

# Modellierung von HF Schleifenantennen und ihre Anwendung bei der RFID Systemoptimierung

Wei Lin

Bernd Geck

Christian Lanschützer

Hermann Eul

---

**Universität Hannover** 

Institut für Hochfrequenztechnik und Funksysteme

Prof. Dr. Hermann Eul

# Index

---

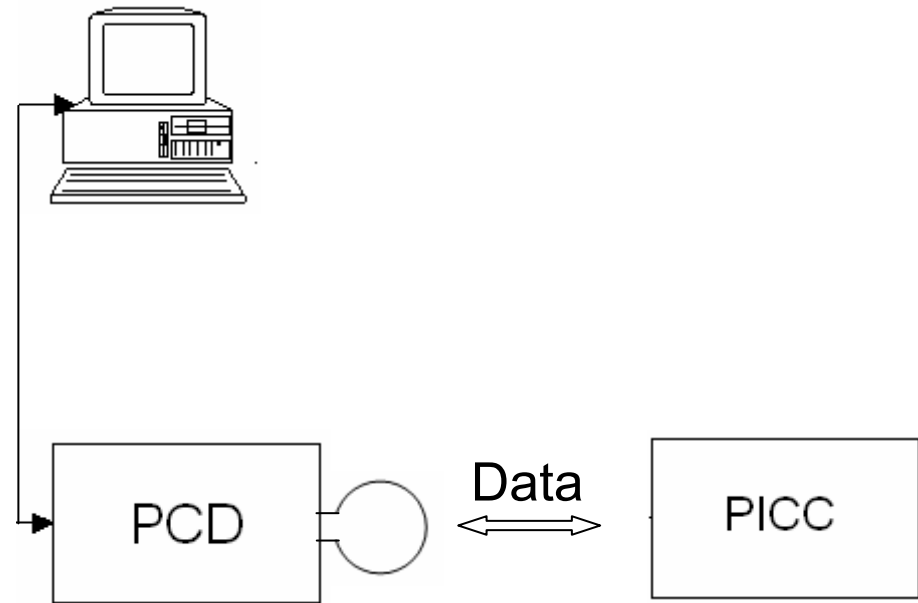
1. Zielsetzung
2. Modellierung
3. Systemoptimierung
4. Messung
5. Zusammenfassung

# Index

---

1. Zielsetzung
2. Modellierung
3. Systemoptimierung
4. Messung
5. Zusammenfassung

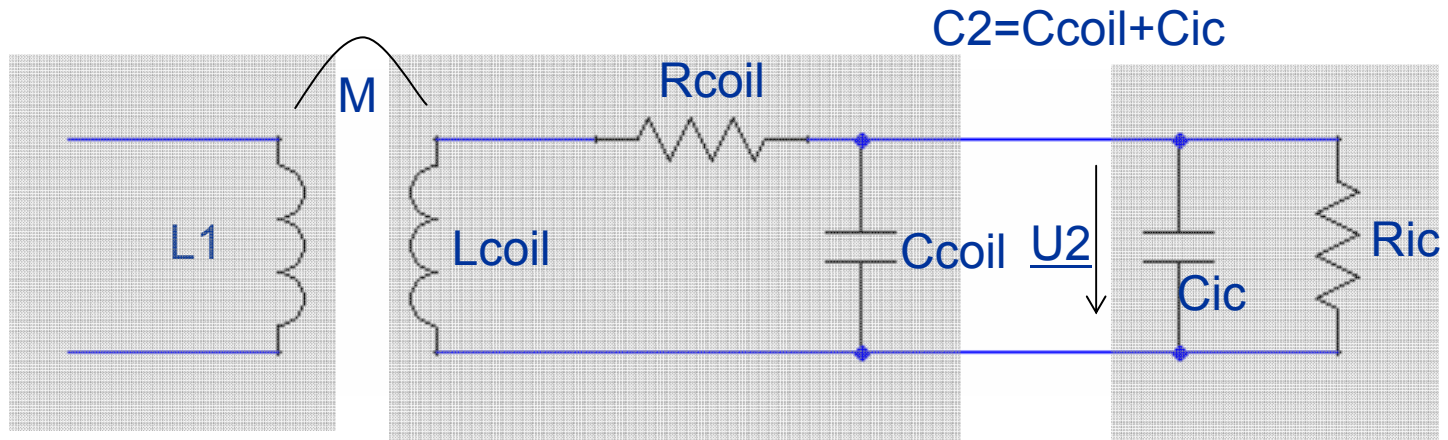
# RFID System



PICC: Proximity Integrated Circuit Card

PCD: Proximity Coupling Device

# Vereinfachtes Ersatzschaltbild des RFID-Systems



PCD-Spule

Spule

IC



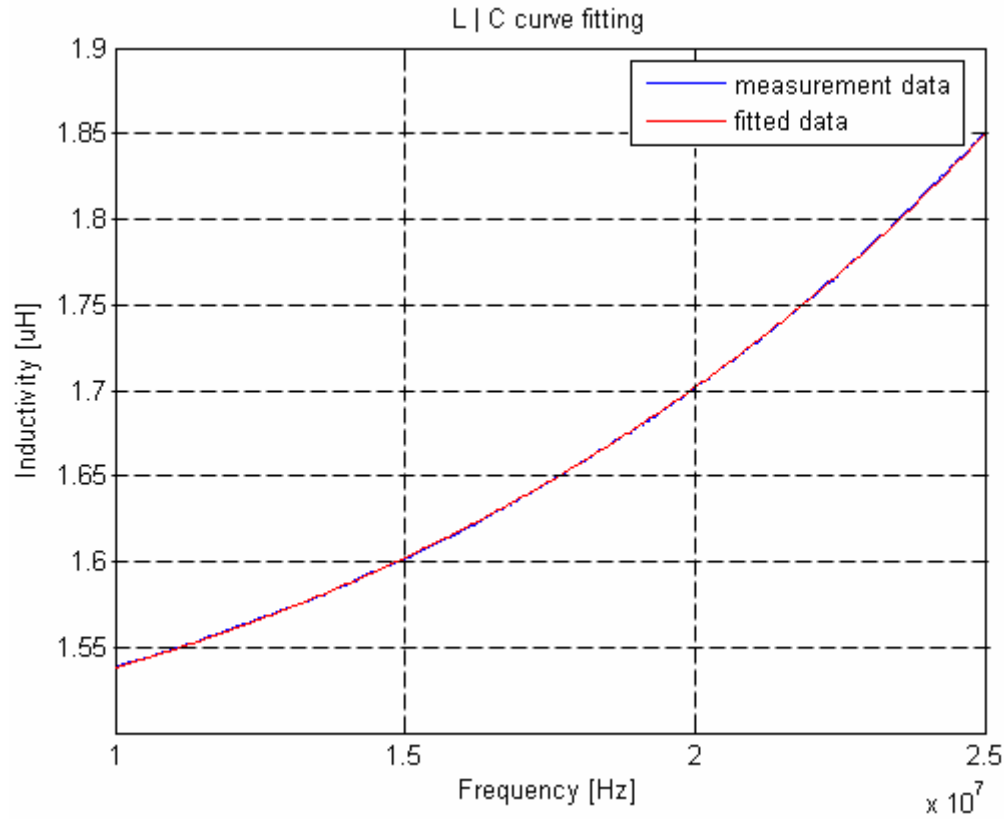
# Index

---

1. Zielsetzung
- 2. Modellierung**
3. Systemoptimierung
4. Messung
5. Zusammenfassung

# Verifizierung der L || C Parallelschaltung

Vergleich der äquivalenten Induktivität einer L || C Parallelschaltung mit Messdaten



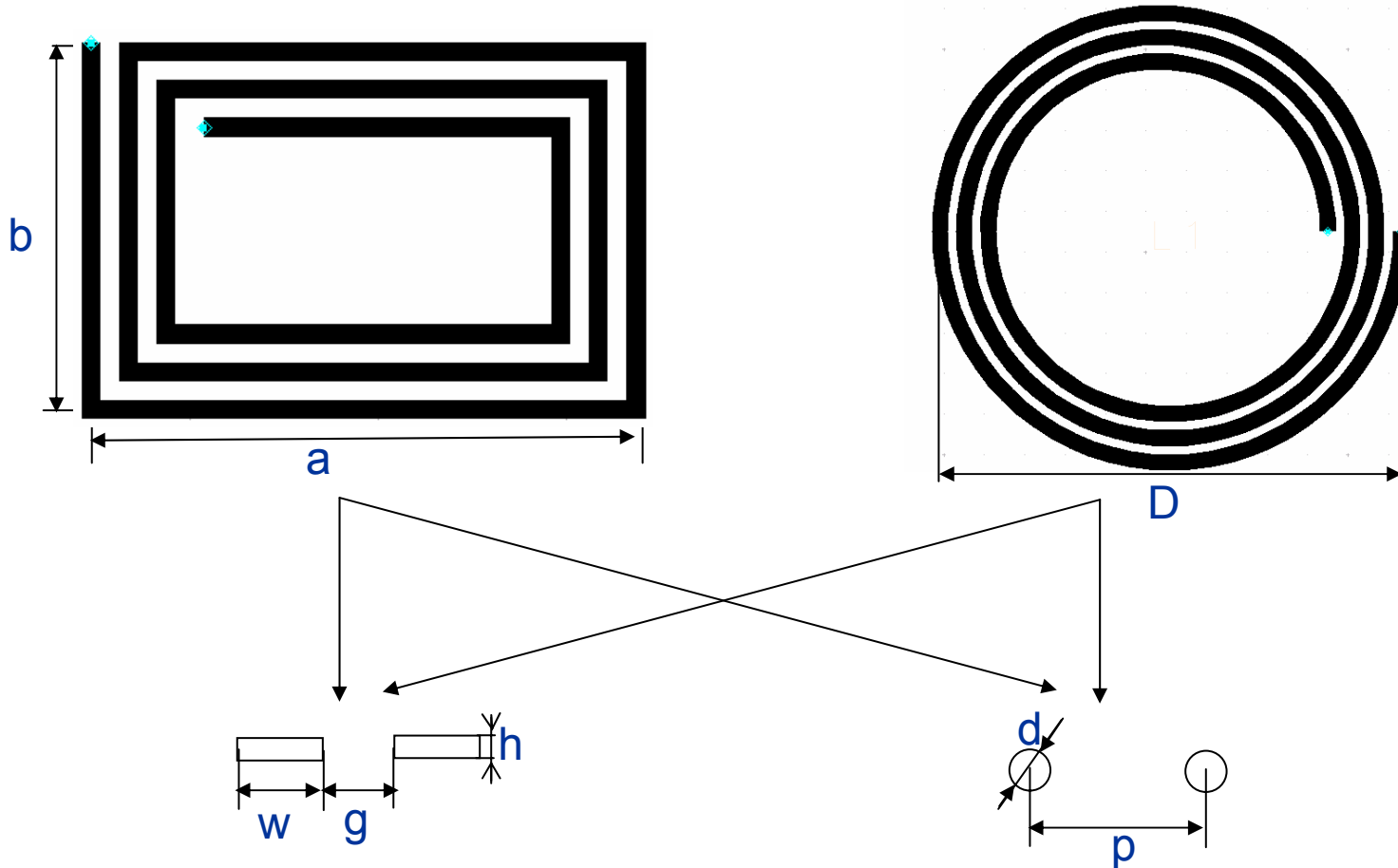
# Verschiedene Methoden

---

- Formeln und Tabellen  
F. W. Grover, “Inductance Calculations-Working Formulas and Tables”. USA: Dover Publications, Inc., 1945.
- Vereinfachung
- Rechnergestützte Analyse durch Diskretisierung
- Exakte Formel für vereinfachte Spulen entwickeln und auf dieser Basis Geometriefaktoren einführen

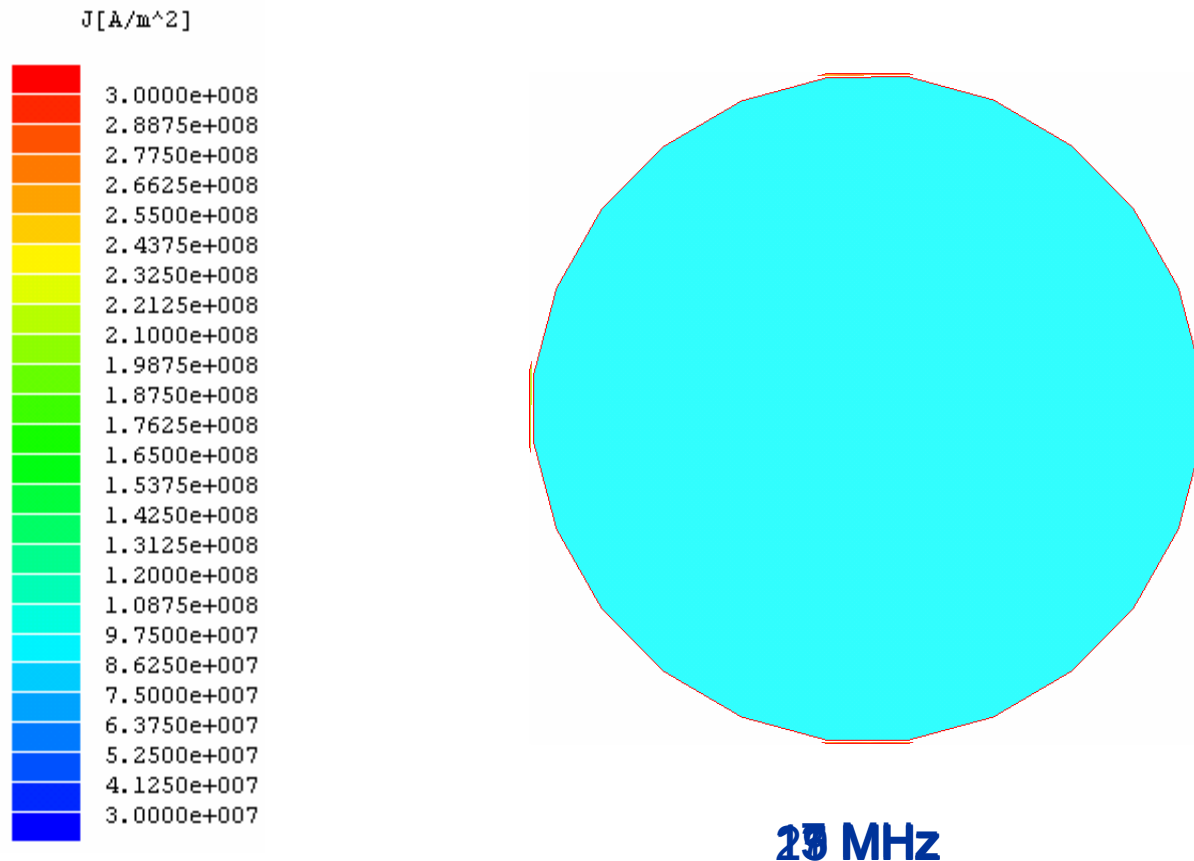


# Spulengeometrie



# Skin Effekt

Dass der AC Widerstand eines Leiters mit der Frequenz steigt, wird als "Skin Effekt" bezeichnet.



# Die exakte Lösung für einen runden Leiter

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu_0 \sigma}} \quad 0.018 \text{ mm für Kupfer bei 13.56 MHz}$$

$$k = \frac{\sqrt{2}}{\delta}$$

$$R_{skin} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi r \sigma \delta} \left[ \frac{ber(kr)bei'(kr) - bei(kr)ber'(kr)}{\{ber'(kr)\}^2 + \{bei'(kr)\}^2} \right]$$

$$Skin\_factor = \frac{R_{skin}}{R_{dc}}$$

ber(), bei(): Realer und imaginärer Teil der Bessel Funktion der ersten Art

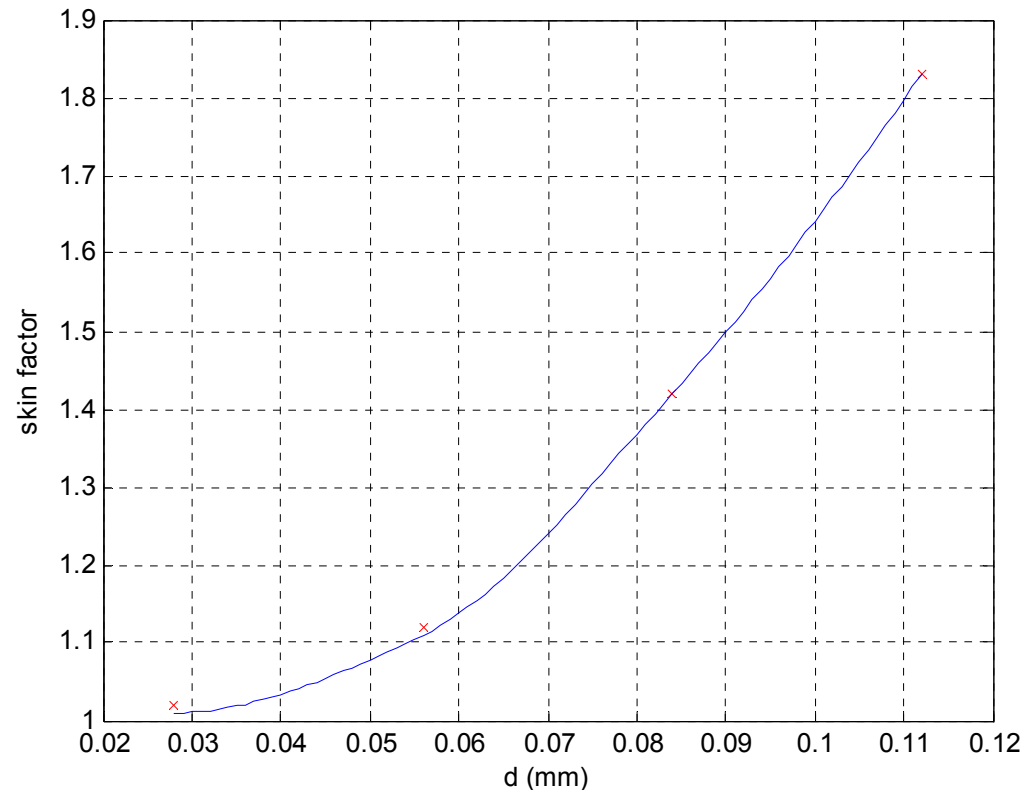
# Vergleich der simulierten Daten mit der exakten Lösung

## Die exakte Lösung:

d(mm)	k*r	Skin_faktor
0.028	1.1	1.01
0.056	2.2	1.11
0.084	3.3	1.42
0.112	4.4	1.83

## Simulationsdaten:

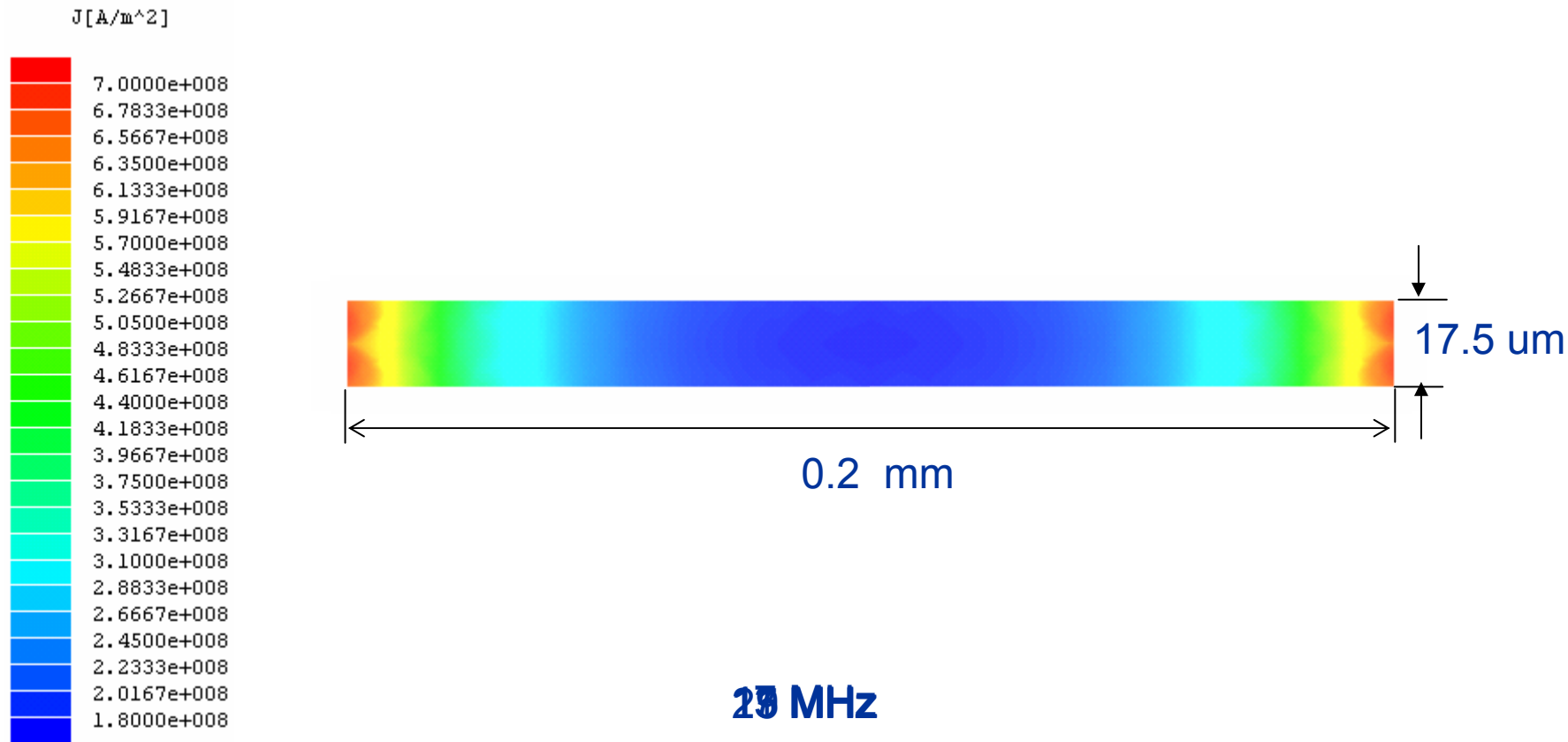
d(mm)	Skin_faktor
0.028	1.02
0.056	1.12
0.084	1.42
0.112	1.83



Curve fitting  $\Rightarrow$

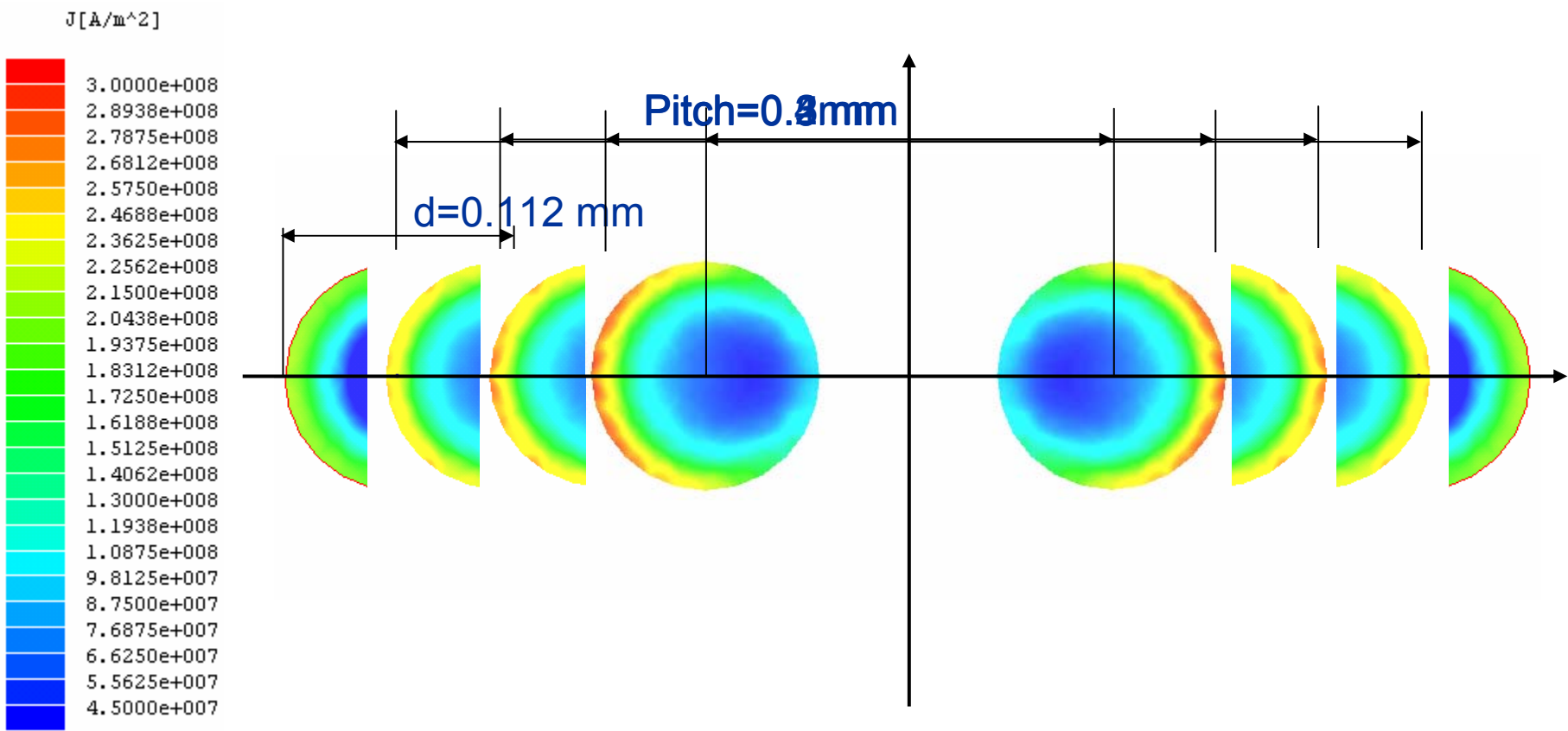
Formel für Berechnung  
des Skin\_faktors

# Skin Effekt

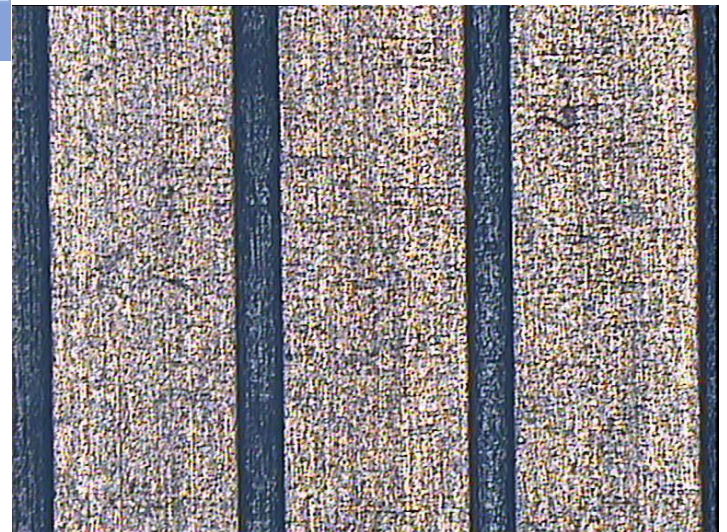
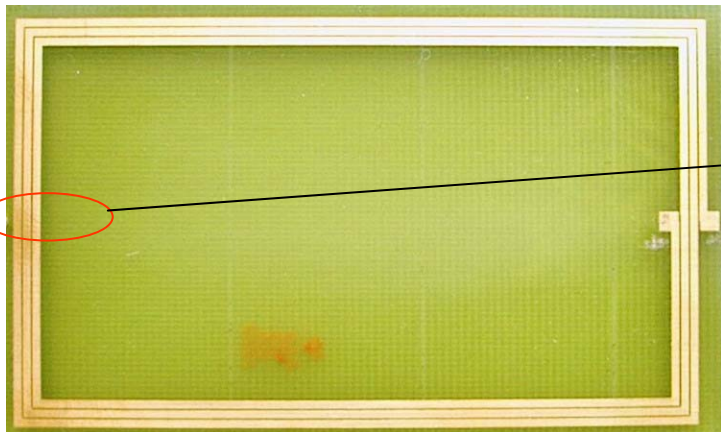
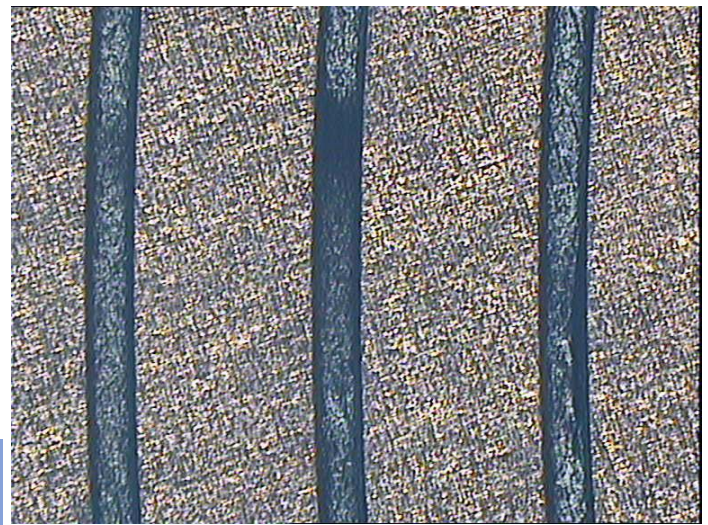
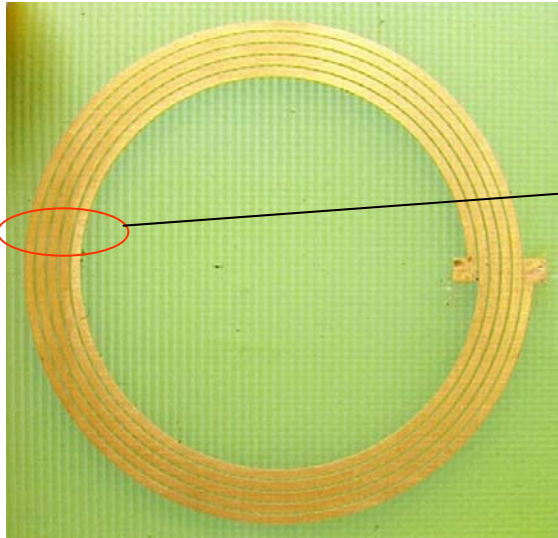


# Proximity Effekt

- Wenn mehrere Leiter nebeneinander liegen, wird die Stromdichteverteilung eines Leiters durch das magnetische Feld der nebenbei liegenden Leiter beeinflusst. Dieses Phänomen wird als "Proximity Effekt" bezeichnet.



# Hochpräzise Spulen



# Vergleich mit den Messdaten

Laserstrukturierte rechteckige Spulen:

$N_{coil} : 3$  a: 72mm b: 42mm

w ( $\mu\text{m}$ )	g ( $\mu\text{m}$ )	R_m (Ohm)	R_c (Ohm)	Diff (%)	L_m ( $\mu\text{H}$ )	L_c ( $\mu\text{H}$ )	Diff (%)	C_m (pF)	C_c (pF)	Diff (%)
200	200	4.74	4.73	-0.21	1.87	1.90	1.60	3.58	3.41	-4.84
200	800	4.45	4.35	-2.25	1.57	1.60	1.91	2.65	2.56	-3.33
200	1400	4.07	4.19	2.95	1.40	1.39	-0.71	2.29	2.32	1.00
800	200	1.56	1.58	1.28	1.39	1.38	-0.72	4.43	4.52	2.77
1400	200	1	0.97	-3	1.15	1.12	-2.61	4.69	4.83	3.13



# Index

---

1. Zielsetzung
2. Modellierung
- 3. Systemoptimierung**
4. Messung
5. Zusammenfassung

# Ansprechfeldstärke

$$H_{\min} = \frac{u_2 \sqrt{\left( \frac{\omega L_{coil}}{R_{ic}} + \omega R_{coil} (C_{coil} + C_{ic}) \right)^2 + \left( 1 - \omega^2 L_{coil} (C_{coil} + C_{ic}) + \frac{R_{coil}}{R_{ic}} \right)^2}}{\omega \mu_0 A_{eff} N_c}$$



$$H_{\min} = f(\text{Spulengeometrie}, C_{ic}, R_{ic}, u_2)$$

$u_2 = 4 \text{ V}$  Im Modell verwendeter Aktivierungspegel

IC — Parallelschaltung von einem Widerstand und einer Kapazität

# Parameterkombinationen

Tuning Parameter Parameter	<u>Nc</u>	a	b	d	p
<u>Nc</u>	-	x	-	-	x
a	-	-	x	x	x
b	-	-	-	-	-
d	-	x	-	-	x
p	-	x	-	x	-

x: Geeignete Parameterkombination.

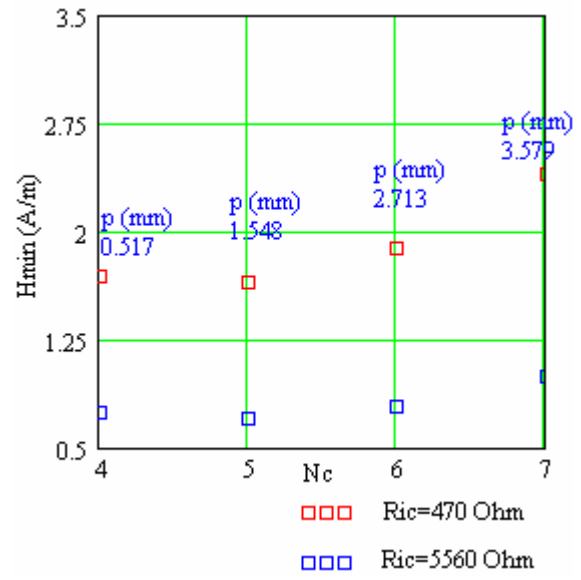
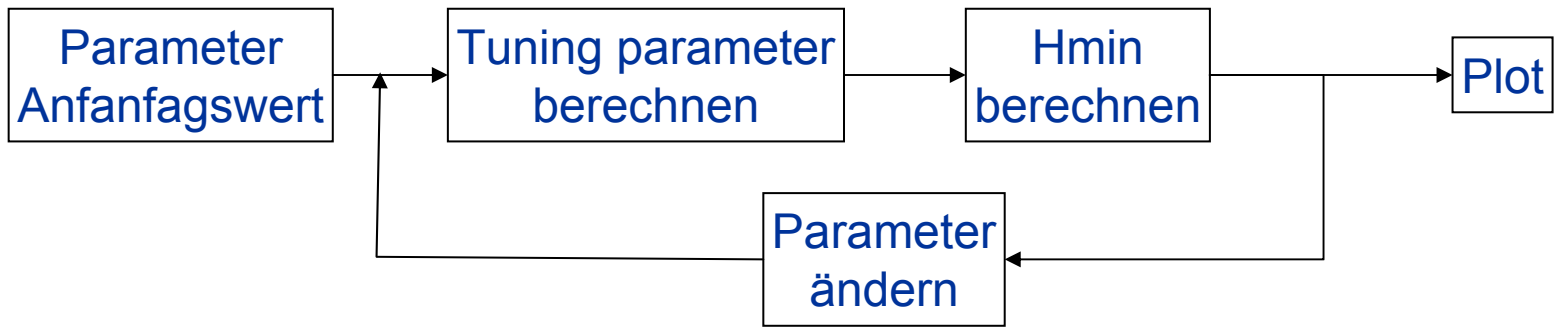
a,b: Spulenlänge und –breite

Nc: Windungszahl

d: Drahtdurchmesser

p: Pitch

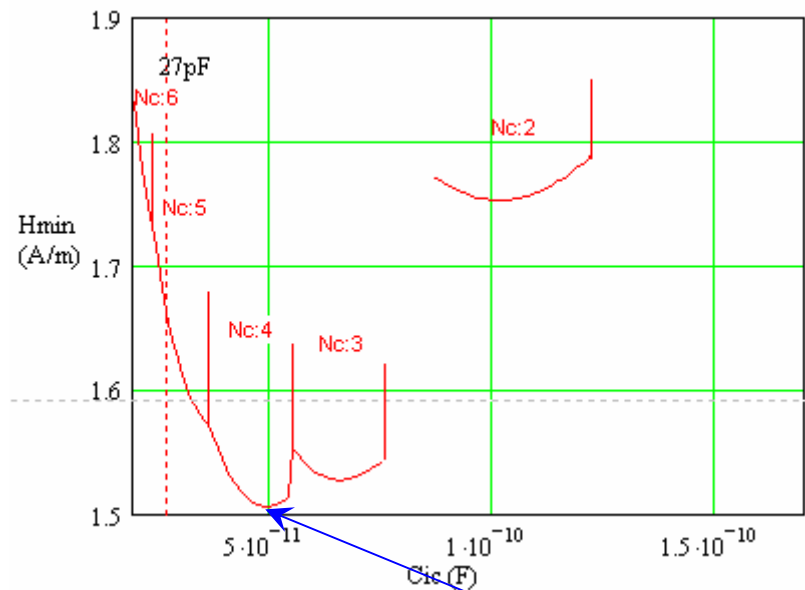
# Ansprechfeldstärke vs. Nc



a=80mm  
b=48mm  
d=0.112mm  
p variiert



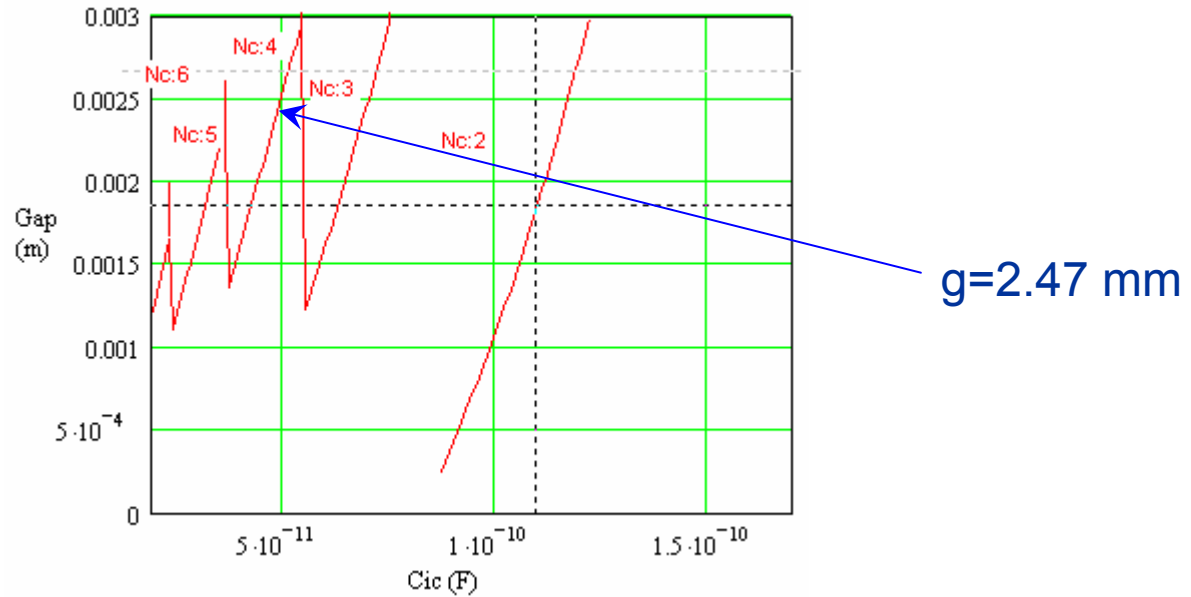
# Ansprechfeldstärke vs. $C_{ic}$ (1)



$a=80$  mm  
 $b=48$  mm  
 $w=0.2$  mm  
 $N_c, g$  variiert

$C_{ic}=49$  pF  
 $N_c=4$

# Ansprechfeldstärke vs. Cic (2)



Optimaler Wert:

Cic=49 pF

Nc=4

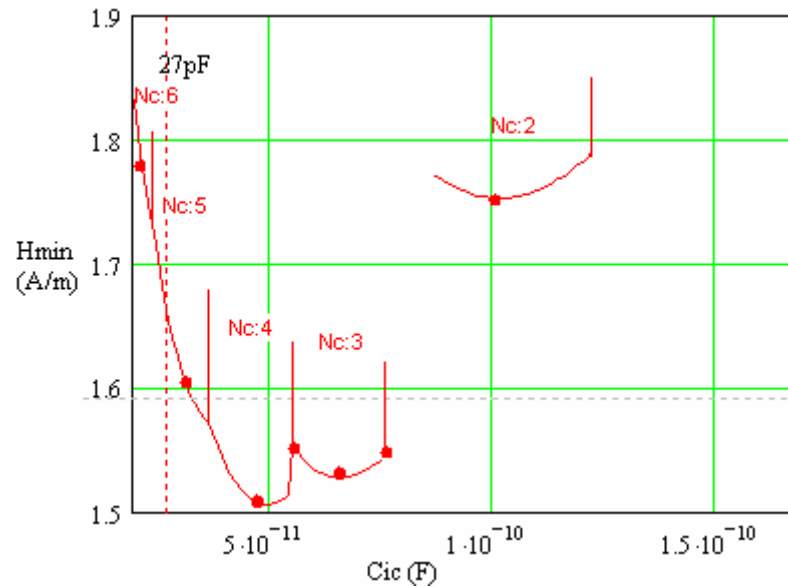
g=2.47 mm

# Index

---

1. Zielsetzung
2. Modellierung
3. Systemoptimierung
- 4. Messung**
5. Zusammenfassung

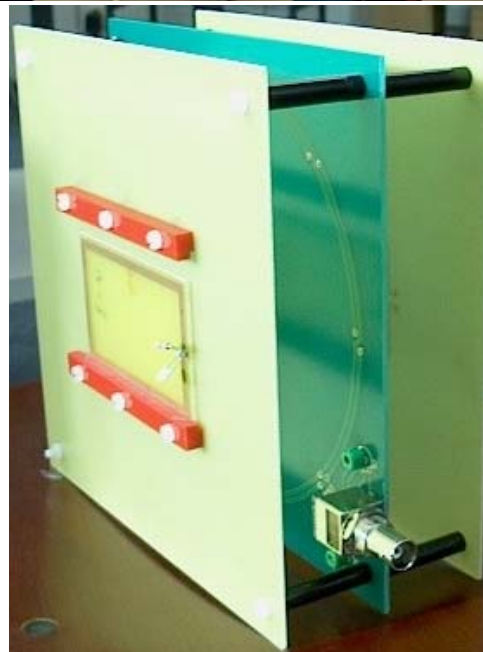
# Wahl der Messspulen



Sieben TestSpulen sind produziert

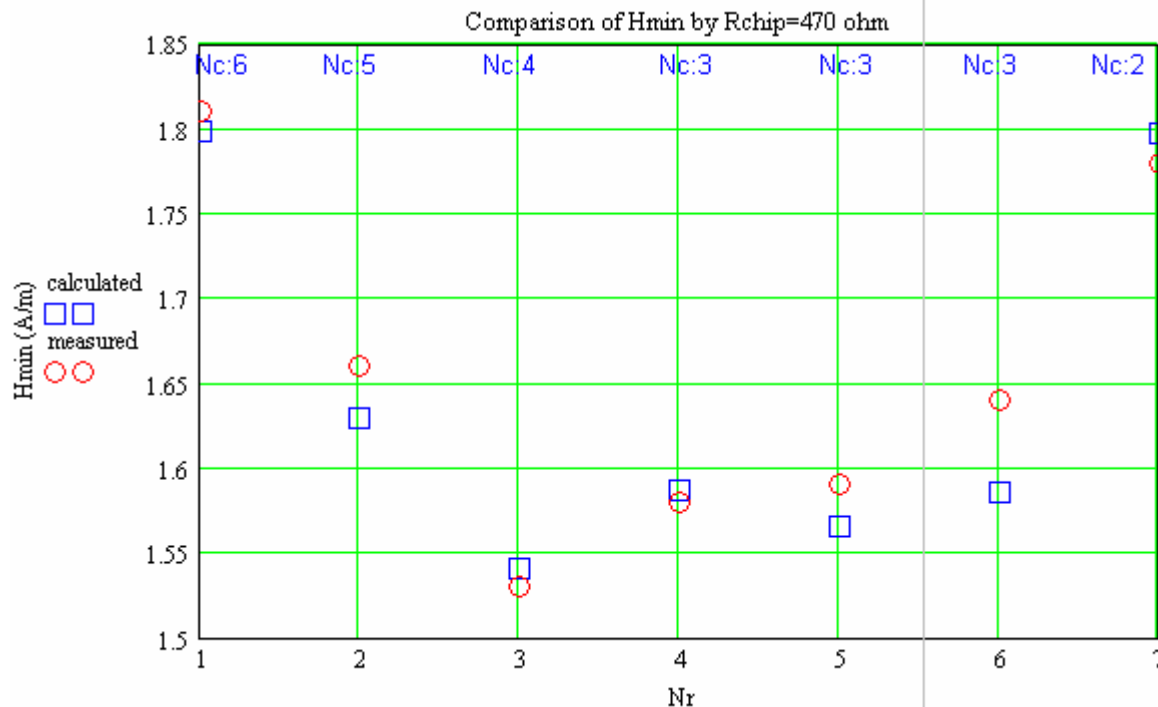


# Messeinrichtung



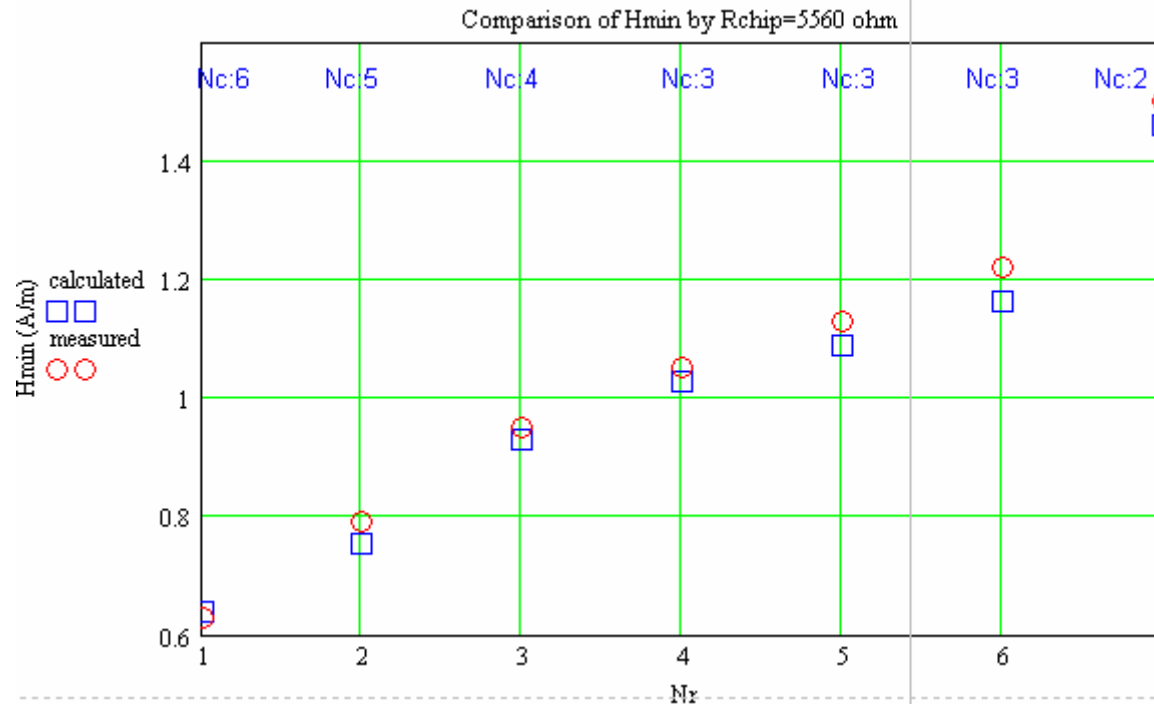
# Messergebnis bei Ric=470 Ohm

Nr.	Nc	Gap (mm)	Measured (A/m)	Calculated (A/m)	Diff. (%)
1	6	1.44	1.81	1.799	-0.50
2	5	1.8	1.66	1.629	-1.85
3	4	2.47	1.53	1.541	0.59
4	3	1.22	1.58	1.587	0.61
5	3	2.05	1.59	1.566	-1.67
6	3	2.96	1.64	1.586	-3.17
7	2	1.24	1.78	1.797	1.16



# Messergebnis bei Ric=5560 Ohm

Nr	Hmin Measured (A/m)	Hmin Calculated (A/m)	Error (%)
1	0.63	0.64	1.67
2	0.79	0.754	-4.51
3	0.95	0.931	-2.16
4	1.05	1.026	-2.69
5	1.13	1.087	-4.21
6	1.22	1.163	-4.88
7	1.50	1.459	-2.46



# Index

---

1. Zielsetzung
2. Modellierung
3. Systemoptimierung
4. Messung
5. **Zusammenfassung**

# Zusammenfassung

---

- Präzise Beschreibung der Spulen
  - Feldtheoretische Untersuchung
  - Genaue Simulationsdaten
- Systemoptimierung
- Verifiziert mit Messung

# Literatur

- F. W. Grover, Inductance Calculations-Working Formulas and Tables. USA: Dover Publications, Inc., 1945.
- G. Spahlinger, "Eine Näherungsformel zur Bestimmung der Induktivität von flachen Spulen", AEÜ, Band 39, Heft 1, 1985
- T.Takano, S. Hayano, and Y. Saito, "Coil impedance computation having arbitrary geometrical shape", IEEE, 1998.
- M. A. Bueno and A.K.T.Assis, "A new method for inductance calculations", J. Phys. D: Appl. Phys. 28 1802-1806, 1995.
- Microchip, Appl. Note 710.
- N. Klemmer, "Inductance Calculations for MCM System Design and Simulation", IEEE, 1994.
- H. A. Wheeler, "Inductance Formulas for Circular and Square Coils", in Proceedings of the IEEE, Vol. 70, No. 12, 1982.
- R. Lundin, "A Handbook Formula for the Inductance of a Single-Layer Circular Coil", IEEE, 1985.
- <http://mathworld.wolfram.com/LeastSquaresFitting.html>
- J.D.Jackson, Klassische Elektrodynamik. Berlin: Walter de Gruyter & Co., 1982.
- F. Ollendorff, Berechnung magnetischer Felder. Wien: Springer-Verlag, 1952.
- R. L. Stoll, The analysis of eddy currents. Oxford: Clarendon press, 1974.
- N. W. McLachlan, Bessel functions for engineers. Oxford: At the Clarendon press, 1954.
- Finkenzeller, K.: RFID-Handbuch. München: Carl Hanser Verlag, 2002