



Abschlussbericht zu P&D SI/500529 IHPoS-E Brennstoffzellen-Minibar

Author and Co-Authors	Dr. Marco Santis/ M. Hachen
Institution / Company	CEKAtec AG /BFH-TI Biel
Address	Industriestrasse 2, 9630 Wattwil
Telephone, E-mail, Homepage	071 987 4019, marco.santis@ceka.ch , www.ceka.ch
Project- / Contract Number	SI/500529
Duration of the Project (from – to)	01.08.2010-31.2.2012
Date	04.04.2013

ABSTRACT

The scope of the project is the introduction of a small-scale series of an innovative fuel cell system solution for the electric supply of the coffee machines in the Minibars of elvetino/SBB. The fuel cell system IHPoS*-E has important advantages over the batteries used today in the Minibars such as the possibility of easily disposing over a basically unlimited electric energy supply. The hydrogen logistic will be realized as part of the complete fuel cell solution demonstrating the complete value chain necessary for the successful realization of the application.

* IHPoS: Independent Hydrogen Power Systems



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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



Inhalt

1	Einleitung/ Projektziele.....	4
1.1	Projektbeschreibung und Ziele bei Projektstart	4
1.2	Geänderte Ziele gemäss Antrag auf Projektzieländerung	5
2	Erarbeitete Konzepte und Abgrenzung des Systems	7
2.1.1	Systemgrenzen.....	7
2.2	Schema Gasarmatur (Fokus sicherheitsrelevante Komponenten).....	8
2.3	Schema elektrisch (Fokus sicherheitsrelevante Komponenten)	9
2.4	Sicherheitsrelevante Funktionen.....	10
3	Sicherheitskonzept.....	11
3.1	Definition des Sicheren Zustands des BZ-Systems.....	11
3.2	Erreichen des sicheren Zustandes, Sicherheitsabschaltung	11
3.3	Beschrieb sicherheitsrelevanter Funktionen.....	11
4	Ausarbeitung und Tests	14
4.1	Resultate	14
4.2	19-Zoll Rack Brennstoffzellensystem	15
5	Finanzen.....	17
6	Anhang	19
6.1	Glossard / Legende der Abkürzungen.....	19
6.2	Abbildungsverzeichnis	21



1 Einleitung/ Projektziele

16 Monate nach Projektanfang wurde ein Antrag auf Projektzieländerung eingereicht und genehmigt (siehe Beilage). Die ursprüngliche Projektziele und die neu definierten Ziele werden unter den Punkten 1.1 und 1.2 beschrieben

1.1 Projektbeschreibung und Ziele bei Projektstart

Die Minibars der Firma elvetino/SBB verfügen über eine Kaffemaschine zur Vorbereitung von frischem Kaffee auf den Zügen der SBB. Zur elektrischen Versorgung der Kaffemaschine werden heute Batterien eingesetzt. Bedingt durch den Energiebedarf der Kaffemaschine und limitierte Platzverhältnisse auf der Minibar müssen mindestens 2 Batterien pro Tag eingesetzt werden. Die Batterien sind im unteren Teil der Minibars versorgt und wiegen ca. 20 kg. Ein Wechsel der Batterien ist aus diesem Grund relativ kompliziert und mit Zeit- und somit Umsatzverluste verbunden. Im Gegensatz dazu erlaubt der Einsatz von einem Brennstoffzellensystem einen einfacheren und schnelleren Wechsel des Energiespeichers (Gasflasche) wodurch kleinere Zeitverluste entstehen. Zudem bietet sich an, durch die Wahl der Grösse und/oder Anzahl an Gasflaschen, die Menge an mitgeführter Energie leicht zu bestimmen. Die Versorgung weiterer Energieverbraucher auf den Minibars wäre somit mit kleineren Investitionskosten möglich da keine weiteren Batterien angeschafft werden müssen.

Die allgemeinen Ziele des Projekts sind:

- Demonstration der Praxistauglichkeit der IHPoS-E Brennstoffzellensysteme im täglichen Einsatz
- Aufbau und Einrichtung der Wasserstofflogistik
- Bestätigung der vorkalkulierten Betriebskosten (Wasserstoffverbrauch und Service Brennstoffzellensystem)
- Erprobung der Kleinserienfertigung
- Erweis der Konkurrenzfähigkeit der Brennstoffzellentechnologie gegenüber Akkutechnologien
- Bekanntmachung der CH-Brennstoffzellentechnologie im In- und Ausland (Europa)

In der Pilotphase sollen 50 Minibars von elvetino/SBB in ausgewählten Routen der SBB eingesetzt werden. Die Wasserstofflogistik soll aufgebaut und erprobt werden. Die Einführung der ersten 50 Minibars ist für die Jahren 2011/2012 geplant.

Das Bild zeigt eine Minibar ausgerüstet mit einem Prototyp eines IHPoS-E Brennstoffzellensystems (untere Seite) sowie die Speicherversorgung (hintere Seite). Dieses Prototypsystem wurde im Rahmen eines KTI-Projekts aufgebaut.



Abb. 1 Prototypsystems der elvetino Brennstoffzellen-Minibar. Das Brennstoffzellensystem IHPOs-E befindet sich im unteren, die Versorgung der Gasflaschen im hinteren Bereich.

1.2 Geänderte Ziele gemäss Antrag auf Projektzieländerung

Wie oben angegeben war die Einführung der ersten Kleinserie von 50 BZ-Minibars für die Jahren 2011/122 geplant. Und zwar im Anschluss an das KTI Projekt mit der Nr. 9376.2 PFIW-IW. In diesem KTI-Projekt wurde ein 500 Watt Brennstoffzellensystem vom Typ IHPOs-E für dessen Integration in der damaligen Minibar entwickelt.

Nach Abschluss der Entwicklung und während den Vorbereitungsarbeiten zur Kleinserienproduktion der Systeme für das ursprüngliche P&D Projekt kam es in Japan zu den bekannten Ereignissen in Fukushima. Unter anderen wurde damals in den Medien die Nachricht über die Explosionen in den Reaktoren verbreitet. Dabei wurde explizit über „Wasserstoffexplosionen“ berichtet.

Der Verwaltungsrat der elvetino AG hat im Rahmen einer ordentlichen Sitzung die Risiken eines möglichen Imageschadens bei der SBB debattiert. Man ist zum Schluss gekommen, dass die Einführung von Brennstoffzellen-Minibars mit Wasserstoff als Brennstoff erst nach Vorliegen einer Sicherheitsbescheinigung genehmigt werden würde. Ebenfalls sollte ein Mehrnutzen für den Kunden bei der SBB konkret aufgezeigt werden.

Die Projektpartner haben aus diesem Grund Ressourcen zur Evaluation von Zertifizierungsstellen sowie zur Feststellung des Stands der Entwicklung bezüglich Erfüllung von Zertifizierungsaufgaben aufgewendet.



Als Ergebniss der Evaluation entstand ein Massnahmekatalog mit den von der Zertifizierungsstelle geforderten Erweiterungen am System. Zur Realisierung der geforderten sicherheitsgerichteten Funktionalitäten im IHPoS-E System sind Entwicklungsarbeiten mit Unterstützung des Forschungspartners notwendig gewesen. Knackpunkt dabei war, die Aufgaben zu erfüllen, ohne die Kosten des Systems drastisch zu erhöhen.

Aus diesem Grund wurde ein Antrag auf Projektzieländerung des P&D Projekts eingereicht. Neu sollten die vom BFE zugesprochenen Mittel zur Umsetzung der von der Zertifizierungsstelle geforderten Sicherheitsfunktionen verwendet werden. Die Zertifizierung des überarbeiteten Systems war für Ende 2012 geplant.

Im Rahmen der geänderten Zielsetzung sollte ein 500 Watt Brennstoffzellensystem in einer 19-Zoll-Rack Geometrie gebaut werden. Die Umsetzung der Sicherheitsmassnahmen wurde vom TÜV Süd begleitet. Eine Zertifizierung dieses Systems war auf Ende 2012 geplant.

Die Zertifizierungsstelle hat eine Überarbeitung des Sicherheitskonzepts des Systems IHPoS-E gefordert. Neu sollten Konzepte zur Realisierung von Hardware-Gerichteten Sicherheitsfunktionalitäten zur Überwachung folgender kritische Parameter erarbeitet werden:

- Detektion und Verhinderung eines Wasserstoff-Überdrucks im System
- Detektion eines Risses der Membranen in Zellen des Brennstoffzellenstacks
- Detektion von Fehlfunktionen (Leckagen) der Wasserstoffventile
- Prozessorüberwachung
- Detektion und Verhinderung von Temperaturüberschreitungen des Brennstoffzellenstacks

Im vorliegenden Schlussbericht ist es sinnvoll die realisierten Arbeiten im Rahmen des gesamten Sicherheitskonzepts zu präsentieren. Aus diesem Grund wird in den Kapiteln 2, 3 und 4 eine verkürzte Beschreibung des Sicherheitskonzepts sowie relevante Testergebnisse wie bei der Zertifizierungsstelle eingereicht.

Im Verlaufe des Jahres 2012 konnte jedoch das Projekt mit elvetino zur Realisierung einer neuen Railbar inklusive Brennstoffzellensystem neu aufgegriffen werden. Aus diesem Grund wurde die Zertifizierung des 19-Zoll-Rack-Systems nicht mehr zu Ende durchgeführt.

Das 19-Zoll-Rack System konnte zu Evaluationsgründen an armassuisse (Beschaffungsorgan der Schweizer Armee) verkauft werden.

2 Erarbeitete Konzepte und Abgrenzung des Systems

2.1.1 Systemgrenzen

Das Gesamtsystem IHPos-E ist als Hybridsystem, bestehend aus einem Brennstoffzellensystem (BZ-System) und einem elektrischen Zwischenspeicher, konzipiert. Das BZ-System wird über Relais mit einem DC/DC-Wandler verbunden. Die Verbindung vom DC/DC-Wandler zu den elektrischen Verbrauchern erfolgt ebenfalls über Relais.

Die angestrebte Zertifizierung gilt ausschliesslich für das BZ-System ohne Wasserstoffspeicher und Schnittstelle zur Last (elektrischer Zwischenspeicher und DC/DC-Wandler). Also nur die Komponenten und Funktionalitäten innerhalb des gestrichelten Kastens in Abb. 2.1. Die mechanische Abgrenzung wird genauer aufgezeigt in Abb. 2.2, die elektrische in Abb. 2.3.

Die Grundlage für die Zertifizierung stellt die Norm DIN EN 62282-5-1:2008-3 – Brennstoffzellentechnologien – Teil 5-1: Portable Brennstoffzellen-Energiesysteme-Sicherheit, dar.

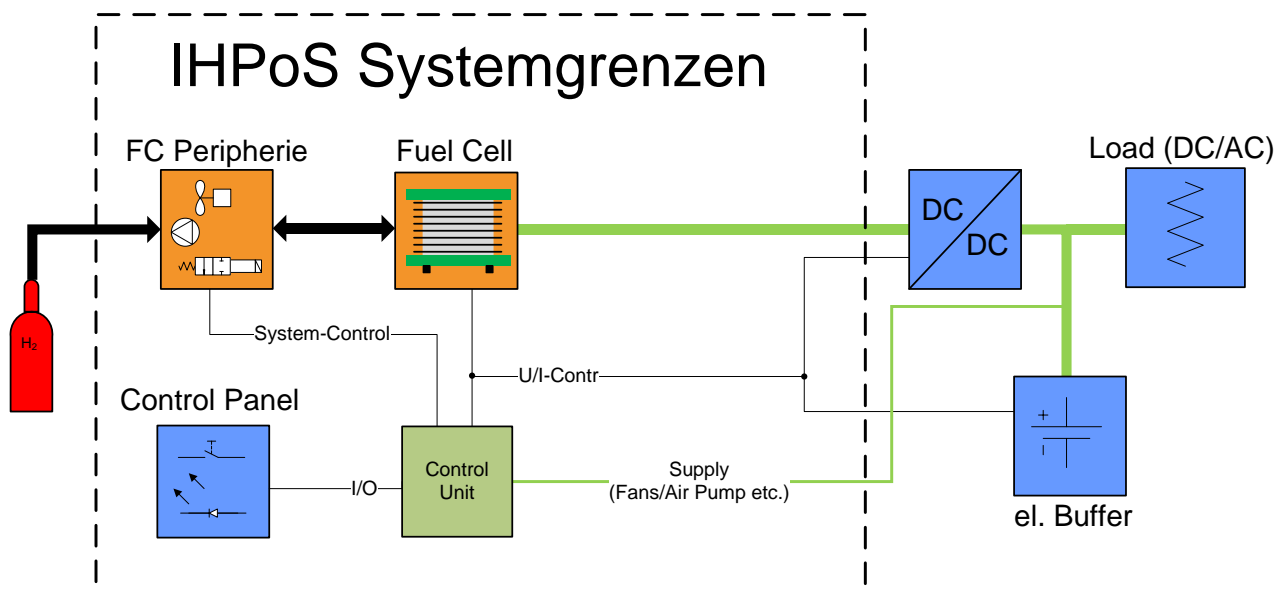


Abb. 2.1: Übersicht des Hybridsystems IHPos-E: Die Zertifizierung des Systems gilt bis zur Verbindung des BZ-Systems mit dem DC/DC-Wandler (Komponenten und Funktionalitäten innerhalb des gestrichelten Kastens)

2.2 Schema Gasarmatur (Fokus sicherheitsrelevante Komponenten)

Das Hybridsystem IHPoS-E wird während dem Betrieb mit Umgebungsluft und ausschliesslich mit reinem Wasserstoff versorgt. Der Wasserstoff reagiert in der Brennstoffzelle mit Sauerstoff. Somit tritt aus dem System Wasser und Luft mit verringertem Sauerstoffgehalt (10-15%, max. 30Nl/min).

In der Abbildung unten sind lediglich die sicherheitsrelevanten Wasserstoffleitungen detailliert dargestellt. Die Luftversorgung ist nur angedeutet. Komponenten wie die Luftpumpe Flusssensor und Purge-Ventil sind nicht in der Abbildung ersichtlich.

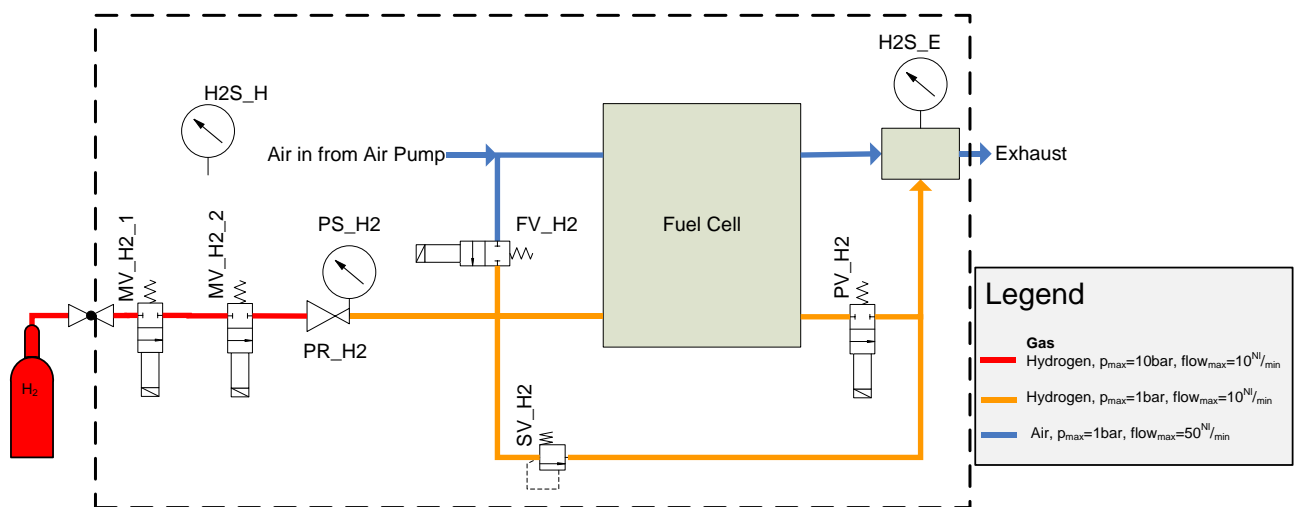


Abb. 2.2: Gasschema des BZ-Systems. Mit originalgetreuer Darstellung der Sicherheitsrelevanten Wasserstoffversorgung und Andeutung der Luftversorgung.

Die sicherheitsrelevanten Funktionen sind in Kapitel 2.4 aufgelistet.

2.3 Schema elektrisch (Fokus sicherheitsrelevante Komponenten)

Der elektrische Hauptstrang zwischen Brennstoffzelle und Last hat die Aufgabe die Energie zu übertragen und die Spannungen anzupassen. Von diesem Strang wird die Versorgung der Peripherie innerhalb des BZ-Systems abgezweigt.

Die Control Unit, hier mit Fokus auf die sicherheitsrelevanten Funktionen, überwacht diesen Lastfluss. Bei einer Fehlfunktion werden der Hauptstrang und die Versorgung sicherheitsrelevanter Komponenten Unterbrochen.

Alle elektrischen Leitungen sind auf ihre maximalen Ströme ausgelegt. Der maximale elektrische Strom von der Brennstoffzelle ist durch die Gasflüsse limitiert. Somit müssen die Leitungen nicht speziell abgesichert werden sondern im Verhältnis zu den maximalen Gasflüssen ausgelegt werden.

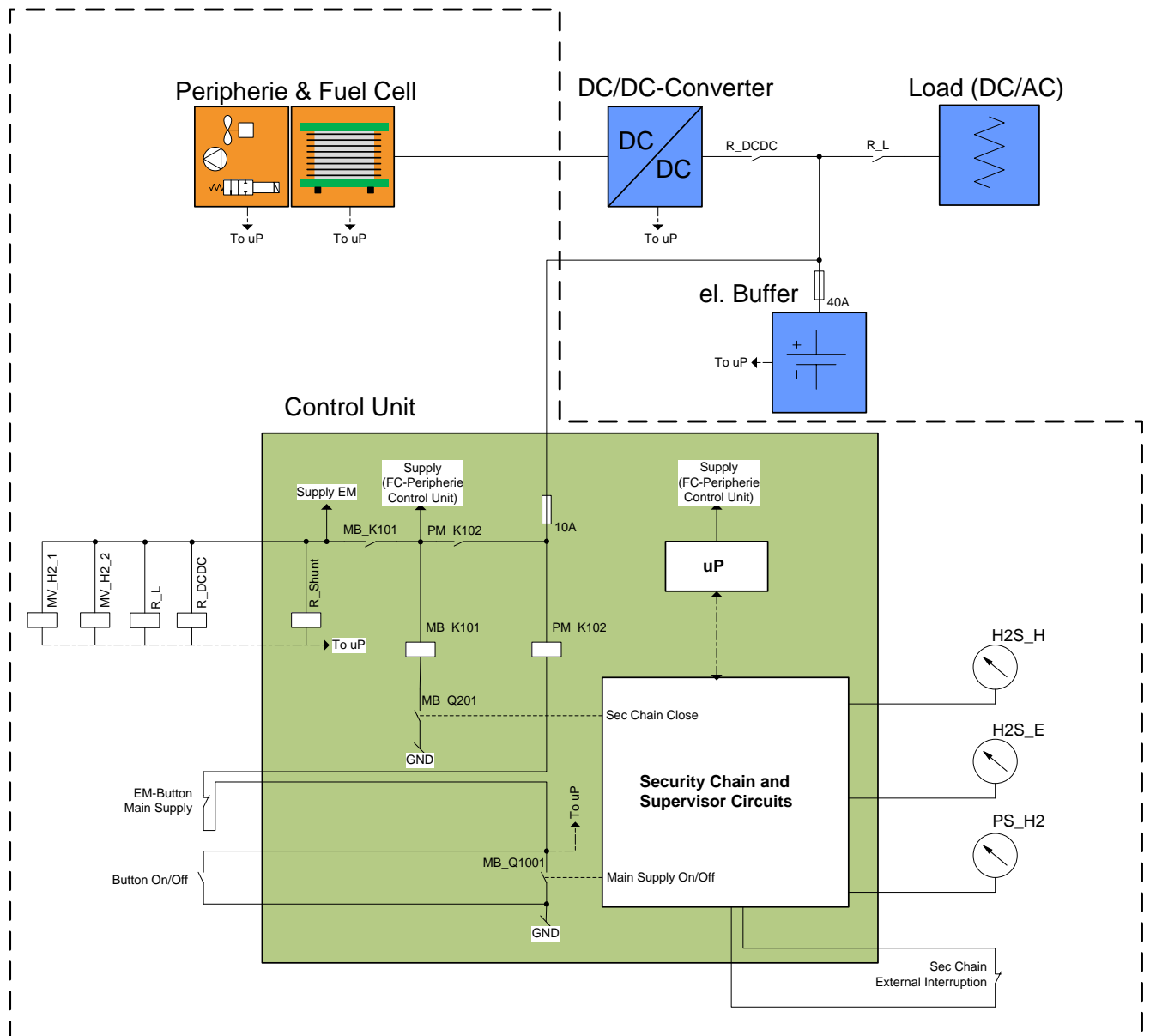


Abb. 2.3: Elektroschema des BZ-Systems. Hier mit Fokus auf sicherheitsrelevante Komponenten. Dafür unwichtige Komponenten werden nur angedeutet bzw. ausgeblendet.



Die sicherheitsrelevanten Funktionen, welche die Schaltung übernimmt sind unten beschrieben.

2.4 Sicherheitsrelevante Funktionen

Folgend sind alle sicherheitsrelevanten Funktionen aufgelistet, welche eine Gefährdung von Mensch und Tier verhindern. Im folgenden Kapiteln werden diese Funktionen genauer beschrieben (Kapitel 3).

- **Verhinderung einer explosiven Atmosphäre innerhalb des BZ-Systems**
- **Verhinderung einer explosiven Atmosphäre ausserhalb des BZ-Systems***
- **Verhinderung unzulässiger Druck in den Luftleitungen**
- **Verhinderung unzulässiger Druck in den Wasserstoffleitungen***
- **Prozessorüberwachung mittels Watch Dog sowie Spannungsüberwachung (5V, 3.3V)***
- **Elektronik-Temperatur Überwachung***
- **Überwachung kritischer Signale und Funktionen**
- **Verhinderung Überlastung elektrischer Leitungen mittels Schmelzsicherungen sowie Schutz vor elektrischen Schlägen.**

* Im Rahmen des geänderten Ziele des P&D Projekts realisierte Erweiterung des Sicherheitskonzepts im System IHPoS-E.



3 Sicherheitskonzept

3.1 Definition des Sicheren Zustands des BZ-Systems

Der sichere Zustand wird als derjenige definiert, bei dem die Zufuhr von Wasserstoff aus dem Gasspeicher zum BZ-System unterbrochen ist und der elektrische Zwischenspeicher bzw. die Last vom BZ-System getrennt sind.

3.2 Erreichen des sicheren Zustandes, Sicherheitsabschaltung

Der sichere Zustand wird im BZ-System mittels einer automatischen Sicherheitsabschaltung erreicht: Die Sicherheitskette wird ausgelöst, die Absperrventile welche das BZ-System mit dem Gasspeicher verbinden werden geschlossen und die Relais, welche die Last und den elektrischen Zwischenspeicher mit dem BZ-System verbinden, werden geöffnet. Zusätzlich wird die Brennstoffzelle über einen Widerstand entladen.

Die automatische Sicherheitsabschaltung muss durch eine hardwarebestimmte Überwachung ausgelöst werden. Diese Sicherheitskette beinhaltet Sensoren, Überwachungsschaltungen sowie Relais und Absperrventile. KEINE Funktionen, welche für die Sicherheitsabschaltung verantwortlich sind können vom Prozessor bzw. vom laufenden Programm überbrückt werden. Das laufende Programm spielt somit eine sekundäre Rolle. Sicherheitsrelevante Signale werden dennoch vom Programm überwacht. Gleich wie bei der automatischen Sicherheitsabschaltung wird auch hier das System ausgeschaltet sobald sich ein Signal ausserhalb des zulässigen Wertes befindet. Dies bietet eine gewisse Redundanz zur hardwarebestimmten Überwachung.

Befindet sich ein sicherheitsrelevantes Signal ausserhalb der festgelegten Werte leitet die Sicherheitskette folgende Vorgänge ein:

- Die Stromzufuhr zu den Absperrventilen und Relais wird unterbrochen.
- Die Absperrventile sind normal geschlossene (NC) Magnet-Ventile. Somit unterbrechen diese die Wasserstoffzufuhr ohne Stromversorgung.
- Die Lastrelais sind normal geöffnet (NO) und trennen die Last und den elektrischen Zwischenspeicher vom BZ-System.

3.3 Beschrieb sicherheitsrelevanter Funktionen

Folgend werden die Sicherheitsrelevanten Funktionen beschrieben.

Verhinderung einer explosiven Atmosphäre innerhalb des BZ-Systems

Wird im Gehäuse durch den Sensor H2S_H eine Wasserstoffkonzentration grösser als 17%LEL detektiert löst umgehend die Sicherheitskette aus (MB_K101). Dabei wird die elektrische Versorgung der Hauptventile MV_H2_1 und MV_H2_2, und somit die Wasserstoffversorgung, unterbrochen. Mögliche Gründe für eine solche Fehlerdetektion sind z.B. undichte Gasleitungen oder ein Lecks der Brennstoffzelle gegen aussen.

Verhinderung einer explosiven Atmosphäre ausserhalb des BZ-Systems:

Die Verhinderung der Bildung einer explosiven Atmosphäre ausserhalb des BZ-Systems wird durch Überwachung der H2-Konzentration in der Abluft. Hierfür wird der Sensor H2S_E eingesetzt. Detektiert dieser Sensor ausserhalb eines Purge-Vorganges eine unzulässige Wasserstoffkonzentration über 11%LEL löst umgehend die Sicherheitskette aus (MB_K101). Die Versorgung der Hauptventile MV_H2_1 und MV_H2_2 wie die Wasserstoffversorgung wird somit unterbrochen. Damit können



sämtliche Lecks und Fehlfunktionen innerhalb der Gasarmaturen festgestellt werden. Ebenfalls ein Riss innerhalb der Membranen der Zellen vom Stack wie aber auch undichte Ventile oder eine Öffnung des mechanischen Sicherheitsventils (SV_H2).

Bemerkung: Der Wasserstoffsensord hat eine Aufwärmphase nach dem er eingeschaltet wird. Diese wird nach dem Einschalten des BZ-System für max. 15s überbrückt. Nach einem Purge-Vorgang tritt kurz eine erhöhte H₂-Konzentration auf. Der Sensor braucht danach ca. 10s um sich zu erholen. Diese Dauer wird ebenfalls überbrückt. Danach darf für 30s keine erhöhte H₂-Konzentration mehr auftreten. So ergibt sich ein minimaler Purge-Zyklus von ca. 40s ohne dass die Sicherheitskette auslöst.

Verhinderung unzulässiger Druck in den Luftleitungen:

Die Prozessluft wird durch eine Luftpumpe aufbereitet. Durch die geeignete Auslegung dieser Pumpe wird garantiert, dass der Druck den gegebenen maximaldruck von 1Bar.rel nicht überschreiten kann. Jede beteiligte Komponente wie z.B. die Ventile werden auf diesen Maximaldruck ausgelegt.

Verhinderung unzulässiger Druck in den Wasserstoffleitungen:

Die für das System IHPoS-E vorgesehenen H₂-Speicher sind Metallhydridspeicher mit einem maximalen Druck von 10 bar.rel. Aus diesem Grund sind alle Komponenten am Wasserstoffanschluss bis und mit dem Druckminderer PR_H2 auf diesen Maximaldruck ausgelegt.

Danach wird der Druck auf <1Bar reduziert. Das mechanische Sicherheitsventil SV_H2 garantiert diesen maximalen Druck. Im Fall eines Überdrucks öffnet das SV_H2 und der abgelassene Wasserstoff wird vom Sensor H₂S_E in der Abluft detektiert. Umgehend werden die beiden Hauptventile MV_H2_1 und MV_H2_2 geschlossen. Zusätzlich überwacht der Drucksensor PS_H2 den Wasserstoffdruck und löst bereits bei einem Druck von 0.8mBar.rel die Sicherheitskette aus (MB_K101). Somit wird verhindert, dass ein Überdruck auf den Gasleitungen innerhalb des BZ-Systems entsteht.

Prozessüberwachung mittels Watch Dog und Spannungsüberwachung (5V, 3.3V)

Der Watch Dog überwacht zum einen den Prozessor selbst, zum anderen die Speisung des Prozessors und der Signalauswertung (3.3V) sowie die Versorgung der Sensoren (5V).

Der Prozessor erzeugt während dem normalen Betrieb ein Rechtecksignal von 5Hz. Bleibt dieses Signal wegen einer Fehlfunktion für max. 2.3s aus, unterbricht der WD die Hauptversorgung (PM_K102). Dasselbe geschieht, sobald die 3.3V-Speisung um mehr als ca. 10% sinkt. Somit wird eine Fehlfunktion des Prozessors erkannt bzw. verhindert. Damit das BZ-System nicht in einem undefinierten Zustand bleibt wird es ausgeschaltet.

Sinkt die 5V-Speisung um mehr als ca. 10% löst die Schaltung die Sicherheitskette aus (MB_K101). Eine Fehlfunktion der Sensoren durch eine nicht ausreichende Speisung kann somit vorgebeugt werden.

Elektronik-Temperatur Überwachung

Die Temperatur der Elektronik, vor allem der Sicherheitskette und Überwachungsschaltungen, darf 85°C nicht überschreiten um ihre Funktion zu gewährleisten. Bereits bei Temperaturen über 75°C wird die Sicherheitskette ausgelöst (MB_K101). Somit wird sichergestellt, dass die Sicherheitskette nur innerhalb der zugelassenen Temperaturbereiche arbeitet.

Überwachung kritischer Signale und Funktionen

Folgende Signale werden zusätzlich überwacht.

- Reset-Signal vom uP um gewisse Schaltung prozessbedingt zurücksetzen zu können.
- Das Ansteuersignal des Purge-Ventils H₂.
- Überbrückung der Aufwärmphase bzw. des Purge-Vorganges der H₂-Sensoren H₂S_H und H₂S_E



Bleibt eins oder mehrerer dieser Signale länger als 30s Logisch „1“ wird die Sicherheitskette ausgelöst (MB_K101). Somit können gewisse Fehlfunktionen der Schaltung bzw. des Prozessors bereits frühzeitig erkannt werden.

Folgende Funktionen werden zusätzlich überwacht:

- Die Funktion des H₂-Sensors in der Abluft. Nach jedem Purge-Vorgang muss der H₂-Sensor H2S_E einen Anstieg der Wasserstoffkonzentration feststellen. Wird vier Mal in Folge kein Wasserstoff detektiert löst die Sicherheitskette aus (MB_K101).
- Das Relais MB_K101 hat eine Selbsthaltung *Sec Chain Self-Retaining* genannt). Löst die Sicherheitskette aus fällt dieses Signal auf Logisch „0“ und verhindert eine erneute Einschaltung vom Relais MB_K101.

Durch diese Überwachung wird ein Ausfall der Kette zur Erkennung von Wasserstoff in der Abluft bemerkt. Wenn falls die Verbindung zwischen Sensor und den Abluftleitungen verstopft sein sollte.

Verhinderung Überlastung elektrischer Leitungen mittels Schmelzsicherungen sowie Schutz vor elektrischen Schlägen.

Sämtliche Leitungen sind mit Schmelzsicherungen geschützt und auf deren maximalen Ströme ausgelegt. Einzige Ausnahme bildet die Verbindung zur Brennstoffzelle. Die maximalen Ströme werden von den Gasflüssen limitiert. Die elektrischen Leiter werden entsprechen ausgelegt.

Innerhalb des BZ-Systems werden ausschliesslich Spannungen im Kleinspannungsbereich erzeugt. Somit müssen keine zusätzlichen Massnahmen getroffen werden.

4 Ausarbeitung und Tests

4.1 Resultate

Im Rahmen der geänderten Ziele des P&D Projekts wurden die oben genannten Konzepte erarbeitet und getestet. Dazu gehörte die Vorbereitung zur Implementierung der neuen Funktionen und Schaltungen in einer revidierten Steuerung. Dabei war der Hauptaufwand die Ausarbeitung des Konzepts zur Detektion von Wasserstoff innerhalb der Abluft. Im normalen Betrieb wird von Zeit zu Zeit Wasserstoff abgelassen. Die Herausforderung lag nun in der Unterscheidung zwischen dieser normalen erhöhten Konzentration und einem Fehlerfall. In einem ersten Konzept sollte lediglich mit einem Filter zwischen den zwei Fällen unterschieden werden können. Bedingt durch die unregelmässigen Ansprechzeiten der Sensoren musste die Unterdrückung jedoch über eine unzulässig lange Zeit eingestellt werden. Die Dauer bis zur Detektion des Fehlers war zu gross. Deswegen wurde zusätzlich das Signal des Purge-Ventils mit einbezogen. Eine zweite Problematik welche gelöst werden musste war die in der Abluft enthaltene Feuchtigkeit und Wasser vom Sensor fern zu halten. Ein erster Testaufbau und Implementierung dieser Funktion konnte auf den Testständen der BFH getestet und verifiziert werden.

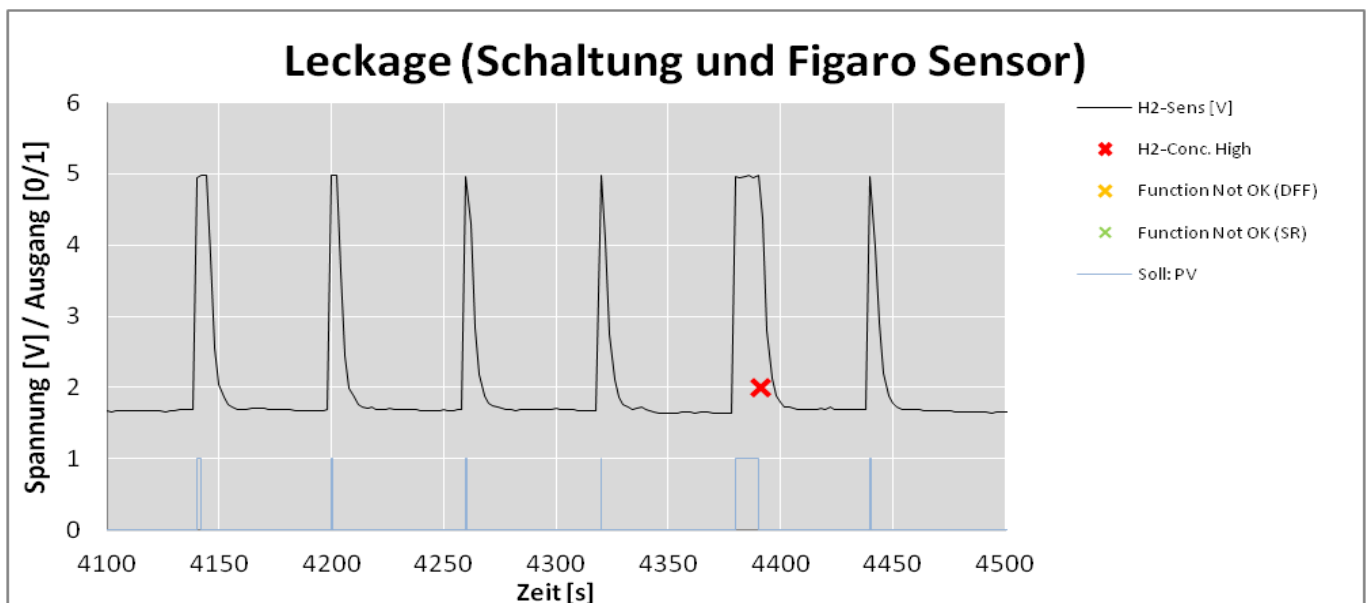


Abb. 4.1: Fehlverhalten, Leckage innerhalb der Gasleitungen

In Abb. 4.1 ist der Funktionstest der Schaltung aufgezeigt. Das Purge-Ventil wird hier regelmässig alle 60s geöffnet (blau). Als Reaktion darauf detektiert der H2-Sensor eine erhöhte Wasserstoffkonzentration in der Abluft (schwarz). Er löst dabei keinen Fehler aus. Erst wenn ein Leck entsteht wird ein Fehlverhalten signalisiert (rotes X). Hier simuliert mit einer langen Öffnungszeit des Purge-Ventils.



Im Vergleich dazu sind die anderen Funktionen (siehe Punkt 2.4) weniger aufwendig und konnten zum Teil bereits in Systeme welche im Laufe der Projektdauer entwickelt wurden implementiert werden:

- a) Hy-Stromer System – 300 Watt BZ-System als Anhänger zur Erweiterung der Reichweite von Elektrovelos.
- b) IHPoS-Camp System – 500 System zum aufladen von Blei-Akkus (Campingfahrzeuganwendung)
- c) Boxer-System – 500 + 500 Watt BZ-System zur Demonstration des Boxer-Stacks-Prinzip und Verdoppelung der Leistung mit einer einzigen Gasperipheri.

Die Detektion von H2 in der Abluft wurde im folgenden System realisiert:

- d) 19-Zoll Rack System zur Implementierung der erarbeiteten Sicherheitskonzepte und Erlangen der Zertifizierung.

4.2 19-Zoll Rack Brennstoffzellensystem

Im Rahmen der geänderten Ziele des P&D Projekts wurde ein 19-Zoll Rack System zur Erprobung der Sicherheitsgerichteten Funktionalitäten gebaut.

Die Merkmale des gebauten Systems sind:

- IHPoS-E Hybridsystem mit 450 Watt Dauerleistung und folgende Schnittstellen:
- Spitzenleistung von 1 kW (24 VDC und 230 VAC Schnittstellen) für min.10 Sekunden
- 1x 12 V DC Schnittstelle mit 100 Watt Leistung (Spitze 100 Watt)
- 1x 24 V DC Schnittstelle mit 450 Watt Leistung (Spitze wie oben)
- 1x 230 VAC Schnittstellenmodul mit 450 Watt Leistung (Spitze wie oben)

Die Zertifizierung dieses Systems war für Ende 2012 geplant. Auf Grund der Wiederaufnahme des Minibars Projekts mit elvetino/SBB wurde entschieden die Zertifizierung des 19-Zoll Rack Systems nicht zu Ende zu führen. Der Grund dafür war, dass für das Minibar System die Zertifizierung des 19-Zoll Rack Systems nicht gültig gewesen wäre und somit doppelte Kosten entstehen würden. Die realisierten Sicherheitsfunktionalitäten werden jedoch im neuen Minibar-System implementiert und garantieren so die Sicherheit und Zertifizierbarkeit des Systems.

Bild des gebauten Systems:



Abb. 2. Frontansicht des 19-Zoll Rack Systems. Bedienpanel, Schnittstellen 12 VDC, 24 VDC und 230 VAC.



5 Finanzen

Der neue Finanzierungsplan gemäss Antrag auf Projektzieländerung und die angefallenen Kosten sind in der nächsten Tabelle angegeben:

Art der Ausgaben	Budget Eigenleistung Industrie	Ausgaben Industrie	Budget BFE	Ausgaben BFE	Budget Eigenleistung BFH-TI	Ausgaben BFH-TI
BZ-Systeme	20'000	14'000	60'000	60'000		
Zertifizierung inkl. Begleitung	5'000	11'000	20'000	20'000		
Spesen/Verbrauchsmaterial	5'000	-				
Honorare	204'568	248'000	145'000	140'000		
Total	234'568	273'000	225'000	220'000	25'000	25'000
Differenz		+38'432		-5'000'		-

Die BFE Mittel wurden folgendermassen ausgegeben:

Art der Ausgaben	Beitrag BFE
Hy-Stromer IHPoS-System-300 Watt	20'000
IHPoS-Camp – 500 Watt	20'000
IHPoS-Boxer – 1'000 Watt	20'000
Honorare	160'000
Total	220'000



Mit freundlichen Grüßen,

Wattwil, 04.04.2013

Dr. Marco Santis
CEKAtec AG
Projektleiter

Beilagen:

- Antrag und Genehmigung der geänderten Ziele des P&D Projekts



6 Anhang

6.1 Glossard / Legende der Abkürzungen

Legende Abkürzungen in Abb. 2.2, Abb. 2.3 und Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

Abkürzung	Bezeichnung	Kommentar
FV_H2	Spülventil H2 (NC)	Öffnet zum Spülen der Brennstoffzelle
H2S_E	H2-Sensor in der Abluft	Wasserstoffkonzentration im Gehäuse
H2S_H	H2-Sensor im Gehäuse	Wasserstoffkonzentration in der Abluft
MB_K101	Relais Sicherheitskette (NC)	Unterbricht die Speisung aller sicherheitsrelevanten Komponenten im Fehlerfall. (Main Board)
MB_Q201	Schliesser Sicherheitskette	MOS-FET MB_Q201 (BSH108) wird nur geschlossen, wenn alle sicherheitsrelevanten Signale innerhalb des erlaubten Bereiches sind. (Main Board)
MB_Q1001	Schliesser Hauptversorgung	MOS-FET MB_Q201 (BSH108) wird vom Prozessor betätigt und kann bei schwerwiegenden Fehlern unterbrochen werden. (Main Board)
MB_R717	NTC Widerstand	Dient zur Messung der Main Board Temperatur
MV_H2_1	Hauptventil H2 1 (NC)	Schliesst bei einer Sicherheitsabschaltung
MV_H2_2	Hauptventil H2 2 (NC)	Schliesst bei einer Sicherheitsabschaltung (Redundanz)
PM_K102	Relais Hauptversorgung (NO)	Unterbricht die Speisung der Control Unit und der Peripherie. (Power Module)
PR_H2	Druckminderer H2	Druckreduktion von max. 10Bar.rel auf 0.5Bar.rel
PS_H2	Drucksensor H2	Misst den Wasserstoffdruck
PV_H2	Purge-Ventil H2 (NC)	Dient zum Wasserauslass
R_DCDC	DCDC-Relais (NO)	Unterbricht die Verbindung von der Brennstoffzelle und DC/DC-Wandler zum elektrischen Zwischenspeicher
R_L	Lastrelais (NO)	Unterbricht die Verbindung vom System zur Last
R_Shunt	Shunt-Relais (NC)	Schliesst die Brennstoffzelle über einen Widerstand kurz.
SV_H2	Mech. Sicherheitsventil H2	Öffnet bei einem Überdruck von 1Bar



Legende Begriffe in Abb. 2.2, Abb. 2.3 und Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

Begriff	Kommentar
Button On/Off	Taster zum ein- und ausschalten des Systems.
Control Unit	Steuereinheit des Brennstoffzellensystems bestehend aus Main Board und Power Modul
DC/DC-Converter	DC/DC-Wandler 600W (Wandelt die Spannung der Brennstoffzelle auf die Spannung des elektrischen Zwischenspeichers)
el. Buffer	elektrischer Zwischenspeicher zur Dämpfung von Lastwechseln und Starterbatterie.
EM-Button Main Supply	Not-Aus z.B. potentialfreier Kontakt der Überwachungsschaltung des elektrischen Zwischenspeichers oder Notausschalter (Unterbricht die Hauptversorgung aller Komponenten im System)
Load	Last
Peripherie & Fuel Cell	Gesamte elektrische und mechanische Peripherie inkl. Brennstoffzelle ohne H2-Speicher.
Sec Chain External Interruption	Externer Schalter zum öffnen der Sicherheitskette. Z.B. dritter H2-Sensor
Security Chain and Supervisor Circuits	Zusammenfassung aller elektrischer Komponenten welche zur Überwachung und Auswertung kritischer Signale dienen. (Siehe sicherheitsrelevante Funktionen unten)
Supply	Hauptversorgung (24V/12V) Control Unit und Peripherie
Supply EM	Speisung (12V) Komponenten innerhalb der Sicherheitskette
uP	Mikroprozessor



6.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Prototypsystems der elvetino Brennstoffzellen-Minibar. Das Brennstoffzellensystem IHPoS-E befindet sich im unteren, die Versorgung der Gasflaschen im hinteren Bereich.	5
Abb. 2.1: Übersicht des Hybridsystems IHPoS-E: Die Zertifizierung des Systems gilt bis zur Verbindung des BZ-Systems mit dem DC/DC-Wandler (Komponenten und Funktionalitäten innerhalb des gestrichelten Kastens)	7
Abb. 2.2: Gasschema des BZ-Systems. Mit originalgetreuer Darstellung der Sicherheitsrelevanten Wasserstoffversorgung und Andeutung der Luftversorgung.....	8
Abb. 2.3: Elektroschema des BZ-Systems. Hier mit Fokus auf sicherheitsrelevante Komponenten. Dafür unwichtige Komponenten werden angedeutet bzw. ausgeblendet.....	9
Abb. 4.1: Fehlverhalten, Leckage innerhalb der Gasleitungen	14