

Richtige Speicherinduktivität Auswahl für ein DC/DC Schaltregler



Lorandt Fölkel M.Eng.
Business Development Manager &
Field Application Engineer

Agenda

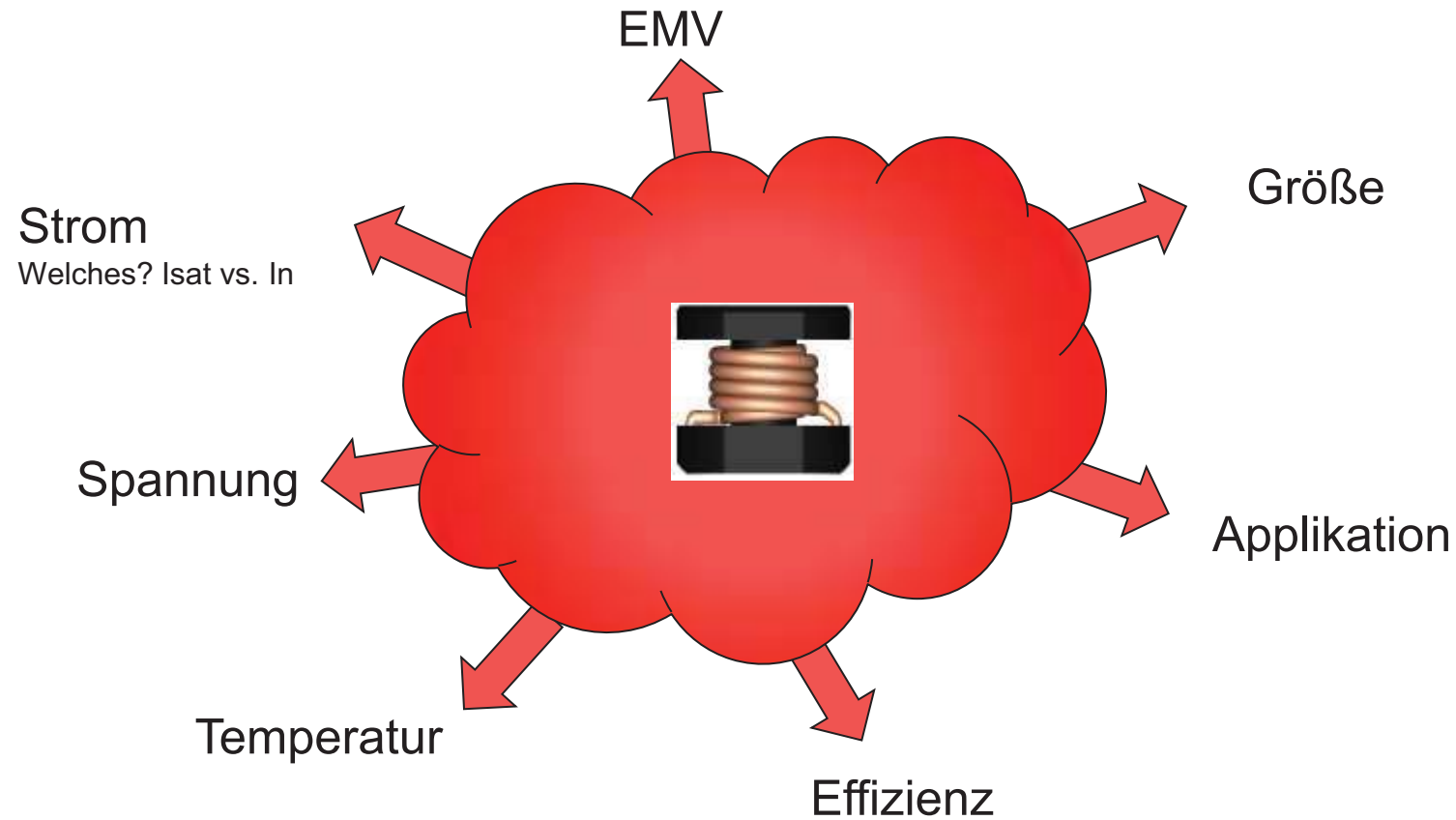


- **Elektromagnetismus**
 - Permeabilität
 - Luftspalt Einfluss
- **SMPS Topologien**
 - Abwärts / Buck
 - Aufwärts / Boost
- **Induktivität Parameter & Auswahl**
- **Verluste:**
 - Kupfer Verluste
 - Kern Verluste
- **Induktivität design**
- **Tools**
 - REDEXPERT
- **EMV Empfehlungen**
 - Beispiele
- **Literatur**

Wie wähle ich das Richtige Induktivität aus?



Wie wähle ich das Richtige Induktivität aus?



ELECTROMAGNETISMUS & PHYSIK

MAXWELL'S GLEICHUNGEN

■ Integral Formel

$$\oint \vec{E} d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Gauss' Gesetz für Elektrostatik

$$\oint \vec{B} d\vec{A} = 0$$

Gauss' Gesetz für Magnetismus

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = -\frac{\partial \Phi_B}{\partial t}$$

Faradays Gesetz für Induktion

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \Phi_E}{\partial t}$$

Ampere Gesetz

■ Differential Formel

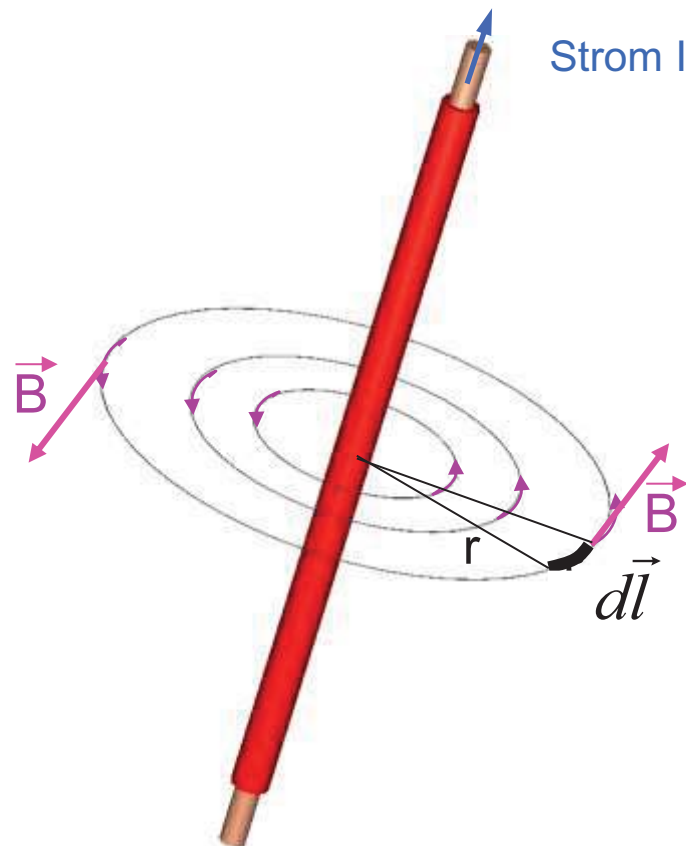
$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

ELECTROMAGNETISMUS : Magnetische Flussdichte



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$

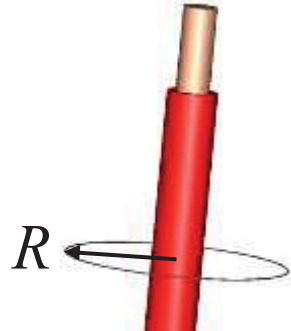
$$B \int d\vec{l} = \mu_0 I$$

$$B 2\pi r = \mu_0 I$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

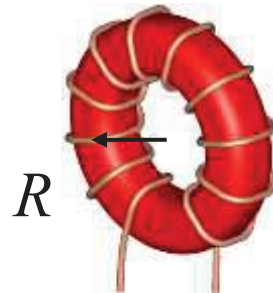
ELECTROMAGNETISMUS : Das Magnetfeld

Gerade Draht



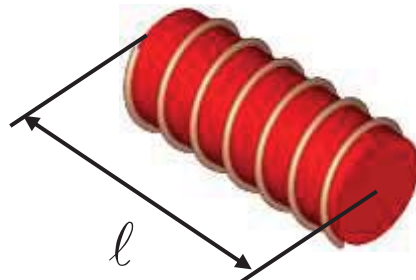
$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot R}$$

Ringkern



$$H = \frac{N \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot R}$$

Stabkern



$$H = \frac{N \cdot I}{l}$$

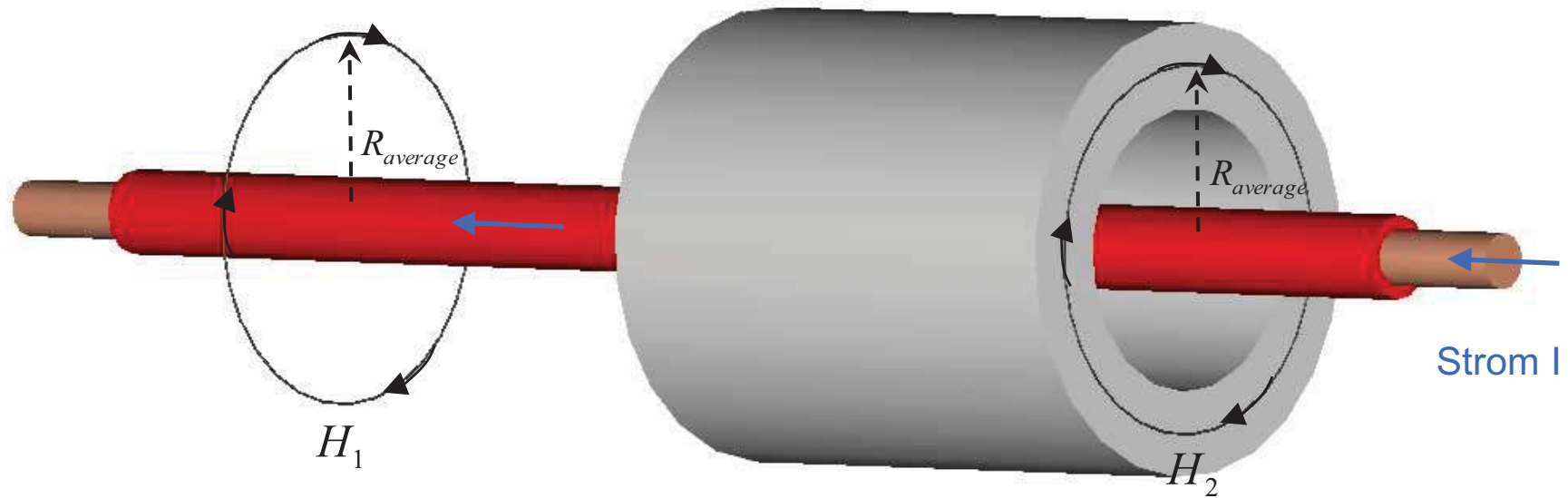
Die magnetische Feldstärke ist abhängig von:

- Geometrie
- Windungszahl
- Stromstärke

und

NICHT VOM MATERIAL

Das Magnetfeld – magnetische Feldstärke

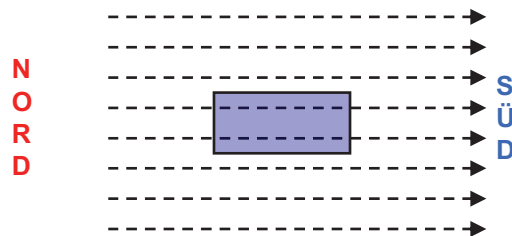


$$H_1 = H_2 = H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot R_{average}}$$

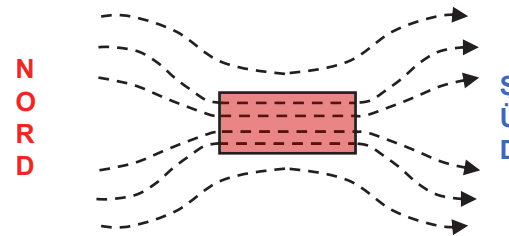
$$B_1 \begin{matrix} \neq \\ ? \\ = \end{matrix} B_2$$

Das Magnetfeld – magnetische Flussdichte

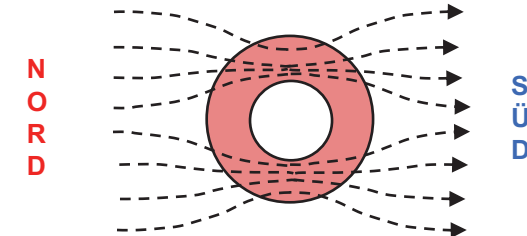
Luft
(Keramik)



Stabferrit



Ringkern



Induktion in Luft:

$$B = \mu_0 \cdot H$$

lineare Funktion, da $\mu_r = 1 = \text{konstant!}$

Induktion in Ferrit:

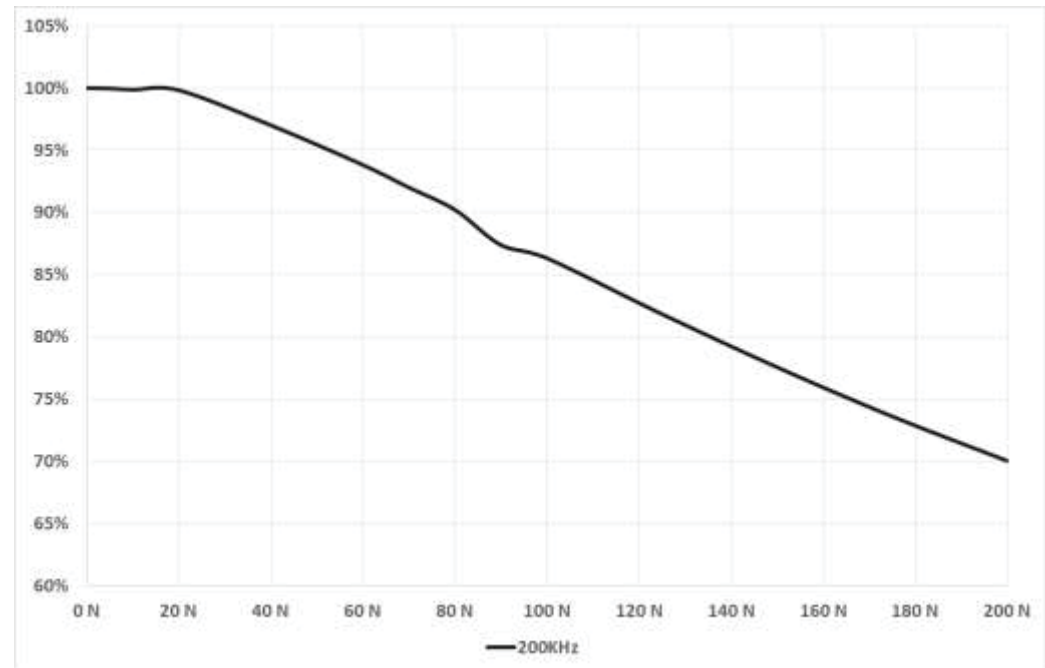
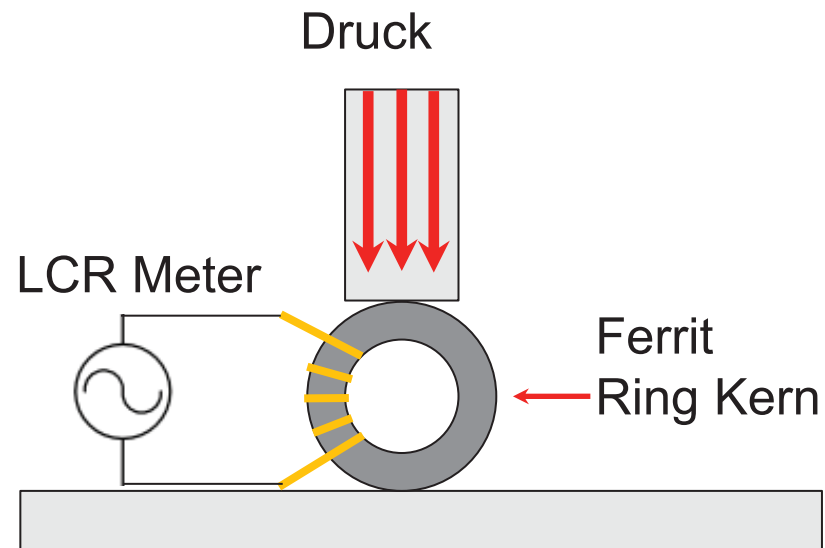
$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$$

Die relative Permeabilität ist ein

**Material-
Frequenz-
Temperatur-
Strom-
Druck-**

-abhängiger Parameter

ELECTROMAGNETISMUS : Permeabilität



Die relative Permeabilität ist Druck abhängig.

ELECTROMAGNETISMUS : Permeabilität VS. Material

Verwendete Material:

$$\mu_r = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta H}$$



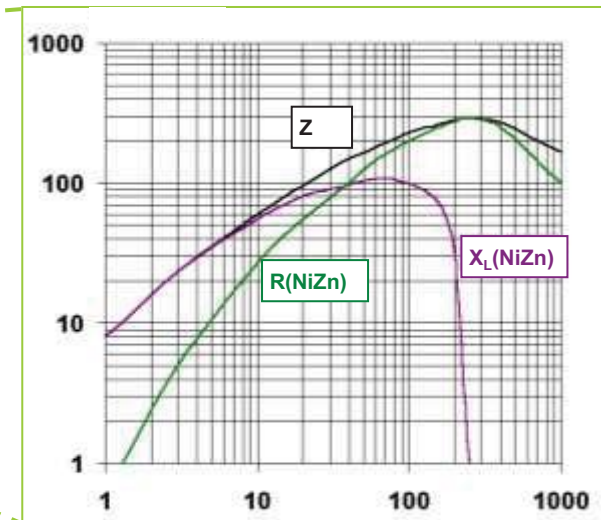
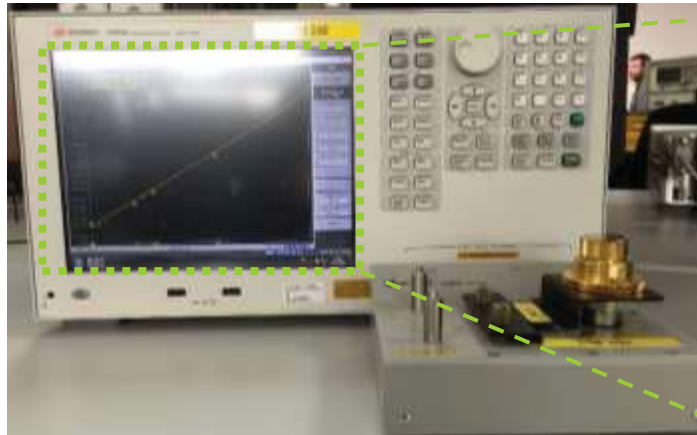
Typische Permeabilität:

- Eisen Pulver = 50 ~ 150
- Nickel Zink (NiZn) = 40 ~ 1500
- Mangan Zinc (MnZn) = 300 ~ 20000

Permeabilität - Impedanz

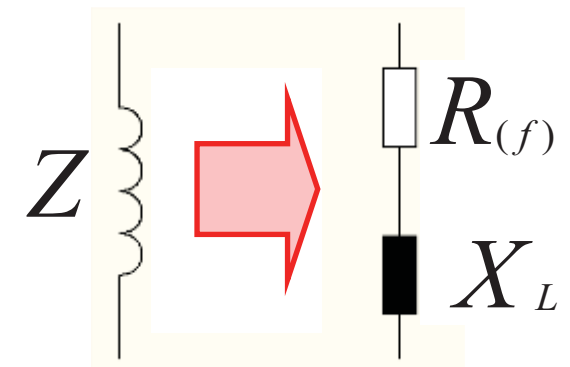


=1 Windung



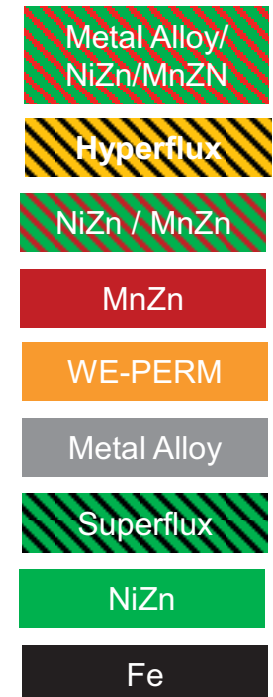
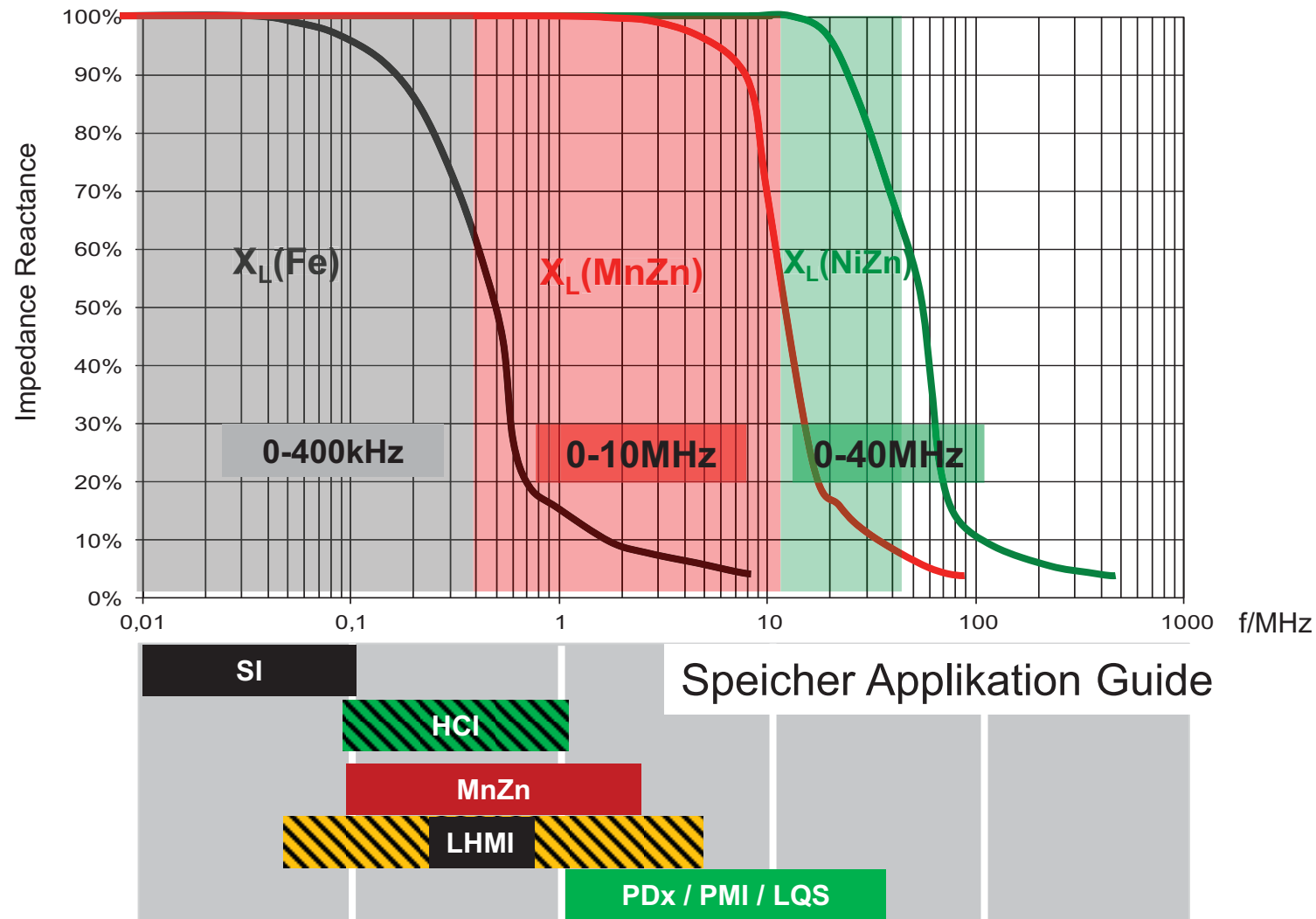
Kernmaterial-Parameter

Esatzschaltbild



$$Z = \sqrt{R_{(f)}^2 + X_L^2}$$

ELECTROMAGNETISMUS : Permeabilität VS. Frequenz

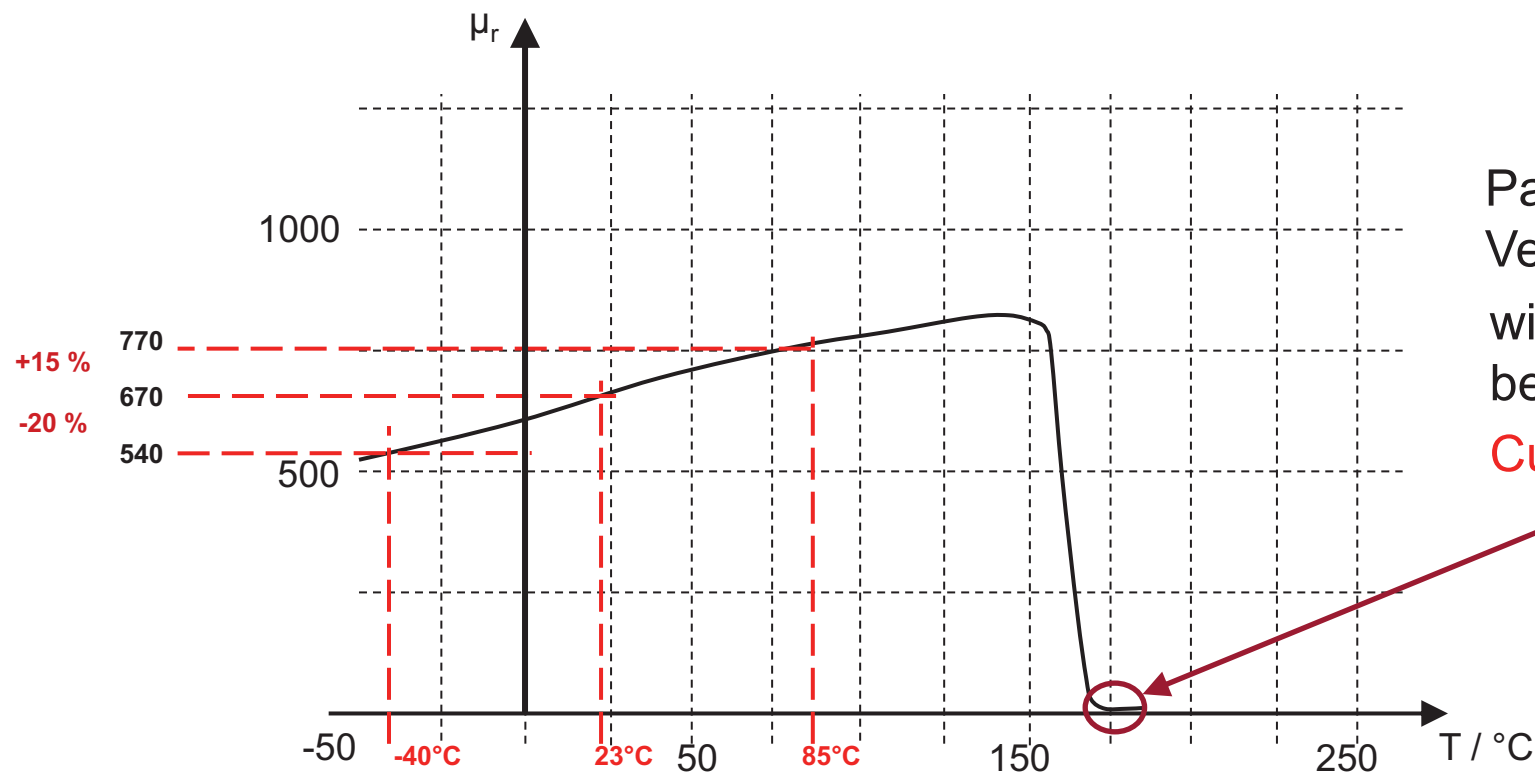


Permeabilität - Kernmaterialparameter

Temperaturabhängigkeit

-spontane Magnetisierung wird durch thermische Energie beeinflusst

$T \uparrow \rightsquigarrow$ Therm. Bewegung $\uparrow \rightsquigarrow$ Ordnungsgrad $\downarrow \rightsquigarrow$ Ausrichtung der Elementarmagneten



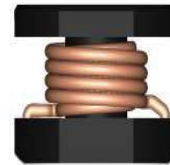
Paramagnetisches Verhalten wird erreicht bei

Curie-Temperatur

$$\mu_r = ?1$$

ELECTROMAGNETISMUS: Luftspalt Auswirkung

$$L = \frac{(\mu_o * \mu_r * A_{eff} * N^2)}{l_{eff} + l_{Spalt} * \mu_r}$$



μ_r = relative Permeabilität

N = Windungsanzahl

A_{eff} = Effektive Magnetische Fläche

l_{eff} = Effektive Magnetische Länge im Kern

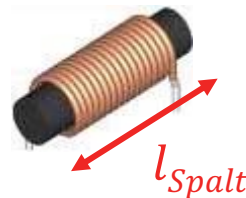
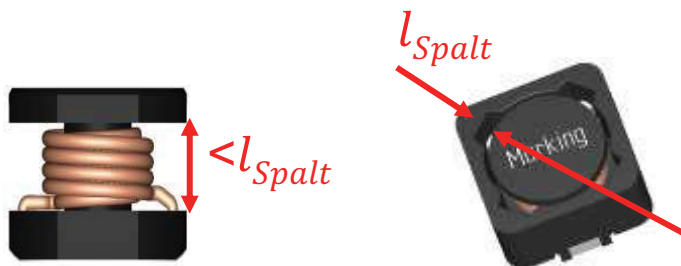
l_{Spalt} = Effektive Magnetische Länge im Luftspalt

R = Reluktanz (Widerstand)

$$L = \frac{N^2}{R_{Kern} + R_{Spalt}}$$

$$R_{Kern} = \frac{l_{eff}}{\mu_o * \mu_r * A_{eff}}$$

$$R_{gap} = \frac{l_{Spalt}}{\mu_o * A_{eff}}$$



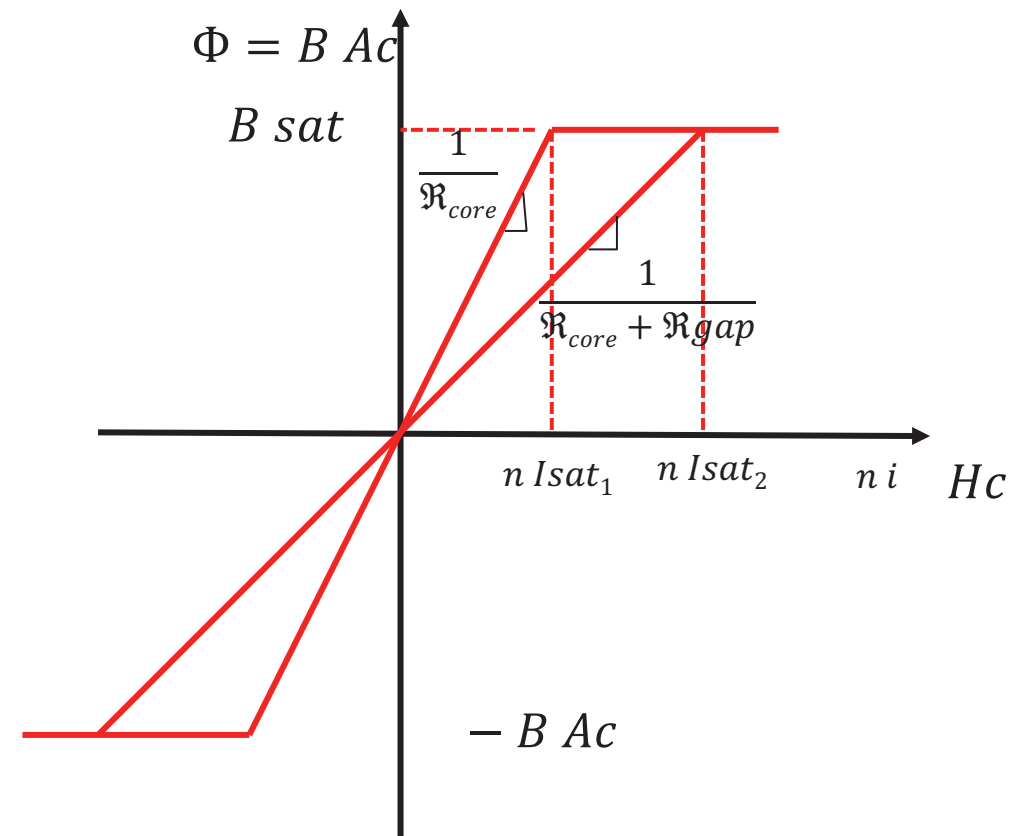
Verteilte
Luftspalt

ELECTROMAGNETISMUS: Luftspalt Auswirkung

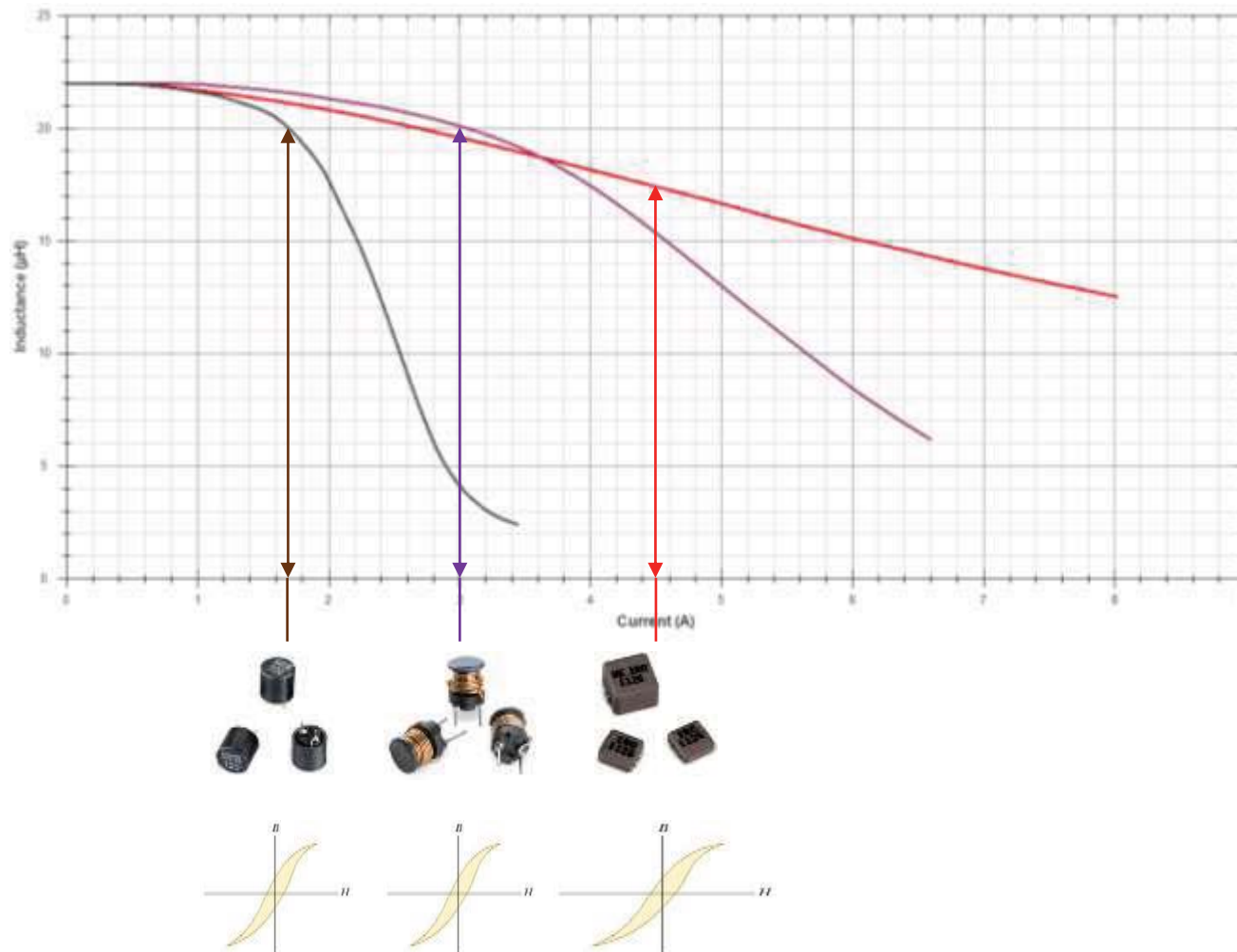
- Luftspaltauswirkung:
- Die Sättigungsstrom nimmt zu

$$\Phi_{sat} = B_{sat} A_c$$

$$I_{sat} = \frac{B_{sat} A_c}{n} * (R_{core} + R_{gap})$$



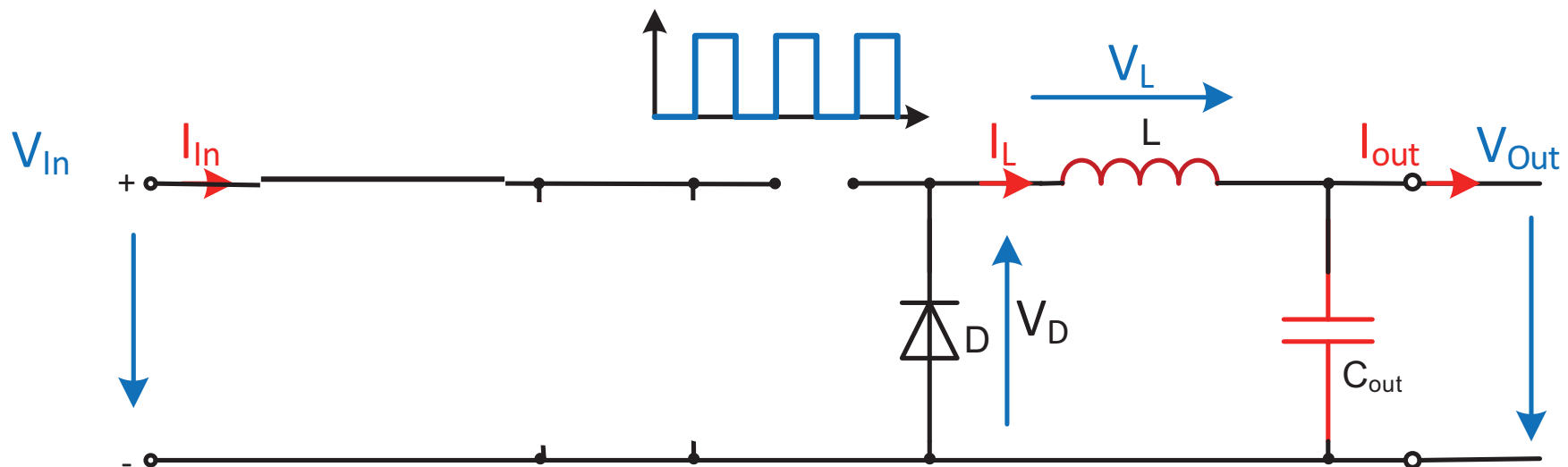
ELECTROMAGNETISMUS: Luftspalt Auswirkung

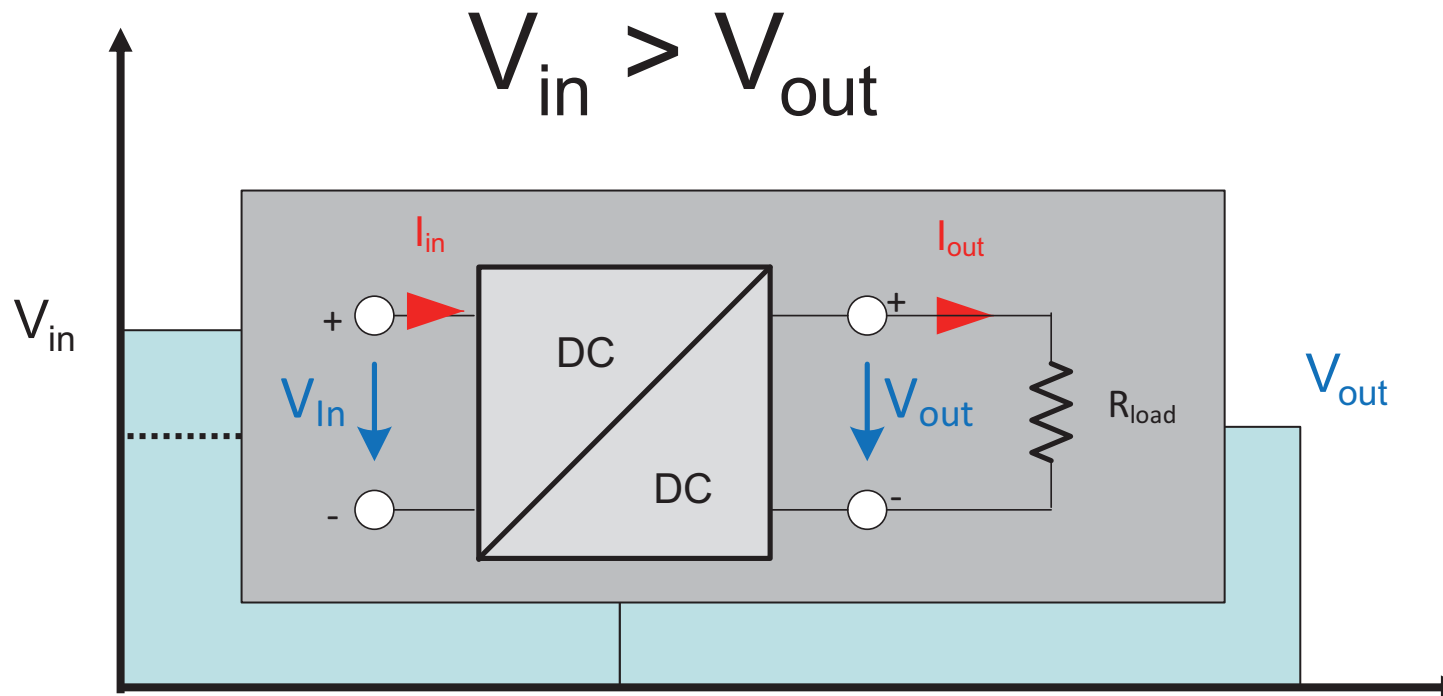


- Identische Induktivität Werte
- 1.7A Geschirmt
- 3.0A Ungeschirmt
- 4.5A Verteilte Luftspalt

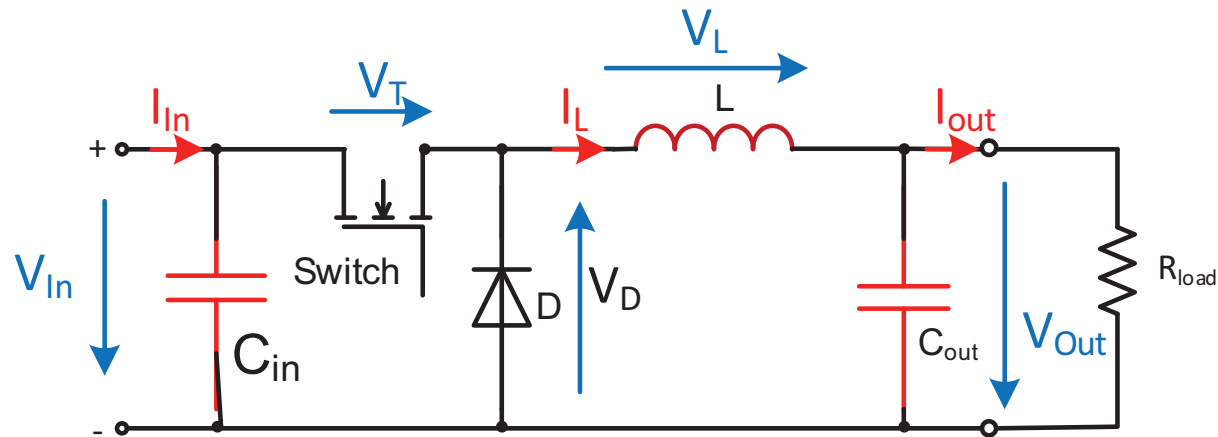
SCHALTREGLER TOPOLOGIEN

SMPS : Abwärtsregler (Buck)

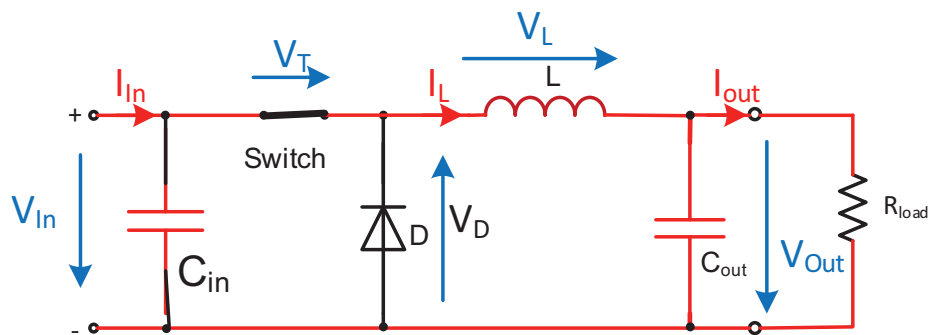


**BUCK**

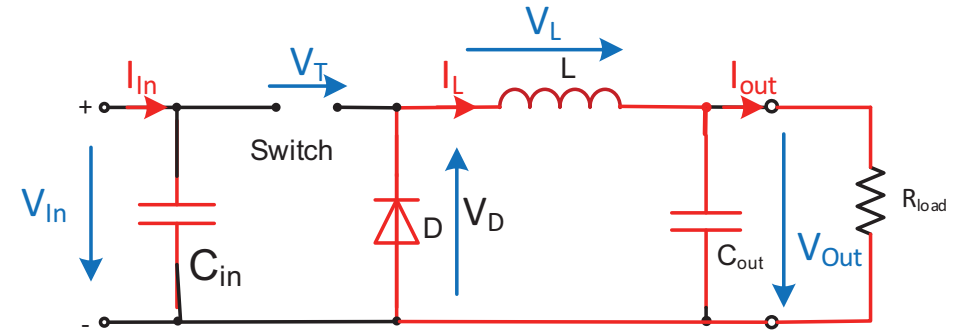
BUCK CONVERTER : Topologie



Switch Zu



Switch Offen



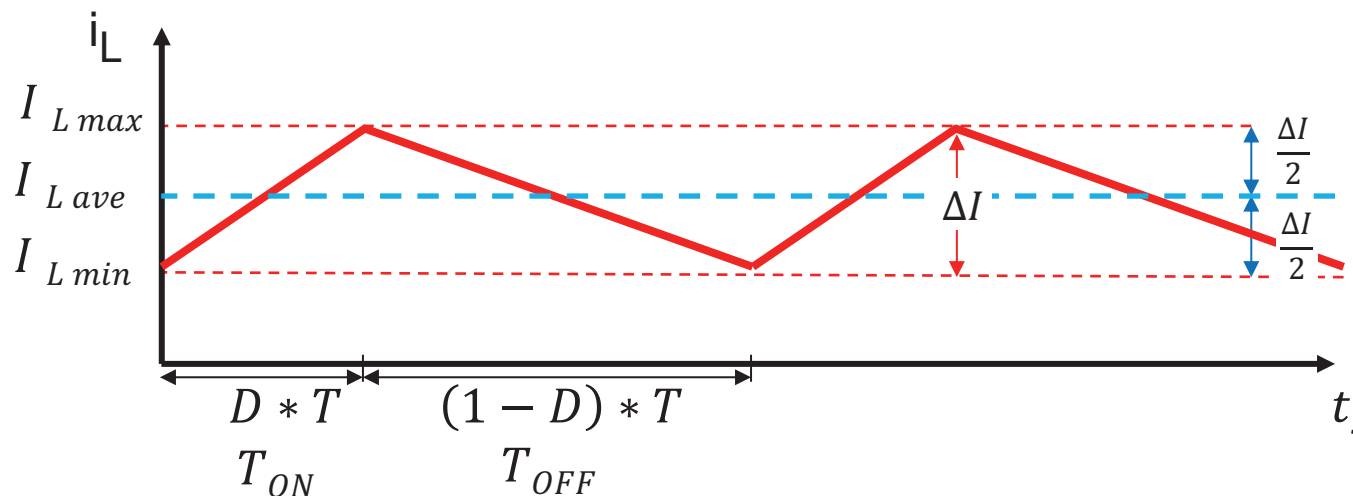
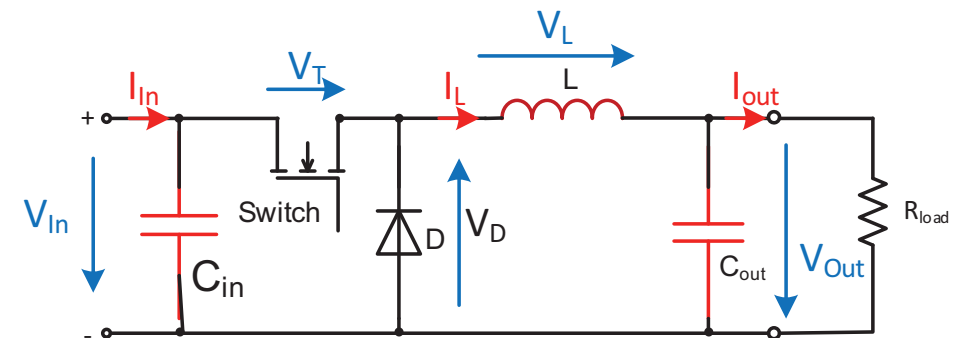
BUCK CONVERTER : Ripple Strom

Ripple Strom :

$$r = \frac{\Delta I_L}{I_L}$$

Schaltfrequenz :

$$F_{switch} = \frac{1}{T} = \frac{1}{T_{ON} + T_{OFF}}$$



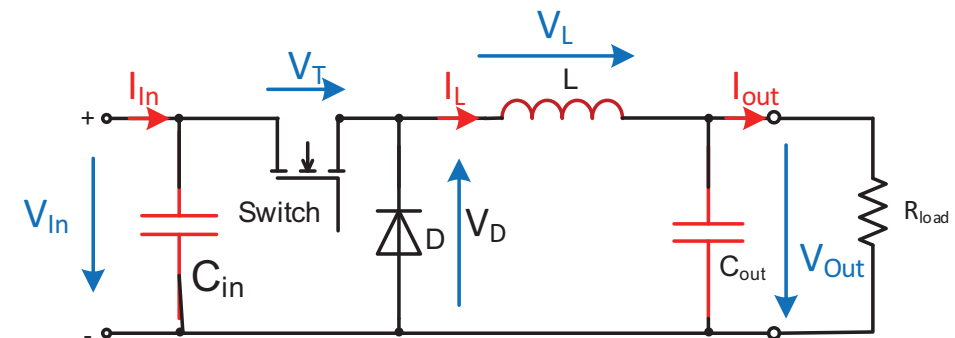
$$\Delta I_L = I_{Lmax} - I_{Lmin}$$

BUCK CONVERTER : Induktivität Berechnung

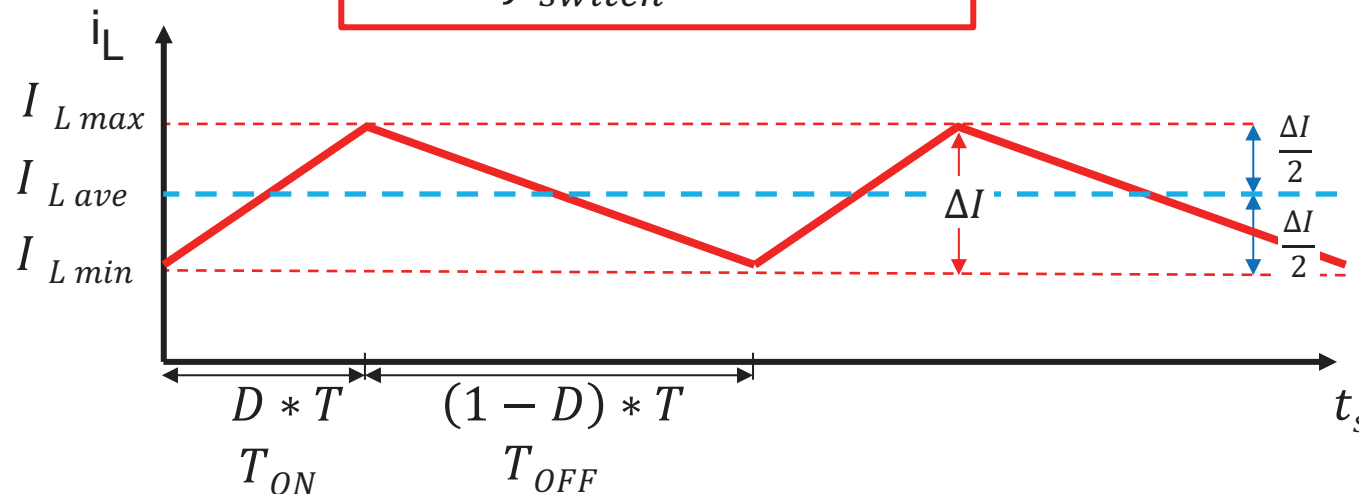
$$@ DT \quad V_L = L \frac{di_L}{dt}$$

$$L * (I_{Lmax} - I_{Lmin}) = (V_{in} - V_{out}) * DT$$

$$(I_{Lmax} - I_{Lmin}) = \Delta I = r * I_{out}$$

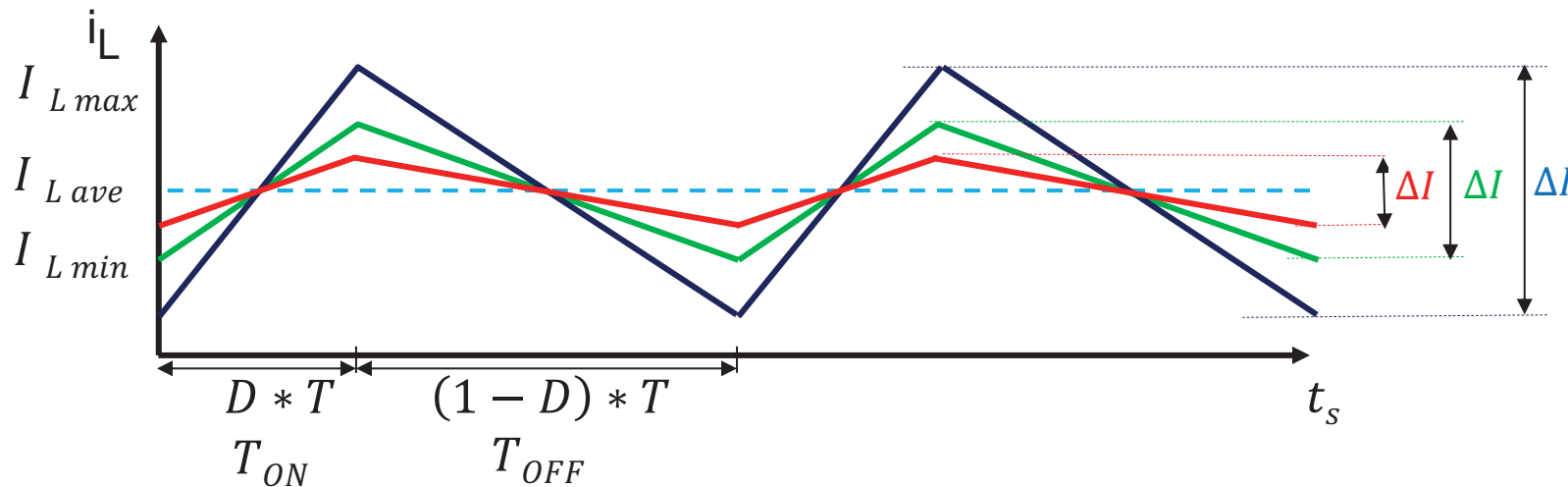
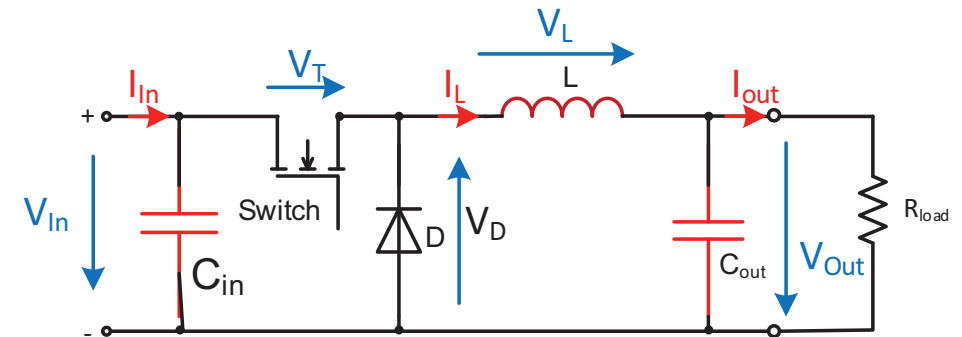


$$L = \frac{(V_{in} - V_{out}) * D}{f_{switch} * r * I_{out}}$$



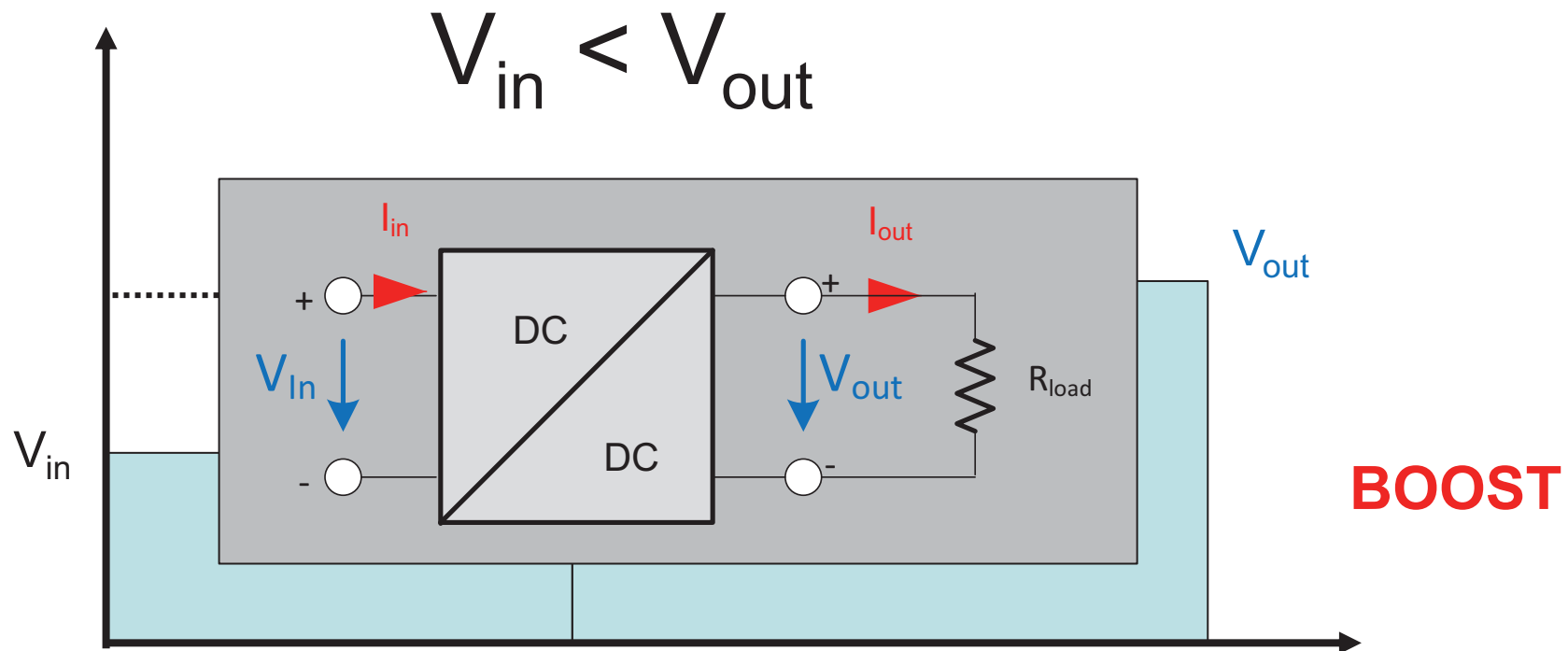
BUCK CONVERTER : Induktivität Berechnung

$$L = \frac{(V_{in} - V_{out}) * D}{f_{switch} * r * I_{out}}$$

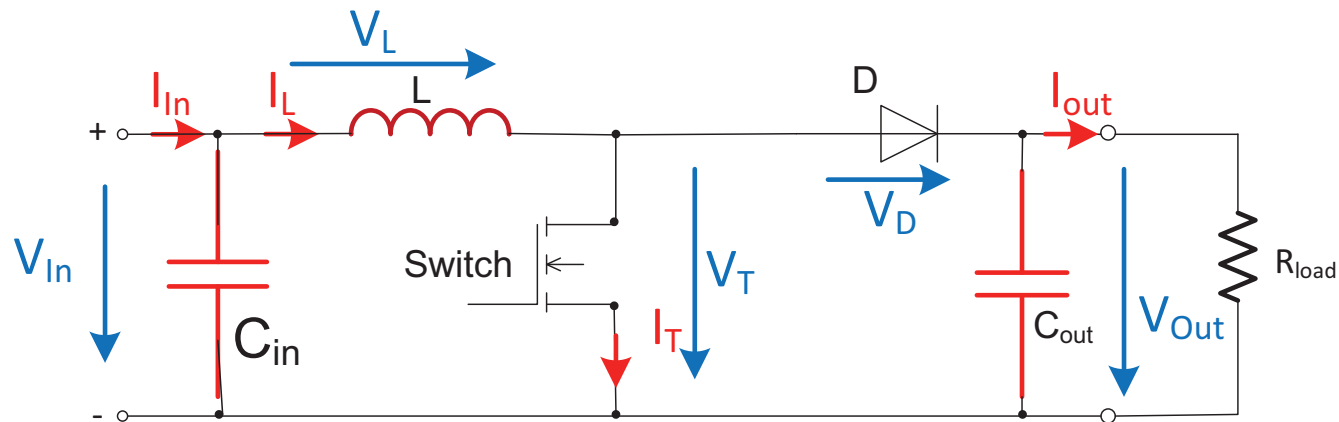


$L \uparrow \Rightarrow r \downarrow$

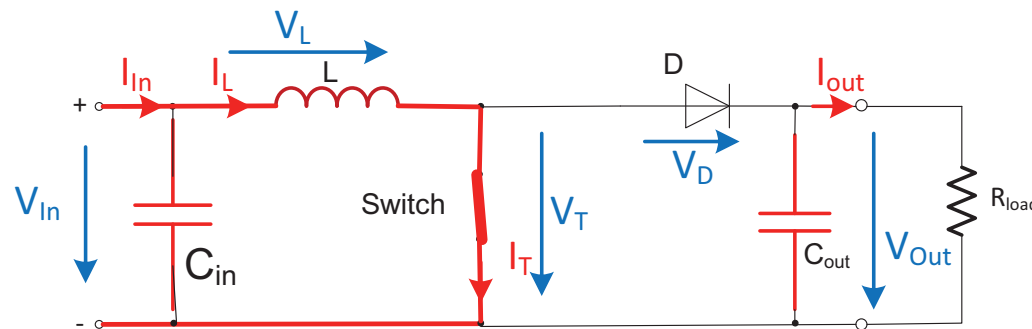
$L \downarrow \Rightarrow r \uparrow$



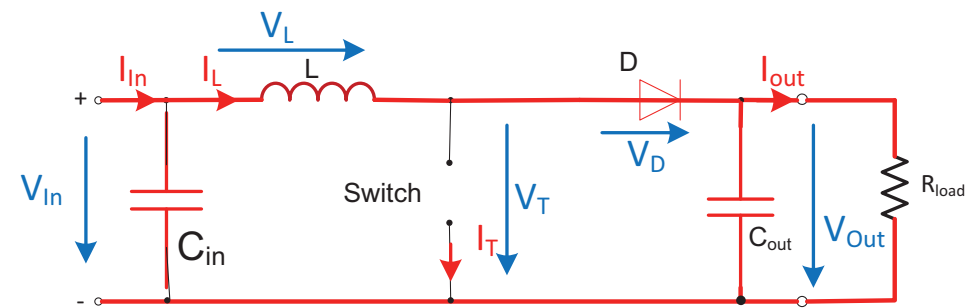
BOOST CONVERTER : Topologie



Switch Zu



Switch Offen

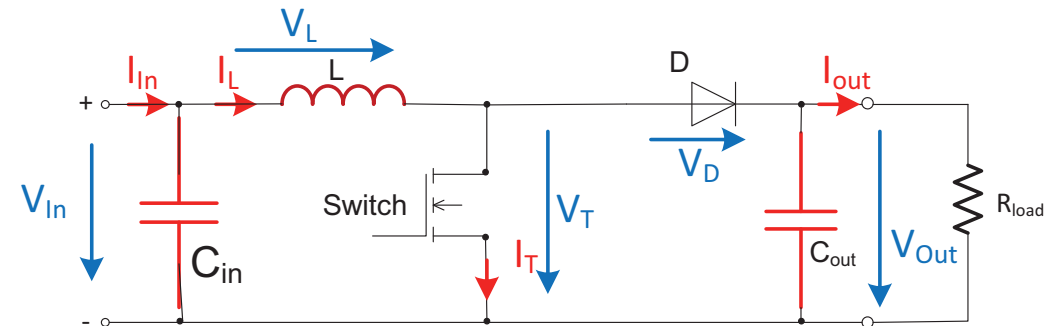


BOOST CONVERTER : Induktivität Berechnung

$$L = \frac{V_{in} * D}{f_{switch} * r * I_L}$$

$$I_{in} \approx I_L \approx \frac{V_{out} * I_{out}}{V_{in}}$$

$$\triangle I_L > I_{out}$$

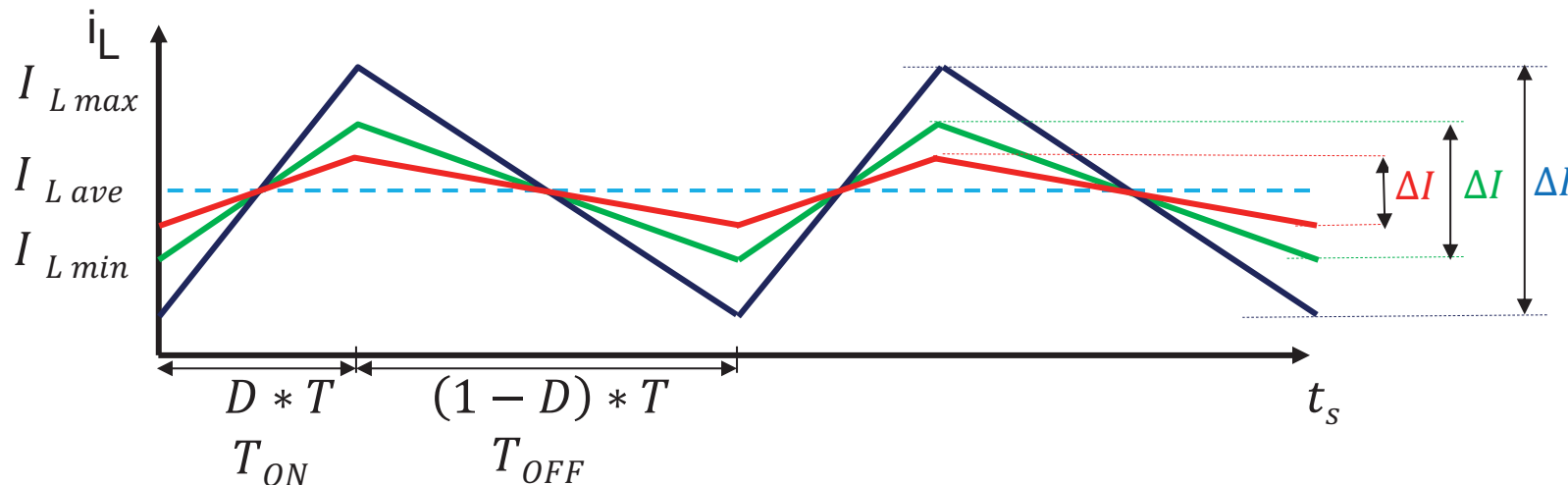
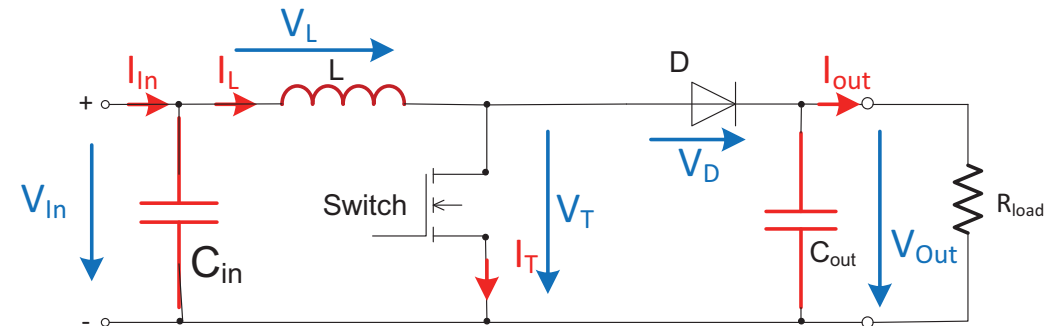


$$L = \frac{V_{in}^2 * D}{f_{switch} * r * V_{out} * I_{out}}$$

$$L = \frac{V_{out} * D * (1 - D)^2}{f_{switch} * r * I_{out}}$$

BOOST CONVERTER : Induktivität Berechnung

$$L = \frac{V_{out} * D * (1 - D)^2}{f_{switch} * r * I_{out}}$$


 $L \uparrow \Rightarrow r \downarrow$
 $L \downarrow \Rightarrow r \uparrow$

BUCK & BOOST CONVERTER : Zusammenfassung

BUCK

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

BOOST

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}}$$

I_{out} ... Ausgangsstrom

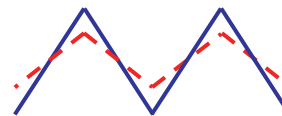
V_{out} ... Ausgangsspannung

V_{in} ... Eingangsspannung

f_{switch} ... IC Schaltfrequenz

$r \approx 0,2 \text{ to } 0,4$

$$L = \frac{(V_{in} - V_{out}) * D}{f_{switch} * r * I_{out}}$$



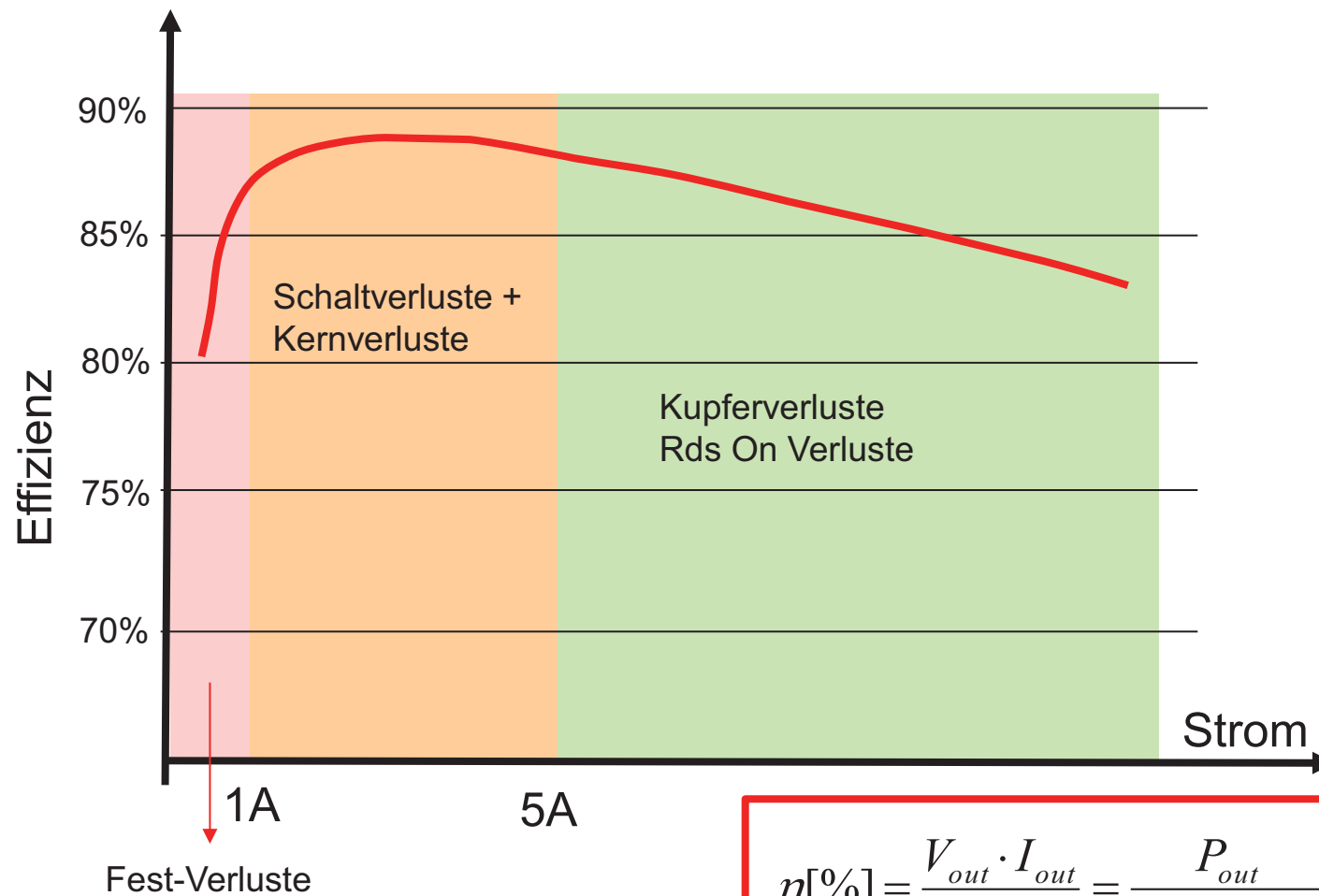
$$L = \frac{V_{out} * (1 - D)^2 D}{f_{switch} * r * I_{out}}$$

Nennstrom

$$I_{L_{RMS}} \approx I_{out_application}$$

$$I_{L_{RMS}} = \frac{V_{out}}{V_{in}} * I_{out_application}$$

SMPS : Effizienz



$$\eta[\%] = \frac{V_{out} \cdot I_{out}}{V_{in} \cdot I_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{heat}} \cdot 100$$

INDUKTIVITÄT PARAMETER & SELEKTION

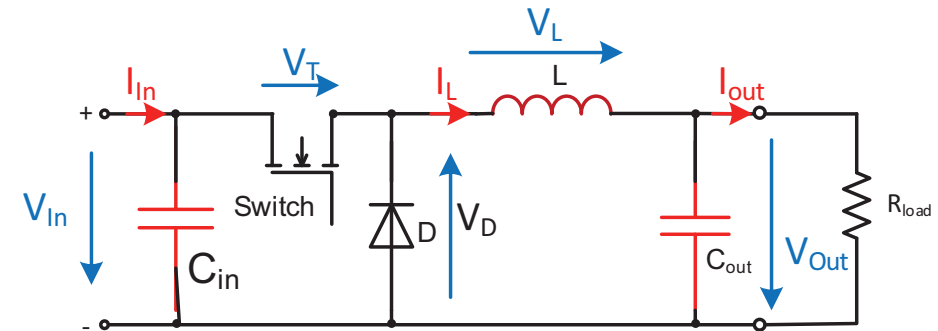
INDUKTIVITÄT AUSWAHL : Buck Regler

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$D = 0,208$$

$$D_3 = \frac{V_{out} + V_d}{V_{in} - V_{sw} + V_d}$$

$$D_3 = 0,22$$



$$L = \frac{(V_{in} - V_{out}) * D}{f_{switch} * r * I_{out}}$$

$$I_{peak} = I_{out} + \frac{\Delta I}{2}$$

$$I_{nom} = I_{out}$$

- $V_{in} = 24V$
- $V_{out} = 5V$
- $I_{out} = 2A$
- $F_{sw} = 535 kHz$
- $V_{sw} = 0,3V$
- $V_D = 0,3V$

$$r = 20\%$$

$$I_{peak} = 2,2A$$

$$L = 18,5\mu H - 19,4\mu H$$

$$r = 40\%$$

$$I_{peak} = 2,4A$$

$$L = 9,3\mu H - 9,7\mu H$$

Standard Werte : 8,2μH; 10μH, 12μH, 15μH, 18μH, 22μH

INDUKTIVITÄT AUSWAHL : Induktivitätswert

- Gemessen wird mit ein LCR Meter unter folgende Testbedingungen:

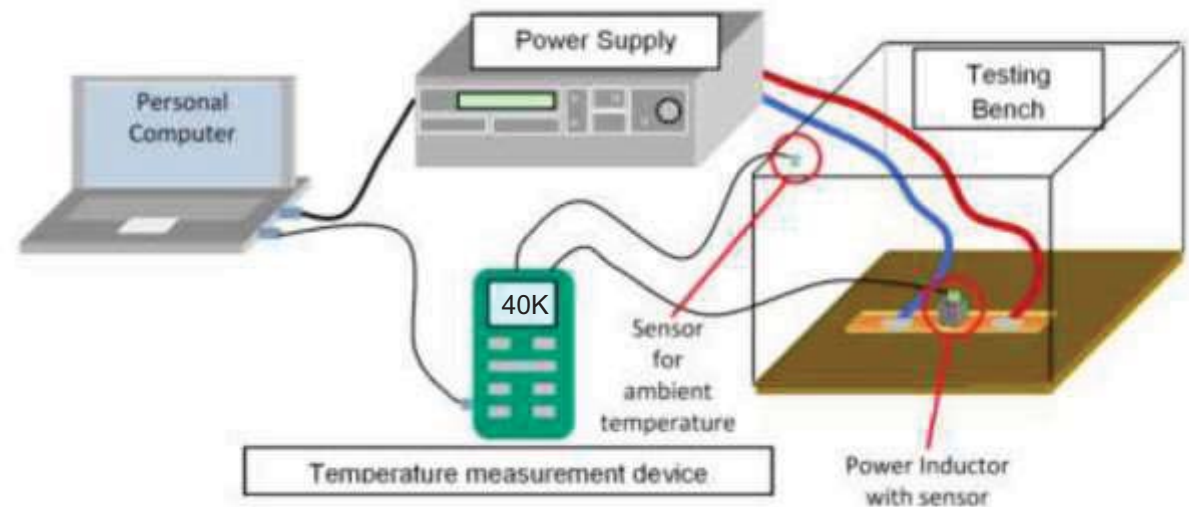


Electrical Properties:

Properties	Test conditions		Value	Unit	Tol.
Inductance	1 kHz/ 250 mV	L	10	μH	±20%
Rated current	$\Delta T = 40 \text{ K}$	I_R	7.1	A	max.
Saturation current	$ \Delta L/L < 10\%$	I_{sat}	10.5	A	typ.
DC Resistance	@ 20°C	R_{DC}	0.013	Ω	typ.
DC Resistance	@ 20°C	R_{DC}	0.021	Ω	max.
Self resonant frequency		f_{res}	21	MHz	typ.

INDUKTIVITÄT AUSWAHL : Nennstrom

Nennstrom : I_R



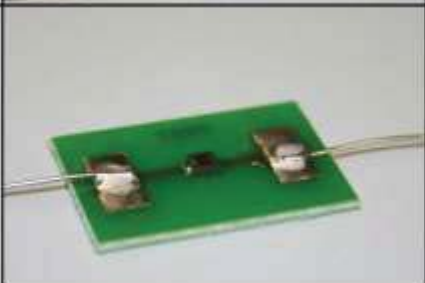
Electrical Properties:

Properties	Test conditions		Value	Unit	Tol.
Inductance	1 kHz/ 250 mV	L	10	μH	±20%
Rated current	$\Delta T = 40\text{ K}$	I_R	7.1	A	max.
Saturation current	$ \Delta L/L < 10\%$	I_{sat}	10.5	A	typ.
DC Resistance	@ 20°C	R_{DC}	0.013	Ω	typ.
DC Resistance	@ 20°C	R_{DC}	0.021	Ω	max.
Self resonant frequency		f_{res}	21	MHz	typ.

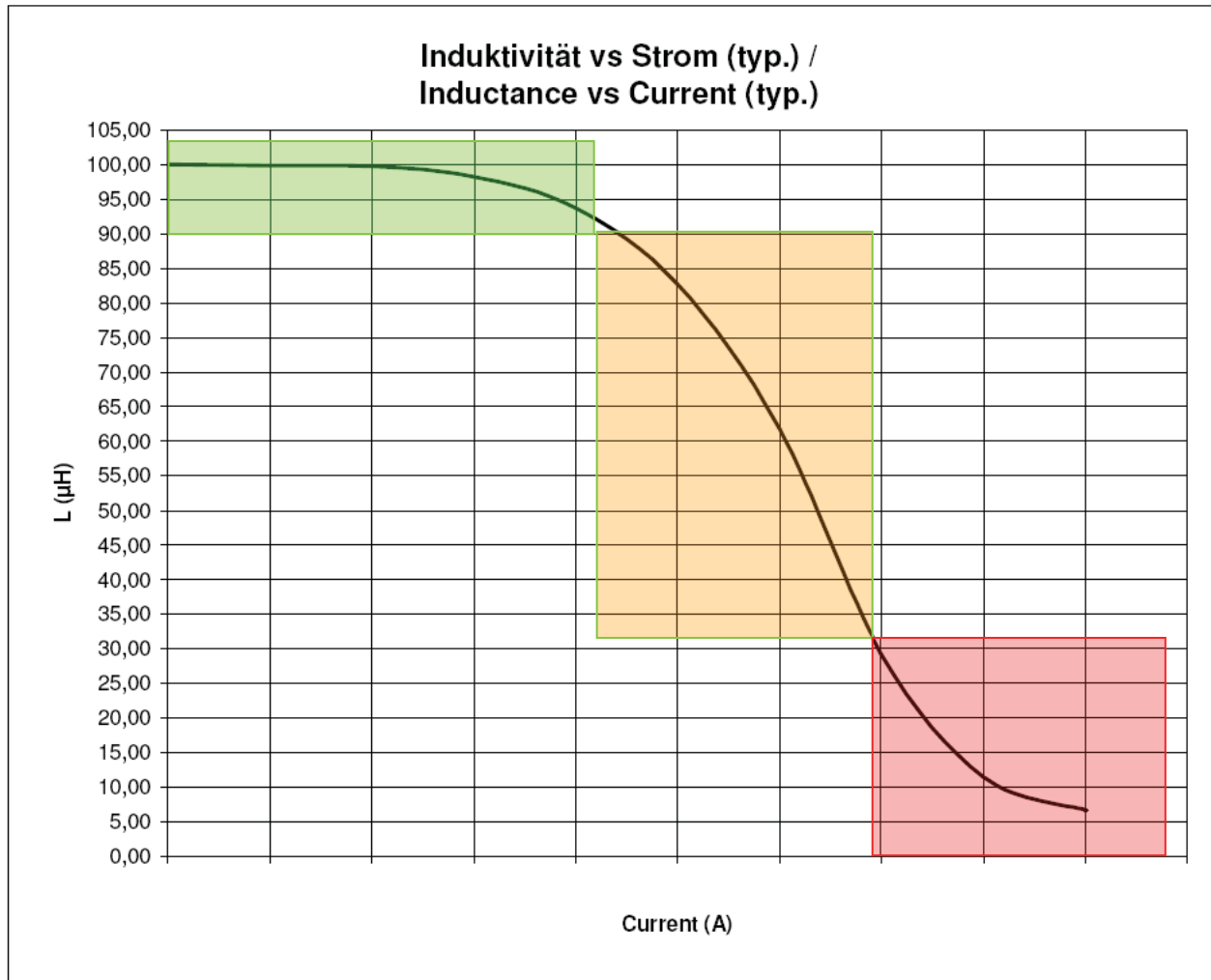
INDUKTIVITÄT AUSWAHL : Nennstrom

Aufbau Einfluss

Nennstrom ist R_{DC} abhängig

Contacting The Inductor		$\Delta T @ 9 A$
- WE-LHMI 7030 - 74437346220 - inductor on wires - huge clamps		30,9 K
- WE-LHMI 7030 - 74437346220 - inductor on wires - small clamps		35,8 K
- WE-LHMI 7030 - 74437346220 - inductor on PCB - recommended pad design		40,0 K

INDUKTIVITÄT AUSWAHL : L VS. Strom

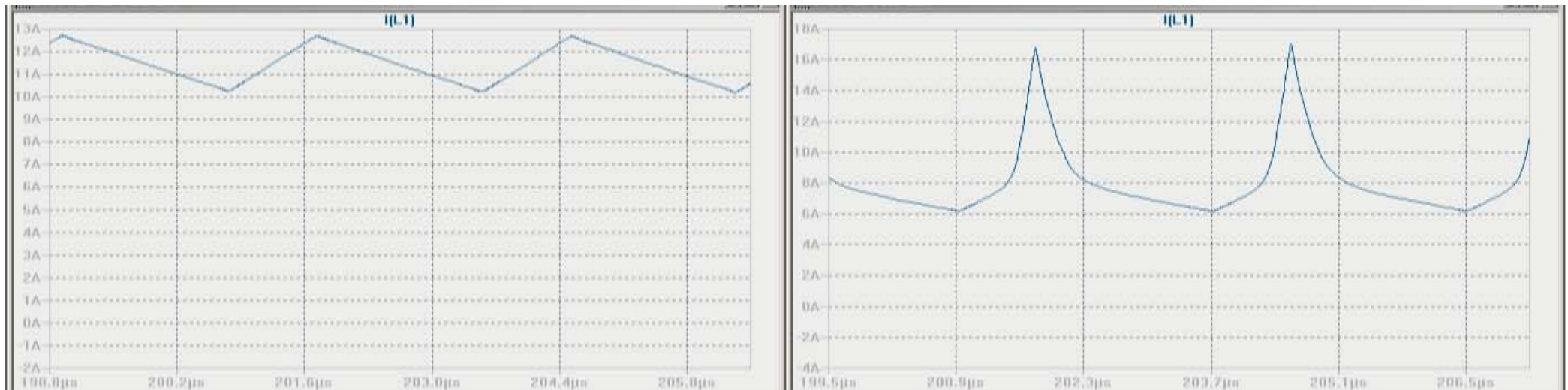


Sichere Einsatzgebiet

Kritische Einsatzgebiet

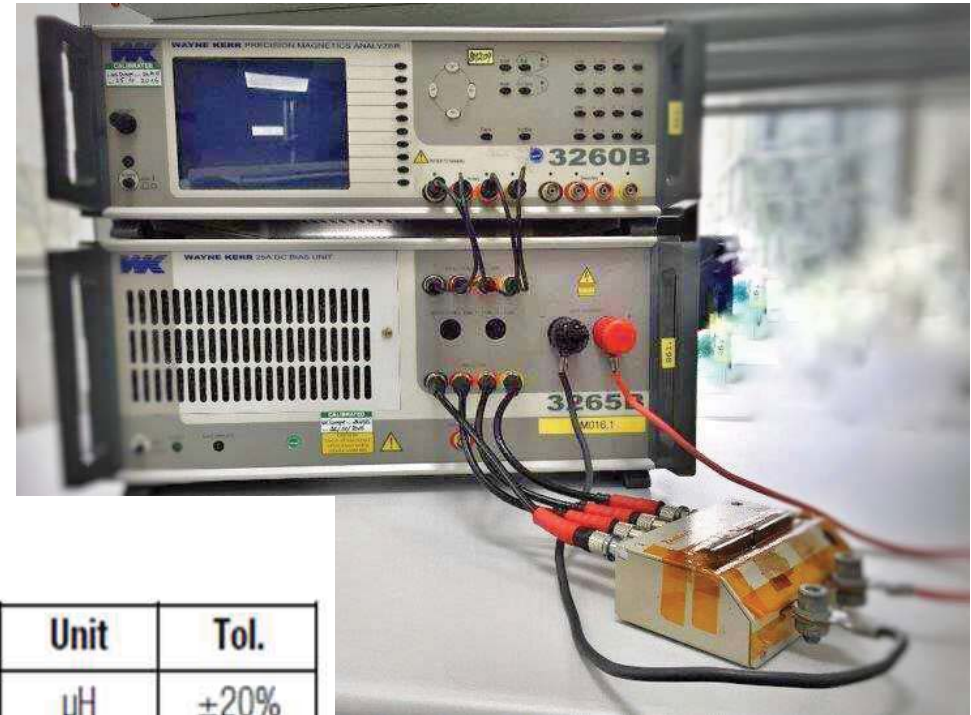
Total Gesättigte Bereich

INDUKTIVITÄT AUSWAHL: Induktivität gesättigt



INDUKTIVITÄT AUSWAHL: Sättigungsstrom

- Strom die dazu führt, dass die Induktivität um 10% abfällt vom ursprünglichen Wert, ist diese nach der Definition: Gesättigt

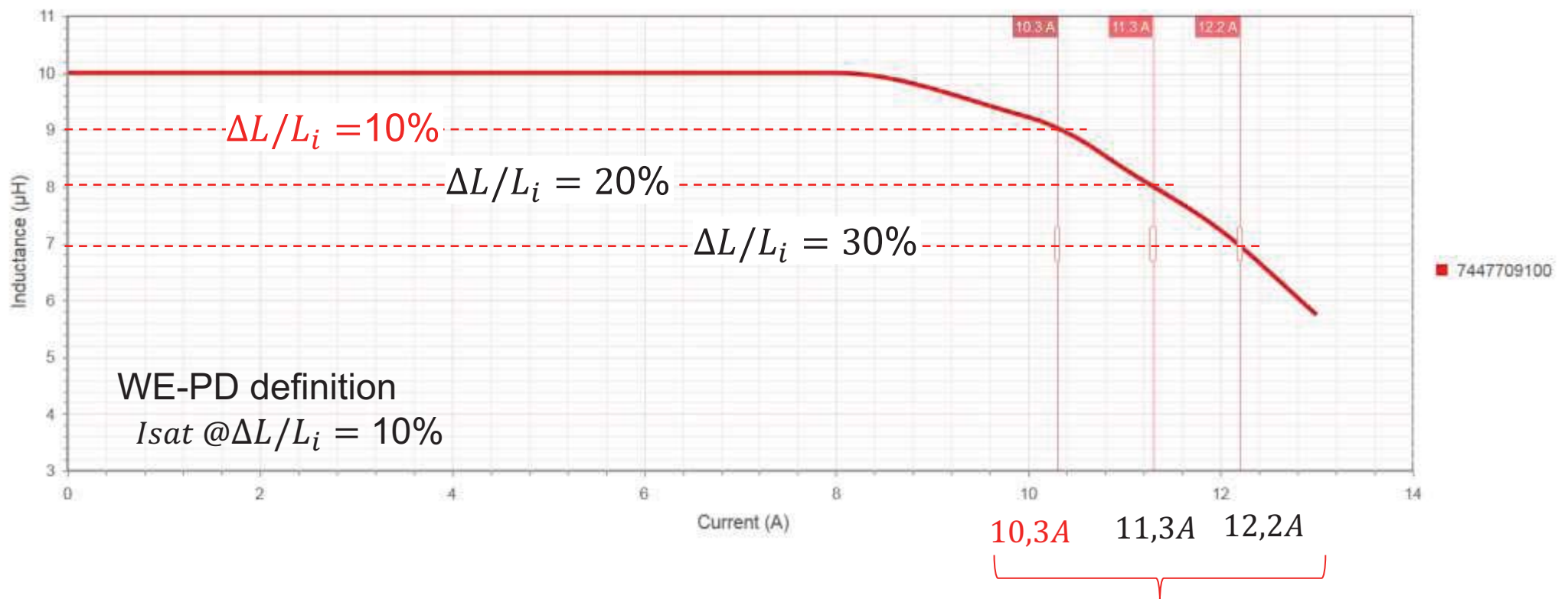


Electrical Properties:

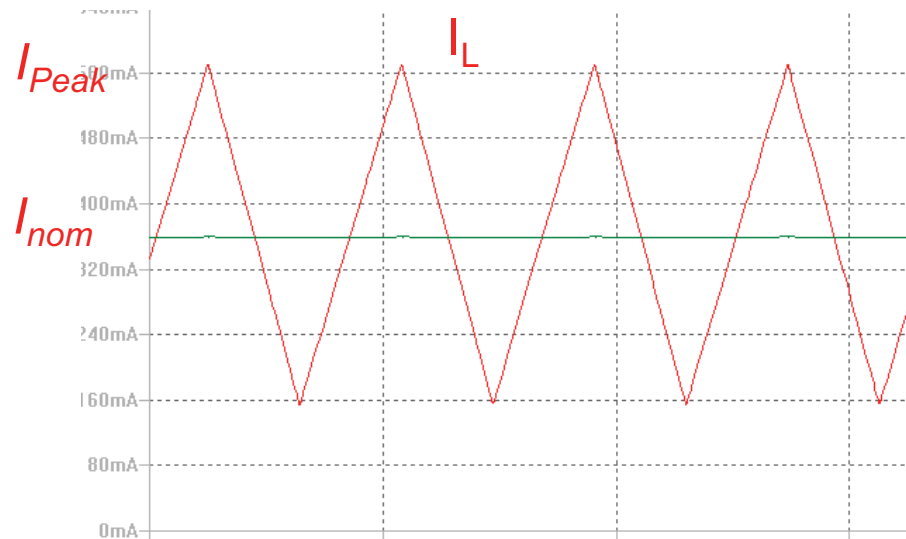
Properties	Test conditions		Value	Unit	Tol.
Inductance	1 kHz/ 250 mV	L	10	μH	±20%
Rated current	$\Delta T = 40\text{ K}$	I_R	7.1	A	max.
Saturation current	$\Delta L/L < 10\%$	I_{sat}	10.5	A	typ.
DC Resistance	@ 20°C	R_{DC}	0.013	Ω	typ.
DC Resistance	@ 20°C	R_{DC}	0.021	Ω	max.
Self resonant frequency		f_{res}	21	MHz	typ.

INDUKTIVITÄT AUSWAHL: Sättigungsstrom

Inductance / Current



INDUKTIVITÄT AUSWAHL: Strom



Electrical Properties:

Properties	Test conditions	
Inductance	1 kHz/ 250 mV	L
Rated current	$\Delta T = 40\text{ K}$	I_R
Saturation current	$ \Delta L/L < 10\%$	I_{sat}
DC Resistance	@ 20°C	R_{DC}
DC Resistance	@ 20°C	R_{DC}
Self resonant frequency		f_{res}

$$I_R \text{ Inductor} > I_{nom}$$

$$I_{sat} \text{ Inductor} > I_{peak}$$

Buck

$$I_{L_{RMS}} \approx I_{outapplication}$$

Boost

$$I_{L_{RMS}} = \frac{V_{out}}{V_{in}} * I_{outapplication}$$



INDUKTIVITÄT AUSWAHL: Volt μ seconds

Et (in $V\mu$ sec) für eine Induktivität kann mit folgende Formel berechnet werden:

$$V\mu \text{ sec}(Inductor) = L_{\text{REST}} \cdot I_{\text{Max}}$$

$$V\mu \text{ sec}(L) = 5\mu H * 10A$$

$$V\mu \text{ sec}(L) = 50 V\mu \text{ sec}$$



I_{max} ist definiert wenn die flache Zone erreicht wird
 L_{REST} , Rest Induktivität für I_{max}

INDUKTIVITÄT AUSWAHL: Volt μ seconds



$$V_{\mu\text{sec}}(L) = L_{\text{REST}} \cdot I_{\text{Max}}$$

$$V_{\mu\text{sec}}(L) = k * L_{\text{REST}} \cdot I_{\text{Max}}$$

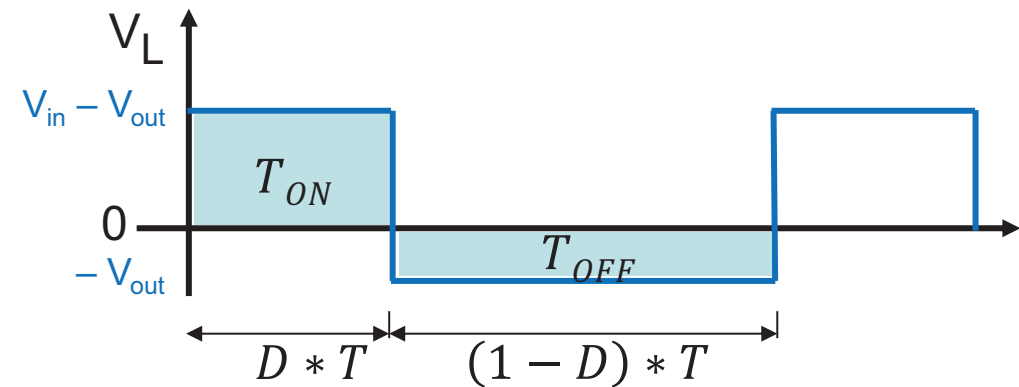
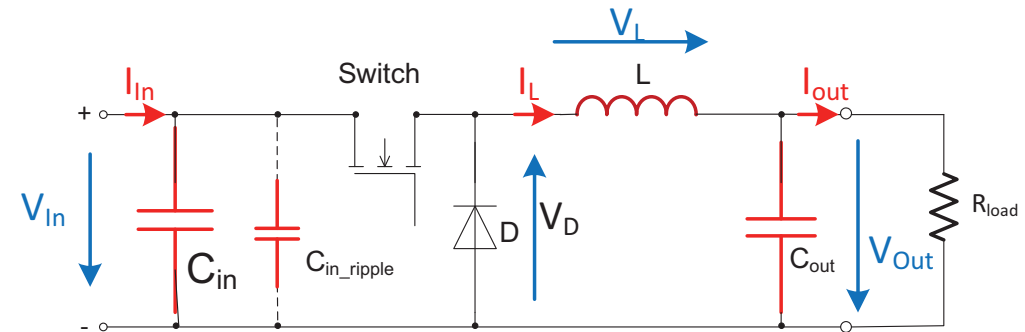
K : Sicherheitsfaktor

$$K = 1$$

für Eisen Pulver, Superflux basierende Ind.

$$K = 0,7$$

für Ferrite basierende Ind.



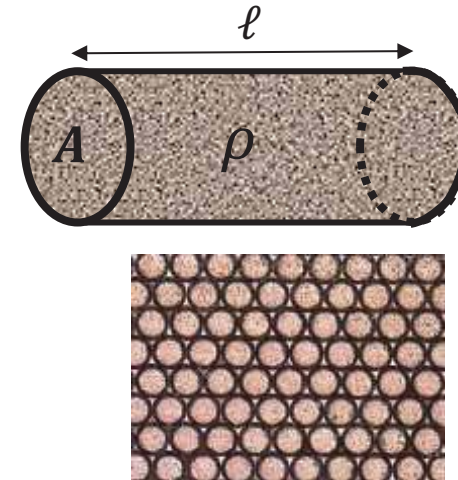
$$V_{\mu\text{sec}}(\text{application}) = V_L * T_{\text{ON}}$$

$$V_{\mu\text{sec}}(\text{Inductor}) > V_{\mu\text{sec}}(\text{application})$$

INDUKTIVITÄT AUSWAHL: RDC

- RDC oder DCR
- Abhängig von folgende Parametern:
 - Draht Material (ρ)
 - Draht Länge (l)
 - Draht Durchmesser (A)

$$R_{DC} = \rho * \frac{l}{A}$$



Electrical Properties:

Properties	Test conditions		Value	Unit	Tol.
Inductance	1 kHz/ 250 mV	L	10	μH	±20%
Rated current	ΔT = 40 K	I _R	7.1	A	max.
Saturation current	ΔL/L < 10%	I _{sat}	10.5	A	typ.
DC Resistance	@ 20°C	R _{DC}	0.013	Ω	typ.
DC Resistance	@ 20°C	R _{DC}	0.021	Ω	max.
Self resonant frequency		f _{res}	21	MHz	typ.

INDUKTIVITÄT AUSWAHL : SRF

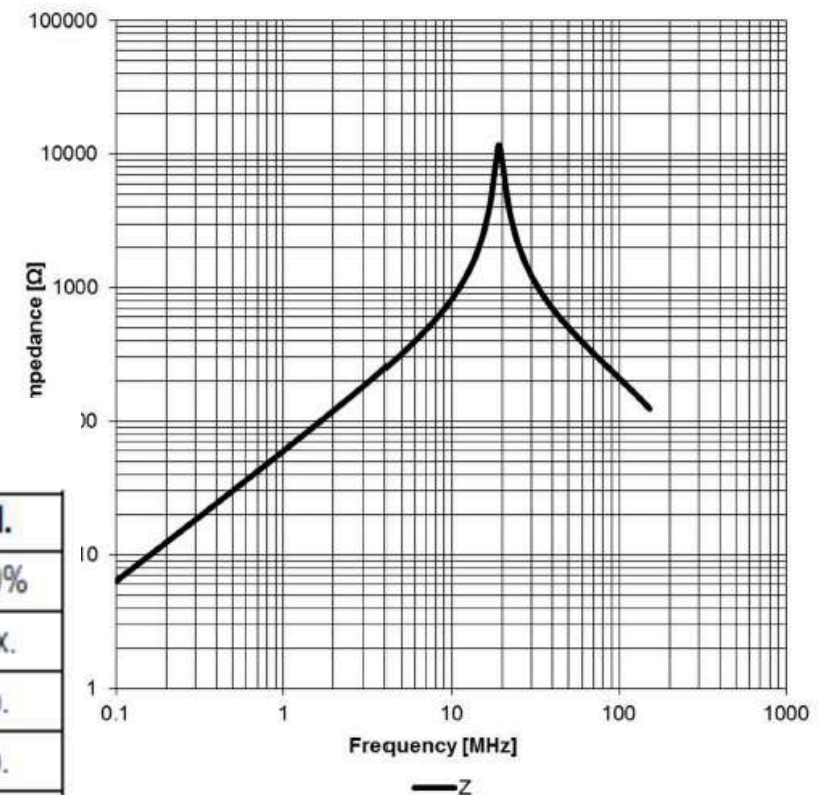
Selbst Resonanz Frequenz : SRF

SRF $\gg$ Schaltfrequenz

Electrical Properties:

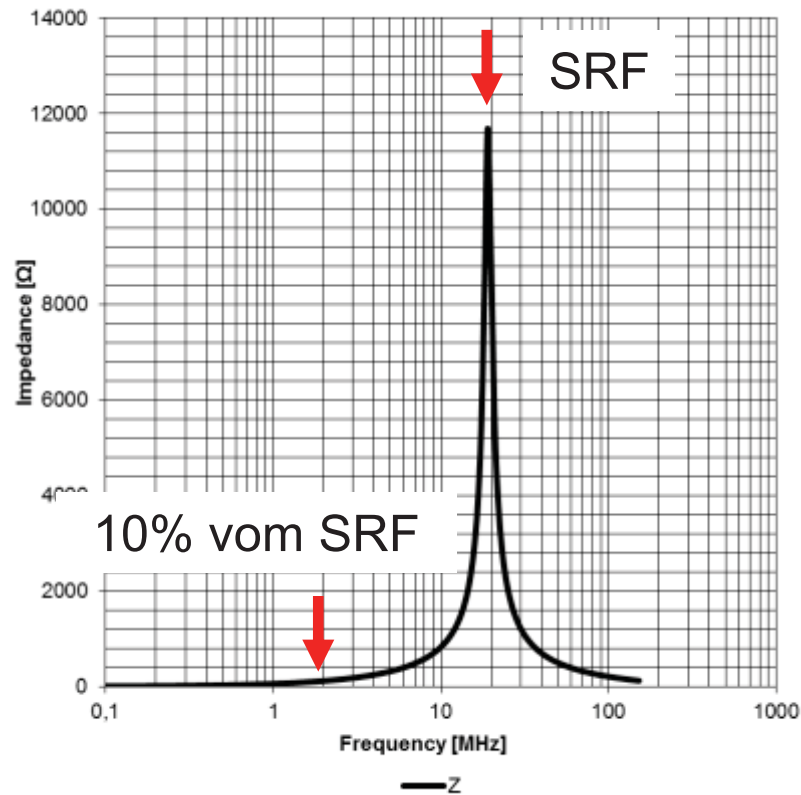
Properties	Test conditions		Value	Unit	Tol.
Inductance	1 kHz/ 250 mV	L	10	μ H	$\pm 20\%$
Rated current	$\Delta T = 40$ K	I_R	7.1	A	max.
Saturation current	$ \Delta L/L < 10\%$	I_{sat}	10.5	A	typ.
DC Resistance	@ 20°C	R_{DC}	0.013	Ω	typ.
DC Resistance	@ 20°C	R_{DC}	0.021	Ω	max.
Self resonant frequency		f_{res}	21	MHz	typ.

F2 Typical Impedance Characteristics:

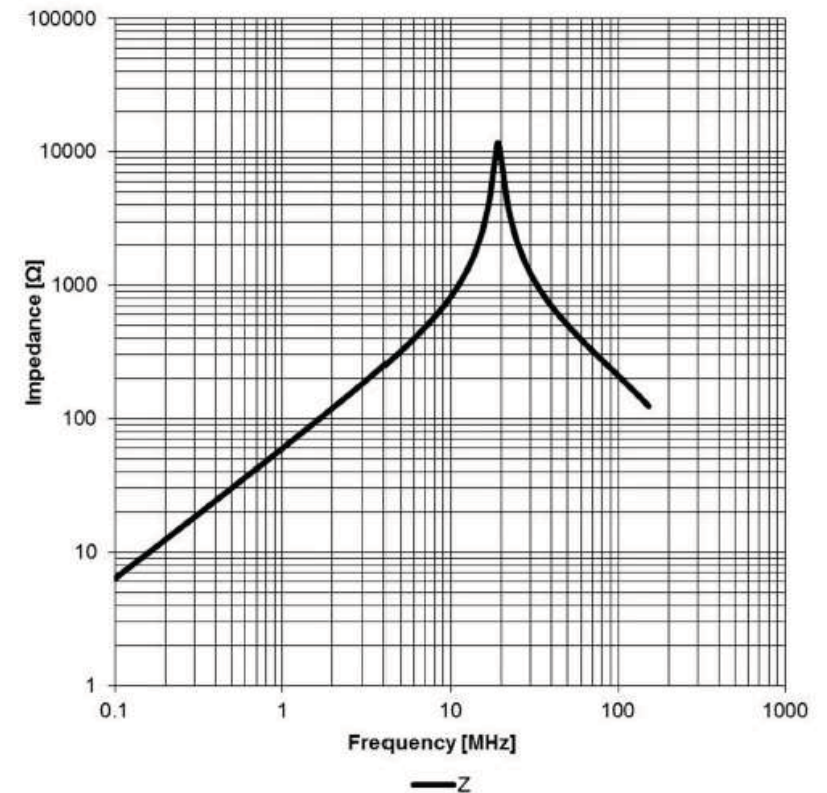


INDUKTIVITÄT AUSWAHL : SRF

Z: Linear Skalierung

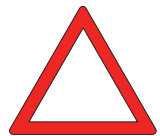


Z: Logarithmische Skalierung



Schaltfrequenz der DC/DC Konverter unter 10% von SRF.

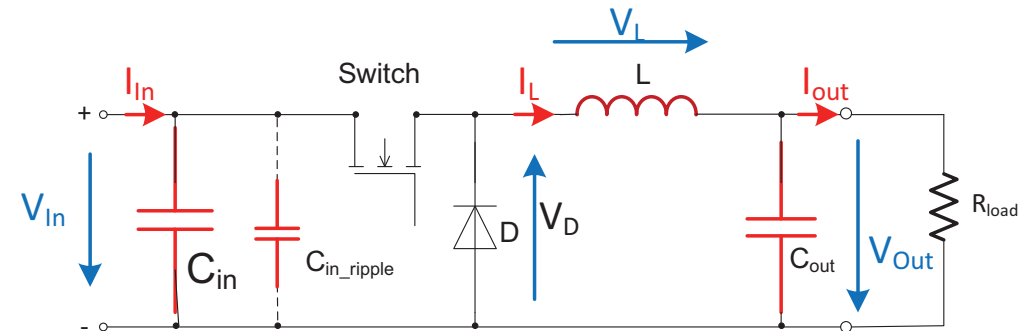
INDUKTIVITÄT AUSWAHL: Hoch Spannung Version



$V_L \text{ max} = 80 \text{ V}_{pk} \text{ max}$
für Standard Version

Kann nicht für OFF line buck Konverter
verwendet werden

Kurzschluss Gefahr!



$V_L = 300\text{V}$



400 V_{pk} max für HV Version

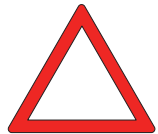
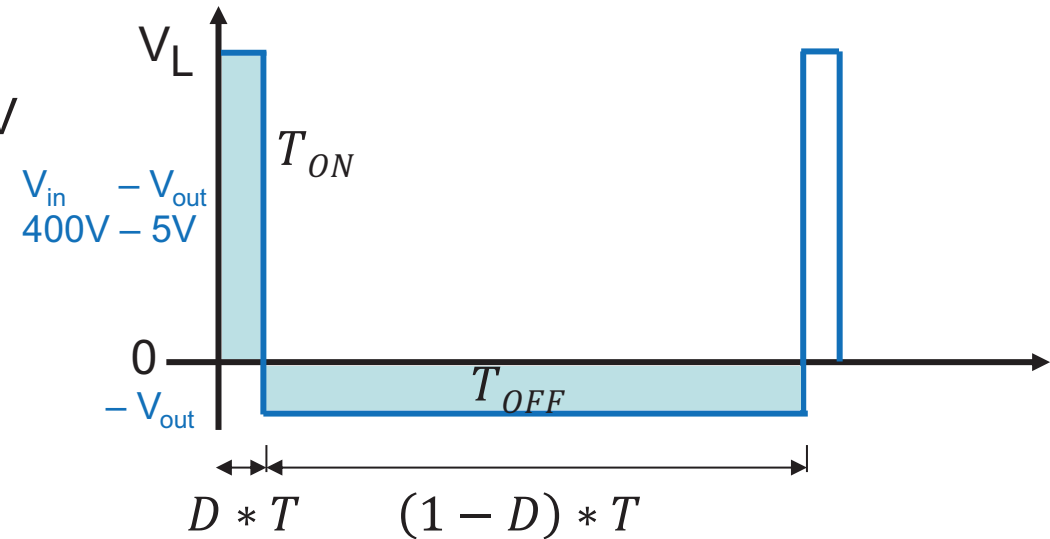
- Besser Isoliertes Draht
- Windungstest Prozess
- Entsprechend WE-STD 1516



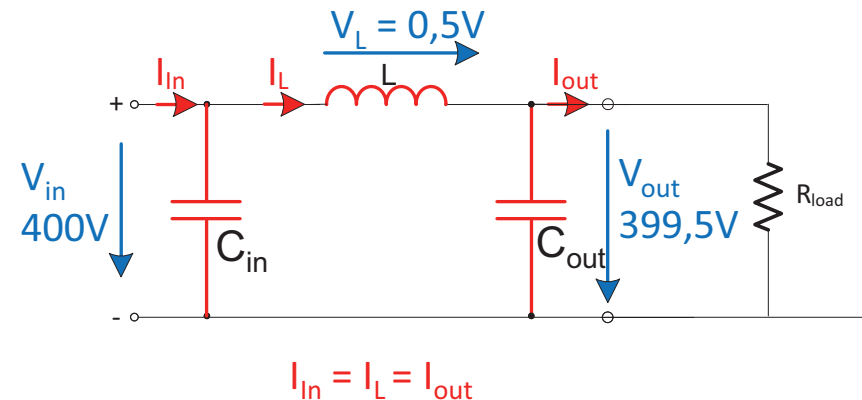
INDUKTIVITÄT AUSWAHL: Hoch Spannung Version



- HV ist nötig wenn 300V~400V über die Induktivität abfällt



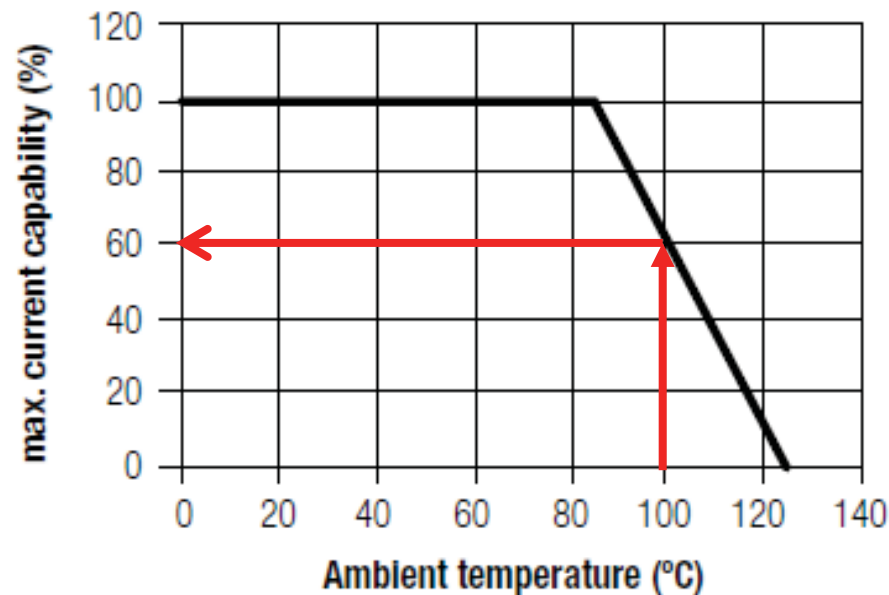
- HV ist nicht nötig wenn die Induktivität als Eingangsfilter eingesetzt wird
- 300V ~ 400V wird über die Kapazitäten abfallen und nicht über die Induktivität
- Standard Induktivität darf benützt werden



INDUKTIVITÄT AUSWAHL : Derating Strom

- Umgebungstemperatur : -40°C bis 85°C Bezug nehmend zu I_R
- Arbeitstemperatur: -40°C bis 125°C

$$\begin{array}{c}
 \text{Umgebungstemperatur} \\
 + \\
 \text{Eigenerwärmung (Induktivität)} \\
 \hline
 = \text{Arbeitstemperatur}
 \end{array}$$



➔ Sollte die Umgebungstemperatur höher als 85°C sein, muss der Nennstrom herabgesetzt werden

INDUKTIVITÄT AUSWAHL: Eigenerwärmung

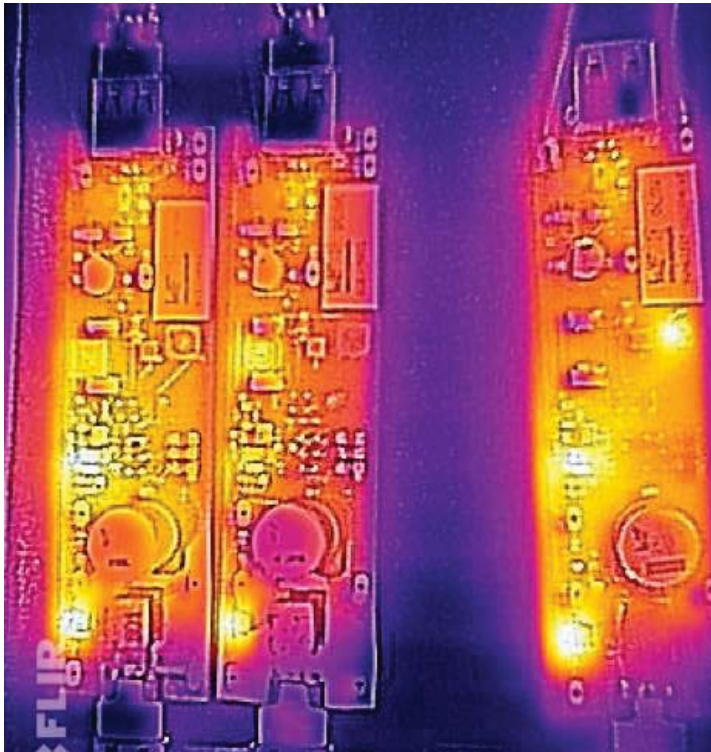
Umgebungstemperatur
+
Eigenerwärmung (Induktivität)
= Arbeitstemperatur



$$P_{total} = P_{AC} + P_{DC}$$

Verluste vermeiden beim Induktivität hilft:

- Höhere Effizienz
- Weniger Aufwand für System-Kühlung



VERLUSTE

Induktivität Verluste

$$P_{total} = P_{core} + P_{copper}$$

AC Kernverluste

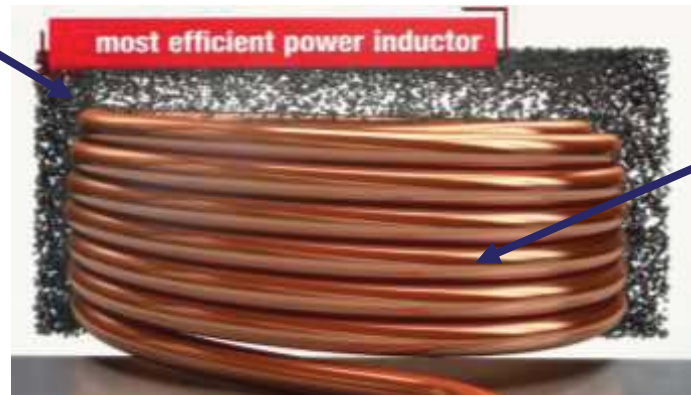
Hysteresis Verluste
Eddy current Verluste

DC Verluste – Abhängig vom RDC

AC-Verluste – Abhängig vom Windungsaufbau

→ Skin-Effekt

→ Proximity-Effekt

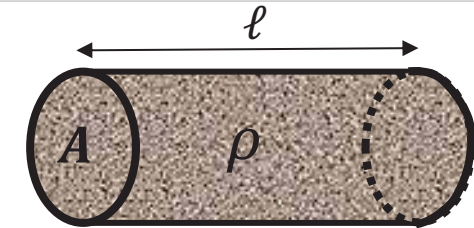


INDUKTIVITÄT VERLUSTE : Kupfer DC Verluste



$$P_{cu} = R_{DC} * I_{RMS}^2$$

$$R_{DC} = \rho * \frac{l}{A}$$

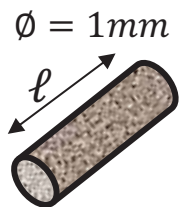


$$\rho = 1,78 * 10^{-2} \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$$

$$R_{DC} \downarrow \Rightarrow P_{cu} \downarrow$$

- ρ : Kupfer Spezifischer Widerstand
- l : Drahtlänge
- A : Fläche

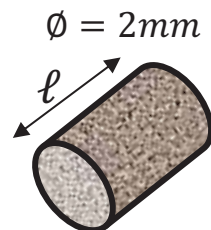
Optimierung:



$$A = 0,78 \text{ mm}^2$$

$$R_{DC} = 23 \text{ m}\Omega$$

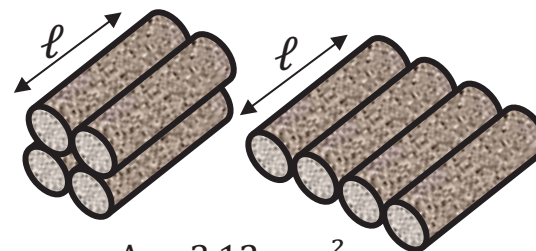
$$l=1\text{m}$$



$$A = 3,714 \text{ mm}^2$$

$$R_{DC} = 4,8 \text{ m}\Omega$$

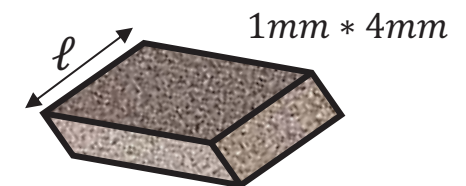
$\Rightarrow 4 * 1 \text{ mm } \phi$



$$A = 3,12 \text{ mm}^2$$

$$R_{DC} = 5,75 \text{ m}\Omega$$

Flach Draht



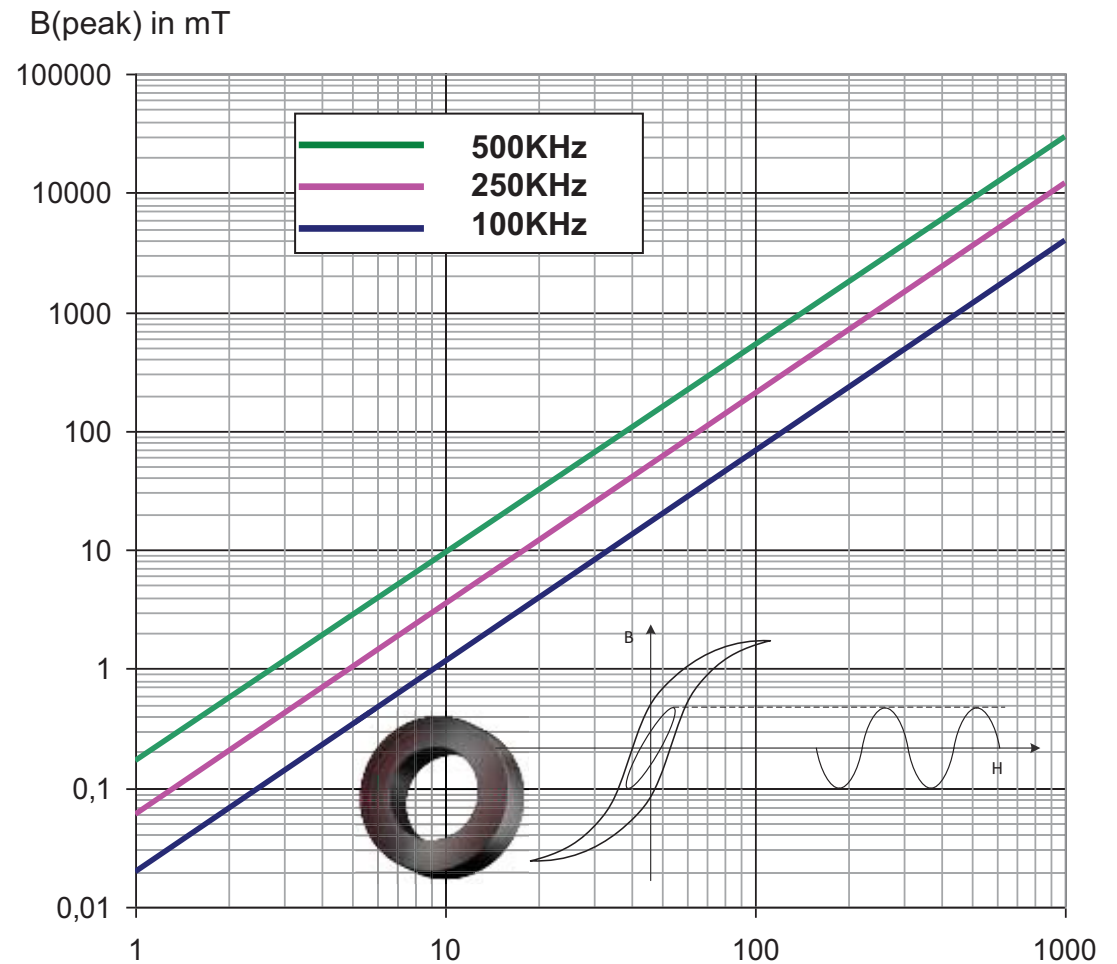
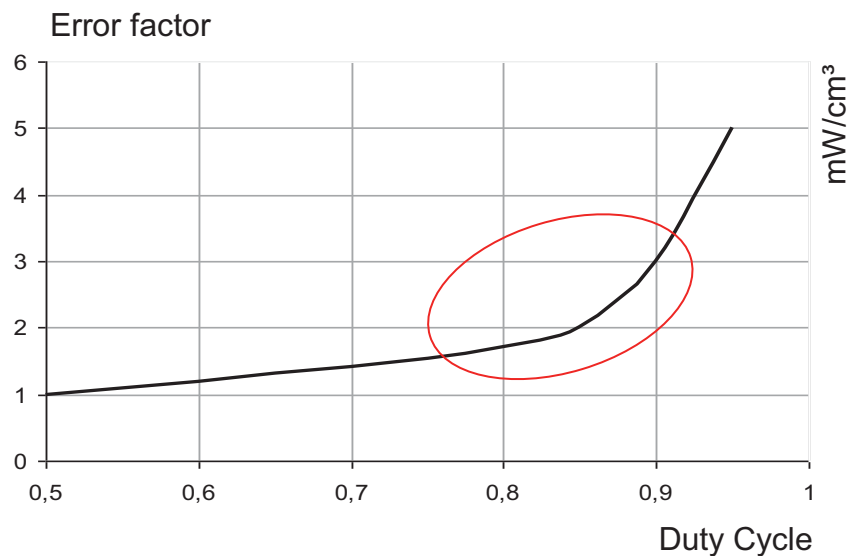
$$A = 4 \text{ mm}^2$$

$$R_{DC} = 4,48 \text{ m}\Omega$$

INDUKTIVITÄT VERLUSTE : Kernverluste

- Steinmetz Formel

$$P_{core} = K \cdot f^a \cdot B^b$$



INDUKTIVITÄT VERLUSTE : Kernverluste

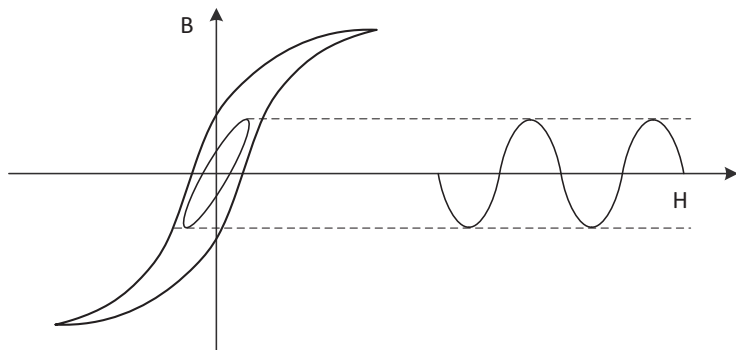
Steinmetz Model

$$P_V = K \cdot f^\alpha \cdot \Delta B^\beta$$

$$P_V = K \cdot f^{\alpha-1} \cdot \Delta B^\beta \times f^r$$

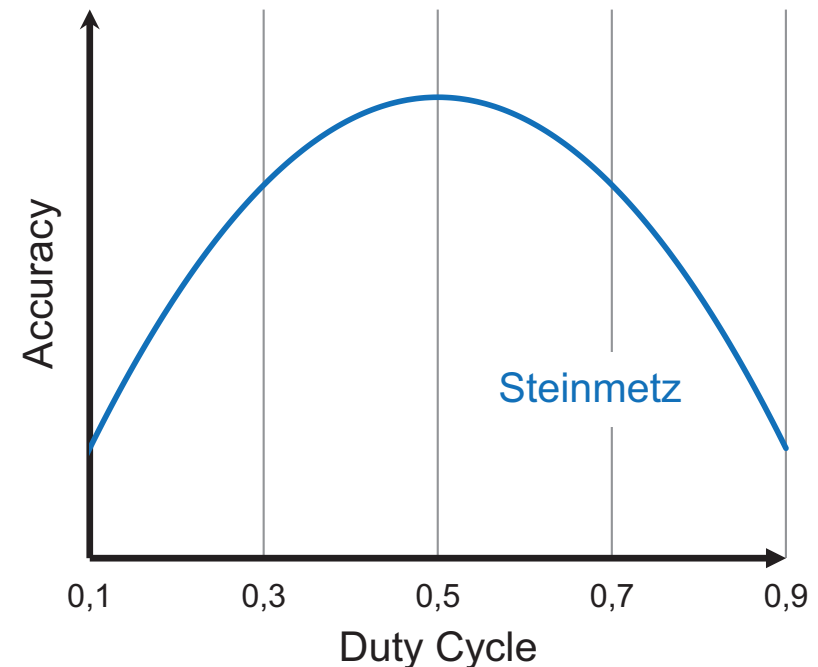
$$P_V = K \cdot f_{eq}^\alpha \cdot \Delta B^\beta$$

➡ **Reine Kernverluste**



➡ **Annäherung nur mit Sinus
Schwingung**

Steinmetz Model



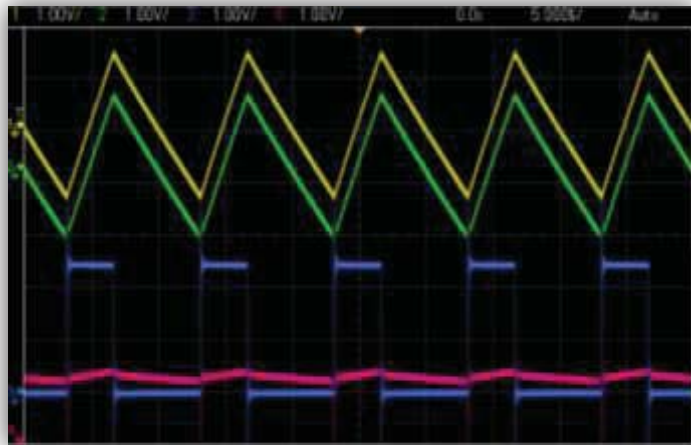
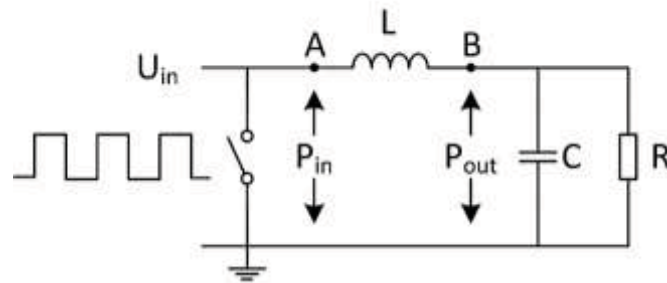
**Akzeptabel bei 50% DC,
Mangelhaft bei andere DC**

INDUKTIVITÄT VERLUSTE : Kernverluste bei

REDEXPERT

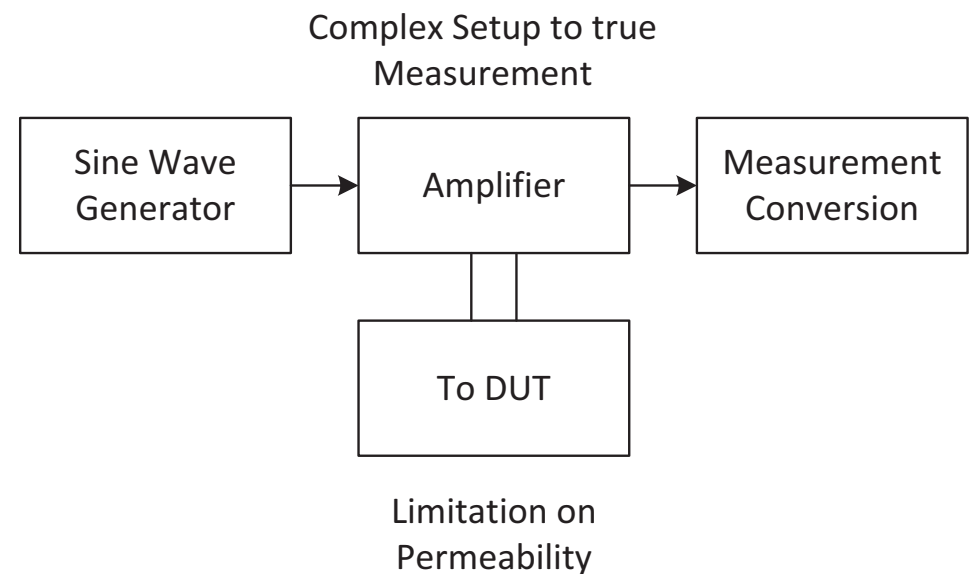


Würth AC Verluste Model



Einfache D-Klasse Verstärker

Steinmetz Models



Komplexe Messaufbau

INDUKTIVITÄT VERLUSTE : Kernverluste bei

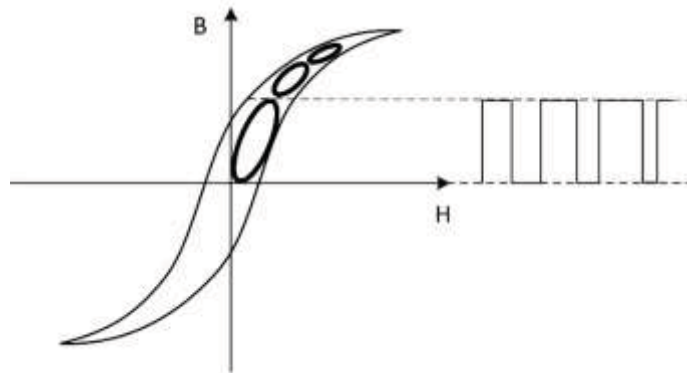
REDEXPERT



Würth AC Verluste Model

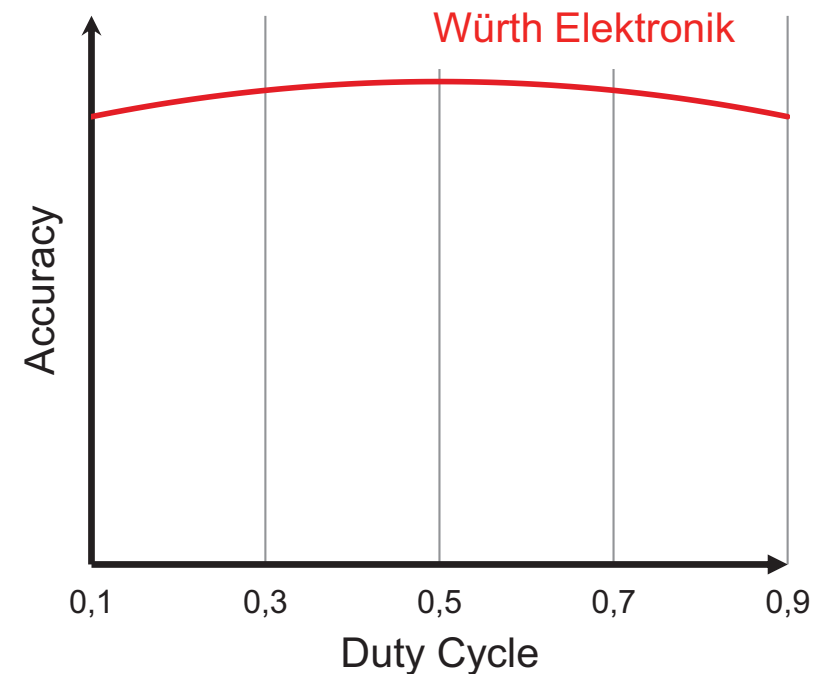
$$P_{AC} = f(\Delta I, \text{freq}, DC, k1, k2)$$

➔ Kernverluste & AC Draht Verluste



➔ **Arbeitspunkt mit
Rechtecksignal Strom**

Würth AC Verluste Model



**Weltweit höchste
Genauigkeit über eine breite
DC Bereich**

INDUKTIVITÄT VERLUSTE : Kernverluste bei

REDEXPERT

58

Würth AC Verluste Model



Berücksichtigung von:

- reale Kern Geometrie
- Verluste durch Luftspalt (fringing effects)
- Windungsaufbau

Steinmetz Models



Berücksichtigung von:

- Nur Ringkerne bezogen

INDUKTIVITÄT VERLUSTE : AC Verluste VS. DC Verluste



Filters: Type = Single ☒ $I_R \geq 300 \text{ mA}$ ☒ $I_{\text{sat}} \geq 360 \text{ mA}$ ☒ $10.0 \mu\text{H} \leq L \leq 18.0 \mu\text{H}$ ☒ Series = WE-MAPI, WE-LQS, WE-PD ☒

	Order Code	Series	Size	Spec	Type	L	R _{DC,typ}	I _R	I _{sat}	P _{AC}	P _{DC}	P _{TOT}	ΔT	Length
✓	74438324100	WE-MAPI	2512		Single	10.0 μH	680 mΩ	700 mA	1.40 A	16.4 mW	61.2 mW	77.6 mW	12.0 K	
✓	74438335100	WE-MAPI	3015		Single	10.0 μH	446 mΩ	850 mA	2.00 A	9.48 mW	40.1 mW	49.6 mW	8.53 K	
✗	74438335150	WE-MAPI	3015		Single	15.0 μH	720 mΩ	650 mA	1.71 A	6.32 mW	64.8 mW	71.1 mW	12.0 K	
✓	74438336100	WE-MAPI	3020		Single	10.0 μH	280 mΩ	1.20 A	2.35 A	8.13 mW	25.2 mW	33.3 mW	5.10 K	
✗	74438357100	WE-MAPI	4030		Single	10.0 μH	101 mΩ	2.70 A	4.60 A	6.63 mW	9.07 mW	15.7 mW	1.67 K	
✓	74477810	WE-PD	7332		Single	10.0 μH	68.0 mΩ	1.83 A	2.20 A	20.6 mW	6.12 mW	26.7 mW	6.81 K	
✗	744778112	WE-PD	7332		Single	12.0 μH	76.0 mΩ	1.73 A	2.15 A	17.2 mW	6.84 mW	24.0 mW	6.24 K	

74438335100 WE-MAPI · 3015 10.0 μH · 446 mΩ	74438336100 WE-MAPI · 3020 10.0 μH · 280 mΩ	74477810 WE-PD · 7332 10.0 μH · 68.0 mΩ
--	--	--

- $V_{in} = 12V$
- $V_{out} = 5V$
- $I_{out} = 300\text{mA}$
- $V_D = 0,3V$
- $F_{sw} = 2 \text{ MHz}$
- $r = 50\%$



AC Verluste können > DC Verluste

AC Verluste < DC Verluste

www.we-online.de/REDEXPERT

Wählen Sie die beste Induktivität für Ihre Applikation aus

Berechnen Sie die Gesamtverluste

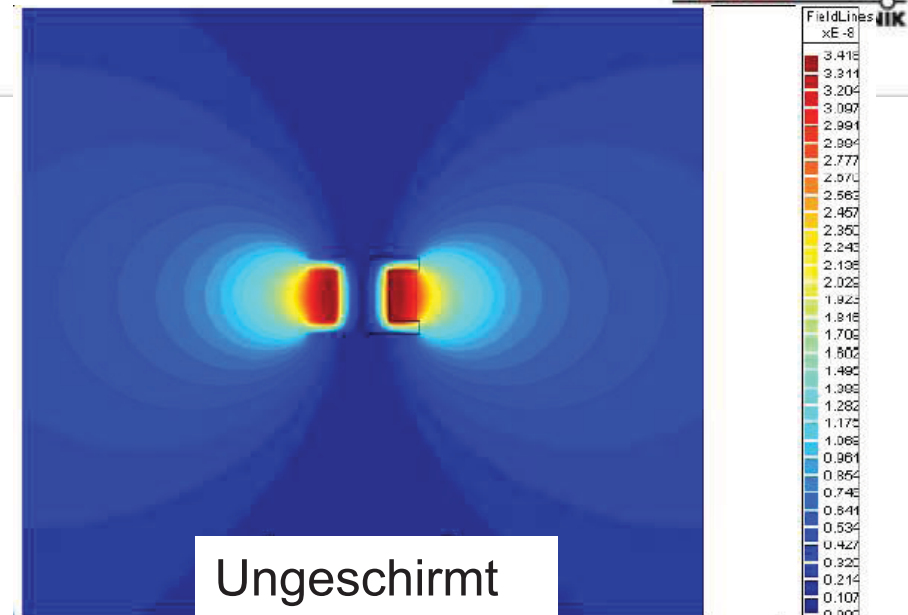
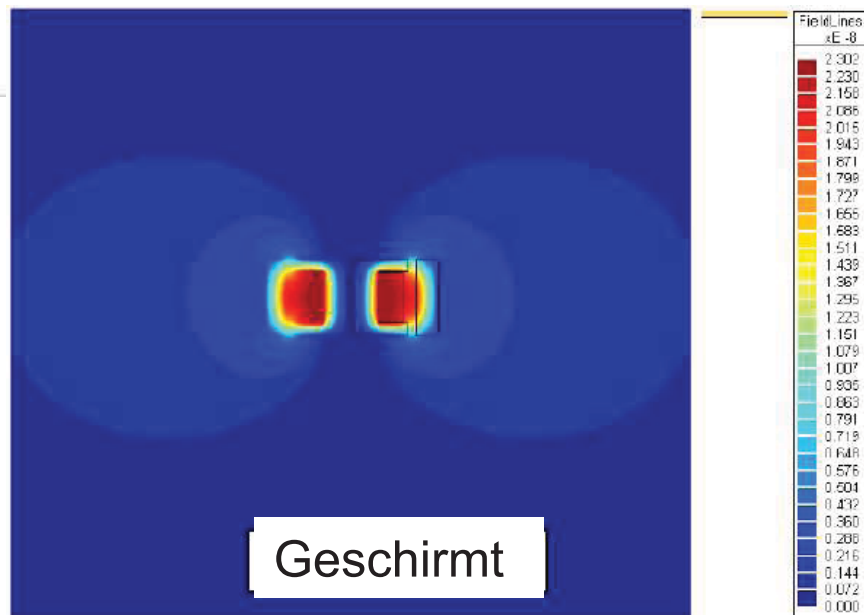
Bewerten Sie die erwartete Eigenerwärmung



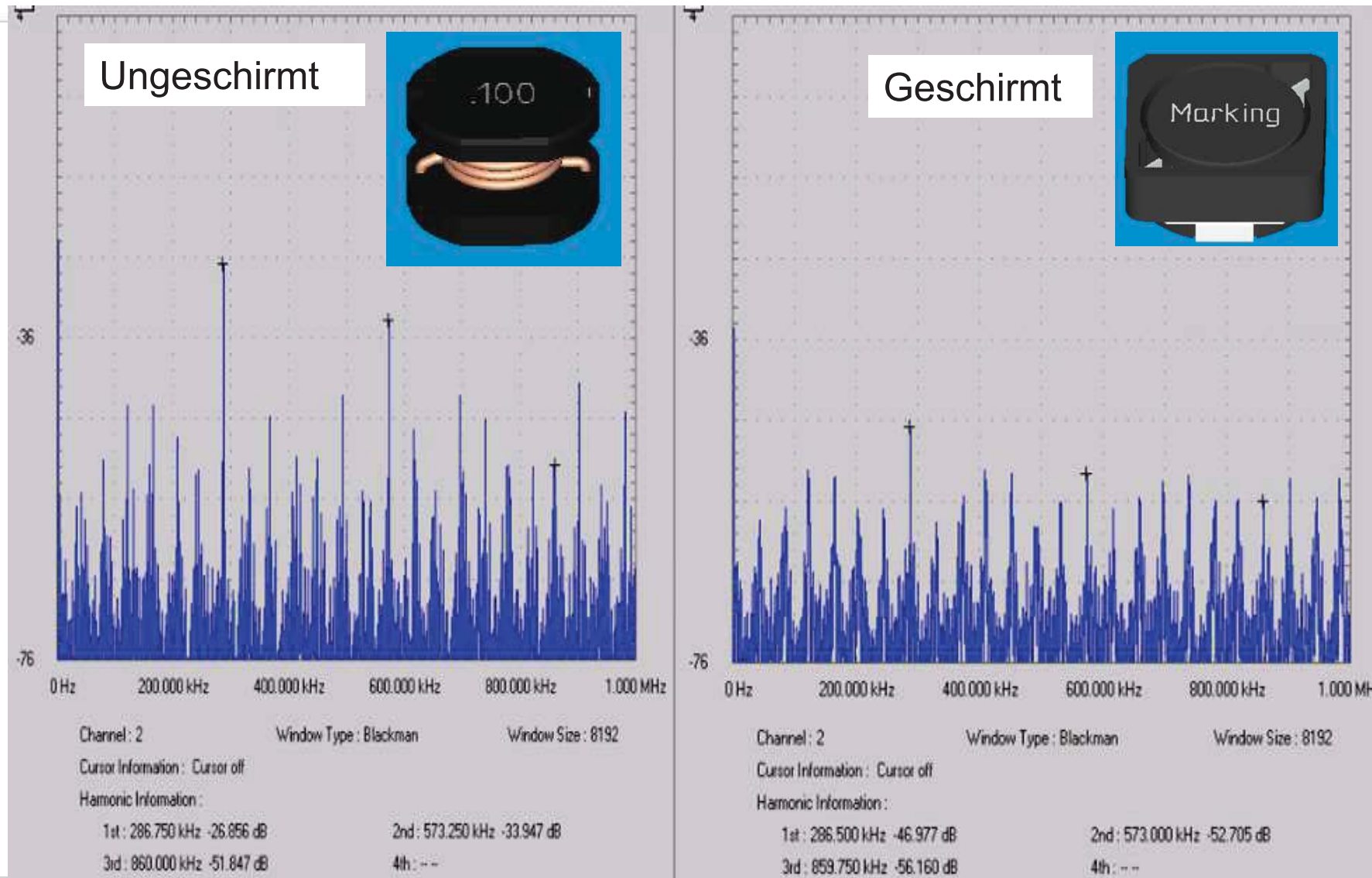


EMV

Streufeld Induktivität - geschirmt vs. ungeschirmt

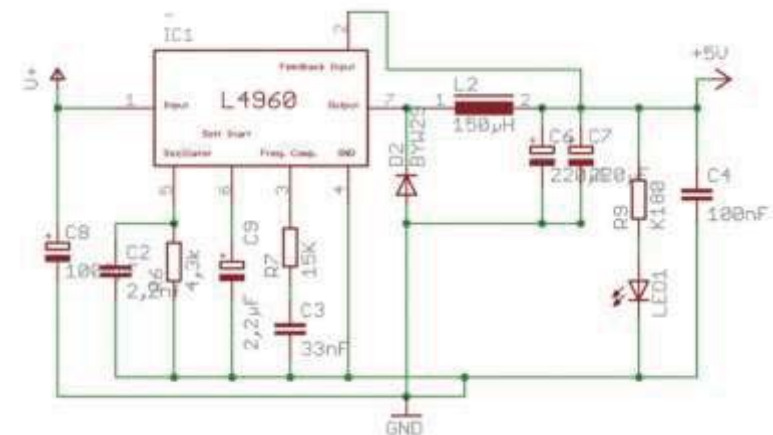
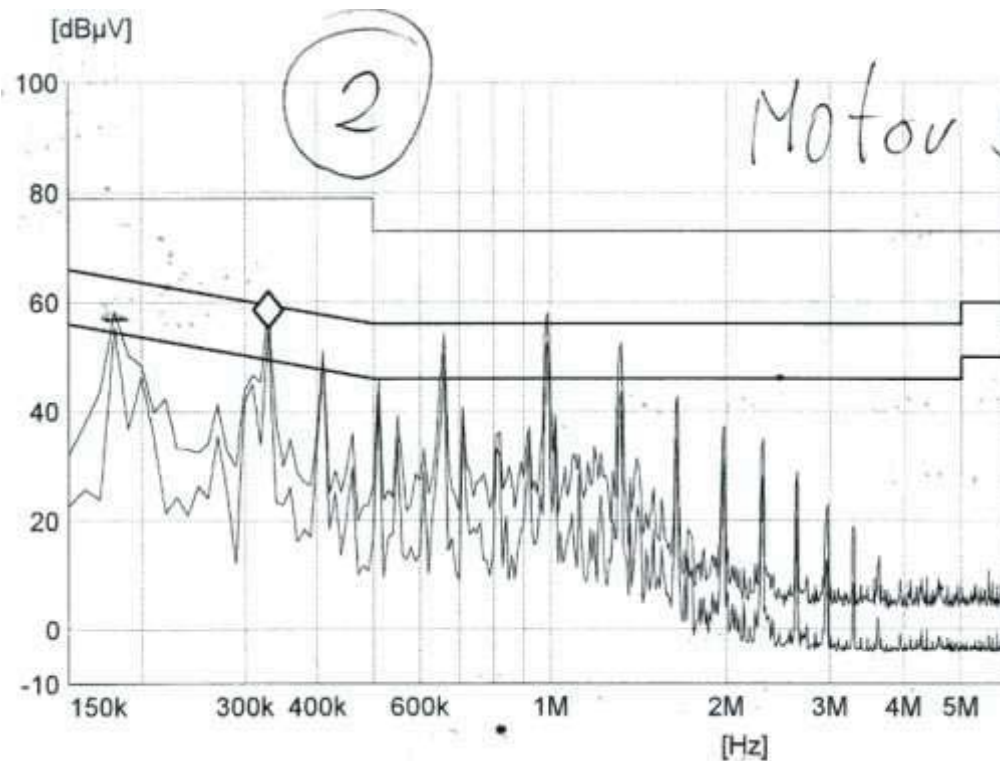


Streufeld Induktivität - geschirmt vs. ungeschirmt



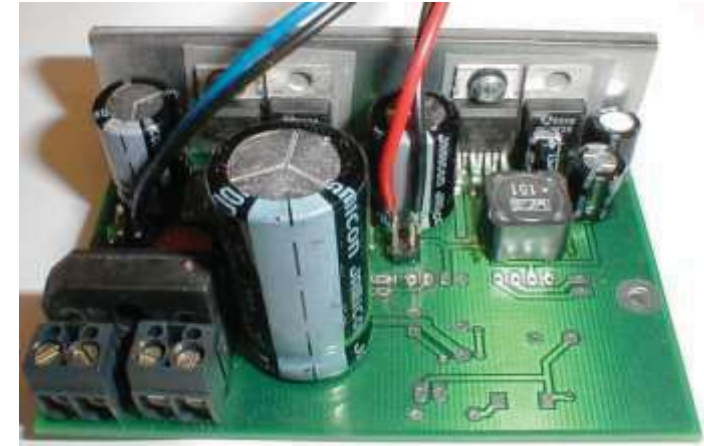
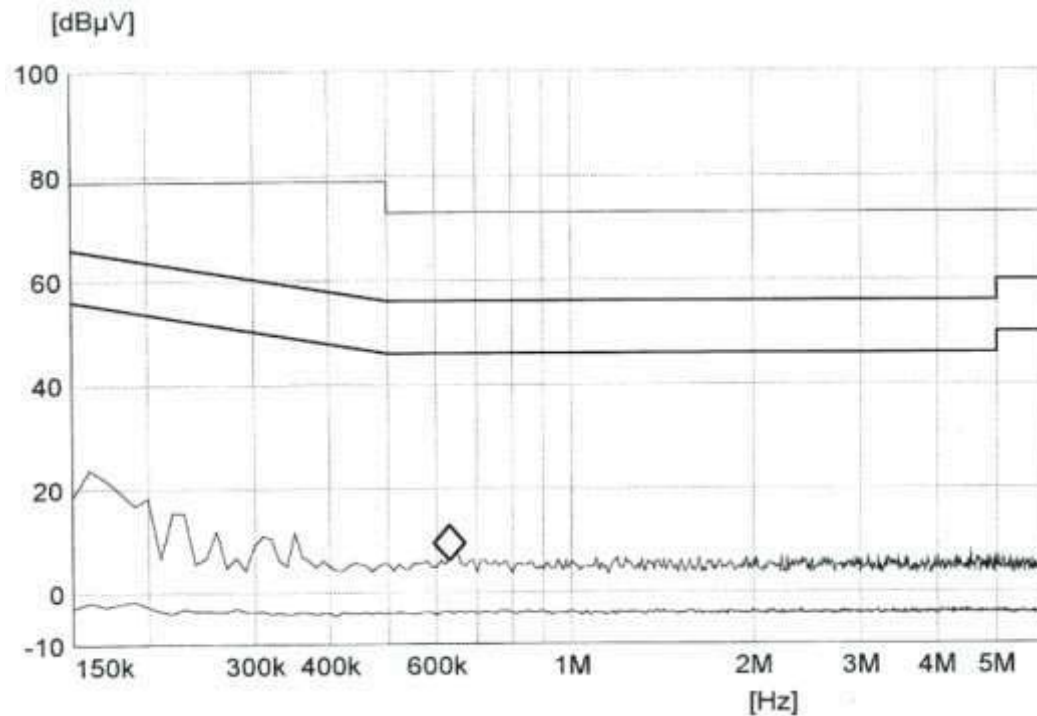
EMV – Conducted Emission Measurement

Power supply V 1.0

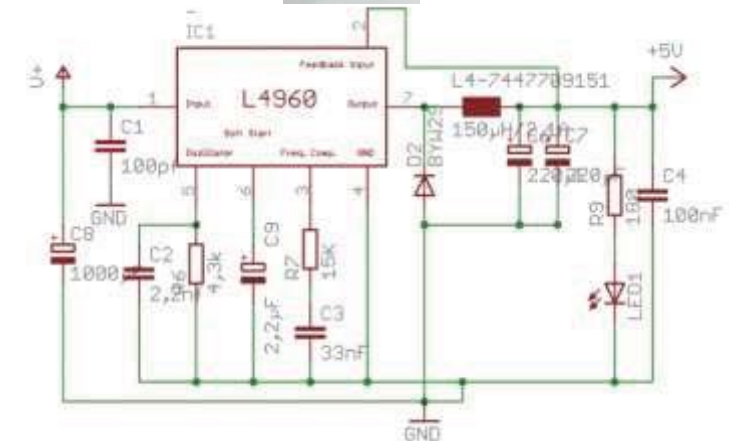


EMV – Conducted Emission Measurement

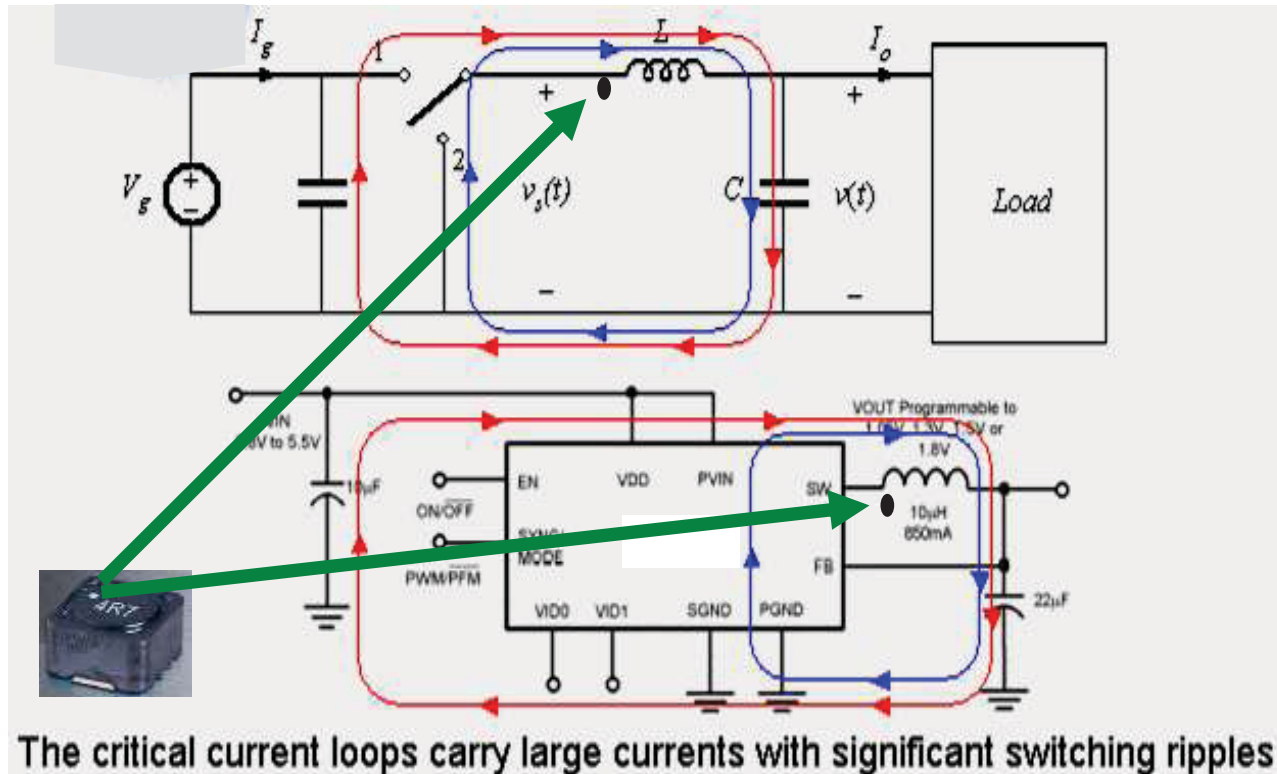
Power supply V 1.1



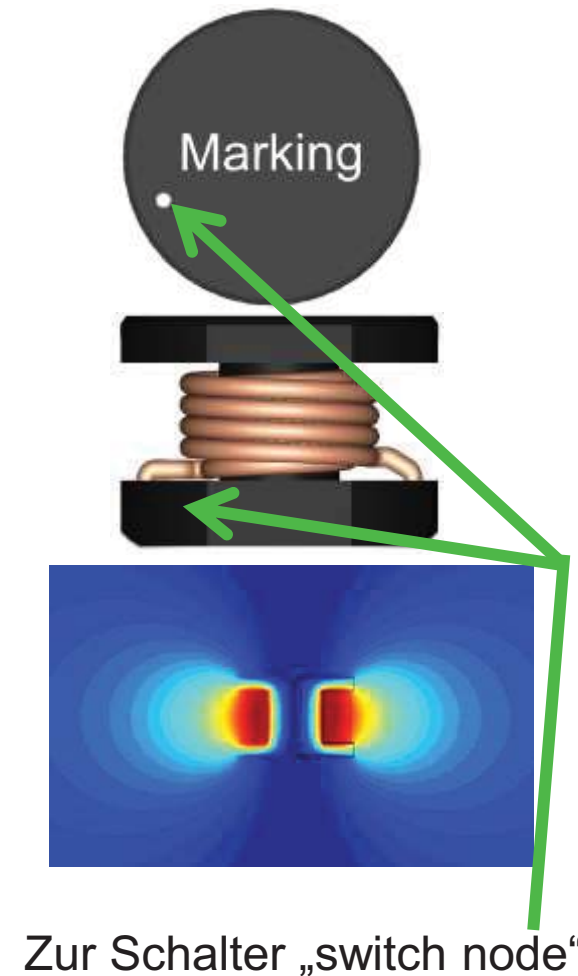
PCB



Markierung Empfehlung



Induktivitäten haben keine Richtung, aber:
 → Windungsanfang ist wichtig
 → Die Windung schirmt ab





LITERATUR

Trilogie der Induktivitäten uvm.



1. LTspice IV Buch
→ Verwenden und erstellen von Spice Modelle
2. Trilogie der Induktivitäten 4-te Auflage
→ Design Guide für EMV Filter Design, Schaltnetzteile, HF
3. Trilogy of Connectors
→ Grundprinzipien und Stecker Design Erklärungen
- 4. ABC of Power Modules
→ Funktionalität, Struktur und Handhabung
- 5. ABC of Capacitors
→ Basic Prinzipien, Merkmale und Kondensator Typen

Wenn offene Fragen sind?



Es gibt immer eine Lösung und wir helfen gern!

Nie aufgeben!!!



Technical support needed?

Ask our design engineer Lorandt Fölkel

Follow me on ...



[Twitter.com/askLorandt](https://twitter.com/askLorandt)



[we-online.com/youtube](https://www.youtube.com/we-online.com)



[linkedin.com/in/lorandtfoelkel](https://www.linkedin.com/in/lorandtfoelkel)



[we-online.com/askLorandt](mailto:askLorandt@we-online.com)



Lorandt Fölkel
Design Engineer
at heart



or contact me directly:
askLorandt@we-online.com