

Jahresbericht M5, 06. Dezember 2006

Projekt

lokale Gasphasenanalyse an PE-Brennstoffzellen

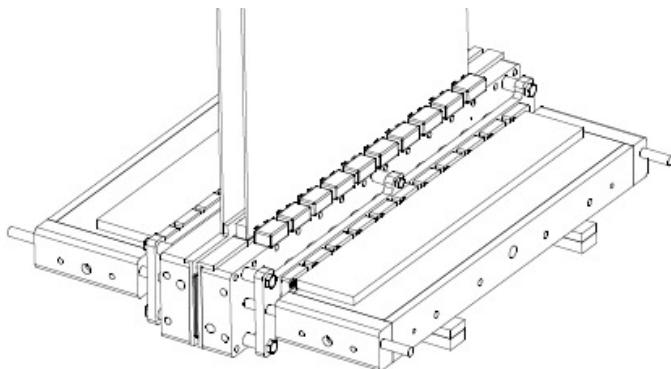
Methodenaufbau

Autor und Koautoren	Gabriel Schuler
beauftragte Institution	Paul Scherrer Institut, Gruppe Brennstoffzellen-Systeme
Adresse	OLGA 121, 5232 Villigen PSI
Telefon, E-mail, Internetadresse	056/ 310 53 96, gabriel.schuler@psi.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	101785
Dauer des Projekts (von – bis)	01.08.06 – 31.07.07

ZUSAMMENFASSUNG

Die lokale Gasanalyse ergänzt die Charakterisierung von Brennstoffzellen bedeutend. Erste Vormessungen mit einem Leihmassenspektrometer zeigten die kritischen Punkte und die hohen Systemanforderungen auf. Nach einer detaillierten konzeptuellen Layoutphase und der nachfolgenden Offertphase resultierte das definitive Teststand-Layout.

Die Hauptkomponenten des Prüfstandes sind bestellt und werden noch in diesem Jahr geliefert. Das Engineering der verschiedenen Spezialbauteile wurde erfolgreich gestartet und ist zu 90% abgeschlossen. Der gesamte Prüfstand wird in mehreren Etappen realisiert. Die erste Ausbaustufe wird im Januar 07 starten.



Projektbeschreibung

AUFGABENSTELLUNG

Die aktuellen Forschungsschwerpunkte im Bereich Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzellen lassen sich den folgenden Hauptzielen unterordnen: Leistung- und Leistungsdichtesteigerung, Langzeitstabilität, Minimierung der Systemkomponenten und Herstellungskosten.

Von besonderer Bedeutung sind die Langzeitstabilität und die Leistung einer Brennstoffzelle, da dies Schlüsselfaktoren für die kommerzielle Einführung der Brennstoffzelle sind. Moderne Brennstoffzellenprüfstände ermöglichen die in-situ Charakterisierung verschiedenster Art mittels elektrischen, elektrochemischen und physikalischen Methoden. Der im Aufbau befindliche neue Gasanalyse-Teststand ermöglicht vielseitige Untersuchungen der lokalen Gasphase in Brennstoffzellen, was die präzise Charakterisierung einer Brennstoffzelle um bedeutende Aspekte ergänzt.

Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist, ein neuer Prüfstand zur Messung der lokalen Gasphase von PE-Brennstoffzellen zu erstellen. Dieser Prüfstand ermöglicht es, direkt aus einzelnen Brennstoffzellen-Flussfeldkanälen Gas zu entnehmen und mittels Massenspektrometer bezüglich der Zusammensetzung zu untersuchen. Der Teststand soll insbesondere für die Untersuchung von Alterungseffekten, Dynamik und Wasserhaushalt, sowie zur Validierung numerischer Modelle genutzt werden. Die Entwicklung dieses Prüfstandes umfasst die Planung, Auslegung, sowie Aufbau und Inbetriebnahme.

Ergebnisse

Vormessungen

Um die Machbarkeit der lokalen Gasanalyse an Brennstoffzellen abzuschätzen wurden Vorversuche mit einem Leihmassenspektrometersystem durchgeführt. Diese Vormessungen zeigten, dass die geplante Gasanalyse an Brennstoffzellen grundsätzlich möglich ist. Es ist jedoch zu beachten, dass die Brennstoffzelle sehr vielseitige Anforderungen an ein Massenspektrometersystem stellt. Als besonderer Punkt sind hier die aus Massenspektrometersicht sehr stark schwankenden Betriebsparameter zu nennen. Zudem stellen die Flexibilität bezüglich Messart, Messfokus und Dynamik weitere, hohe Anforderungen an das Gasanalysesystem. Die Vormessungen zeigten, dass die gestellten Anforderungen nicht mit Standard-Massenspektrometer-Systemen zu erfüllen sind.

Konzeptuelles Layout

Die gezielte und angepasste Kombination der verschiedenen Systemkomponenten des Prüfstandes ist von besonderer Bedeutung für unsere Anwendung. In Abbildung 1 ist die vielseitige Beeinflussung der verschiedenen Komponenten schematisch dargestellt. Dies illustriert, weshalb ein Standardmassenspektrometersystem für die lokale Gasanalyse an Brennstoffzellen nicht geeignet ist. Besonders wichtig ist die Abstimmung der Massenspektrometer- und Gasentnahmekomponenten auf die verschiedenen Gasspezies, sowie die vorhandenen Brennstoffzellen-Betriebsbedingungen.

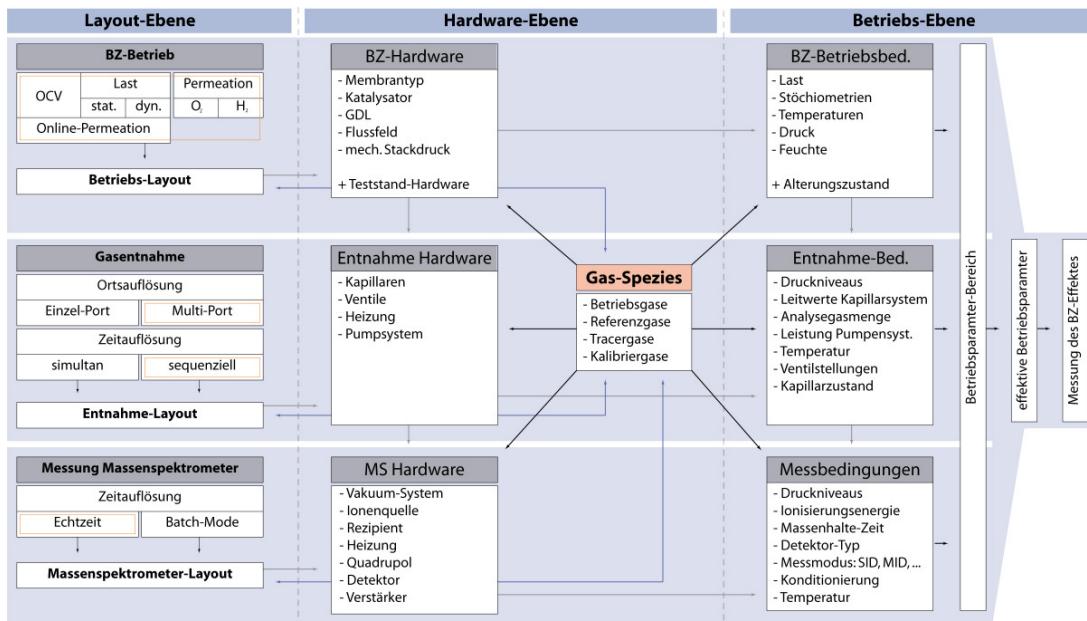


ABB. 1: KONZEPTUELLES LAYOUT DER GASANALYSE

Aufgrund der Resultate der Offertphase und der technischen Umsetzbarkeit wurde das Konzept des Prüfstandes auf eine sequenzielle Multiport Analyse mit Echtzeitmessung eingeschränkt (Abb.1, linke Seite).

Technisches Layout

Das Layout des Gasanalyseteststandes zeichnet sich besonders durch das Gasentnahmesystem, die Kalibration und die gewählten Massenspektrometer-Komponenten aus.

Im folgenden werden die Hauptpunkte dieser Komponenten kurz beschrieben. Die Layoutübersicht befindet sich im Anhang.

Allgemeines: Der Teststand ist grundsätzlich für Offline und Online Messungen ausgelegt. Die Gasanalyse ist somit im Brennstoffzellenbetrieb, sowie im Stillstand möglich. Besonders interessant ist die Online-Permeationsmessung zur Untersuchung des Degradationsverhaltens von Brennstoffzellen.

Gasentnahme-System: Die zur Gasanalyse verwendete Gasmenge ist je nach Betriebsbedingung und Messfokus sehr unterschiedlich. Aus diesem Grund sind die Gasentnahme-Ports mit einem Doppelkapillarsystem ausgerüstet. Dies beinhaltet eine grosse Kapillare für schnelles Sampling, sowie eine dünne Kapillare für die Entnahme minimaler Analysegasmengen. Die grosse Kapillare wird über einen schnell ansprechenden differentiell gepumpten Gaseinlass, die dünne Kapillare über einen Direkteinlass dem Massenspektrometer zugeführt. Dieses kombinierte Gasentnahmesystem deckt damit einem grossen Teil der Brennstoffzellenbetriebsbedingungen ab. Es

bestehen lediglich nicht eliminierbare physikalische Limitierungen bei der Untersuchung dynamischer Effekte bei sehr geringen Analysegasmengen. Eine spezielle Ventilanordnung ermöglicht das Umschalten zwischen den 11 Gasports der Anoden- respektive Kathodenseite.

Kalibration: Um die Kalibration des Massenspektrometers bei verschiedenen Durckniveaus zu ermöglichen wurden anoden- und kathodenseitig separate Kalibrationsstrecken eingeplant. Damit kann das Massenspektrometer für die Messungen der verschiedenen Gasports separat kalibriert werden.

Massenspektrometer: Die Ionenquelle, der Analysator und der Detektor mit integriertem Verstärker bilden die Hauptkomponenten eines Quadrupolmassenspektrometers. Für jede dieser Komponenten sind am Markt verschiedene Ausführungen verfügbar. Das gewählte Massenspektrometer verfügt über eine sogenannte Crossbeam-Ionenquelle, welche bezüglich Gaszuführung und Minimierung des Untergrundsignals bei Wassergehaltsmessungen deutliche Vorteile besitzt. Die Ionenquelle wird mit einem Quadrupol-Massenfilter der Dimension D=6mm L=100mm und einer Kombination von Faraday und Channeltron Detektor eingesetzt. Detailinformationen zum Massenspektrometergerät befinden sich im Anhang.

Teststand-Aufbau

Der Aufbau des Teststandes wird in drei Etappen erfolgen. Dies ermöglicht die Durchführung von Vormessungen der jeweils nachfolgenden Ausbaustufen ohne erhebliche hardwareseitige Zusatzinstallationen.

	Ausführung	Ziele	CHF
Stufe 1	kathodenseitige Gasanalyse	System-Evaluation bezüglich elektro-chemischer H ₂ -Permeation Offline- und Online H ₂ -Permeation	62500
Stufe 2	anodenseitige Gasanalyse	Offline- und Online O ₂ -Permeation	14200
Stufe 3	Messungen mit hoher lokaler Auflösung und dynamische Messungen	Gasverarmungseffekte, dynamischer BZ-Betrieb	7000

TAB. 1: AUSBAUSTUFEN GASANALYSEPRÜFSTAND

In Tabelle 1 ist ersichtlich, dass aufgrund der hohen Anforderungen an das eigentliche Massenspektrometer und die Gasentnahme die ursprünglich budgetierten Kosten von 60000 CHF überschritten werden. Aus diesem Grund wurde ein Antrag für einen Zusatzkredit von 15000 CHF eingereicht.

Konstruktion

Die konstruktiven Aufgaben umfassen folgende Teilbereiche:

- angepasstes und erweitertes Design der Modellbrennstoffzelle: beheizte Gasentnahmeports
- Spezialbauteile der Gasentnahme: Kapillarführung und Beheizung
- Spezialbauteile des Massenspektrometers: Rezipient, Messwagen-Aufbau

Im folgenden wird beispielhaft die Konstruktion der Gasentnahmeports erläutert:

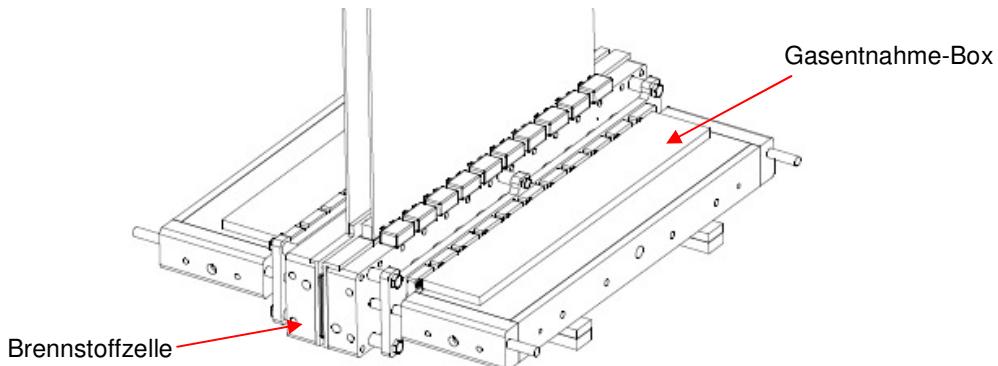


ABB. 2: MODELLBRENNSTOFFZELLE ZUR LOKALEN GASANALYSE

An die Konstruktion der Gasport wurden folgende Anforderungen gestellt:

Positionierung: Die Gasports müssen bezüglich des Brennstoffzellenkanals in 3 Freiheitsgraden exakt ausgerichtet werden, damit die Kapillaren am richtigen Ort genügend nahe am Brennstoffzellenkanal platziert sind. Dabei muss verhindert werden, dass die Kapillaren den Brennstoffzellenkanal verstopfen.

Handling: Die gesamte Gasentnahme muss so gestaltet sein, dass die jeweiligen Gasports einzeln sowie als ganze Einheit ohne grossen Aufwand demontierbar sind. Zudem muss die Austauschbarkeit einzelner Kapillaren ohne grossen Aufwand gewährleistet sein.

Beheizung: Der gesamte Gasport muss auf 120°C beheizt werden, um ungewollte Kondensation zu vermeiden. Ein unerwünschter Wärmeeintrag zur Brennstoffzelle ist auszuschliessen, respektive vom Gesamtsystem ohne Beeinflussung der inneren Brennstoffzellenbauteile zu kompensieren.

Dichtung: Der Gasport muss eine dichtende Verbindung zum Brennstoffzellen-Flussfeld, sowie zu den Kapillaren herstellen. Diese Dichtstellen sollen demontier- und ersetzbar ausgeführt werden.

Beeinflussung der Gesamtmessungen: Der Gasport darf die Gasanalyse sowie die lokale Stromdichitemessung nicht signifikant beeinflussen. Dies erfordert, dass der Bauraum der Gasports minimal gehalten werden muss. Zudem müssen die Kapillaren von den Flussfeldplatten elektrisch isoliert sein, um mögliche Kurzschlüsse über die Rotorventile auszuschliessen.

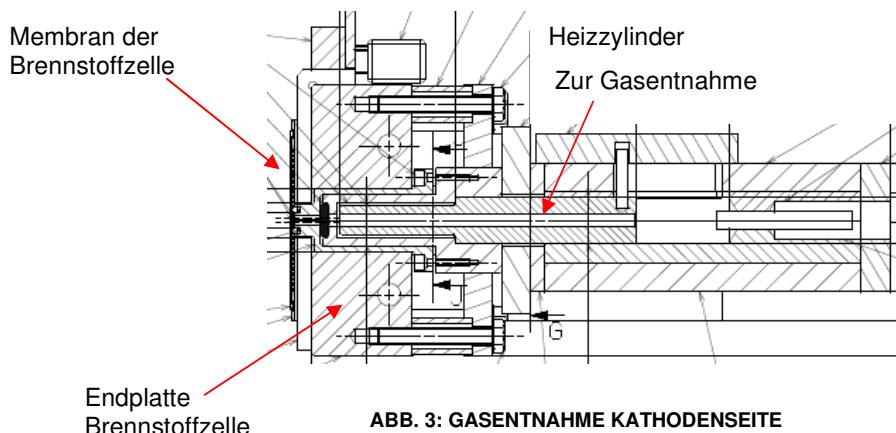


ABB. 3: GASENTNAHME KATHODENSEITE

Stand der Arbeit

Massenspektrometer: Sämtliche Massenspektrometer-Bauteile sind bestellt und werden noch in diesem Jahr geliefert. Der Rezipient ist fertig konstruiert und in der Fertigung. Der Zusammenbau der Massenspektrometerkomponenten wird im Januar 07 beginnen.

Gasentnahme: Die Gasentnahmebauteile für die erste Ausbaustufe sind zu 90% fertig konstruiert. Bis Mitte Januar 07 sind diese Konstruktionen abgeschlossen und fertigungsbereit.

Modellbrennstoffzelle: Die Detailzeichnungen der modifizierten Brennstoffzelle sind zu 95% fertiggestellt und ebenfalls Mitte Januar fertigungsbereit.

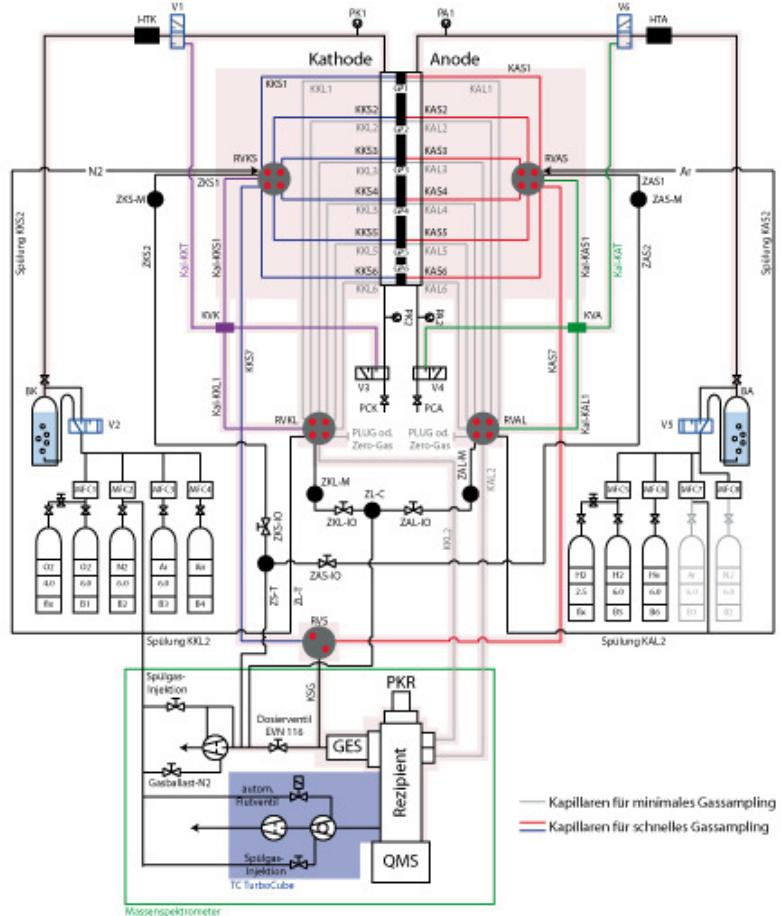
Packaging: Die Anordnung des Gasanalyseprüfstandes auf einem mobilen Laborwagen ist zu 20% abgeschlossen.

Schlussfolgerung & Ausblick

Die wichtigen Vormessungen, sowie die detaillierte Evaluationsphase zeigten die kritischen Punkte der lokalen Gasanalyse bei Brennstoffzellen auf. Die gewonnenen Erkenntnisse erlaubten es, das Layout zu verfeinern und den hohen Anforderungen anzupassen. Zusätzlich ermöglichte die detaillierte Evaluation eine bessere Auswahl und Anpassung der Massenspektrometerkomponenten an die Brennstoffzelle. Die intensive Konstruktions- und Engineeringphase wird Mitte Januar abgeschlossen sein. Anschliessend kann der Prüfstandaufbau gestartet werden. Der geplanten Erstbetriebnahme mit Laborluft (Milestone 7) im Februar 07 sollte somit nichts im Wege stehen.

Anhang

Layout Gasanalyseteststand



KASI	Kapillare Anodenseite für schnelles Sampling
KKSI	Kapillare Kathodenseite für schnelles Sampling
KSG	Kapillare für schnelles Sampling Gesamt
KKLI	Kapillare Kathodenseite für langsames Sampling
KALI	Kapillare Anodenseite für langsames Sampling
RVII	Rotor-Ventil
RVS	Rotor-Ventil Selektor (Anode-Kathode)
KVA	Kalibrationsvolumen Anodeseite
KVK	Kalibrationsvolumen Kathodenseite
HTI	Humidity Transmitter (Feuchtesensor)
V2 & V5	3/2 F Schaltventil (Bypass Befeuchtet)
V1 & V6	3/2 F Schaltventil (Zellbypass für Kalibrierung Eingangsseite)
V3 & V4	3/2 E Schaltventil (Zellbypass für Kalibrierung Ausgangsseite)
PCA	Pressure Control Anode
PCK	Pressure Control Kathode
PAI	Pressure Sensor Anode
PKI	Pressure Sensor Kathode
ZA	Zwischenabsaugung Rotorventil Anodenseite
ZK	Zwischenabsaugung Rotorventil Kathodenseite
MFC	Massflow-Controller
GES	Gaseinlass-System für differentiell gepumpten Einlass
PKR	Totaldruck-Messröhre
QMS	Quadrupol-Massen-Spektrometer
TC	Turbo Cube (kombinierte Vakuumpumpeeinheit)
GPI	Gasentnahmeport
BA	Befeuchteter Anode
BK	Bereinigter Kathode
Drehschlepperpumpe	(Icon: Pump symbol)
Turbomolekulapumpe	(Icon: Pump symbol)
manuelles Dosierventil	(Icon: Ventil symbol)
automatisches Dosierventil	(Icon: Ventil symbol)
Kapillarverbindungspunkt	(Icon: Circle with dot)
16Pos. Rotor-Ventil (dead end conf.)	(Icon: Ventil symbol)
4 Port 2 Pos. Ventil (Selektorenventil)	(Icon: Ventil symbol)
3/2-Wegeventil Konfig.F (Verteiler-Ventil)	(Icon: Ventil symbol)
3/2-Wegeventil Konfig.E (Mischventil)	(Icon: Ventil symbol)
beheizte Gasleitungen	(Icon: Colored line)

ABB. 4: ÜBERSICHT TECHNISCHES LAYOUT

Typeangaben Massenspektrometersystem

Massenspektrometer:	
Geräte-Typ	Pfeiffer QMS 200 M1, Prisma
Ionenquelle	Offene Crossbeam
Filamenttyp	Wolfram
Turbopumpstand: Pfeiffer Turbocube	
Turbomolekularpumpe	Pfeiffer TSU261
Vorpumpe	Pfeiffer Duo 5M
Differenziell gepumpter Einlass:	
Gerätetyp	Pfeiffer GES052
Vorpumpe	Pfeiffer Duo 5M
Gasentnahme-Ventile: Rotorventil RVKS	
Geräte-Typ	Vici Multipositionsventil EMT3CSD16UWE

TAB. 2: TYPENANGABEN MASSENSPEKTROMETERSYSTEM AUSBAUSTUFE 1