückgibt, der entweder Fehlermeldungen enthält oder bei welchem der Füllstandszähler nie auf 0 zurückgeht, würde dies bedeuten, dass eine Einstellung nicht korrekt ist oder ein kleines Leck zwischen Schnellkupplung und Ventilblock besteht.

Es könnten auch alle aufgetretenen Fehlermeldungen der Minibar auf den RFID-TAG geschrieben werden. Somit kann festgestellt werden, wie oft welche Fehler aufgetreten sind, ohne dass man bei jeder Minibar den Fehlerspeicher auslesen muss. Somit wäre quasi eine lückenlose Überwachung der Minibar möglich.

Durch den Umstand, dass an einer zentralen Stelle alle Daten über den Betrieb der Minibar und der MH-Speicher zusammenlaufen, kann zu jeder Zeit eine Aussage darüber gemacht werden, wie gut und

<sup>1</sup> COM-Multiplexing. Da die Reader alle eine eigene COM-Port Nummer erhalten kann die Steuerung sie gezielt ansteuern und die Daten auf dem RFID-TAG lesen und schreiben.

zuverlässig die Minibars betrieben werden. Damit kann eine Häufung eines bestimmten Fehlers festgestellt werden und die getroffene Massnahme so einfach und belegbar aufgezeigt werden.

### 6.3 Validierung

Für die Validierung der Füllstations-Software wurden drei RFID-Reader und ein Handlesegerät an ein Laptop angeschlossen. Die RFID-TAGs wurden mit dem Handlesegerät vorbereitet und auf den auslieferungszustand gesetzt dh. Füllzyklen ist gleich 0.



Abbildung 17 Funktionsmuster der Befüllstation mit 3 Readern und einem Handlesegerät

Der Speicher mit der ID 1 wurde zwischen 17:00 und 17:07 vier Mal gefüllt. Der Zähler für die Befüllungzyklen wird hochgezählt und die Fehlermeldungen der Minibars zurückgesetzt. Da die Speicher nicht an einer Minibar „geleert“ wurden, kehrt der MH-Speicher mit demselben „Return SOC“ zurück. Die Speicher 2 und 3 werden um 17:06 nachgeladen und kehren ebenfalls voll zurück. Bei einer Ladestation im operativen Betrieb wären solche Rückgabewerte der MH-Speicher ein Indiz dafür, dass die MH-Speicher nicht korrekt entleert wurden und somit nicht effizient genutzt werden konnten.

Datum und Uhrzeit	Speicher ID	Return Error	Initial CAP	Return SOC	Fillcycle	Last System ID
04.04.2014 17:01:29	1	3	900	0	0	1
04.04.2014 17:02:09	1	0	900	900	1	0
04.04.2014 17:02:49	1	0	900	900	2	0
04.04.2014 17:06:20	1	0	900	900	3	0
04.04.2014 17:06:41	3	6	900	0	0	3
04.04.2014 17:06:41	2	5	800	0	0	2
04.04.2014 17:07:51	3	0	900	900	5	0
04.04.2014 17:07:51	2	0	800	800	1	0
04.04.2014 17:08:30	2	0	800	800	2	0

Abbildung 18 Auszug aus der Ladestation Historie

## 7 Fazit

Folgende Arbeiten wurden abgeschlossen:

- Die Kommunikation und Steuerung des RFID-Readers im Minibar-System wurde aufgebaut und validiert.
- Für den RFID-TAG wurde eine geeignete Speicherbelegung definiert.
- Die Kommunikation zwischen Laptop und RFID-Reader an der H<sub>2</sub>-Füllstation wurde als Funktionsmuster aufgebaut und validiert.
- Es wurde ein geeignetes LabView VI für die Speicherung und die Visualisierung der Daten geschrieben und getestet.

Mit den in Abschnitt 4.2 und 6.3 beschriebenen Tests konnte das Grundkonzept überprüft werden. Es kann im vorliegenden Zustand verwendet werden. Allerdings müsste in jeder Minibar und bei der Ladestation in jedem Slot ein RFID-Reader eingebaut werden. Weiter muss auf jeden MH-Speicher ein TAG befestigt werden. Da jedoch die Platzverhältnisse auf der Minibar für den Reader und den TAG auf dem MH-Speicher beschränkt sind, muss bei einer tatsächlichen Implementierung des Systems mit erheblichem Aufwand gerechnet werden.

### 7.1 Mögliche Erweiterungen

1. **Alle Fehlermeldungen der Minibar aufzeichnen:** Vorerst wird nur die letzte Fehlermeldung der Minibar auf den RFID-TAG geschrieben. Durch eine Erweiterung der Software könnten **alle** Fehlermeldungen, welche während dem Betrieb auftreten, auf den RFID-TAG geschrieben werden, durch die Ladestation ausgelesen und in einer Logdatei abgelegt werden. Durch das Auswerten dieser Logdaten können wichtige Rückschlüsse auf verbesserte Einstellungsparameter gewonnen werden, wodurch die Betriebsstabilität verbessert werden könnte.
2. **Feststellen ob ein MH-Speicher korrekt funktioniert:** Wenn der MH-Speicher entladen ist, schaltet das System ab, weil der Vordruck des Systems zu niedrig ist. Falls aber auf dem RFID-TAG des Speichers der aktuelle H<sub>2</sub>-Stand noch nicht auf null ist, wurde der Speicher nicht korrekt gefüllt oder es ist beim Betrieb Wasserstoff ausgetreten. Stellt die Steuerung diesen Fall fest, wird auf dem Speicherblock 5 auf dem RFID-TAG ein Fehlercode geschrieben.
3. **Speichercharakterisierung:** Da nicht genau bekannt ist, wie gross die Unterschiede in der Kapazität der einzelnen MH-Speicher ist, sollte unter Laborbedingung eine Charakterisierung vorgenommen werden, um festzustellen, ob bei allen MH-Speichern die gleiche nominelle Kapazität angenommen werden kann. Je genauer bekannt ist, wie gross die nominelle Kapazität ist, umso genauere Rückschlüsse können über Alterung und suboptimale Einstellungsparameter gefunden werden.
4. **Effektiver H<sub>2</sub>-Fluss beim Befüllen:** Die Füllstation kann nicht feststellen, wie viel H<sub>2</sub> effektiv in den Speicher geflossen ist. Dazu sind Flusssensoren für jeden Slot notwendig und eine Erweiterung der Software der Füllstation. Momentan wird der Ladezustand nach dem Laden als 100 % angenommen.
5. **Temperaturmessung mit RFID:** Über die magnetische Kopplung der RFID Antenne kann eine kleine Schaltung auf dem MH-Speicher gespeist werden. Dadurch wäre es möglich, mit einem Temperatursensor die Temperatur des MH-Speichers zu messen. Die Information der Temperatur könnte helfen abzuschätzen, ob der Speicher tatsächlich leer ist oder durch Unterkühlung verhindert wird, dass Wasserstoff aus dem Hydrid austreten kann.

### SW-Engineering auf der vicinity-Tag-Seite

- **Speicherkarte, keine besonderen Anforderungen**  
ausser Protokoll-Extension für 8kB-Karten mit > 256 Memory Blocks
- **Sensor-Tags**  
normale  $\mu$ C-SW-Entwicklung mit einigen Herausforderungen  
(EEPROM-Zugriff, Brownout-Detektion, RFID-Protokoll-Wissen)

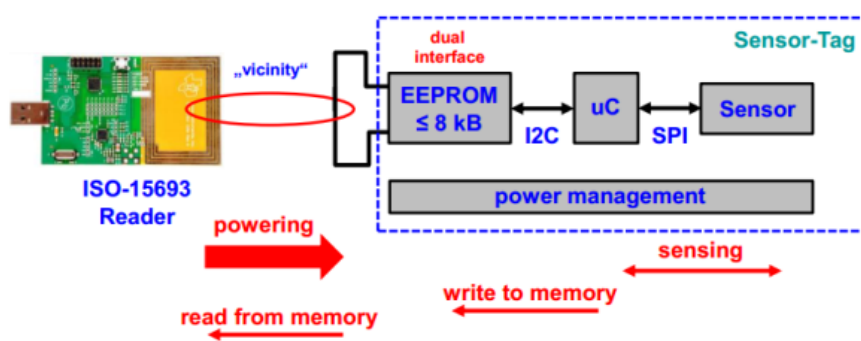


Abbildung 19 Temperaturmessung mit RFID

Quelle: M.Rupf ZHAW RFID-Fachtagung vom 14.11.13 electrosuisse

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Systemübersicht .....	7
Abbildung 2 Informationsfluss.....	8
Abbildung 3 Füllstandsanzeige auf der Minibar .....	9
Abbildung 4 Füllstandsanzeige auf dem Tablett .....	9
Abbildung 5 Bedienoberfläche H2-Ladestation.....	10
Abbildung 9 Montageplatz für Lesegerät .....	11
Abbildung 10 Montageplatz für RFID-TAG .....	11
Abbildung 11 Minibar mit Monitoring-Laptop.....	13
Abbildung 12 RFID-Reader eingebaut.....	13
Abbildung 13 RFID-Reader eingebaut.....	13
Abbildung 14 MH-Speicher mit RFID-TAG .....	14
Abbildung 15 Ladestation mit Verschiedene Speichern.....	15
Abbildung 16 Übersicht .....	15
Abbildung 17 Ladestation mit Laptop.....	15
Abbildung 18 Prüfablauf .....	17
Abbildung 19 Bedienoberfläche der Füllstation.....	20
Abbildung 20 Funktionsmuster der Befüllstation mit 3 Readern und einem Handlesegerät.....	22
Abbildung 21 Auszug aus der Ladestation Historie.....	22
Abbildung 22 Temperaturmessung mit RFID .....	24
Abbildung 6 RFID Lesegerät LF multi ISO von TAGscan .....	26
Abbildung 7 RFID-Chip PA6-TAG-34 Hitag S2048 .....	26
Abbildung 8 Handlesegerät .....	27

## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3 Anzeige der Informationen der RFID-Tags zur Überprüfung der korrekten Verarbeitung .....	12
Tabelle 3 Einstellungen MH-Speicher.....	15
Tabelle 4 Auszug Logdatei der Füllstation .....	18
Tabelle 5 Speicherbelegung RFID-TAG .....	19

## 10 Glossar / Formelzeichen

RFID: Radio Frequency IDentification

MH-Speicher: Metall-Hydrid Speicher. Ein Speicher in dem der Wasserstoff in einem Metallpulver gespeichert wird.

# 11 Anhang

## Verwendete Hardware

### Lesegerät /Schreibgerät

Bezeichnung: TAGscan Industry LF Multi ISO 125|134.2kHz

Masse: 80x80x20mm

Schnittstelle: RS232 für die Minibar, USB für die Füllstation

Richtpreis: 207 Euro

Beschreibung aus Webshop: Der TAGscan Industry ist ein komplettes RFID Schreib/Lesegerät mit integrierter Antenne, welcher wasserdicht vergossen und daher besonders für anspruchsvolle Umgebungsbedingungen geeignet ist.



Abbildung 20 RFID Lesegerät LF multi ISO von TAGscan

### RFID-Chip

Der RFID-Chip (auch TAG oder Transponder genannt) ist das Bauteil auf effektiv die Daten geschrieben werden.

Bezeichnung: PA6-TAG-34 Hitag S2048

Masse: 34mm Durchmesser und 8mm dick

Richtpreis: ab 10 Stück 4.30 Euro pro Stück, ab 100 Stück 3.2 Euro pro Stück



Abbildung 21 RFID-Chip PA6-TAG-34 Hitag S2048

(auch TAG oder Transponder)

Dieser TAG hat eine Speicherkapazität von 2kbit resp. 256 Byte. Damit können 64 Gleitkommazahlen gespeichert werden. Da für diese Anwendung nur rund 10 Zahlen benötigt werden, ist eine grosse Reserve vorhanden, welche für weitere Informationen verwendet werden könnte.

## Handlesegerät



Abbildung 22 Handlesegerät

Bezeichnung: TAGmobi USB - LF

Masse: 140x63x31 mm

Schnittstelle: USB

Richtpreis: 245 Euro

Dieses Handlesegerät wird an einen PC angeschlossen. Auf dem PC läuft entweder die Software für die Ladestation oder die Software um die Speicher zu konfigurieren.



## **Teil 2: IHPoS-Systemoptimierung**

Einfahrmodus für die Inbetriebnahme neuer Brennstoffzellenstacks (Levelingmode) und H<sub>2</sub>-Detektion in der Abluft

Erstellt durch: Alain Trachsel, Marc Hachen, Michael Höckel

Version 1.0

Datum: Freitag, 22. August 2014

# Inhalt

1 Ausgangslage.....	31
1.1 Prozedur .....	31
1.2 Ziel.....	31
1.3 Weshalb den Stack einfahren? .....	31
1.4 Systemübersicht .....	31
2 Konzept .....	32
2.1 State-event Steuerung .....	32
3 Implementierte Funktion .....	33
3.1 Übersicht.....	33
3.1.1 Input .....	33
3.1.2 Output .....	34
3.2 Vorbereiten .....	34
3.3 Einfahren .....	35
3.4 Abschliessen.....	35
3.5 Berechnen der UI-Kennlinie nach dem Einfahren.....	35
4 H2-Detektion in der Abluft.....	36
5 Fazit/Stand der Arbeiten .....	37
6 Abbildungsverzeichnis .....	38
7 Tabellenverzeichnis.....	38
8 Glossar / Formelzeichen.....	38

# 1 Ausgangslage

Bisher mussten alle Stacks manuell eingefahren werden, da Brennstoffzellenstapel nach der Montage nicht die volle Leistungsfähigkeit haben. Dies dauerte für einen Stack rund einen Tag und dieser Vorgang musste dauernd überwacht werden.

Da für die neue Railbar ca. 30 Stacks eingefahren werden, soll dieser Vorgang automatisiert werden.

## 1.1 Prozedur

1. Visuelle Prüfung der Dichtheit, beidseitig mit Luft und Leckspray.
2. Überprüfen der Zellspannungen ohne Last.
3. Stack im System einfahren, Strom wird schrittweise erhöht.

## 1.2 Ziel

Punkt 3 soll automatisiert werden. Die restlichen müssen weiterhin manuell gemacht werden. Durch das Einfahren wird gleichzeitig das gesamte System das erste Mal für mehrere Stunden am Stück laufen gelassen.

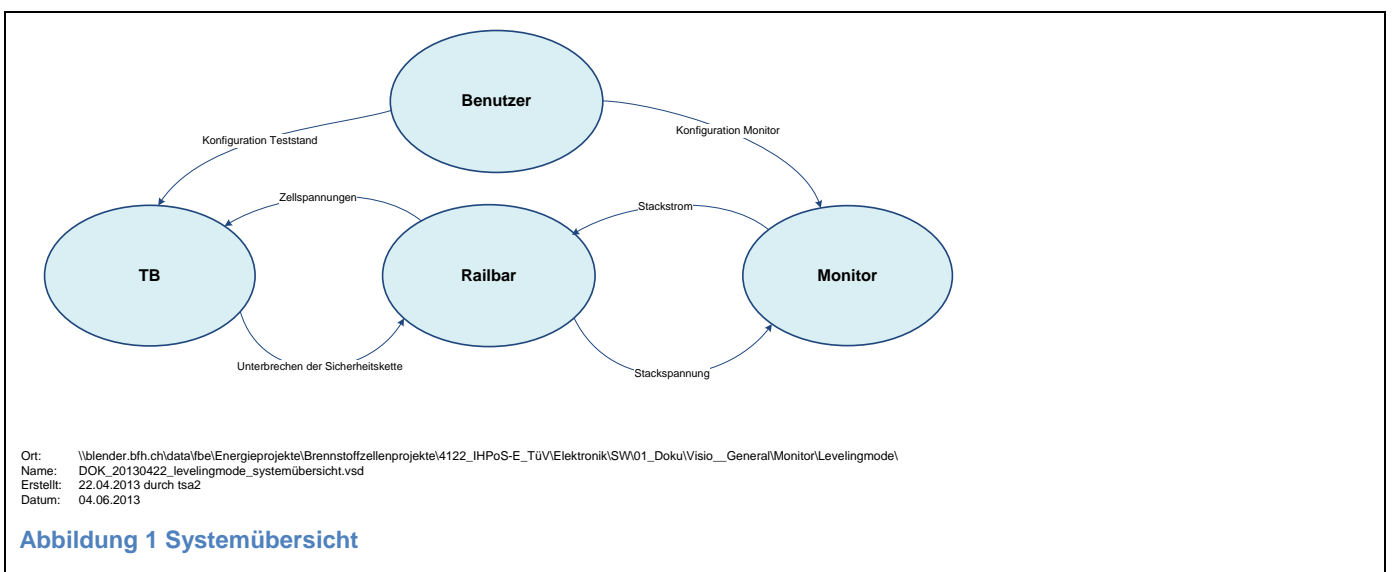
## 1.3 Weshalb den Stack einfahren?

Die MEAs (Membran Elektrode Assembly) haben im Neuzustand eine tiefere Leistungsdichte. Bereits nach wenigen Betriebsstunden steigt die Stromdichte bei gleichbleibender Zellspannung an. Ein Performancezuwachs wurde bei IHPoS-Stacks über mehrere 100 Betriebsstunden verzeichnet. Darüber hinaus ist es wichtig, einen stabilen Betrieb über einen längeren Zeitraum nachzuweisen. Aus diesem Grund sollte das System nach der Montage mindestens 10–20 Stunden betrieben werden.

## 1.4 Systemübersicht

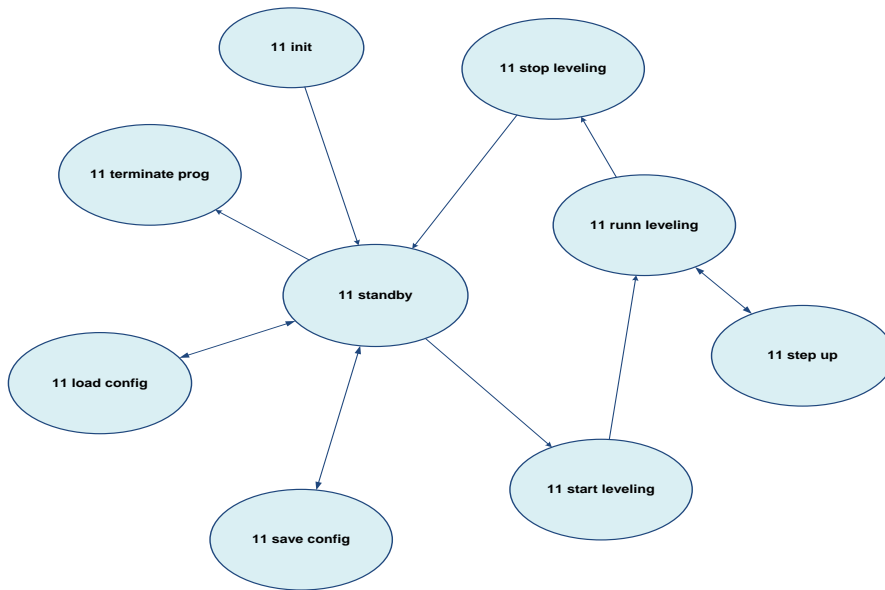
Die Steuerung des Stackstromes wird durch den Monitor übernommen. Die Überwachung der Zellspannungen wird durch den Teststand übernommen. Dieses Dokument beschreibt nur die Änderungen für den Monitor.

Der Teststand (TB) unterbricht die Sicherheitskette der Railbar-Steuerung wenn die Zellspannungen ein Limit überschreitet. Durch das unterbrechen der Sicherheitskette fährt das System normal herunter. Die Brennstoffzellen werden mit Luft gespült.



# 2 Konzept

## 2.1 State-event Steuerung



Ort: \\blender.bfh.ch\data\fbel\Energieprojekte\Brennstoffzellenprojekte\4122\_IHPoS-E\_TUV\Elektronik\SW01\_Doku\Visio\_\_StateEventMonitor  
 Name: DOK\_20130422\_Monitor\_StateEvent\_SW\_Levelingmode.vsd  
 Erstellt: 22.04.2013 durch ts2  
 Datum: 23.04.2013

Abbildung 2 State-Event Levelingmode

State	Beschreibung
Init	Initialisierungen werden gemacht. Die Bedienfelder und das Diagramm werden aktiviert.
Standby	Die FSM wartet auf eine Benutzer Eingabe
Load / save config	Die FSM lädt oder speichert die Einstellungen vom/in Standard Ordner. Im Dialogfenster kann die Datei umbenannt und in einen anderen Ordner gespeichert werden.
Start leveling	Vorbereitungen für das einfahren des Stacks werden ausgeführt. Aktuelle AP-Ströme, Lambda, SOC_des, werden zwischengespeichert. SOC_des wird temporär auf 200% gesetzt
Runn leveling	Überwachen der Stackspannung. Erhöhen der Stromstärke wenn möglich (Kriterien: min Zeit für eine Stufe und das Erreichen der Sollspannung).
Step up	Die Stromstärke wird erhöht.
Stop leveling	Das FSM unterbricht das einfahren. Die alten AP-Ströme, Lambda, SOC_des, Loadregulation werden wieder in die Einstellungen geladen.
Terminate prog	Die Flags in den Globalen werden gesetzt bzw. gelöscht. Das VI wird geschlossen.

Tabelle 1 Beschreibung States

### 3 Implementierte Funktion

Im folgenden Abschnitt werden alle Bedienelemente erläutert. Weiter unten in diesem Abschnitt wird erklärt, wie vorgegangen werden muss, um einen Stack einzufahren.

#### 3.1 Übersicht

Die Funktion, um einen Stack einzufahren, wird über die Schaltfläche „Enable Leveling“ aktiviert. Danach werden die restlichen Eingabe- und Schaltflächen aktiviert.



Abbildung 3 Übersicht GUI

Der Graf auf der linken Seite ist nur zur Orientierung und zeigt nicht den echten Verlauf des Stromes und der Spannung vom Stack. Dazu kann der Stack in der Registerkarte Graph angeschaut werden. Der Graf zeigt die Stromkurve die erreicht wird, wenn die Stackspannung immer hoch genug ist.

##### 3.1.1 Input



Abbildung 4 Input GUI

Input	Beschreibung
T1	Zeit in der ersten Phase. Der Stack bleibt unbelastet und wird mit Wasserstoff und Luft versorgt. Dient zum Beobachten der Stackspannung. Standardeinstellung: 20-30 Sekunden
T2	Minimale Zeit bevor der Monitor die nächste Stromstufe einstellt. Standardeinstellung: 900 Sekunden (15 Minuten)
T3	Zeit nach dem der Stack mit maximalem Strom belastet wird. Standardeinstellung: 10800 Sekunden (3 Stunden)

Input	Beschreibung
Number of steps	Die Anzahl der Schritte kann hier eingetragen werden. Standardeinstellung: 15 Schritte (1.3 A pro Schritt)
Imax	Der maximale Stackstrom kann hier eingetragen werden. Die SW kann die Sollspannung für den Stack nur bis 45A berechnen, deshalb sollte kein grössere Strom eingetragen werden. Standardeinstellung: 20 A
lambda	Hier muss eingetragen werden, welches lambda für die Luft während dem einfahren verwendet werden soll. Standardeinstellung: 3

Schaltfläche	Beschreibung
Load/save config	Laden oder speichern der aktuellen Einstellungen.
Start leveling	Startet den Vorgang.
Stop leveling	Stoppt den Vorgang.

Tabelle 2 Beschreibung Schaltflächen

### 3.1.2 Output



Abbildung 5 Output GUI

Output	Beschreibung
Levelingmode enabled	Sobald der Leveling-Modus eingeschaltet wurde leuchtet dieses LED grün.
Leveling active	Dieses LED zeigt an ob der Vorgang aktiv ist, das heisst der Stackstrom wird durch den Monitor eingestellt.
Actual step	Zeigt den aktuellen Schritt an in dem sich das leveling befindet.
Actual current [A]	Zeigt den aktuellen Strom an mit dem der Stack belastet wird.
Actual time [s]	Zeigt die aktuelle Zeit an seit dem letzten Wechsel des Stromes, bzw. die bisherige Dauer der entsprechenden Stufe.

Tabelle 3 Beschreibung Output

## 3.2 Vorbereiten

Das System wird Parametrisiermodus so konfiguriert, dass die Arbeitspunkte der Ströme auf 0 A gesetzt werden. Danach werden die Einstellungen auf das CB geladene und durch drücken des Ein/Aus-Tasters das System ausgeschaltet.

Danach wird das System durch erneutes Drücken des Ein/Aus-Tasters eingeschalten.

Das System fährt normal mit einem Spühlvorgang für H2 hoch und setzt den Arbeitspunkt von 0A. Kontrollieren ob Stack Current = 0 ist.

Durch Drücken der Taste „Levelingmode-Enable“ wird der Einfahrmodus aktiviert. Das sieht man daran, dass die Eingabefelder nicht mehr ausgegraut sind.

Die Parameter können nun eingegeben oder von einer Konfigurationsdatei geladen werden.

### 3.3 Einfahren

Nachdem alle Parameter eingegeben wurden, die Start-Taste drücken. Der Monitor steuert nun die Arbeitspunkt-Ströme und erhöht stufenweise den Strom des Stacks.

Im Fenster Output sieht man den aktuellen Stand der Zähler und den eingestellten AP-Strom.

### 3.4 Abschliessen

Der Einfahrmodus schliesst selbstständig das einfahren ab. Der Benutzer muss noch die Betriebsparameter eingeben und danach noch den Ein/Aus-Taster betätigen um das System herunter zu fahren.

### 3.5 Berechnen der UI-Kennlinie nach dem Einfahren

(Die im folgenden Abschnitt beschriebenen Funktionen sind noch nicht implementiert.)

Da bei einigen Stacks die Spannung tiefer ist als die Berechnete Referenzspannung, muss für diese Stacks die UI-Kennlinie aufgenommen werden. Damit werden die Polynomkoeffizienten für die UI-Kennlinie berechnet und können anschliessend auf die Steuerung übertragen werden.

Dadurch wird sichergestellt, dass der Stack ordnungsgemäss läuft, auch wenn er eine unterdurchschnittliche Stackspannung aufweist.

Die UI-Kennlinie wird aufgenommen, sobald der Stack eingefahren wurde. Der Stack hat zu diesem Zeitpunkt die Betriebstemperatur erreicht. Durch das kurzzeitige reduzieren des Stackstromes sollte die Temperatur nicht zu stark sinken und somit die Berechnung nur leicht beeinflussen.

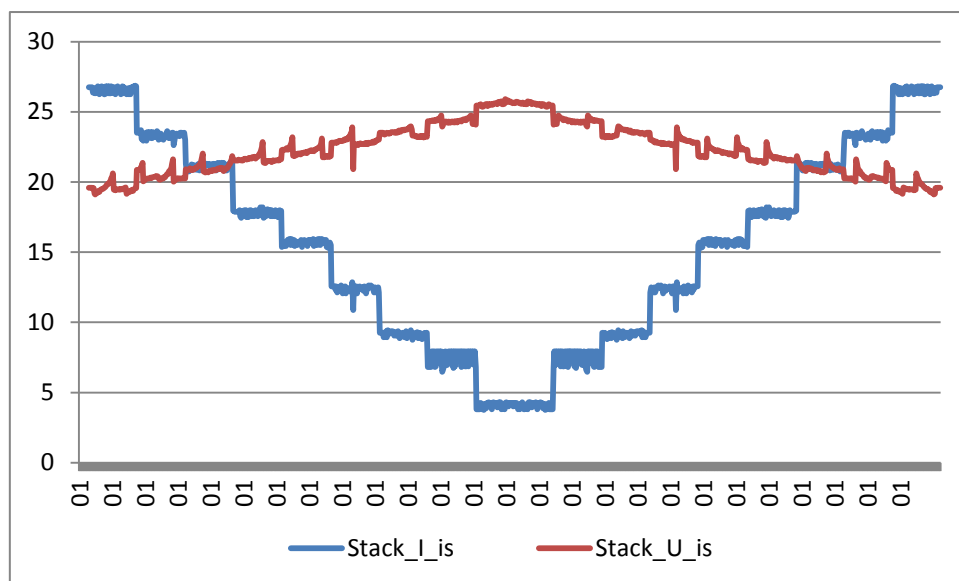


Abbildung 6 Stackstrom zur Bestimmung der UI-Kennlinie (Simulation)

Abbildung 6 zeigt eine Stromkurve die zur Bestimmung der UI-Kennlinie verwendet werden könnte. Eine UI-Kurve könnte so in etwa 20 Minuten aufgenommen werden.

Der Monitor wählt aus der UI-Kurve die Datenpunkte und berechnet darauf die Polynomkoeffizienten.

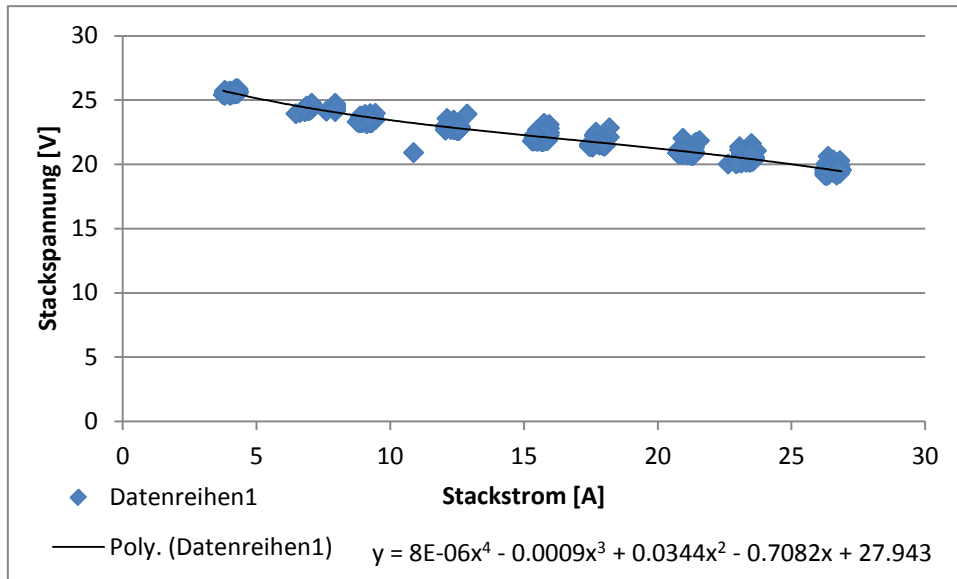


Abbildung 7 Datenpunkte der UI-Kennlinie mit Trendline

## 4 H2-Detektion in der Abluft

Ein Grundpfeiler der Sicherheitskette und damit der TÜV-Zertifizierung ist die Überwachung der H<sub>2</sub>-Konzentration in der Abluft. Damit können gleich mehrerer Fehlfunktionen und Defekte erkannt werden. Sämtliche Ableitungen, welche aus dem System hinausführen, werden an einem H<sub>2</sub>-Detektor vorbei geleitet. So werden nicht nur undichte Stellen gegen Aussen detektiert, sondern auch innerhalb der Leitungen z.B. durch defekte Ventile oder gerissene Membranen. In Abbildung 8 ist der schematische Aufbau dieser Schaltung gezeigt.

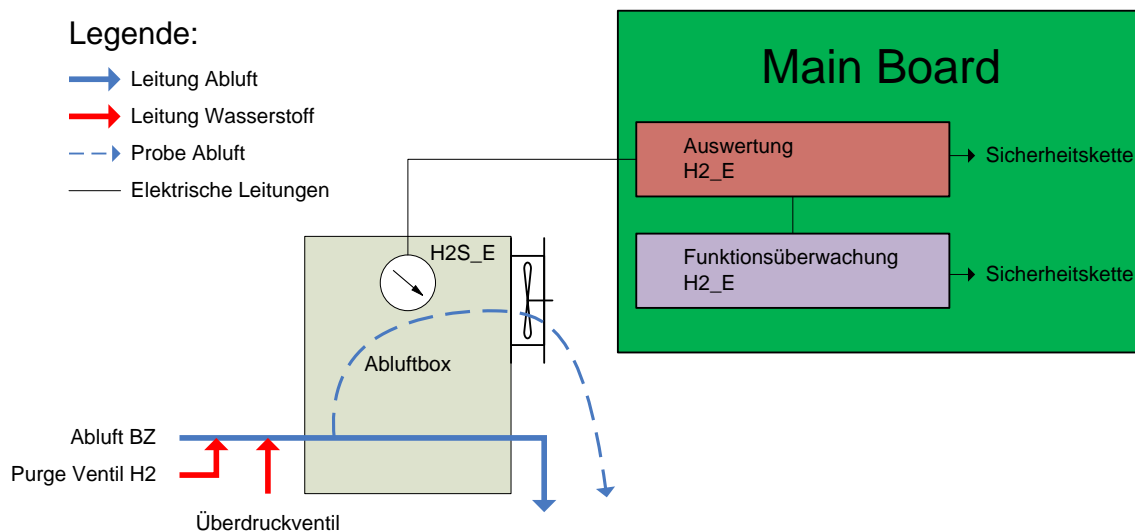


Abbildung 8 Blockschaltbild H<sub>2</sub>-Detekt in der Abluft

Die Schaltung zur Detektion des Wasserstoffes in der Abluft besteht aus zwei Teilen. Zum einen aus der Abluftbox in welcher sich die Wasserstoffdetektion befindet, zum andern aus der Auswertung und Überwachung der Signale auf dem Main Board. In der Abluftbox wird aus den gesammelten Leitungen eine Probe abgeführt. Der Lüfter, welcher die Probe am Detektor vorbei zieht, verdünnt den Wasserstoff

bei einem Purge-Vorgang und schafft die feuchte Luft aus dem Gehäuse. Dabei ist beim Aufbau wichtig, dass der Wasserstoff am Sensor vorbei ziehen kann, ohne dass Abwasser aus der Brennstoffzelle mitgeführt wird. Um eine Redundanz zu schaffen, ist die Auswertung des Sensorsignals nicht softwarebasierend, sondern mit einer Komparatorschaltung realisiert. Diese reagiert sobald die Wasserstoffkonzentration 11 % der unteren Explosionsgrenze überschreitet. Ein Unterbruch der Leitung zum H<sub>2</sub>-Sensor löst denselben Fehler aus, um eine defekte Leitung zu detektieren. Die Schaltung darf jedoch eine zulässige erhöhte Wasserstoffkonzentration in der Abluft während einem Purge-Vorgang nicht als Fehler interpretieren. Dazu wird das Signal nach einem Wasserstoff-Purge-Vorgang für eine kurze Zeit überbrückt. Dieselbe Schaltung verhindert auch, dass Purge-Vorgänge zu häufig ausgeführt werden können. Indem diese Überbrückung auf ein minimales Intervall beschränkt ist, führen zu kurze Purge-Zyklen zu einer sofortigen Abschaltung des Systems. Dies ist notwendig, damit auch bei Leckagen und bei anderen Ursachen für eine erhöhte Wasserstoffkonzentration, das System sicher und zuverlässig abgeschaltet wird. Dieser regelmässige Ausschlag des Sensorsignals wird gleichzeitig zur Funktionsüberwachung der Schaltung genutzt. Ein Schieberegister zählt die Impulse des Purge-Ventils, das Signal des Wasserstoffsensors setzt die Schaltung bei einer erhöhten Konzentration wieder zurück. Bei einem Defekt des H<sub>2</sub>-Sensors wird dieser Zähler nicht mehr zurückgesetzt und somit die korrekte Funktion des Sensors überwacht. Die Signale der beiden Schaltungen werden auf die Sicherheitskette geführt, welche gegebenenfalls die Versorgung der Hauptventile und des Relais unterbricht und schlussendlich das System ausschaltet. Damit können folgende Fehlfunktionen überprüft werden.

- Lecks zwischen Wasserstoff und Luftleitungen z.B. durch gerissene Membranen oder undichtem Spülventil.
- Öffnungszeit, -intervalle und Dichtheit des Wasserstoff-Purge-Ventil.
- Ansprechen des mechanischen Überdruckventils. (Mit diesem Konzept wird redundant zur Druckmessung, ein Überdruck auf den Wasserstoffleitungen verhindert)
- Defekt des Wasserstoffsensors selbst oder verstopfte Zuleitung der Probe.
- Ausfall des Lüfters. (Durch den Ausfall wird der Wasserstoff nicht verdünnt und das Signal des H<sub>2</sub>-Sensors hat dementsprechend ein stärkere sowie längere Auslenkung).

Alternativ dazu müssten alle Ventile, welche Wasserstoff nach aussen leiten können, redundant in doppelter Ausführung eingebaut werden. Dies ist durch die Detektion einer erhöhten Wasserstoffkonzentration in der Abluft nicht nötig. Nebst zusätzlichen Überwachungsmöglichkeiten und Redundanzen können dadurch Komponenten eingespart werden.

## 5 Fazit/Stand der Arbeiten

Es wurde ein entsprechender Code für das Einfahren des Stacks im System geschrieben und getestet. Die Dokumentation wurde entsprechend parallel zu dem Arbeiten durchgeführt. Die Validierung des Prozesses ist im Labor der CEKAtec in Wattwil erfolgreich abgeschlossen worden. Es ist zu überprüfen, inwieweit der Code oder die Bedienoberfläche verbessert werden müssen.

Es konnten alle Projektziele erreicht werden. Darüber hinaus wurde das Problem der Detektion von Wasserstoff in der Abluft behoben.

## 6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Systemübersicht .....	31
Abbildung 2 State-Event Levelingmode .....	32
Abbildung 3 Übersicht GUI .....	33
Abbildung 4 Input GUI .....	33
Abbildung 5 Output GUI .....	34
Abbildung 6 Stackstrom zur Bestimmung der UI-Kennlinie (Simulation) .....	35
Abbildung 7 Datenpunkte der UI-Kennlinie mit Trendline .....	36
Abbildung 8 Blockschaltbild H2-Detektion in der Abluft.....	36

## 7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Beschreibung States	Tabelle 2 Beschreibung Input .....	32
Tabelle 3 Beschreibung Schaltflächen.....		34
Tabelle 4 Beschreibung Output .....		34

## 8 Glossar / Formelzeichen

TB                    Abkürzung für Testbench