



Entwicklung eines Kapazitätssensors zur Gasgehaltsmessung unter Verwendung von QuickField

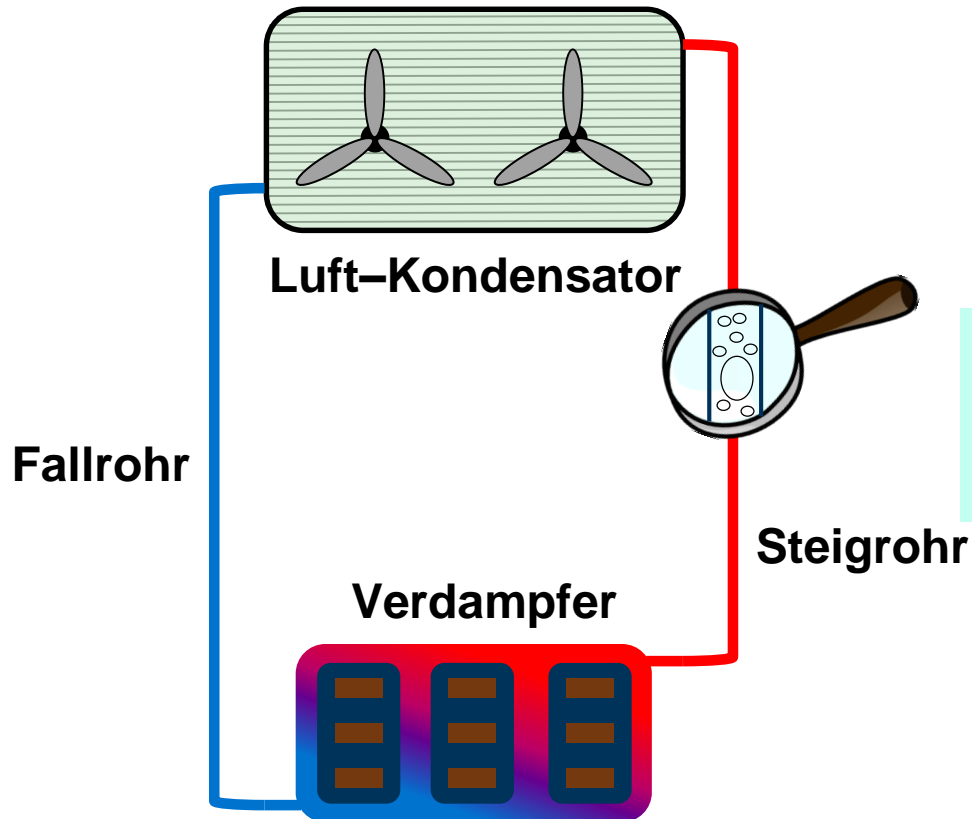


Tobias Gschnaidtner

t.gschnaidtner@hotmail.com



Motivation: Sensor zur Messung von Zweiphasenströmungen



Optimierung



Kapazitätssensor
(Gasgehalt von Luft-Wasser
Zweiphasenströmung)

$$\alpha = \frac{V_g}{V}$$

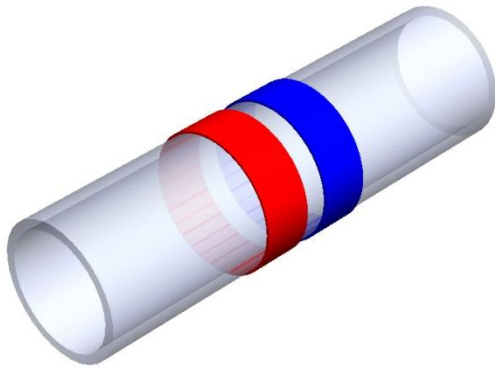


Agenda

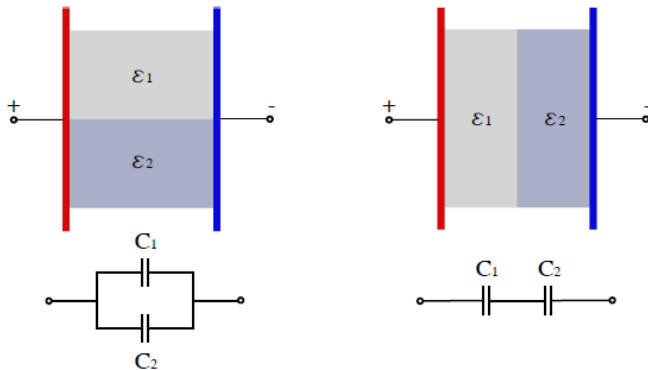
- 1 Problembeschreibung**
- 2 Modelbeschreibung**
- 3 Methode**
- 4 Numerische Ergebnisse**
- 5 Experimenteller Aufbau**
- 6 Vergleich der Ergebnisse**
- 7 Schlussfolgerungen**



Kapazitätssensor basierend auf zwei Ringen



Analytische Annäherung
(Idealer Plattenkondensator)



QuickField

Optimierung des Sensors
(Hohe Sensitivität)

Kalibrierung des Sensors
(Keine lineare Abhängigkeit)

Numerische Annäherungen



Annahmen zur Vereinfachung der Problembeschreibung

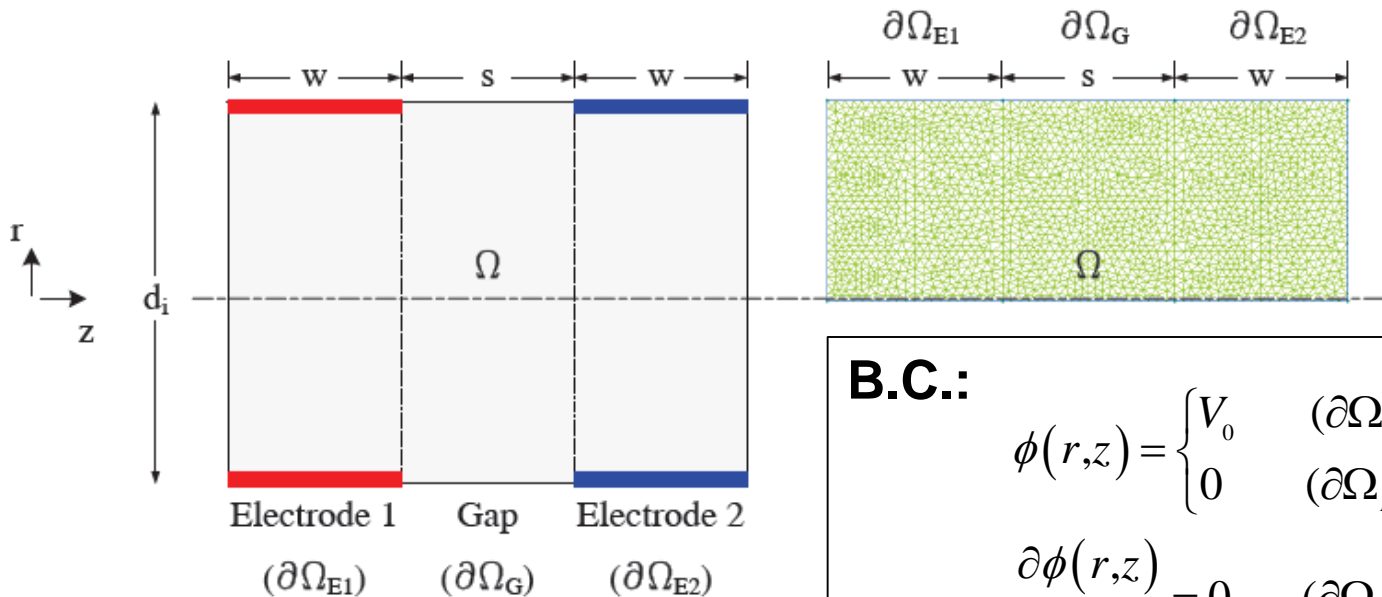
- Vernachlässigung des Streufeldes
- Konstante relative Permittivitäten
- Keine freien Ladungsträger
- Elektrostatische Rechnung
- Axensymmetrische Geometrie

Laplace Gleichung:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \cdot \left(\varepsilon_r(r,z) \cdot r \cdot \frac{\partial \phi(r,z)}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left(\varepsilon_r(r,z) \cdot \frac{\partial \phi(r,z)}{\partial z} \right) = 0$$



Numerisches Modell: Optimierung des Sensors hinsichtlich der Sensitivität



$$\text{Sensitivity} = C_l - C_g$$

$$C = 2 \cdot \frac{W}{\Delta V^2}$$

B.C.:

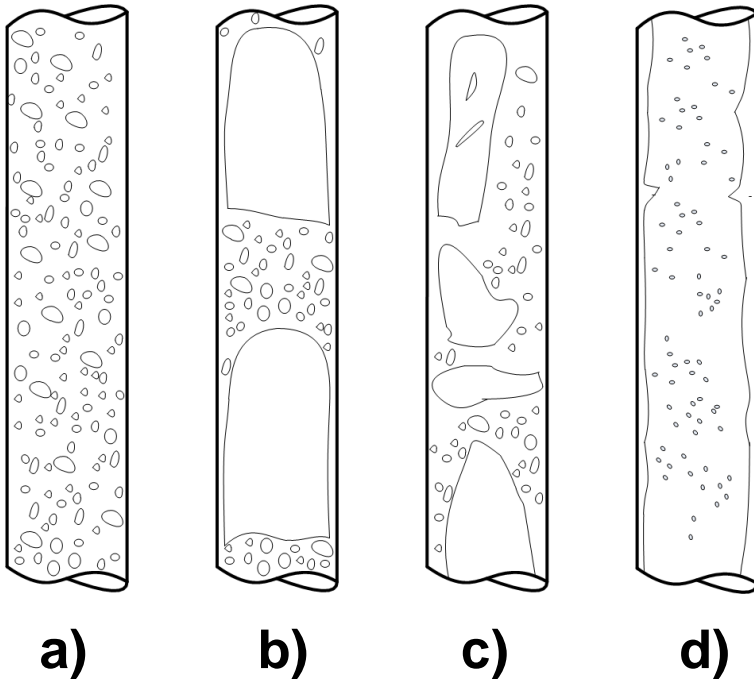
$$\phi(r, z) = \begin{cases} V_0 & (\partial\Omega_{E1}) \\ 0 & (\partial\Omega_{E2}) \end{cases}$$

$$\frac{\partial\phi(r, z)}{\partial r} = 0 \quad (\partial\Omega_G)$$

$$\frac{\partial\phi(r, z)}{\partial z} = 0 \quad (\text{left, right})$$



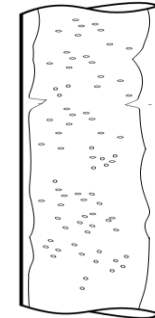
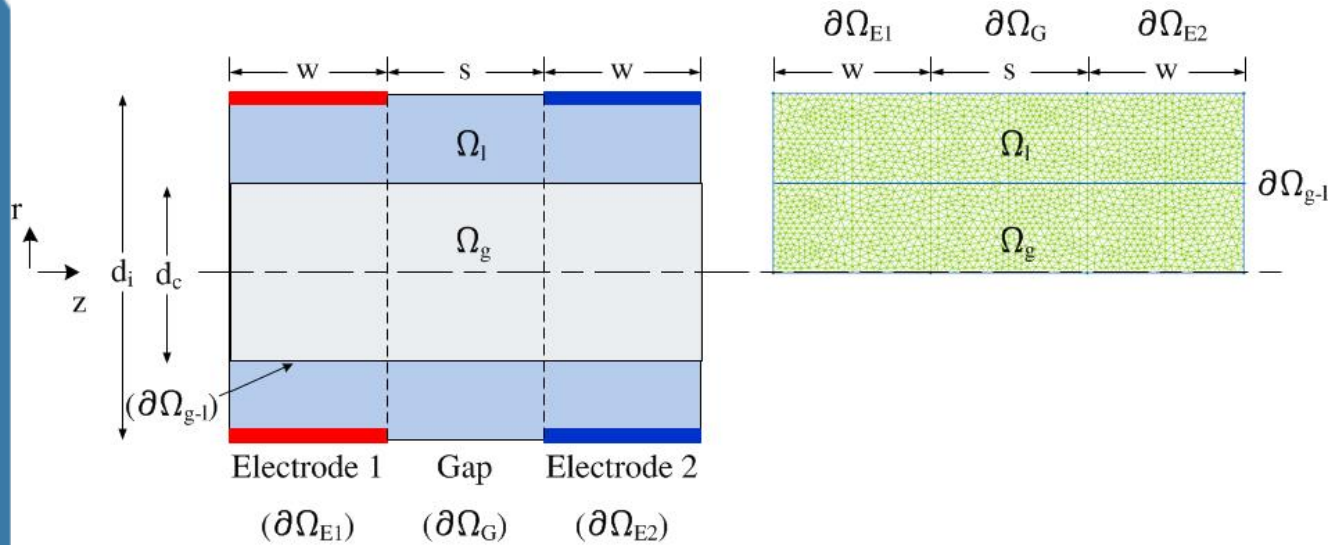
Numerisches Modell: Signal des Sensors abhängig von Strömungsform



- a) **Blasenströmung: Maxwell-Modell**
 - b) **Intermittierende**
 - c) **Strömung**
 - d) **Ringströmung: Gas-Kern-Model**
- } **Kombination aus a) and d)**



Numerisches Modell: Ringströmung

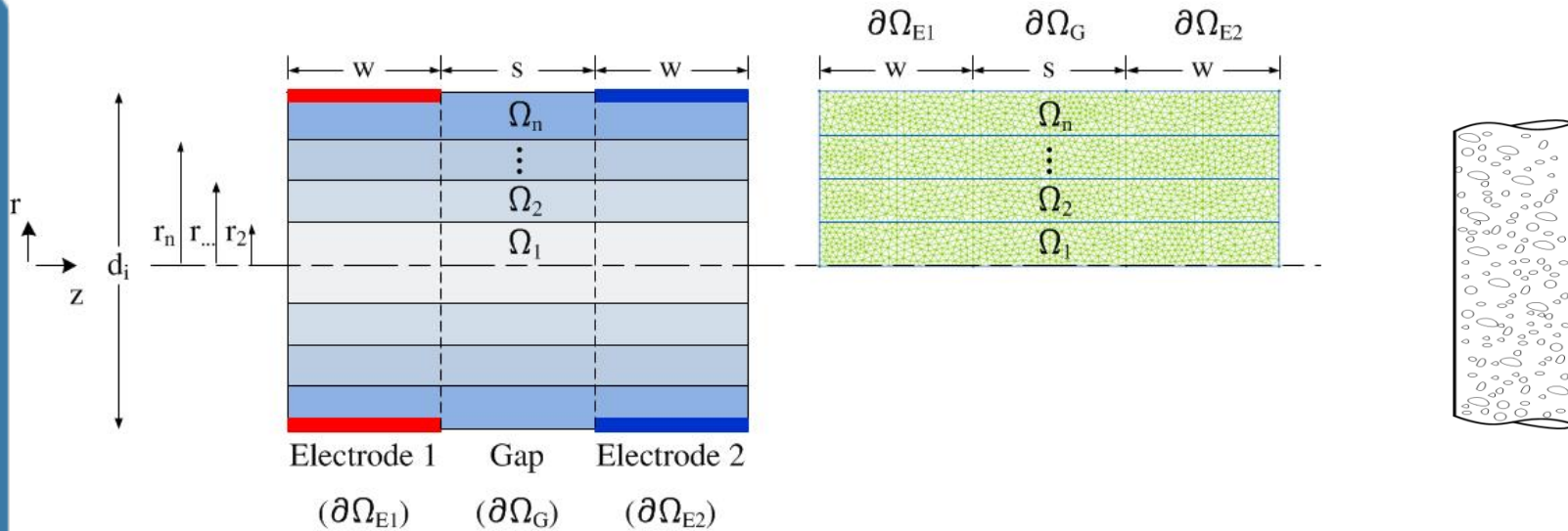


B.C.:

$$\varepsilon_l \cdot \frac{\partial\phi(r,z)}{\partial z} \Big|_{r=r_c} = \varepsilon_g \cdot \frac{\partial\phi(r,z)}{\partial z} \Big|_{r=r_c} \quad (\partial\Omega_{g-l})$$



Numerisches Modell: Blasenströmung



$$\alpha\left(\frac{r}{R}\right) = \langle\alpha\rangle \cdot \frac{n+2}{n} \cdot \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^n\right]$$

$$\varepsilon_m\left(\frac{r}{R}\right) = \varepsilon_l \cdot \frac{1 + 2 \cdot \alpha\left(\frac{r}{R}\right) \cdot \frac{\varepsilon_g - \varepsilon_l}{\varepsilon_g + 2 \cdot \varepsilon_l}}{1 - \alpha\left(\frac{r}{R}\right) \cdot \frac{\varepsilon_g - \varepsilon_l}{\varepsilon_g + 2 \cdot \varepsilon_l}}$$



Methode: MATLAB als Automation Client

QuickField

MATLAB

MATLAB

QuickField

MATLAB

Grundlegende Einstellungen

(Problemtyp, Modelklasse, Geometrie,...)

Einstellung der Anfangsparameter

(Physikalische und geometrische Eigenschaften)

Serielle Analyse

(Physikalische und geometrische Eigenschaften)

Lösung des Problems

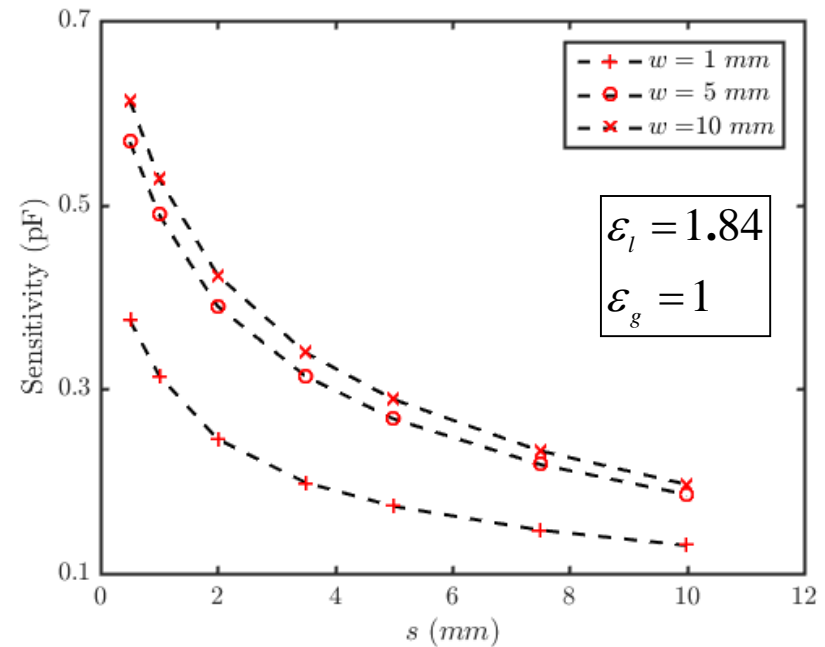
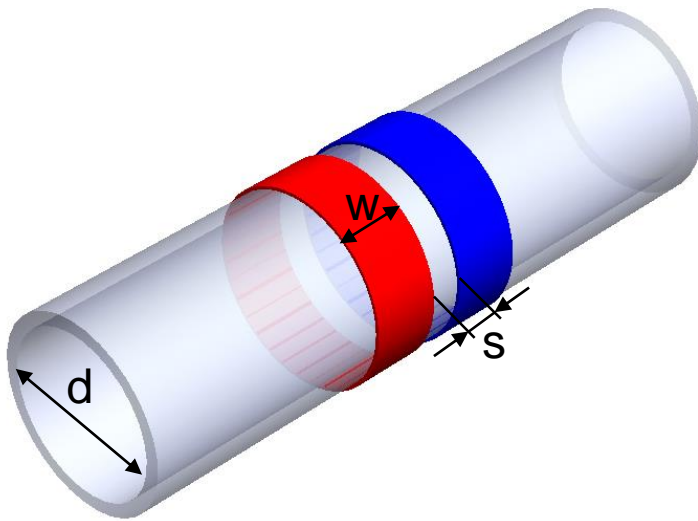
(Berechnung der Fälle und Lösung)

Evaluierung der Ergebnisse

(Ermittlung der Kapazität, Graphen,...)



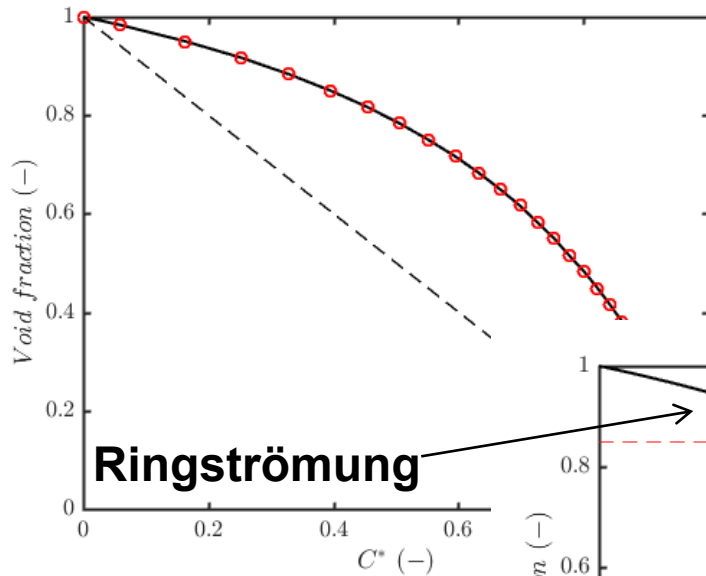
Numerische Ergebnisse: Optimierung des Sensors



Auslegungsparameter: $\frac{w}{d} = 0.42$ $\frac{s}{d} \leq 0.08$

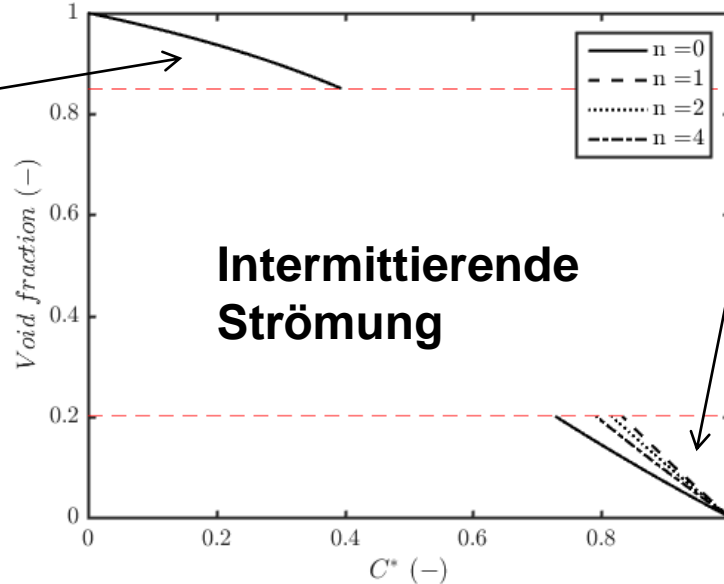


Numerische Ergebnisse: Kalibrierkurve für Luft und destilliertes Wasser

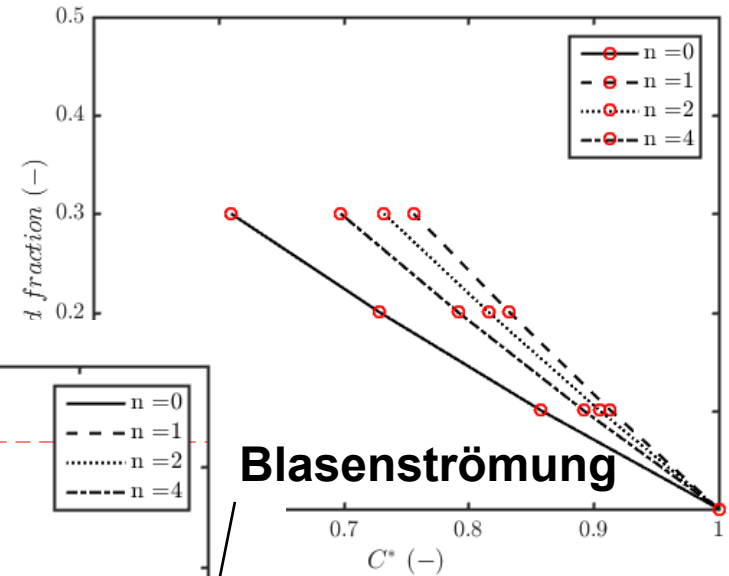


Ringströmung

$$C^* = \frac{C - C_g}{C_l - C_g}$$



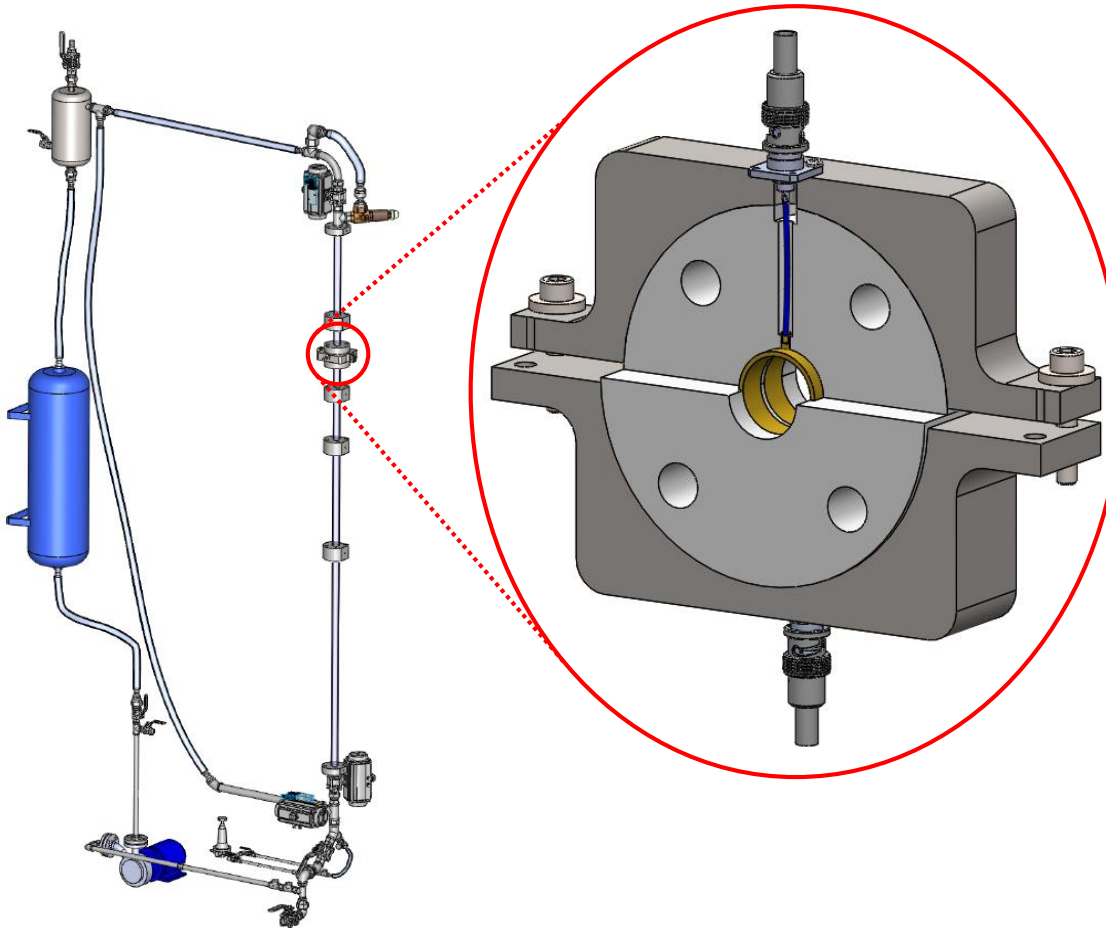
Intermittierende Strömung



Blasenströmung



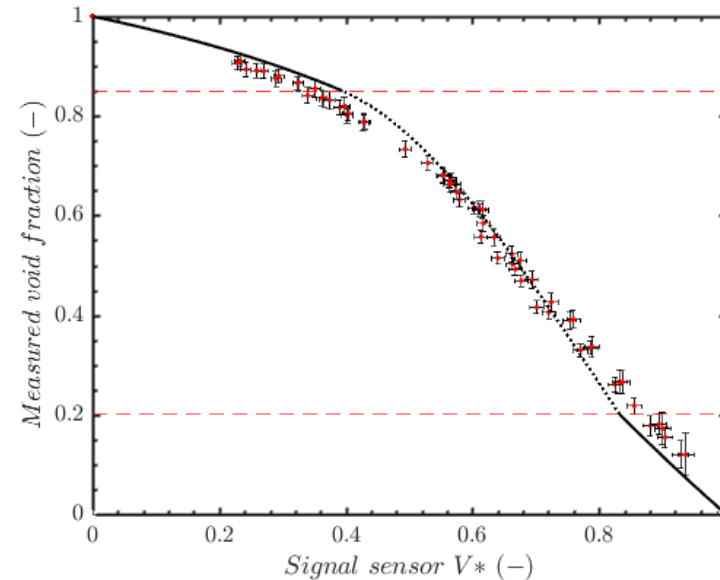
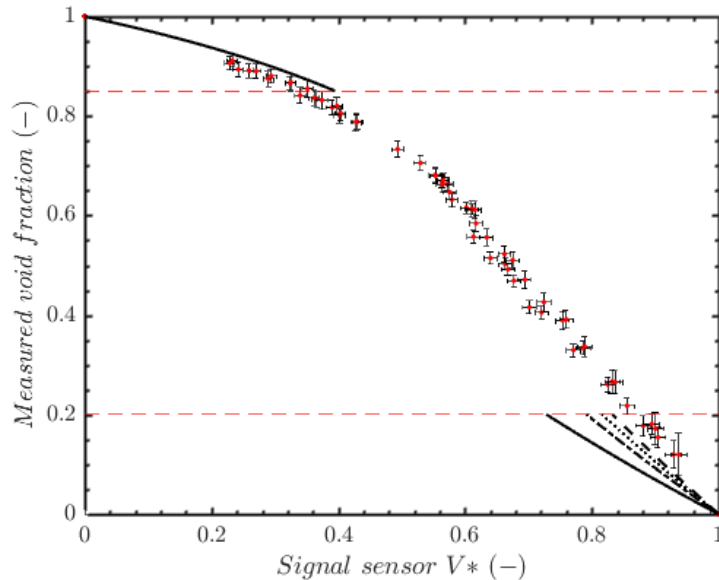
Experimenteller Aufbau: Sensor und Versuchsstand



- **Kapazitätssensor mit Schild**
- **Boonton 72 BD Kapazitätsmessgerät**
- **Dynamische Versuche basierend auf Luft destilliertem Wasser**
- **Schnellschlussventile als Kalibrierstandard**



Vergleich der experimentellen und numerischen Ergebnisse



$$V^* = \frac{V - V_g}{V_l - V_g}$$

- Numerisches Modell folgt dem Trend der experimentellen Ergebnisse.
- Lineares Gasgehaltsmodell am besten geeignet für Blasenströmung.
- Gesamter RMSE des numerischen Modells beträgt 0.033.
- Maximale Abweichung des numerischen Modells ist 0.08.



Schlussfolgerungen

- **QuickField wurde erfolgreich zur Optimierung eines Kapazitätssensors genutzt.**
- **Ermöglichung einer einfachen und schnellen seriellen Analyse unter Verwendung von QuickField zusammen mit MATLAB.**
- **Die numerischen Ergebnisse stimmen gut mit den experimentellen Ergebnissen überein.**
- **Anwendbarkeit der Modelle auf andere Fluide und geometrische Konfigurationen des Sensors**



Referenzen

Für eine detailliertere Problembeschreibung und verwendete Literatur möchte ich gerne auf meine Abschlussarbeit verweisen, die ich bald veröffentlichen werde:

Development and construction of a System for the Measurement of the Void Fraction and Frictional Pressure Drop in a Two-Phase Closed Loop Thermosyphon