



Elektronische Messung der Strömungsgeschwindigkeit

FH Wolfenbüttel – Fachbereich Elektrotechnik

Sensorik Labor

Michael Przybilla

Moritz Zindler

Michael Wilke

Wolfenbüttel, 03.03.2004

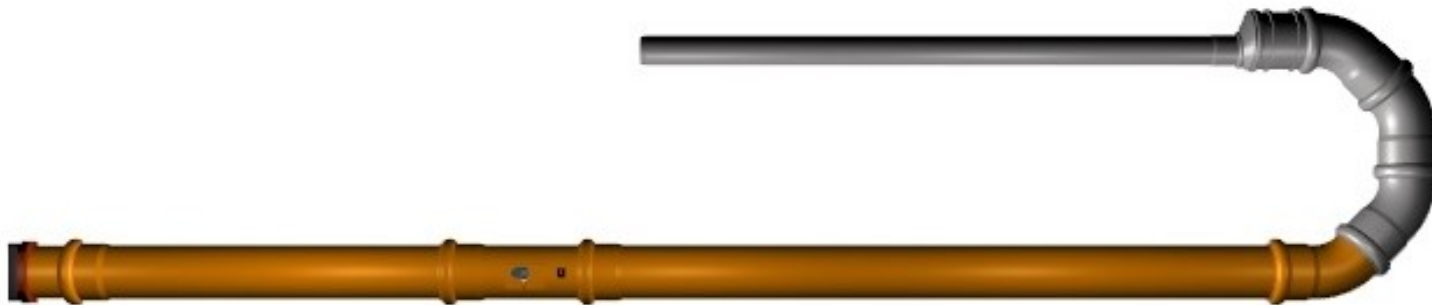


Gliederung

- Analyse und Optimierung des Strömungskanals
 - Strömungsprofil
- Entwicklung und Bewertung eines Hitzdraht Anemometers
 - Messbrücke mit Pt100 Sensoren
 - Verstärkerschaltung
 - Technische Daten des Anemometers
- Auswertung
 - Charakteristik der Strömung
 - Energiebilanz im Strömungskanal
 - Ausblick

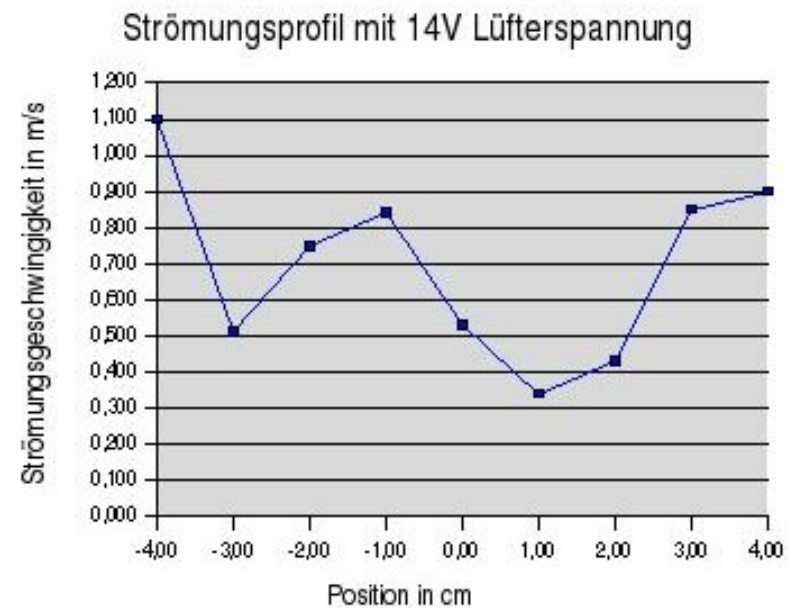
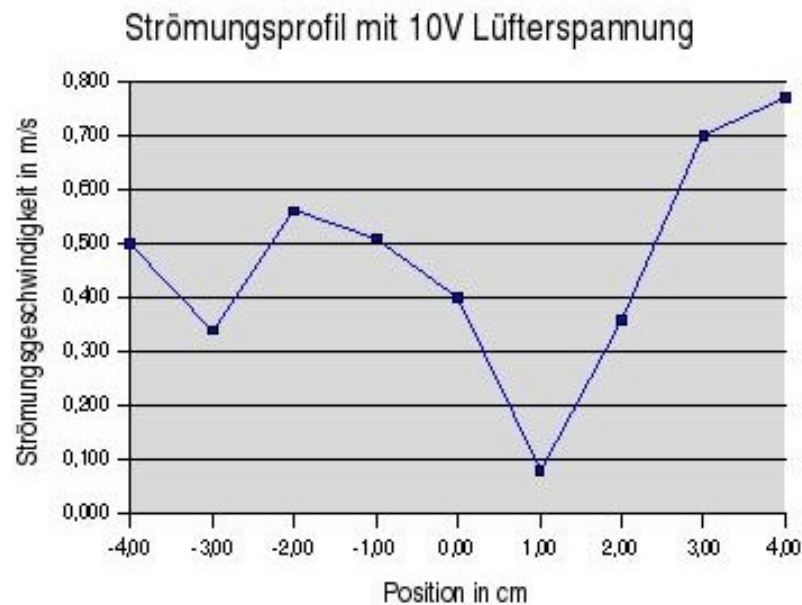
Vorstellung des vorherigen Aufbaus

- Zustand des Strömungsrohrs zum Start des Projekts:
 - Abmessungen: KG120 Abwasserrohr mit 4m Länge
 - Die Strömung wird durch einen Radiallüfter erzeugt
 - Zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit werden 3 Sensoren eingesetzt:
 - Flügelrad Anemometer als Referenz
 - Messbrücke mit temperaturabhängigen Widerständen
 - Luftmengenmesser aus dem KFZ Bereich mit anderem Querschnitt



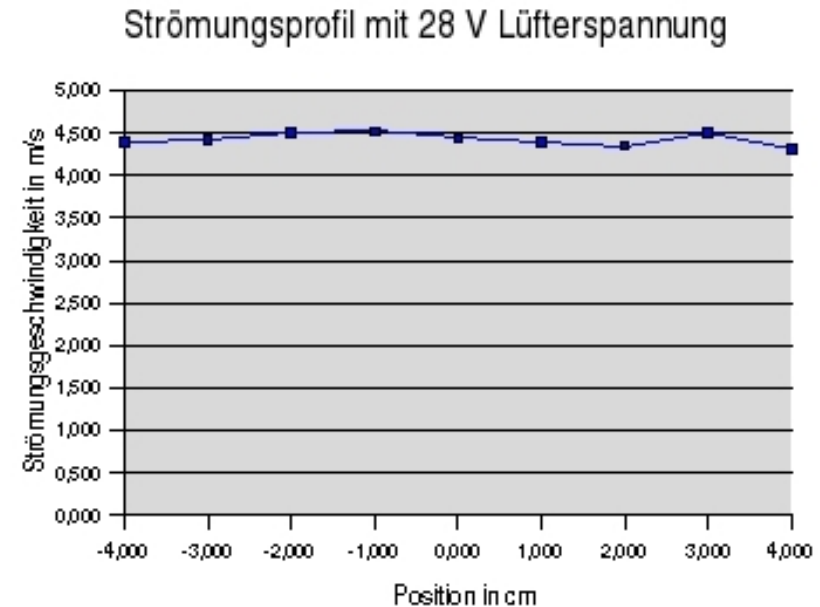
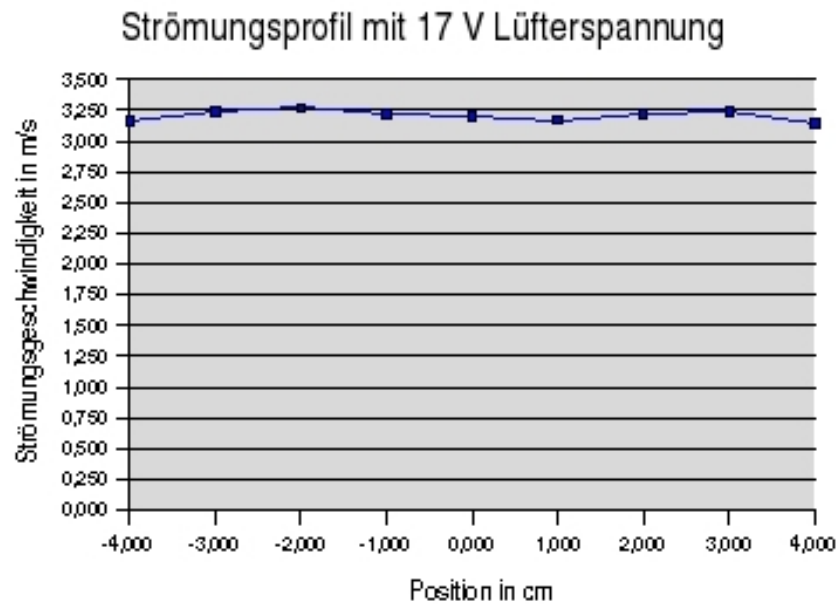
Analyse und Optimierung des Strömungsrohrs

- Charakteristik des Strömungskanals zum Start des Projekts:
 - Nichtlineares Strömungsprofil über den Querschnitt des Kanals
 - Von der Strömungsgeschwindigkeit der Luft im Kanal abhängig
 - Keine reproduzierbaren Messungen möglich



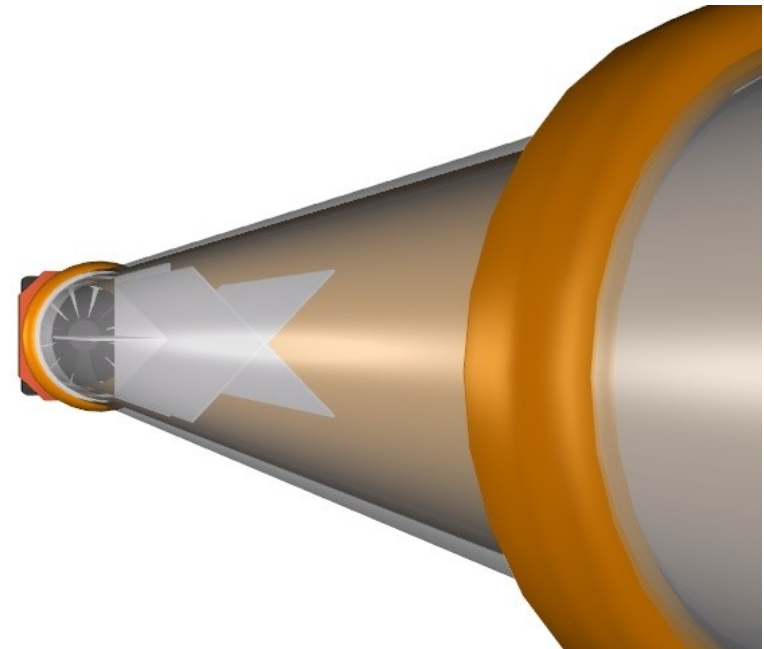
Analyse und Optimierung des Strömungsrohrs

- Das Charakteristik des neuen Strömungskanals:
 - Lineares Strömungsprofil
 - von der Drehzahl des Lüfters unabhängig
 - Reproduzierbare Messungen möglich



Analyse und Optimierung des Strömungsrohrs

- Umbau des Strömungsrohrs:
 - Es wurden zwei Luftleitbleche als Kreuze vor dem Ventilator eingebaut
 - Keine Rotation der Luftsäule im Kanal
 - Turbulente Strömung bleibt erhalten



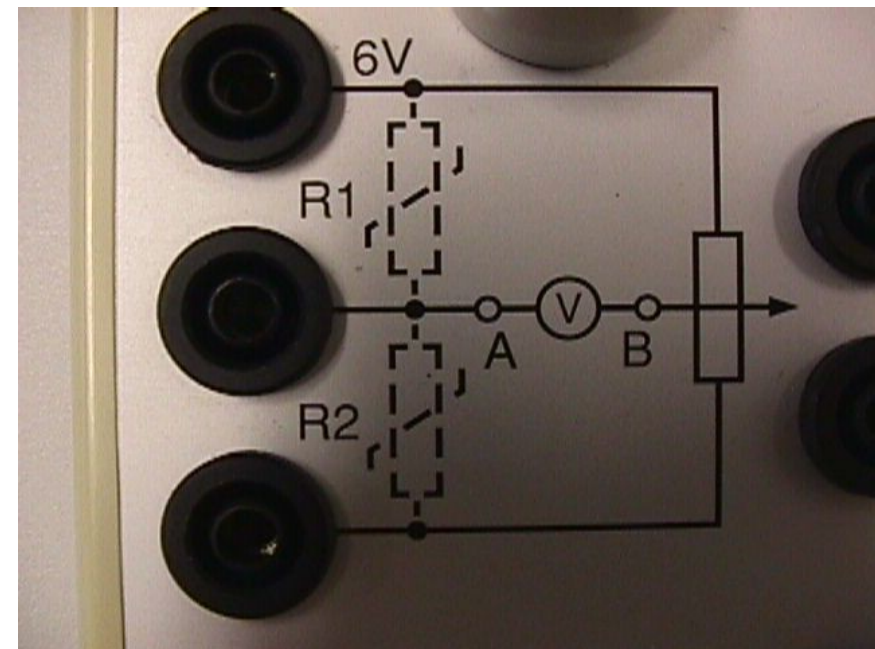
Analyse und Optimierung des Strömungsrohrs

- Umbau des Strömungsrohrs:
 - Der Luftmengenmesser entfällt, da er die Strömung zu stark bremst
 - Dann unnötige Krümmer und Querschnittsveränderungen wurden entfernt.
 - Ein Krümmer begünstigt die turbulente Strömung und macht den Kanal unempfindlich gegen Beeinflussung von außen.
 - Die Sensoren wurden in einem größeren Abstand zueinander eingebaut, um die gegenseitige Beeinflussung zu minimieren



Entwicklung und Bewertung eines Hitzdraht Anemometers

- Die erste passive Messbrücke:
 - Wertebereich nur maximal 60 mV
 - Nullpunktgleich trotz 10-Gang Potentiometer nur schwierig möglich und ungenau





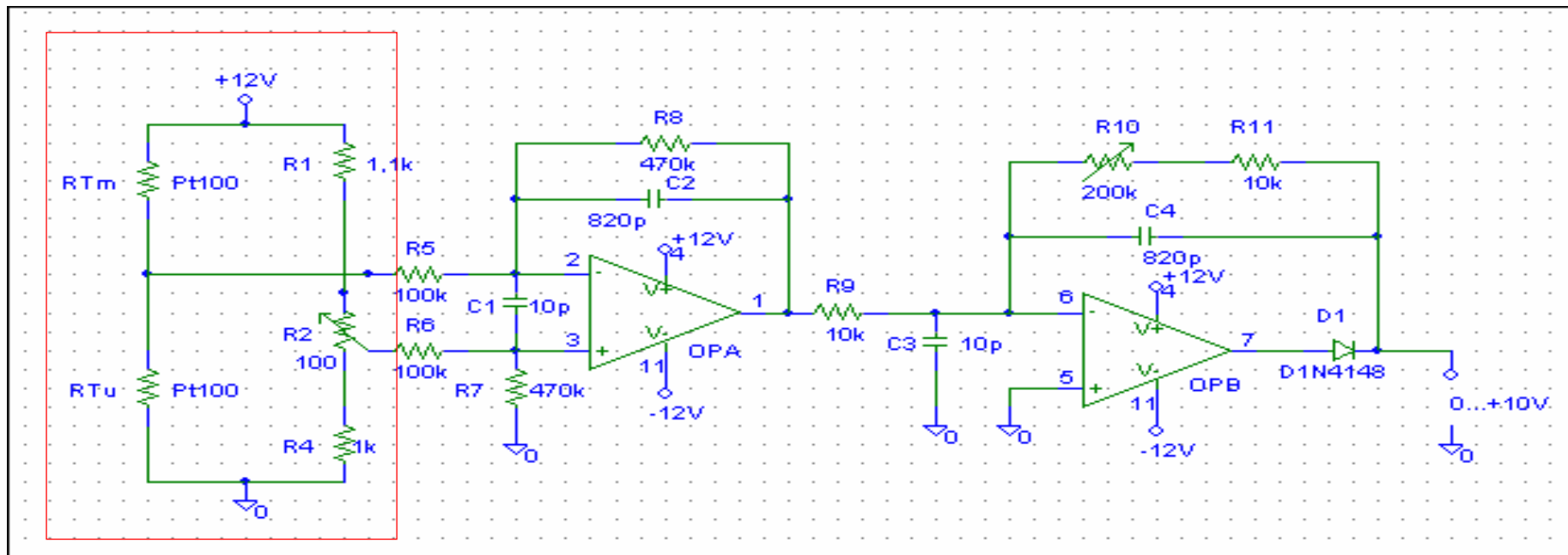
Entwicklung und Bewertung eines Hitzdraht Anemometers

- Angestrebte Eigenschaften der neuen Schaltung:
 - bessere Empfindlichkeit der Messbrücke
 - Wertebereich von 0V bis 10V
 - Verbesserung des Nullpunktabgleich

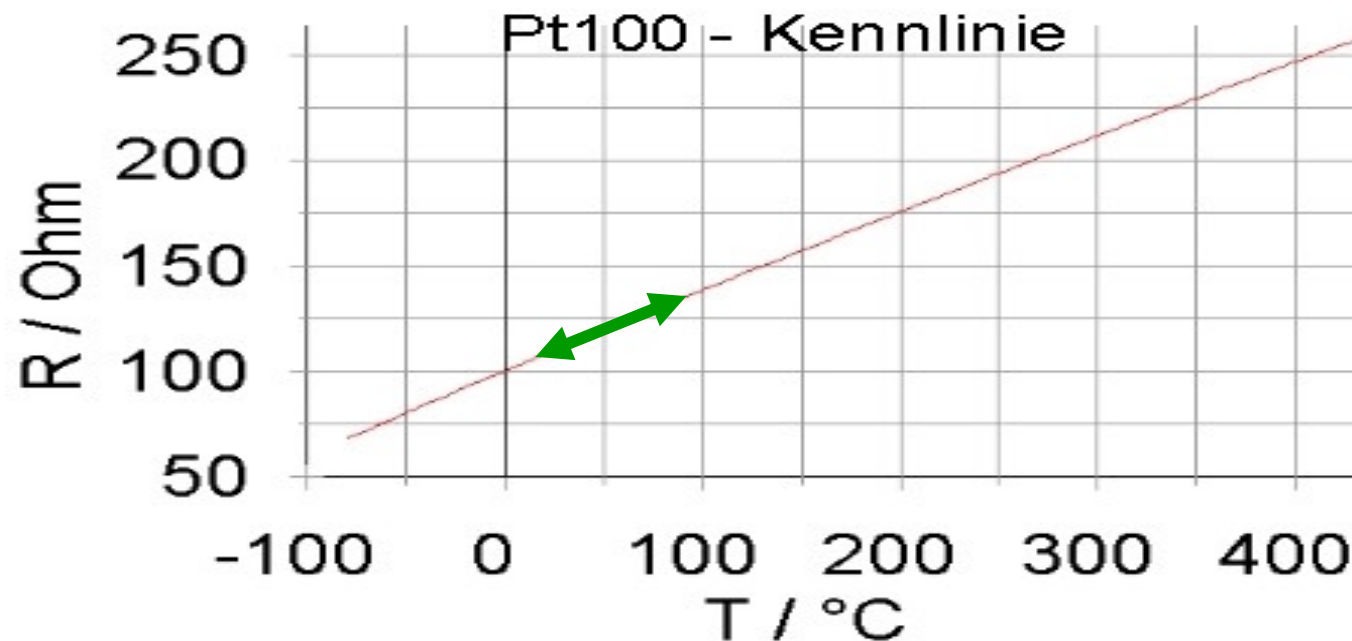
 - gleiche oder bessere Temperaturkompensationseigenschaften wie die vorherige Schaltung.

Entwicklung und Bewertung eines Hitzdraht Anemometers

- Aufbau des elektronischen Anemometers mit Pt100 Widerständen:
 - Messbrücke nach Wheatstone für die Temperatursensoren
 - Nachgeschalteter Vor- oder Anpassverstärker
 - Signalverstärker zur Endbereichseinstellung



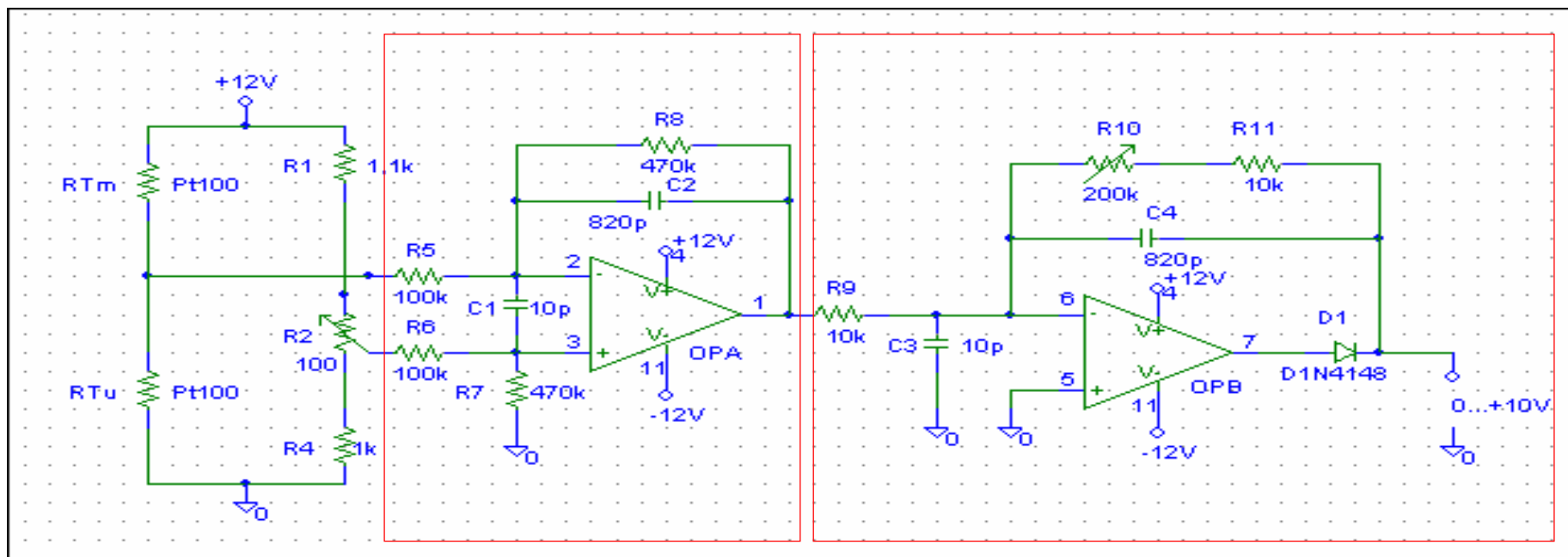
Entwicklung und Bewertung eines Hitzdraht Anemometers



- Wirkungsweise der Messbrücke mit Pt100 Widerständen:
$$R_1 = R_0 \left[1 + \alpha \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) \right]$$
 Gilt im Bereich von 0°C bis 100°C
- Das Prinzip der Eigenerwärmung wird ausgenutzt.

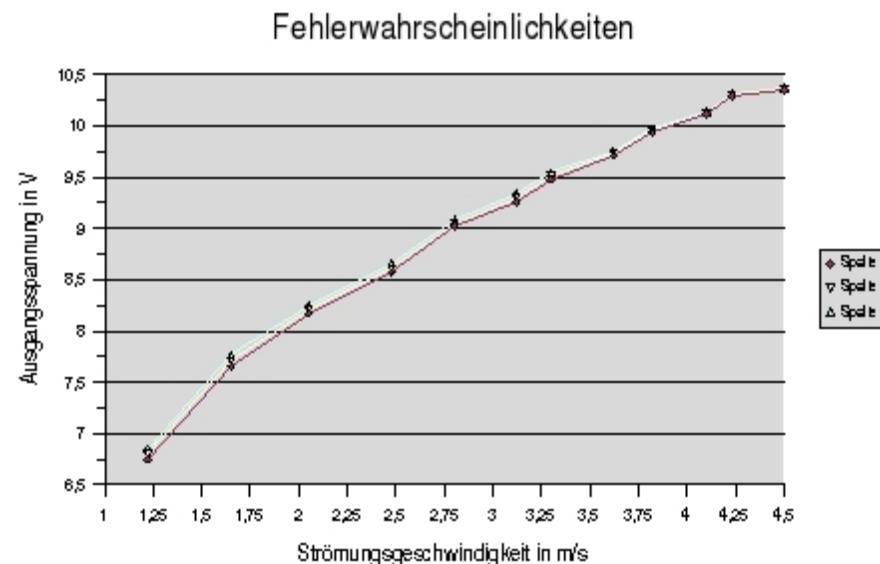
Entwicklung und Bewertung eines Hitzdraht Anemometers

- Aufbau des elektronischen Anemometers mit Pt100 Widerständen:
 - Messbrücke nach Wheatstone für die Temperatursensoren
 - Nachgeschalteter Vor- oder Anpassverstärker
 - Signalverstärker zur Endbereichseinstellung



Entwicklung und Bewertung eines Hitzdraht Anemometers

- Spezifikation der Messbrücke mit Pt100 Widerständen:
 - Temperaturverhalten und Kompensationseigenschaften
 - Durch den Einsatz eines weiteren Pt100 Widerstands weitgehend unabhängig von der Umgebungstemperatur
 - Temperaturdrift:
0,27% / °C mit Kompensation
3,10% / °C ohne Kompensator
 - Fehlerrechnung
 - statistischer Fehler 0,6% vom Messwert





Entwicklung und Bewertung eines Hitzdraht Anemometers

■ Datenblatt:

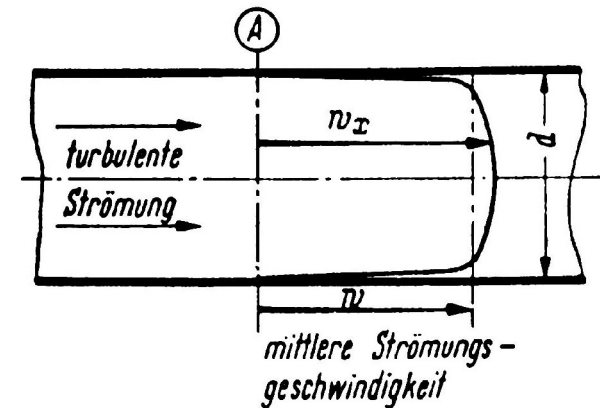
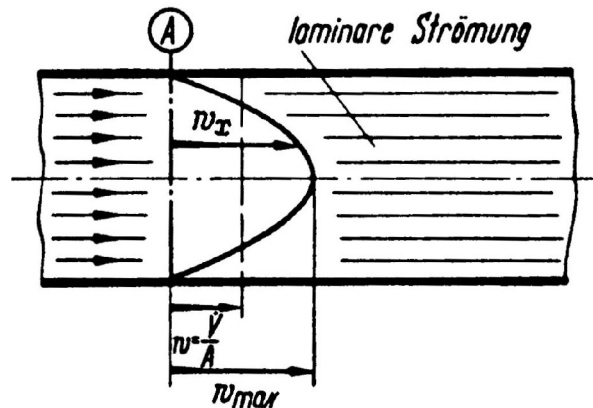
- Messbereich: 0 m/s - 4 m/s entspricht 0V - 10V
- Genauigkeit und Reproduzierbarkeit: +- 0,6% bei +- 2% der Referenz
- Temperaturdrift: 0,27% / °C mit Kompensation
3,10% / °C ohne Kompensation
- Stromaufnahme 60 bis 80 mA je nach Anströmung

Abschließende Auswertung

- Strömungsbedingungen im Kanal:
 - Die Strömungsverhältnisse im Kanal können durch die kritische Reynolds-Zahl beschrieben werden.
 - Re < 2300 rein laminare Strömung
 - Re > 10000 rein turbulente Strömung

$$Re_{krit} = \frac{w \cdot d}{\nu}$$

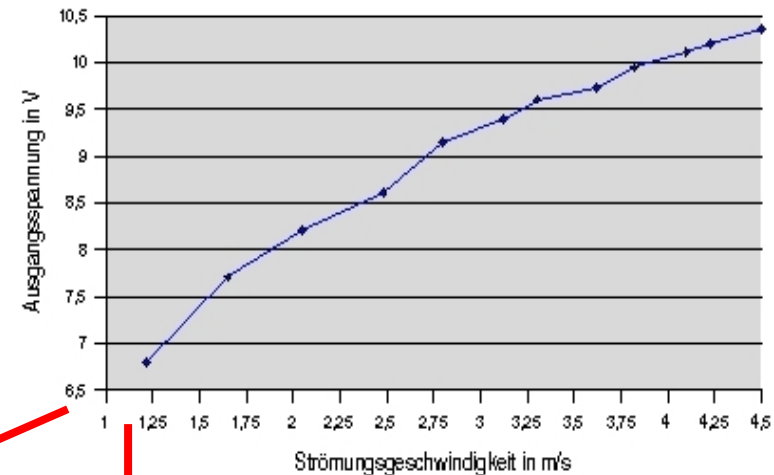
w = Geschwindigkeit in m/s
d = Durchmesser in mm
ν = kinetische Viskosität



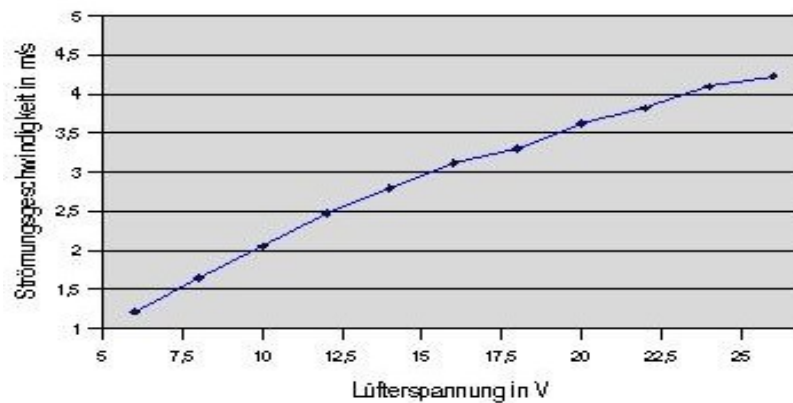
Abschließende Auswertung

- Verlauf der Sensorkennlinie:
 - Die Lüfterdrehzahl ist linear von der Lüfterspannung abhängig.
 - Die gemessene Strömungsgeschwindigkeit und die gemessene Brückenspannung sind nicht linear von der Lüfterdrehzahl abhängig.

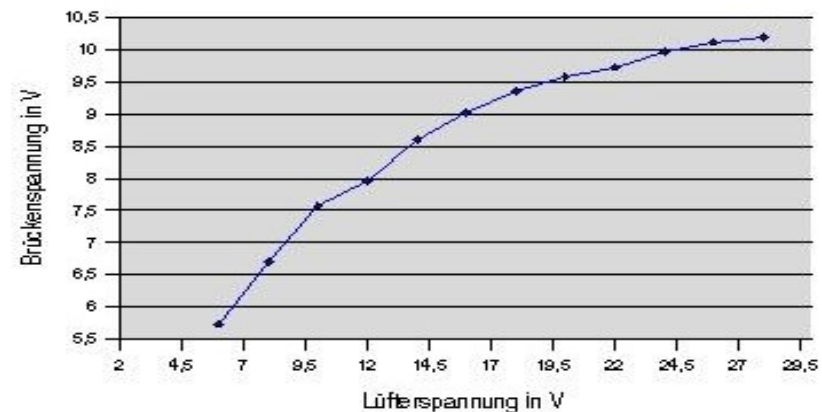
Verhältnis Brückenspannung zu Strömungsgeschwindigkeit



Verlauf der Strömungsgeschwindigkeit



Verlauf der Brückenspannung





Abschließende Auswertung

- Energiebilanz:

$$\dot{Q}_{el} + \dot{Q}_{th} = 0$$

$$\dot{Q}_{th} = \alpha \cdot A \cdot (t_L - t_W)$$

α = Wärmeübertragungskoeffizient

A = Widerstandsoberfläche

t_L = Lufttemperatur

t_W = Oberflächentemperatur des Widerstandes

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}$$

l = charakteristische Länge

λ = Wärmeleitfähigkeit

$$Nu = \frac{0,037 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr}{1 + 2,443 \cdot Re^{-0,1} \cdot \left(Pr^{\frac{2}{3}} - 1 \right)} \left(\frac{T_L}{T_W} \right)^{0,12}$$



Abschließende Auswertung

- **Ausblick:**
 - Durch den Einsatz von Linearisierungsschaltungen kann der Kurvenverlauf noch begradigt werden.

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit