

Thermische Sensoren zur direkten Bestimmung von Zustands- und Stoffgrößen

Matthias Ashauer

Hahn-Schickard-Gesellschaft, Institut für Mikro- und Informationstechnik

Villingen-Schwenningen

+49 7721 943 229, +49 174 3165264

matthias.ashauer@hsg-imit.de

Thermische Sensoren zur direkten Bestimmung von Zustands- und Stoffgrößen

- Wichtige Zustandsgrößen
in unterschiedlichen Einsatzgebieten
und Märkten
- Sensoren für Temperatur, Druck,
Taupunkt / Feuchte
- Auswirkungen der Sensorik

Wesentliche Zustandsgrößen für technische Prozesse

Klimatechnik

Temperatur, Volumenstrom,
Druck, Feuchte, CO₂-Gehalt



Wesentliche Zustandsgrößen für technische Prozesse

Klimatechnik

Temperatur, Volumenstrom,
Druck, Feuchte, CO₂-Gehalt

**Verfahrenstechnik Temperatur, Druck,
Massenstrom, Konzentrationen**



Wesentliche Zustandsgrößen für technische Prozesse

Klimatechnik

Temperatur, Volumenstrom,
Druck, Feuchte, CO₂-Gehalt

Verfahrenstechnik

Temperatur, Druck,
Massenstrom, Konzentrationen

Segler

**Windgeschwindigkeit, (Temperatur,
Feuchte), Druck im Segel / Wetter**



Wesentliche Zustandsgrößen für technische Prozesse



Klimatechnik

Temperatur, Volumenstrom,
Druck, Feuchte, CO₂-Gehalt

Verfahrenstechnik

Temperatur, Druck,
Massenstrom, Konzentrationen

Segler

Windgeschwindigkeit, (Temperatur,
Feuchte), Druck im Segel / Wetter

Medizintechnik

**Volumenstrom, Temperatur,
Feuchte, CO₂ Konzentration**

Wesentliche Zustandsgrößen für technische Prozesse

Klimatechnik	Temperatur, Volumenstrom, Druck, Feuchte, CO ₂ -Gehalt
Verfahrenstechnik	Temperatur, Druck, Massenstrom, Konzentrationen
Segler	Windgeschwindigkeit, (Temperatur, Feuchte), Druck im Segel / Wetter
Medizintechnik	Volumenstrom, Temperatur, Feuchte, CO ₂ Konzentration
KFZ	siehe Verfahrens- und Klimatechnik
.....	

$$P * V = T * n * R_M$$

Druck * Volumen = Temperatur * Stoffmenge * Gaskonstante

[Pa] [m³] [K] [mol] [J/(mol*K)]

Widerstandssensoren (Pt, Ni, Absoluttemperatur)
Thermoelemente (Differenztemperatur)
Strahlungsthermometer
Kalibriert durch Tripelpunkt-Normale (PTB)
Messwertabweichung: Forderungen $< 0,1$ K

Beispiel Wärmemengenzähler:

Raumwärmebedarf in D 2006:	2.837	PJ
Wird transportiert durch Warmwasser. Temperaturdifferenz	10	K
→ 0,1 K Temperaturdifferenz transportieren	28	PJ
Umgerechnet auf 1 Jahr ist das eine el. Leistung von	0,9	GW

= 0,5 *

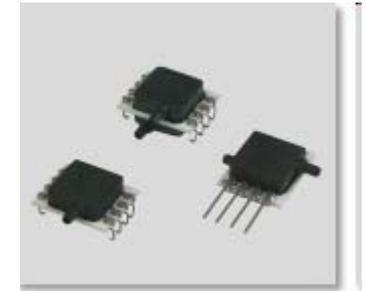
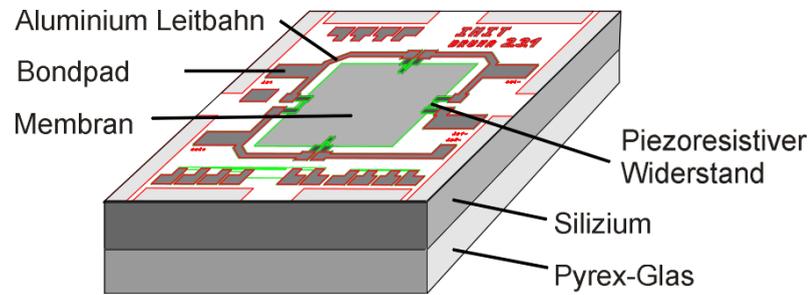


VDI Seminar
Technische
Temperaturmessung
13. – 14.11.08, Stuttgart

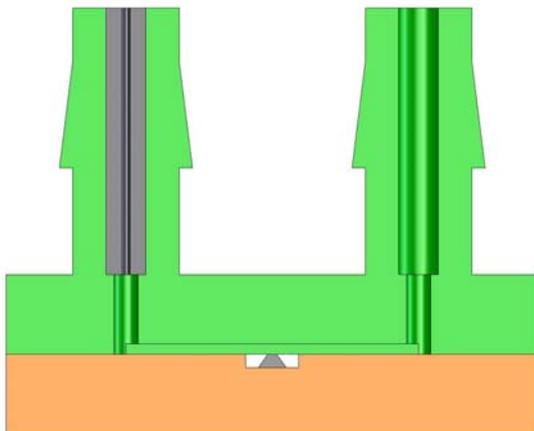


Hochdruckbereich < 1200 bar
 Geringe Drücke > 1000 Pa
 (> 300 Pa)

Silizium, Keramik, Stahl
 Silizium Membransensoren



(Sensortech GmbH)



Sehr kleine Drücke < 10 Pa

dynamische Drucksensoren
 (über Flowsensoren)



Lüftungs- und Klimaanlage am Reinraum des HSG-IMIT

Neubau 1993

3 Lüftermotoren a 40 kW
= 120 kW

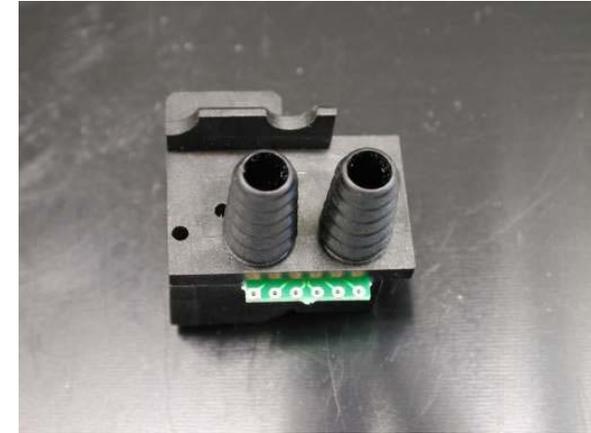
150.000 m³/h → Überdruck ??
Keine Druckregelung



Reinraum Lüftungs- und Klimaanlage am HSG-IMIT

Umbau 2006

- 3 geregelte Lüftermotoren a 35 kW
- Druckmessung über 2 Sensoren
- Druckregelung über Motorsteuerung
- Überdruck im Reinraum 10 Pa
- Optimierte Lüftergeometrie



→ Mittlere Motorleistung $3 \cdot 20 \text{ kW} = 60 \text{ kW}$

→ Einsparung
60 kW
24h * 365 d
= 525.600 kWh / a

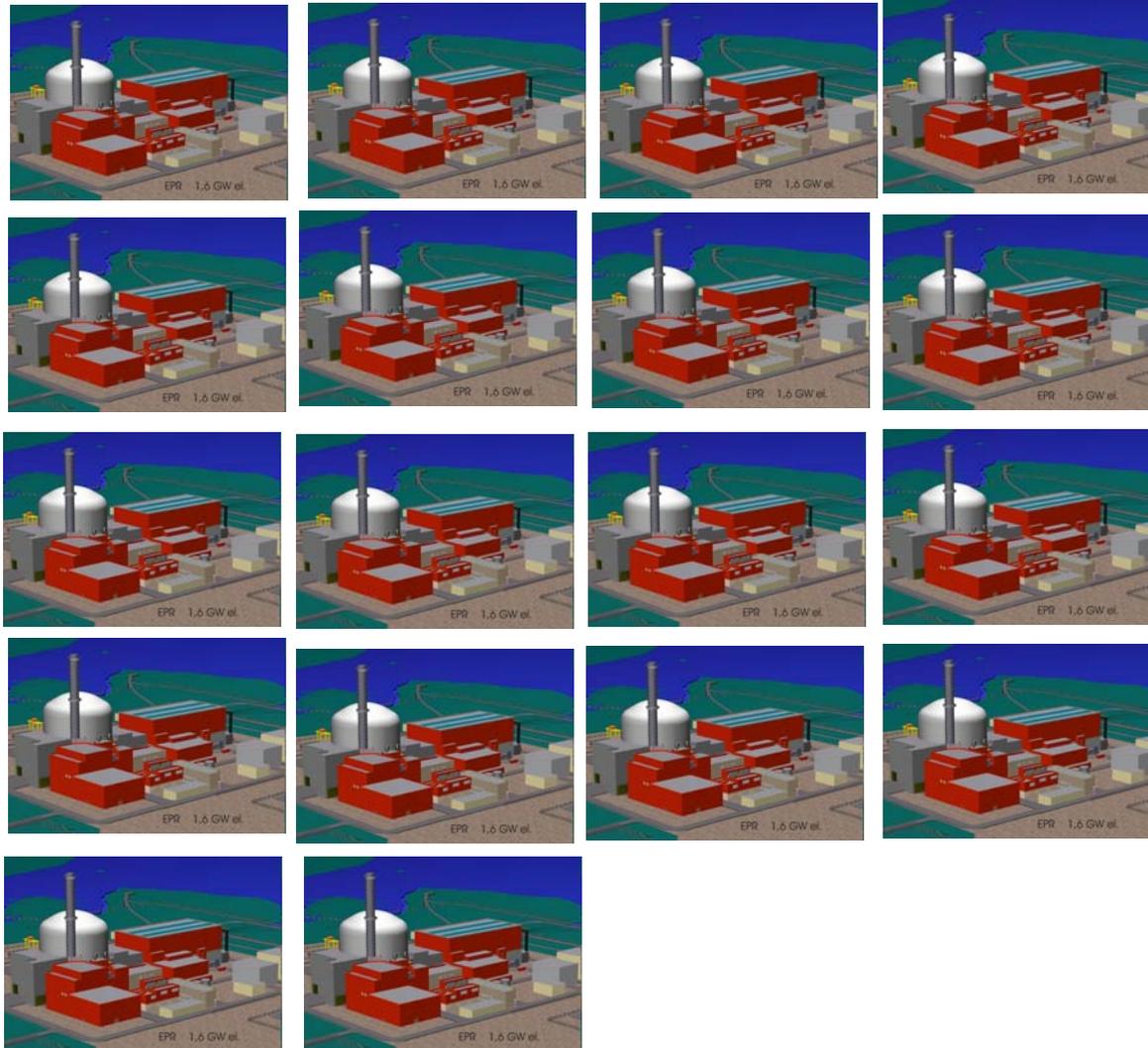


Reinraum Lüftungs- und Klimaanlage am HSG-IMIT

Einsparung 30 kW / Sensor
Stückzahl 100.000 St./ a
Standzeit 10 a

1.000.000 Sensoren * 30 kW

= 30 GW eingesparte Leistung





Temperatursensor:

+ 0 °C und - 0 °C sind nicht unterscheidbar

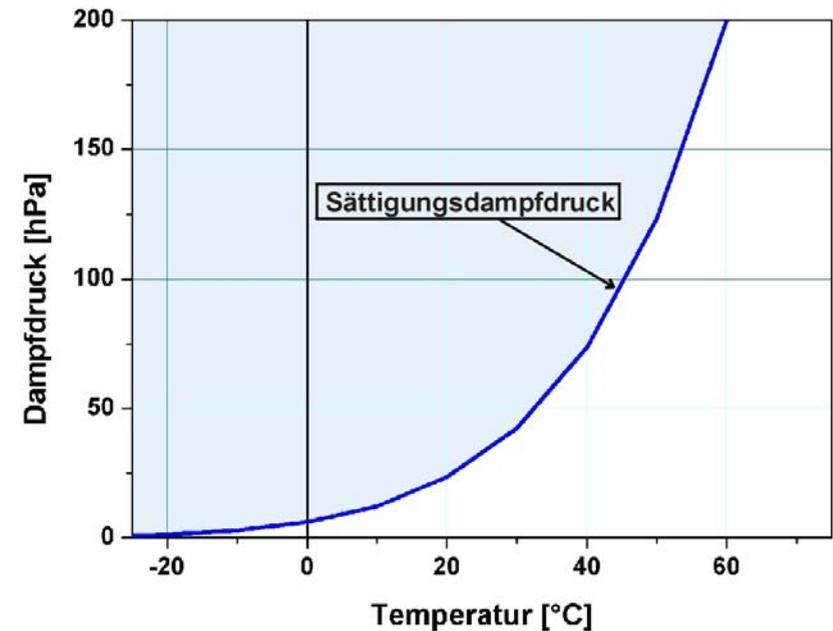
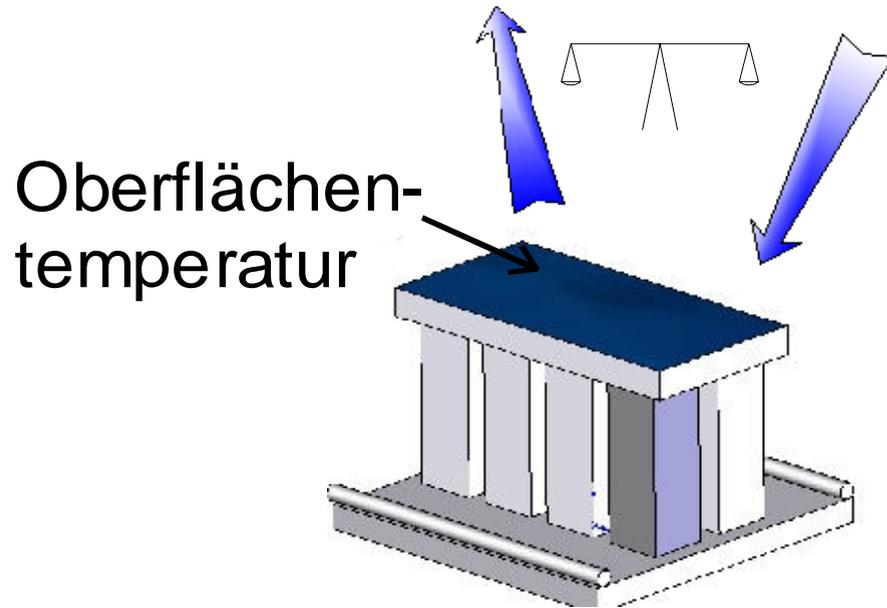
Absorptionssensoren,

- relative Feuchte
Zusammenspiel aus Feuchte und Temperatur
- Polymersensor, Haarhygrometer,...

Kondensationssensoren

- Taupunkt
- absoluter Feuchtegehalt
- Taupunktspiegel
- **thermisch detektierender Taupunktensor**

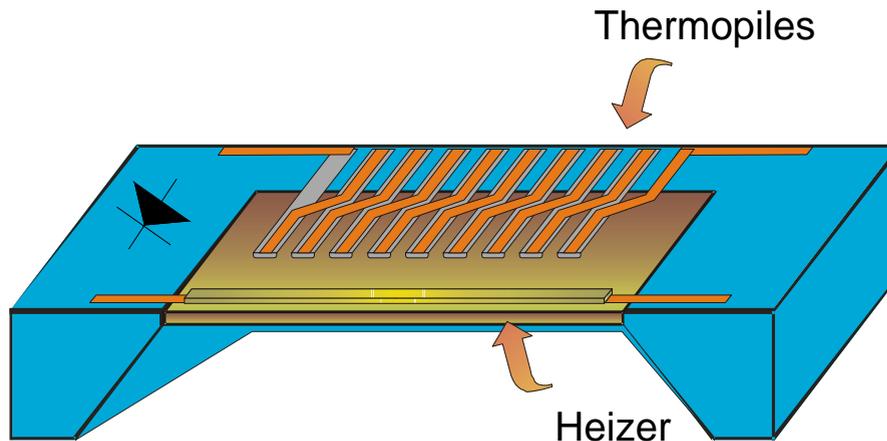
Verdunstung Kondensation



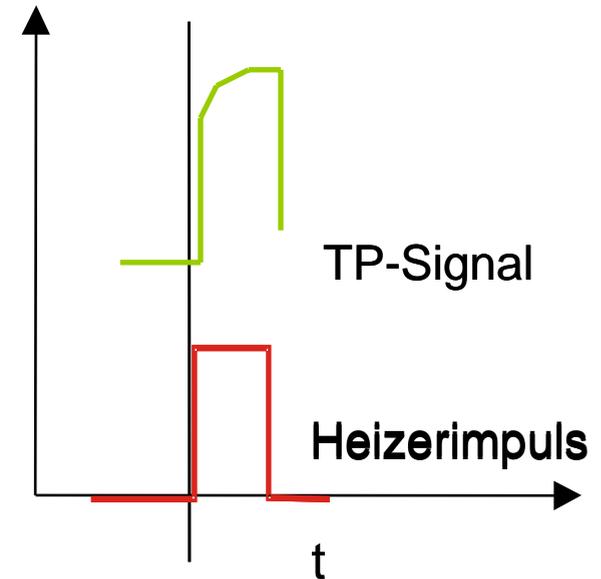
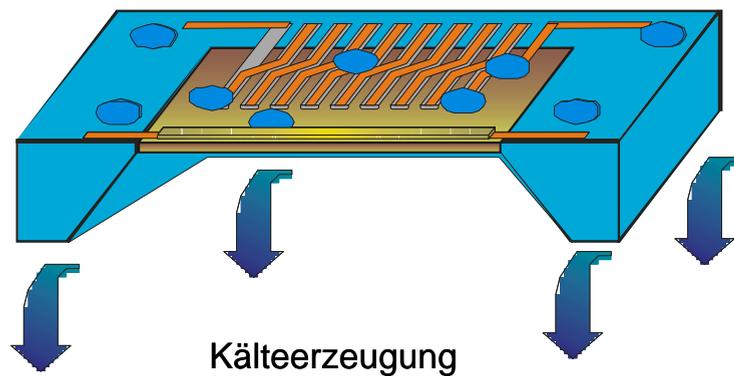
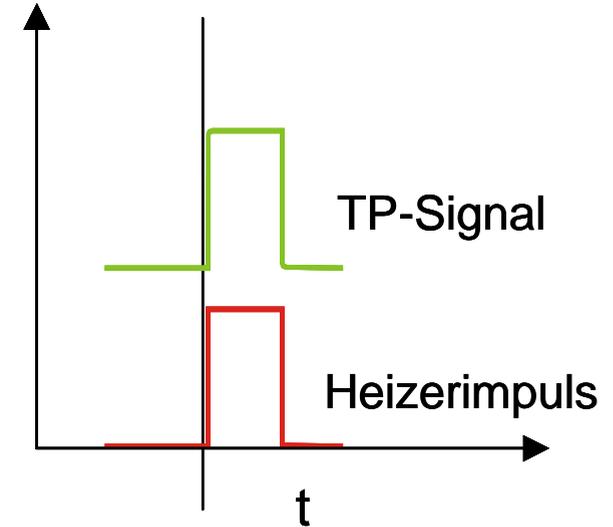
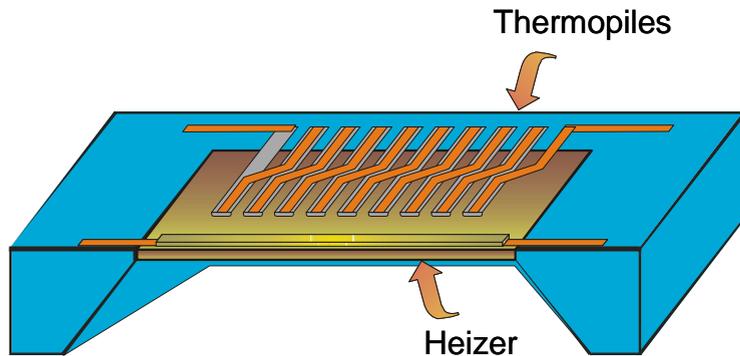
Kondensatdetektion:

- Optisch, Taupunktspiegel
- Kapazitiv
- **Thermisch**

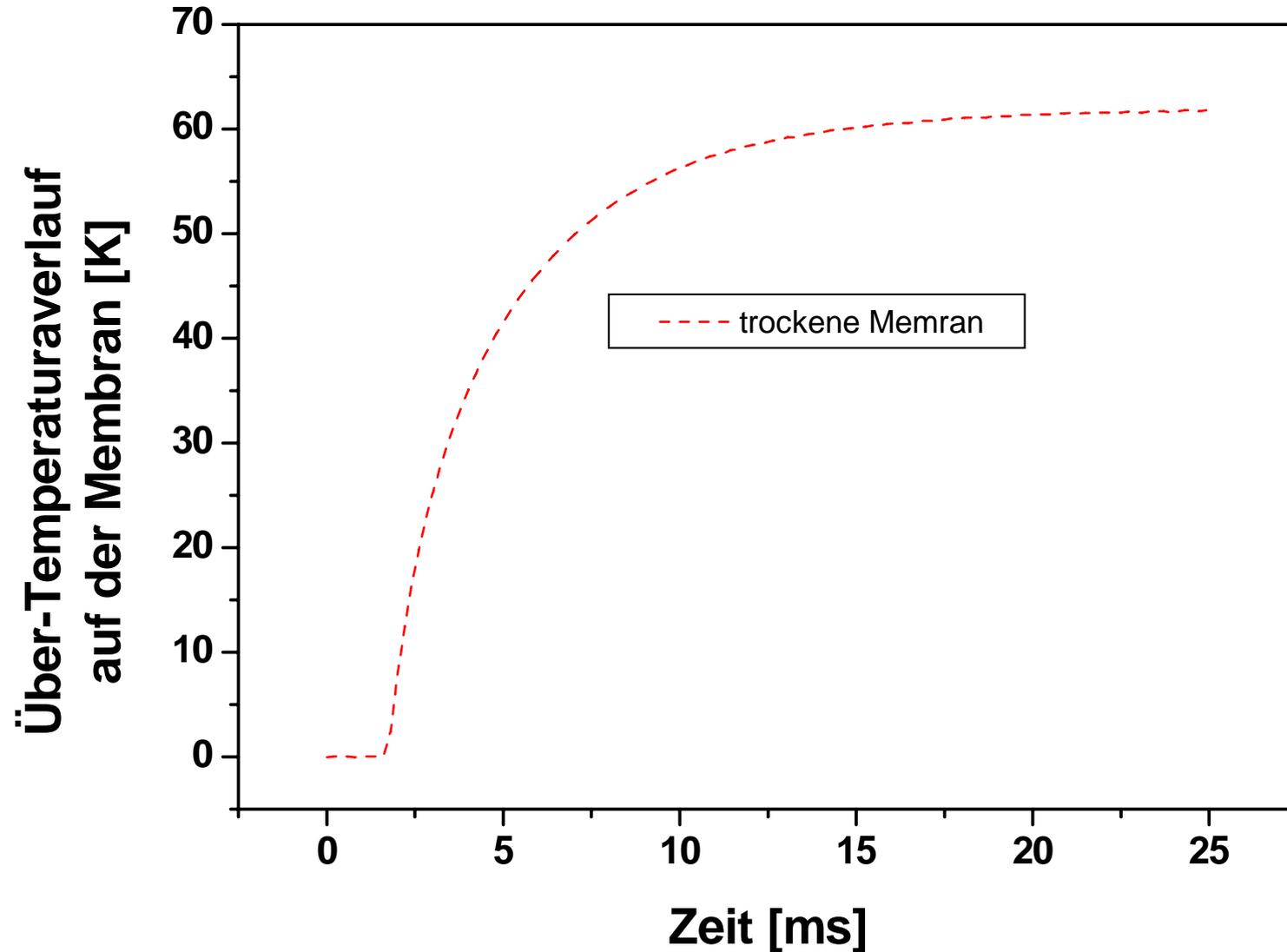
- Silizium - Nitrid – Membran, ($600 * 600 \mu\text{m} * 1 \mu\text{m}$)
- Geringe thermische Kapazität
- Heizer aus Polysilizium ($10 \text{ mW} \sim 60\text{K}$ Übertemperatur)
- Thermopiles aus Polysilizium und Aluminium ($\sim 150 \mu\text{V/K} * n$)
- Diode zur Messung der absoluten Chiptemperatur im Bulk
- Passivierung mit einer dichten Schicht aus Si-Nitrid und Si-Oxid

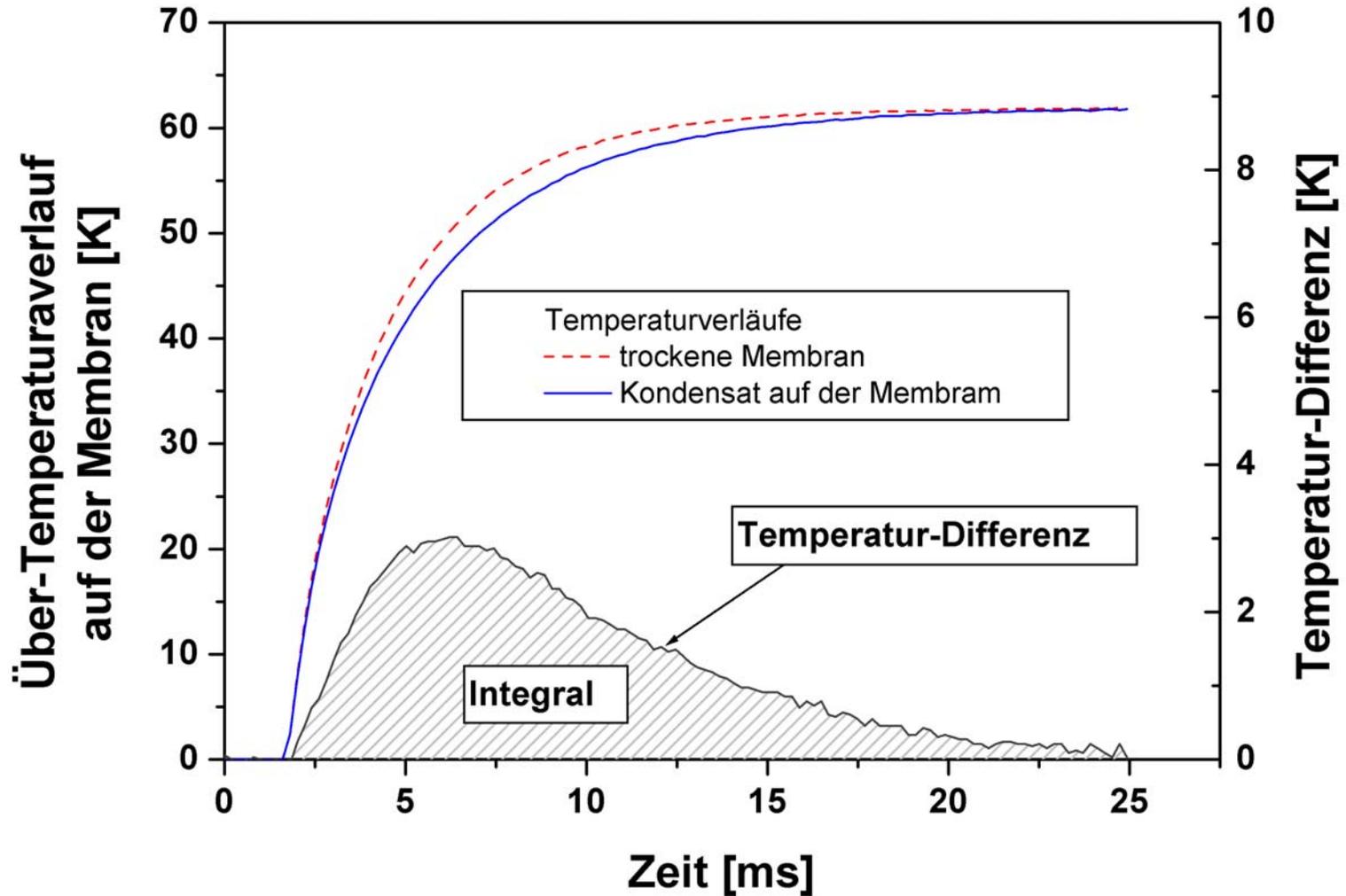


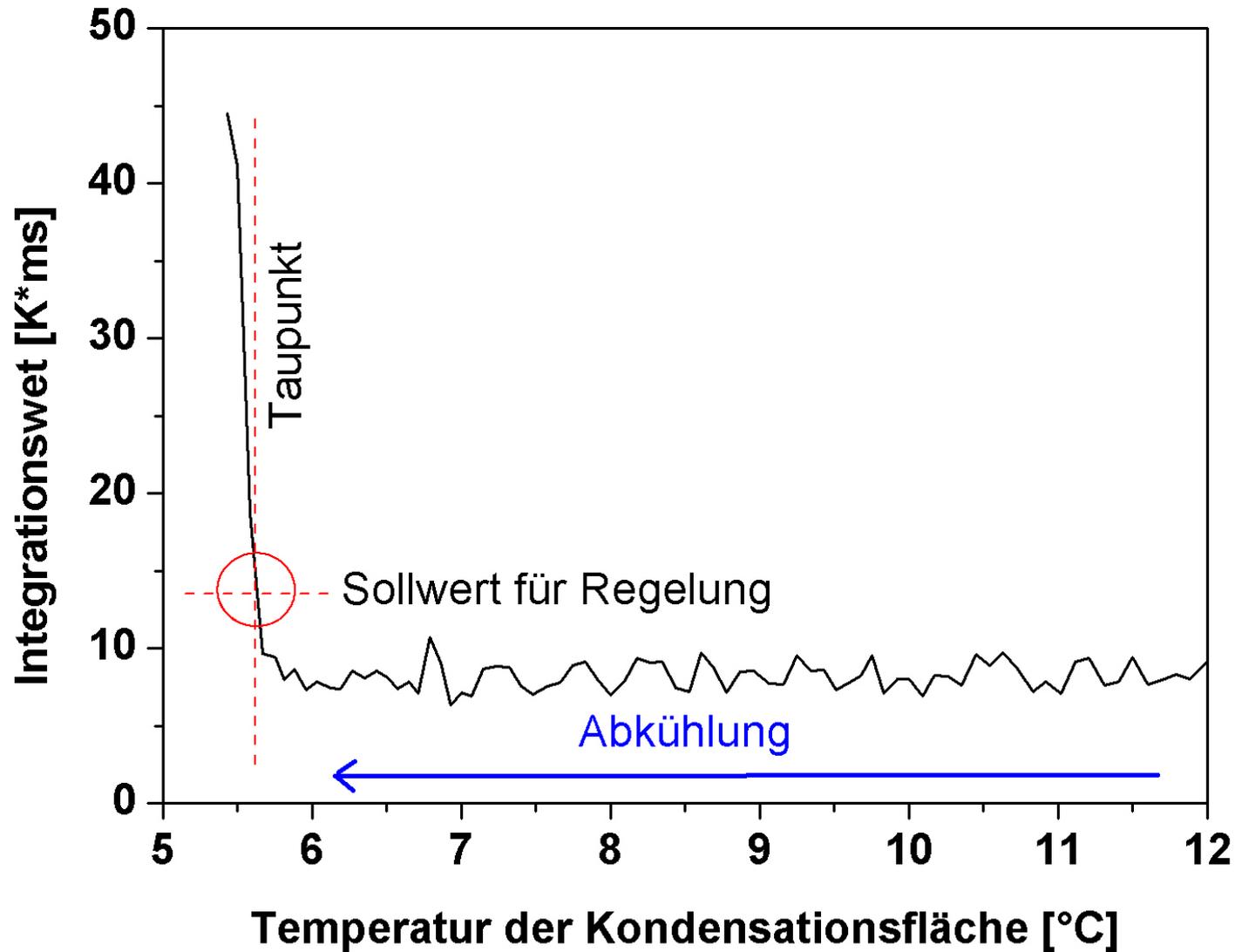
Das Funktionsprinzip

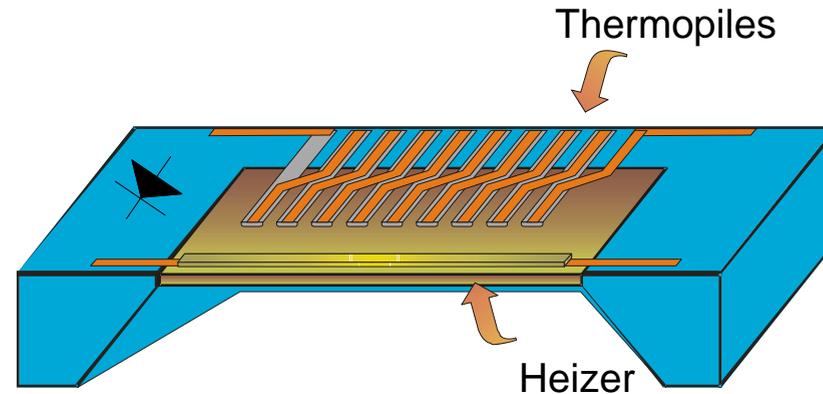


Antwortsignal auf einen Heizimpuls









$$T_{Membran} = T_{Bulk} + \Delta T_{Membran \text{ zu } Bulk}$$

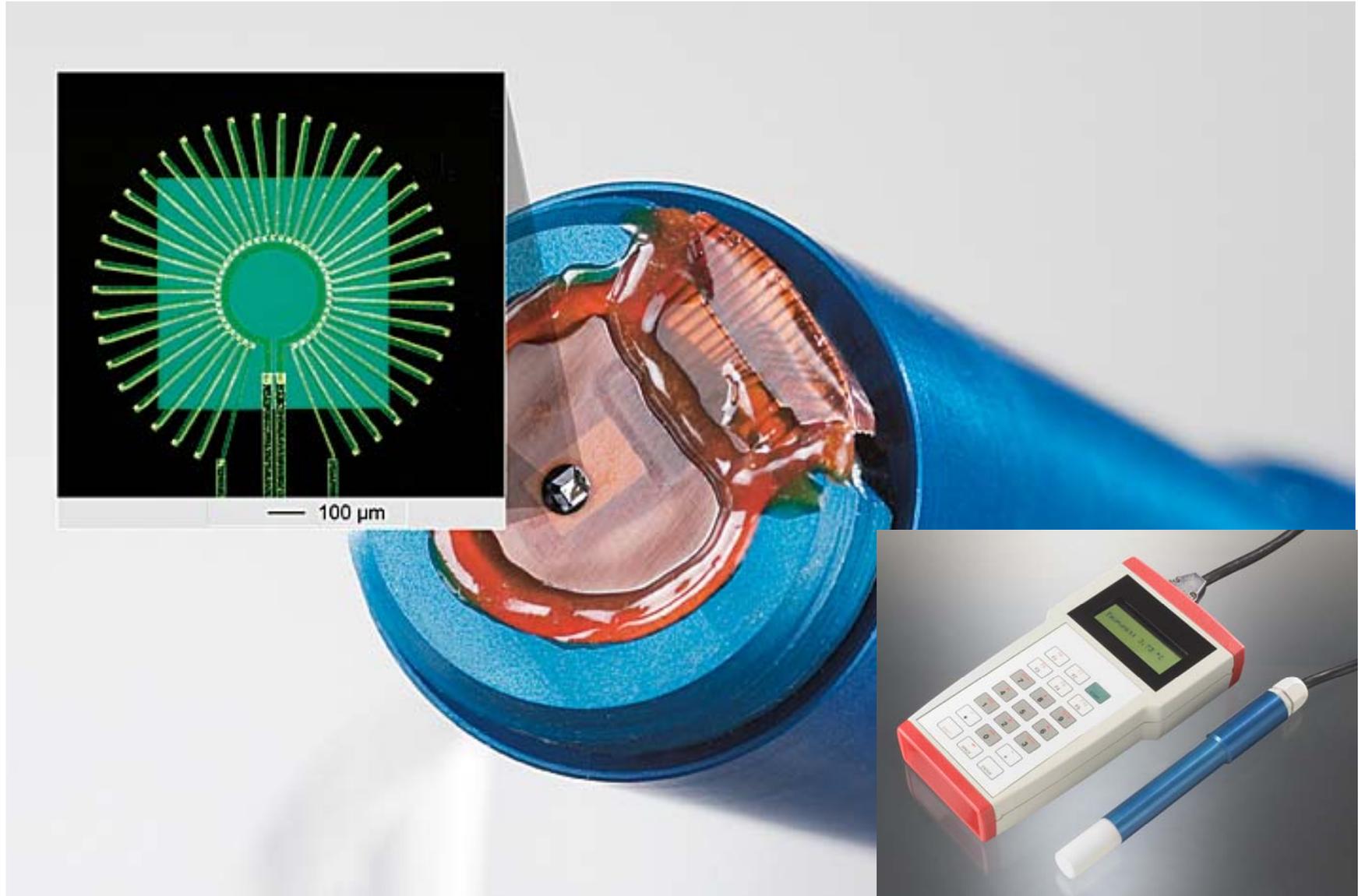
Absoluttemperaturmessung
mittels einer Diode.

$$\frac{\Delta U_{Diode}}{\Delta T} \approx \frac{-2.2mV}{K}$$

Differentielle Temperaturmessung
mittels der Thermopiles.

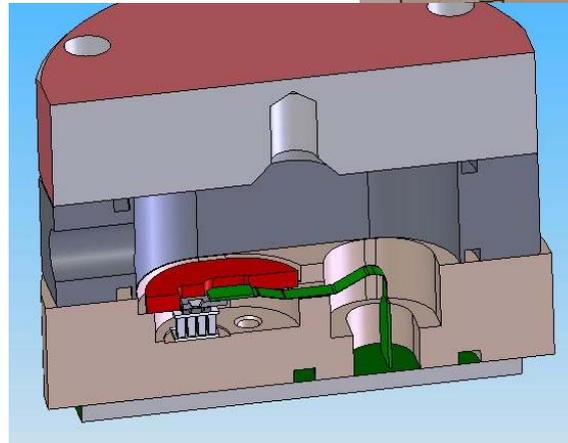
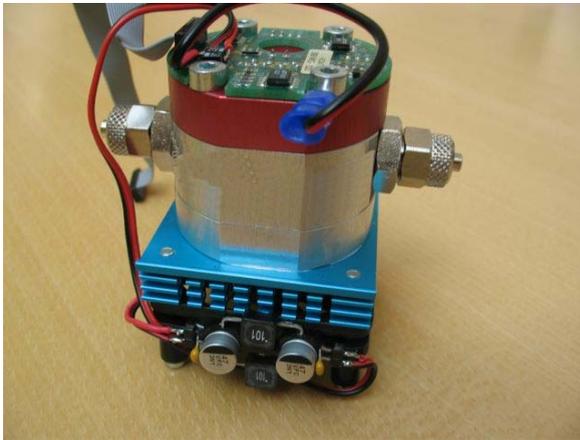
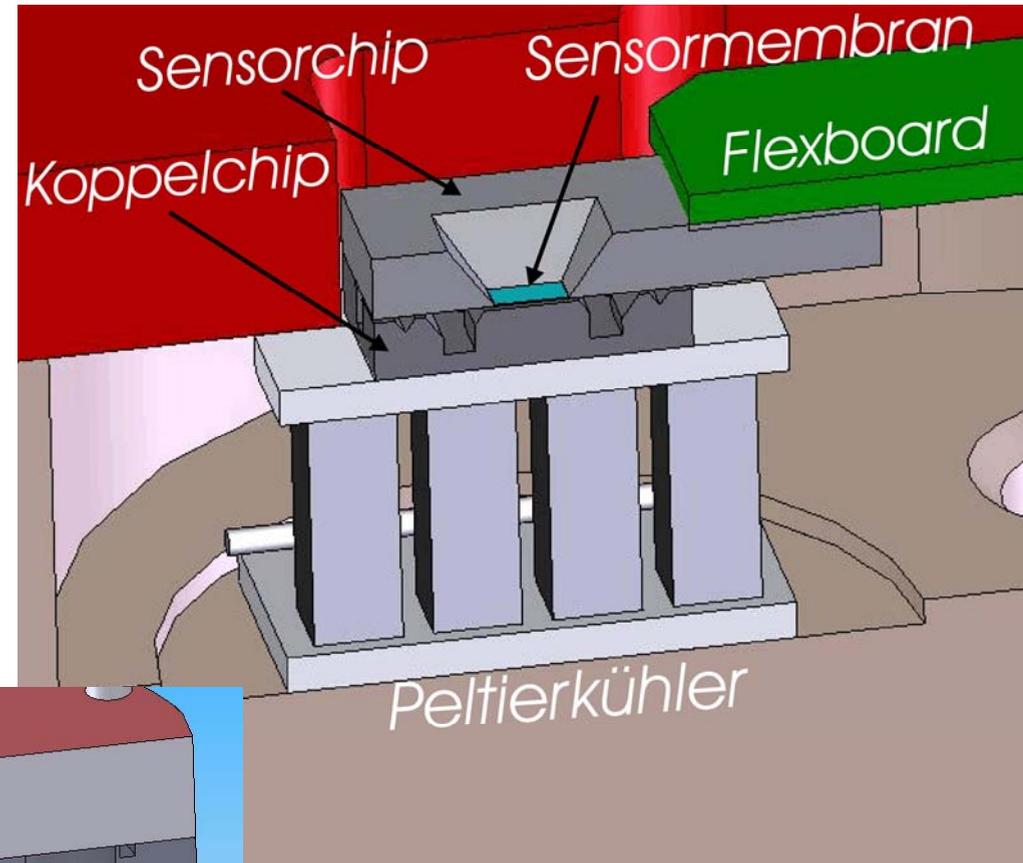
Seebeckkoeffizient der
Thermopiles $\sim 150 \mu V/K * n$
für 36 Tp $\sim 5.4mV/K$

Taupunktsonde „MS1“



Taupunktensor „MK1“

- Messbereich: -40°CTd bis 60°CTd
- Temperaturabsenkung: max. 60K
- Messunsicherheit $< \pm 0.5^{\circ}\text{CTd}$
- Druckstabil > 16 bar



- **(Gas)zustandsgrößen und ihre wirtschaftliche Bedeutung**
- **(thermische) Sensoren für Temperatur und Druck**
- **neuartige thermische Sensoren für Taupunkt / Luftfeuchte**
- **Technische und ökonomische Auswirkungen der Sensorparameter**

Dank !

Fragen ?



Matthias Ashauer, HSG-IMIT, +49 174 3165264, matthias.ashauer@hsg-imit.de