

# Ultraschall-Durchflussmesstechnik aus Sachsen – Höchste Präzision für herausfordernde Messstellen weltweit

Dr.-Ing. Thomas Hegewald

**16. Tagung**

**Feinwerktechnische Konstruktion**

**Dresden**

16.-17. November 2023



# Agenda

1. SICK Sensor Intelligence
2. Ultraschall-Durchflussmesstechnik
3. Messunsicherheit -> Geometrische Anforderungen an Messgerät
4. Ultraschall-Wandlerprinzip
5. Geometrische Anforderungen an Ultraschall-Wandler
6. Toleranzen und deren Prüfungen in der Realität
7. Messstellen in der Praxis
8. Zusammenfassung

*„We certainly don't  
need more technology.  
What we need is better  
and more proper  
technology.“*

Dr. Erwin Sick (1909 – 1988),  
German inventor and  
entrepreneur, 1971

**ERWIN SICK**  
Firmengründung 1946

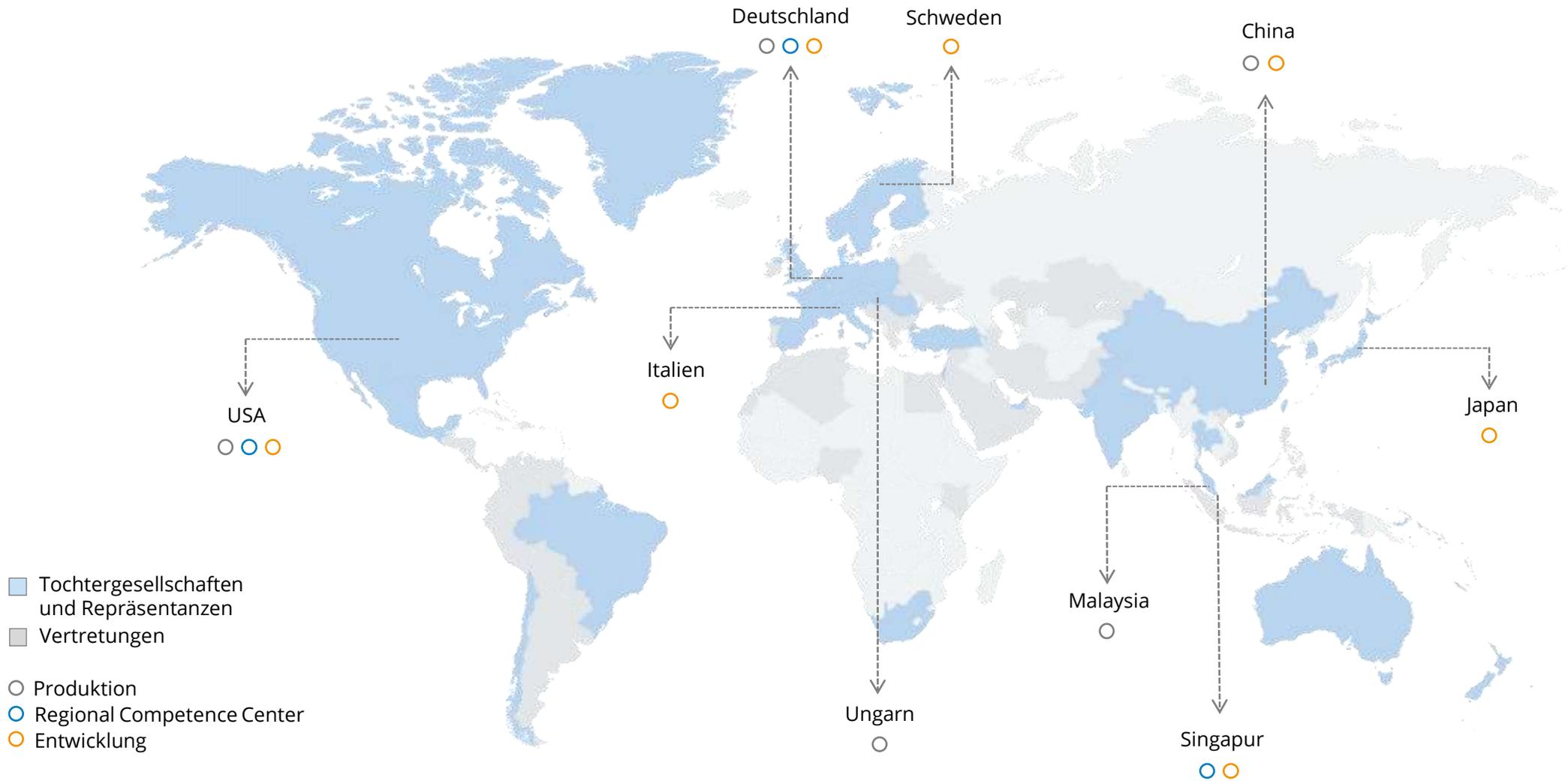
# SICK auf einen Blick

Kennzahlen des Konzerns (Geschäftsjahr 2022)



# SICK auf einen Blick

Standorte weltweit



# SICK in Deutschland

Zum 31.12.2020



SICK AG

4.642 MA

SICK Vertriebs-GmbH, Düsseldorf

567 MA

SICK STEGMANN, Donaueschingen

438 MA

**SICK Engineering, Ottendorf-Okrilla**

302 MA

SICK ATG, Witten

12 MA

**5.961 MA**

# Breites Produkt- und Technologieportfolio



PRESENCE  
DETECTION



INDUSTRIAL  
SAFETY



ANALYZERS



FLOW MEASUREMENT



SYSTEMS



MOTION CONTROL  
SENSORS



IDENTIFICATION &  
MEASURING



NEW  
BUSINESS

# Gas flow measurement applications

## Upstream

FLAWSIC600 DRU



## Midstream

FLAWSIC600-XT



## Downstream

FLAWSIC500





NEARLY EVERY **3**  
**m**

of natural gas used in europe  
and north america has at least once  
passed a **FLOWSIC** gas meter.

# Volume flow and mass flow measuring devices

Powerful measurement principles for natural gas measurement

## Flare Gas

FLOWSIC100 Flare-XT



## Emissions

FLOWSIC100



## Process Gases

FLOWSIC100 Process



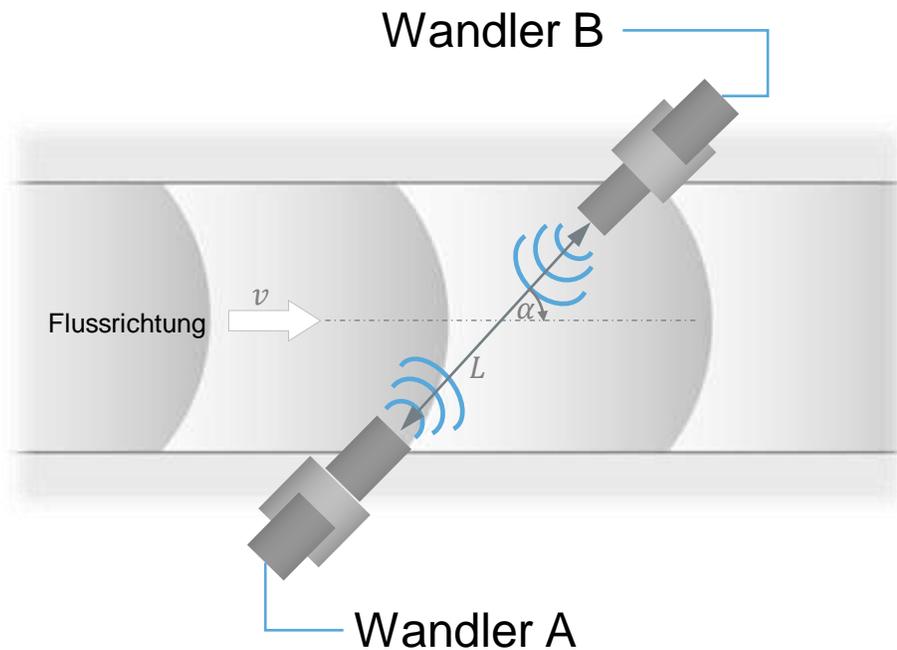
# Ultraschall-Durchflussmessung

Messprinzip -- Mitführeffekt

- › Ultraschallwandler schräg zur Strömung
- › Messung der Laufzeitdifferenz zwischen Richtung AB und BA
- › Berechnung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit in der Ebene der Wandler

$$v = \frac{L}{2 \cdot \cos \alpha} \left( \frac{1}{t_{AB}} - \frac{1}{t_{BA}} \right)$$

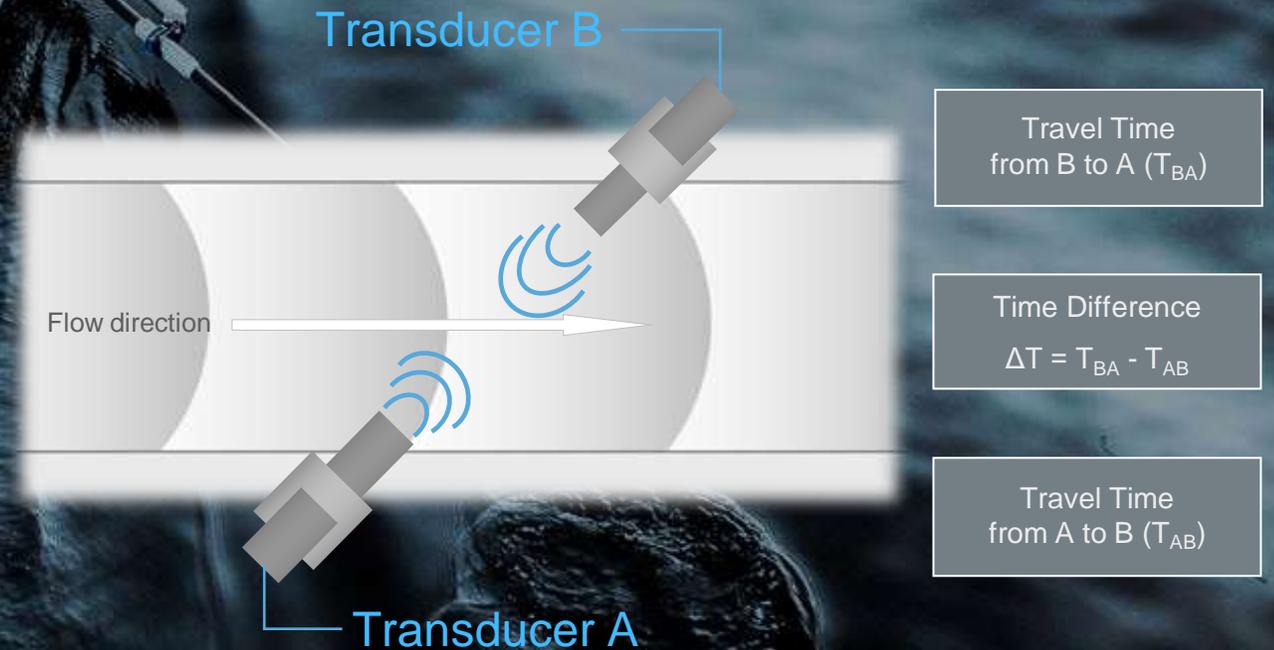
- › Anordnung mehrerer Wandlerpaare über dem Querschnitt, zur präzisen Messung bei nicht idealen Strömungsprofilen



# Ultraschall-Durchflussmessung

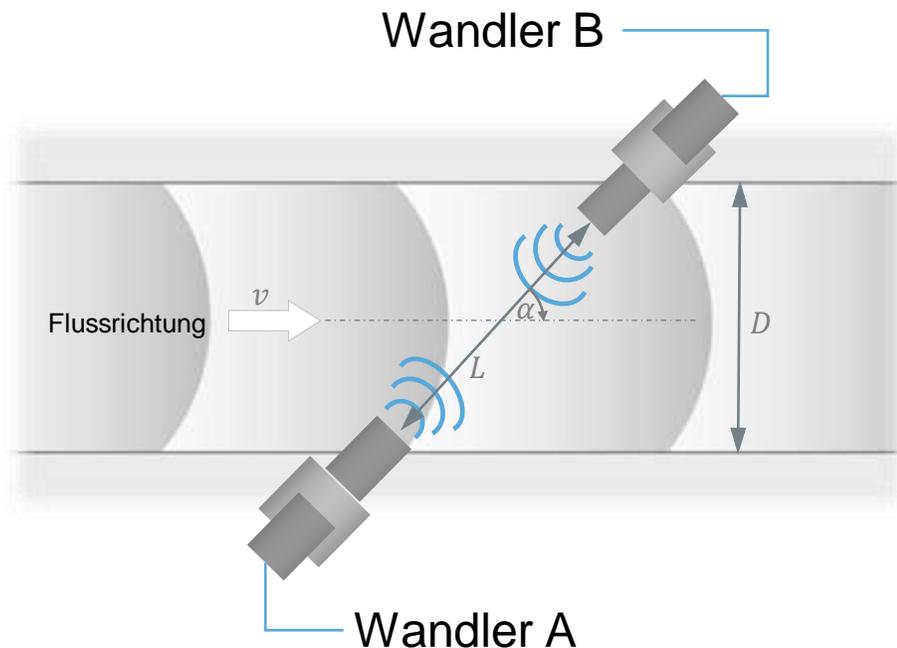
Messprinzip

## › Laufzeitdifferenzmessung



# Ultraschall-Durchflussmessung

Messprinzip -- Mitführeffekt



- › Ultraschallwandler schräg zur Strömung
- › Messung der Laufzeitdifferenz zwischen Richtung AB und BA
- › Berechnung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit in der Ebene der Wandler

$$v = \frac{L}{2 \cdot \cos \alpha} \left( \frac{1}{t_{AB}} - \frac{1}{t_{BA}} \right)$$

- › Anordnung mehrerer Wandlerpaare über dem Querschnitt, zur präzisen Messung bei nicht idealen Strömungsprofilen
- › Berechnung des Volumenstroms  $Q$  aus  $v$  und Innendurchmesser  $D$

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot v$$



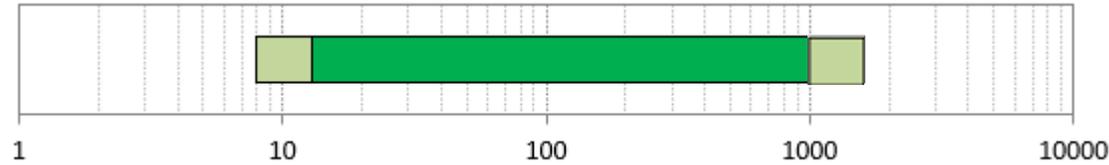
# Messbereiche - Messunsicherheiten

SICK Ultraschall-Gaszähler



› Beispiel. DN100 (4 Zoll)

- $Q_{\min}$ : 8-13 m<sup>3</sup>/h
- $Q_{\max}$ : 1000-1600 m<sup>3</sup>/h

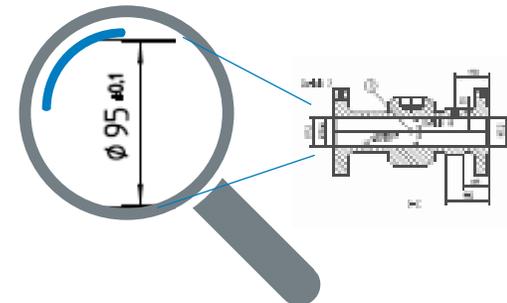


› Wie genau messen wir den Durchfluss?

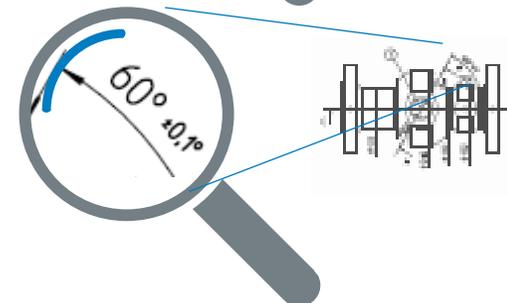
- ≤ 1.0 % („as found“)
- ≤ 0.5 % (trockenkalibriert)
- ≤ 0.1 % (nach Durchflussskalibrierung und Kennlinienjustage)

› Wo sind die Einflüsse auf die Messunsicherheit?

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 \frac{L}{2 \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{t_{BA} - t_{AB}}{t_{AB} \cdot t_{BA}}$$



› Bemaßung Innendurchmesser  $D$



› Bemaßung Pfadwinkel  $\alpha$

# Kundenspezifische Durchflusszähler

Große Vielfalt



<b>Path layouts</b>	2, 4, 4+1, 4+4, 8 - direct
<b>Process temp</b>	-194 ... 280°C
<b>Process pressure</b>	0 ... 450 bar(g)
<b>Customization</b>	Painting, welded pressure taps, material, documentation, ...

# 2"

(DN50)



# 56"

(DN1400)

# Kundenspezifische Durchflusszähler

Große Vielfalt



Path layouts	2, 4, 4+1, 4+4, 8 - direct
Process temp	-194 ... 280°C
Process pressure	0 ? 450 bar(g)
Customization	Painting, welded pressure taps, material, documentation, ...

## Aber wo ist denn hier die Feinwerkwerktechnik?

**2"**

(DN50)

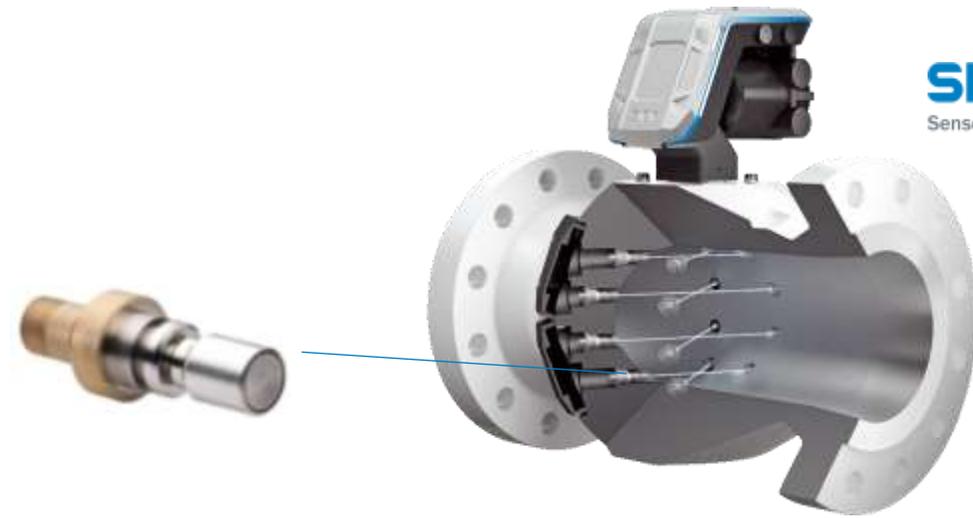


**56"**

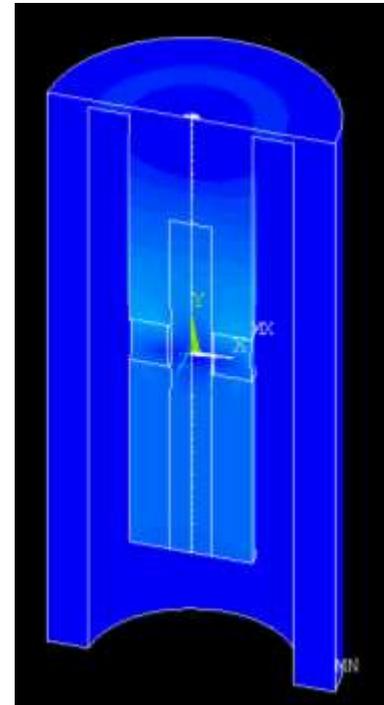
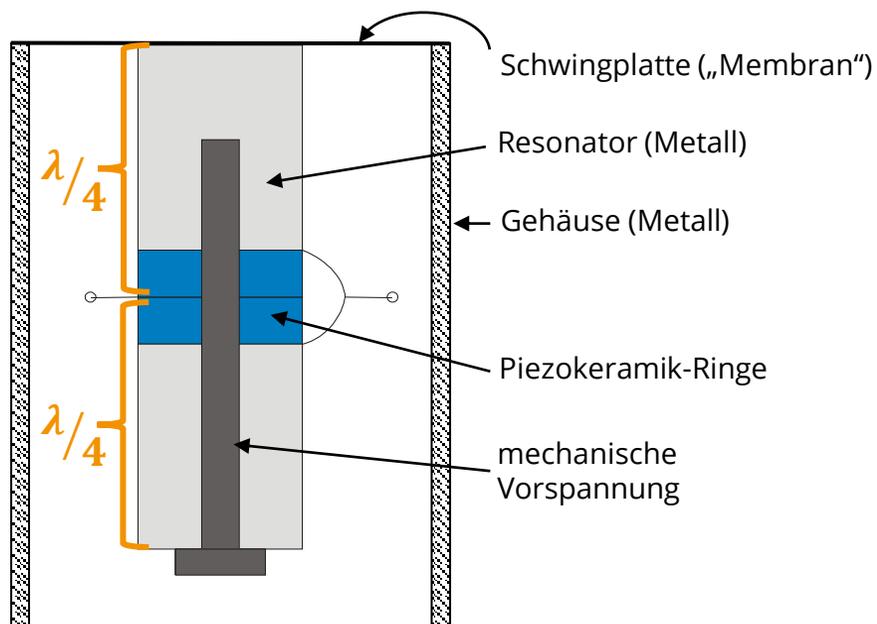
(DN1400)

# Ultraschallwandler

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot \frac{L}{2 \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{t_{BA} - t_{AB}}{t_{AB} \cdot t_{BA}}$$



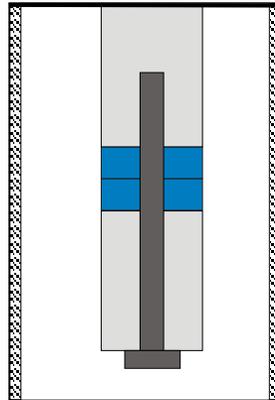
- › Wandler nach dem Verbundschwingerprinzip



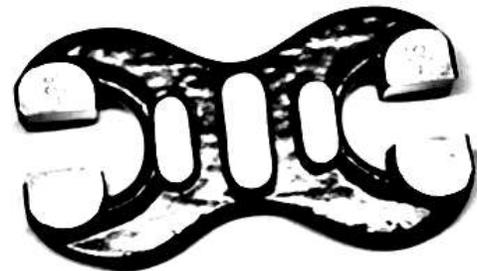
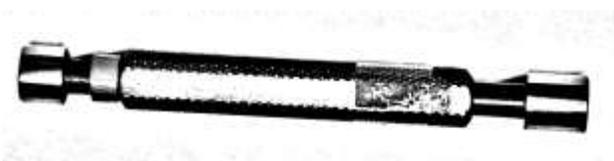
- › Auch „ $\lambda/2$ -Schwinger“ oder „Langevin-Schwinger“
  - Resonanzfrequenz  $f_0 \sim \frac{1}{\text{Länge}}$
  - Vergleichsweise niedrige akustische Impedanz der schallabgebenden Schwingplatte
  - Gehäuse vollständig in Metall ausführbar
  - Skalierbar
  - Komplexer mechanischer Aufbau

# Ultraschallwandler

Konstruktive Details – Herausforderungen für die Serienproduktion



- › Fügengewinde mit sehr kleiner Steigung
- › Alternativ Fügepassung
- › Plattenstärke sehr anspruchsvoll
- › Hohe Oberflächengüten, z.B. für Piezoauflage
- › Dichtgeometrie

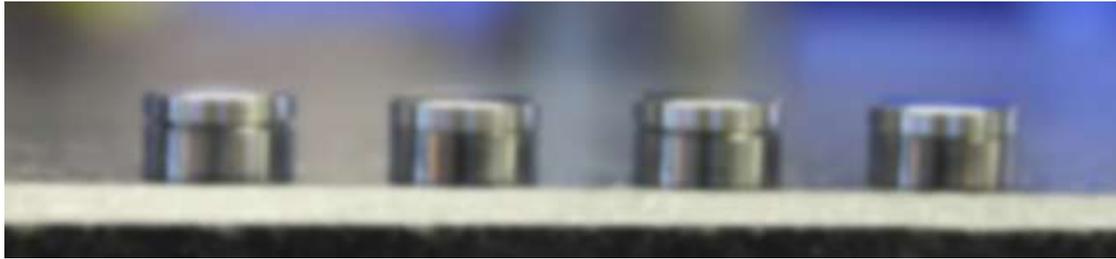


- › Prüfung mit Lehren

# Ultraschallwandler

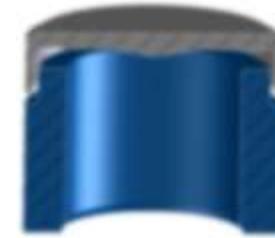
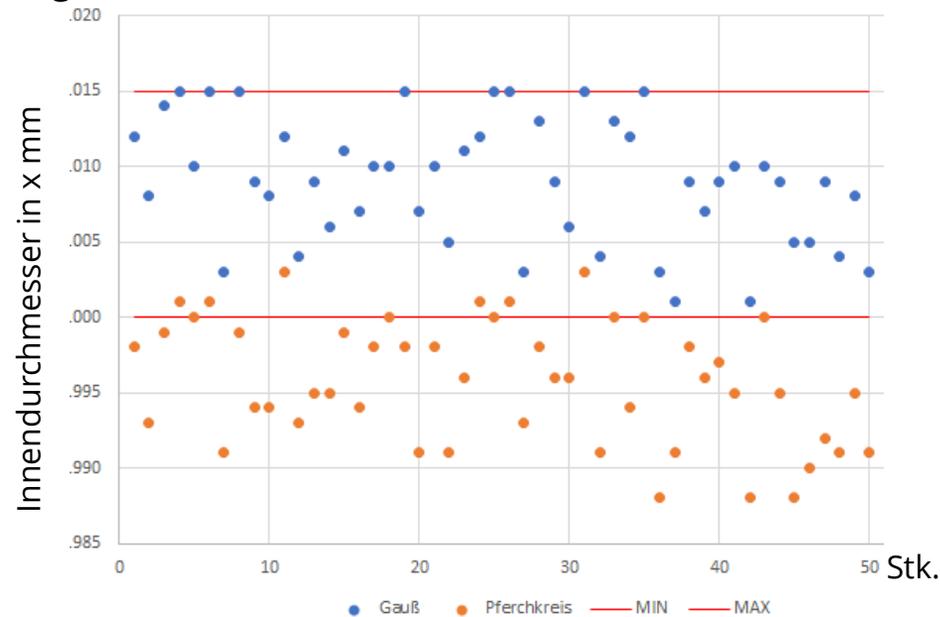
Konstruktive Details – Herausforderungen für die Serienproduktion

› Doch:



› Trotz Gut-Prüfung kein einheitliches Fügebild 😞

› Also Maßprüfung mit Koordinatenmessmaschine



Gauß-Kreis ?

Bildquelle: commons.wikimedia.org



Pferchkreis ?

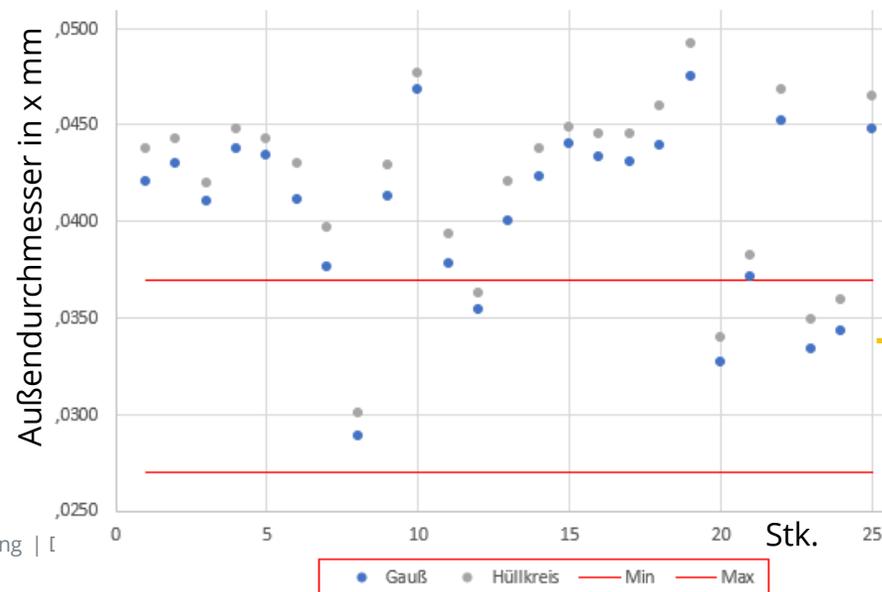
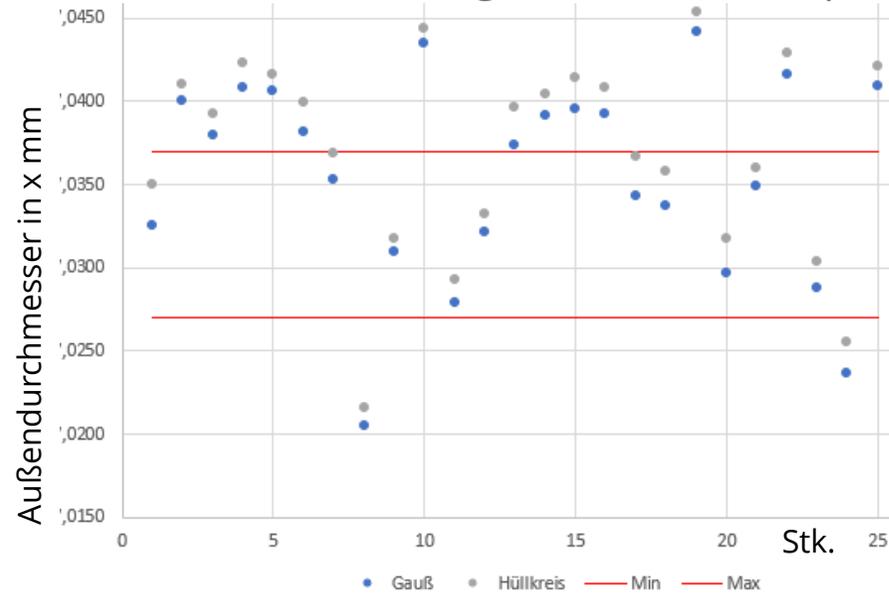


Hüllkreis ?

# Ultraschallwandler

## Konstruktive Details – Herausforderungen für die Serienproduktion

- › Maß X u6



- › Fügefläche ist leicht konisch
- › Fügekräfte variieren stärker
- › **Fazit: Wenn Ursache bekannt, Abstellung gezielt möglich**

# Ultraschallwandler

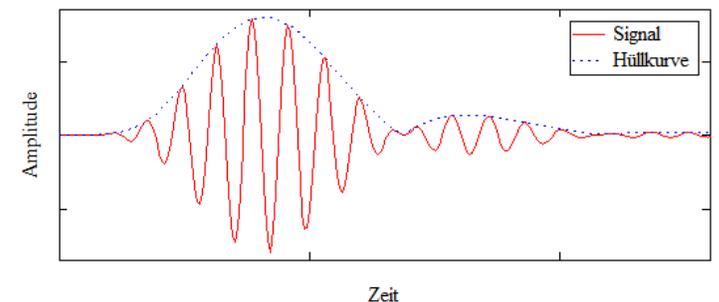
Präzision und Zuverlässigkeit

- › Typische Systemfrequenzen von 80 bis 330 kHz (auch 18 Hz bis 2 MHz)
- › Bis 450 bar (45 MPa) Mediumsdruck
- › Verschiedenste Gase
  - Luft/Stickstoff
  - Sauerstoff
  - Erdgas/Methan
  - CO<sub>2</sub>
  - Wasserstoff
  - ...
- › Differenzzeitunsicherheit  $\Delta t < 5$  ns (je nach System)



18 kHz  300 kHz

Typische Form Empfangssignal



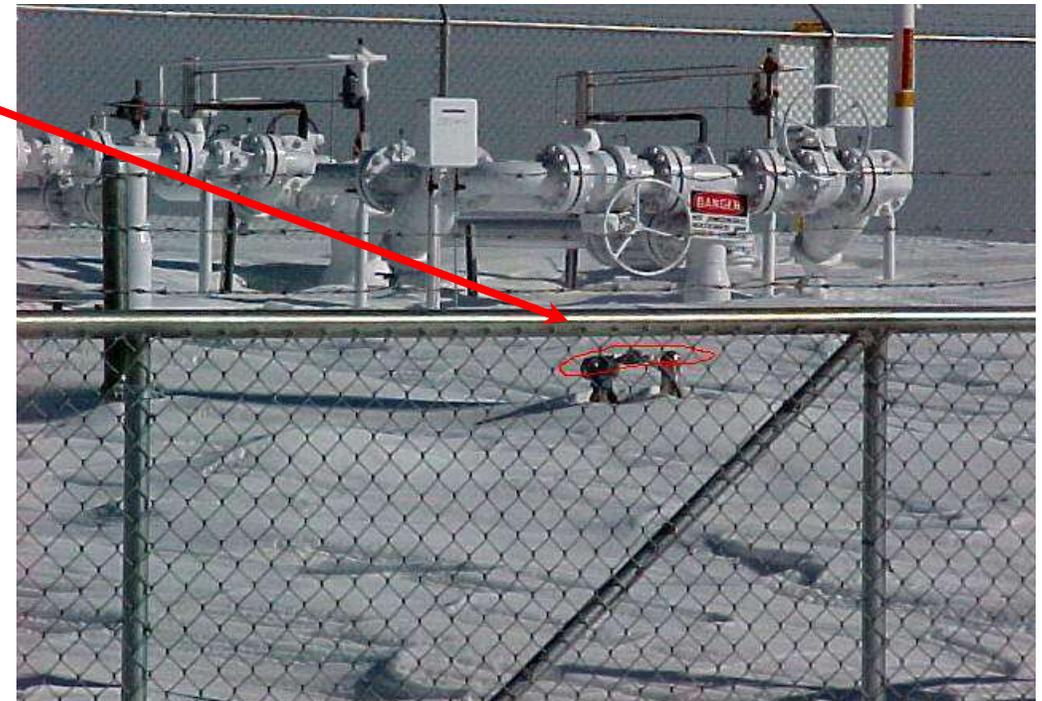
# Zuverlässigkeit in der Praxis

Einsatz in extrem korrosiven und verschmutzten Gasen



# Zuverlässigkeit in der Praxis

Einsatz in schwierigen klimatischen Bedingungen



# Zuverlässigkeit in der Praxis

Einsatz in schwierigen klimatischen Bedingungen



# Zusammenfassung

- › Genauigkeit im großen und im kleinen notwendig
- › Qualitätsprüfung mit den richtigen Prüfmitteln durchführen
- › Moderne Prüfmethoden verstehen und richtig einsetzen
  
- › Durchflussmesstechnik bei SICK ist die Integration von
  - Verständener Strömungsmechanik
  - Intelligenter akustischer Auslegung
  - Hochspeziellem Elektronikdesign
  - Anspruchsvoller Signalverarbeitung
  - Handfestem Maschinenbau
  - Feinwerktechnischer Präzision
  - ...
- › **Robuste und exakte Messungen von Gasdurchfluss weltweit**





# Fragen?

Dr.-Ing. Thomas Hegewald  
SICK Engineering GmbH  
Bergener Ring 27  
01458 Ottendorf-Okrilla, Germany  
thomas.hegewald@sick.de  
<http://www.sick.com>