

November 2022

---

# Entwicklung eines ultraschallbasierten H<sub>2</sub>-Sensors

Part of



Fraunhofer Group for Microelectronics in Cooperation with  
the Leibniz Institutes FBH and IHP

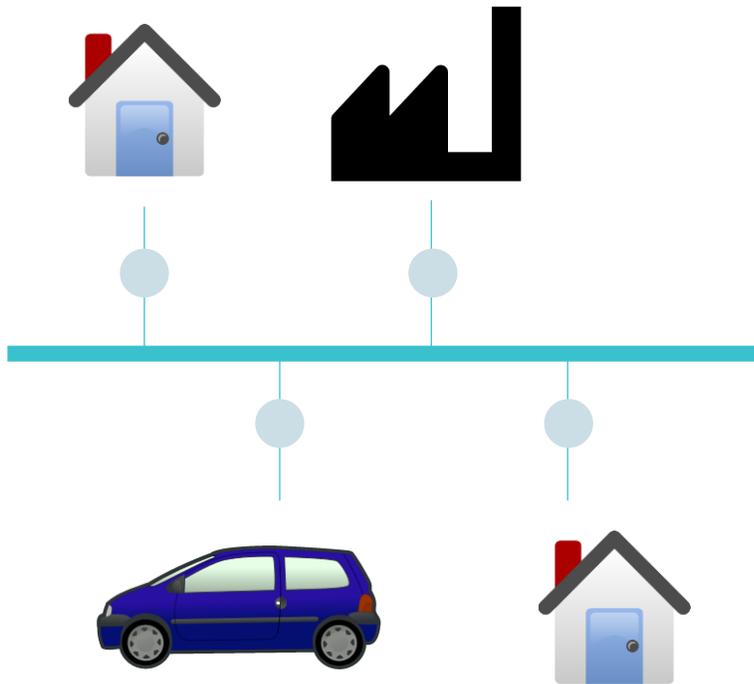
# Übersicht

---

- **Integriertes transportables Wasserstoff-Sensorsystem zur Konzentrations- und Durchflussmessung**
- **MEMS-basierte Ultraschallwandler – CMUTs**
- **Messprinzip**
- **Demonstratoren und erste Messergebnisse**
- **Kooperationen und Entwicklungsprojekte**

# Vor-Ort-Charakterisierung von Wasserstoff-Erdgas-Gemischen

Unsere Vision von einem Produkt für die Wasserstoffsensorik



Integriertes transportables Sensorsystem für die Detektion von

- **Zusammensetzung** des Gasgemischs ( $H_2 / CH_4$ )
- **Volumen** des gepumpten Gases
- Druck und Temperatur des Gemischs

Endnutzer kann Gasgemisch zu folgenden Zwecken überwachen:

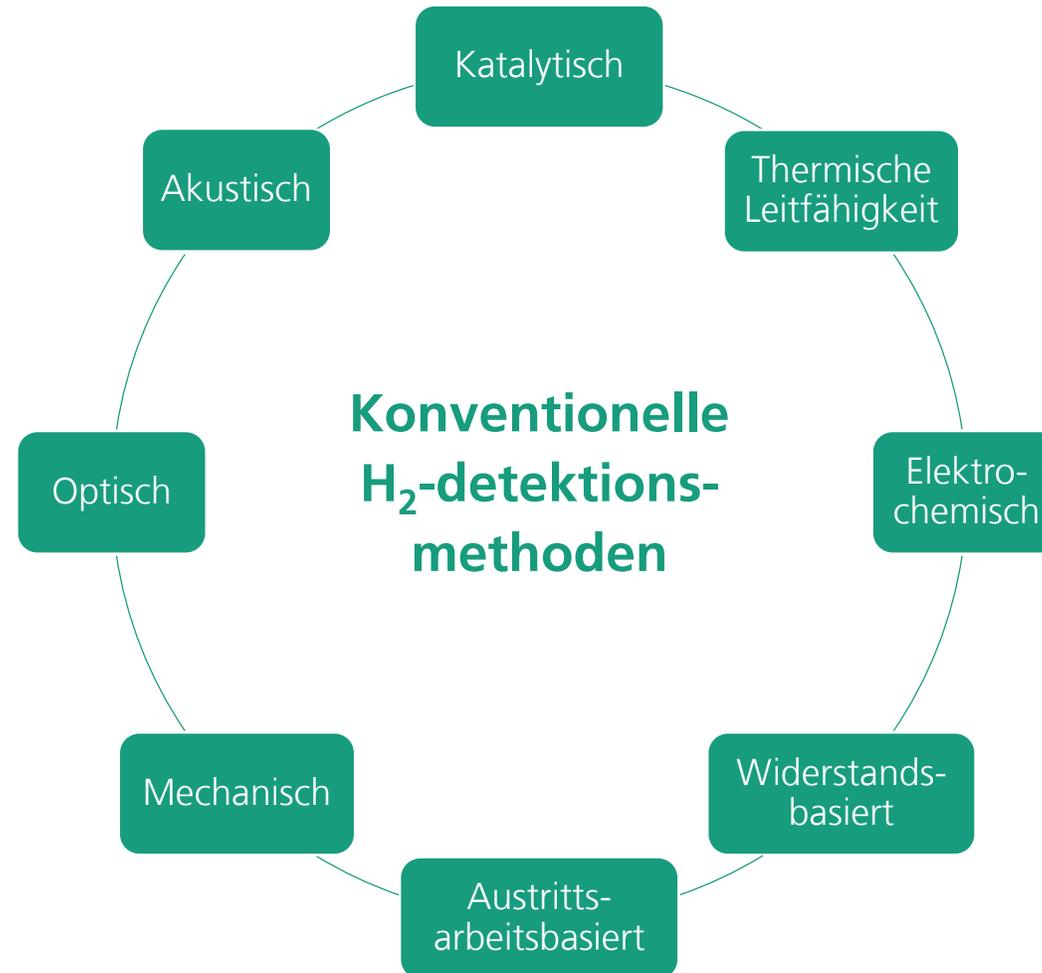
- **Sicherheit:** Wasserstoffgehalt sollte innerhalb vorgeschriebener Grenzwerte liegen.
- **Qualität:**  $H_2$ -Gehalt im Gemisch beeinflusst Brennwert.
- **Kontrolle:** Industrielle Anwendungen erfordern genaue, zeitnahe Schätzung des  $H_2$ -Gehalts.
- **Wirtschaftlichkeit:** Preis, den Nutzer für Gemisch bezahlt, sollte in direktem Zusammenhang mit  $H_2$ -Gehalt stehen.

# H<sub>2</sub>-Detektion

## Konventionelle Methoden

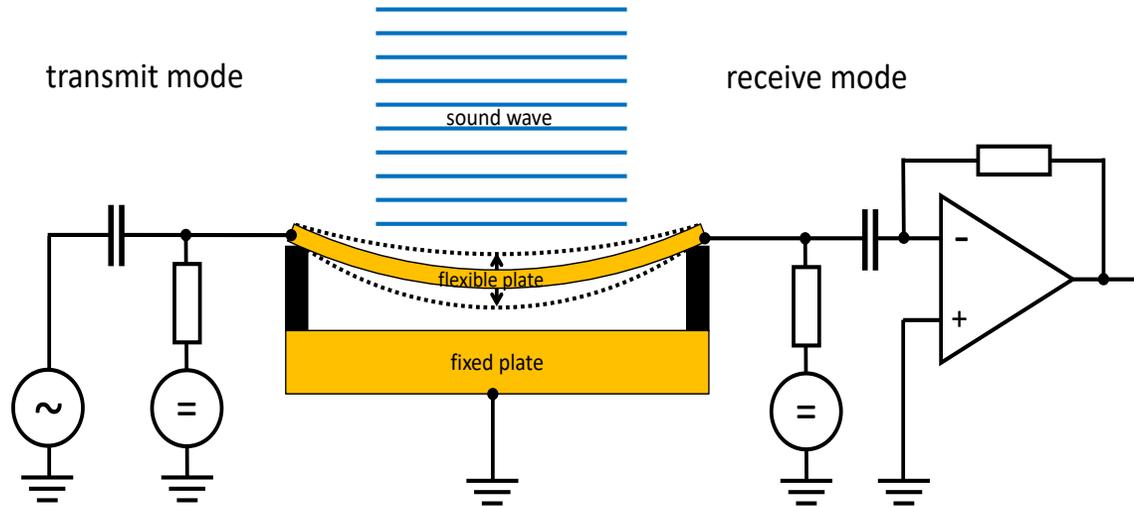


Prozessgaschromatograph  
PGC 9303, Honeywell



# Unser Vorschlag: MEMS-Ultraschallwandler

Fraunhofer IPMS-Entwicklung: „Schwester“-Technologien der Elektrostatik

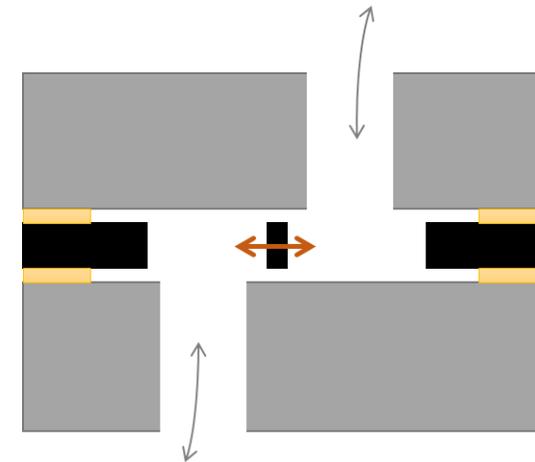


## CMUT

- Bewegung der Membran **senkrecht** zur Wellenfront
- Hochfrequenzbetrieb (1,6 - 1,7 MHz)
- Eingangsspannung oszillierend zwischen 0-100 V

## Horizontaler (in-plane) CMUT

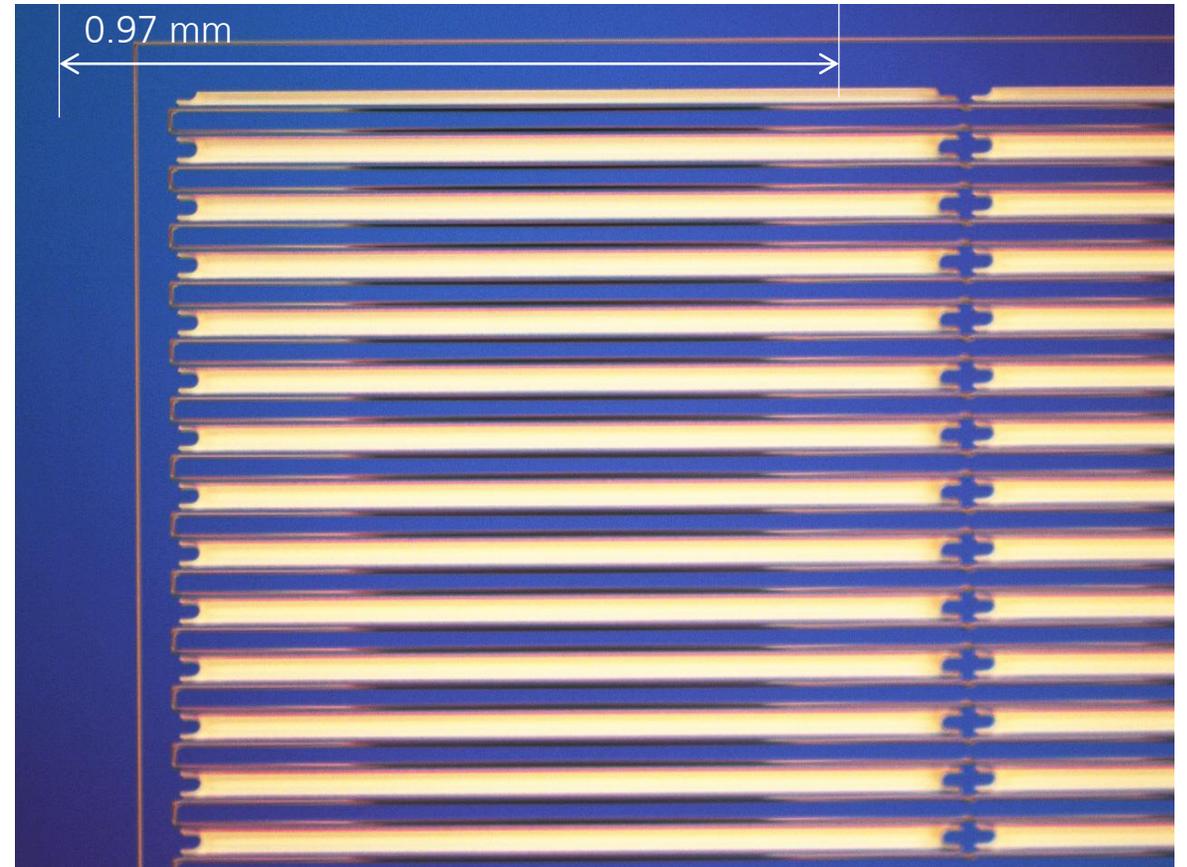
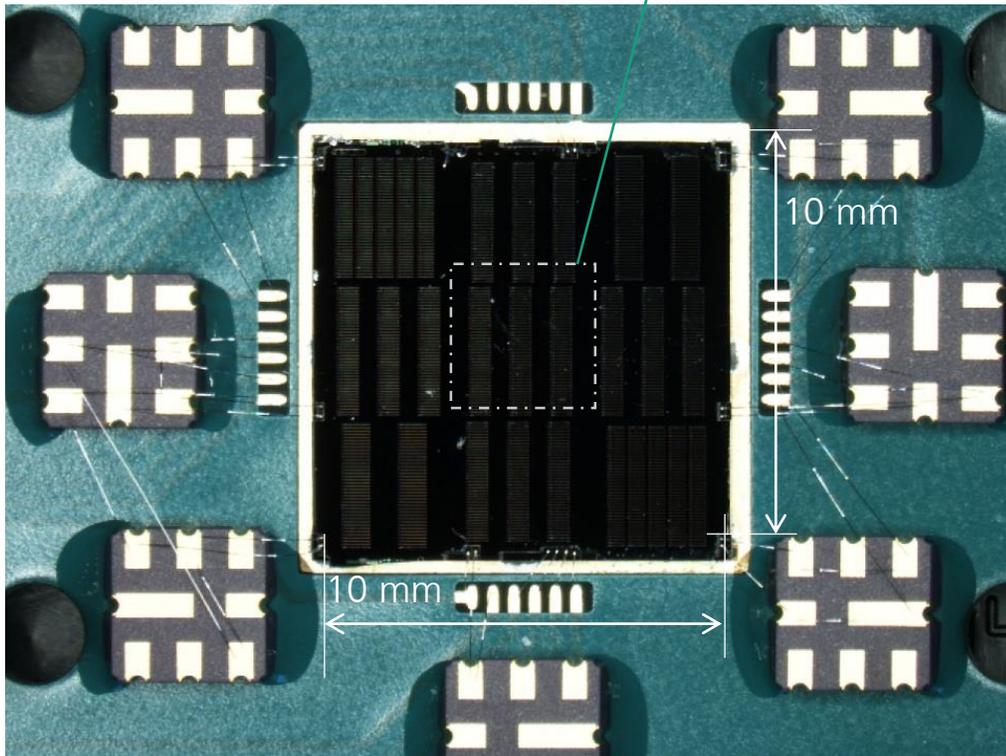
- Bewegung der Membran **parallel** zur Wellenfront
- Niederfrequenzbetrieb (30- 80 kHz)
- Eingangsspannung oszillierend zwischen 0-40 V



# In-Plane CMUT-Chip

## Struktur und Mikrochip-Design

Wandlereinheit: 3x3 mm<sup>2</sup>, 258 Balken



# Gassensor für H<sub>2</sub>-Gehalt in Erdgas

## Messprinzip

### Konzept

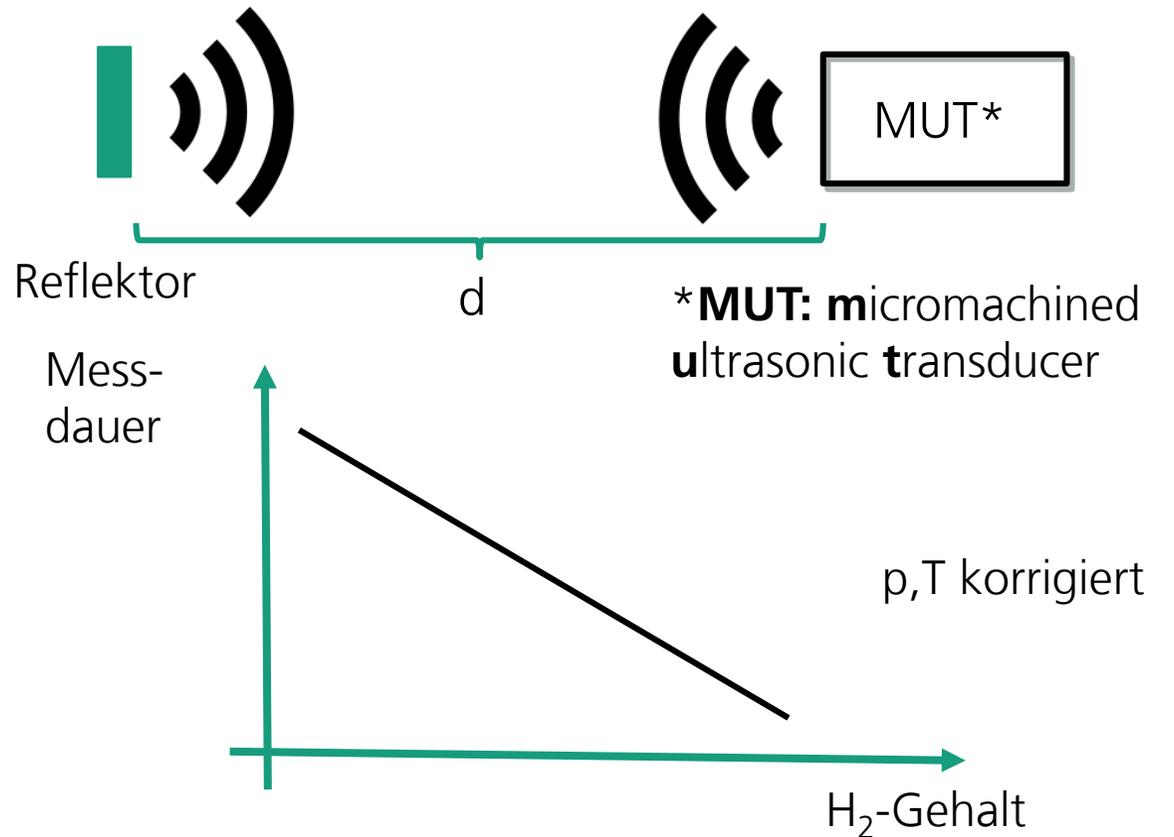
Analyse des Ultraschallinhalts durch Messung der Gasschallgeschwindigkeit

### Vorteile

- Schnelle, direkte Messung
- Kombination mit Durchflussmessung möglich
- Kompakte Integration
- für H<sub>2</sub>-Gehalte >1% kein Sättigungseffekt

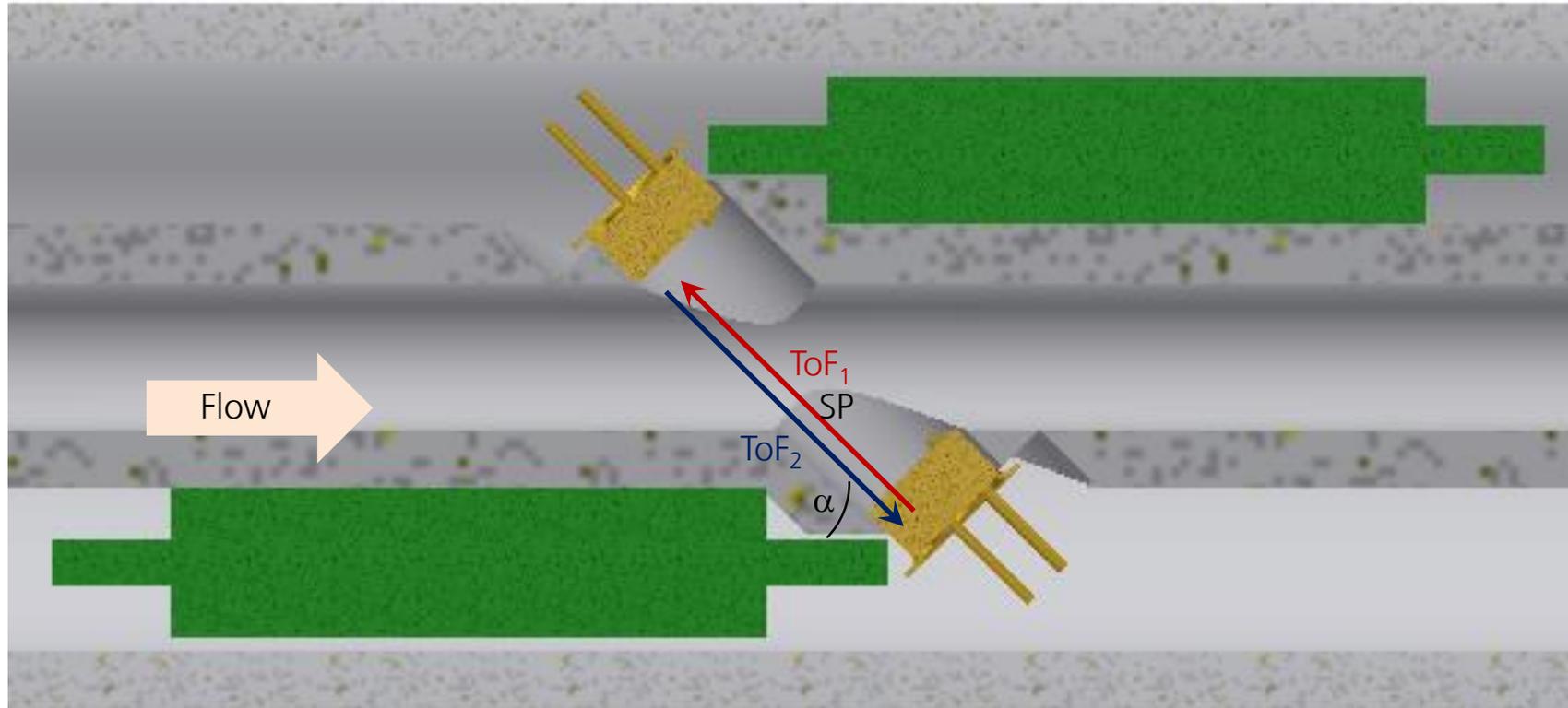
**Schallgeschwindigkeit** (bei Normbedingungen)

- Luft 343 m/s
- Methan 466 m/s
- H<sub>2</sub> 1.270 m/s



# CMUT-Durchflussmesser I

## Prinzip



- Ultraschallbasierte Gasdurchflussmessung  $v_{\text{flow}}$  durch ein Rohr; gleichzeitige Messung der Schallgeschwindigkeit  $c$
- Prinzip: Messung der Phasenverschiebung zweier gegenläufiger Ultraschallsignale im Gasstrom (Laufzeitmessung) → Gasflussgeschw. bzw. Volumenstrom

$$v_{\text{flow}} = \frac{SP}{2 \cdot \cos(\alpha)} \cdot \left( \frac{1}{ToF_2} - \frac{1}{ToF_1} \right)$$

$$c = \frac{2 \cdot SP}{ToF_1 + ToF_2}$$

ToF = Time of Flight  
SP = Sound Path  
 $v_{\text{flow}}$  = Flow Speed  
 $c$  = Sound Velocity

# CMUT-Durchflussmesser II

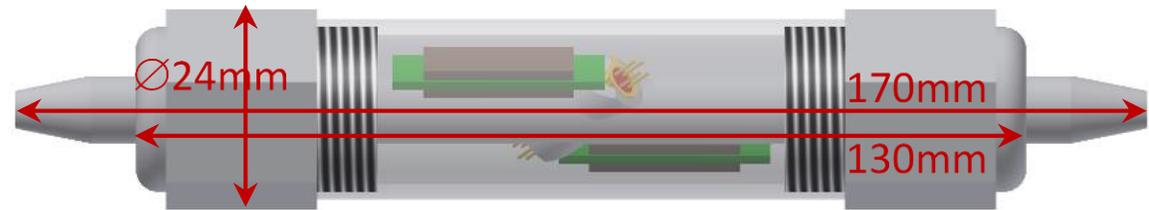
## Technische Daten und Anwendungsfelder

### Technische Daten

- Arbeitsfrequenz > 1MHz
- Messbereich (Luft): 0,02-10L/min
- Auflösung (Luft): 0,02L/min
- Innendurchmesser Messrohr: 6mm
- Anpassung von Messbereichs/Auflösung durch Variation des Rohrdurchmessers:  
kleinere Durchmesser → höhere Auflösung

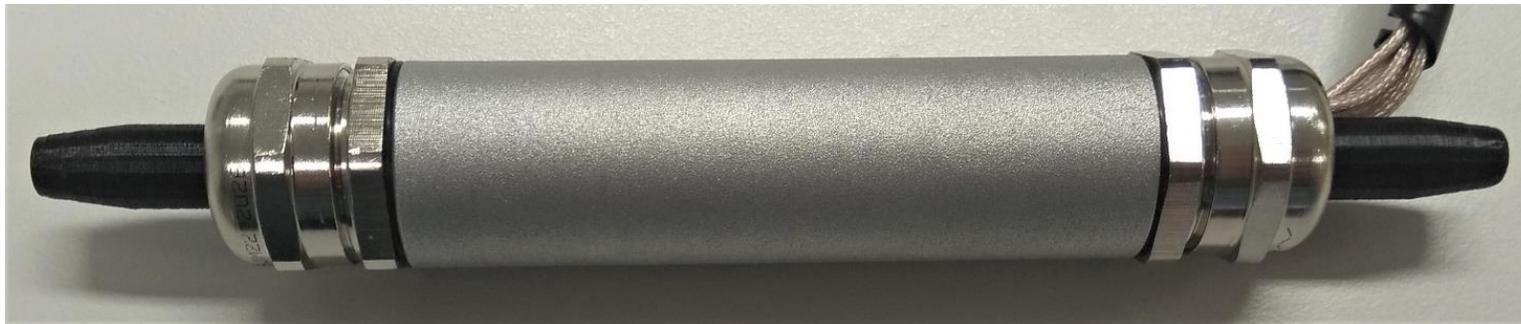
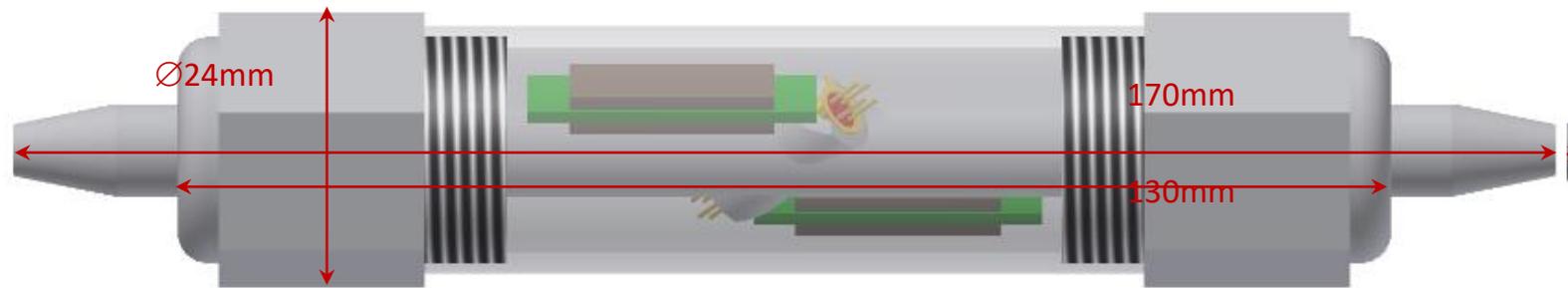
### Anwendungsfelder

- Industrie 4.0:
  - Messung der Durchflussmenge von Gasen und Flüssigkeiten in Rohren,
  - Messung von Gaskonzentrationen oder Mischungsverhältnissen
- Medizintechnik:
  - Messung des Luftvolumens bei Beatmung,
  - Messung von Volumenströmen beim Dosieren von Flüssigkeiten



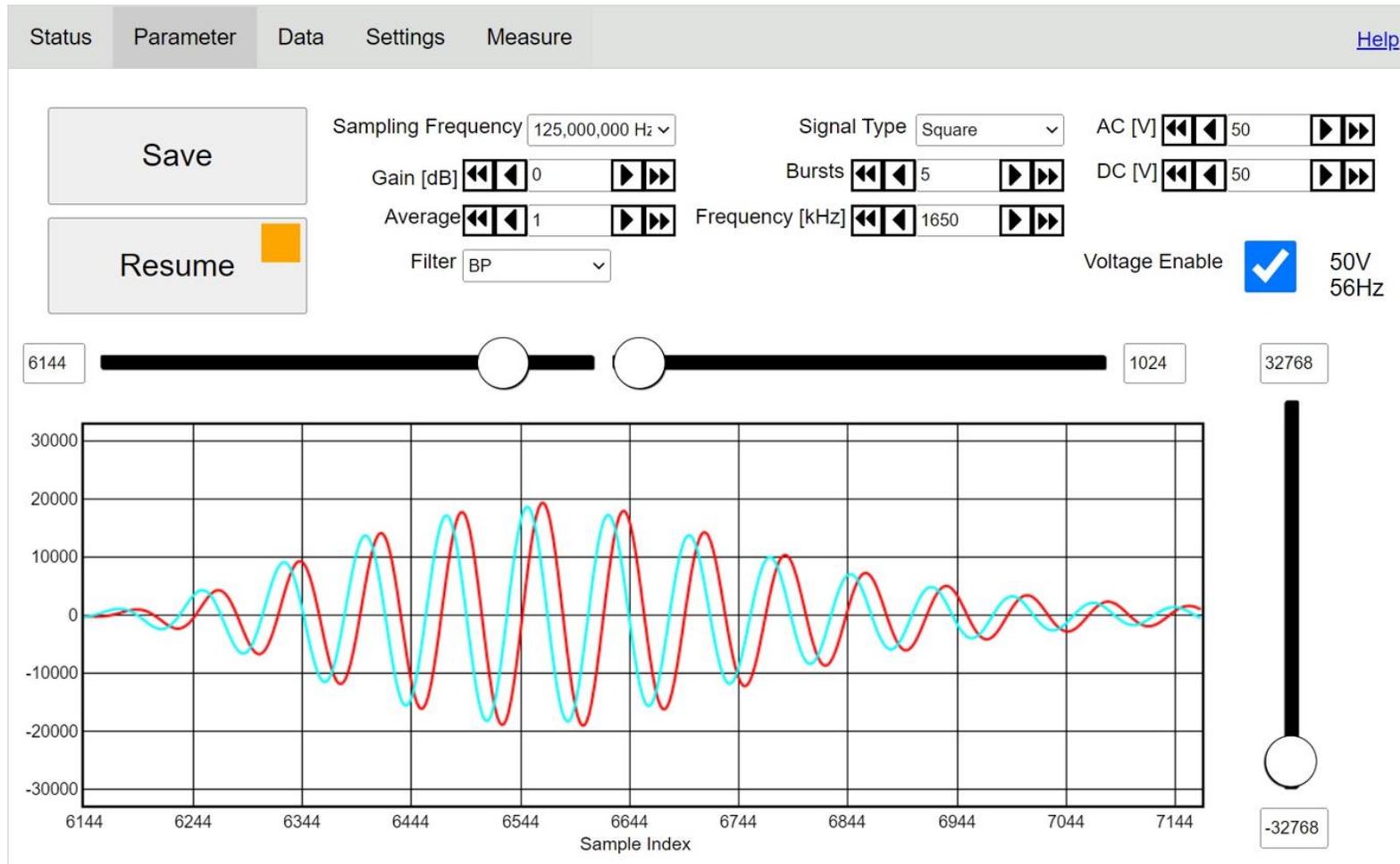
# CMUT-Durchflussmesser II

## Demonstrator



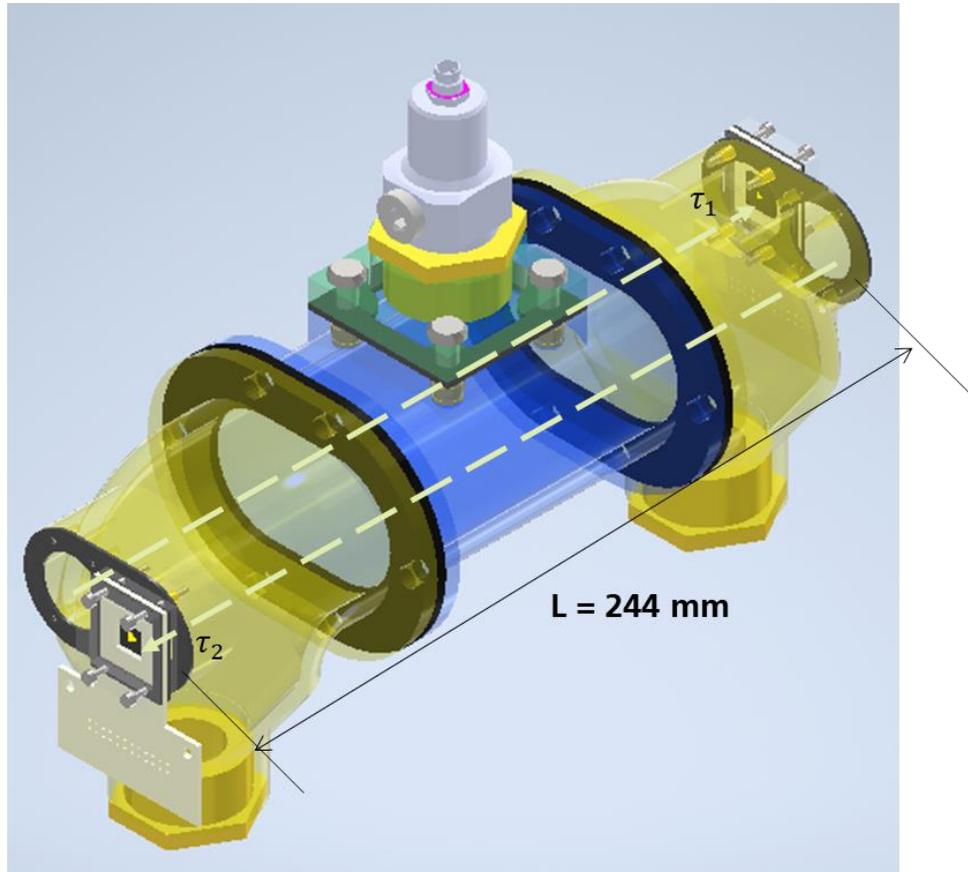
# CMUT-Durchflussmesser III

## Benutzeroberfläche



# Demonstrator für Durchfluss- und Konzentrationsmessung in Gasmischungen

## Konzept



Ziel ist die Erfassung folgender Variablen:

- Volumenstrom
- Schallgeschwindigkeit
- Gaszustand (Temperatur und Druck)

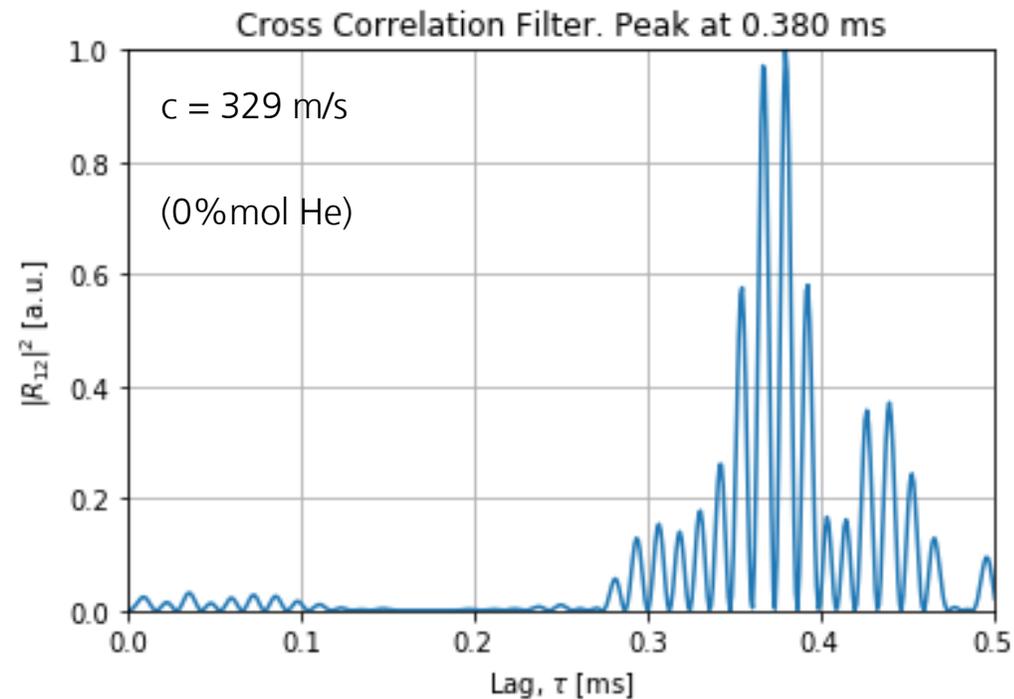
Annahme: Direkter Strahl detektiert (nicht die Reflexion)

$$\begin{aligned} c + v &= \frac{L}{\tau_1} \\ c - v &= \frac{L}{\tau_2} \end{aligned} \quad \longrightarrow \quad \begin{aligned} c &= \frac{L}{2} \left( \frac{\tau_1 + \tau_2}{\tau_1 \tau_2} \right) \\ v &= \frac{L}{2} \left( \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_1 \tau_2} \right) \end{aligned}$$

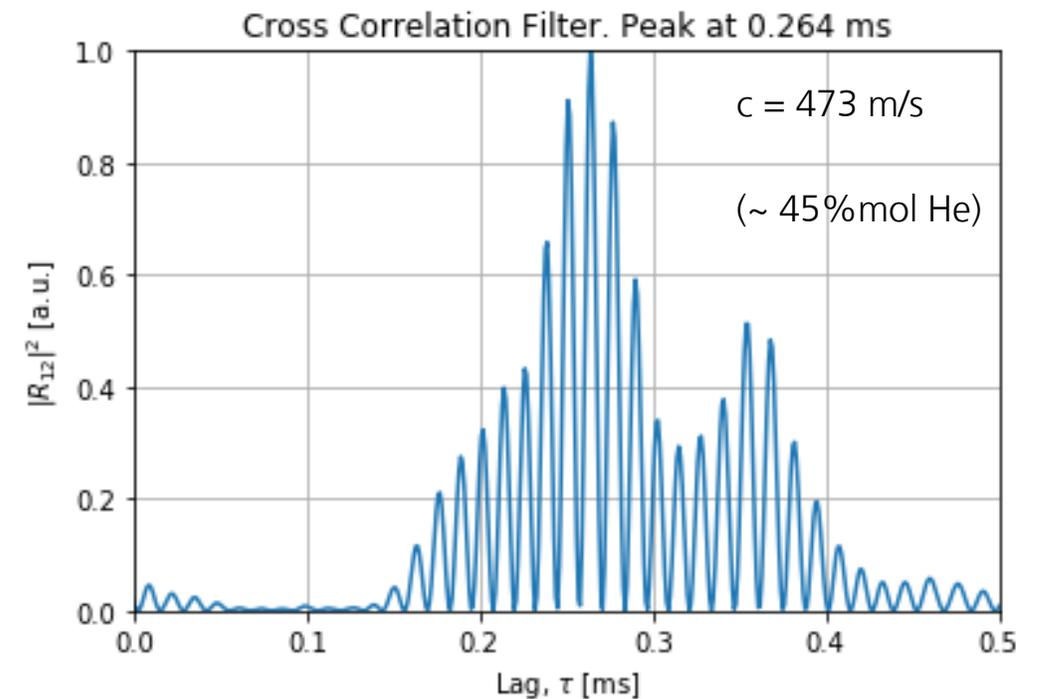
# Messergebnisse kombinierter Demonstrator

Messung der Schallgeschwindigkeit mit in-plane CMUT

## Reine Luft



## Luft + Helium



# ... und was können wir für Sie tun?

## Zusammenfassung

MUTs bieten eine kostengünstige Möglichkeit zur schnellen Charakterisierung von Gasgemisch und Strömung vor Ort

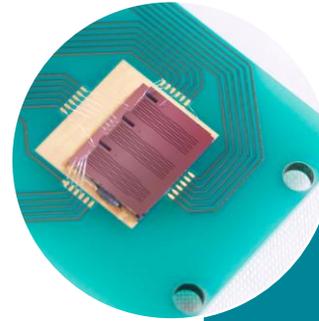
Das Fraunhofer IPMS bietet die Entwicklung von akustisch basierten H<sub>2</sub>-Durchfluss- und Konzentrationssensoren an



Machbarkeitsstudie



Prototypenfertigung



Pilotfertigung & Qualifizierung (bei Erfolg)

## Entwicklungsprojekt (3 Stufig)

- Gesamtlaufzeit ca 10 Jahre

- Öffentliche Projektförderung über Land oder Bund (BMBF, BMWi, Landesförderbanken, EFRE ...)

A photograph of a modern building with a red facade and large glass windows. A glass balcony is visible on the right side. The image is partially obscured by teal-colored text boxes.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

## Kontakt

---

**Priv.-Doz. Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Christine Ruffert**  
**Fraunhofer IPMS – BTU Cottbus-Senftenberg**  
**Stab des stellv. Institutsleiters**  
**Strategisches Business Development und Projektkoordination iCampus**  
**Tel. +49 355 69 4763 / +49 355 49467518**  
**[christine.ruffert@ipms.fraunhofer.de](mailto:christine.ruffert@ipms.fraunhofer.de)**  
**[www.ipms.fraunhofer.de](http://www.ipms.fraunhofer.de)**