



# Einzelzellspannungsüberwachung für Brennstoffzellenstacks



enertec - Leipzig, 08.03.05



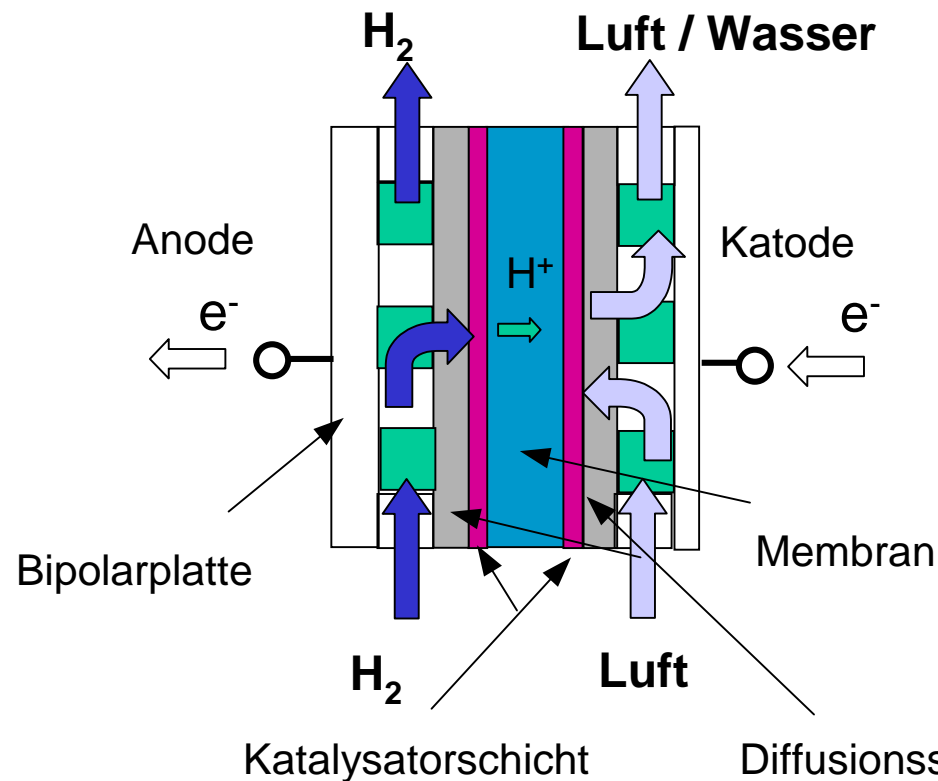
## Gliederung



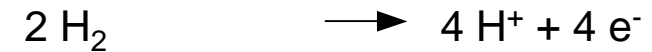
- Motivation
- Problemstellung
- Lösungsansätze
- Gewählte Lösung
- Funktionsmuster
- Zusammenfassung

## Motivation

### Funktionsprinzip einer PEM-Brennstoffzelle



Anode:



Katode:



beiderseits:



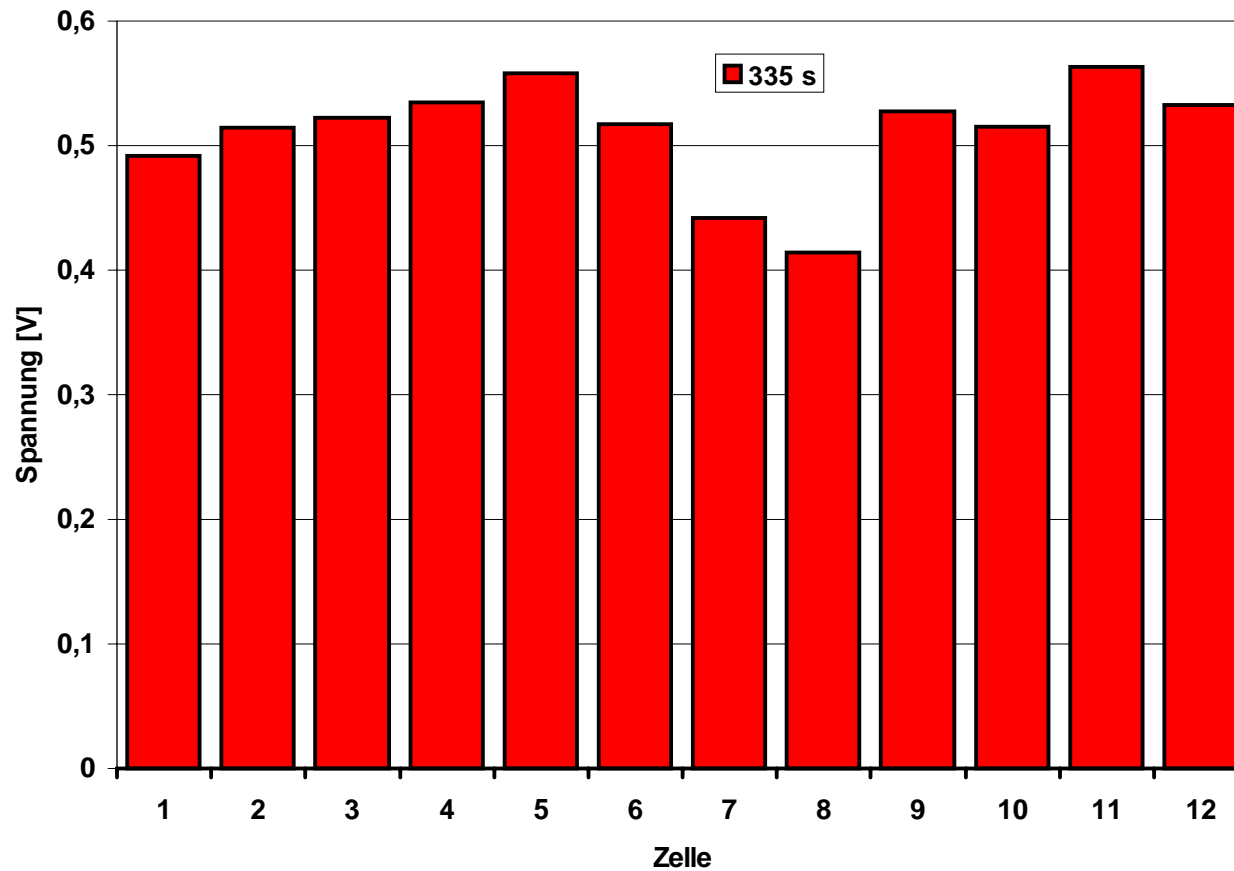


## Motivation

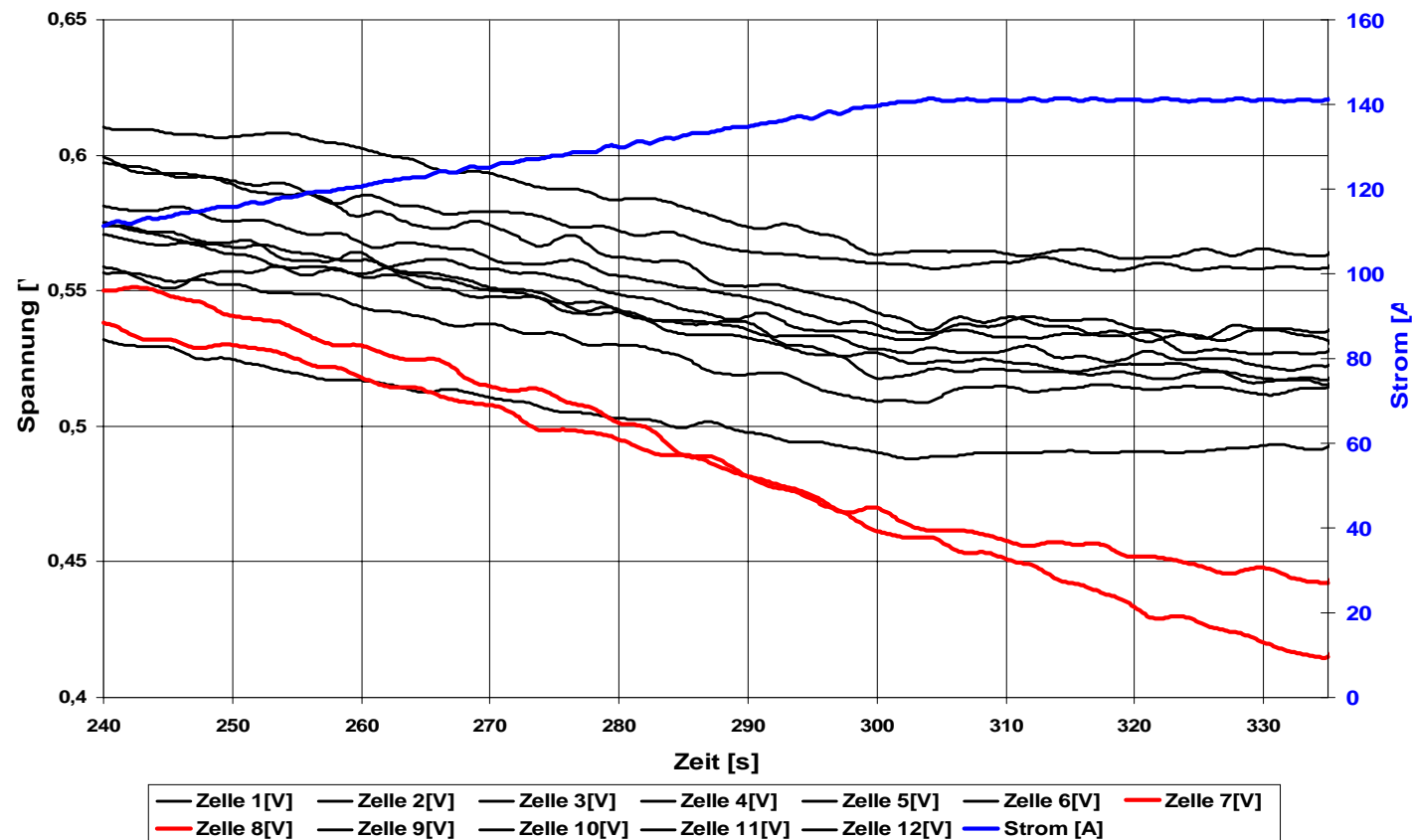
Aussage über die korrekte Arbeitsweise jeder Zelle durch:

- ➔ Vergleich der Arbeitsweise der Zellen untereinander
- ➔ Erkennen von Spannungseinbrüchen
- ➔ Beurteilung des Feuchtehaushaltes
- ➔ Beurteilung von Fertigungsunterschieden
- ➔ Beurteilung von Alterungserscheinungen

## Balkendiagramm zur Spannungslage einzelner Zellen



## Spannungs-Zeit und Strom-Zeit Diagramm eines PEM Brennstoffzellenstacks





## Problemstellung

Für eine effektive Einspeisung der erzeugten elektrischen Energie ist eine hohe Spannungslage des Stacks wünschenswert

➡ Hohe Spannung ➡ Kleinere Ströme ➡ Geringere Verluste

### Spannungslage einer Zelle

$$U_{\text{the}} = 1,23 \text{ V}$$

$$U_{\text{pr}} \Big|_{I=0} = 0,98 \text{ V}$$

$$U_{\text{pr}} \Big|_{I=\text{max}} = 0,45 \text{ V}$$

➡ Hohe Spannung ➡ Reihenschaltung vieler Zellen (bis 180 Zellen und mehr)



## Problemstellung



### **viele Messstellen**

hohe Kosten  
hoher Platzbedarf



### **Anpassung des Messbereichs**

Eingangsspannungsbereich der  
Signal-Verarbeitungs-Elektronik maximal 40V





## Lösungsansätze

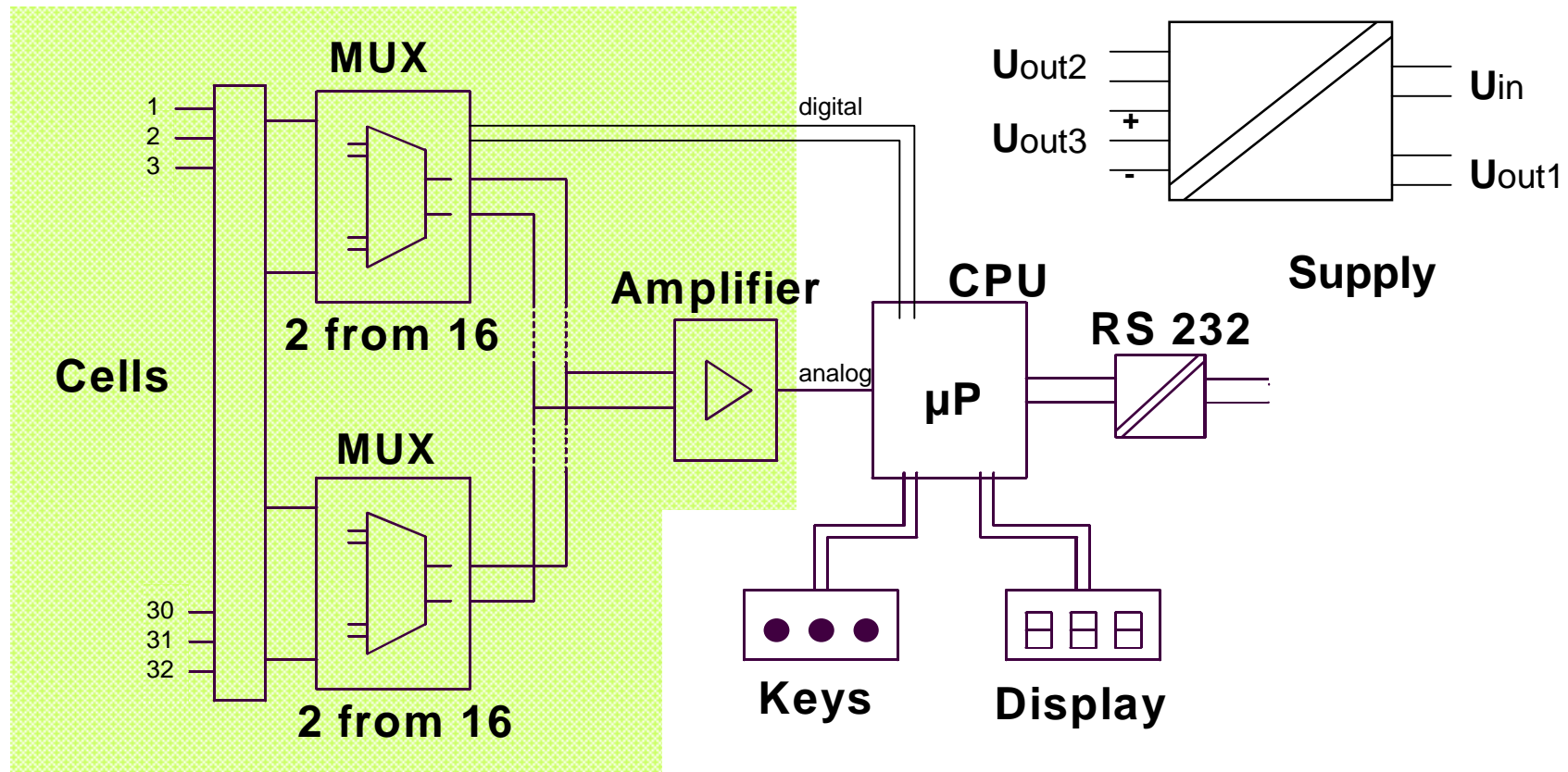
<b>Prinzip</b>	Direkte Messung der Spannungen $U_{M,Zelle(i)} = U_{Zelle(i)}$	Messung der Summenspannung $U_{M,Zelle(i)} = \sum_{n=1}^{n=i} U_{Zelle(n)} - \sum_{n=1}^{n=i-1} U_{Zelle(n)}$
<b>Vorteil</b>	Direktes Messergebnis Geringe Auflösung notwendig	geringer Aufwand
<b>Nachteil</b>	Differenzspannungsmessung mit höheren Aufwand	Ergebnis erst nach Berechnung Grosse Auflösung notwendig



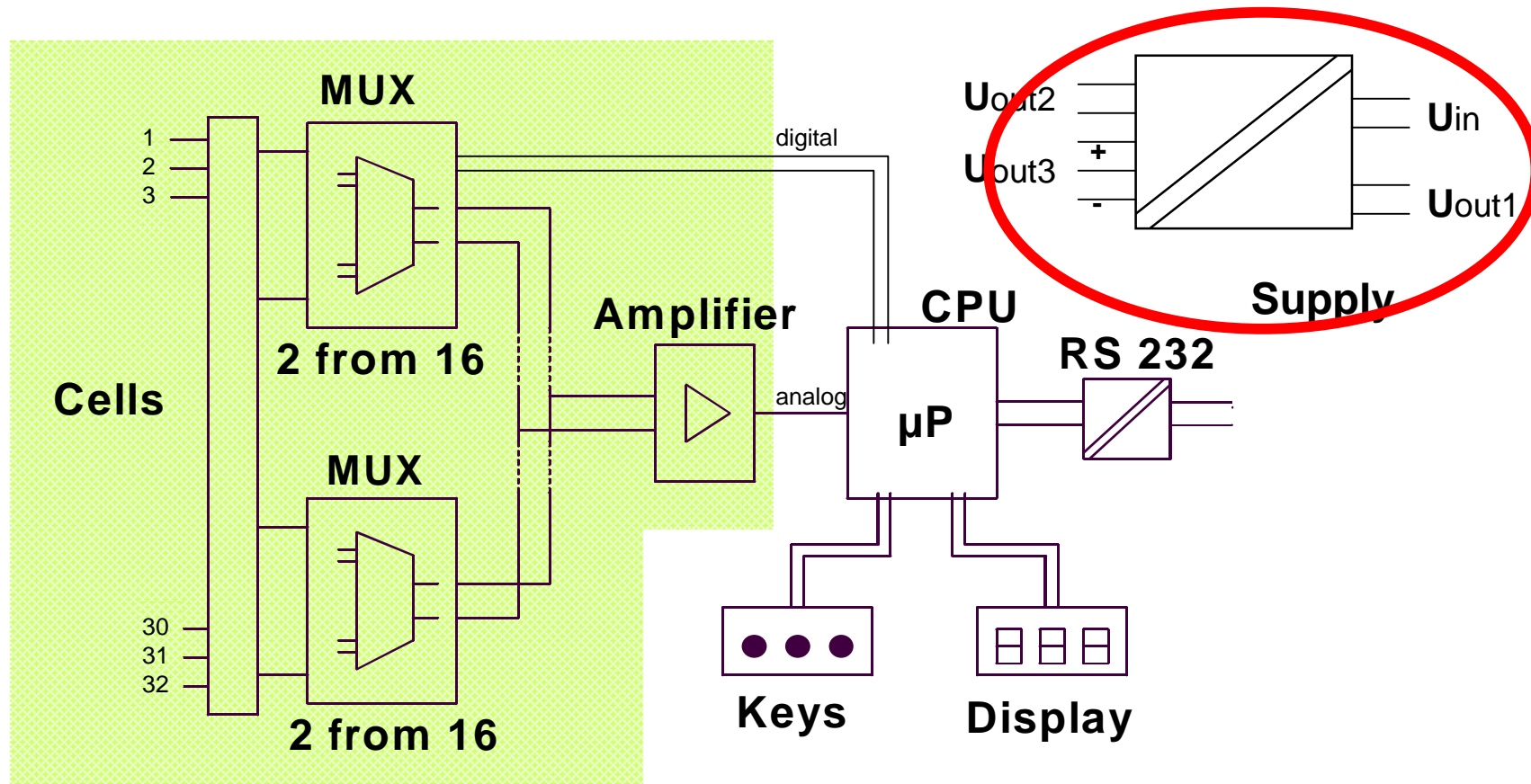
## Lösungsansätze

<b>Art</b>	Umschaltung durch Relais	Umschaltung durch Halbleiter	Direkte Messung durch ADU
<b>Vorteil</b>	<b>Problemlose galvanische Trennung</b> <b>Sehr einfacher Aufbau</b>	<b>Unbegrenzte Schaltspiele</b> <b>Einfacher Aufbau</b>	<b>Jeder Wert in digitaler Form</b>
<b>Nachteil</b>	<b>Begrenzte Schaltspiele</b>	<b>Galvanische Trennung erforderlich</b>	<b>Grosser Platzbedarf</b> <b>Teuer</b>

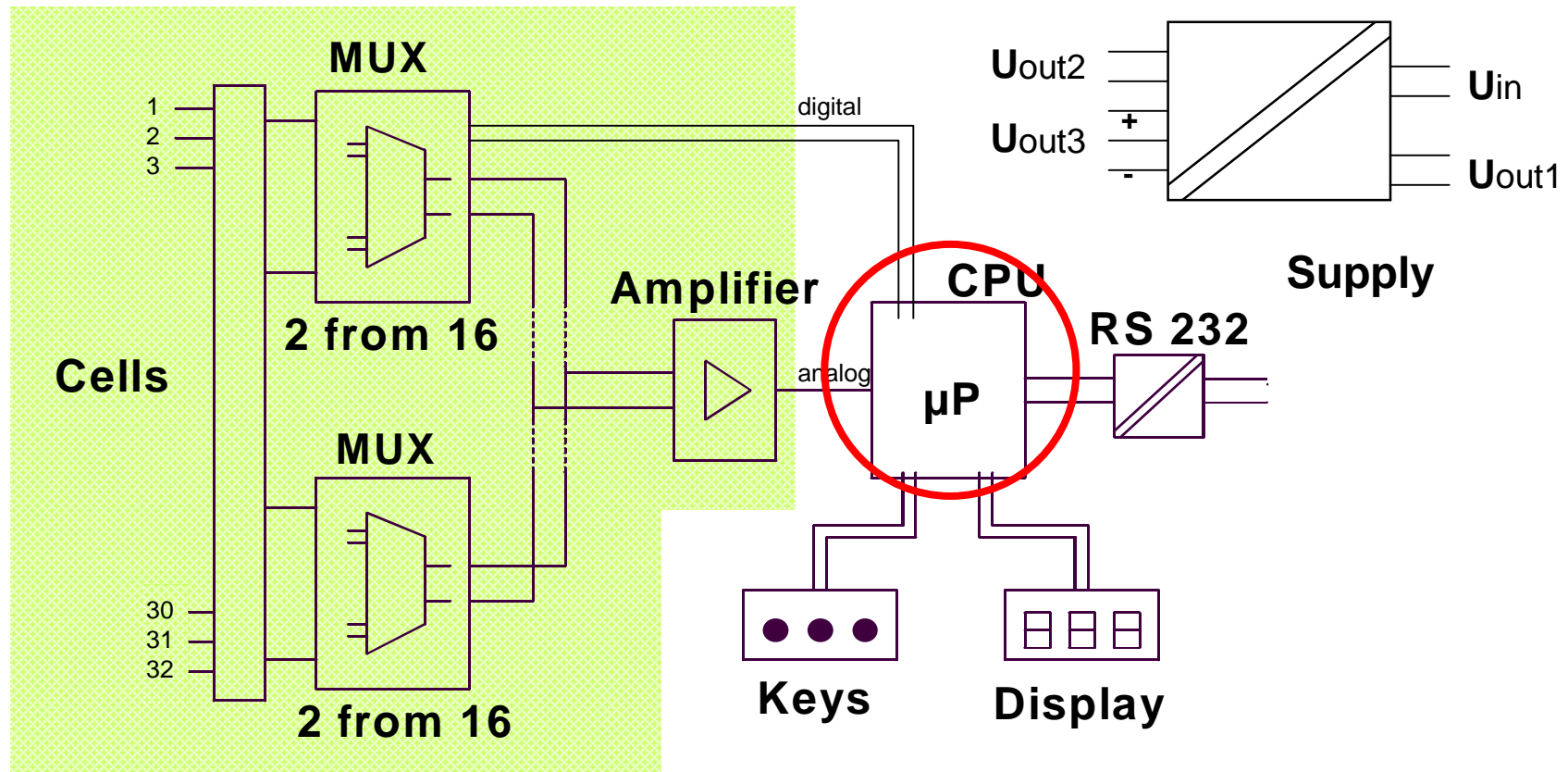
## Gewählte Lösung



## Gewählte Lösung



## Gewählte Lösung



## Funktionsmuster

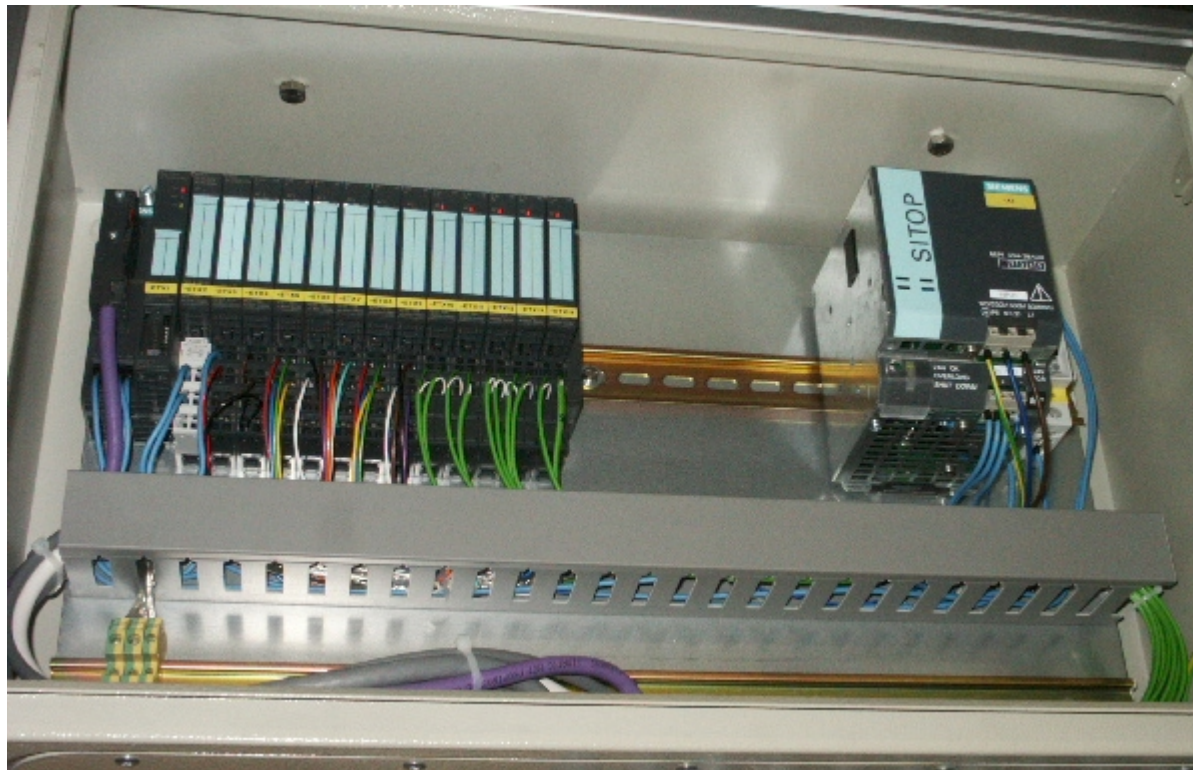


### Technische Daten:

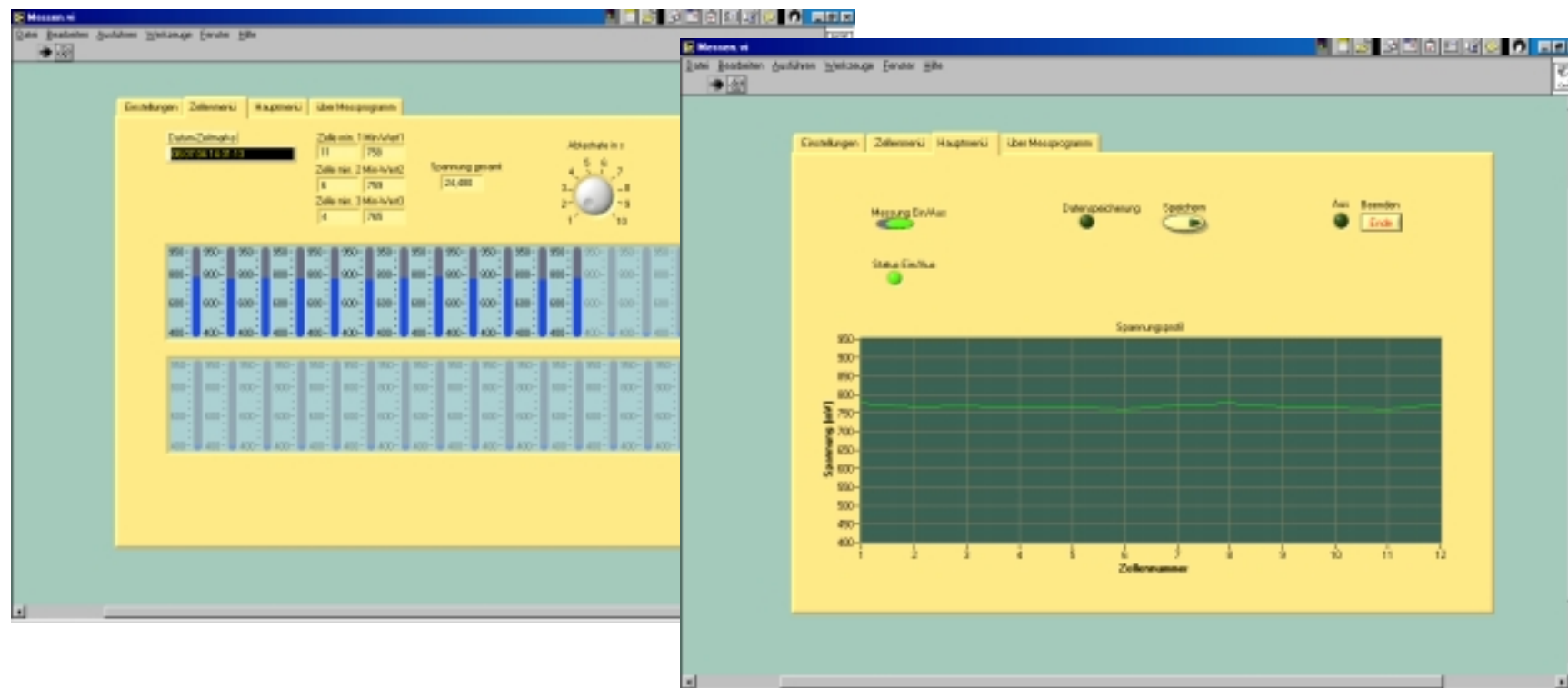
Messstellenanzahl	- 32
Spannungsbereich	- 1,024 V
Auflösung	- 10 bit
Abtastrate	- ca. 10 Hz@32 Zellen
Anzeige	- 4x20 Zeichen
Schnittstelle	- RS232
Versorgungsspannung	- 4 bis 26 VDC
Ermittlung von Minima	- 3 x $U_{\min}$ mit Zellen-Nr.
Gleitender Mittelwert	- 8 Werte



## Vergleichbare SPS-Lösung (Siemens) für 10 Zellen



## Demo- und Auswerte- Software zur Einzelzellspannungsüberwachung







## Zusammenfassung und Weiterentwicklung

- Relativ einfache Lösung mit eigener Intelligenz
- Für autonomen Einsatz durch eigene Anzeige geeignet
- Für direkten Einsatz an der Brennstoffzelle geeignet
- Modularer Aufbau - erweiterbar bis 128 Zellen
- Prozessor Parallelverarbeitung
- Schnittstelle RS232 - andere in Entwicklung (z.B. CAN-BUS)



Otto-von-Guericke-Universität  
Magdeburg



Institut für  
Elektrische Energiesysteme

# Preiswertes Feuchtemesssystem für PEM-Brennstoffzellen

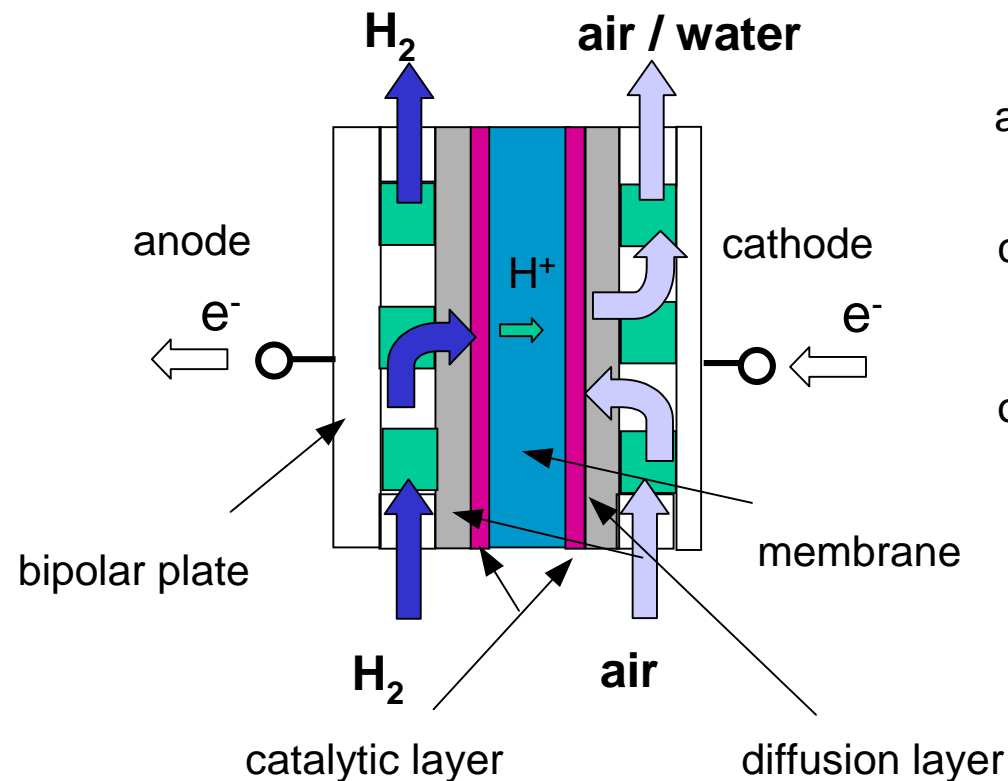
enertec, Leipzig 08.03.2005



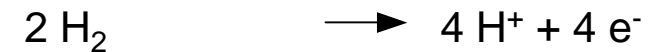
## Gliederung

- Einleitung und Motivation
- Prinzip der Feuchtemessung
- Vergleich verschiedener Messsysteme
- Entwickeltes Messsystem
- Fehlerbetrachtung
- Zusammenfassung

## Einleitung und Motivation



anode:



cathode:



overall:





## Prinzip der Feuchtemessung

Der Gesamtdruck setzt sich aus der Summe von Partialdruck und Dampfdruck zusammen.

$$p = p_G + p_{st}$$

Die relative Feuchte  $\varphi$  ist durch das Verhältnis von Dampfdruck  $p_{st}$  and Sättigungsdruck  $p_s$  *charakterisiert*

$$\varphi = p_{st} / p_s$$

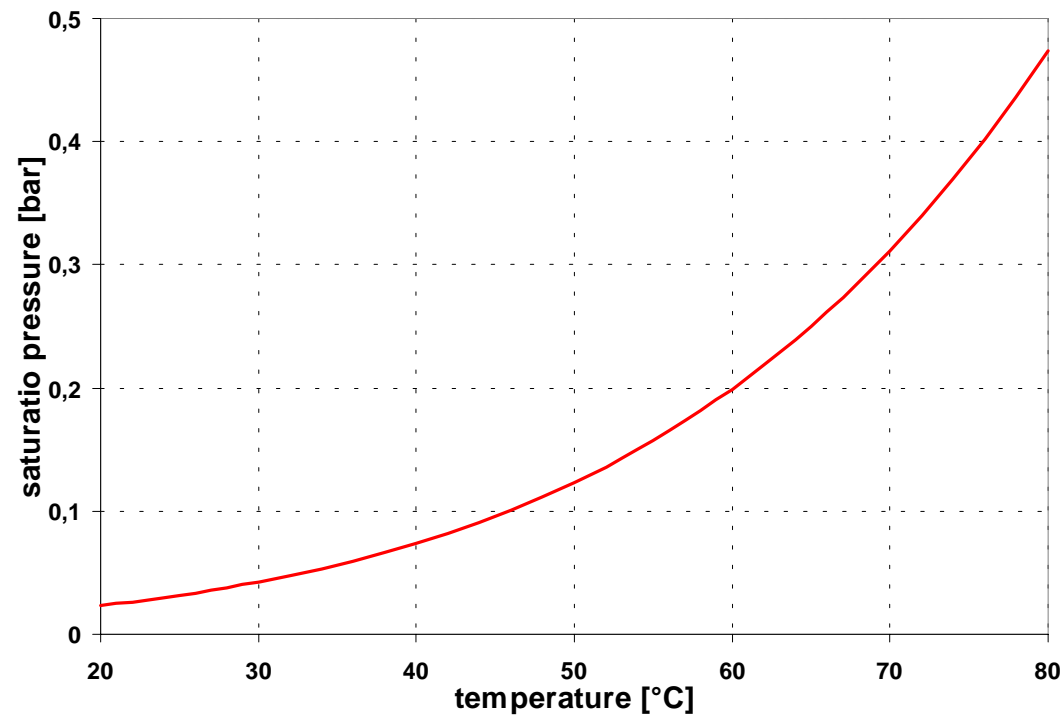
Das Produkt aus relativer Feuchte und Sättigungsdruck bei bestimmter Temperatur ist unter Vernachlässigung der Druckänderung konstant.

$$\varphi_1 * p_s(T_1) = \varphi_2 * p_s(T_2)$$



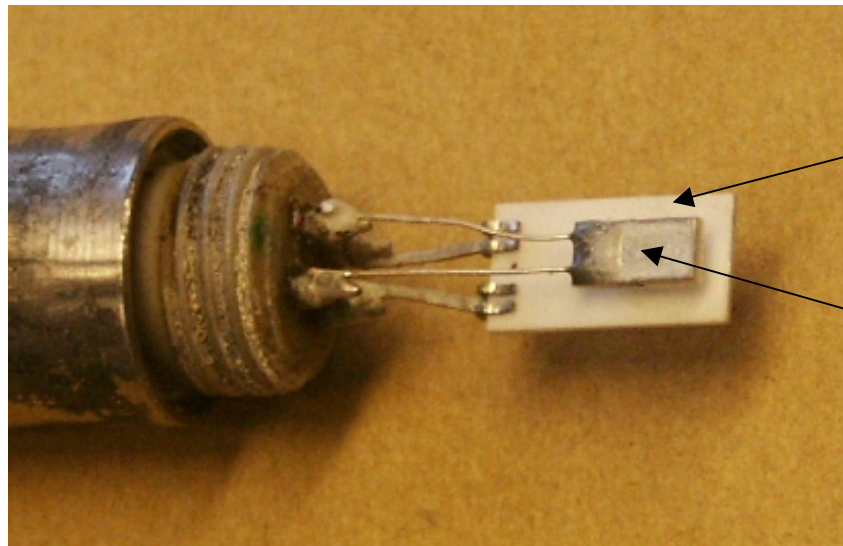
## Prinzip der Feuchtemessung

### Abhängigkeit des Sättigungsdruckes von der Temperatur



## Vergleich verschiedener Messsysteme

### Hygrotest 650 , Firma Testo

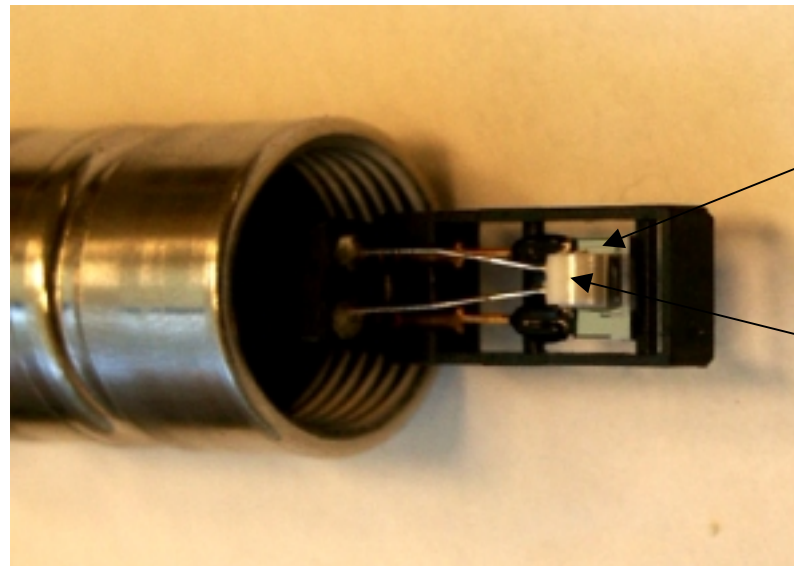


Humidity sensor  
without heater

Temperature sensor

## Vergleich verschiedener Messsysteme

### HMP240 , Firma Vaisala



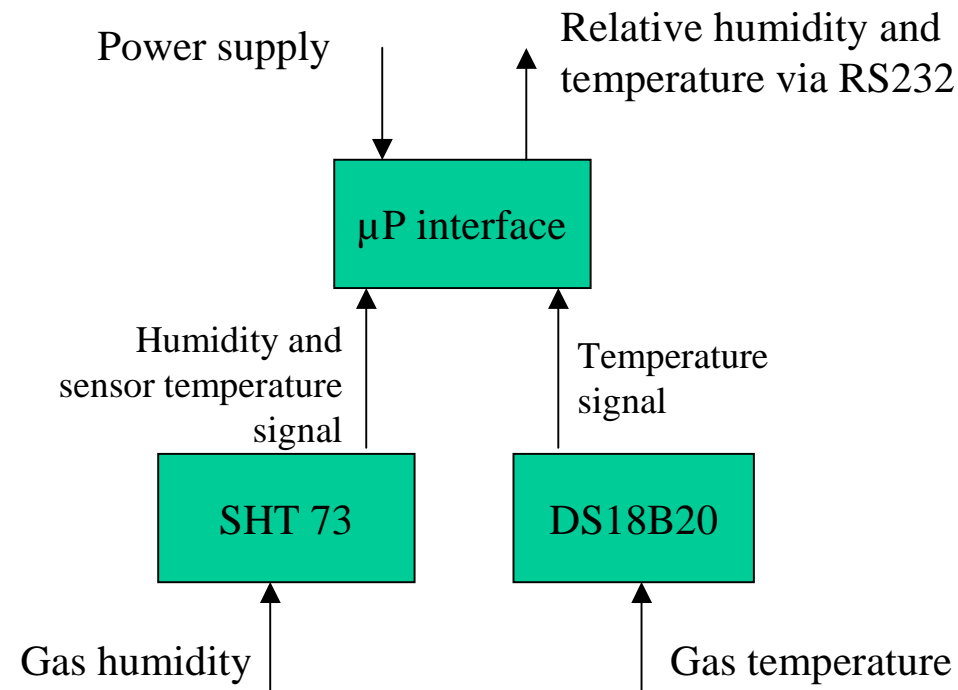
Humidity and temperature sensor  
with permanent heater

Temperature sensor



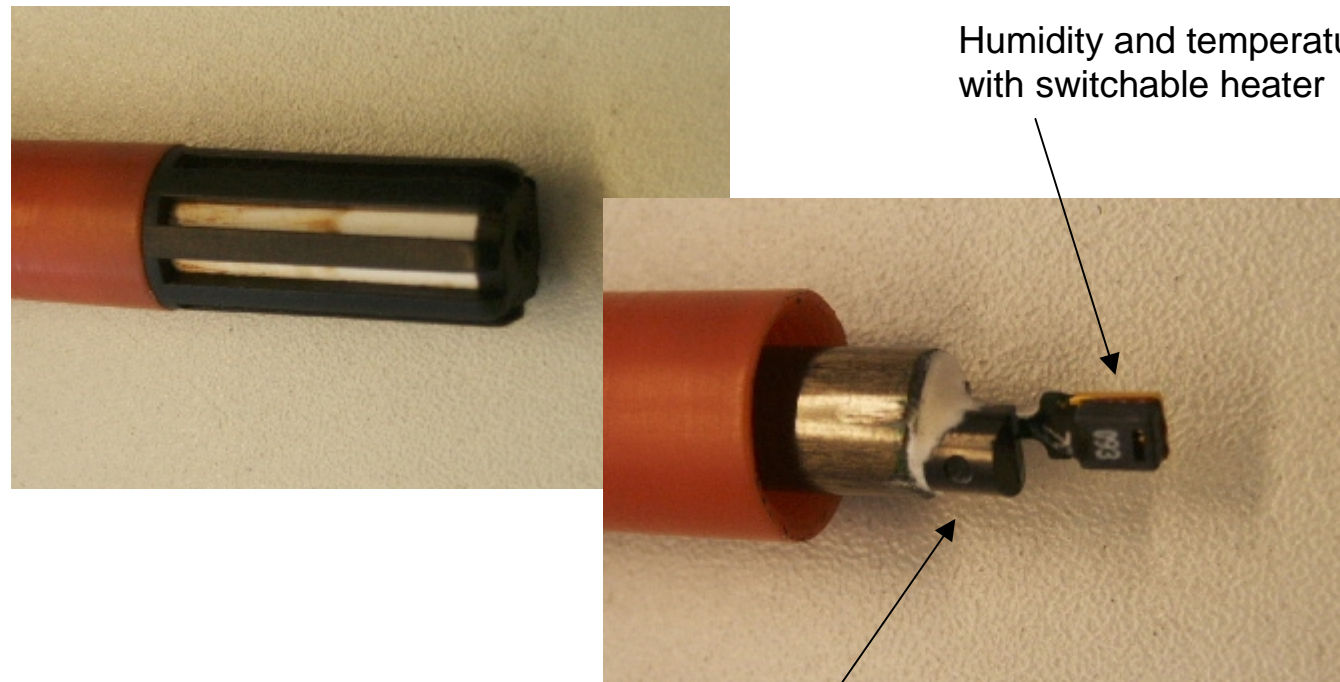
## Vergleich verschiedener Messsysteme

### Schema des entwickelten Feuchtemesssystems



## Vergleich verschiedener Messsysteme

### Konfektionierter Sensor

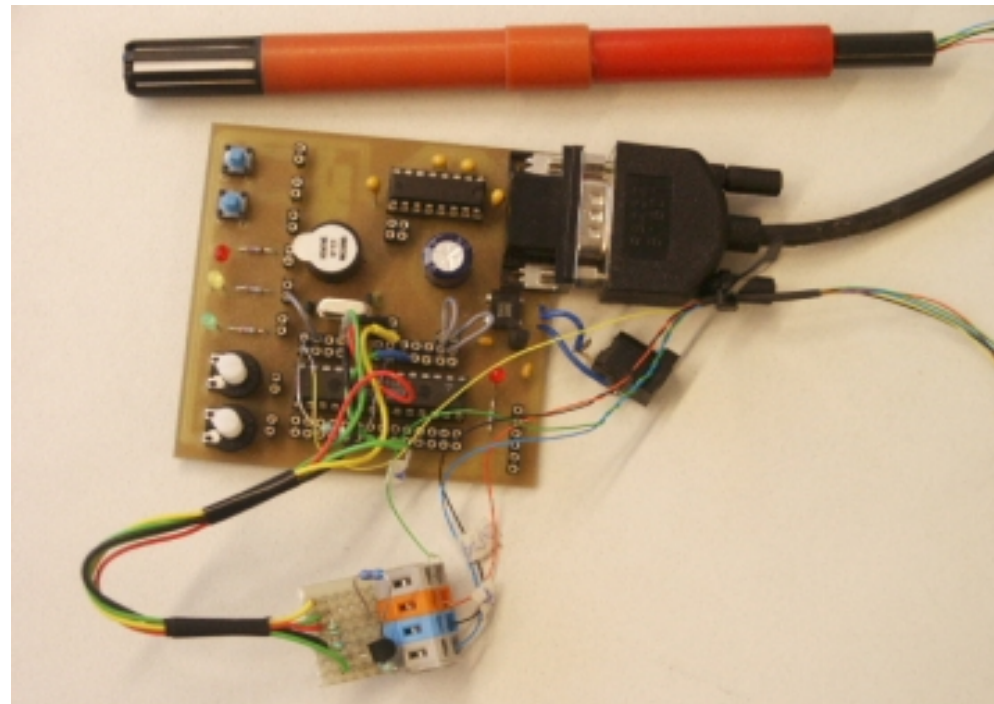


Humidity and temperature sensor  
with switchable heater

Temperature sensor

## Vergleich verschiedener Messsysteme

### Entwickeltes Messsystem Funtionsmuster



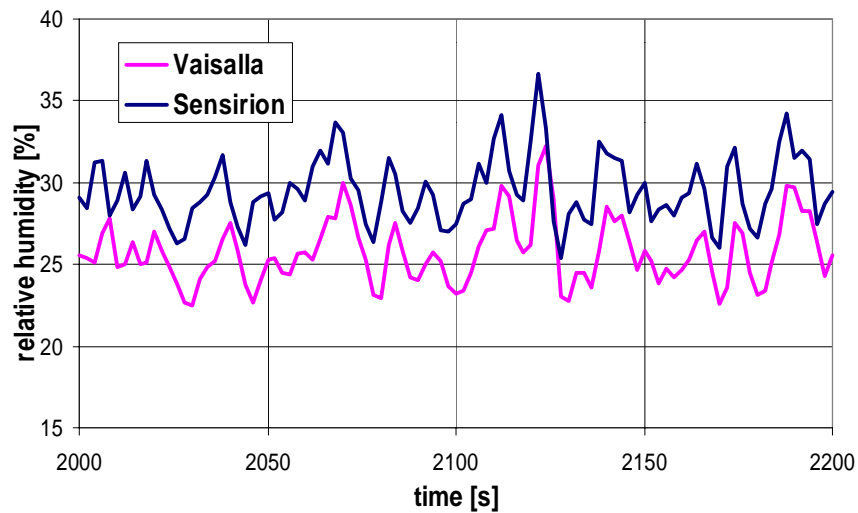


## Tabelle ausgewählter Daten

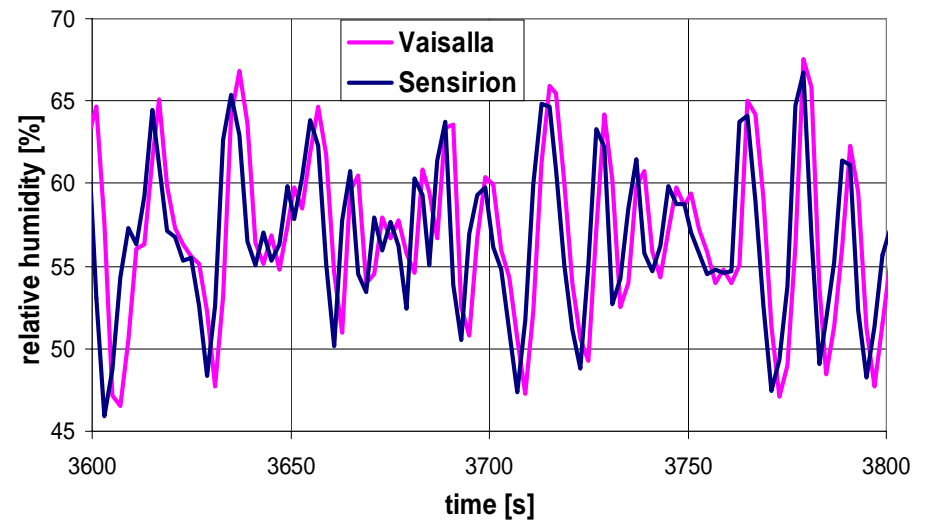
	Hygrotest 650	HMP 240	Developed system
Relative humidity range [%]	0 to 100	0 to 100	0 to 100
Accuracy humidity [%]	+/- 2	+/- 0,5	+/- 2
Temperatur range [°C]	-40 to +180	-40 to + 180	-40 to +120
Accuracy temperature [°C]	+/- 0.4	+/- 0.1	+/- 0.4
Integrated heater	no	yes	yes
Cost [€]	650	1,400	80 (only material)

## Vergleich verschiedener Messsysteme

### HMP240 Feuchtemesser der Firma und eigenes System



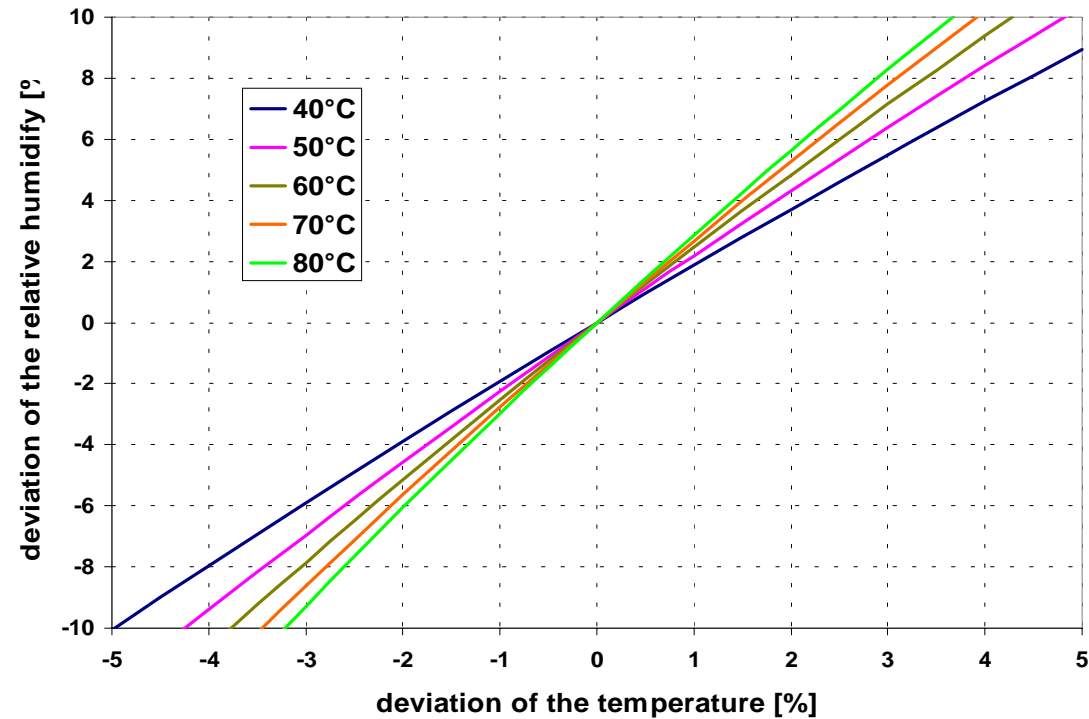
at process temperature of 25°C



at process temperature of 35°C

## Fehlerbetrachtung

### Abhängigkeit der relativen Feuchte von der Temperatur und deren Änderung





## Zusammenfassung

- Für die Messungen des Feuchtehaushalts einer PEM-Brennstoffzellen können nur Feuchtesensoren mit einer integrierten Heizung eingesetzt werden, da die Messung bei hohen relativen Feuchten erfolgt und somit die Gefahr der Betauung gegeben ist.
- Die Vergleichsmessungen zwischen dem entwickelten System und dem gewählten Referenzsystem zeigen eine gute Übereinstimmung.
- Sowohl der Feuchtesensor als auch der zusätzliche Temperatursensor haben integrierte Analog/Digital-Wandler, so dass ihr Ausgangssignal in digitaler Form zur Verfügung steht. Dadurch ist eine direkte Ankopplung an die Systemsteuerung über Busleitungen möglich.