

Willkommen zur 149'ten

**Veranstaltung von
Magnetics4Freaks**

01. Juli 2026

(digital)

Thema:

**Wicklungsauslegung und
Wicklungsqualitäten**



Programm Sommersemester 2026:

Mittwoch, 6. Mai 2026
16.30 bis 18.00 Uhr

Mathematische Grundlagen, Maxwellgleichungen, magnetisches und unmagnetisches. Geklärt wird zudem die Frage:
„Was haben ein Festtagsbraten und ein Elektromagnet gemeinsam?“



Prof. Dr.-Ing. Jürgen Ulm
Hochschule Heilbronn, Campus Künzelsau,
Reinhold-Würth-Hochschule

Schwerpunktgebiet in der Theorie der elektromagnetischen Felder und der elektromagneto-mechanischen Wandler im Master-schwerpunkt Elektromagnetische Systeme (EMS).

Mittwoch, 27. Mai 2026
16.30 bis 18.00 Uhr

Grundlagen Ferritmaterialien für passive Bauteile



Dipl.-Ing. Steffen Schulze
Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG

Als Applikationsingenieur berät er Hardware-Entwickler bei der Auswahl von passiven Bauteilen und zu EMV-Thematiken.

Mittwoch, 17. Juni 2026
16.30 bis 18.00 Uhr

Grundlagen von Induktivitäten und deren Messtechnik



Prof. Dr.-Ing. Jürgen Ulm
Hochschule Heilbronn, Campus Künzelsau,
Reinhold-Würth-Hochschule

Schwerpunktgebiet in der Theorie der elektromagnetischen Felder und der elektromagneto-mechanischen Wandler im Master-schwerpunkt Elektromagnetische Systeme (EMS).

Mittwoch, 1. Juli 2026
16.30 bis 18.00 Uhr

Wicklungsauslegung und Wicklungsqualitäten



Prof. Dr.-Ing. Jürgen Ulm
Hochschule Heilbronn, Campus Künzelsau,
Reinhold-Würth-Hochschule

Schwerpunktgebiet in der Theorie der elektromagnetischen Felder und der elektromagneto-mechanischen Wandler im Master-schwerpunkt Elektromagnetische Systeme (EMS).

Inhalt:

- 1) Anforderungen an den Spulenträger
- 2) Wicklungsbilder und Hinweise zur Kontaktierung der Spule
- 3) Spulenauslegung mit Wicklungswiderstand R_w unter Berücksichtigung des Spannungsquellen-Innenwiderstandes R_i bei vorgegebener Verlustleistung P_v :

3a) $R_w \ll R_i$

3b) $R_w \approx R_i$

3c) $R_w \gg R_i$

Inhalt:

1) Anforderungen an den Spulenträger

2) Wicklungsbilder und Hinweise zur Kontaktierung der Spule

3) Spulenauslegung mit Wicklungswiderstand R_w unter Berücksichtigung des

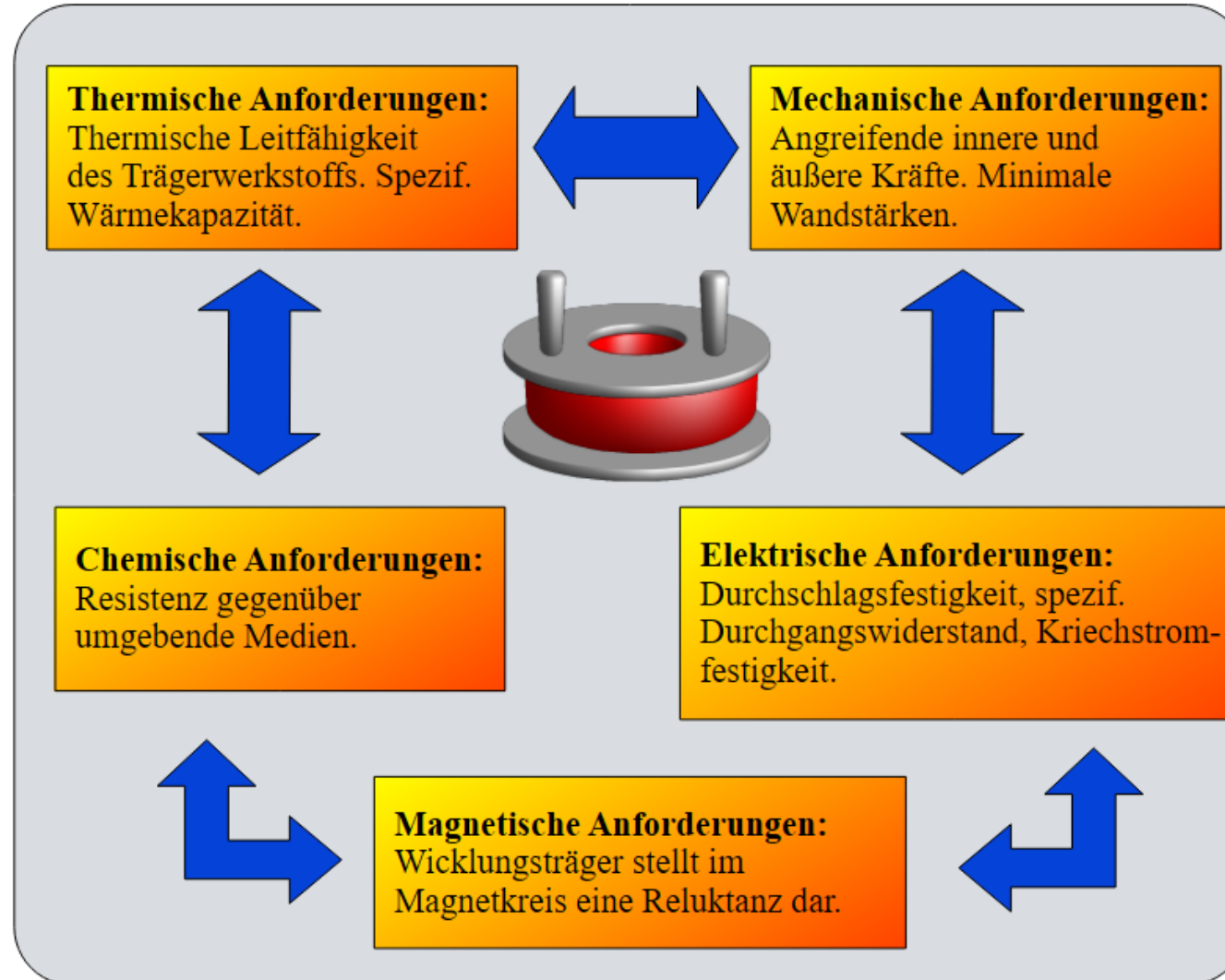
Spannungsquellen-Innenwiderstandes R_i bei vorgegebener Verlustleistung P_v :

$$3a) R_w \ll R_i$$

$$3b) R_w \approx R_i$$

$$3c) R_w \gg R_i$$

1. Anforderungen an den Spulenträger



1. Anforderungen an den Spulenträger

Thermische Anforderungen:

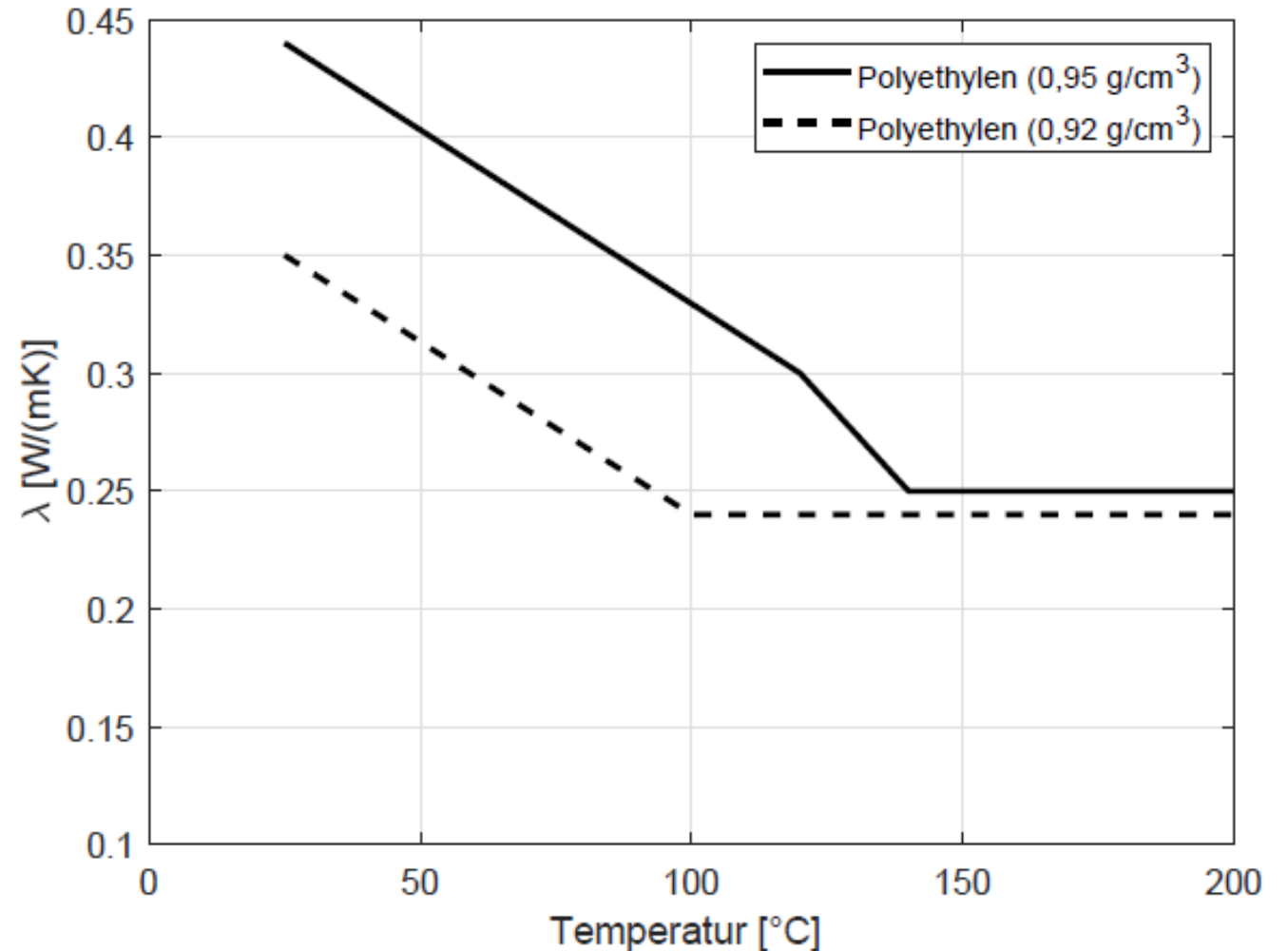
Beispiel:

Änderung der thermischen Leitfähigkeit (re.)

E-Modulwerte für PA 6.6 ungefüllt:

- -30 °C: > 4000 MPa
- 23 °C: 3000 bis 3500 MPa
- 50 °C: 2000 bis 2500 MPa
- 80 °C: 1000 bis 1500 MPa
- 120 °C: < 1000 MPa

- Beispiel St50: 250 10⁶ MPa
(1N/mm² = 1 MPa)

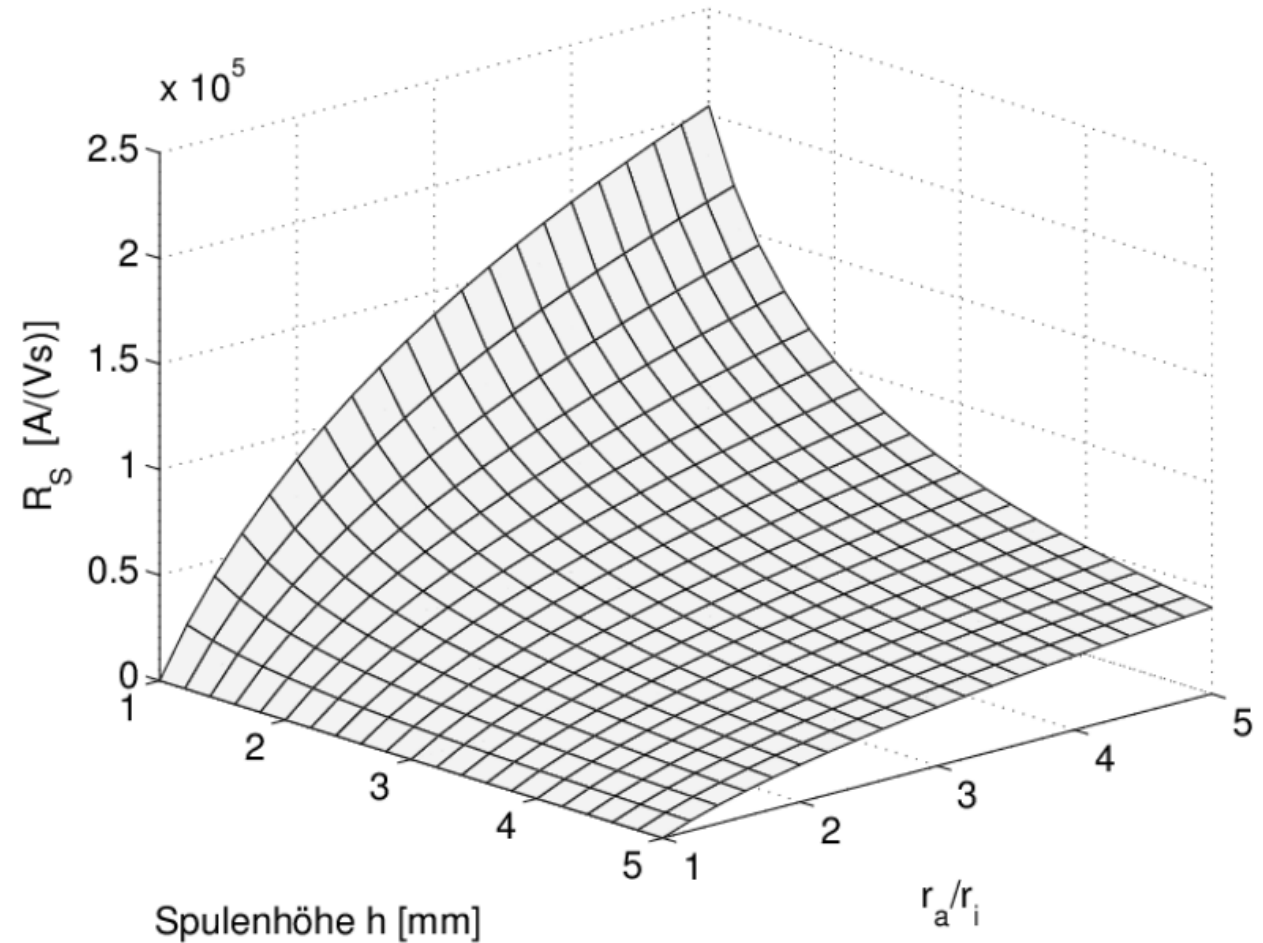
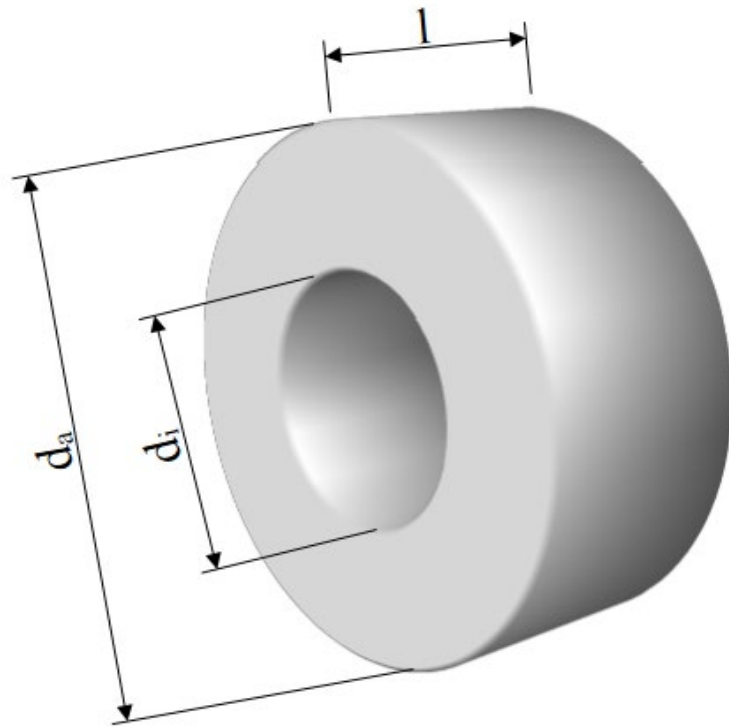


1. Anforderungen an den Spulenträger

Magnetische Anforderungen:

Beispiel:

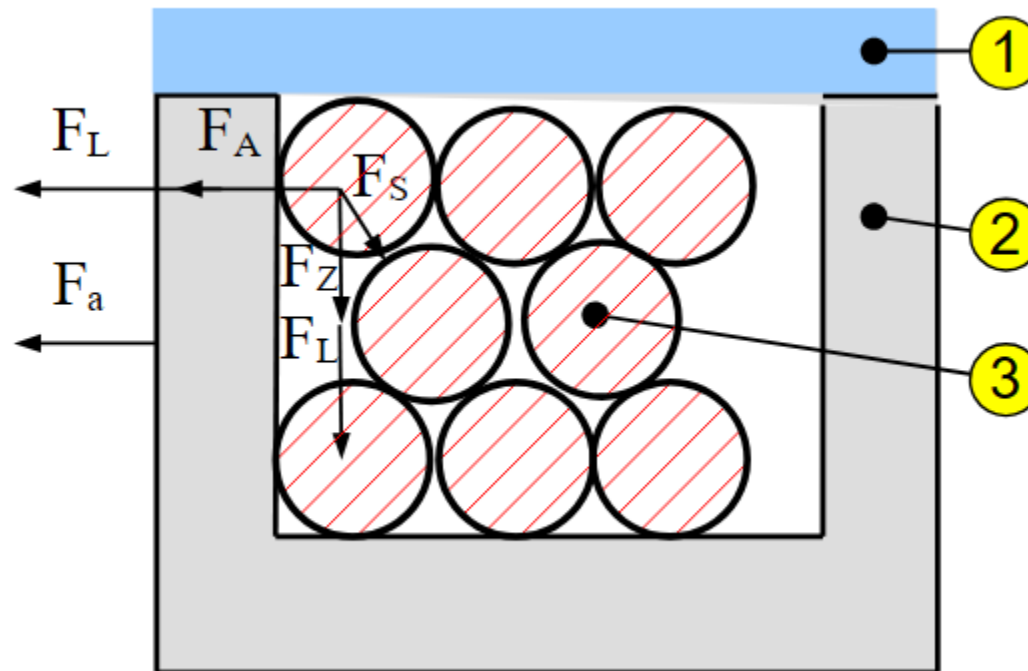
Reluktanz eines Toroiden



1. Anforderungen an den Spulenträger

Mechanische Anforderungen:

Angreifende Kräfte



F_A = Axialkraft;
 F_a = äußere Kraft;

F_Z = Zugkraft;
 F_L = Lorentzkraft;

F_S = Stützkraft;

1 Umspritzung
2 Wicklungsträger
3 Windung

1. Anforderungen an den Spulenträger

Elektrische Anforderungen:

- Dielektrizitätszahl (ϵ_r) IEC 60250
- Dielektrischer Verlustfaktor ($\tan \delta$) IEC 60250
- Durchschlagsfestigkeit IEC 60243-1
- Spezifischer Durchgangswiderstand IEC 60093
- Kriechstromfestigkeit IEC 60112

1. Anforderungen an den Spulenträger

Chemischen Anforderungen:

Tritt Wicklungsträger mit umgebenden Medien in Kontakt, so sollten folgende Hinweise beachtet werden:

- Temperatur des Mediums – Reaktions-Geschwindigkeits-Temperatur – Regel (RGT-Regel)
- Wicklungsträger-Werkstoff, wie z. B. polyamidische Kunststoffe (Nylon 66), PA 6.6 oder glasfaserverstärktes PA 6.6 zeichnen sich durch eine hohe Festigkeit, Wärmestabilität und gute chemische Beständigkeit gegenüber Öl und Lösungen aus. Sind aber sehr anfällig gegenüber sauren und basischen Medien sowie Lösungsmitteln.
- PA 6 (Polyamid 6): ähnliche Festigkeit, oft bessere Schlagzähigkeit, teils höhere Feuchtigkeitsaufnahme
- PA 12 (Polyamid 12): geringere Wasseraufnahme, bessere Chemikalienbeständigkeit,
- Feuchtigkeitsaufnahme beeinflusst Toleranzen und mechanische Eigenschaften vieler Polyamide stark; PA 12 hat hier Vorteile.
- Temperatur- und Chemikalienanforderungen sollten bei der Materialwahl geprüft werden.

Siehe Hersteller-Datenblätter

Inhalt:

- 1) Anforderungen an den Spulenträger
- 2) Wicklungsbilder und Hinweise zur Kontaktierung der Spule**
- 3) Spulenauslegung mit Wicklungswiderstand R_w unter Berücksichtigung des Spannungsquellen-Innenwiderstandes R_i bei vorgegebener Verlustleistung P_v :

3a) $R_w \ll R_i$

3b) $R_w \approx R_i$

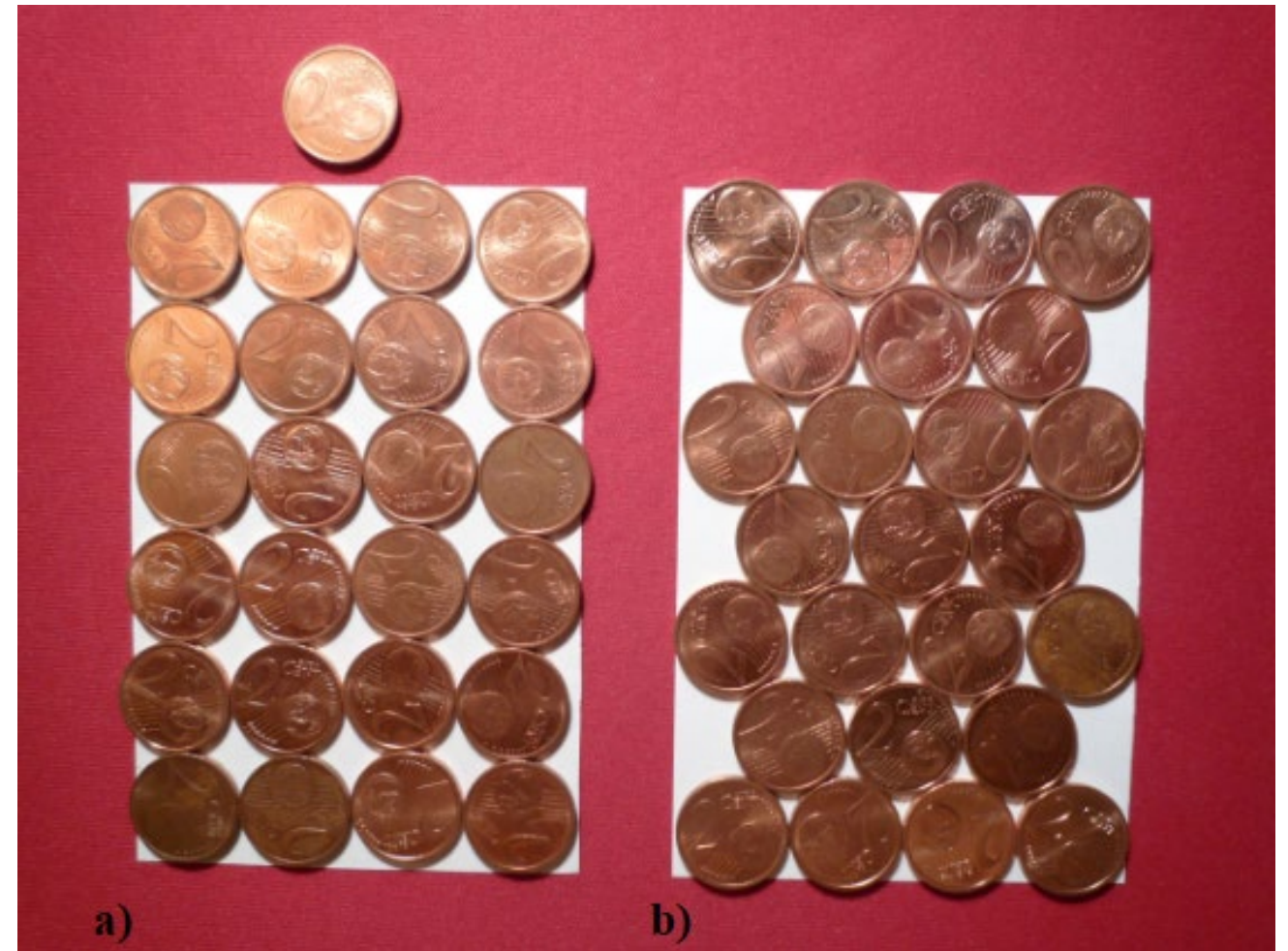
3c) $R_w \gg R_i$

2. Wicklungsbilder und Hinweise zur Kontaktierung der Spule

Beispiel:

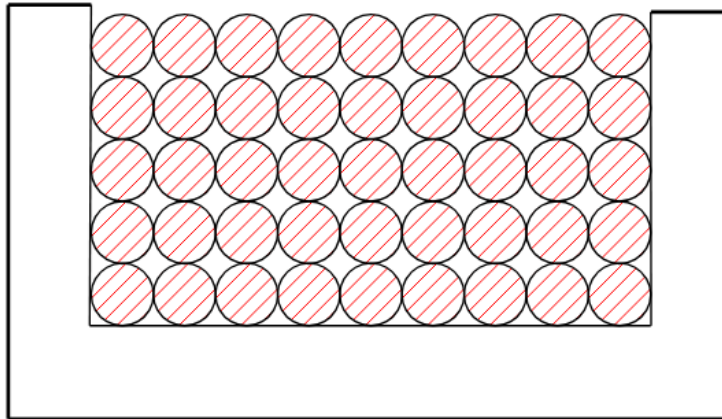
Füllfaktoren		
Kupferfüllfaktor k_{Cu}	Wicklungsfüllfaktor k_w	Fensterfüllfaktor k_F
$k_{Cu} = \frac{A_L}{A_w}$ $= \frac{\pi d_{Cu}^2 w}{4 A_w}$	$k_w = \frac{A_D}{A_w}$ $= \frac{\pi d^2 w}{4 A_w}$	$k_F = \frac{A_w}{A_F}$
Legende: A_L = summarische Leiterfläche; d_{Cu} = Leiterdurchmesser (Nenn Durchmesser) A_w = Wicklungsfläche; d = Drahtdurchmesser (mit Isolation) A_D = Drahtfläche; w = Windungszahl A_F = Fensterfläche		

<i>Durchmesser 2 – Cent – Münze : 18,75 mm</i>		
<i>Wicklungsfläche A_w : 12656,25 mm²</i>		
Wicklungsart	lagenweise a)	orthozyklisch b)
A_{Cu} [mm ²]	6627	6903
k_{Cu} [%]	52	55

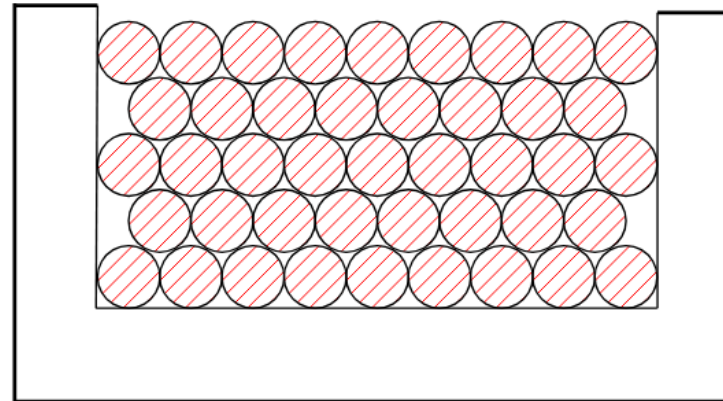


2. Wicklungsbilder und Hinweise zur Kontaktierung der Spule

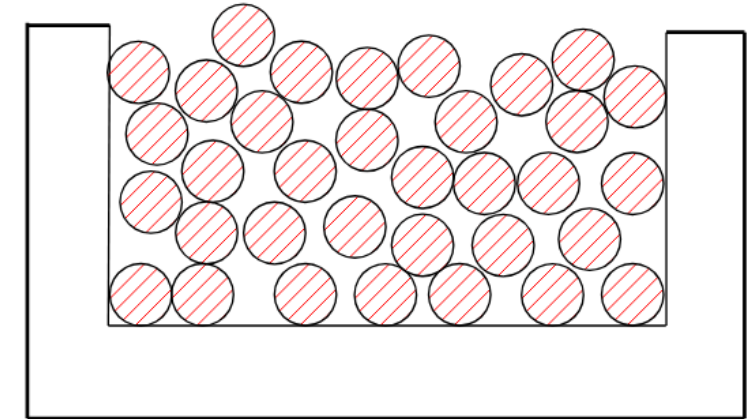
Wicklungsschemen



a) Reihenwicklung ($d > 0,5 \text{ mm}$)



b) orthozyklische Wicklung ($d > 0,2 \text{ mm}$)

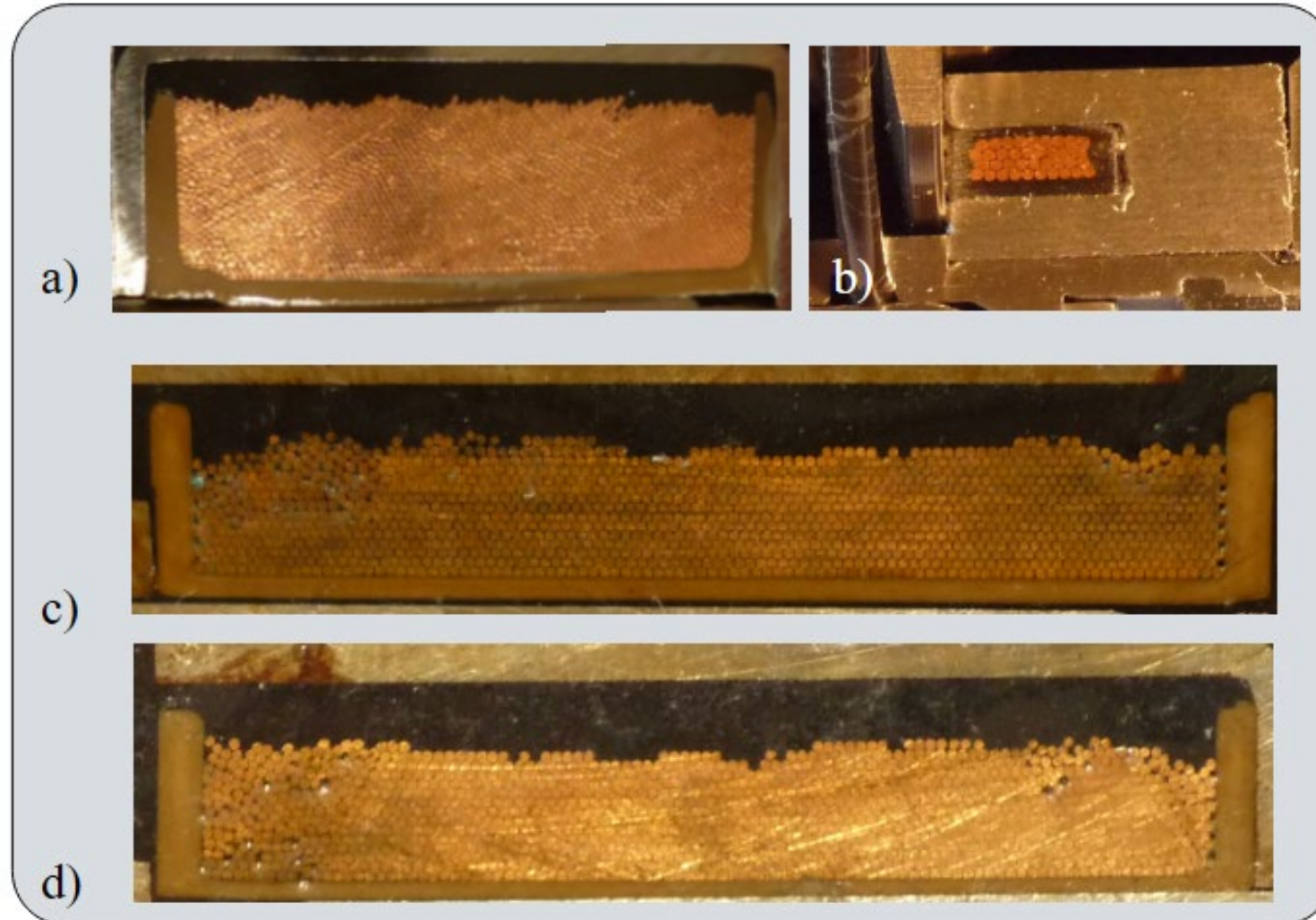


c) wilde Wicklung ($d < 0,2 \text{ mm}$)

- Stimmen diese Einschränkungen?
- Wovon hängen diese ab?

2. Wicklungsbilder und Hinweise zur Kontaktierung der Spule

Wicklungsbilder



2. Wicklungsbilder und Hinweise zur Kontaktierung der Spule

Wicklungsbilder



2. Wicklungsbilder und Hinweise zur Kontaktierung der Spule

Wicklungsbilder



2. Wicklungsbilder und Hinweise zur Kontaktierung der Spule

Wicklungsbilder



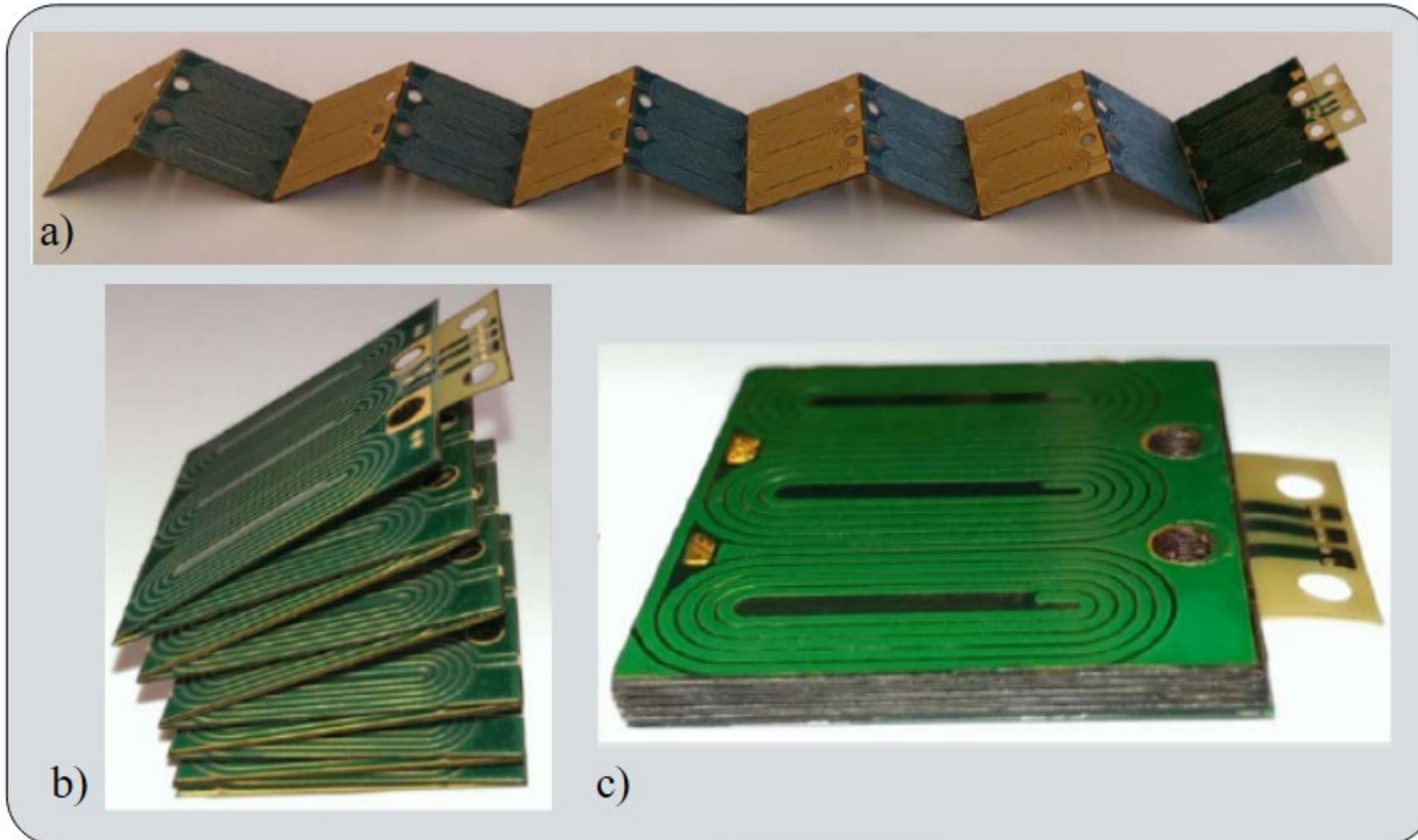
2. Wicklungsbilder und Hinweise zur Kontaktierung der Spule

Wicklungsbilder – Ursachen der Wellenbildung:

- Draht von letzter Umlenkrolle bis zum Wicklungsträger wirkt als beidseitig eingespannter Biegebalken mit der daraus immanenten Eigenfrequenz.
- Eigenfrequenz hängt vom Drahtzug und Drahtgeschwindigkeit ab.
- Wellenprofil und Rotationsgeschwindigkeit des Wicklungsträgers erlauben Rückschlüsse auf die Draht-Auslenkfrequenz
- Erkennbar: Schrumpfungen, Richtung und Wirkung des Einspritzvorgangs der Vergussmasse. Siehe Symmetrie der Wellenkämme.

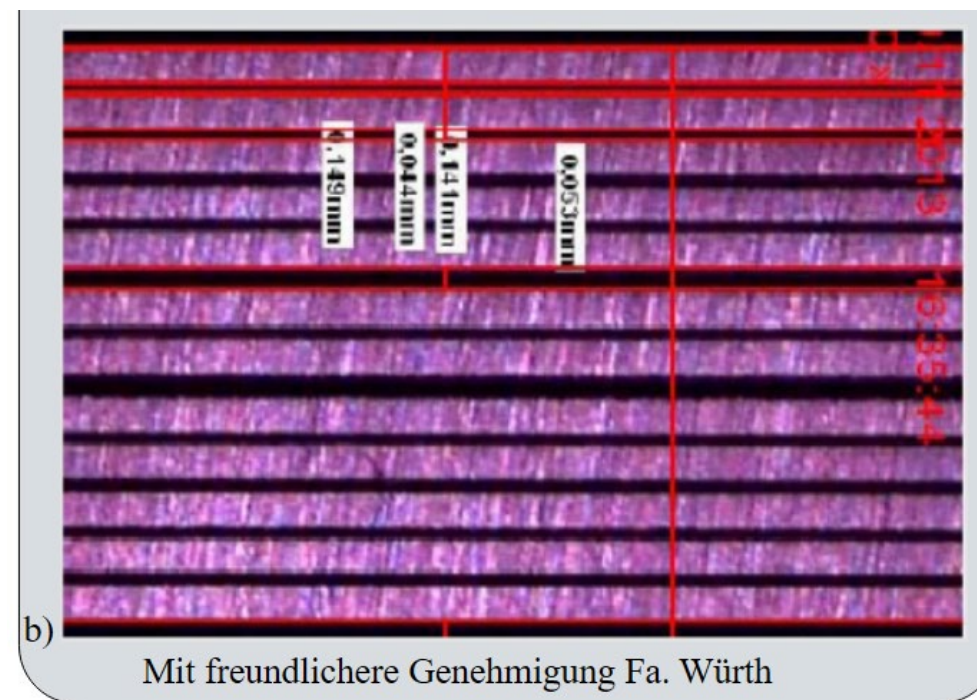
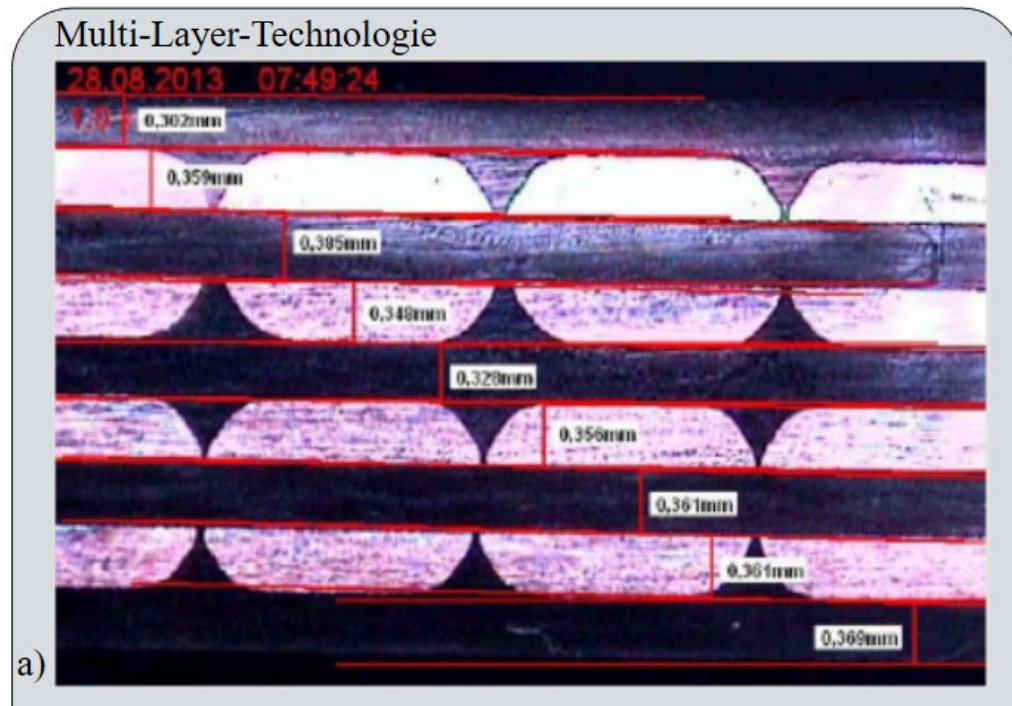
2. Wicklungsbilder und Hinweise zur Kontaktierung der Spule

Wicklungsbilder - Fortsetzung



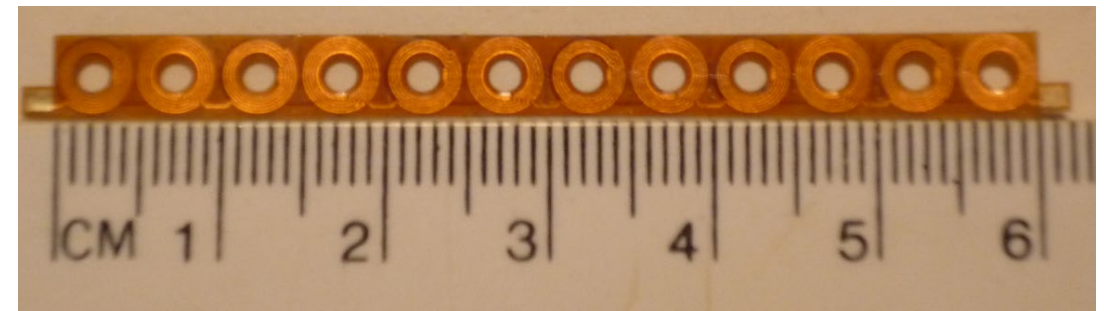
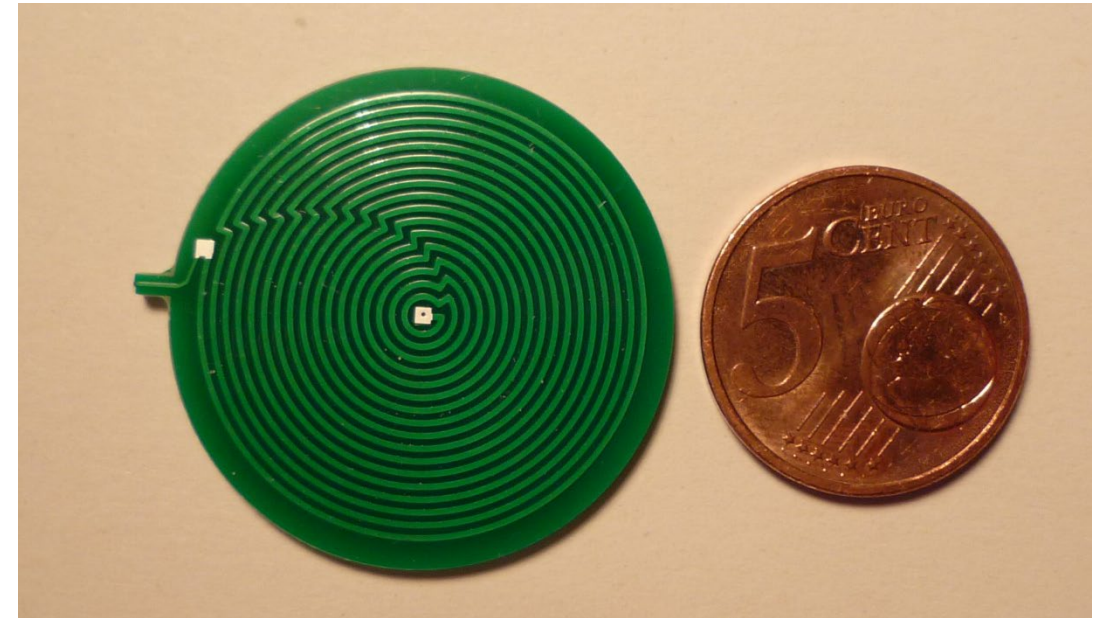
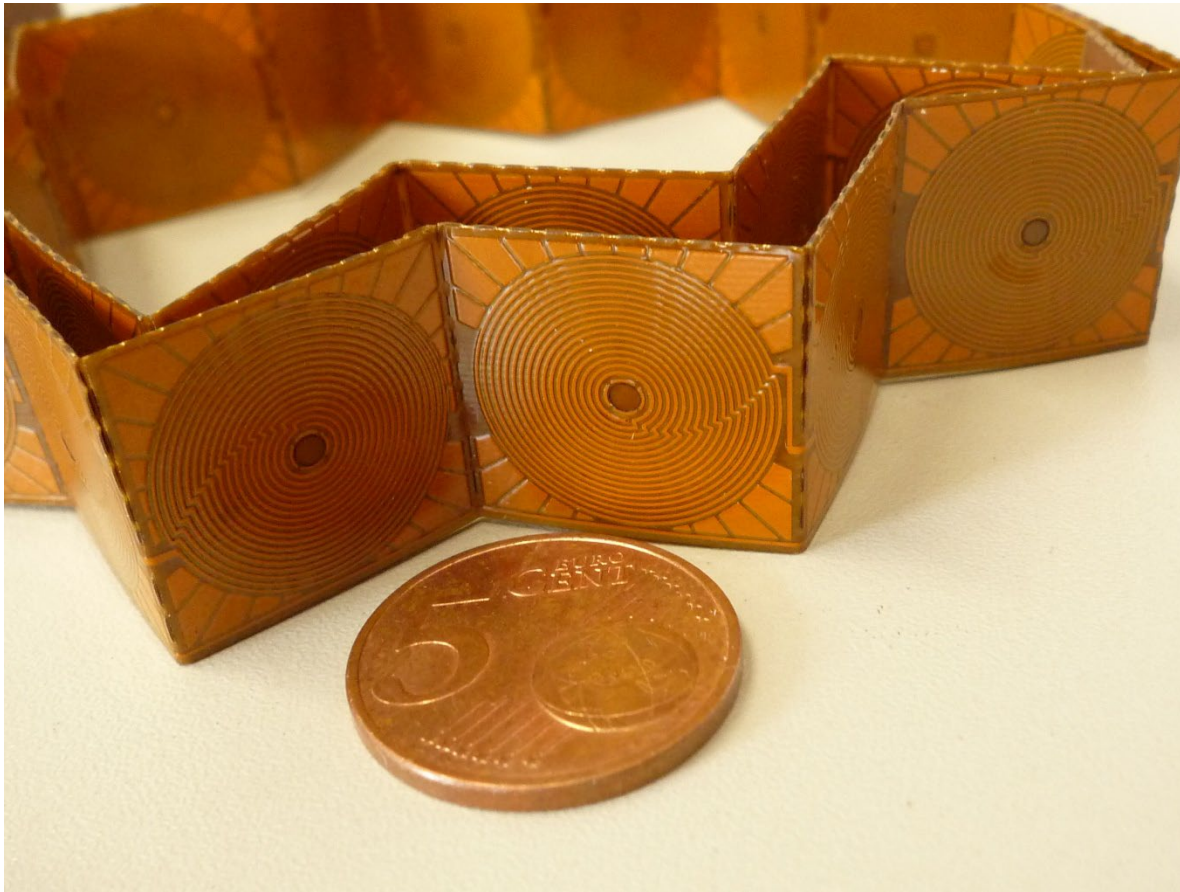
2. Wicklungsbilder und Hinweise zur Kontaktierung der Spule

Wicklungsbilder



2. Wicklungsbilder und Hinweise zur Kontaktierung der Spule

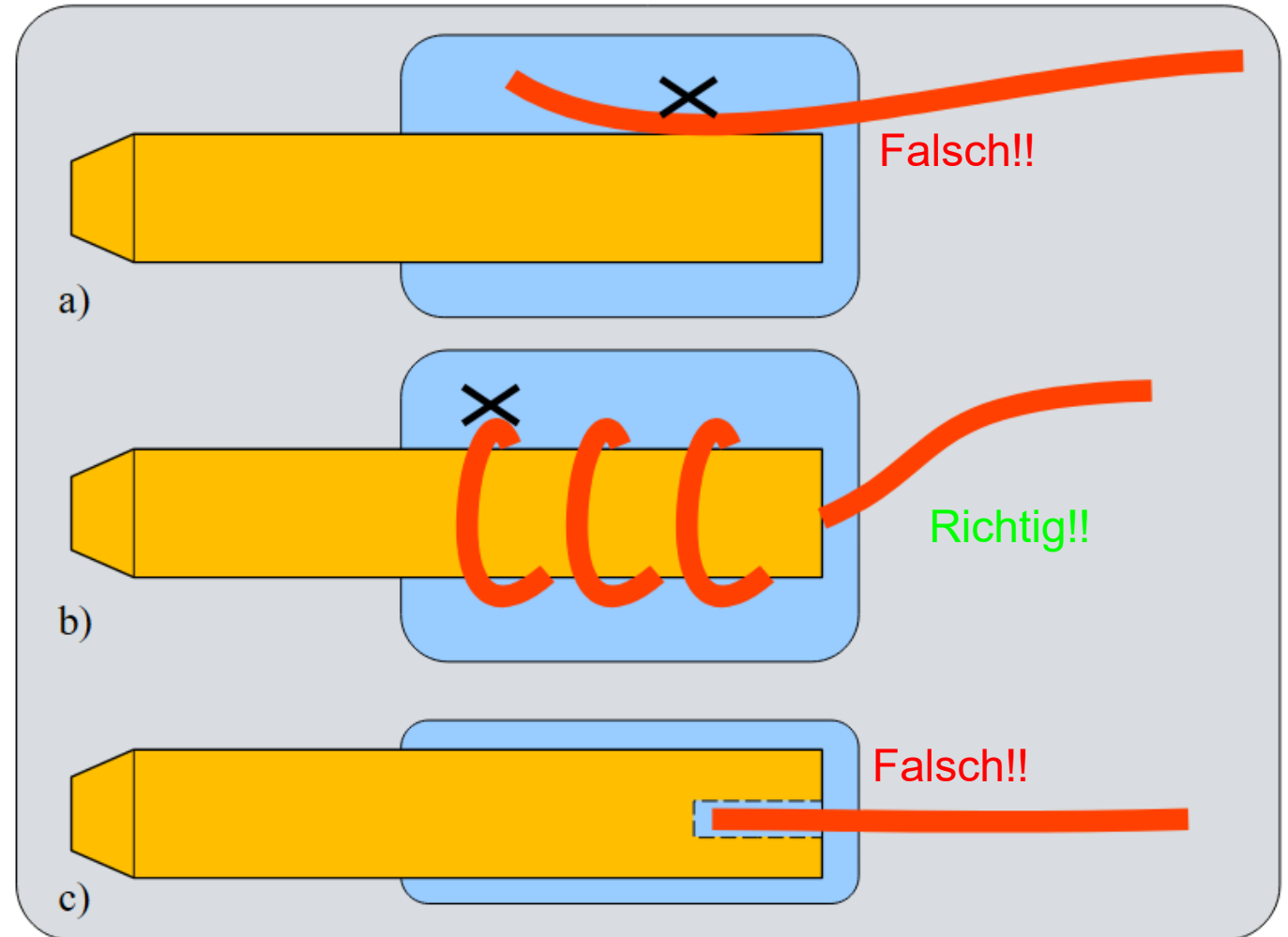
Wicklungsbilder



2. Wicklungsbilder und Hinweise zur Kontaktierung der Spule

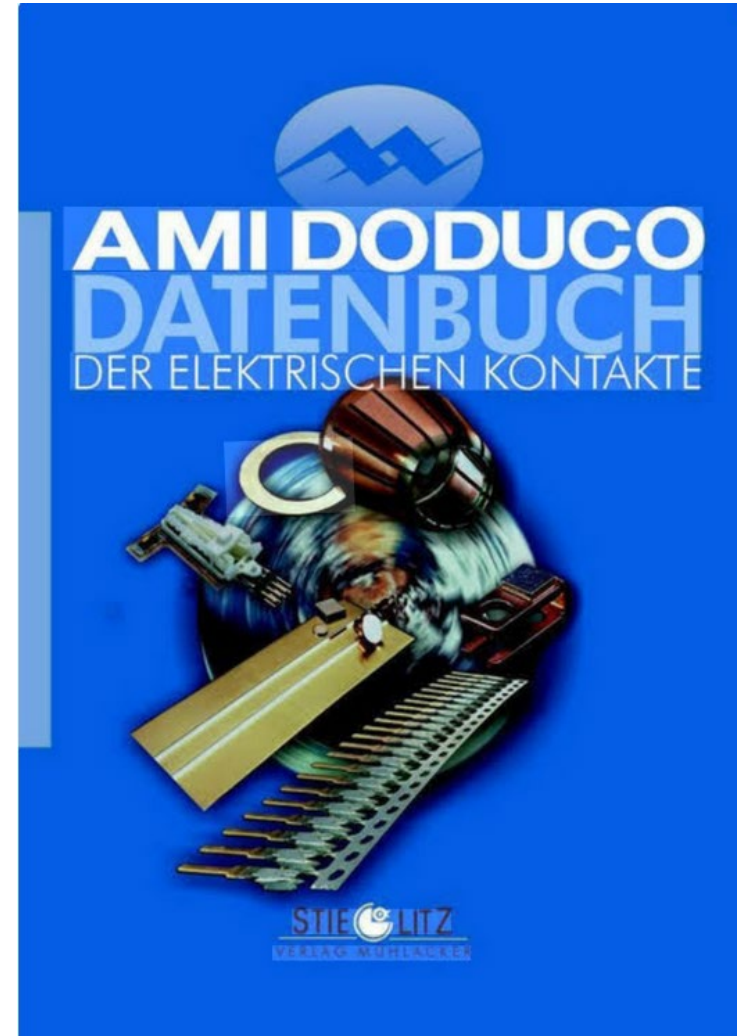
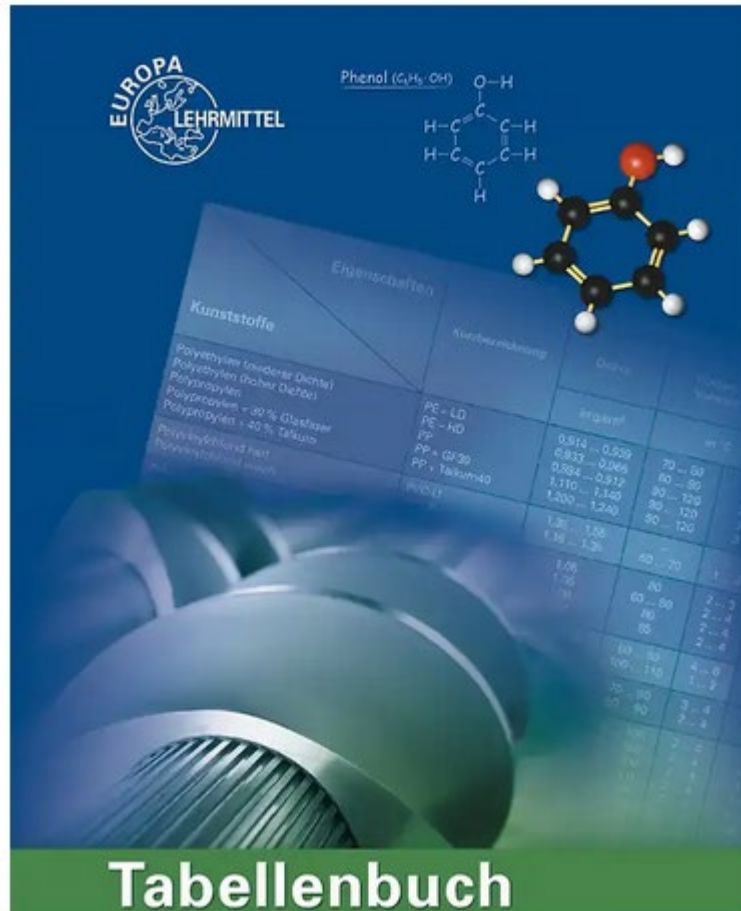
Stift-Draht-Befestigung, was gilt es zu beachten?

- Wärmeausdehnungskoeffizienten von Draht, Stift und Umspritzung
- Korrosionsbeständigkeit
- Befestigung: Reibschweißen
Löten, Crimpen, ...
- Auftretende Vibrationen
- Paarung Kontaktwerkstoffe
- Trägerwerkstoffe
- Lote und Flussmittel
- Beschichtungsverfahren



2. Wicklungsbilder und Hinweise zur Kontaktierung der Spule

Literaturhinweise:



Inhalt:

- 1) Anforderungen an den Spulenträger
- 2) Wicklungsbilder und Hinweise zur Kontaktierung der Spule
- 3) Spulenauslegung mit Wicklungswiderstand R_w unter Berücksichtigung des Spannungsquellen-Innenwiderstandes R_i bei vorgegebener Verlustleistung P_v :**
 - 3a) $R_w \ll R_i$**
 - 3b) $R_w \approx R_i$**
 - 3c) $R_w \gg R_i$**

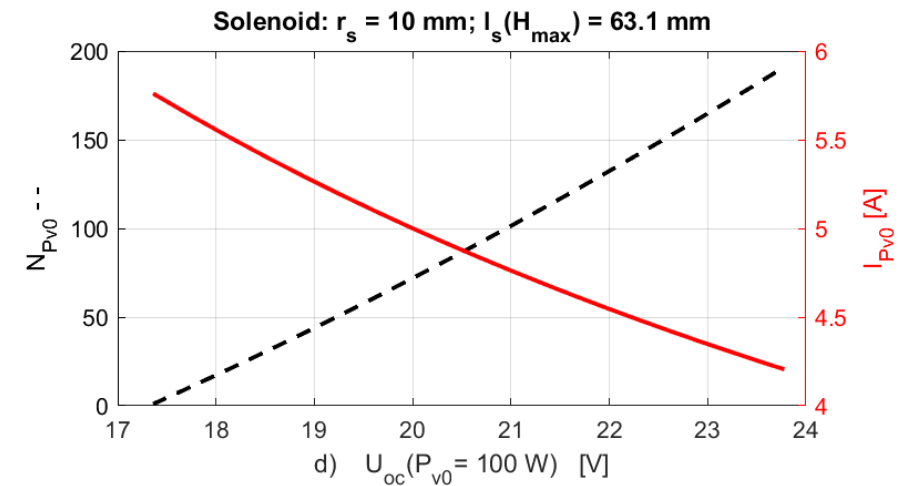
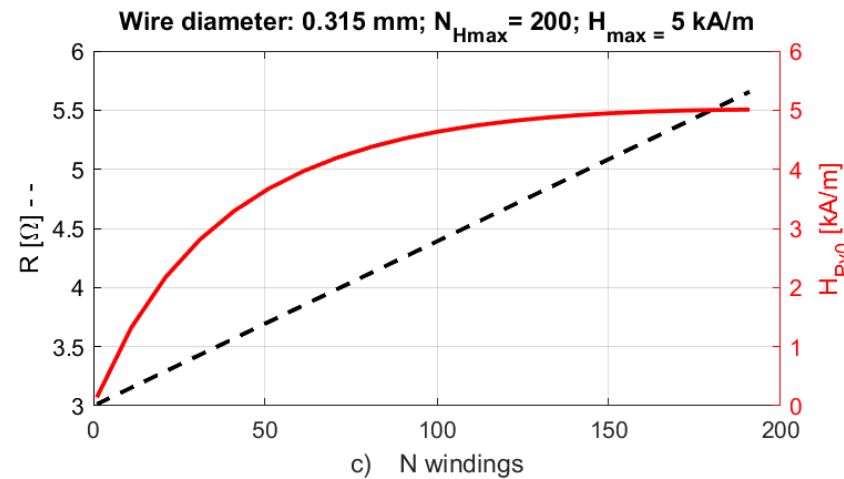
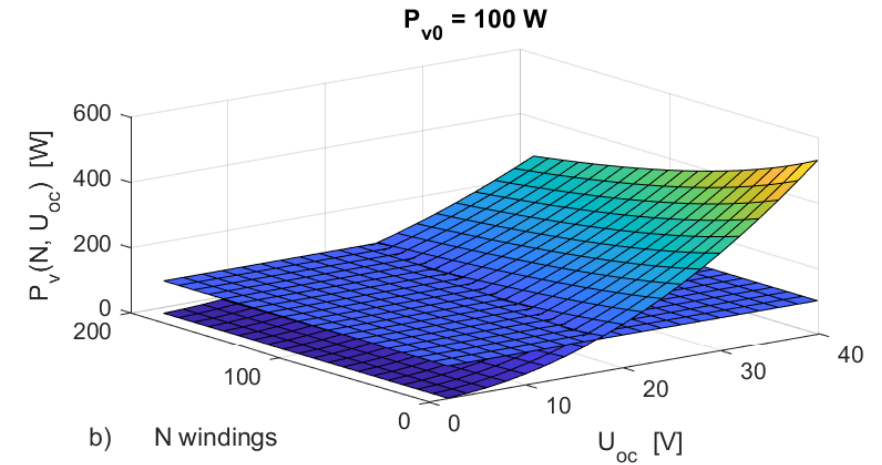
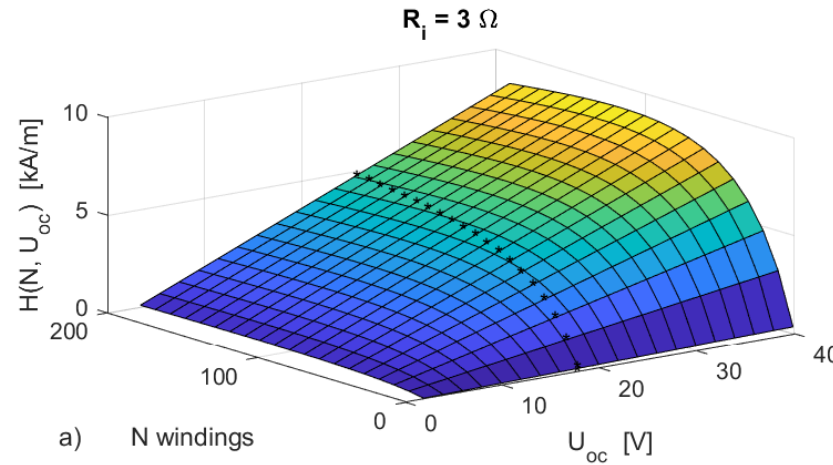
3. Spulenauslegung unter Berücksichtigung des Innenwiderstandes

Aufgabenstellung:

- In einem Gehäuse integrierte Spannungs- und Stromquellen inklusiv Spulen dürfen beispielsweise nur eine bekannte, maximale Verlustleistung generieren, welche durch die Gehäuseoberfläche sicher abgeführt werden muss.
- Spulen werden in der Regel hinsichtlich des Betriebs mit einer gegebenen Betriebsspannung ausgelegt. Bei einem Batterie- oder Akkubetrieb der Geräte sinkt aufgrund des Quellen-Innenwiderstandes die Betriebsspannung ab, was eine Spulenanpassung erforderlich macht.
- Leiterplatten-basierende Spulen und Quellen sind häufig hinsichtlich einer maximalen Gesamtverlustleistung auszulegen, um eine thermische Überbeanspruchung der umliegenden Bauelemente oder Platine vorzubeugen.

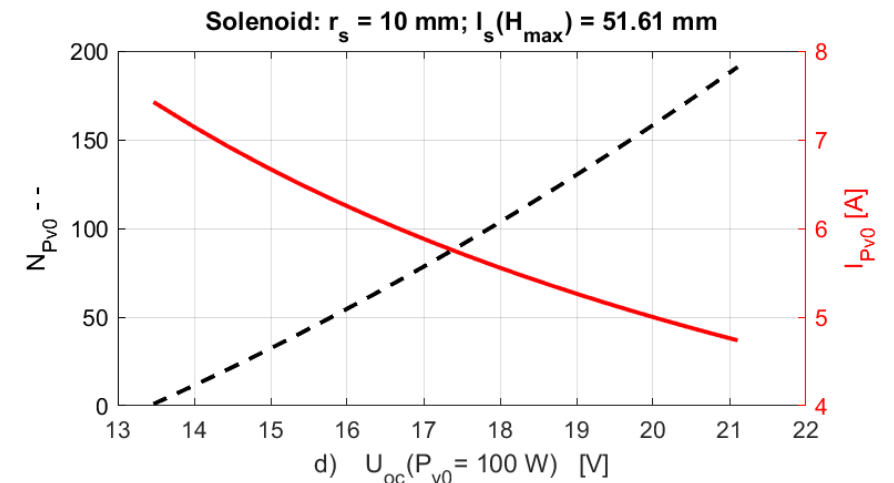
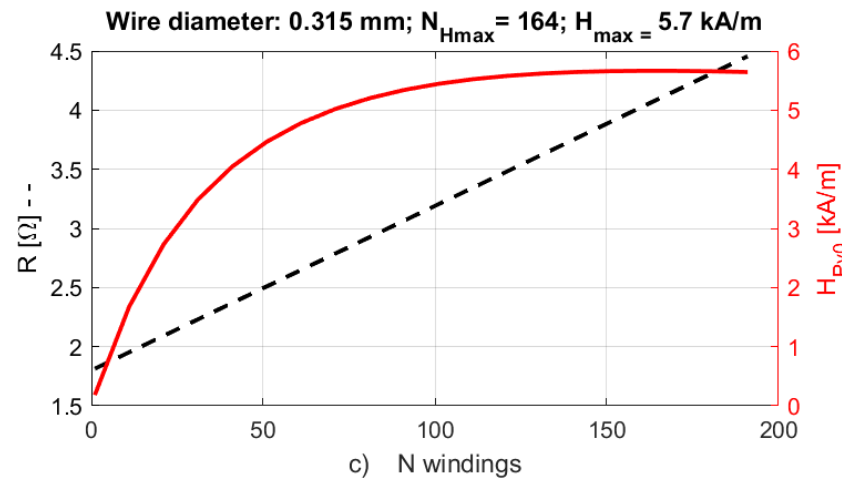
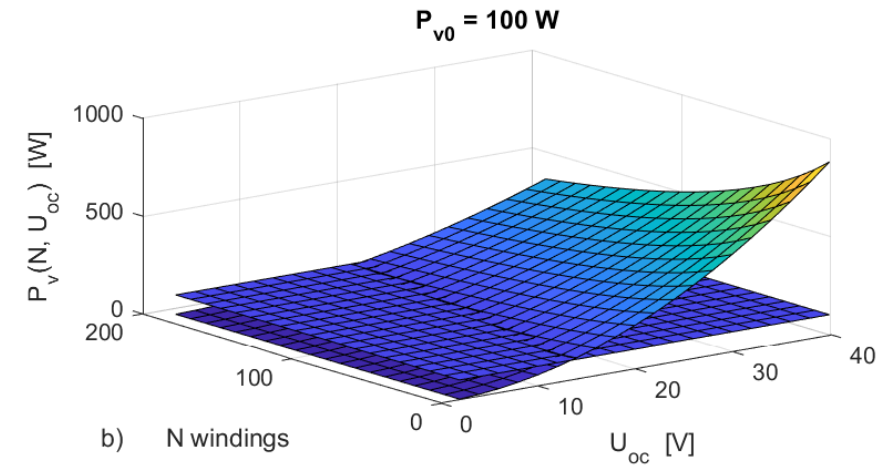
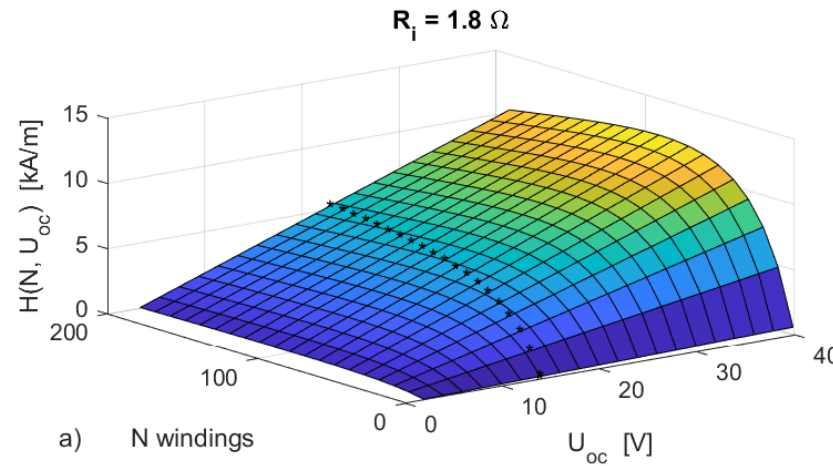
3. Spulenauslegung unter Berücksichtigung des Innenwiderstandes

3 a) $R_w \ll R_i$



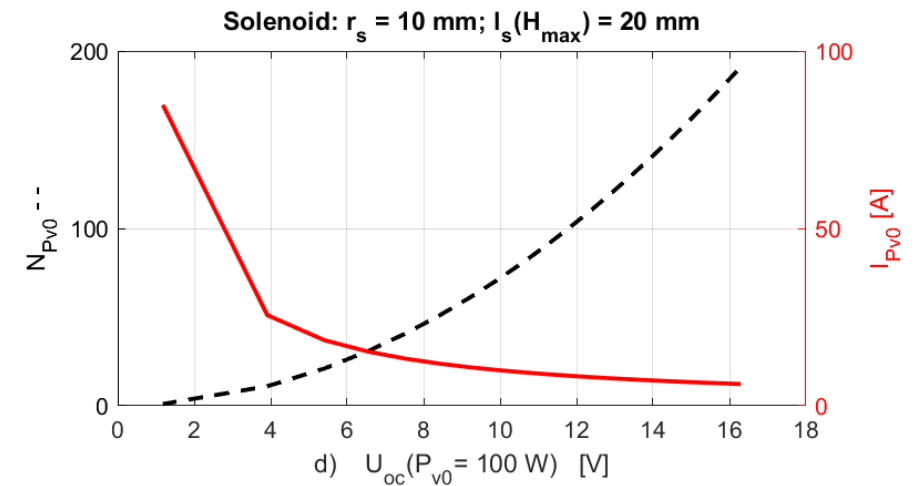
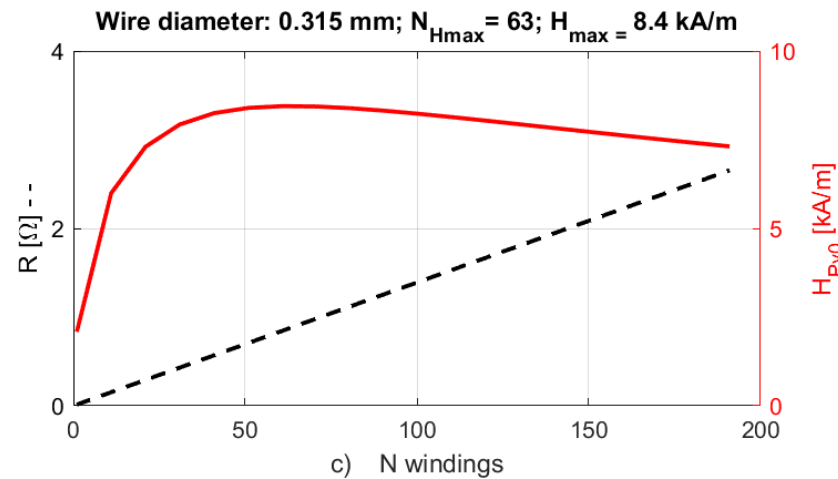
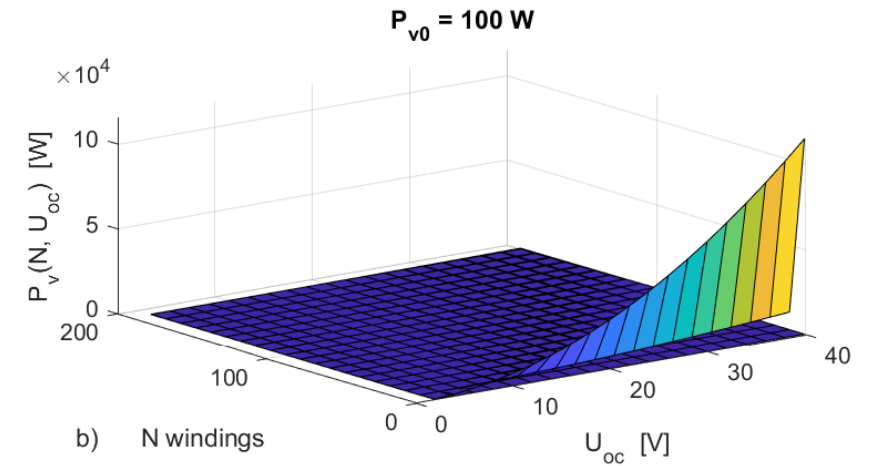
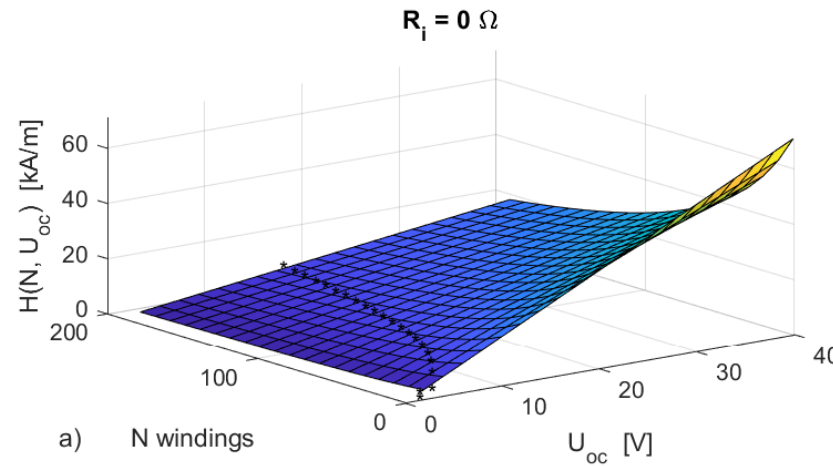
3. Spulenauslegung unter Berücksichtigung des Innenwiderstandes

3 b) $R_w \approx R_i$

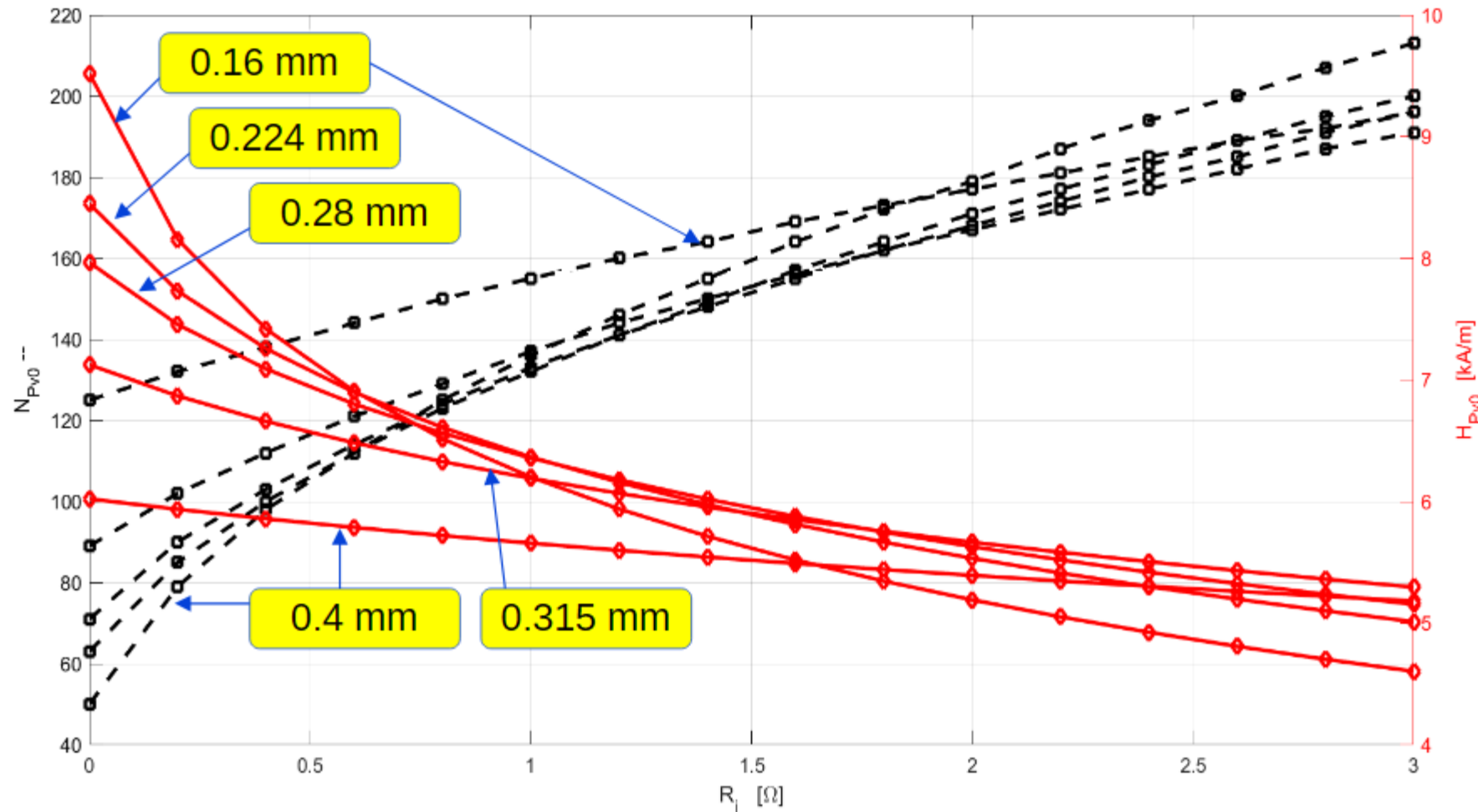


3. Spulenauslegung unter Berücksichtigung des Innenwiderstandes

3 a) $R_w \gg R_i$



3. Spulenauslegung unter Berücksichtigung des Innenwiderstandes Erweiterte Studie – Zusammenfassung bei konstanter Verlustleistung



3. Spulenauslegung unter Berücksichtigung des Innenwiderstandes

Erweiterte Studie – Wicklungsauslegung

Auslegung nach folgenden Kriterien (Datenbasis Seite zuvor):

- Lagenweise Wicklung
- Geradzahlige Lagenzahl
- Verhältnis von Wicklungslänge zu Wicklungshöhe nahe eins

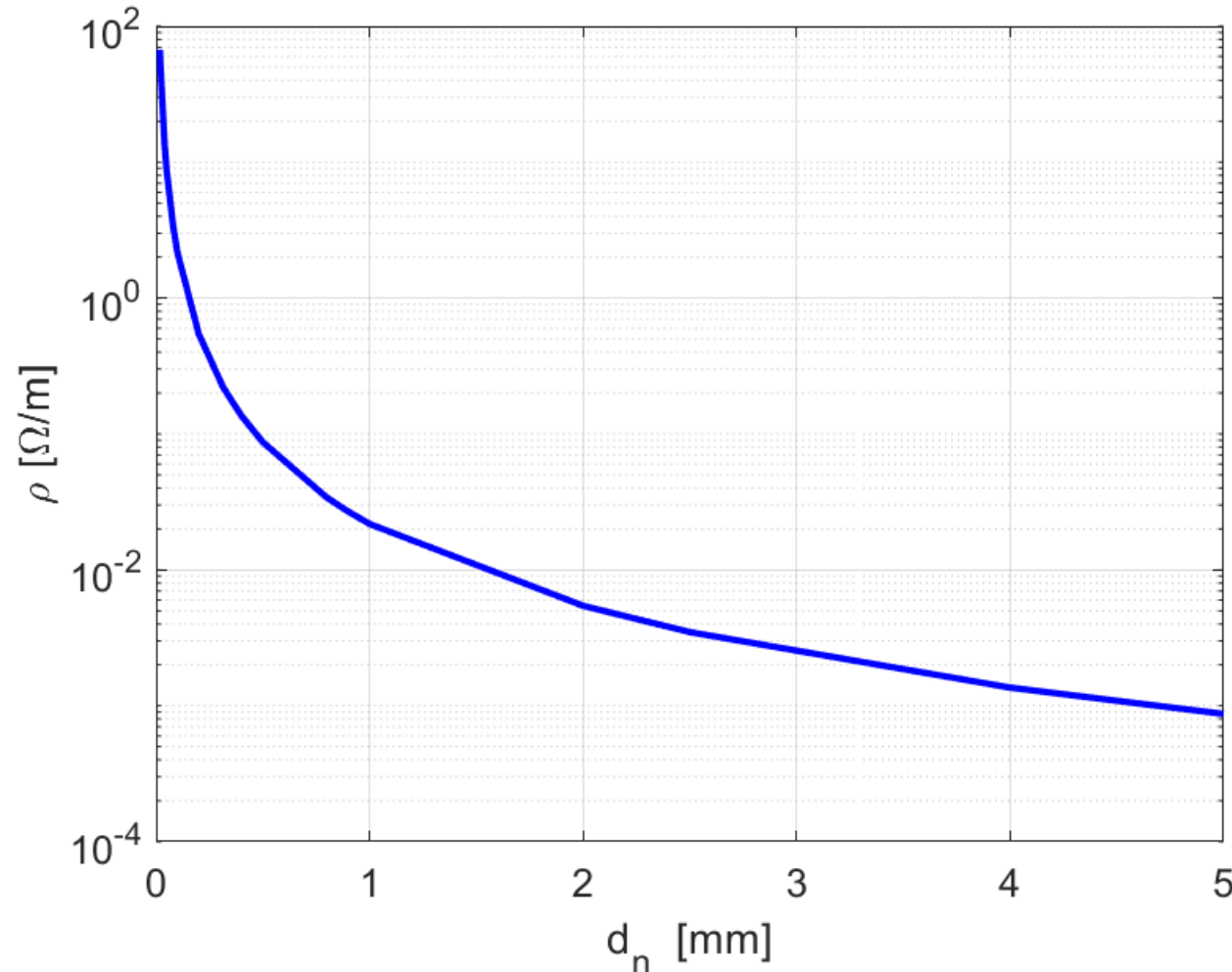
Draht nach DIN EN 60317-0-1: $d_n = 0,4 \text{ mm}$; $d = 0,439 \text{ (Grad 1)}$						
R_i [Ω]	N	N/Lage	Lagenzahl	A_{Cu} [mm^2]	A_W [mm^2]	k_{Cu}
0	50	6	8	6,28	9,25	0,68
0,5	105	10	10	13,19	19,27	0,68
1,0	135	11	12	16,96	25,44	0,67
1,5	150	15	10	18,85	28,90	0,65
2,0	170	12	14	21,36	32,38	0,66

3. Spulenauslegung unter Berücksichtigung des Innenwiderstandes

Erweiterte Studie:

Bitte daran denken:

Auszug aus
DIN EN 60317 – 0 – 1:



3. Spulenauslegung unter Berücksichtigung des Innenwiderstandes

Erweiterte Studie - Zusammenfassung

- Niedrige Innenwiderstände erlauben hohe Feldstärken und vice versa.
- Niedrige Innenwiderstände erlauben niedrige Windungszahlen und vice versa.
- Bei vergleichsweise niedrigem Innenwiderstand R_i unterscheiden sich die magnetischen Feldstärken. Diese Unterscheidung nimmt mit zunehmenden Innenwiderstand ab.
- Die Verwendung des Drahtdurchmessers von 0,4 mm erlaubt eine nahezu unabhängige magnetische Feldstärke H_{pV0} vom Innenwiderstand R_i , welche zwar im Vergleich zu kleineren Drahtdurchmessern niedriger ausfällt, aber im Gegenzug eine kontinuierliche Feldstärke und damit eine Weitbereichs-Funktionssicherheit erlaubt. Auch dies kann gegebenenfalls ein Ziel einer Dimensionierung sein.

Willkommen zur 149'ten

Veranstaltung von

Magnetics4Freaks

01. Juli 2026

(digital)

Thema

Wicklungsauslegung und

Wicklungsqualitäten



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!