

Ausgewählte Projekte zur Anwendung von Wirbelfeldern in der Messtechnik

23.04.2009 am RAC

LASOM Kompetenzzentrum für Messtechnik

Fachhochschule Koblenz, RheinAhrCampus

Jens Weidenmüller, Christian Sehestedt, Christoph Knopf, Maral Heidary Dastjerdi, Jörg Himmel



Prof. Dr.-Ing. Jörg Himmel
Labor für Sensortechnik und optische Messtechnik
RheinAhrCampus – FH Koblenz
Fachbereich Mathematik and Technik
D-53424 Remagen



Industrial

Staberkennung:

- Durchmesser, Form
- Geschwindigkeit
- Position

Druck-
sensor

Position-
erfassung
mit
Kameras

Winkel-
messung

Medical

Extrakor-
porale
Druckmes-
sung

Gewebe-
charakteri-
sierung

Leber-
fettge-
halt

Kraft-
messung

Elektro-
magneti-
sche
Felder

Impe-
danz-
messung

Trockene Druckmesszelle

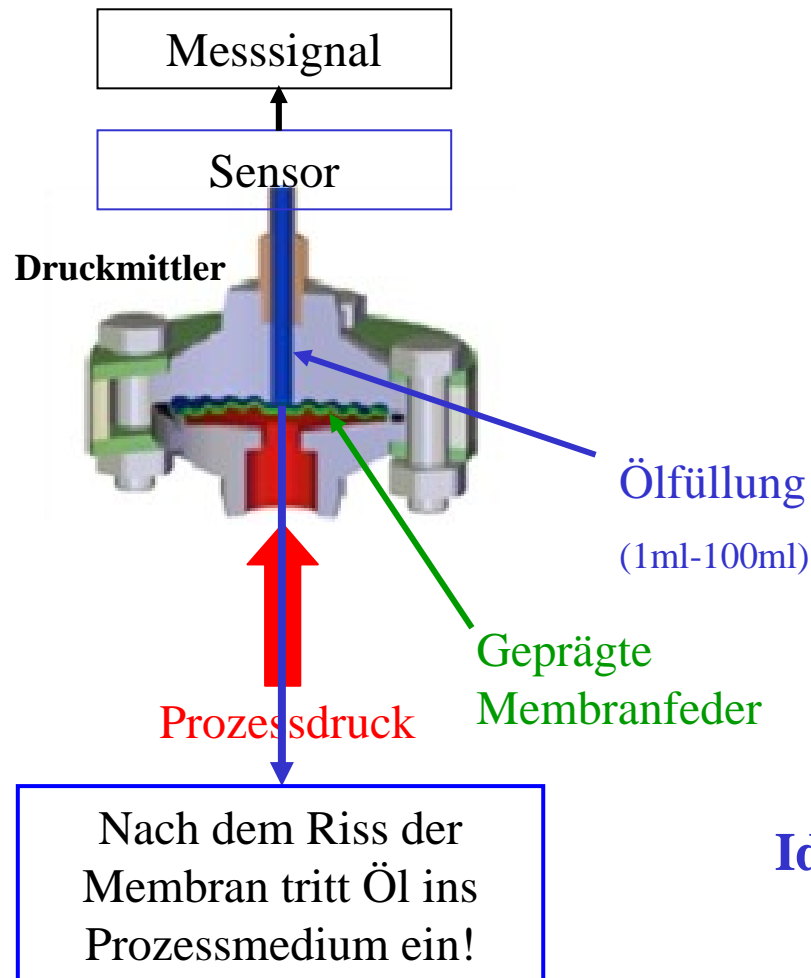
Vortrag am 04.11.2008 in Mainz

LASOM

**Kompetenzzentrum für
Messtechnik**

Fachhochschule Koblenz, RheinAhrCampus
Jens Weidenmüller, Christian Sehestedt und Jörg Himmel

Warum ein „neuer“ Drucksensor?



Ziele:

- Aufbau ohne Ölfüllung für die Pharma- und Lebensmittelindustrie sowie die Medizintechnik.
- Vermeidung von Anhaftungen zäher Prozessmedien.

Anforderungen an den Sensor:

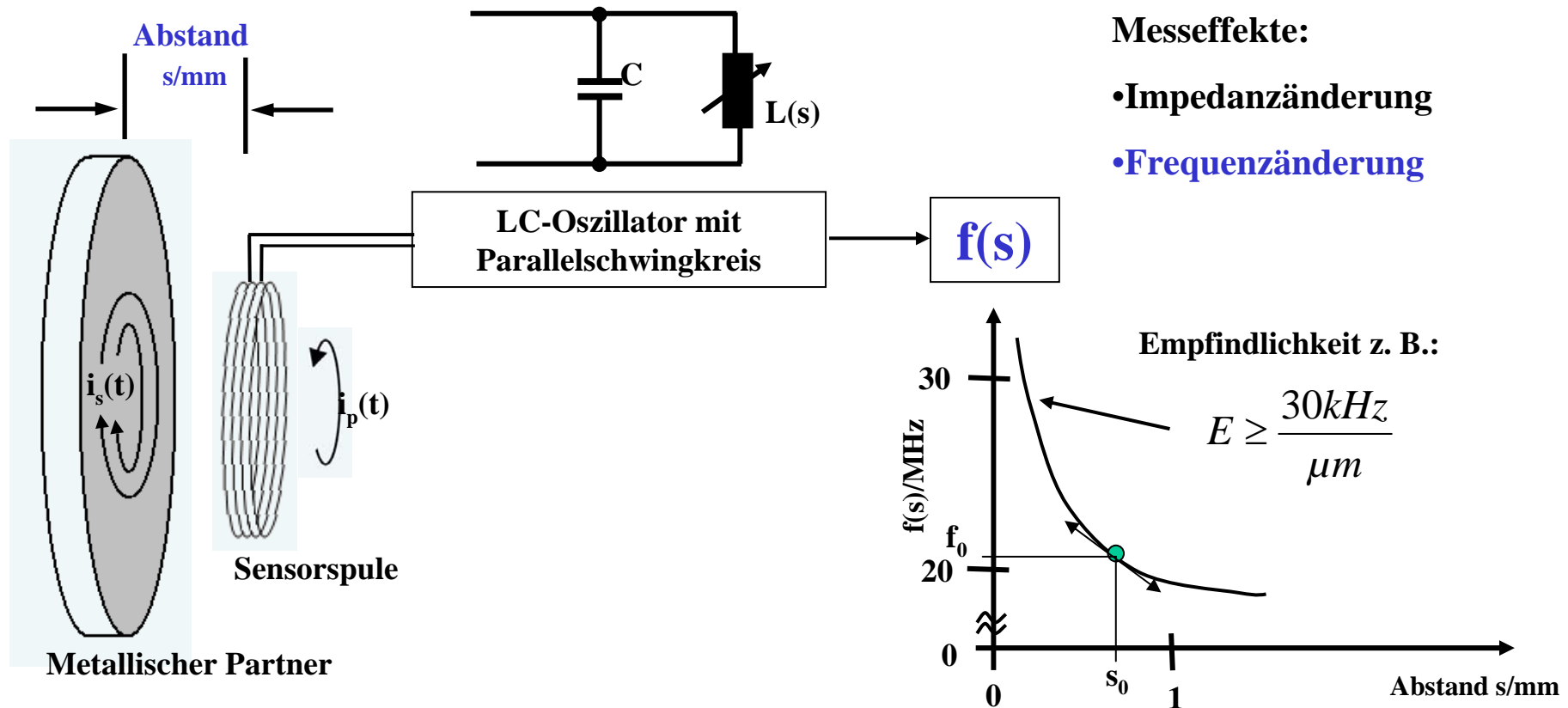
Temperaturbereich: 0-70°C

Nenndruck: 1,5bar

Auflösung: 1mbar

Idee: Messung des Membranweges mit Hilfe des Wirbelstromprinzips.

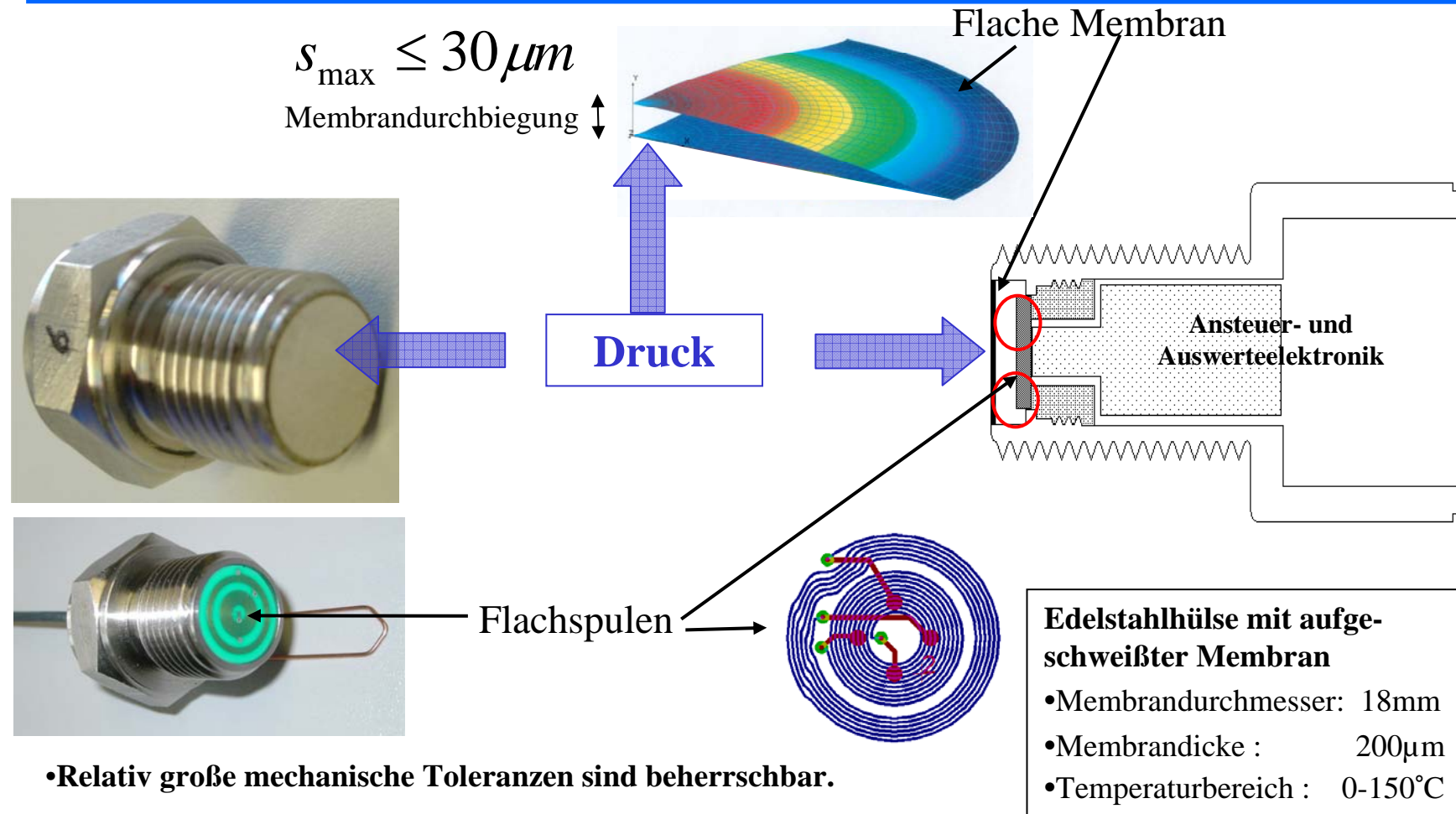
Abstandsmessung mit Wirbelstrom



Vorüberlegungen bei idealisierten Annahmen:

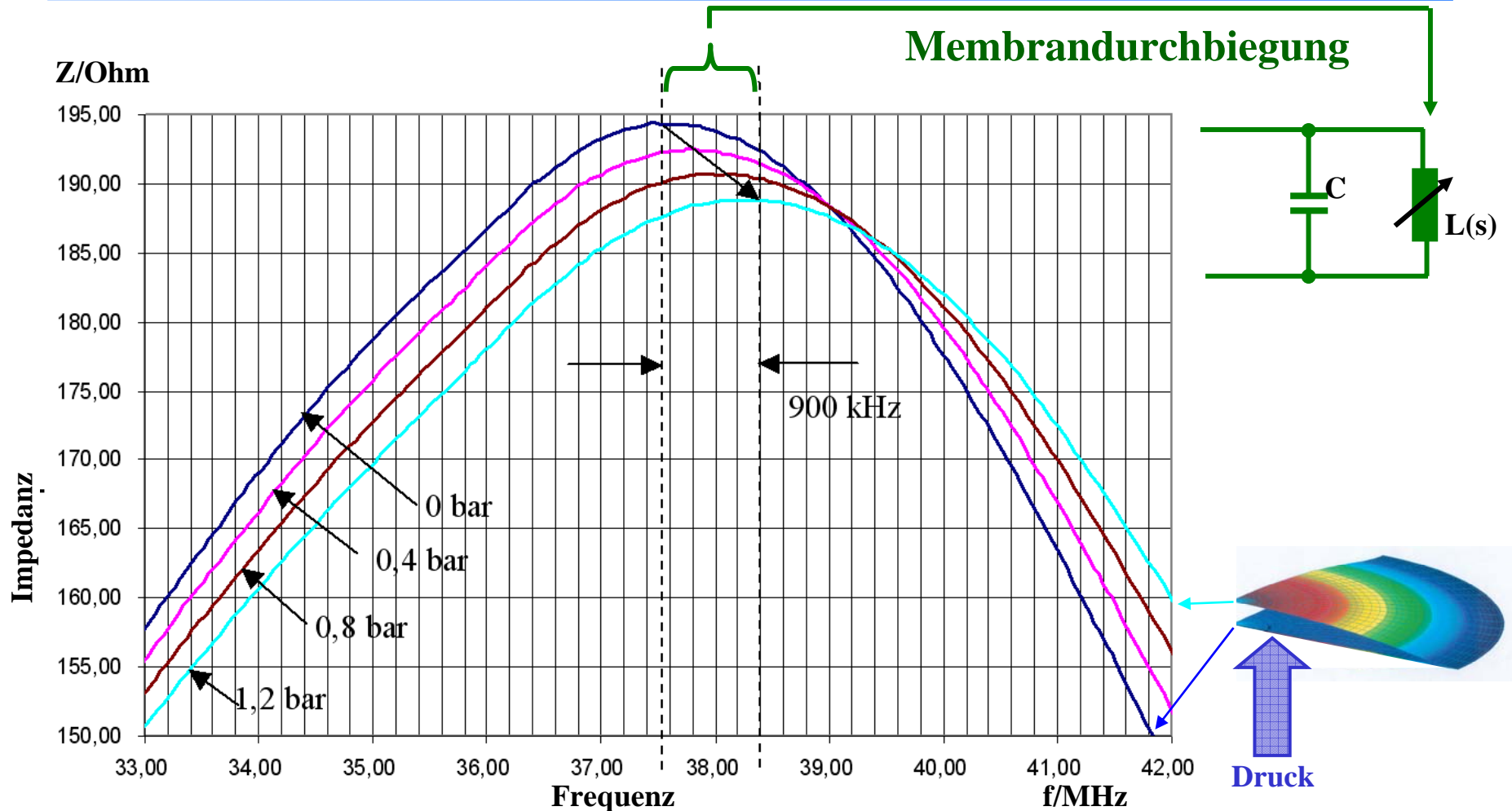
- Der Grundabstand s_0 beeinflusst nur die Frequenz f_0 .
- Die Kennlinie $f(s)$ verändert sich nicht.

Aufbau eines Versuchsmusters

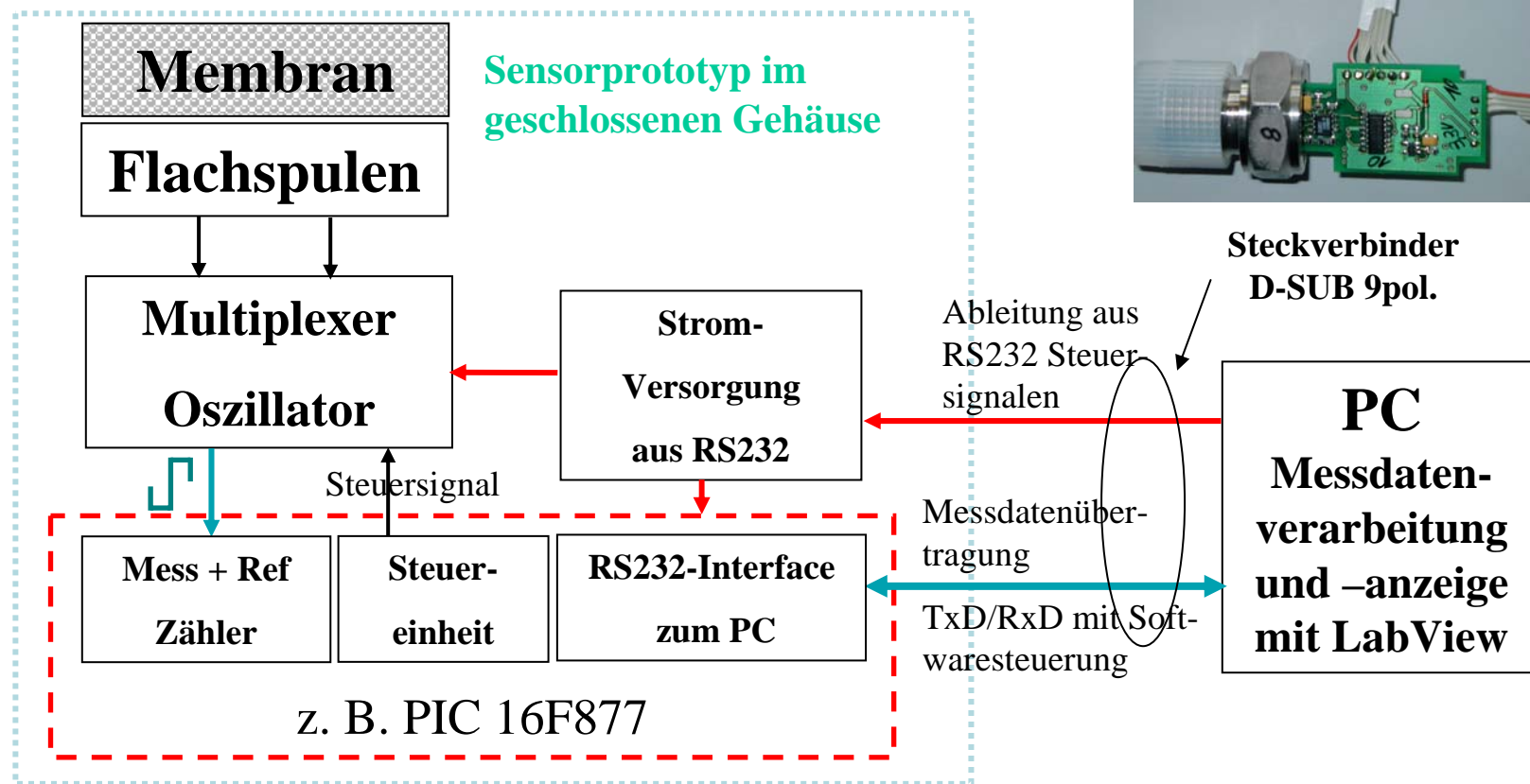


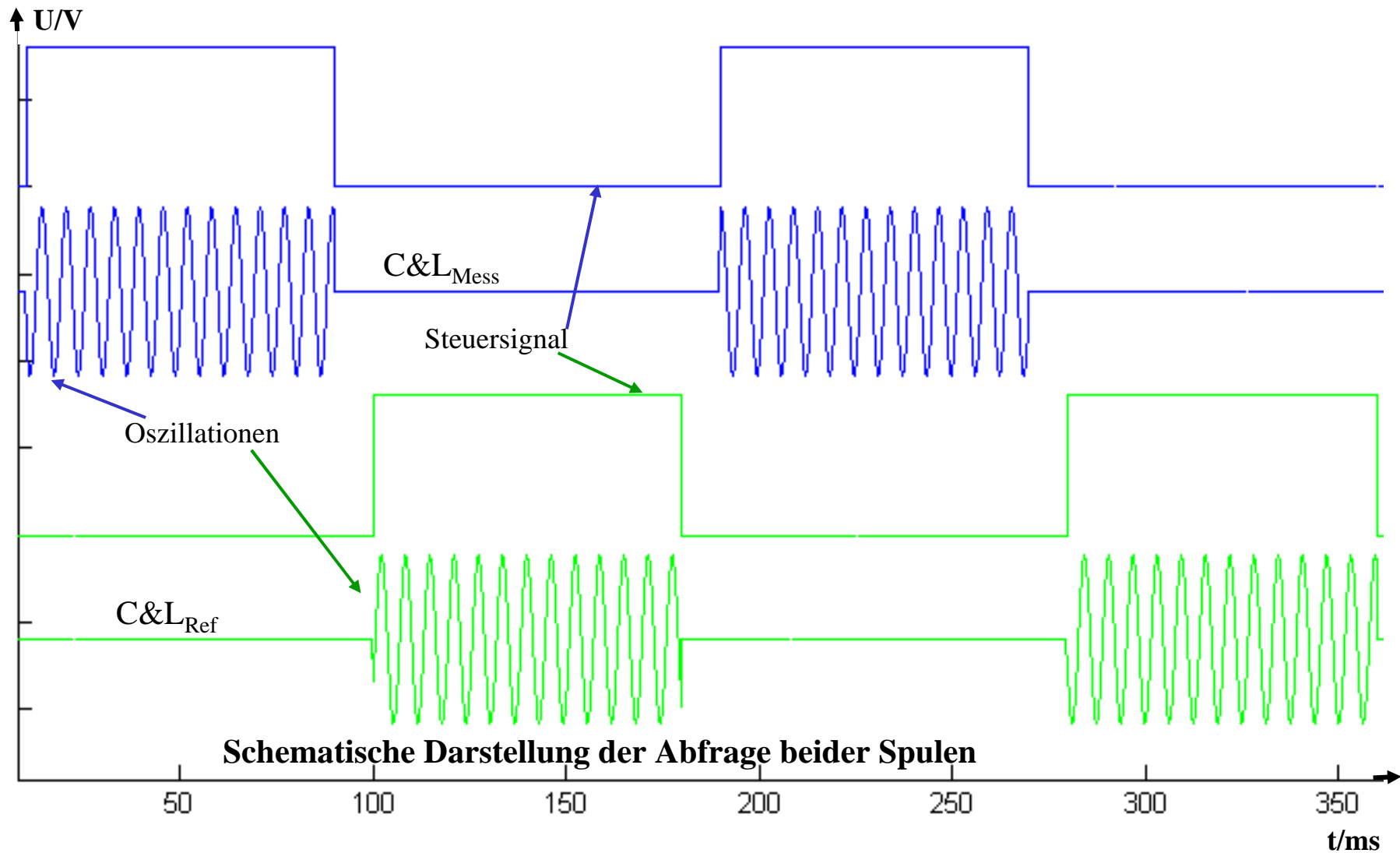
- Relativ große mechanische Toleranzen sind beherrschbar.
- Schiefelage der Spule ist unkritisch.

Verhalten der Impedanz des Parallelschwingkreises Abhängigkeit der Membrandurchbiegung



Aufbau eines Versuchsmusters

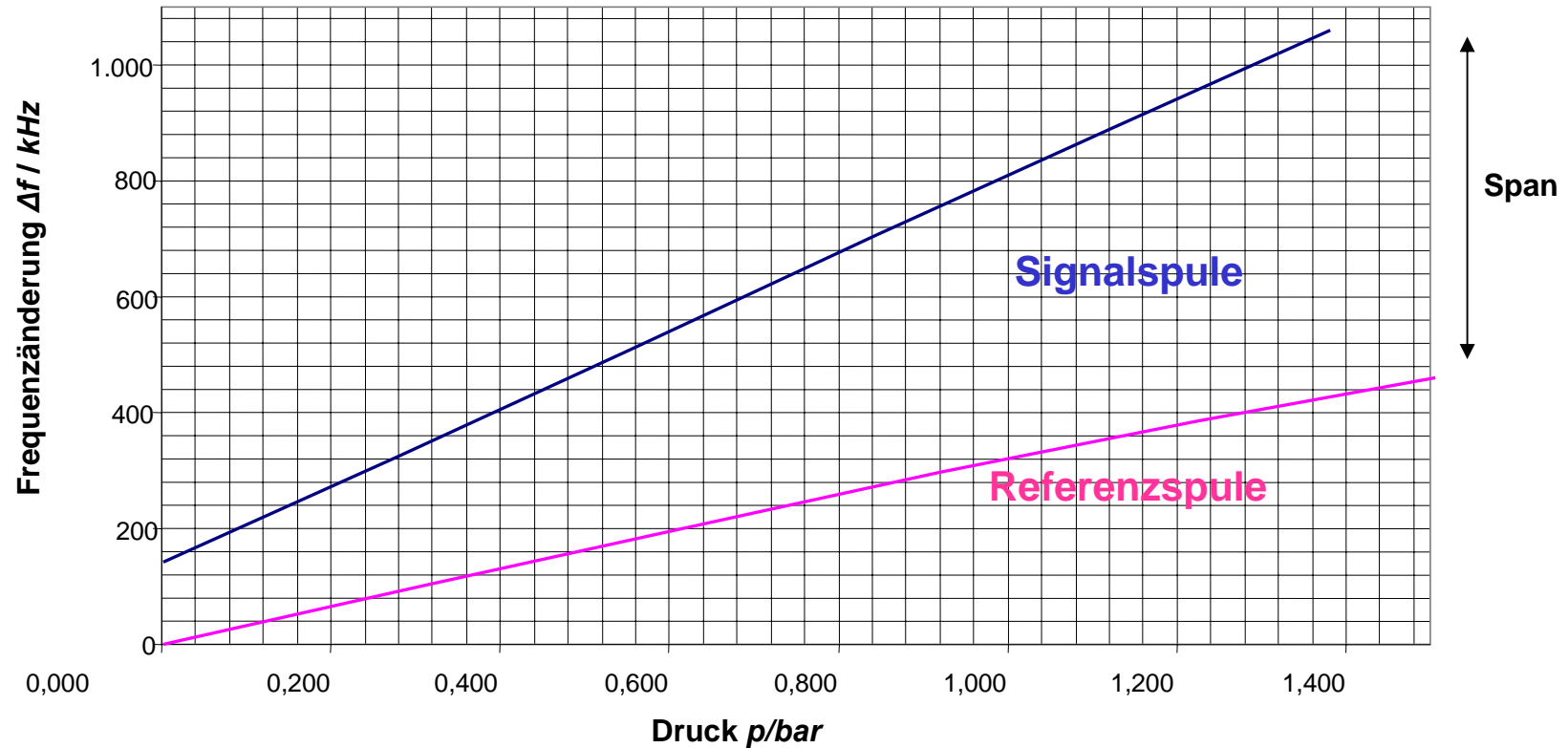




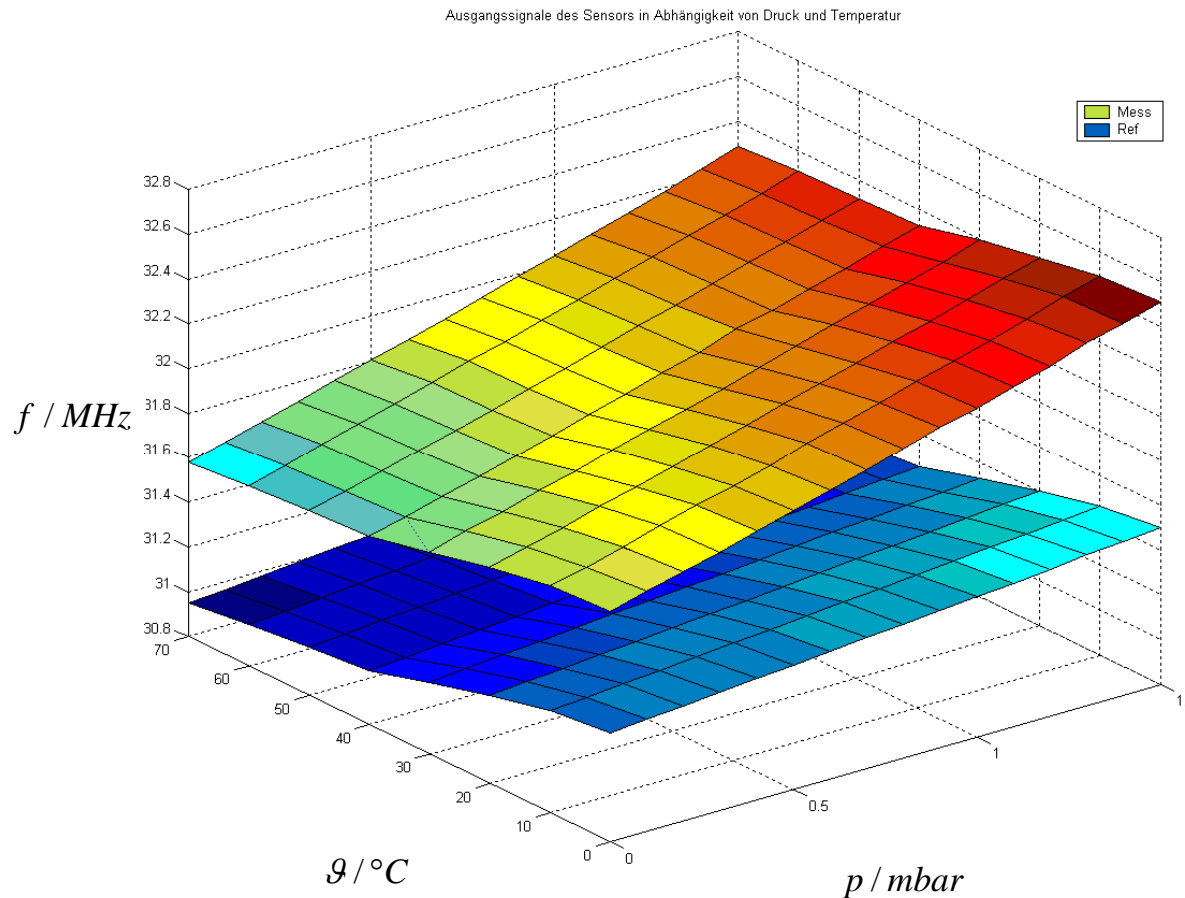
Messergebnisse des Versuchsmusters mit FR4-Spulenträger



Die Messwerte sind vom Frequenzoffset befreit!
(0-1,5bar mit 500 μ m Abstand der Spulen zur Membran)



Messergebnisse bei Verwendung von FR4-Spulenträgern



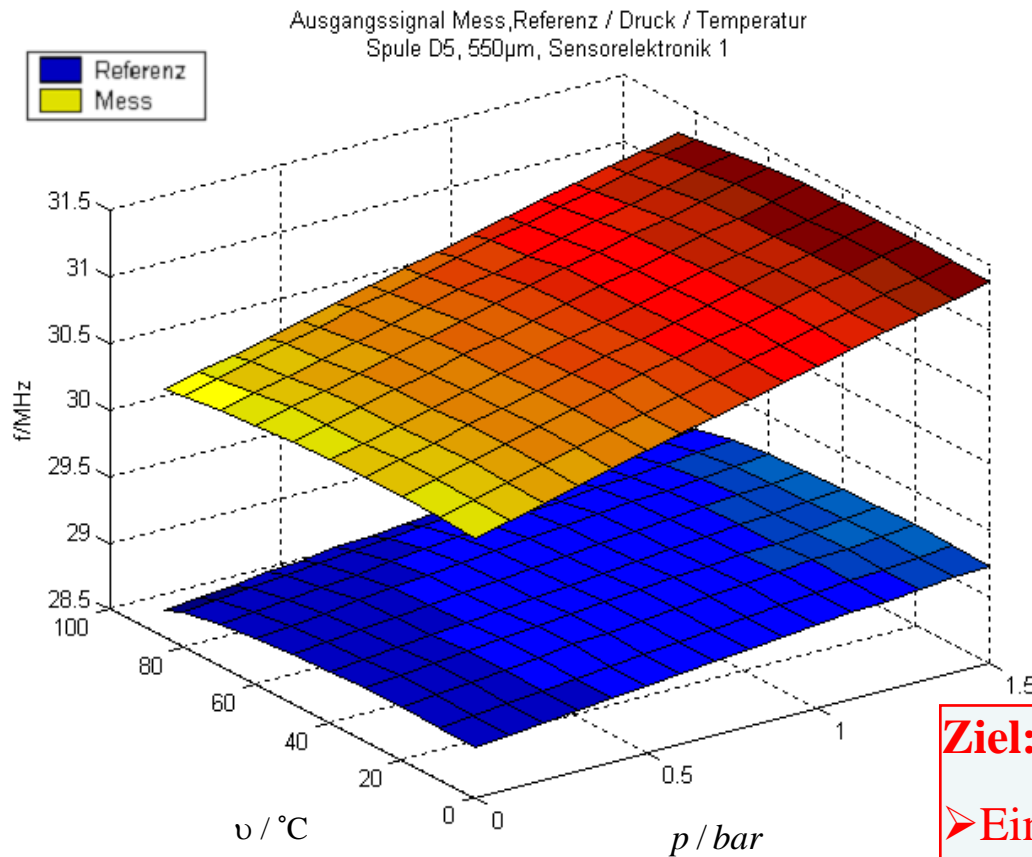
- Messergebnisse sind wiederholbar.
- Ergebnisse sind stetig aber nicht streng monoton steigend.
- Unterschiedliche Funktionen zur Beschreibung der Messergebnisse von Referenz- und Messsignal erforderlich.

Ergebnis:

- Keine Eindeutigkeit bei der Berechnung des von der Temperatur unabhängigen Druckes.

Ziel: Beseitigung der Ursachen.

Messergebnisse bei Verwendung von RO4003-Spulenträgern



- Die Temperaturabhängigkeit von Mess- und Referenzsignal nähert sich aneinander an, jedoch ist die Steigung unterschiedlich.
- Die Temperaturabhängigkeit ist nicht-linear aber **eindeutig** und wiederholbar.

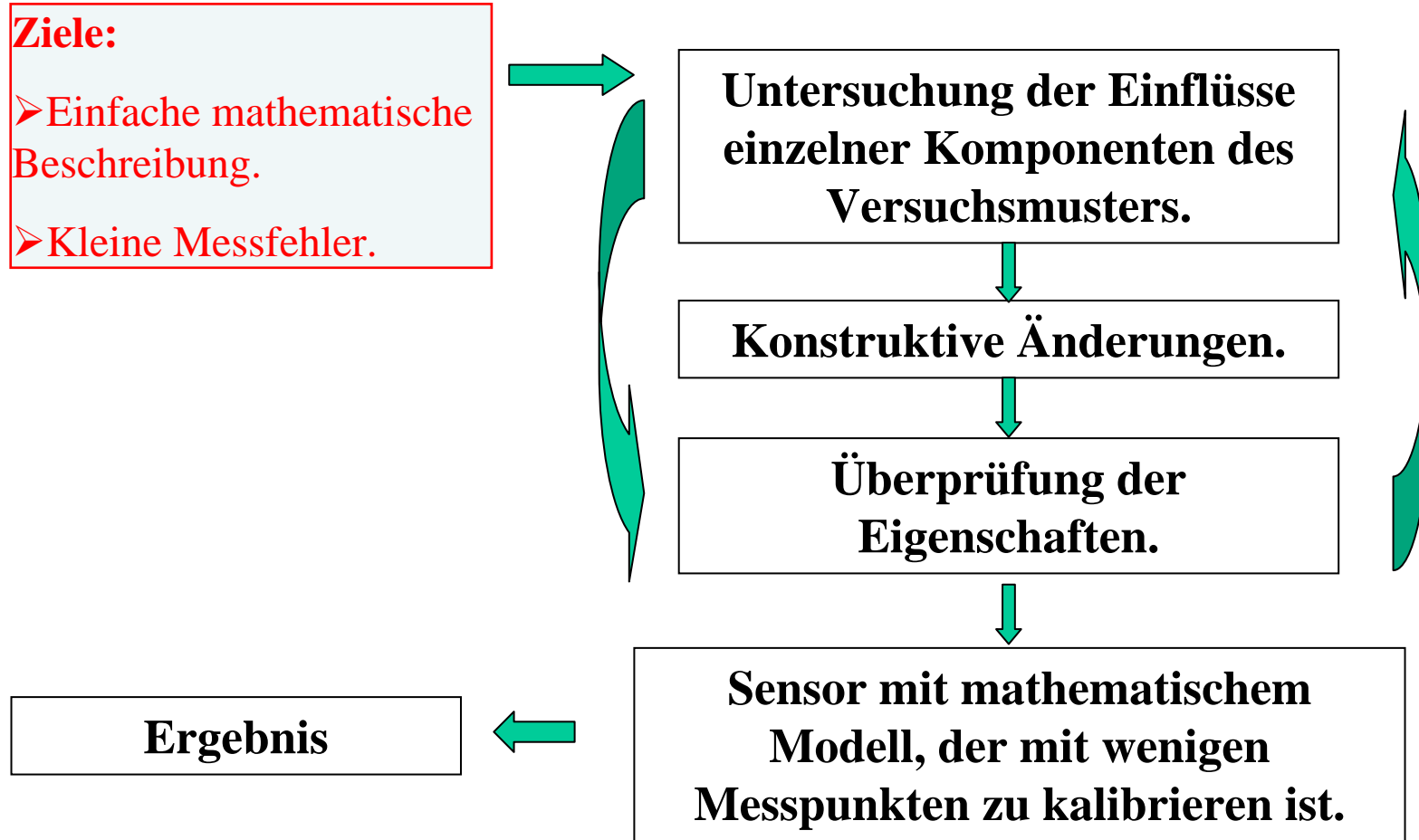
Ergebnis:

- Der Sensor ist funktionstüchtig. Die vorhandenen Temperaturabhängigkeiten müssen weiter untersucht werden!

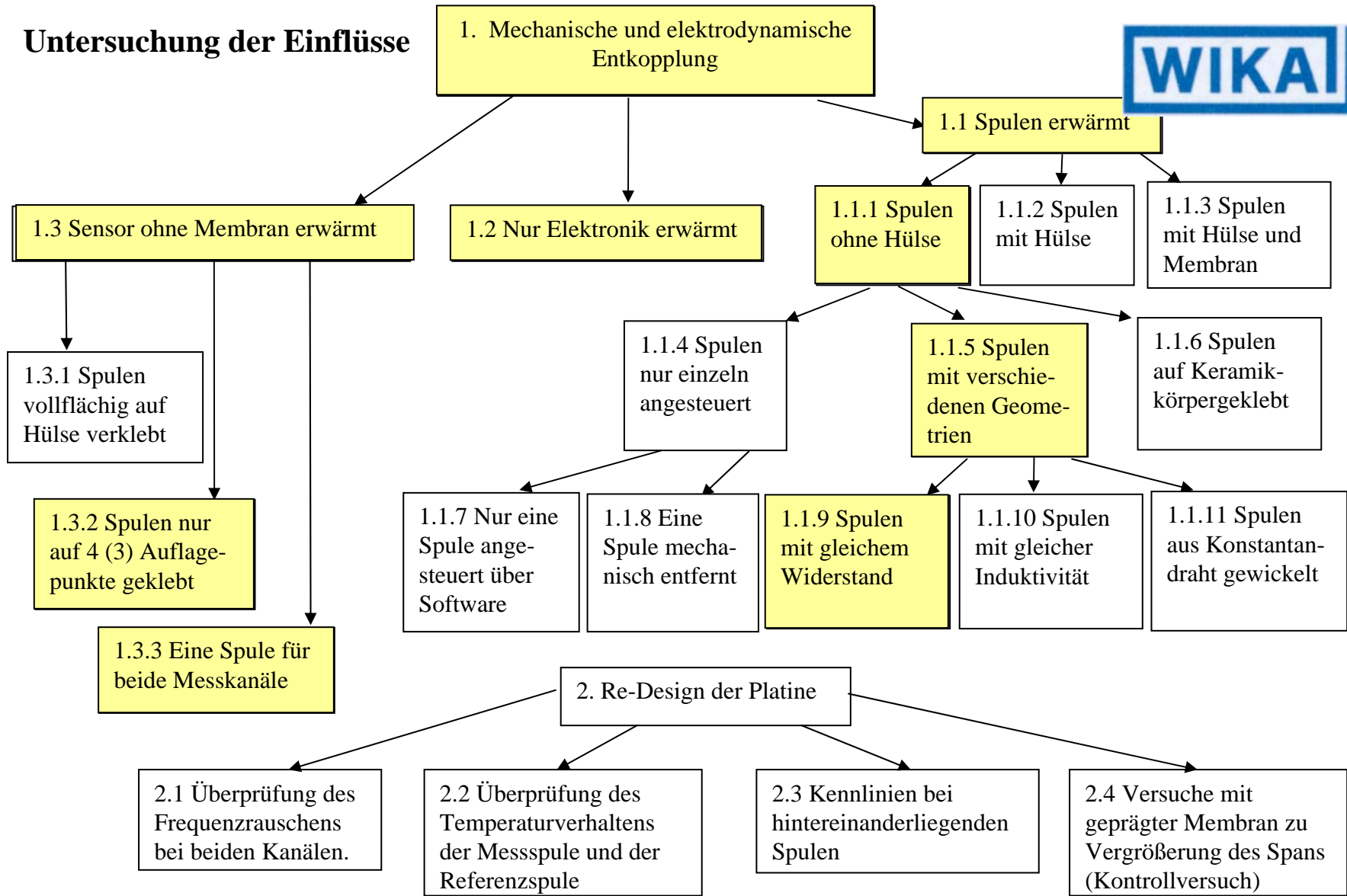
Ziel:

- Einfache mathematische Beschreibung.
- Kleine Messfehler.

Temperaturkompensation bei Verwendung von RO4003-Spulenträgern



Untersuchung der Einflüsse



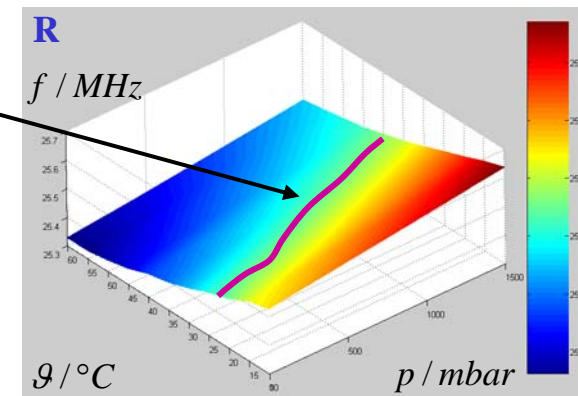
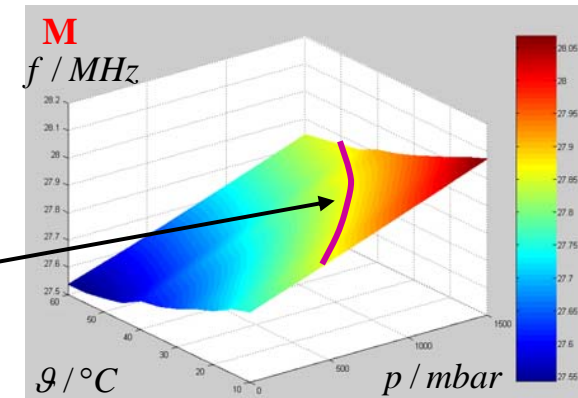
Temperaturkompensation bei Verwendung von RO4003-Spulenträgern



Verwendung der Kennlinienfelder zur Berechnung von Druck und Temperatur

Annahmen:

- Jede gemessene Frequenz f ist in jedem Kennlinienfeld für Mess- und Referenzsignal n -mal zu finden
- n ist abhängig von Druck und Temperatur
- Jeder Frequenz f ist nur ein Wertepaar aus Druck und Temperatur zugeordnet



Temperaturkompensation bei Verwendung von RO4003-Spulenträgern



Berechnung der Wertepaare gleicher Frequenz:

Subtraktion der Messfrequenz f_0 vom Kennlinienfeld mit anschließender Betragsbildung:

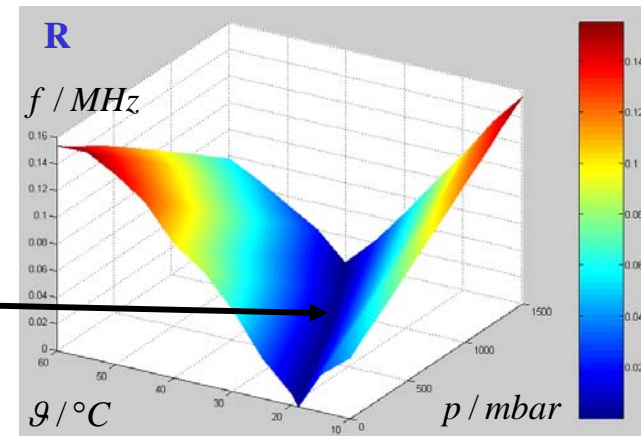
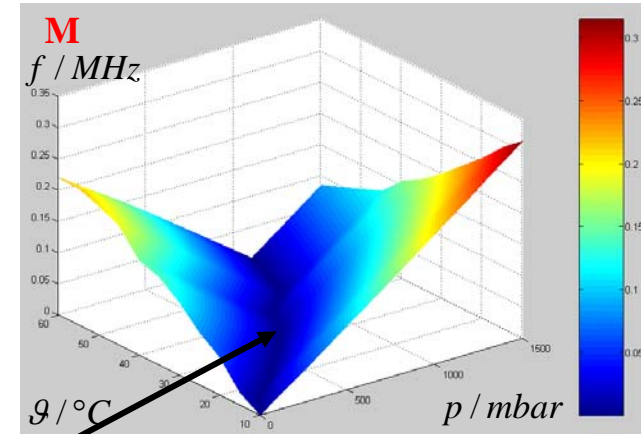
$$f_{BM}(p, \vartheta) = |f_M(p, \vartheta) - f_{0M}|$$

$$f_{BR}(p, \vartheta) = |f_R(p, \vartheta) - f_{0R}|$$

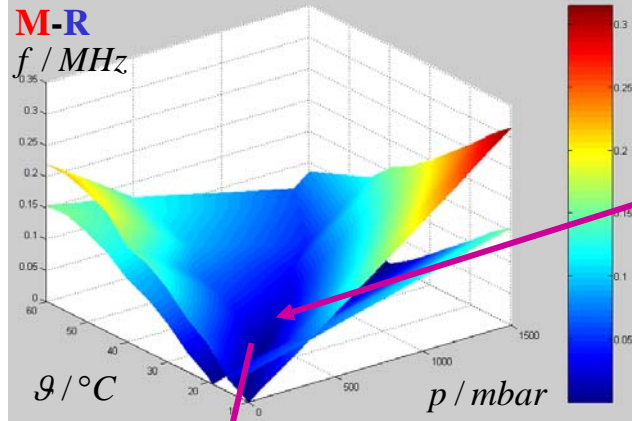
Die Minima-Linien

$$p_M(\vartheta) \text{ und } p_R(\vartheta)$$

sind die Linien gleicher Messfrequenz f_{0R} und f_{0M} , denen je ein Druck und eine Temperatur zugeordnet ist!



Temperaturkompensation bei Verwendung von RO4003-Spulenträgern



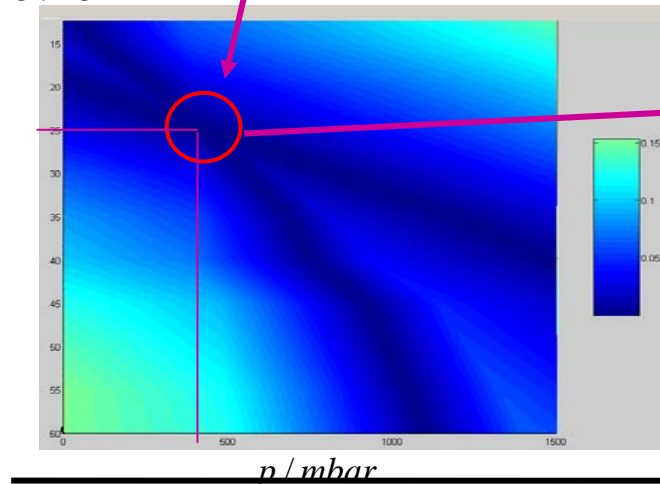
Berechnung des Druckes und der Temperatur:

Der Schnittpunkt der Minima-Linien stellt das Ergebnis dar!

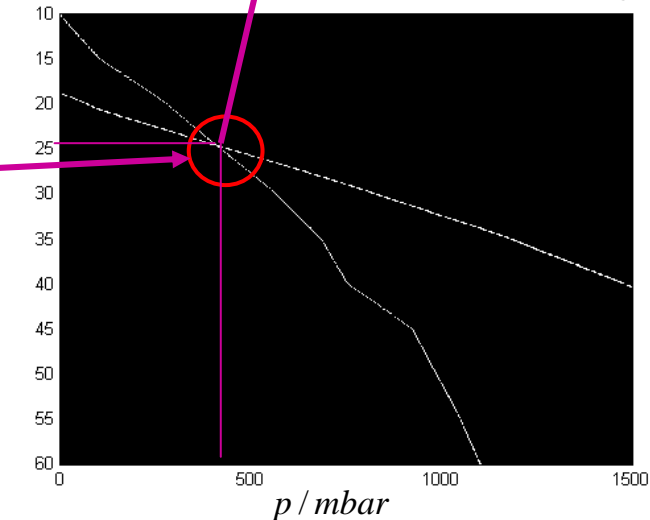
$$p_M(\vartheta) = p_R(\vartheta)$$

Ergebnis: p und ϑ

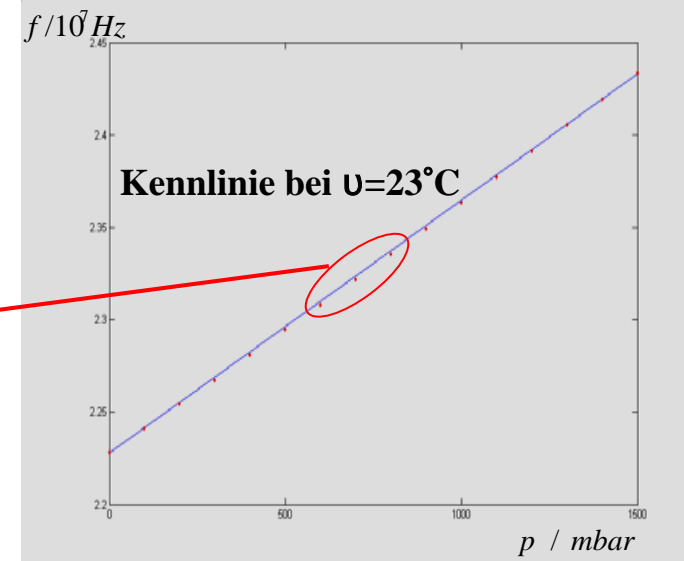
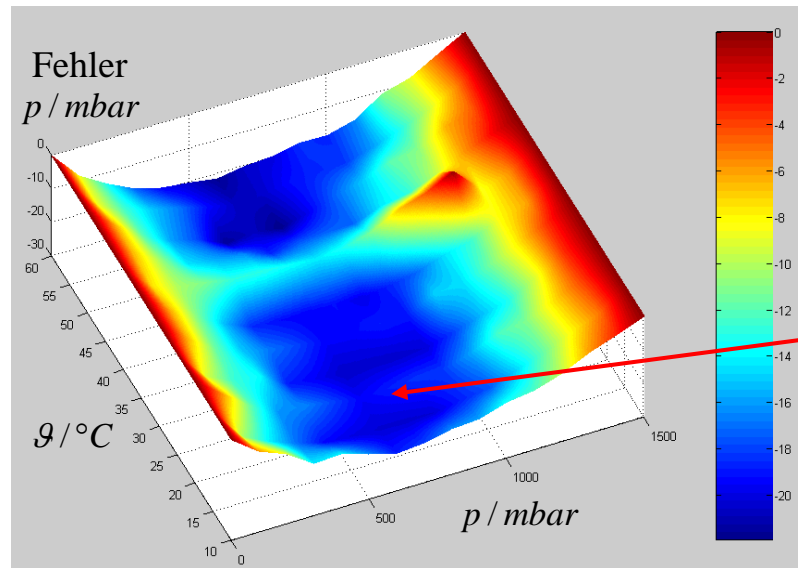
Minima-Linien 2+3D-Darstellung



Minima-Linien 2D-Darstellung



Messergebnisse bei Verwendung von RO4003-Spulenträgern



Größter Abweichung von der linearen Kennlinie: -23mbar!

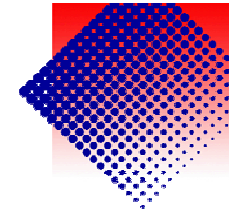
Ausgewählte Messwerte:

Temp. / °C	Istdruck / mbar	gem. Druck / mbar	Absoluter Fehler	rel. Fehler in % M.E.
11,9	128	133	5	0,3
23,2	16	3	-13	-0,9
31,5	1487	1466	-21	-1,4
41,9	1500	1477	-23	-1,5
47,4	635	585	-50	-3,3
48,8	456	462	6	0,4



Prof. Dr.-Ing. Jörg Himmel
 Labor für Sensortechnik und optische Messtechnik
 RheinAhrCampus – FH Koblenz
 Fachbereich Mathematik and Technik
 D-53424 Remagen





Stiftung
Rheinland-Pfalz
für Innovation

Berührungslose Messung der Form elektrisch leitfähiger Halbzeuge mit Wirbelfeldern

Rod Shape Testing by High Frequency
Eddy Current

Vortrag am 04.11.2008 in Mainz

LASOM

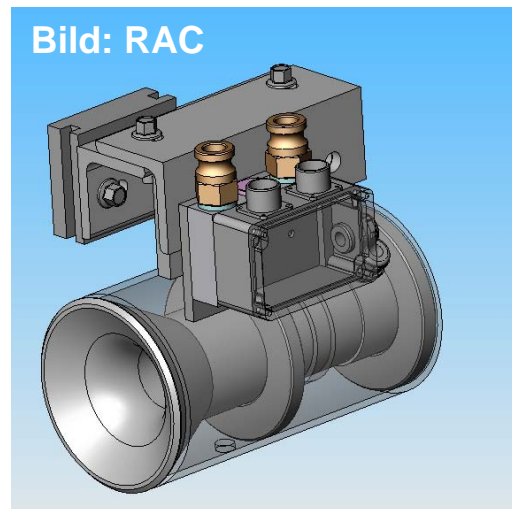
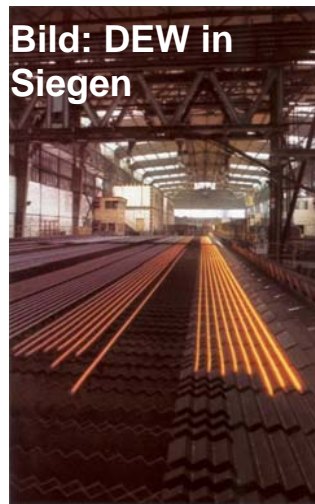
Kompetenzzentrum für Messtechnik

Fachhochschule Koblenz, RheinAhrCampus

Jens Weidenmüller, Christian Sehestedt und Jörg Himmel

Wie kommt es zu einer solchen Aufgabenstellung?

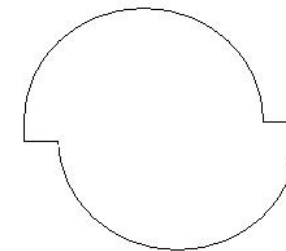
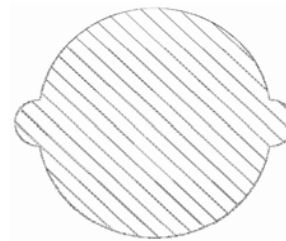
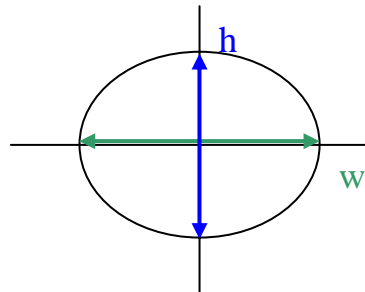
- Verfügbare Messsysteme sind bei diesen Anwendungen ungeeignet
- 20 Jahre Erfahrung bei der Lösung messtechnischer Problemstellungen, z.B. in der Stahlindustrie und im Maschinenbau
- Enge Kooperation mit der Stahlindustrie, z.B. DEW in Siegen
- Drittmittelprojekt zur Produktionsflusskontrolle bei der Stabstahlherstellung



Ziel des Vorhabens

Messung der Form runder oder ovaler Halbzeuge auf Basis hochfrequenter Wirbelströme:

- ➔ Anwendung bei Werkzeugmaschinen, z. B. Schälmaschinen
- ➔ Anwendung in Walzwerken für Rundmaterial zur Erkennung der folgenden Materialverformungen



Ziel des Vorhabens - Projektpartner

Zugang zu den Produktionsanlagen, Partner für Walzwerkstechnologie und potenzieller Anwender:



Mönchengladbach/NRW

Dr. Mark Haverkamp

Partner für die Weiterentwicklung, die Produktion und den Vertrieb:



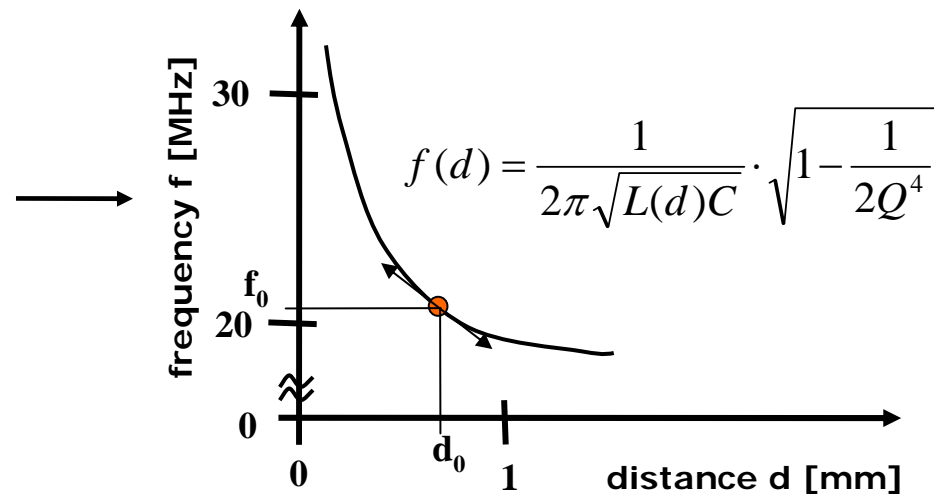
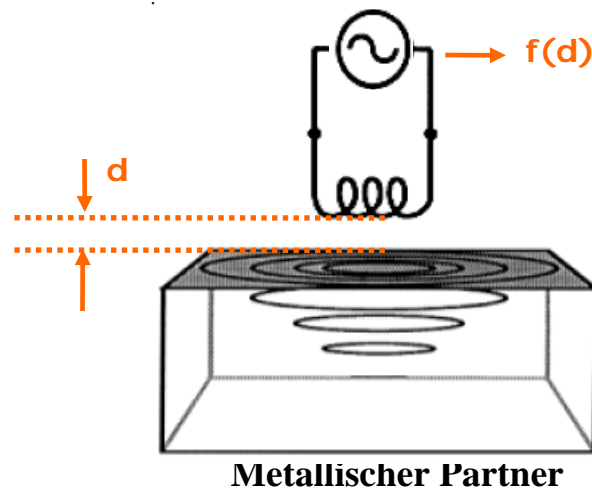
Bad Kreuznach/RLP

Dr. Wolfram Kleuver



Hochfrequenter Wirbelstrom

Prinzip



Messgrößen

- Resonanzfrequenz (LC Oszillator)
- Impedanz

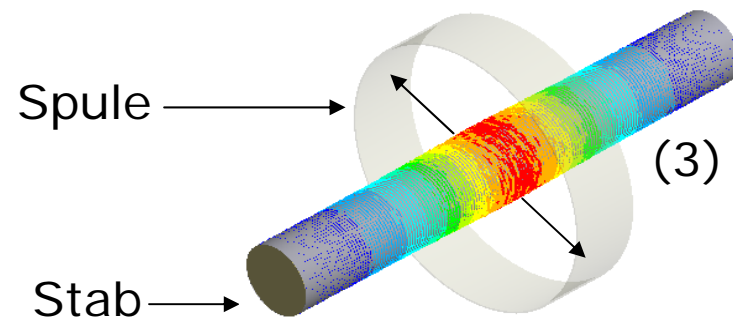
Typische Einsatzbereiche:

- Rissprüfung, Abstandsmessung

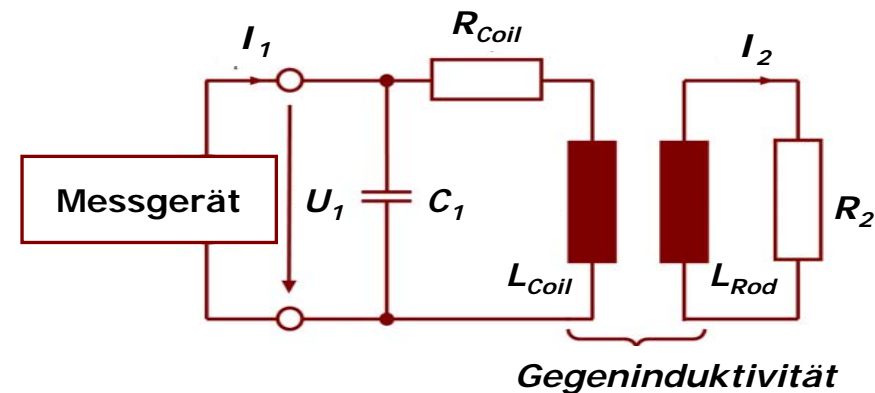
Der neue Ansatz

Abweichend von bekannten Wirbelstrommessprinzipien befindet sich der Partner in der Spule

Patentanmeldung: DE 102008013475.9

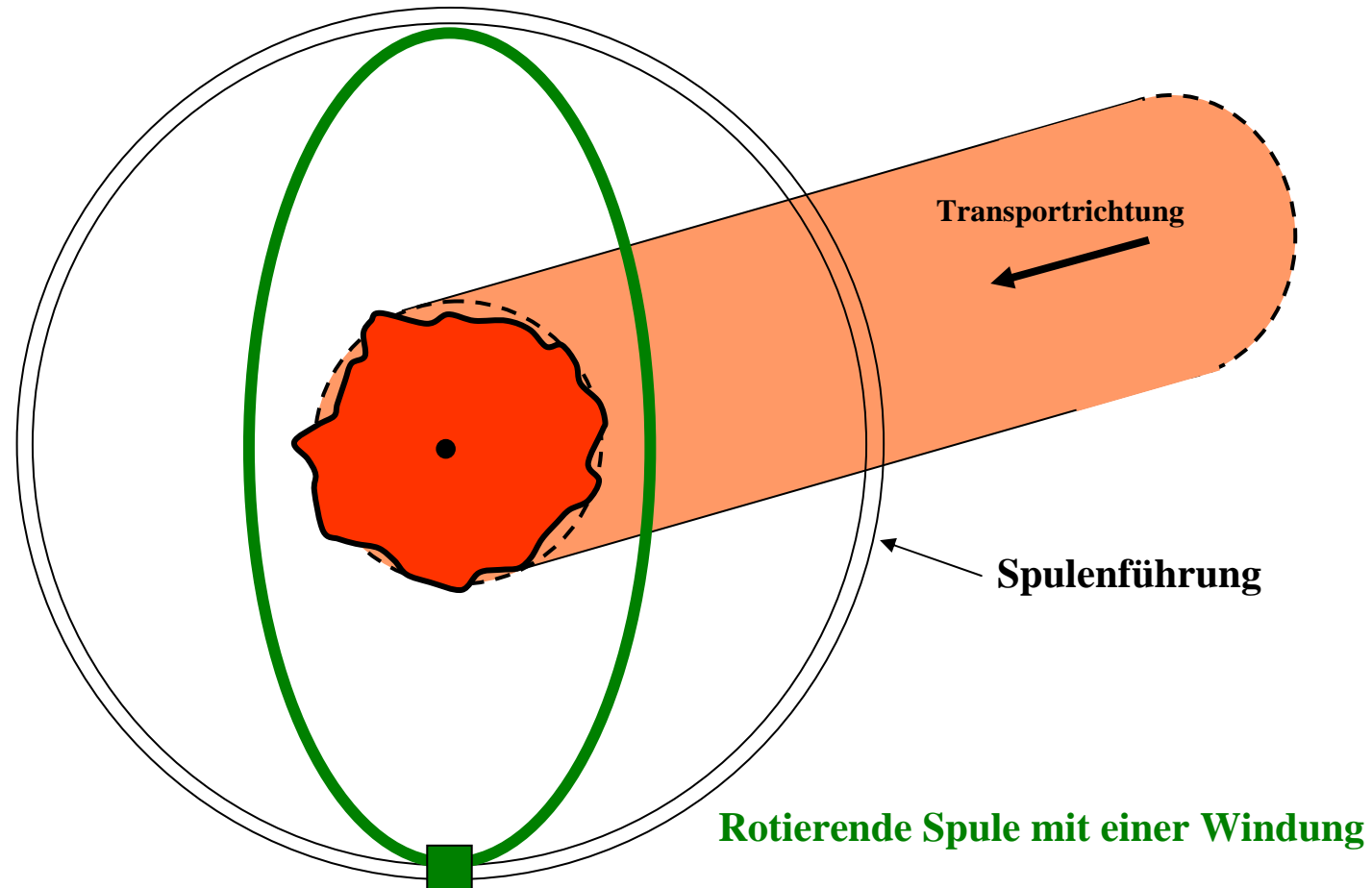


FEM-Simulation mit Ansys©

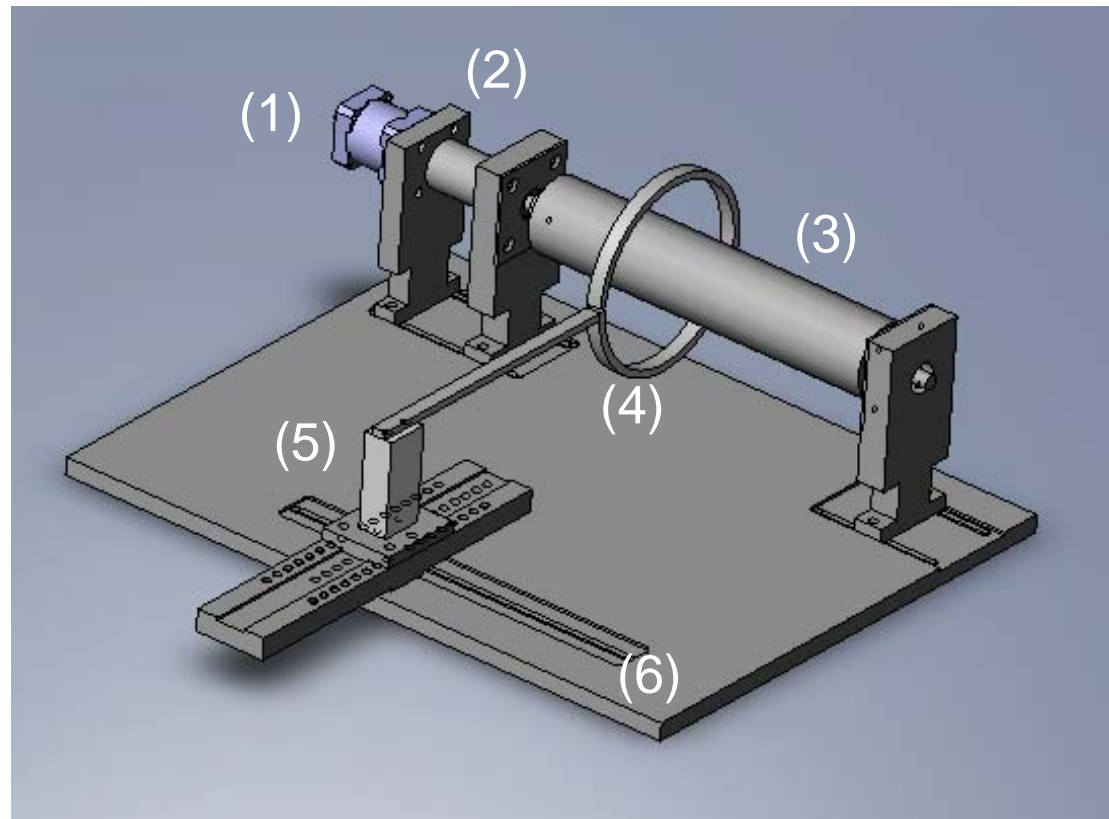


Die Gegeninduktivität hängt von der Stabposition innerhalb der Spule und der von der magnetischen Feldstärke durchsetzten Fläche ab!

Der neue Ansatz

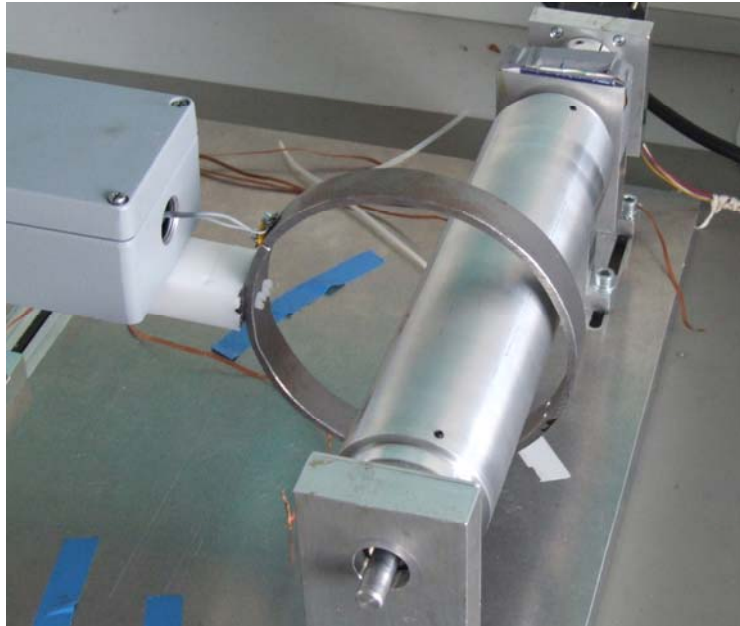


Laborversuche

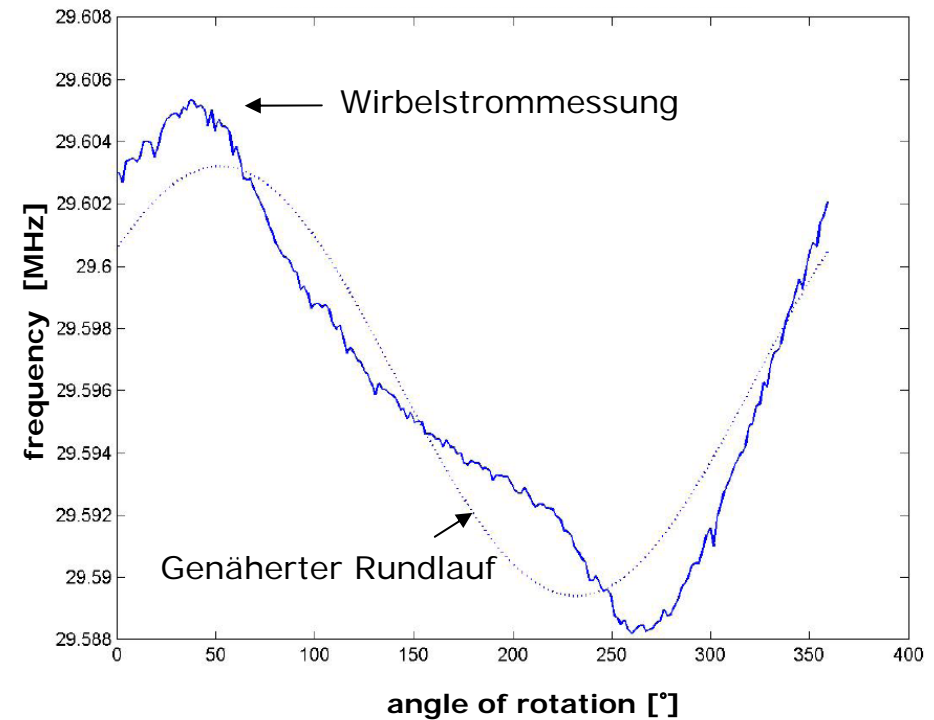


- (1) Schrittmotor (Schrittweite 1.8°)
- (2) Kupplung
- (3) Stab ($\varnothing=50$ mm, $l=280$ mm)
- (4) Spule
- (5) Spulenhalterung
- (6) Montageplatte

Ergebnisse der Laborversuche



Stabdurchmesser: 50 mm



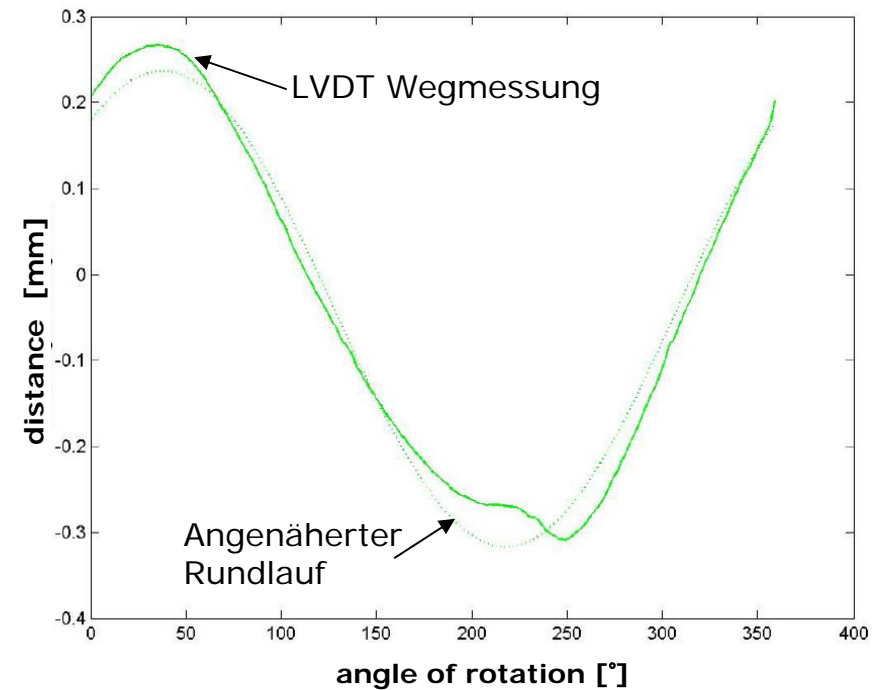
Ergebnisse

- Frequenzänderung in Abhängigkeit des Rundlaufs ~ 16 kHz
 - Frequenzänderung in Abhängigkeit der Rundheit ~ 2 kHz
- } Nicht linear!

Vergleich mit einem Standardsensor (LVDT)



LVDT (Linear Variable Differential Transformer)

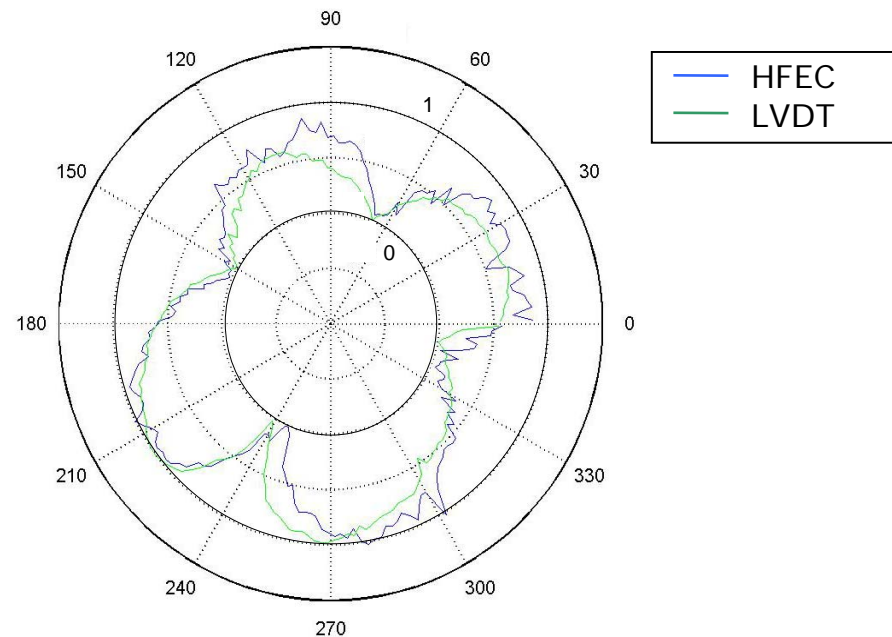


Ergebnisse

- Rundlaufabweichung $\sim 550 \mu\text{m}$
 - Rundheitsabweichung $\sim 5 \mu\text{m}$
- } Linear!

Vergleich Wirbelstromsensor und Standardwegmessung mit LVDT

Qualitative Darstellung der Abweichung der Rundheitsmessung in Polarkoordinaten

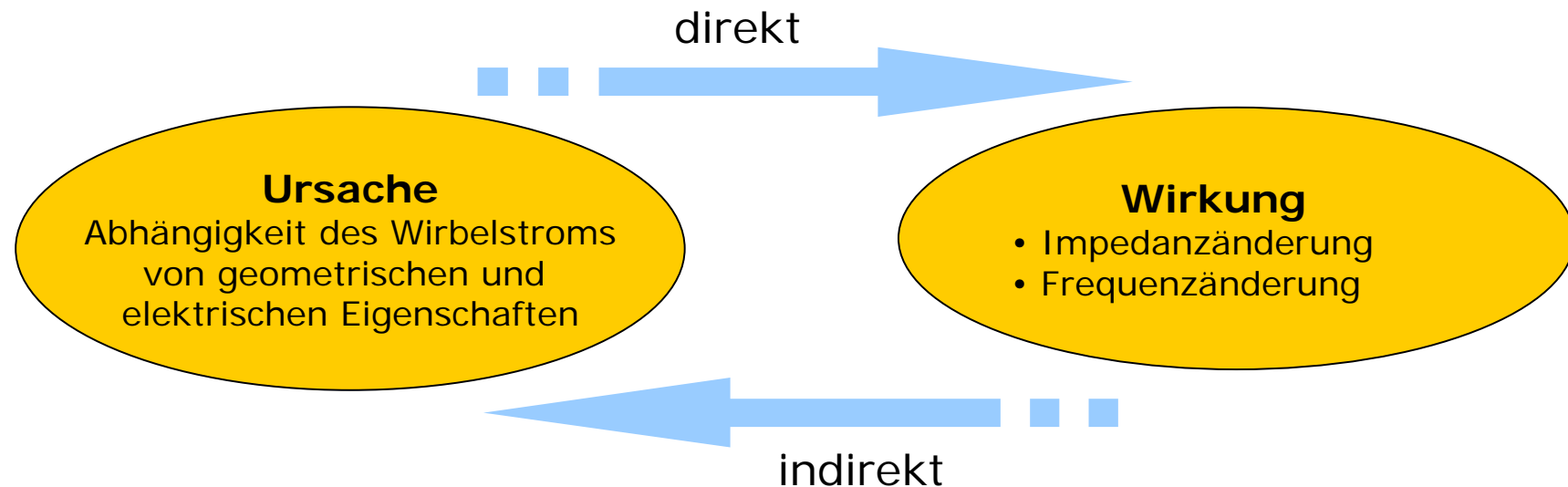


Ergebnis

- Die Kleeblattform ist typisch für die Rundheitscharakteristik für rotierend bearbeitete Werkstücke
- Abweichungen zwischen beiden Messverfahren beträgt etwa 5 µm

Inverses Problem

Ursachen- und Wirkungskette



- Nur die Frequenz oder die Impedanz ist messbar
- Mit Hilfe mathematischer Methoden muss die Umfanglinie des Stabes aus diesen Messergebnissen rekonstruiert werden

Zusammenfassung

- (1) Aus den Versuchen zur Produktionsflusskontrolle ist bekannt, dass dieses Messprinzip gut in technisch schwierigen Umgebungen eingesetzt werden kann. Das neue Messverfahren bietet damit viele Vorteile gegenüber bekannten Verfahren.
- (2) Erste Versuche im Labor zeigen, dass eine $5\ \mu\text{m}$ Rundheitsabweichung zu detektieren ist.
- (3) Es muss ein mathematischer Algorithmus entwickelt werden, mit dem die Umfangslinie rekonstruiert werden kann.

Wir danken der



und den industriellen Partnern für ihre
Unterstützung!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!