

Grundlagen der Elektrotechnik



Parasitäre Elemente realer Bauteile

TH-Köln 2021

Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt

Parasitäre Elemente realer Bauteile

- Typen von parasitären Größen
- Verluste
- Widerstände
- Kondensatoren
- Spulen

Parasitäre Komponenten

■ Reaktiv

- Unerwünschtes Frequenzverhalten
- Eigenresonanzen

■ Resistiv

- Verluste
- Dämpfung

Verluste von Bauteilen

Güte Q von Induktivitäten und Kondensatoren:

$$Q = \frac{X}{R_S}$$

für Annahme Serienschaltung

$$Q = \frac{R_P}{X}$$

für Annahme Parallelschaltung

$$\text{mit } X = \omega L \text{ oder } = \frac{1}{\omega C}$$

Verlustfaktor $\tan \delta$

$$\tan \delta = \frac{R_S}{X}$$

$$\tan \delta = \frac{X}{R_P}$$

$$\text{mit } X = \omega L \text{ oder } = \frac{1}{\omega C}$$

Zusammenhang Q und $\tan \delta$: $\tan \delta = \frac{1}{Q}$

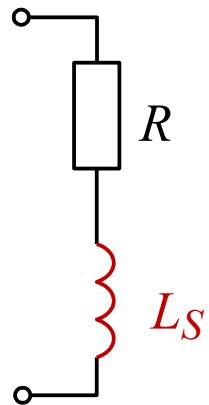
Kombination von Komponenten:

$$\frac{1}{Q_{ges}} = \frac{1}{Q_1} + \frac{1}{Q_2} + \dots + \frac{1}{Q_n}$$

Gilt auch bei Verwendung
in Resonanzkreisen

Realer Widerstand

Parasitäre Induktivität



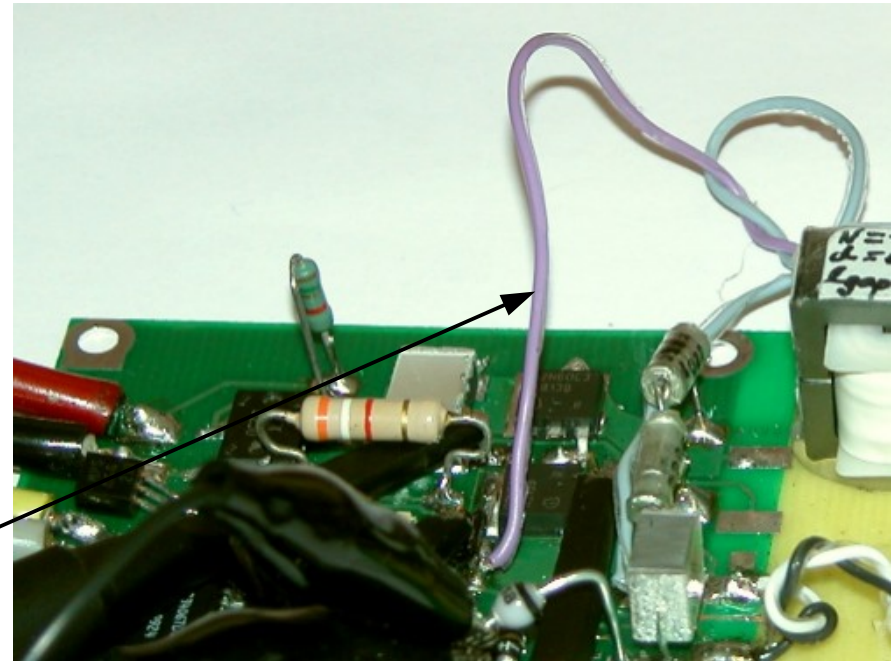
Faustformel:
 $\sim 1 \mu\text{H}/\text{m}$

Ursache für Induktivität:

- Lange Zuleitung
- Gewickelte Widerstände

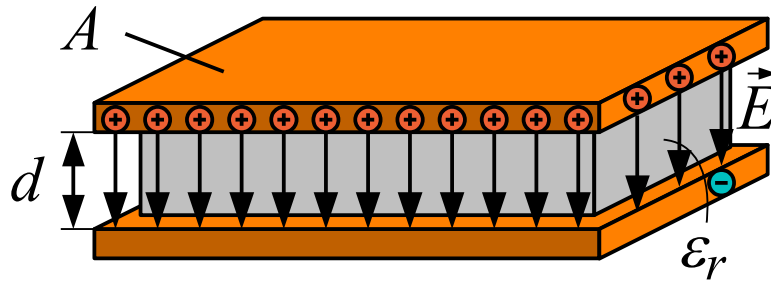
Effekte:

- Weniger Strom für hohe f
- Falsche Leistungsmessung



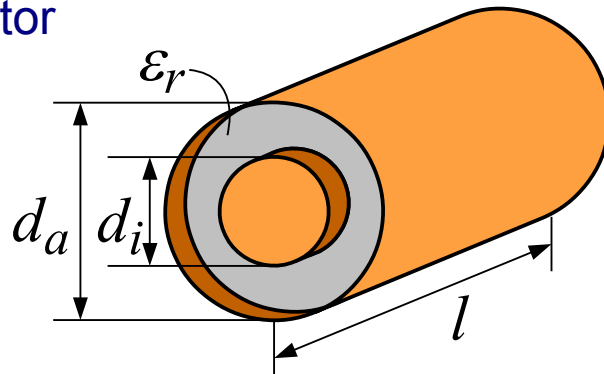
Bauformen von Kondensatoren

Plattenkondensator



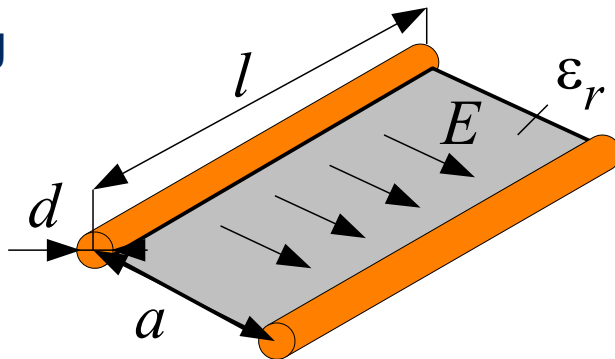
$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

Zylinderkondensator



$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot l \cdot \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{d_a}{d_i}\right)}$$

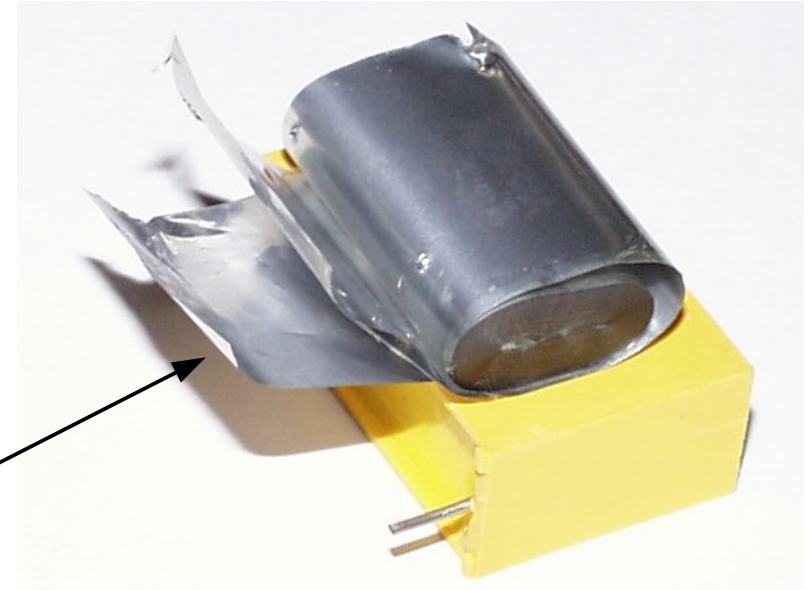
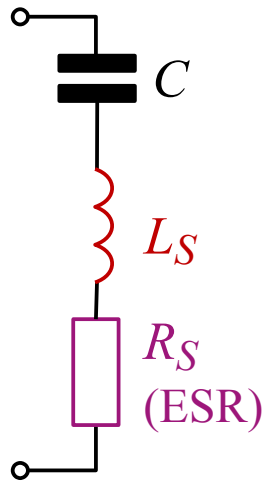
Zweidrahtleitung



$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot l \cdot \frac{\pi}{\ln\left(\frac{a}{d}\right)}$$

Typisch ~0.1 .. 1nF/m für Kabel

Realer Kondensator

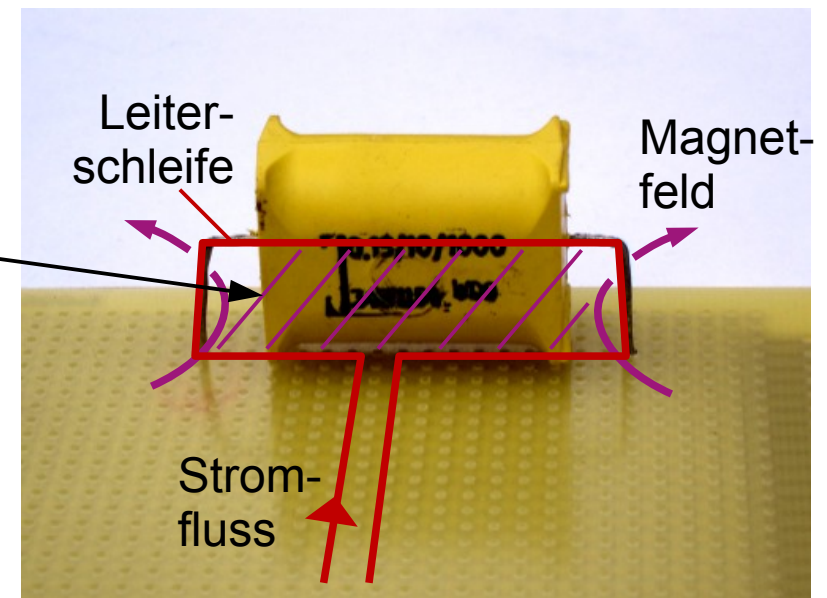


Ursachen für Induktivität:

- Interner Aufbau
- Zuleitung

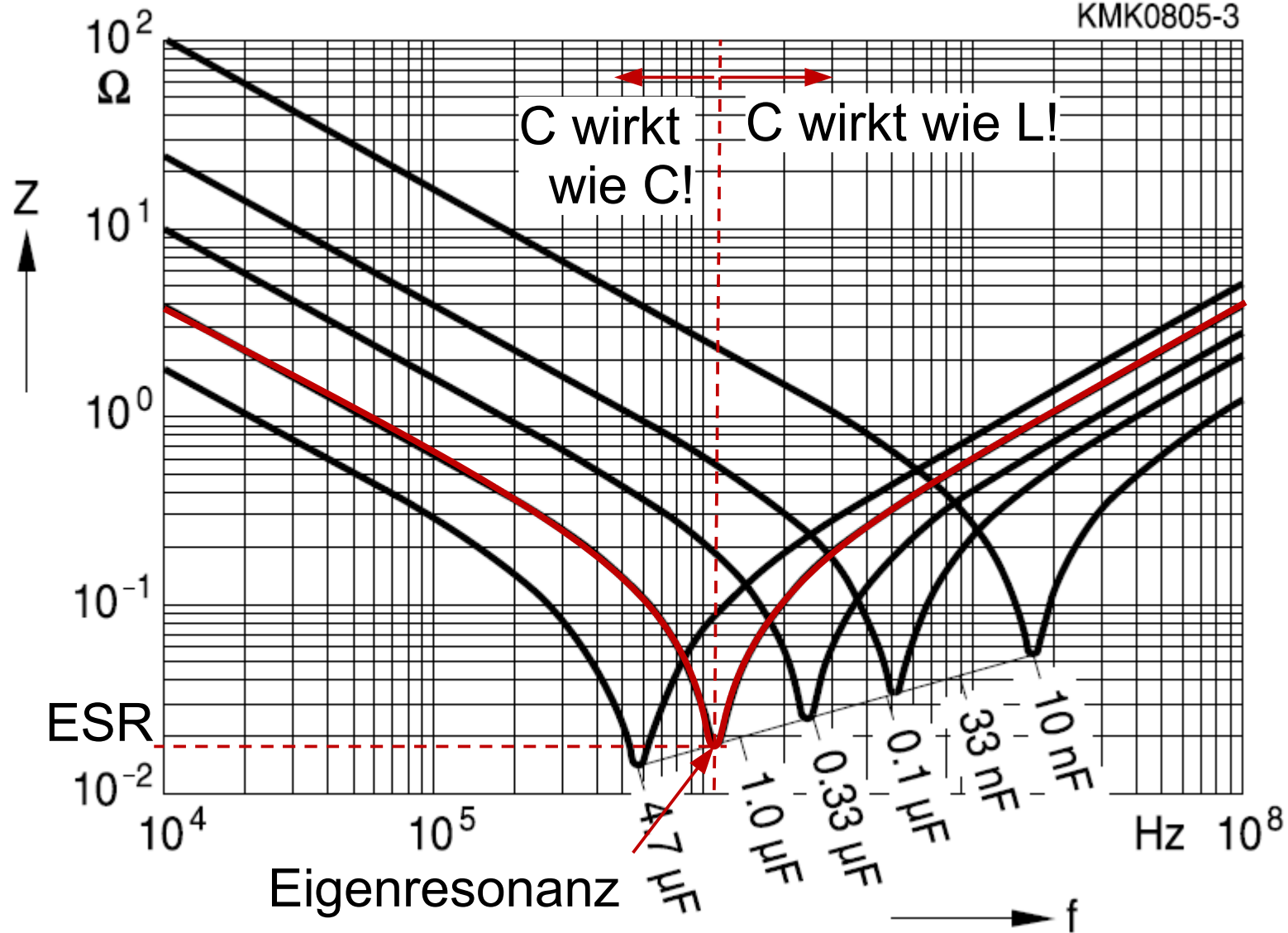
Ursachen für Widerstand

- Zuleitung und Layout
- Dünne Elektroden
- Verluste im Dielektrikum



Realer Kondensator

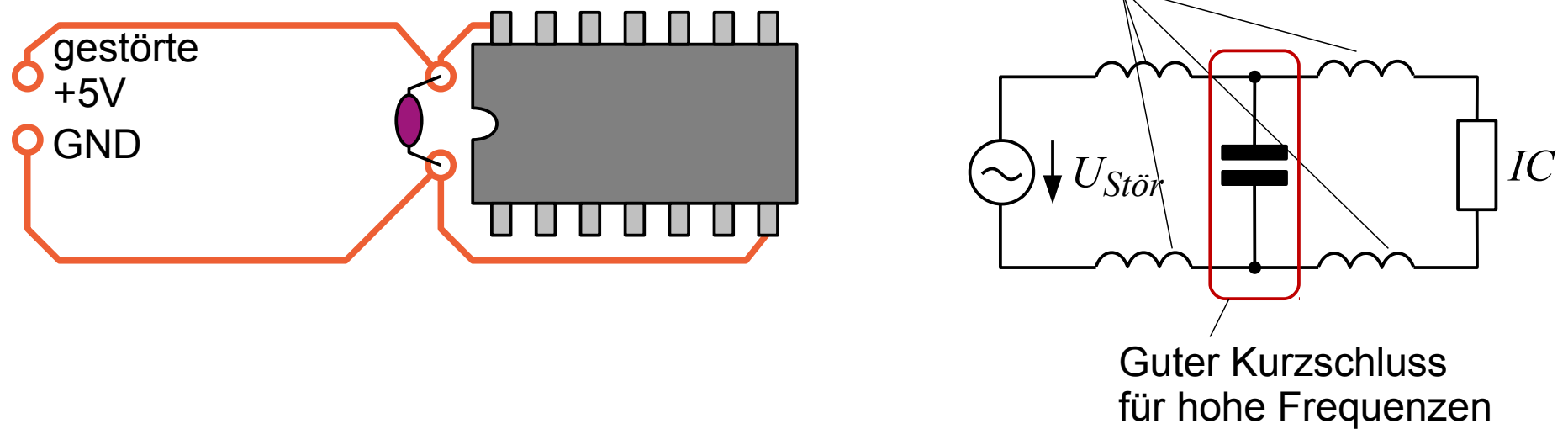
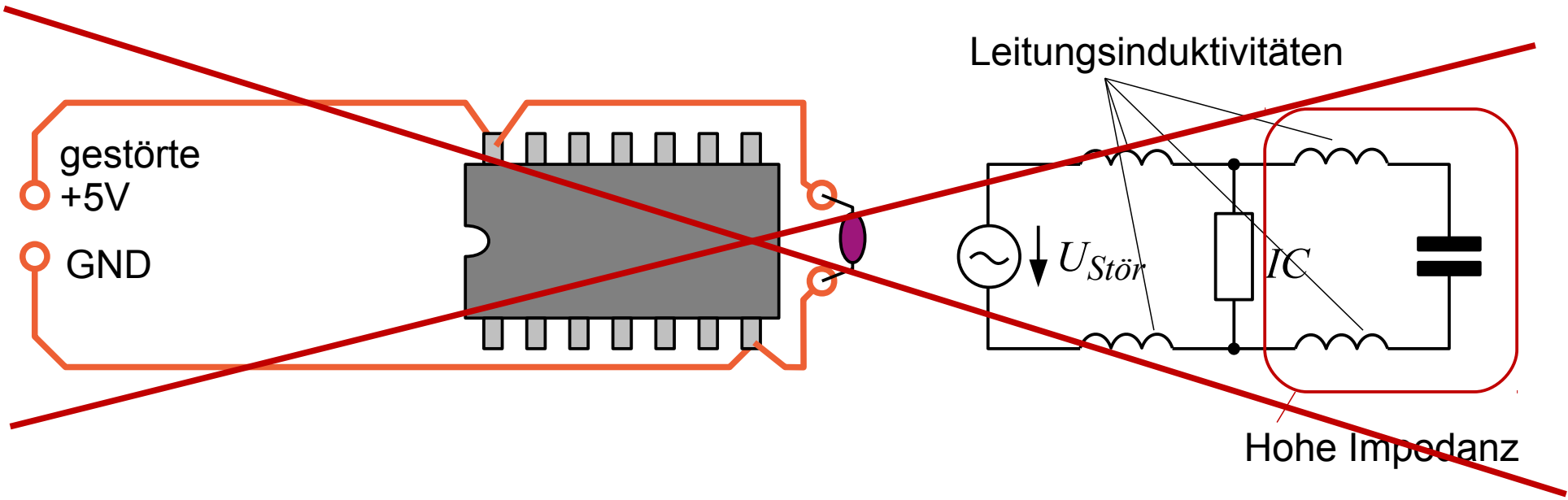
Typische Impedanzspektren von Film-Kondensatoren (Epcos [1])



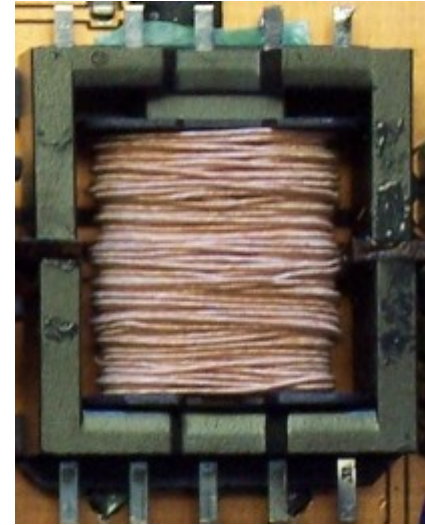
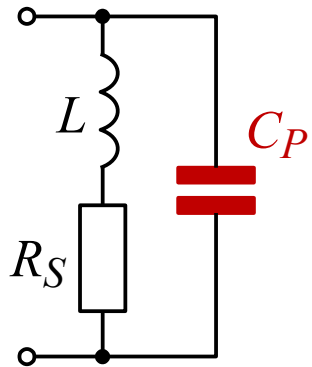
[1] „Film Capacitors - General technical information“, Epcos AG, May 2009.

Praxistipp:

Kondensator als Filter

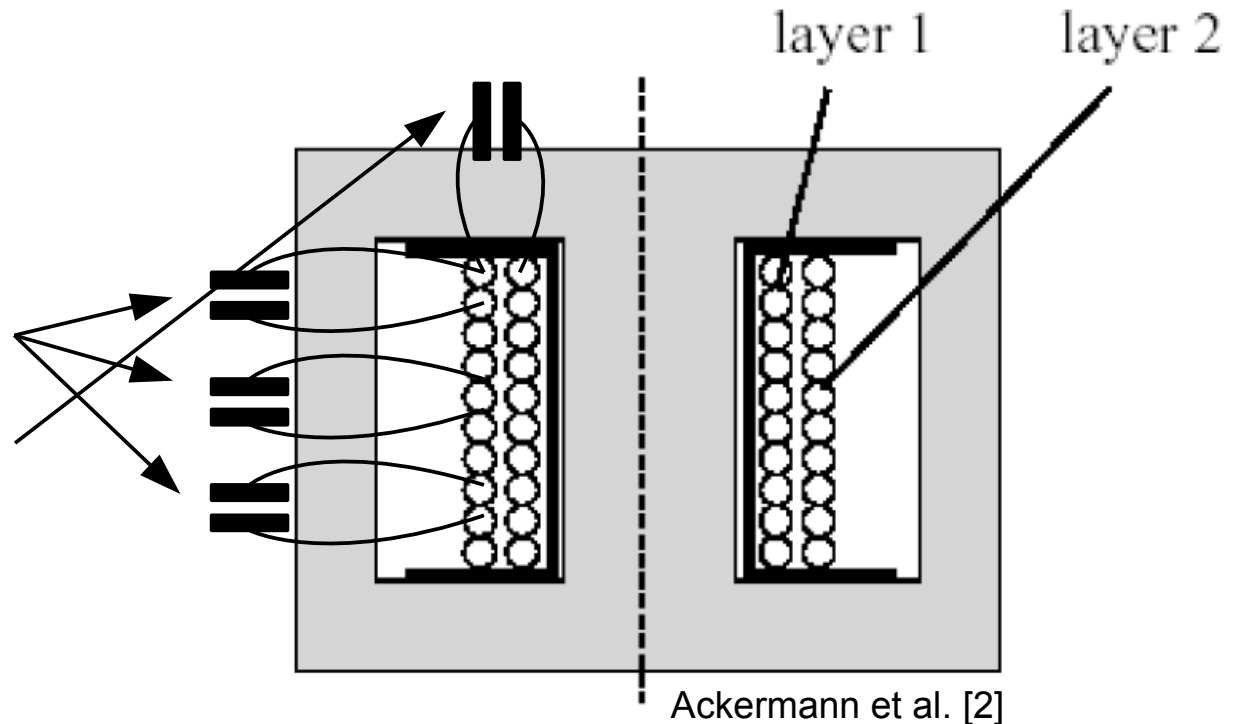


Reale Induktivität



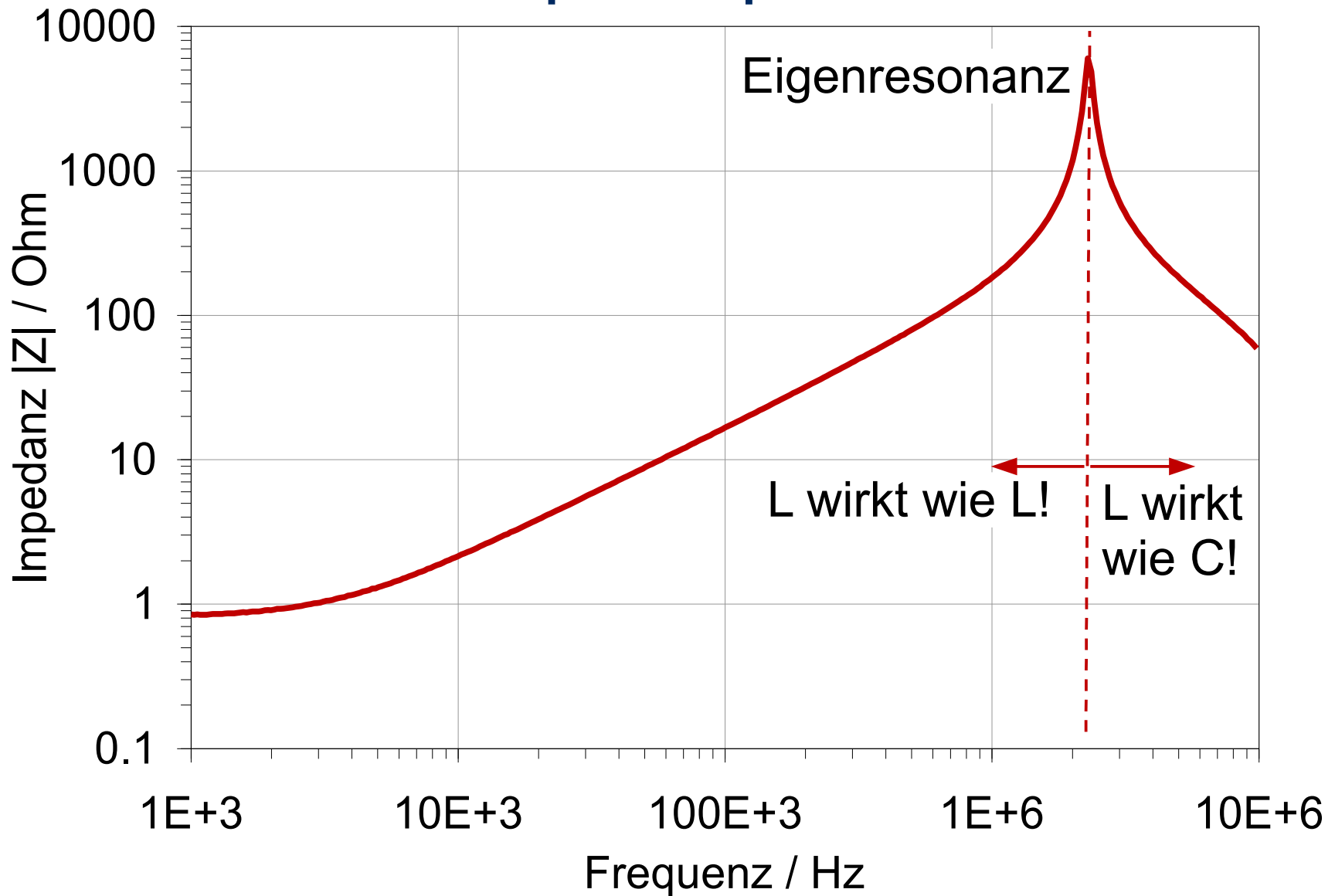
Ursachen für C_P :

- Wicklungskapazität
 - zwischen Windungen
 - zwischen Lagen

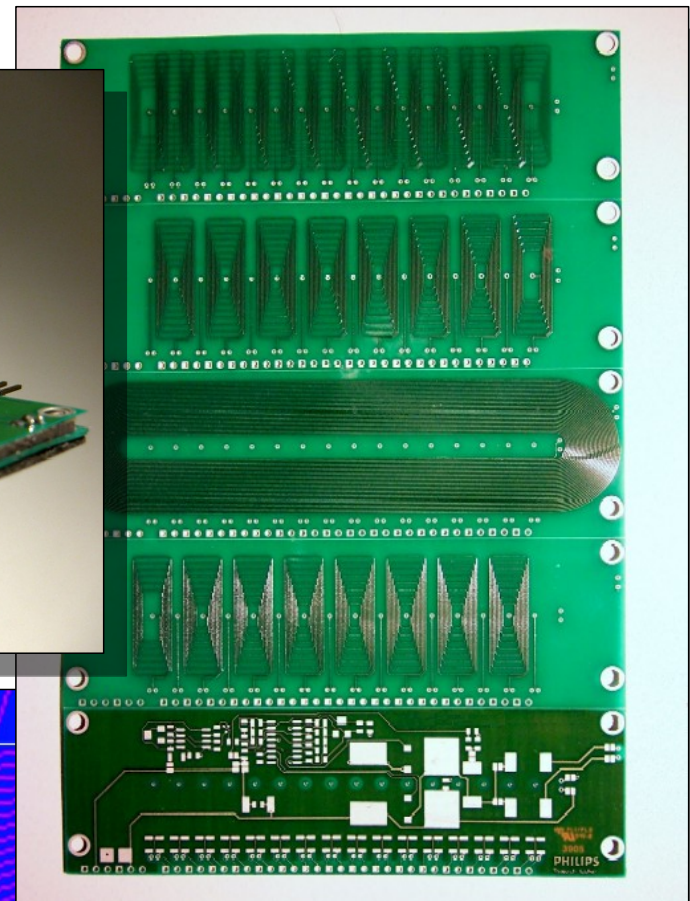
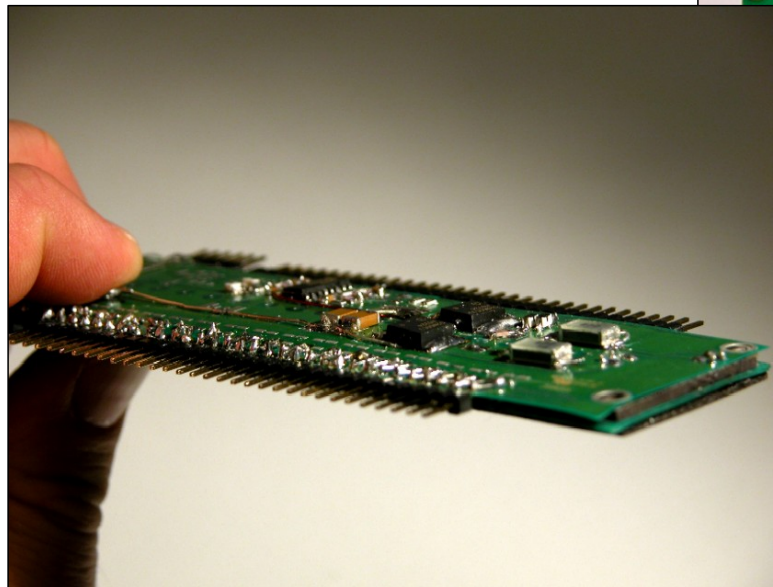
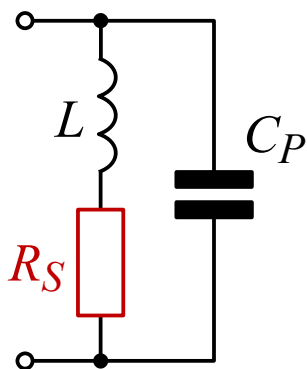


Reale Induktivität

Impedanzspektrum

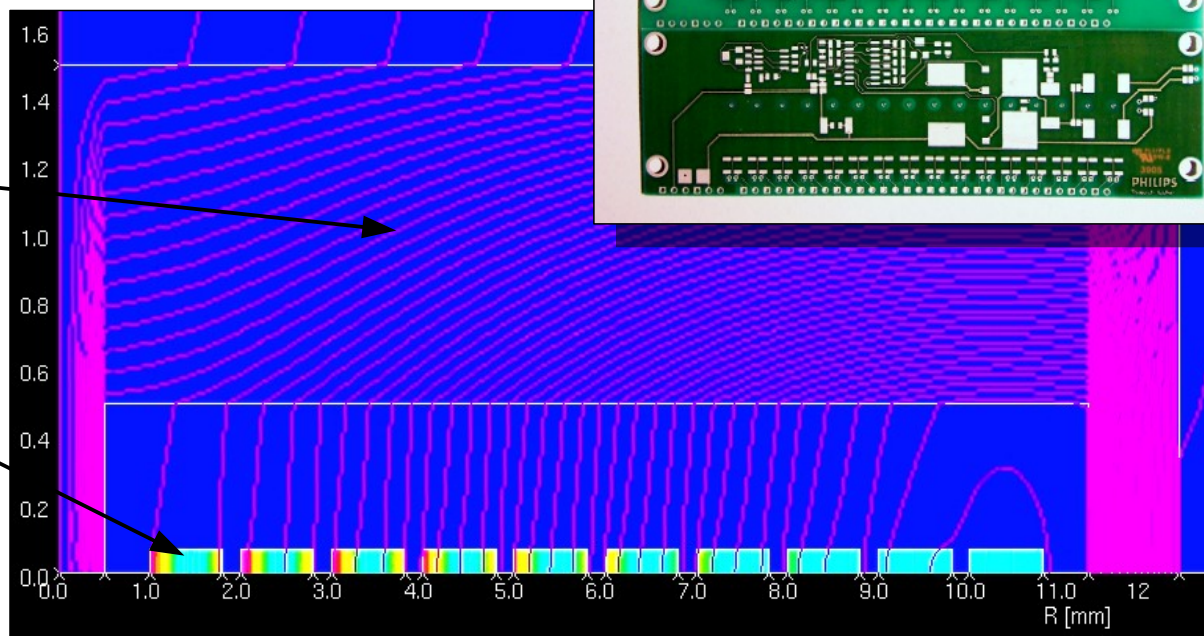


Reale Induktivität



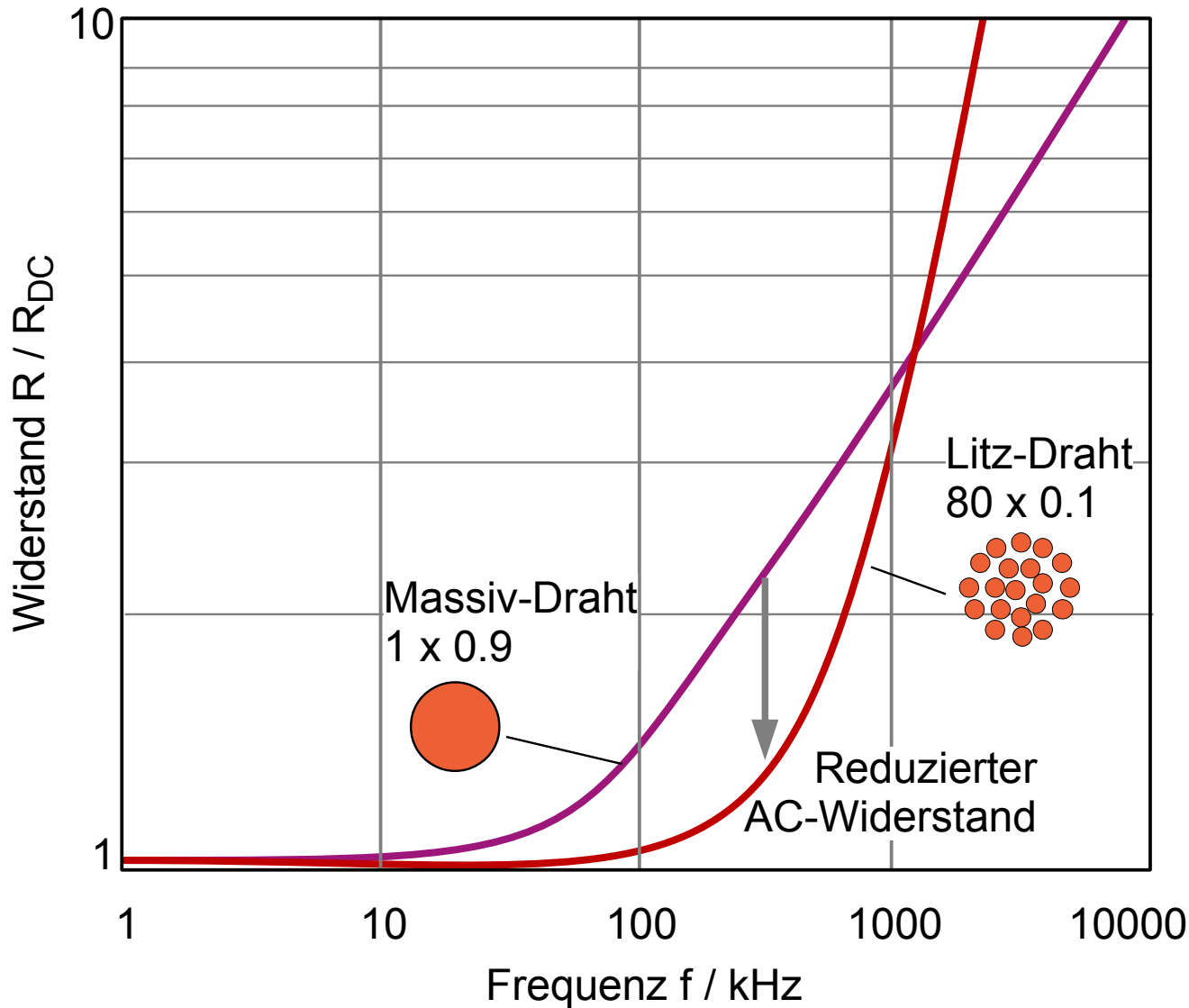
Ursachen für R_S :

- Wicklungswiderstand
- Ummagnetisierungsverluste (= Kern-Verluste)
- Wirbelstromverluste im Draht („Eddy Currents“)



Frequenzabhängiger Widerstand

Wirbelstromwiderstand von massivem Draht und Litzdraht



Verluste durch

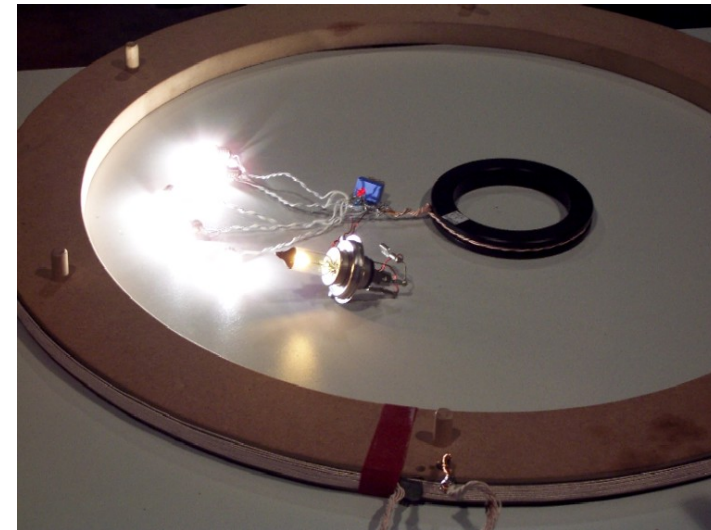
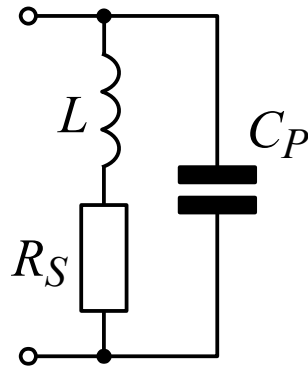
- Wirbelströme (eddy currents):
 - Skin-Effekt
 - Proximity-Effekt

Anwendungstipp:

- Für *niedrige* Frequenzen: Massivdraht ist preiswerter
- Für *höhere* Frequenzen: Litzdraht verwenden
- Für *ganz hohe* Frequenzen: Massivdraht kann besser sein

Reale Induktivität

Interessant zu Wissen: Weitere Effekte

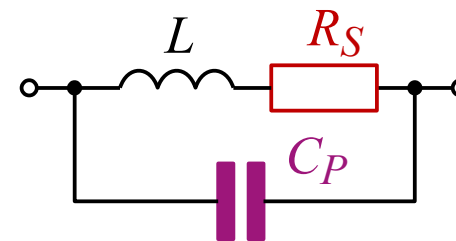
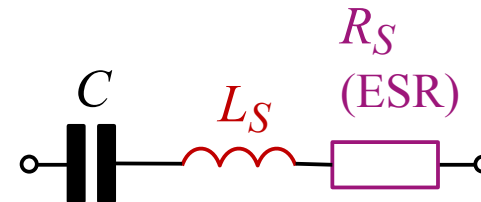
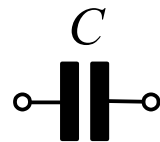
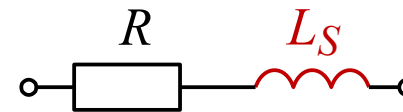
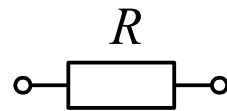


- Bei hohen Frequenzen:
 - Laufzeit und
 - Welleneigenschaften

Übersicht

Ideal

Real



Kontakt

Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt

Professur Elektrische Netze

Institut für Elektrische Energietechnik,
Fakultät für Informations-, Medien- und
Elektrotechnik (F07)

Technische Hochschule Köln

Betzdorferstraße 2, Raum ZO 9-19

50679 Köln, Deutschland

Tel. +49 221 8275 2020

eberhard.waffenschmidt@th-koeln.de

<https://www.th-koeln.de/>

[personen/eberhard.waffenschmidt/](https://www.th-koeln.de/personen/eberhard.waffenschmidt/)

