

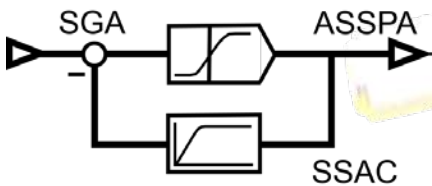
# Planarer 2D Wirbelstromsensor $\mu$ 2D auf PCB

Raoul Herzog

Fachhochschule Westschweiz (HES-SO)

1401 Yverdon-les-Bains

[raoul.herzog@heig-vd.ch](mailto:raoul.herzog@heig-vd.ch)



Schweizerische Gesellschaft für Automatik

# Inhalt

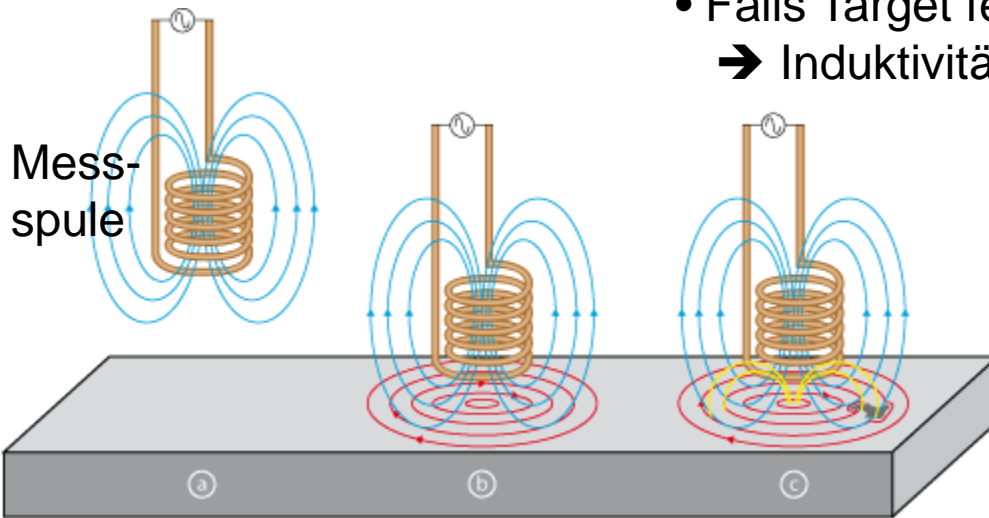
1. Messprinzip von Wirbelstromsensoren
2. State of the Art
3. Motivation und Ziele des Projektes  $\mu$ 2D
4. Konzepte
  - 4.1 Systemüberblick
  - 4.2 Elektromagnetische Modellierung
  - 4.3 Multiplexierung
  - 4.4 Digitale Signalverarbeitung DDS/DDC
5. Demo

# Messprinzip

## Drei physikalische Effekte :

- Wirbelströme im Target erzeugen Verluste  
→ Dämpfung, Erhöhung des el. Widerstandes
- Wirbelströme im Target erzeugen Gegenfeld  
→ Induktivität der Spule nimmt ab
- Falls Target ferromagnetisch, Änderung der Reluktanz  
→ Induktivität der Spule nimmt zu

Anregung :  
Sinus oder Impuls  
typ. > 100 kHz



Target (leitend, evtl. ferromagnetisch)

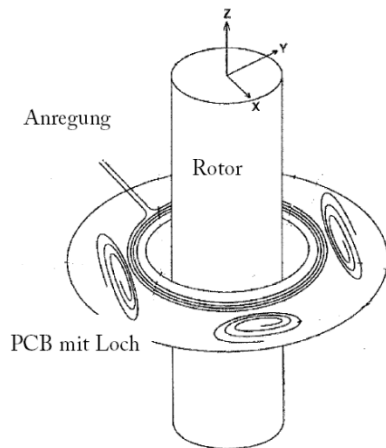
# State of the Art

Anwendungen :

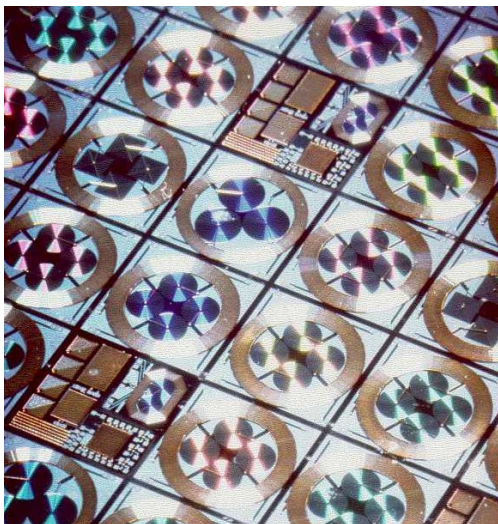
- Näherungsschalter
- Abstandsmessung / Vibrationsmessung / Drehzahl
- Zerstörungsfreie Materialprüfung (Risse, etc.)



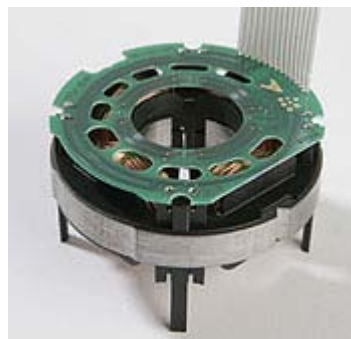
(Baumer)



**Vorteile**  
**von PCB Planarspulen:**  
kostengünstig  
reproduzierbar  
gute Integration



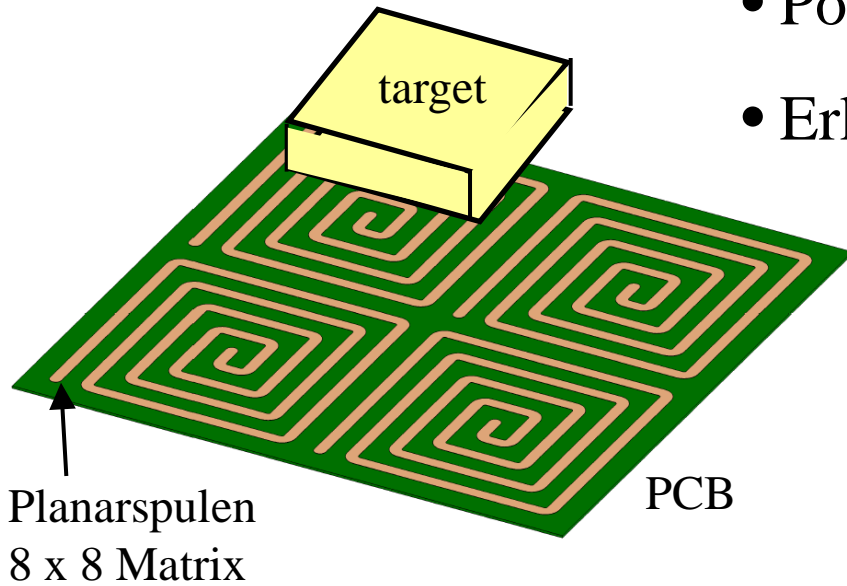
(Posic)



(Mecos)

**Nachteile:**  
schlechtere Güte Q  
weniger Windungen  
i.A. schlechtere Empfindlichkeit

# Ziele des Projektes $\mu$ 2D

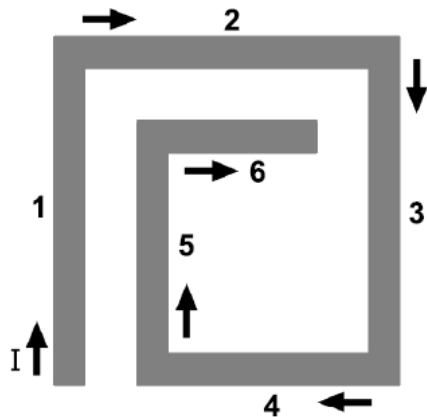


- Positionsbestimmung des Targets (x,y,z)
- Erkennung der Target-Eigenschaften

- Elektromagnetische Modellierung
- Optimierung der Spulengeometrie
- Multiplex Auswerte-Elektronik
- Digital parametrierbare Anregungsfrequenz (DDS = Direct Digital Synthesis)
- Digitale Demodulation (DDC = Digital Down Converter)

# Elektromagnetische Modellierung

1. FEM 3D, dünne schmale Leiterbahnen  
Skin Effekt nicht vernachlässigbar, → Rechenaufwand hoch
2. Approximative Formeln für einfache Spulengeometrien  
(Greenhouse, Grover, Sunderarajan S. Mohan)

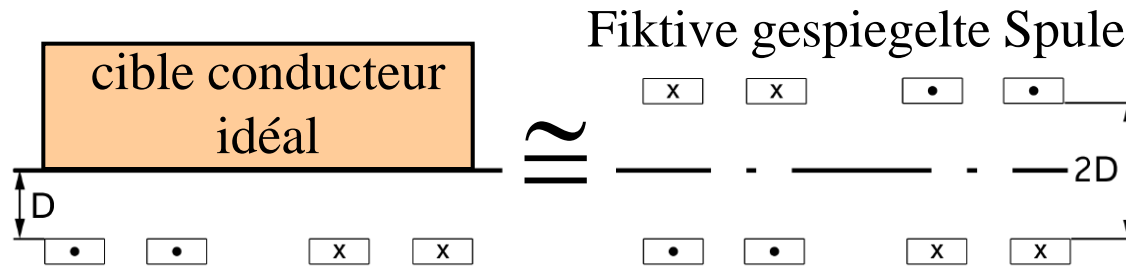


→ Resultate ziemlich genau (~10%)  
für Bestimmung der Induktivitäten  
und Gegeninduktivität ohne Target

$$L_{total} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + 2(M_{1,5} + M_{2,6}) - 2(M_{1,3} + M_{2,4} + M_{3,5} + M_{4,6})$$

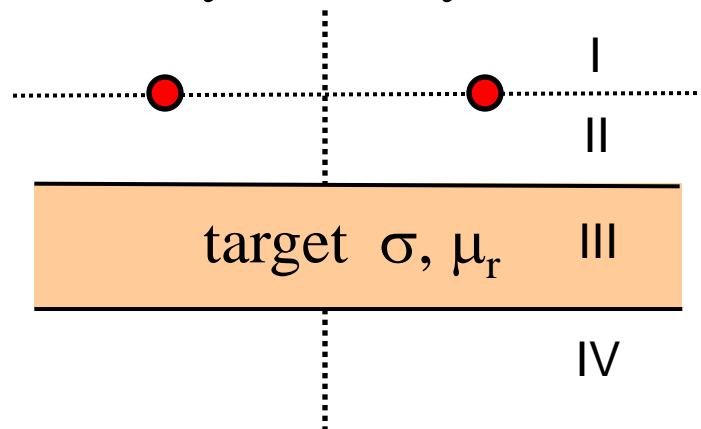
# Elektromagnetische Modellierung

3. Theorie der Spiegelung für ideal-leitende nicht-ferromagnetische Targets



→ i.A. schlechte Präzision

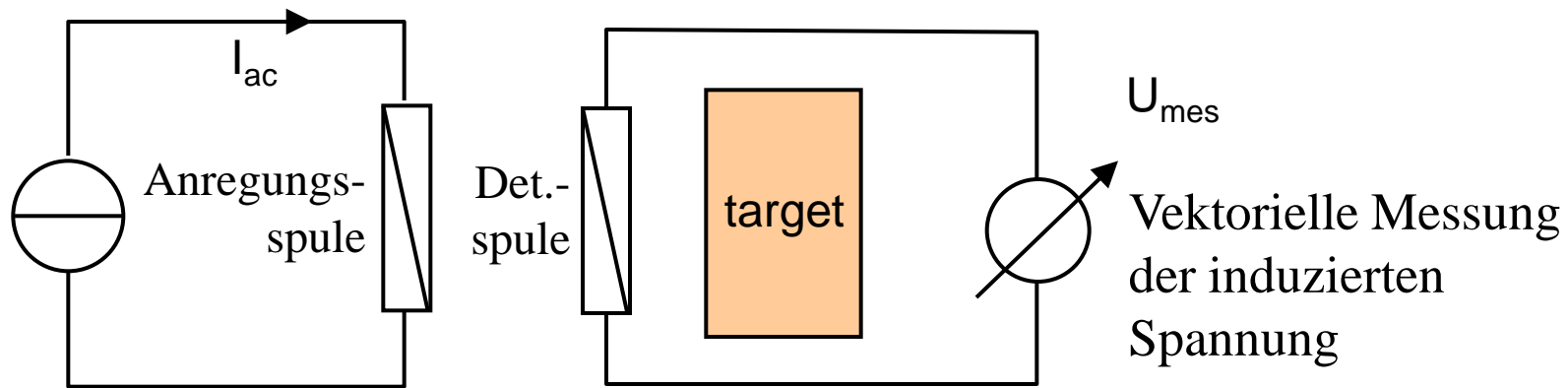
4. Analytische Lösung der Maxwell-Gleichungen für vereinfachte Geometrie mit Zylinder-Symmetrie → elliptische Integrale



(Diss. Ph. Passeraub)

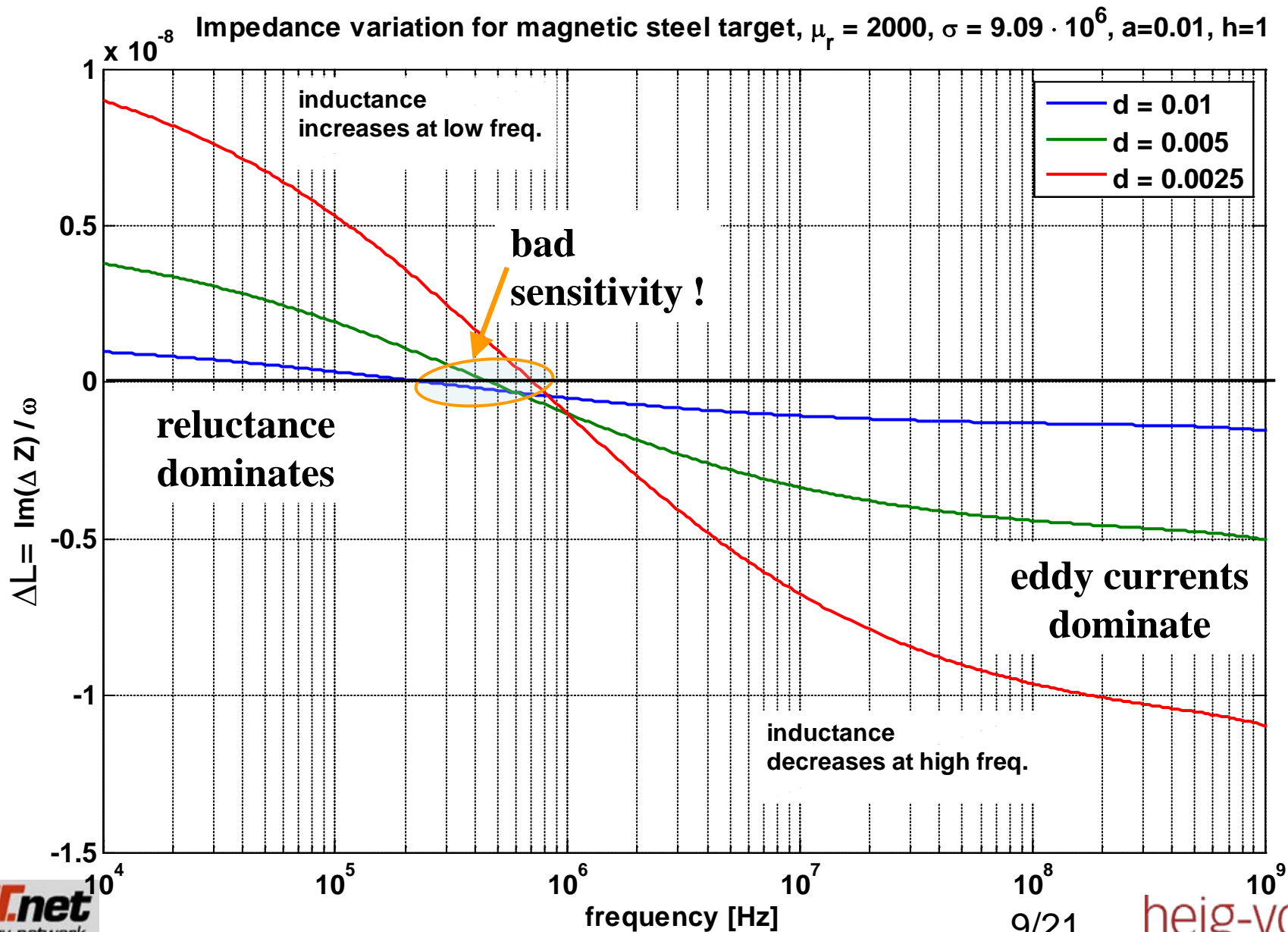
# Konzept

- Mit **getrennten** Anregungs- und Detektionsspulen arbeiten. Die Anregungsspule mit gesteuerter Stromquelle speisen. Die Präsenz des Targets ändert die **magnetische Kopplung** bzw. die **Gegeninduktivität** der Spulen.

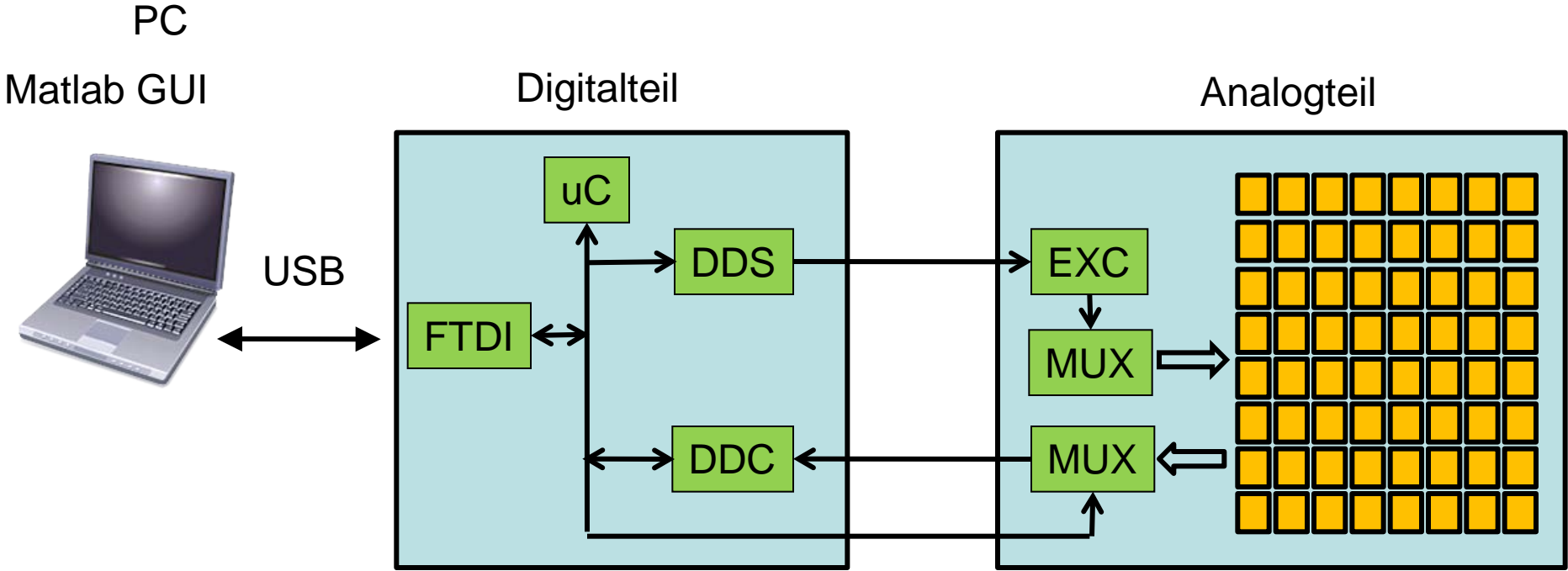


**Vorteil:  $U_{mes}$  ist unabhängig vom Spulenwiderstand**

# Analytisches Modell für Eisen Target



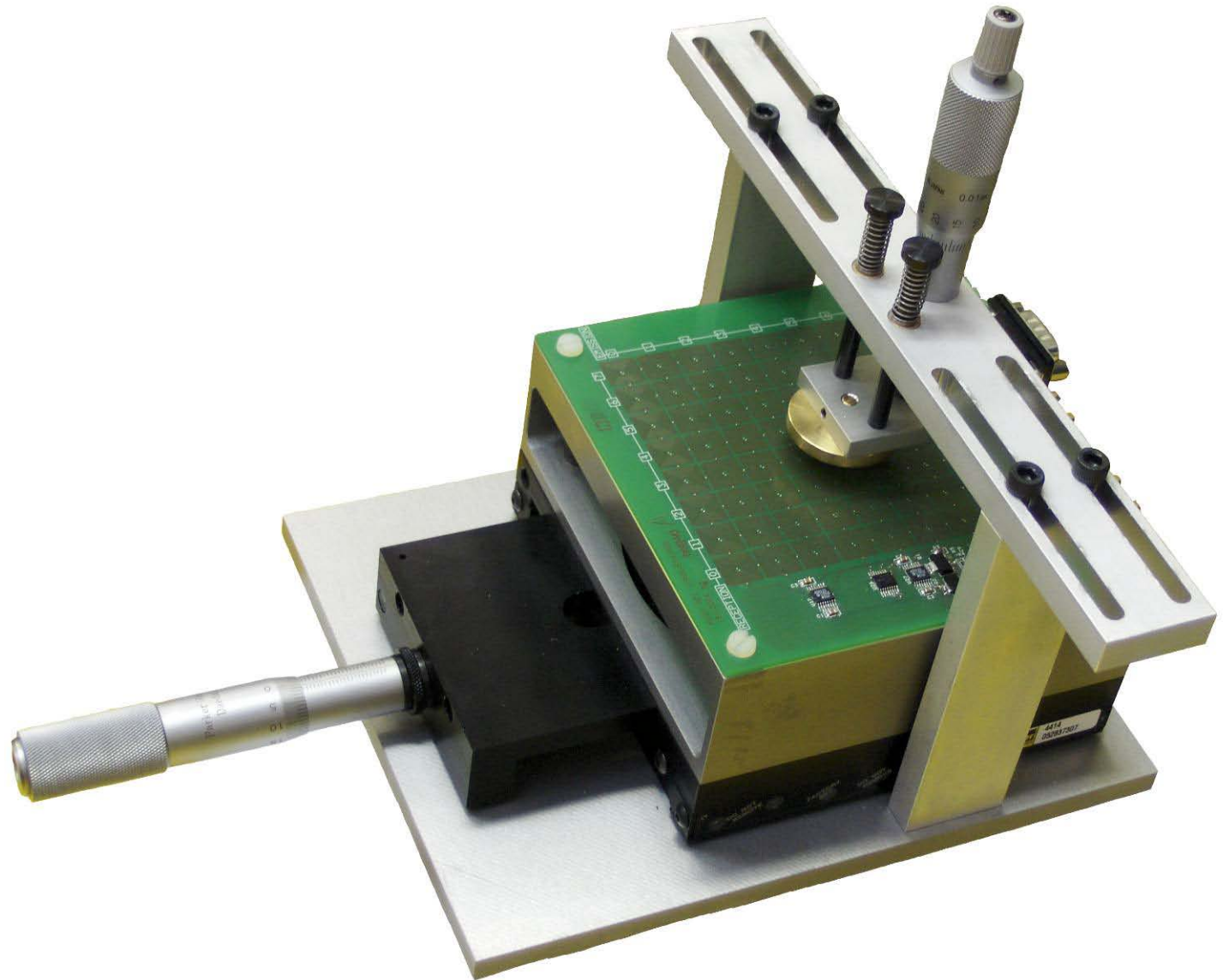
# Systemübersicht



# Lösungsvielfalt

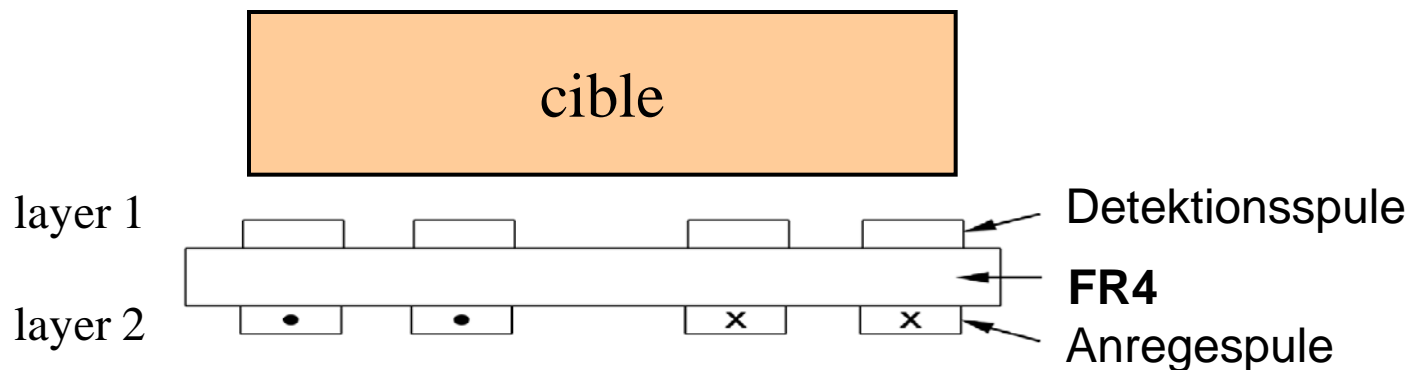
- Anregungsspule und Detektionsspule auf gemeinsamen oder unterschiedlichen PCB Layers
- Verschiedene Spulengeometrien
- Verschiedene Multiplex-Strategien

# Versuchsstand mit Mikrometerschraube

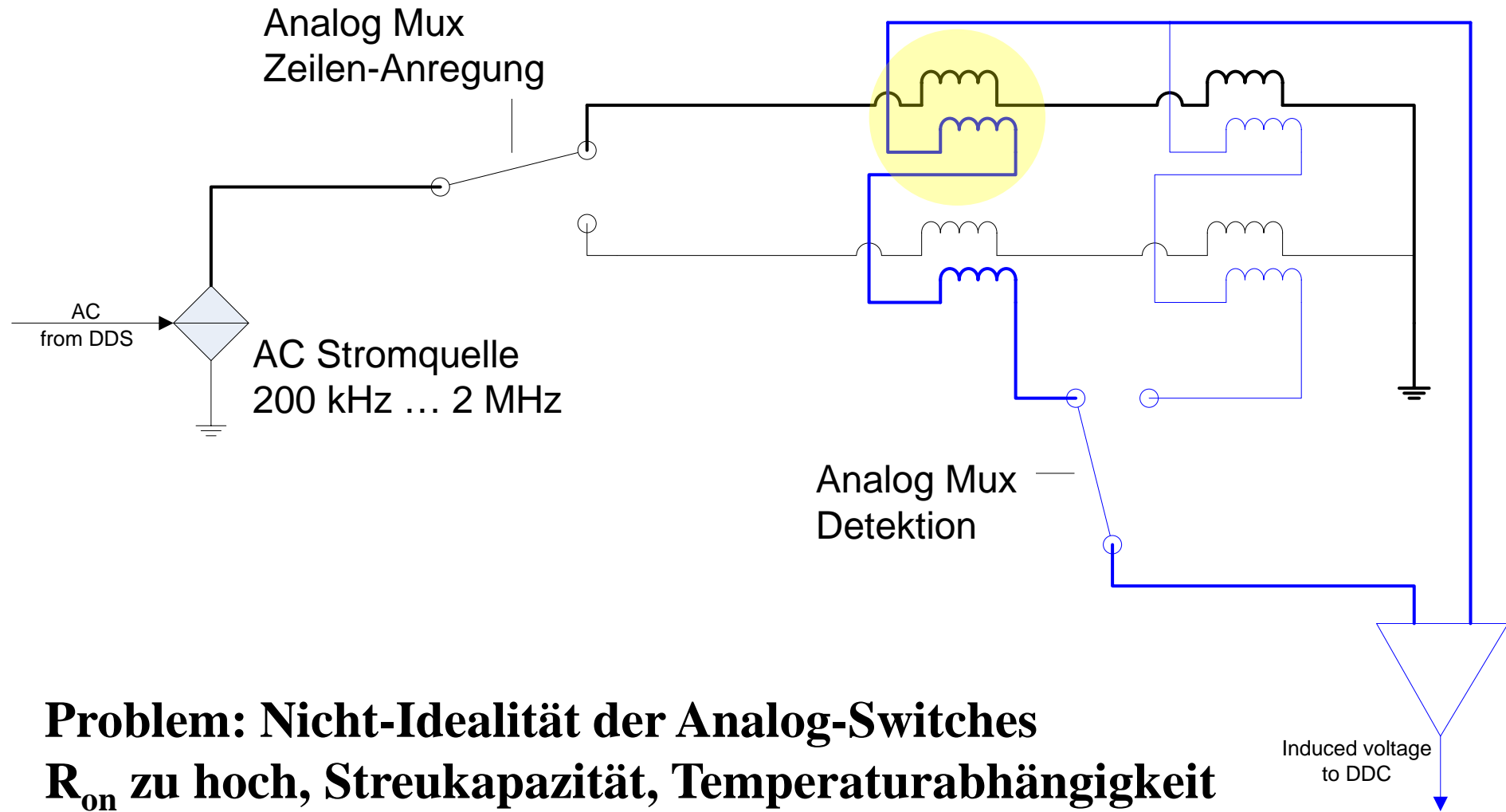


# Verwendete Spulen-Konfiguration

- 2 Matrizen von je 8 x 8 Detektions- und Anregespulen, auf 2 PCB layer mit 0.1mm Abstand
- Jede Spule hat 83 Segmente (ca. 21 Windungen)
- Breite und Abstand der Cu Leiterbahnen: 100  $\mu\text{m}$
- Cu Leiterbahn-Dicke: 35  $\mu\text{m}$
- Induktivität (ohne Target) : 2.7  $\mu\text{H}$
- Kopplungsfaktor, leer:  $k=0.9$ , Kontakt:  $k=0.6$
- Spulengüte @ 500 kHz, leer:  $Q=1.3$ , Kontakt: 0.4



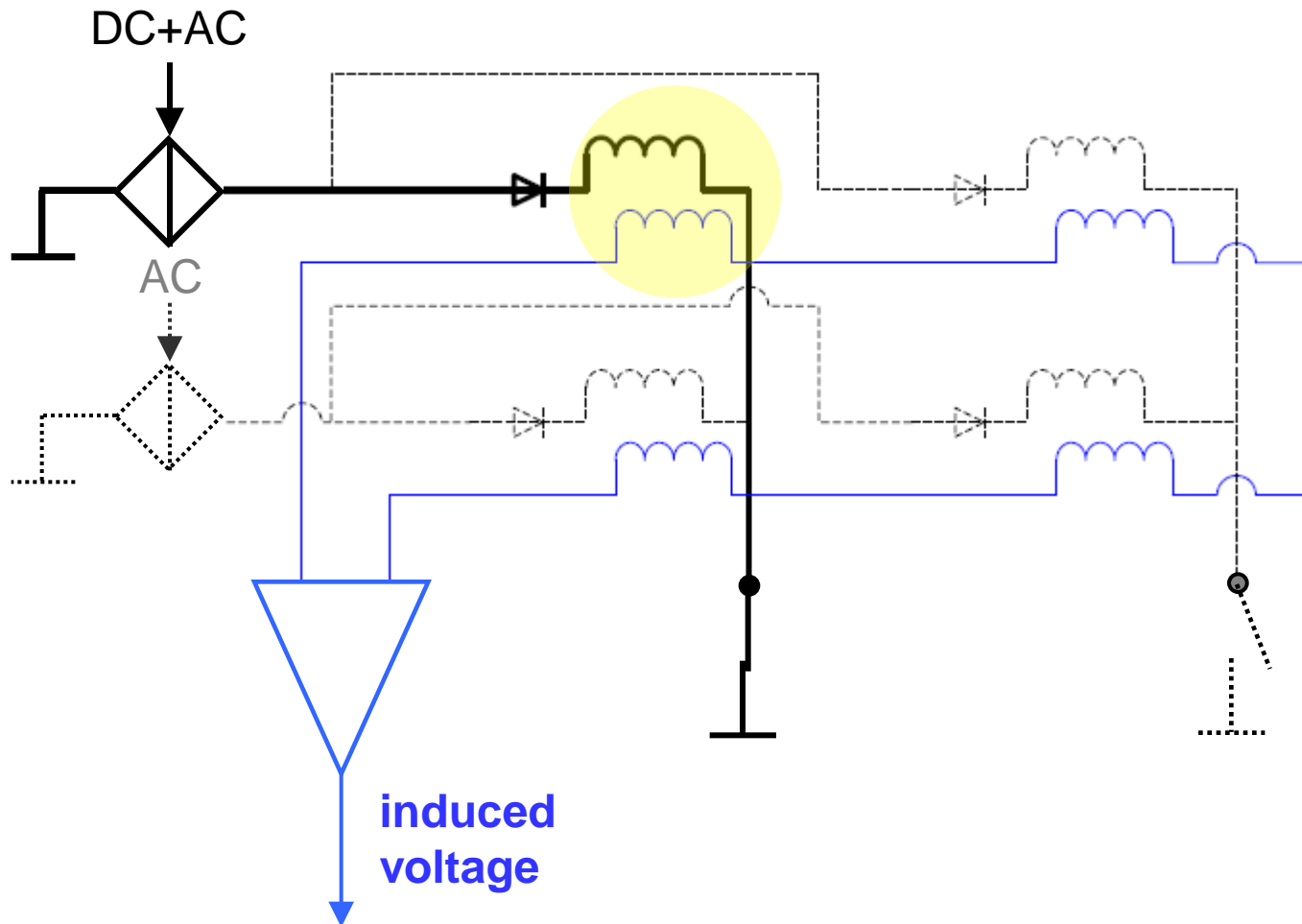
# Multiplexierung: ungünstige Lösung



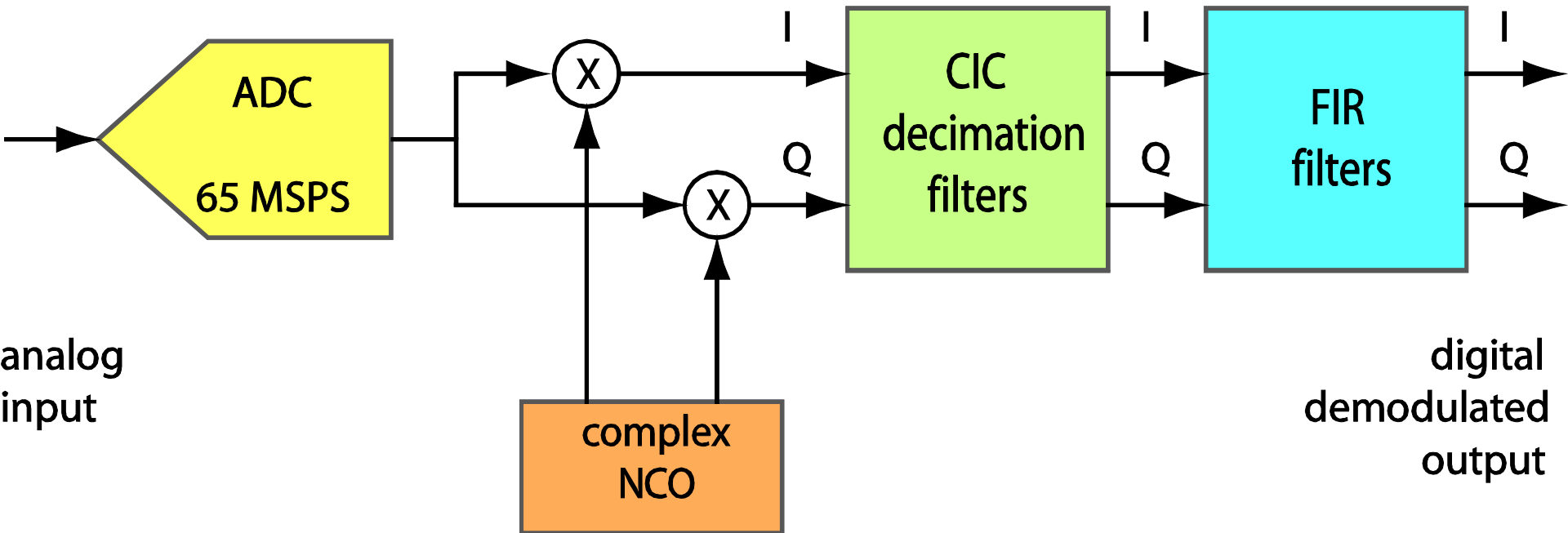
**Problem: Nicht-Idealität der Analog-Switches**  
 **$R_{on}$  zu hoch, Streukapazität, Temperaturabhängigkeit**

# Multiplexage: implementierte Lösung

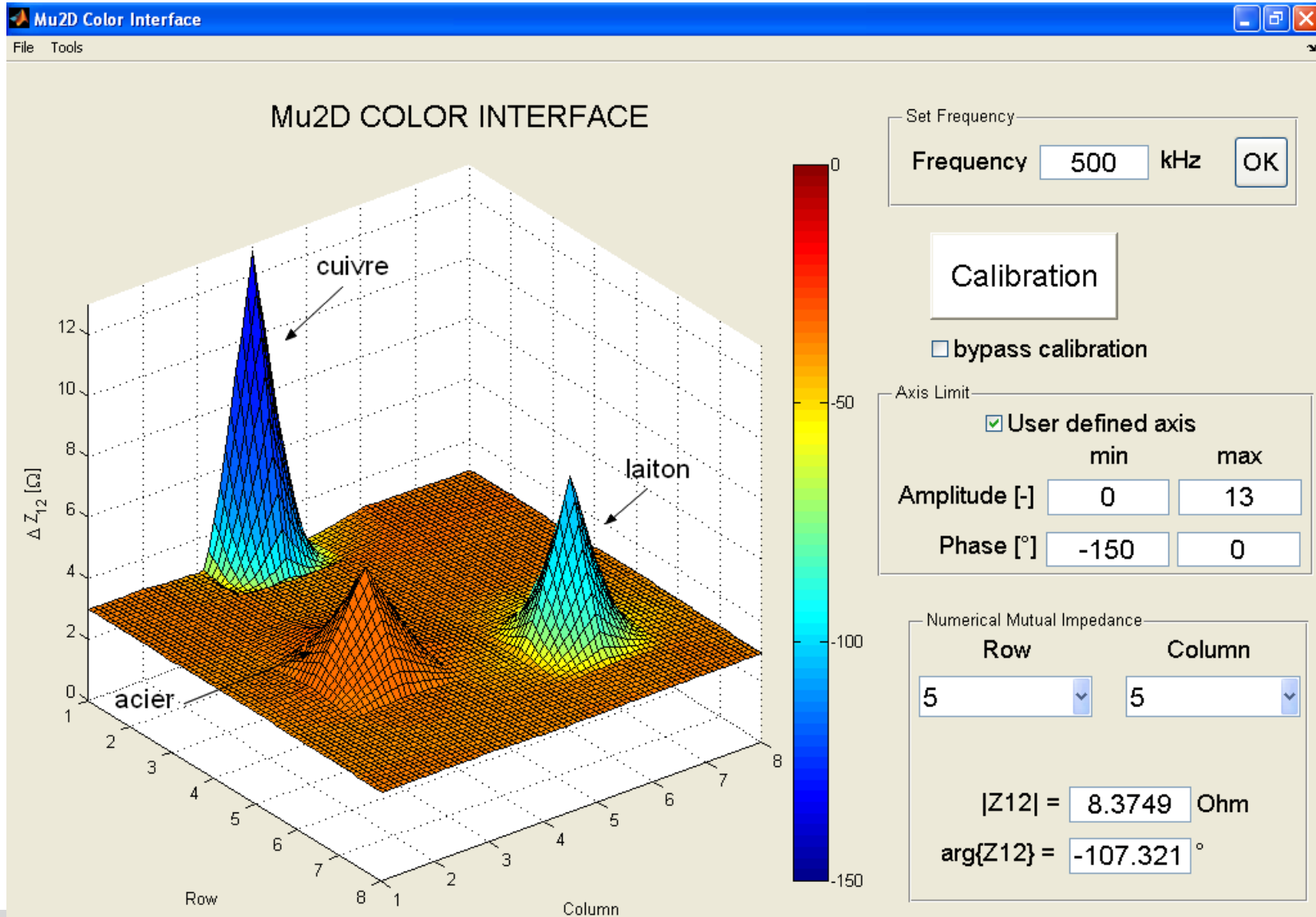
Kommutierung mit Dioden, DC Polarisation



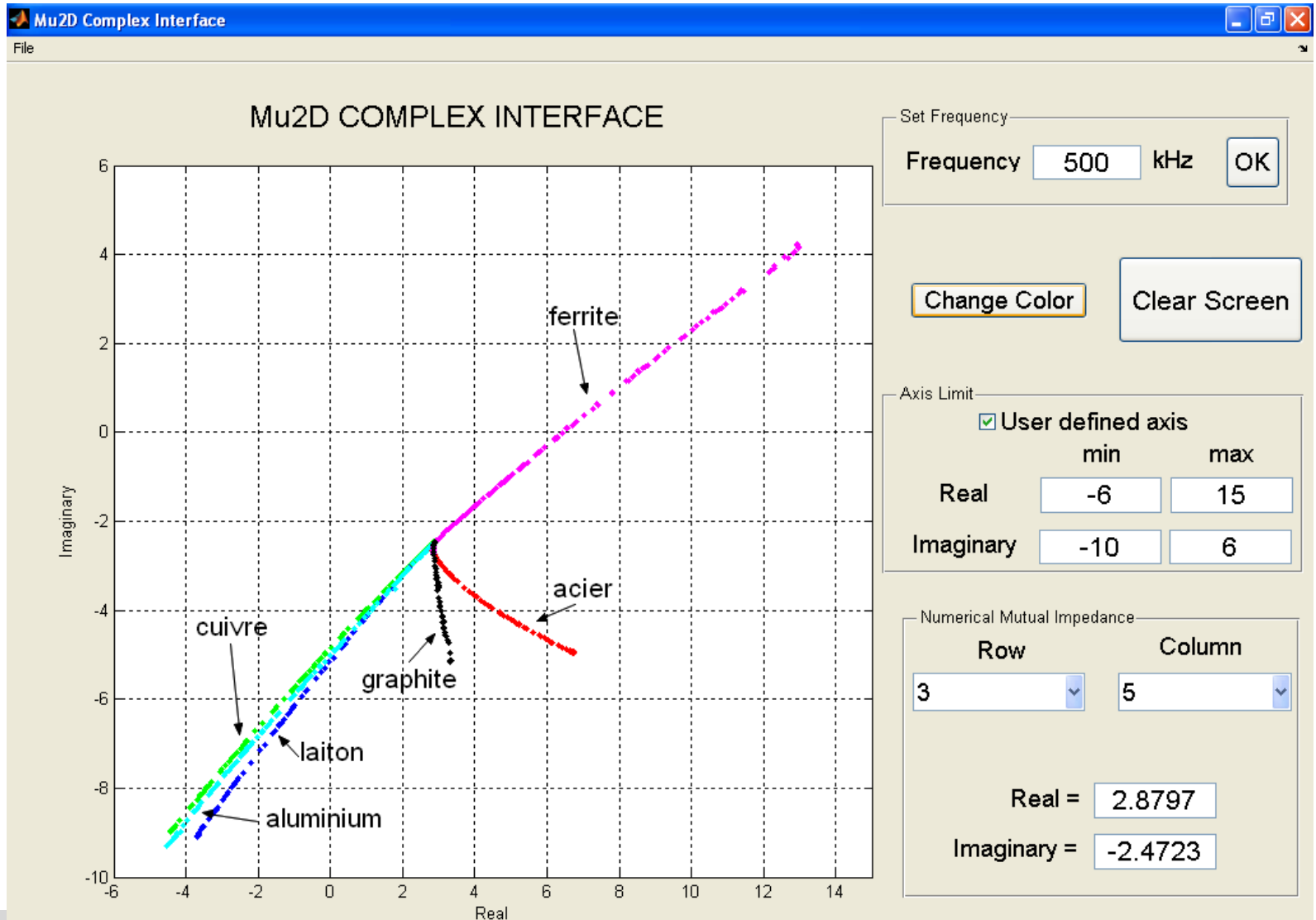
# Digitale Demodulation DDC mit dediziertem Chip AD6652



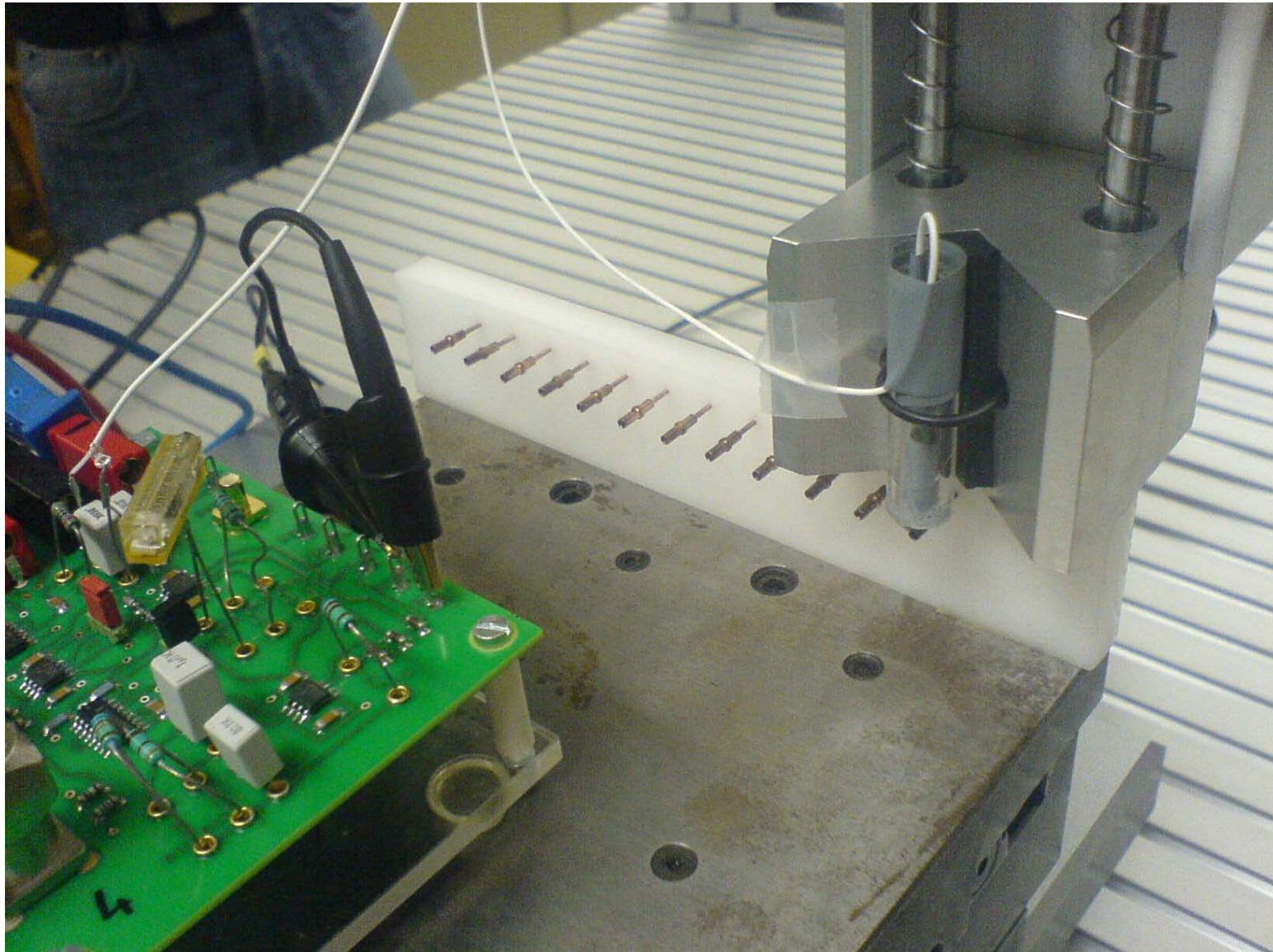
# Resultat nach Kalibrierung (leer + Kontakt)



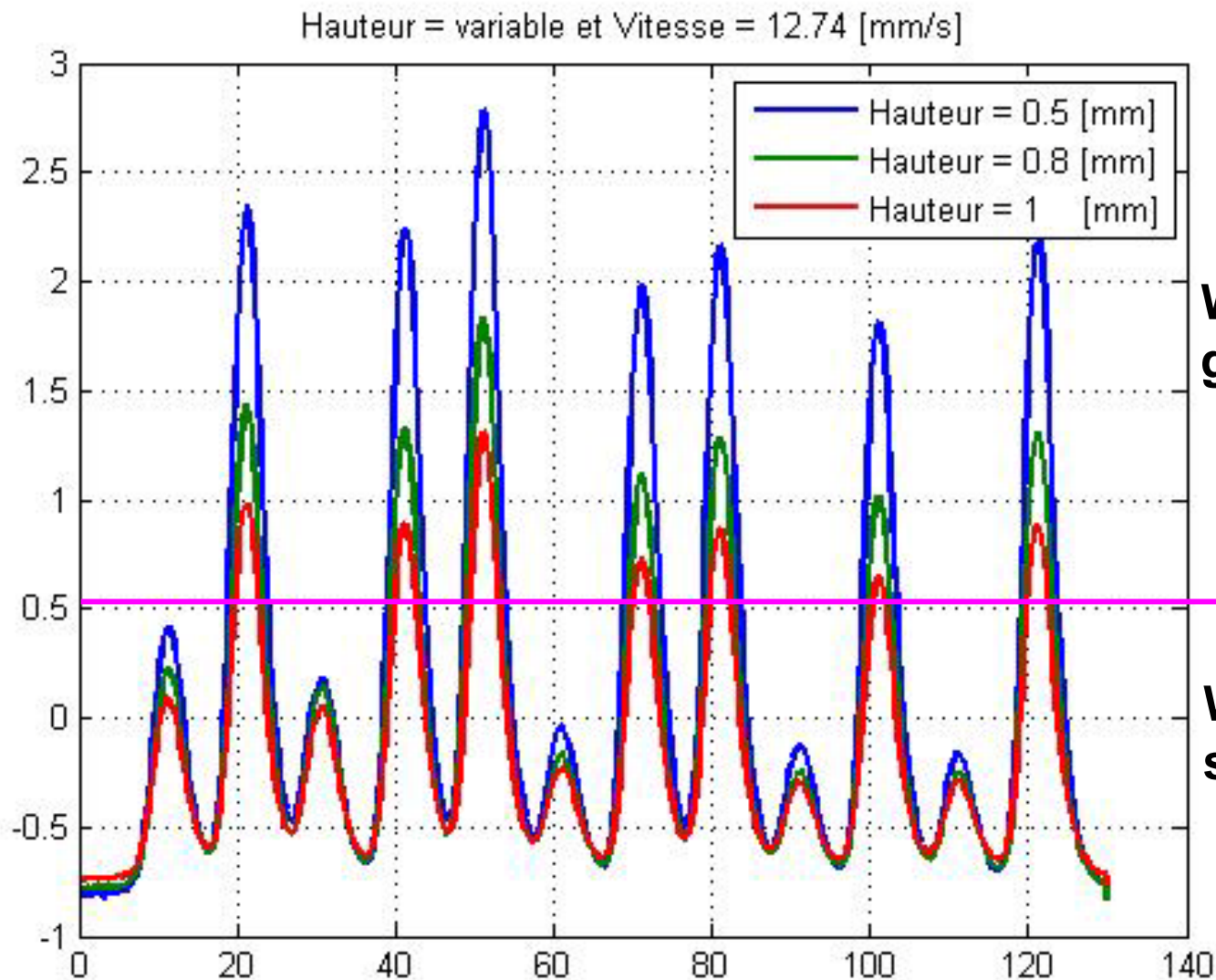
# Gegeninduktivität in der komplexen Ebene



# Applikation : Kontrolle der Wärmebehandlung von Crimp-Pins für Stecker



# Detektion möglichst unabhängig von Distanz

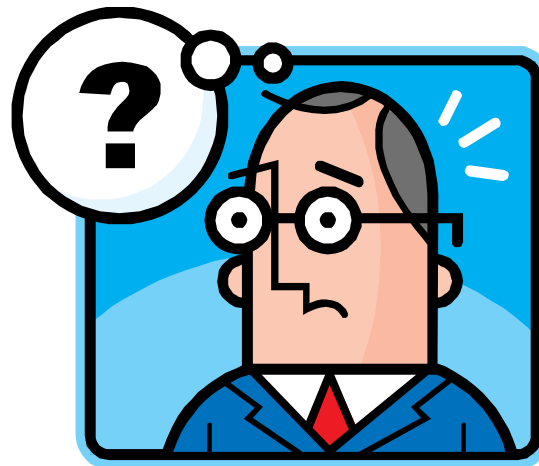


Wärmebehandlung  
gut

Schwelle

Wärmebehandlung  
schlecht

# Danke für Ihre Aufmerksamkeit !



Fragen ?