

Jahresbericht 2001, 15. Dezember 2001

Projekt Pilot-Anlage Biogas - Hexis

Autor und Koautoren	Markus Jenne, Susanne Riggenschach, Yves Membrez, Jan van Herle
beauftragte Institution	Sulzer Hexis AG
Adresse	Hegifeldstrasse 30, 8404 Winterthur
Telefon, E-mail, Internetadresse	+41 (0)52 262 8204, markus.jenne@sulzer.ch, www.hexis.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	38694 / 79385
Dauer des Projekts (von – bis)	01.11.2000 – 31.08.2002

Zusammenfassung

Im vorliegenden BfE-Projekt wird der Betrieb eines Hochtemperatur-Brennstoffzellensystems des Typ SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) für Biogas auf einer landwirtschaftlichen Biogasanlage umgesetzt und die technische Machbarkeit untersucht.

Brennstoffzellen können im Vergleich zu motorischen BHKW (Blockheizkraftwerke) emissionsarmer betrieben werden. Hochtemperatur-Brennstoffzellen eignen sich vor allem wegen der geringen Anforderung an die Gasqualität für die Verwendung von Biogas als Brennstoff. Der Einsatz der SOFC-Technologie eignet sich im kleinen Leistungsbereich wegen des vergleichsweise einfachen Systemaufbaus.

Eine Feldtestanlage der Sulzer Hexis AG wurde für den Betrieb mit Biogas angepasst und im Oktober 2001 auf der bestehenden Biogasanlage des Landwirten Chabloz in Lully/VD installiert. Sulzer Hexis forscht und entwickelt seit über zehn Jahren auf dem Gebiet der SOFC-Technologie im kleinen Leistungsbereich für den stationären Einsatz. Das Unternehmen verfügt über mehrjährige Erfahrung mit erdgasbetriebenen Feldversuch- und Feldtestanlagen.

Projektpartner der Sulzer Hexis AG (SOFC-System und Gasreinigung) sind die EREP SA (Biogasversorgung und Koordination der Arbeiten vor Ort, Marktstudie) und die EPFL (Ecole Polytechnique de Lausanne) (Gasanalyse). Diverse Vorversuche zur Elektrochemie und zum Fuel-Processing mit synthetischem Biogas führten zur Entscheidung, das Biogas für die elektrochemische Umsetzung im Zellstapel mit Steam-Reforming aufzubereiten. Der Betrieb des angepassten Brennstoffzellen-Systems im Labor zeigte nur einen geringen Einfluss des CO₂-Anteils im Biogas auf die Leistung und den Wirkungsgrad des Systems. Die Ergebnisse sind mit denen der erdgasbetriebenen Feldtestanlagen vergleichbar.

Mit der Feldtestanlage in Lully kann erstmals der erfolgreiche Betrieb eines Brennstoffzellensystems für Biogas als Brennstoff im kleinen Leistungsbereich gezeigt werden. Die positiven Ergebnisse der Laborversuche können bestätigt werden.

Die Gasreinigung erfolgt in einem drei-stufigen Aktivkohlefilter, der die wesentlichen Verunreinigungen (Schwefelwasserstoffe, Chlorverbindungen, Ammoniak) zurückhält. Die einzelnen Stufen können umgangen werden, um den Einfluss der einzelnen Verunreinigungen auf den Betrieb der Brennstoffzelle zu untersuchen. Mit einer Gasanalyse werden die Gaszusammensetzung und der Filterzustand kontinuierlich überprüft.

Nach Abschluss verschiedener Messungen zum Einfluss der Biogasqualität auf die Leistung und das Betriebsverhalten des Systems wird Mitte Januar 2002 ein neuer Zellstapel installiert. Die volle elektrische Leistung soll dann erzielt werden können und der Dauerbetrieb demonstriert werden.

Projektziele

Zur Erzeugung von Strom und Wärme aus gasförmigen Kohlewasserstoffen (insbesondere Erdgas und Biogas) werden heute in der Regel motorische KWK (Kraft-Wärme-Koppelungs)-Anlagen verwendet. Mit dem Einsatz von Brennstoffzellensystem ist im Vergleich zu motorischen KWK-Anlagen ein emissionsärmerer Betrieb möglich. Bei der Verwendung von Erdgas als Brennstoff entsteht hauptsächlich Wasserdampf und Kohlendioxid, bei der Verwendung von Biogas Wasserdampf und klimaneutrales Kohlendioxid. Brennstoffzellen arbeiten dank der Solid-State-Bauweise (keine beweglichen Anlageteile) geräuscharm. Folglich haben sie das Potenzial für einen geringeren Wartungsaufwand und für die Verursachung von niedrigeren Betriebskosten als motorische KWK-Anlagen.

Die SOFC-Technologie eignet sich aufgrund der geringen Anforderungen an die Gasqualität und dem verhältnismässig einfachen Systemaufbau für den Betrieb mit Biogas als Brennstoff im kleinen Leistungsbereich. Die hohen Temperaturen können zusammen mit dem Kohlendioxid- und Methan-Anteil im Gas für die Reformierung genutzt werden. Der Heizwert des Biogases kann auf diese Weise erhöht werden. Dies wirkt sich wiederum positiv auf den Wirkungsgrad im Vergleich zu motorischen KWK-Anlagen aus. Aus dem im Biogas enthaltenen Methan bildet sich bei der Reformierung Wasserstoff und Kohlenmonoxid.

Die Sulzer Hexis AG forscht und entwickelt seit über zehn Jahre auf dem Gebiet der SOFC-Technologie. Sie betreibt seit 1998 sechs international platzierte erdgasbetriebene Feldtestanlagen.

Die Ziele des BfE-Projekts:

- 1. Vorversuch: Abklärung der technischen Machbarkeit:* Evaluierung des elektrochemischen Verhaltens bei der Verwendung von synthetischem Biogas an einem Zellprüfstand in den Labors der Sulzer Hexis AG.
- 2. Vorversuch: Abklärungen zur Gasaufbereitung (Fuel-Processing):* Testen und Vergleichen der Möglichkeiten (Steam-Reforming und Catalytic Partial Oxidation (CPO)) zur Gasaufbereitung in den Labors der Sulzer Hexis AG.
- 3. Umrüsten einer Sulzer-Hexis-Feldtestanlage für Biogas und Evaluierung des elektrochemischen Verhaltens:* Anpassen einer erdgasbetriebenen Feldtestanlage für Biogas. Analyse des elektrochemischen Verhaltens des Stack (Zellenstapel) bei Steam-Reforming. Die Versuche werden mit synthetischem Biogas durchgeführt.
- 4. Installation und Betrieb der Feldtestanlage auf einer Biogasanlage:* Die Feldtestanlage wird in eine Biogasanlage eines Landwirtschaftsbetriebs in Lully/VD integriert.

Für die Planung und die Koordination der Tätigkeiten zur Installation der Feldtestanlage ist Herr Yves Membrez (EREP SA) verantwortlich.

5. Analyse des Betriebverhaltens und Leistung der Feldtestanlage: Mit der kontinuierlichen Messung der Biogaszusammensetzung (Methan, Kohlendioxid und Schwefelwasserstoffen) werden das Betriebsverhalten und die Leistung des Systems in Abhängigkeit der Biogasgasqualität untersucht.

Parallel wird der drei-stufige, dem Stack vorgeschalteten Aktivkohlefilter überwacht. Um den Einfluss der Schadstoffe auf das System zu untersuchen, werden einzelne Reinigungsstufe umgangen.

Herr Jan van Herle (EPFL) ist verantwortlich für diese Messungen.

6. Analysieren der Funktionstüchtigkeit verschiedener Stack: Die ersten Versuchsbetriebe in Lully werden mit einem Standard-Brennstoffzellenstack - d.h. ein Stack, das in den erdgasbetriebenen Sulzer-Hexis-Feldtestanlagen zum Einsatz kommt - durchgeführt. Die Ergebnisse dienen einerseits als Referenzwerte für das Prüfen weiterer Stacks. Andererseits wird in Abhängigkeit der Resultate ein Stack mit Substrattyp-Zellen installiert und getestet. Für diese Arbeiten trägt die Sulzer Hexis AG die Verantwortung.

7. Abschätzen des Marktpotenzials: Mit Hilfe einer Marktstudie sollen das Marktpotenzial in Abhängigkeit des Leistungsbereichs und die Wirtschaftlichkeit eingegrenzt werden. Der Fokus der Studie liegt auf den Zielgebieten Schweiz und Europa. Die weltweite Situation wird am Rande beleuchtet. Herr Yves Membrez (EREP SA) führt die Studie durch.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Arbeiten Sulzer Hexis AG:

Vorversuche zur Elektrochemie

Das elektrochemische Verhalten von Sulzer-Hexis-Zellen wurde in Vorversuchen mit synthetischem Biogas, einem Gemisch aus Erdgas und Kohlendioxid, getestet. Der Zellenprüfstand (Fünf-Zellen-Stack) wurde mit Gasen unterschiedlicher Kohlendioxid-Anteile belastet.

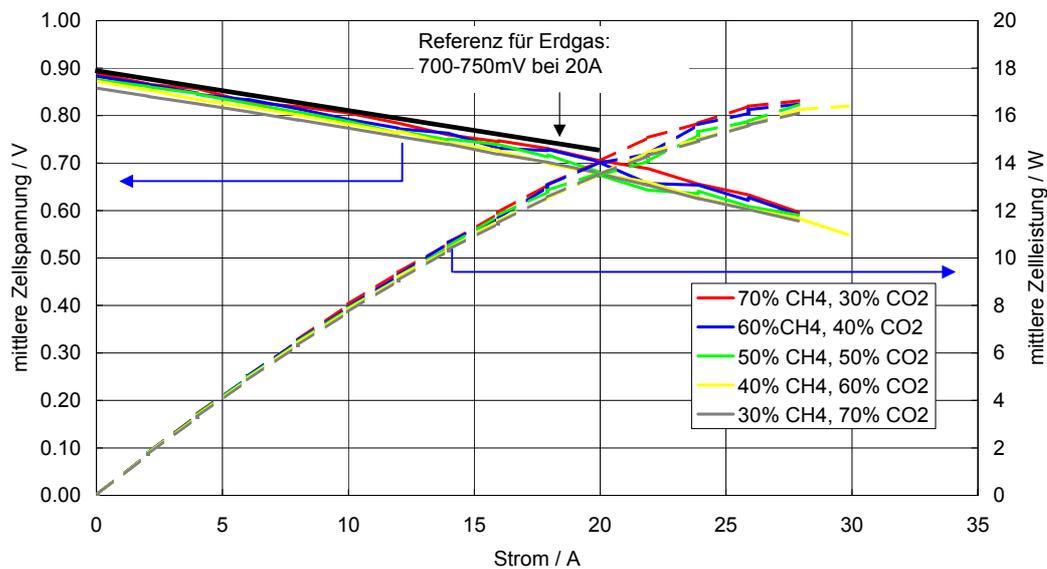


Fig. 1 : Versuche am Fünf-Zellen-Stack mit synthetischem Biogas

Die Zellen zeigten selbst bei hohen Kohlendioxid-Anteilen einen stabilen Betrieb. Die Leistungsverluste sind kleiner als 5% (relativ zu Erdgasmessungen) für Biogas.

Vorversuche zum Fuel-Processing

Die Aufbereitung (Fuel-Processing) des Gases für einen optimalen Zellenbetrieb wurde mit diversen Tests evaluiert. Diese wurden ebenfalls mit synthetischem Biogas durchgeführt. Die Verfahren Steam-Reforming (STR) und Catalytic Partial Oxidation (CPO) wurden untersucht und verglichen.

Die Ergebnisse wurden auf Prozessstabilität und Methan-Umsatz (zu Kohlenmonoxid und Wasserstoff) bewertet. Aufgrund dieser Resultate wurde entschieden, für die Feldtestanlage einen Steam-Reformer zu verwenden. Die Bauart dieses Reformers entspricht denen der erdgasbetriebenen Sulzer-Hexis-Feldtestanlagen. Bei CPO kam es zu Russbildung, was wiederum zu einem instabilen Betrieb des Systems führen kann. Weitere Untersuchungen zu CPO werden im Rahmen eines KTI-Projekts an der ZHW (Zürcher Hochschule Winterthur) vorgenommen.

Umbau des Feldtestsystems

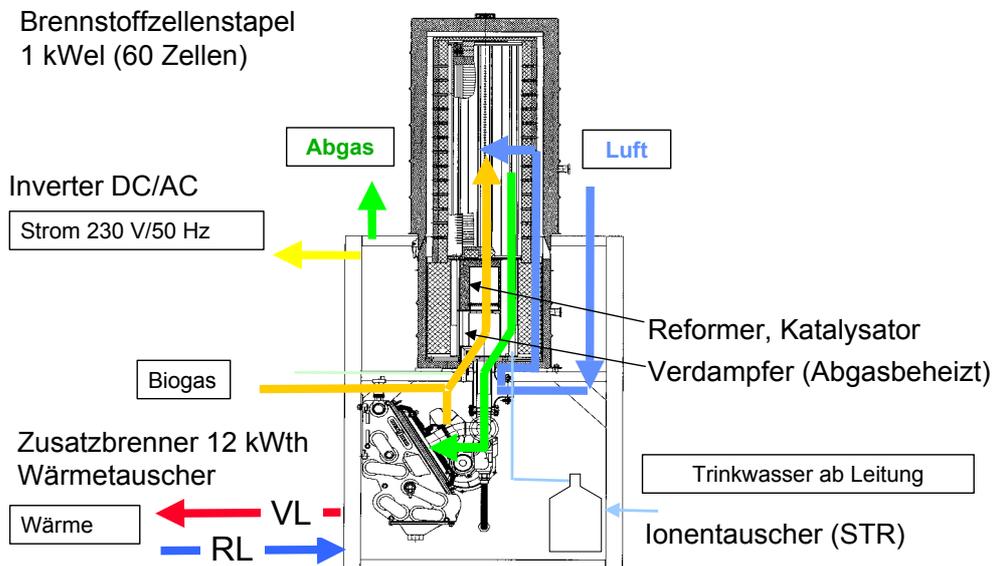


Fig. 2: Aufbau Biogas-Feldtestsystem

Das Biogas-Feldtestsystem besteht im Wesentlichen aus dem Brennstoffzellenstapel (60 Zellen, Ø120mm), dem Reformer (Steam Reforming) und entsprechender Wasseraufbereitung sowie einer Gastherme, die hier als Abgas-Wärmetauscher verwendet wird. Die Steuerung des Systems wird mittels einer SPS und eines Industrie-PC realisiert. Die erzeugte elektrische Leistung kann über eine rückspeisefähige elektronische Last (Inverter) in das Netz eingespeist werden. Wegen der maximalen Spannung der Last von 60V wurde nur ein 60-Zellen-Stack eingebaut. Die maximal zu erwartende elektrische Leistung liegt bei rund 850W. Bei den erdgasbetriebenen Sulzer-Hexis-Feldtestanlagen besteht der Stack aus 70 Zellen und die elektrische Leistung liegt bei rund 1kW.

Systembetrieb im Labor

Die Systemversuche im Labor mit synthetischem Biogas lassen den Schluss zu, dass die Kohlendioxid-Konzentration im Brennstoff nur einen geringen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Zellen hat. Damit wurden die Ergebnisse der Vorversuche bestätigt.

P_{el.} - I Kurven pro Zelle

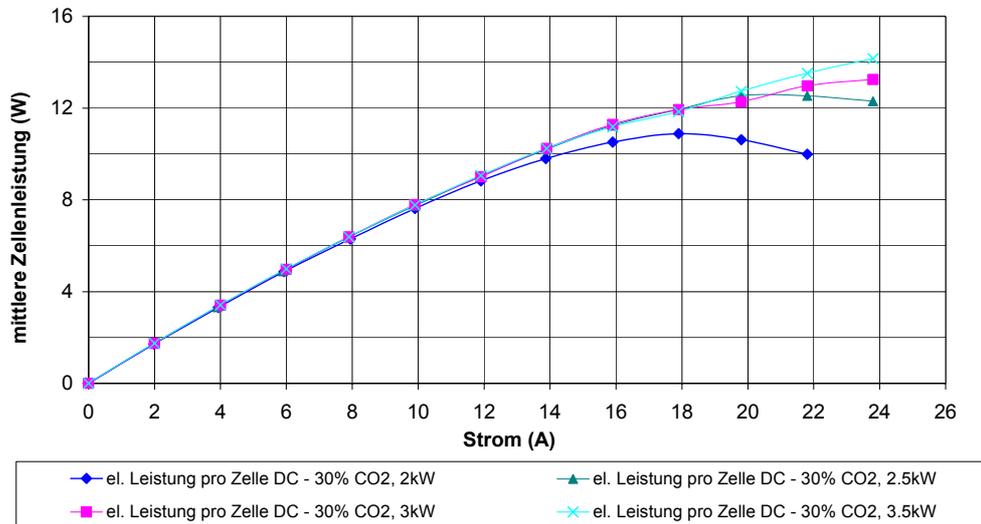


Fig. 3: Elektrische Leistung pro Zelle aufgetragen im Verhältnis zum Strom

Für einen eingestellten Gasmassenstrom nimmt die elektrische Leistung mit zunehmenden Strom bis zu einem Maximum zu. Bei weiter steigender Strombelastung tritt Brennstoffverarmung auf und die elektrische Leistung nimmt ab. Mit zunehmenden Gasmassenstrom nimmt auch die erreichbare elektrische Leistung zu. Die maximale elektrische Leistung des Stacks wurde erwartungsgemäss bei der maximalen Gasbelastung von 3.5kW mit 14.2W/Zelle beziehungsweise 850W erreicht.

Systembetrieb in Lully

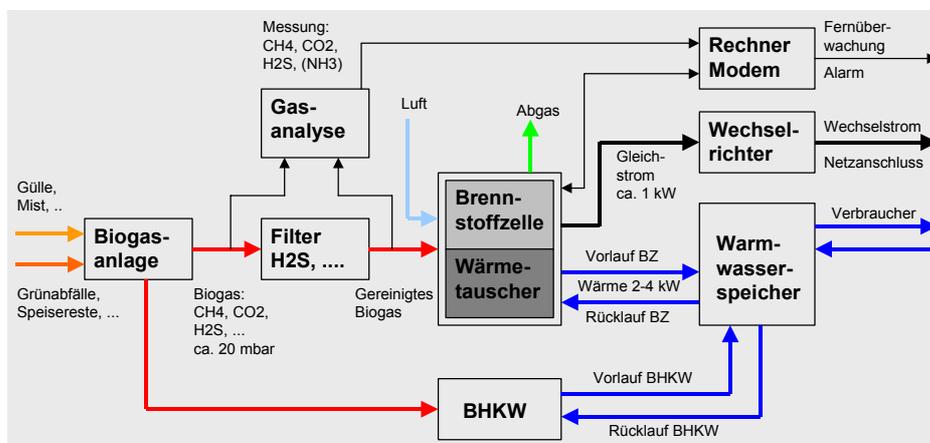


Fig. 4: Prinzipschema der Biogasanlage

Das Hexis-System wird wie das bestehende Blockheizkraftwerk über eine Leitung mit Biogas versorgt. Das Biogas wird vor Eintritt in das Brennstoffzellensystem gereinigt. Ein Energiezähler misst die Wärmeenergie, die aus der Abwärme des Stacks resultiert. Ein Zähler erfasst die erzeugte elektrische Energie sowie den Eigenstrombedarf und die verbrauchte Gasmenge.

Die erste elektrochemische Untersuchung des Zellstapels lieferte folgende Ergebnisse: Für die Inbetriebnahme des Systems und die ersten elektrochemischen Versuche auf der Biogasanlage wurde der Zellenstapel aus den Vorversuchen aus dem Labor eingesetzt. Aufgrund von mehreren thermischen Zyklen war der Zellenstapel leicht vorgeschädigt und erreichte deshalb nicht mehr seine volle Leistungsfähigkeit. Trotzdem konnte eine elektrische Leistung von 450W mit realem Biogas gezeigt werden. Es werden nun noch Versuche zum Einfluss der Gasqualität und der Verunreinigungen durchgeführt. Anschliessend wird ein neuer Zellenstapel für den Langzeitversuch eingesetzt.

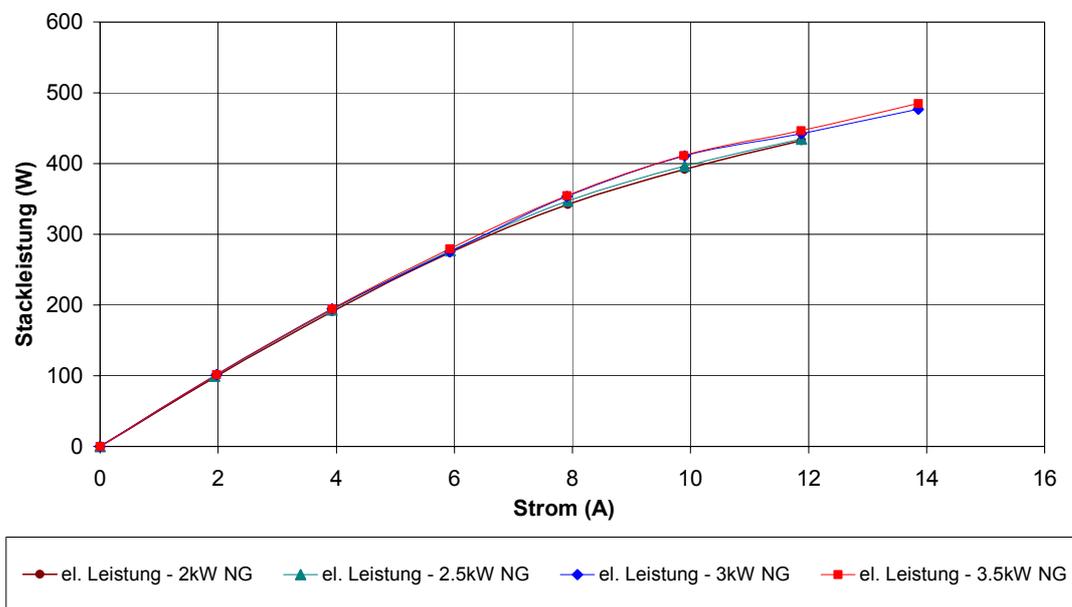


Fig. 5: P-I-Kurven Biogas-System bei verschiedenen Gasströmen

Arbeiten EREP SA

Der plötzliche und frühe Tod des Landwirts Pierre Chabloz, auf dessen Anwesen die Feldtestanlage betrieben wird, am 29.5.2001 hat die Lage verändert. Seine Familie hat glücklicherweise zugestimmt, beim Projekt weiter mitzumachen. Vincent Chabloz, Neffe von Herrn Pierre Chabloz, ist jetzt Betriebsleiter und Ansprechpartner.

Folgende Arbeiten hat EREP SA zwischen Dezember 2000 und Dezember 2001 durchgeführt :

- Arbeits-Koordination mit den beteiligten Unternehmen
- Besprechungen mit Pierre Chabloz und Familie (zur Verfügungstellen von Biogas und Raum)
- Sitzungen vor Ort in Lully mit Sulzer Hexis AG und EPFL (Lage, Analysen, Baukoordination, usw.)
- Besprechung mit der Gemeinde Lully (Bewilligung)
- Besprechungen mit ARA Morges (Gas-Analysen)
- Sitzungen, Besprechungen, Baubesuche,

Die im Projektplan vorgesehene Marktstudie wird im Jahr 2002 durchgeführt.

Arbeiten EPFL

Der EPFL-Beitrag besteht aus zwei Teilen:

1. Beschaffung und Betrieb einer Gasanalysenanlage, die die Biogas-Zusammensetzung vor Ort (Lully) quasi-kontinuierlich misst. Der Fokus liegt auf der Analyse von Methan und Kohlendioxid (Hauptkomponenten im Biogas) und Schwefelwasserstoff (grösster Anteil von Verunreinigungen im Biogas).
2. Detailliertere Analyse der Zusammensetzung des Biogases aus Lully und von Biogasen verschiedener anderer Anlagen. Das Schwergewicht liegt auf der Analyse von Verunreinigungen (Schwefelverbindungen, Chlorverbindungen, Ammoniak und andere).

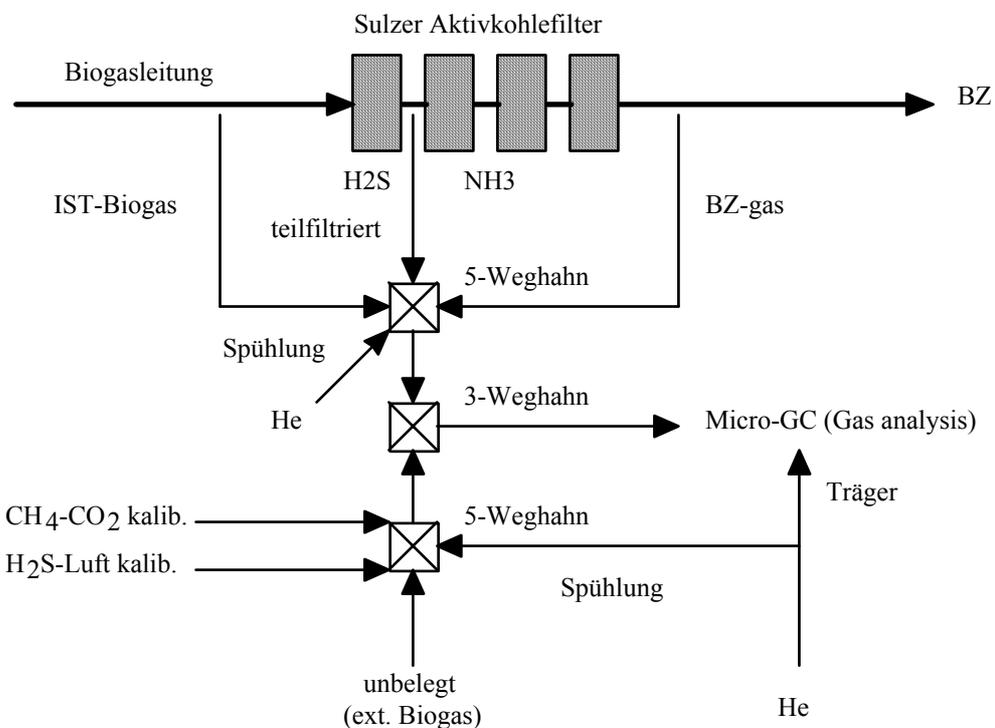


Fig. 6: Fliessschema der Gasanalysenanlage

In Fig. 6 ist der Aufbau der Gasanalyse schematisch dargestellt. Der gezeigte Aufbau hat sich nach Abwägen von Anforderungs- und Kostenkriterien als am sinnvollsten erwiesen. Kern der Messvorrichtung ist ein Micro-Gaschromatograph.

Nationale Zusammenarbeit

Bei der Zusammenarbeit mit den Herren Yves Membrez (EREP SA) und Jan van Herle (EPFL) wurden aus Sicht der (projektverantwortlichen) Sulzer Hexis AG gute Erfahrungen gemacht.

Die Planung und die Durchführung der bauseitigen Massnahmen und der Einrichtungen zur Gasanalyse liefen trotz kleiner Verzögerungen gut ab. Notwendige Änderungsmassnahmen und Verzögerungen wurden zwischen den Partnern kommuniziert und im Sinne eines erfolgreichen Projektablaufes bearbeitet.

Bewertung 2001 und Ausblick 2002

Die wesentlichen Ziele für das Jahr 2001 wurden erreicht. Entsprechend der Resultate der Vorversuche im Labor wurde ein SOFC-Feldtestsystem für den Betrieb mit Biogas erfolgreich umgerüstet. **Erstmals kann ein Brennstoffzellensystem im kleinen Leistungsbereich mit realem Biogas betrieben werden.** Die Leistungsfähigkeit wird im Vergleich zu erdgasbetriebenden Sulzer-Hexis-Feldtestanlagen nicht beeinträchtigt.

Die Evaluation und die Installation einer quasi-kontinuierlichen Gasanalyse sind abgeschlossen. Dies ermöglicht es, den Einfluss der einzelnen Biogaskomponenten auf die Leistungsfähigkeit des Brennstoffzellensystems zu testen. Die entsprechenden Versuche erfolgen in der nächsten Projektphase. Der drei-stufige Aktivkohlefilter entfernt nach den bisherigen Erfahrungen die im Biogas enthaltenen Verunreinigungen gründlich.

Die Brennstoffversorgung muss verbessert werden. Es stellte sich heraus, dass das Feldtestsystem während der Betriebsintervalle des parallel mitversorgten Blockheizkraftwerkes nicht genügend Gas erhält und nur unter Teillast betrieben werden kann. Im Januar 2002 soll deshalb eine zusätzliche Biogaspumpe installiert werden.

Ende Januar wird dem System ein neuer Brennstoffzellenstapel eingebaut. Im Februar 2002 wird mit einer Projekt-Evaluation der weitere Projektablauf festgelegt.

Referenzen

- [1] D. Moos: *Umbau und Inbetriebnahme eines Hexis-SOFC-Feldtestsystems für den Betrieb mit Biogas*, Winterthur 2001