

Interaktion von modernen Stromzählern und Wandlern



A Phoenix Mecano Company

Übersicht der Firmengruppe PM

1. Funktion von Stromwandlern
 - * Aufgaben / Eigenschaften
2. Gesetzliche Basis
 - * Eichgesetz und aktuelle Norm
 - * Auslegung der VDE 4400 und der DKE FNN
3. Interaktion aus technischen Aspekten
 - * Leistungsauswahl und Bebürdung
 - * Fremdfeldeigenschaften
4. Stromwandler
 - * Harmonische und dynamische Effekte
5. Kleinwandler
6. Ausblick

Who we are

Phoenix Mecano-Gruppe
Fünf Standorte in Europa und Asien



A Phoenix Mecano Company



Enschede, NL



Pune, IN



Běhařovice, CZ

Measurement Technology



Niederzier, DE



Villingen-Schwenningen, DE



TRAMAG Transformatorenfabrik
Fürth

1. Aufgaben von Stromwandlern



A Phoenix Mecano Company

= Aktiver Stromsensor; Hilfsenergiefrei; >30 Jahre!
Nicht aber verlustfrei!

1. Präzise Umsetzungen des Primärstroms in Betrag und Phase
2. Isolation der Primärleiterspannung. Alt : $U_N = 0,72\text{kV}$
Neu: Orientierung auf Wandler mit Nennspannungen $U_N \geq 1,2\text{ kV}$
3. Bereitstellung von Leistung für Bürde **und** Verdrahtung
4. Schutz der Messtechnik vor Überströmen
alternativ für Schutztechnik:
5. Abbild von Kurzschlussstromverläufen bis zu $I_{pr} \times 10$ (20)

1.1. Grundlagen

- Transformator im Kurzschlussbetrieb!

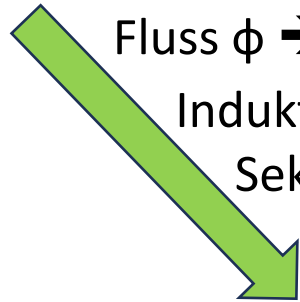
Primärstrom \rightarrow Fluß ϕ_p

Fluss $\phi \rightarrow$ Induktion B

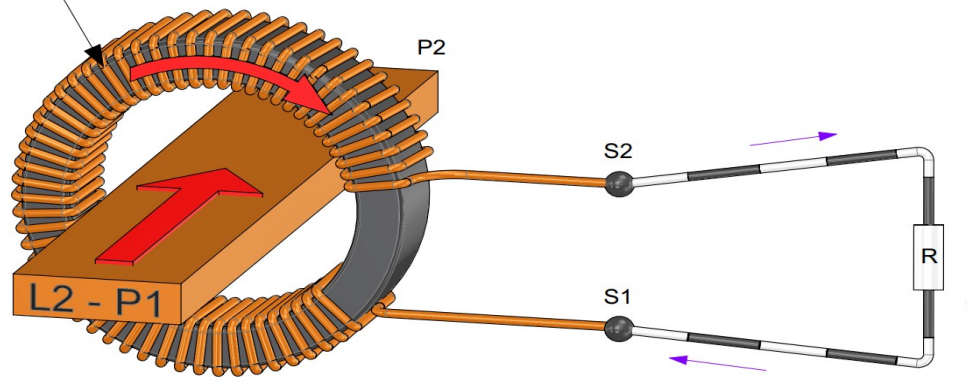
Induktion B \rightarrow Sekundärspannung.

Sekundärspannung \rightarrow Sekundärstrom
(bei angeschlossener Bürde)

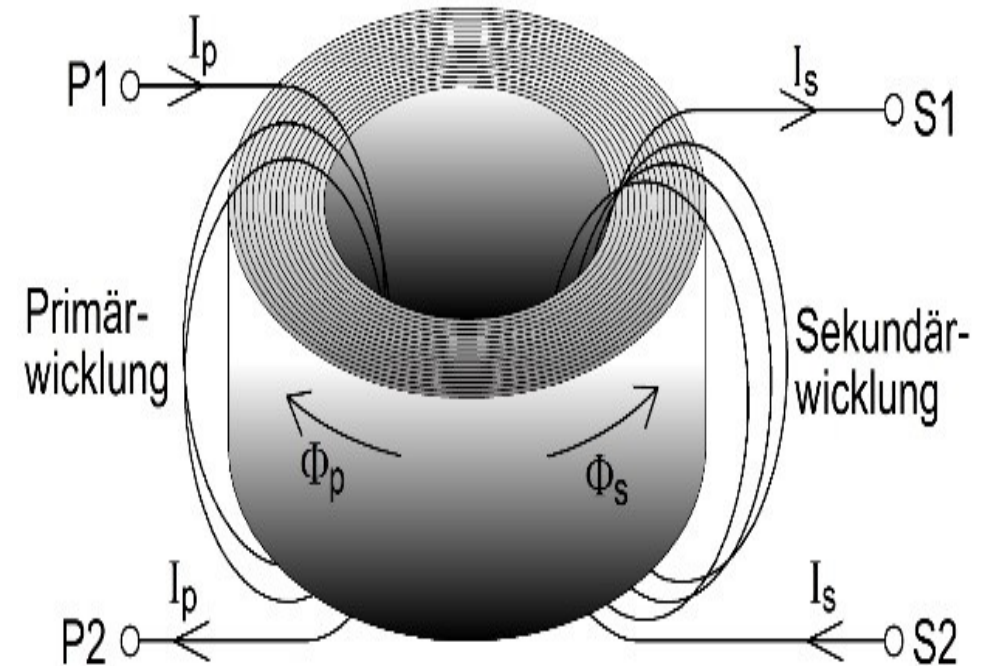
Sekundärstrom \rightarrow Gegenfluß ϕ_s .



Magnetische Flussdichte B



Hauptanwendung : Durchsteckstromwandler

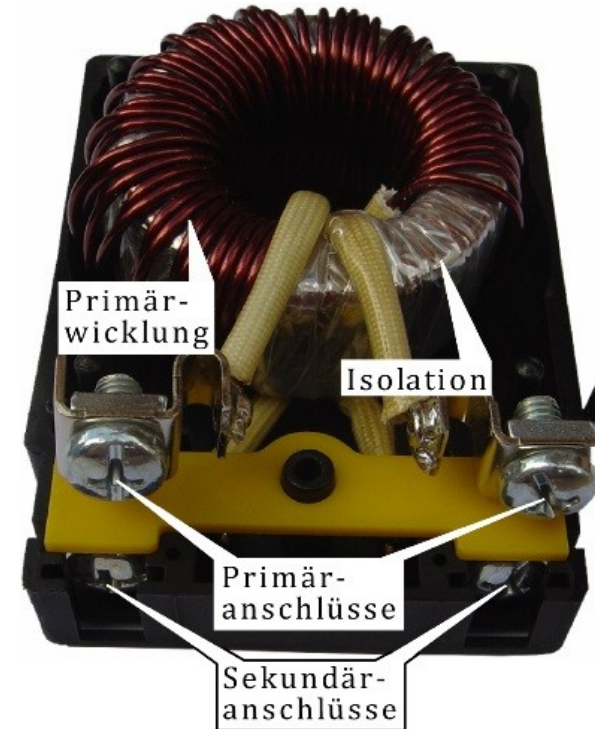


$$U_i = -N \cdot \frac{d(B \cdot A)}{dt}$$

1.2. Grundlagen Bauprinzipien



Durchsteckwandler $\rightarrow N_p = 1$ (2-3)
 \rightarrow Ströme (50A bis 6000A)

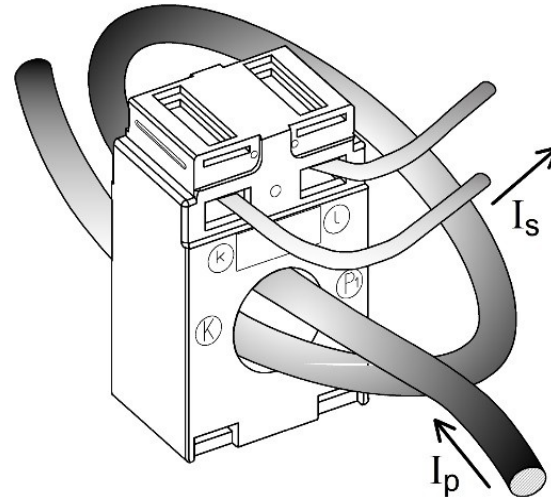
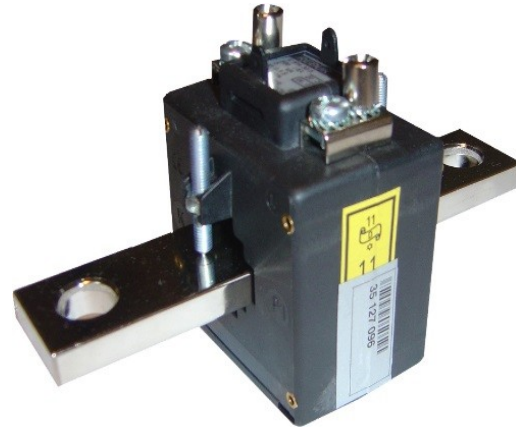
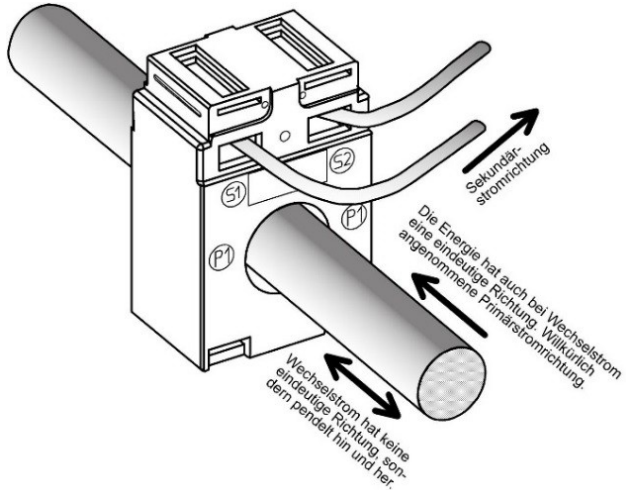


Wickelwandler $\rightarrow N_p > 1$
 \rightarrow kleine Ströme (bis 25A (50A))

1.3. Grundlagen Einbausituation



A Phoenix Mecano Company



- Primärleiter separat:
Kundenseitige Primärschieneninstallation
- ➔ wenig Kontaktstellen
 - ➔ Flexibel

- Mit installiertem Primärleiter
Einbaufertiges Paket
- ➔ vereinfachte Montage
 - ➔ verbesserte Logistik

- Wickelwandler mit $N_p > 1$
Hilfslösung :
z.B. 35A/1A = 105A/1 @ $N_{pr}=3$
- ➔ Anwendung für kleine Ströme
 - ➔ Primärleiter muss flexibel sein.

- ‘Summenstromwandler’
mit $N_p=1$ Hilfslösung
- ➔ Alternative zum Summenwandler;
 - Aber $I_{sek} * 2!!$

1.4. Grundlagen Kernmaterial

Siliziumeisen:

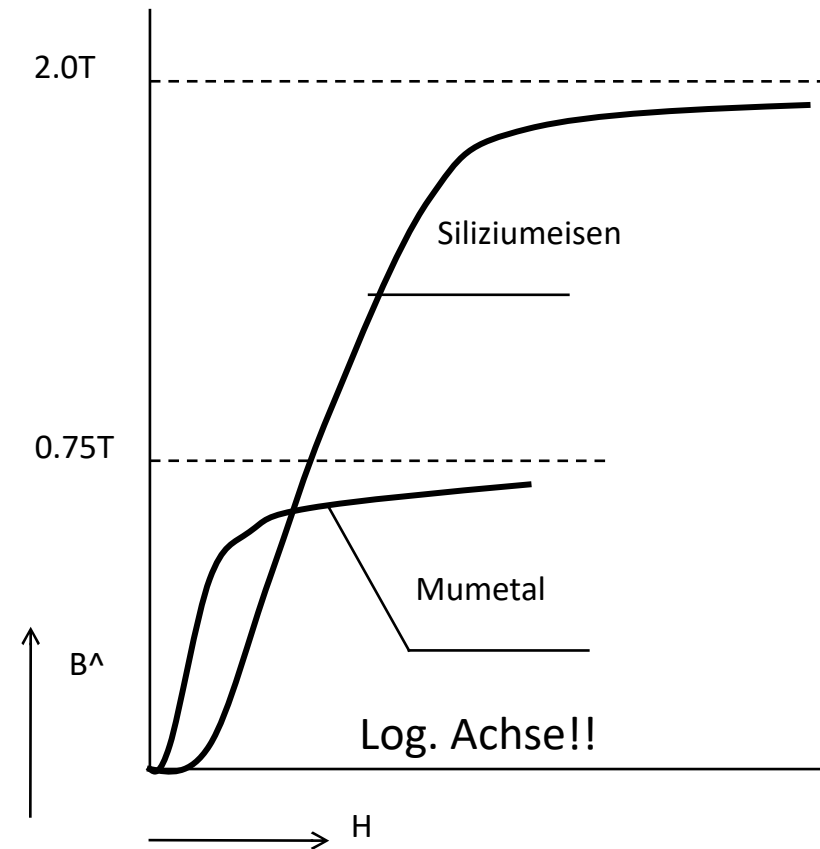
- Sättigung bei $B=1,8... 1,9$ Tesla
- Hohe Leistung oder Schutzklasse
- → Genauigkeitsklasse 0,5; 0,5S ; 1, 3

Nickel-Eisenlegierungen ('Mumetal'):

- Sättigungsinduktion: $B=0,75$ Tesla,
- → Hohe Genauigkeit (Klasse 0,1 ; 0,2s ; 0,5s)

Aber! Kosten und Baugröße berücksichtigen

- Si- Eisen ca. 3..4 € / kg
- Ni -Legierung ca. 25€ / kg



2.1. Gesetzliche Basis Mess- & Eichgesetz

Gesetz über das Inverkehrbringen und die Bereitstellung von Messgeräten auf dem Markt, ihre Verwendung und Eichung sowie über Fertigpackungen (Mess- und Eichgesetz - MessEG)

Grundsätzliche Gesetzesaussagen für Stromwandler (Auszug):

1. Nach Nr. 3.4.1 der EO Anlage 20 Abschnitt 2 sind für Stromwandler folgende **Nennleistungen** zugelassen:
1 VA; 2 VA; 5VA; 10 VA; 15 VA; 30VA.
2. Sekundären Nennstromstärken von $I_{\text{sek}}=1$ A und 5 A, für die **Nennfrequenz 50 Hz** und für Bahnanlagen für die Nennfrequenz 16 2/3 Hz.
3. Stromwandler für Verrechnungszwecke müssen mindestens die **Genauigkeitsklasse 0,5** besitzen.
4. Stromwandler für Verrechnungszwecke müssen auf eine **Baumusterprüfbescheinigung** rückführbar sein und einer **Konformitätserklärung** entsprechen.
5. Keine **Kabelumbauwandler** !

2.2. Metering ↔ Konformitätsbewertung



A Phoenix Mecano Company

Generische Bescheinigung



Konformitätserklärung für Messwandler zum Zweck der Energiezählung



Gegenstand dieser Erklärung sind die im Folgenden aufgelisteten Typen von Einzelstromwandlern:

DE-17-M-PTB-0056: E4R21.3, E6A315.3, E7A412.3, E7A412.6, E8A512.3, E8A615.3, E9A615.3, E9A640.3, E10A815.3, E10A830.3, E13A1030.3, E13A1056.3, E16A1234.3, E16A1272.3, E20A1456.5
20.21/04.03: EIPA30, EIPA30.5, EIPA40, EIPA40.5
20.21/10.07: EIPN40, EIPN50
Hersteller: REDUR GmbH & Co. KG
Neue Straße 20a
52382 Niederzier
Deutschland

Konformitätserklärung



Konformitätserklärung

Typ / Type	E13A1030.3
Spezifikation / Specification	1500/5A 5VA Kl. 0,5s
Menge / Quantity	21 Stück
Seriennummer / Serial No. von/from	2021/ 276598
Seriennummer / Serial No. bis /to	2021/ 276618
AB Nr. / Order no.	48816 Pos.01

Firma: REDUR GmbH & Co. KG
Neue Straße 20a
52382 Niederzier (Germany)

Die alleinige Verantwortung für die Ausstellung dieser Konformitätserklärung trägt die Firma REDUR GmbH & CO. KG als Hersteller.

Gegenstand der Erklärung sind die im Folgenden aufgelisteten Typen von Einzelstromwandlern:
DE-17-M-PTB-0056 E4R21.3, E6A315.3, E7A412.3, E7A412.6, E8A512.3, E8A615.3, E9A615.3, E9A640.3, E10A815.3, E10A30.3, E13A1030.3, E13A1056.3, E16A1234.3, E16A1272.3, E20A1456.5
20.21/04.03: EIPA30, EIPA30.5, EIPA40, EIPA40.5
20.21/10.07: EIPN40, EIPN50

2.3. Genauigkeitsklassen für Stromwandler



A Phoenix Mecano Company

VDE-AR-N 4400:2019-07

Tabelle 5 (2 von 2)

Messtechnische Anforderung	Messstellenart	Genauigkeitsklassen			Energieflussrichtung
		Spannungswandler	Stromwandler	Zähler	
Lastgang/ Zählerstandgang Wirk- und Blindenergie	Mittelspannung Messeinrichtung	0,5	0,5 S	Wirkenergie Klasse 1 Klasse B nach MID Blindenergie Klasse 2 ^b Lastgang sekundär mit 4 Nachkommastellen für Energievorschübe 3 Nachkommastellen für mittlere Leistungswerte	+A und + R_{ind} und + R_{kap}^c
					-A und - R_{ind} und - R_{kap}^c
Lastgang/ Zählerstandgang Wirk- und Blindenergie	Hochspannung Messeinrichtung	0,2	0,2 S	Wirkenergie Klasse 0,5 Klasse C nach MID Blindenergie Klasse 2 ^b Lastgang sekundär mit 5 Nachkommastellen für Energievorschübe 4 Nachkommastellen für mittlere Leistungswerte	+A und + R_{ind} und + R_{kap}^c
					-A und - R_{ind} und - R_{kap}^c
Lastgang/ Zählerstandgang Wirk- und Blindenergie	Höchstspannung Messeinrichtung	0,2	0,2 S	Wirkenergie Klasse 0,2 Blindenergie Klasse 2 ^b Lastgang sekundär mit 5 Nachkommastellen für Energievorschübe 4 Nachkommastellen für mittlere Leistungswerte	+A und + R_{ind} und + R_{kap}^c
					-A und - R_{ind} und - R_{kap}^c

^a Die messtechnische Anforderung umfasst bei Lastgang/Zählerstandgang im Standard neben den Zählern auch zugehörige Kommunikationseinrichtungen (Modem, SMGW) inkl. Synchronisierung.
^b Die Blindenergie ist in 4 Quadranten zu messen und die gemessenen Werte sind vom MSB zu kommunizieren.
^c Abhängig von der Messaufgabe bzw. vertraglichen Vereinbarungen.

Metering Code nach VDE-AR-N 4400 in Herausforderung zum Mess- EG

➔ Klasse 0,5S!!

2.4. Normhinweise DIN EN 61869-1 &-2

Edition 1 (Veröffentlichung 2010 / 2012)



Genauigkeitsklassen: 0,1; 0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S; 1; 3; 5

Normwerte für Sekundäre Nennströme sind 1 A und 5 A
(der bisherige Wert von 2 A ist nicht gültig),

Prüfung der Primärisolation mit einem Wert von 3 kV bzw. 6kV für
 $U_m = 0,72 \text{ kV}$ und $U_m = 1,2 \text{ kV}$

Windungsisolation muss 4,5 kV (Scheitelwert) über 60s bestehen

Die Normwerte des primären Bemessungsstroms sind:
10A-12,5A-15A-20A-25-30A-40A-50A-60A-75A oder dezimale Vielfache oder Teile

Bemessungsfrequenz wird von 15 Hz bis 100 Hz festgelegt.

Umgebungstemperatur max. 40°C

Für Zähler <0,5s

$\geq 1A \rightarrow \geq 0,1A$
& Bürde $\leq 1VA$



Techn. Wunschliste:



$\leq 100 \text{ Hz} \rightarrow 400\text{Hz}.. 2,5\text{kHz}$

$\leq 40^\circ\text{C} \rightarrow \leq 65^\circ\text{C}$

2.5. Normhinweise DIN EN 61869-1 &-2

Edition 2 (Erstellung 2023)

~~Genauigkeitsklassen: 0,1; 0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S; 1; 3; 5~~

~~Normwerte für Sekundäre Nennströme sind 1 A und 5 A
(der bisherige Wert von 2 A ist nicht gültig),~~

~~Prüfung der Primärisolation mit einem Wert von $U_m = 0,72$ kV und $U_m = 1,2$ kV~~

~~Windungsisolation muss 4,5 kV (Scheitelwert) über 60s bestehen~~

~~Die Normwerte des primären Bemessungsstroms sind:
10A-12,5A-15A-20A-25-30A-40A-50A-60A-75A oder dezimale Vielfache oder Teile~~

~~Bemessungsfrequenz wird von 15 Hz bis 100 Hz festgelegt.~~

~~Umgebungstemperatur max. 40°C~~



Keine Gültigkeit für
Wandler mit $U_m < 3,6$ kV



Nur Spannung für Betriebsmittel
 $U_m > 3,6$ kV.

Die Prüflevel von 0,72 und 1,2 kV
wurden nicht übernommen!

Niederspannungswandler
müssen künftig mit 10 kV
Stoßgeprüft werden.

➔ Verweis auf DIN IEC 61869-201

2.6. Normhinweise DIN EN 61869-1 &-2

Edition 2 (Erstellung 2023)



- *Wichtiger Hinweis:*

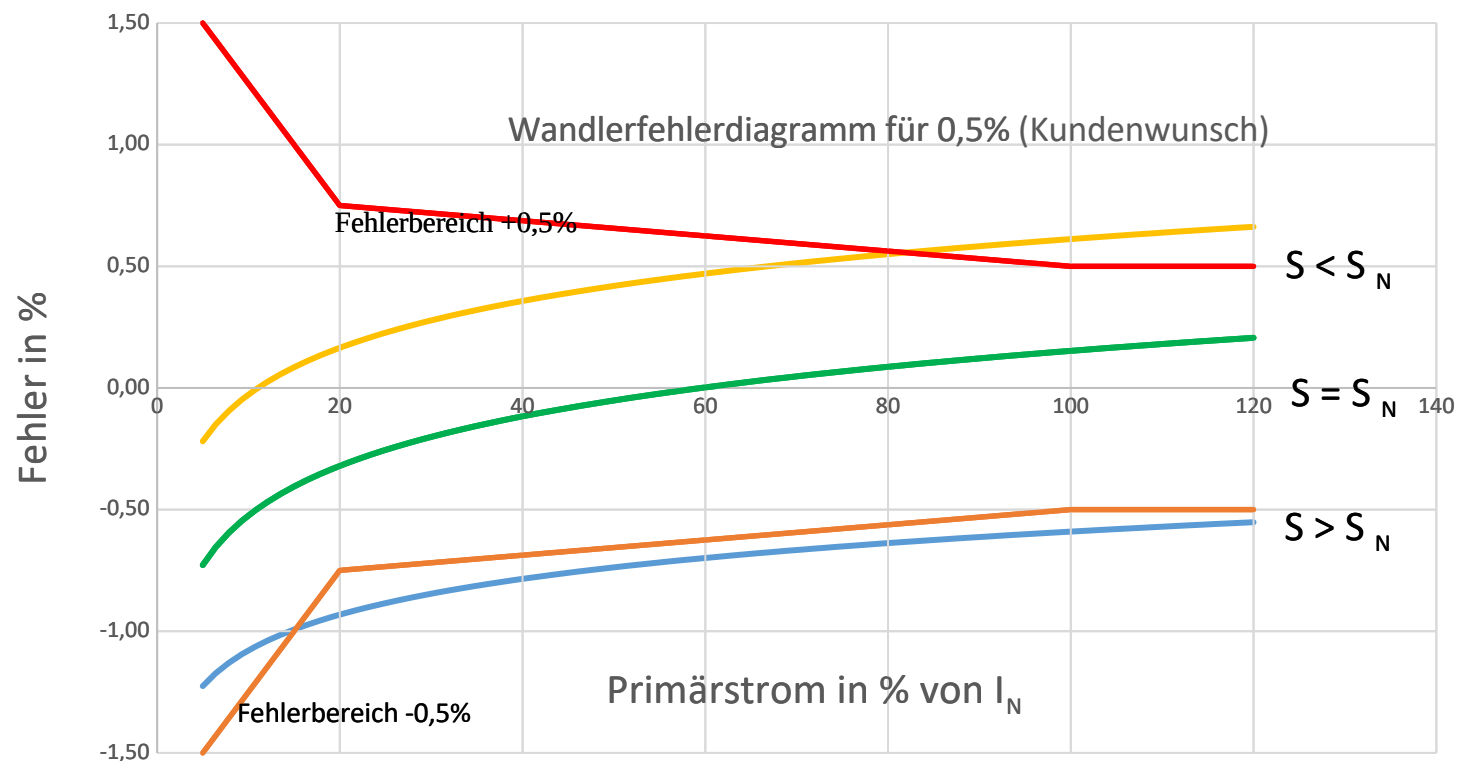
Bei Anfragen, Bestellungen und technischem Vergleich immer Bezug auf die DIN EN 61869 Edition 1 (Veröffentlichung 2010 bzw. 2012) nehmen.

3.1. Interaktion → Leistungsauswahl und Bebürdung

1. Hinweis in der Norm (61869):

Die Genauigkeit eines Stromwandlers ist auf die Nennbürde bezogen.

2. Genauigkeits-`Trompete`



- Bei Nennbürde S_N hält der Wandler die geforderte Klasse
- Bei Überbürdung $S > S_N$ verschiebt sich der Fehlergang ins Negative
- Bei Unterbürdung $S < S_N$ wird der Fehlerverlauf positiver

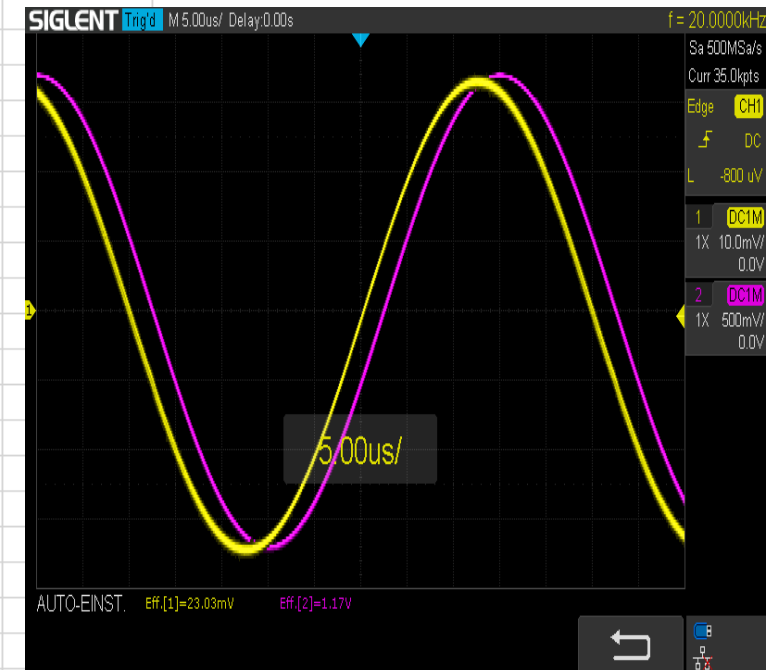
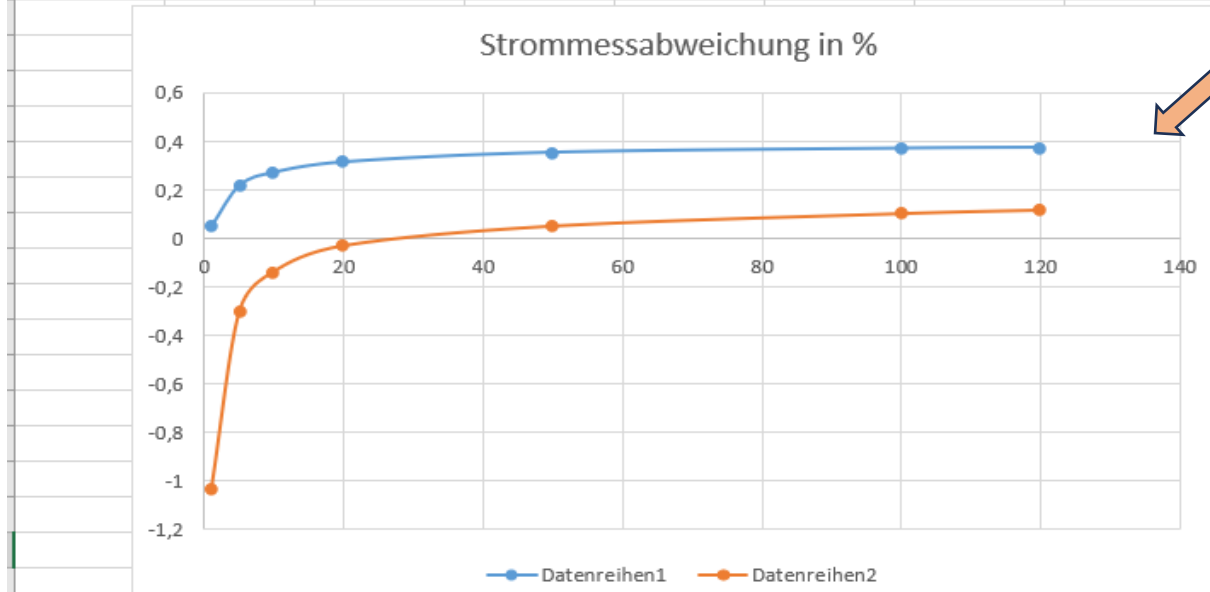
Hinweis:

Bei $S \neq S_N$ kann der Wandler aus seiner Klasse fallen !!!
Nicht bei $S_N / 4$!

Quelle: Fa. Redur

3.2. Interaktion Leistungsauswahl und Bebürdung

IPA30.5 300/5		Ipr= 300		Klasse 0,5					
Strommessabweichung in % bei % des Nennstroms und Bemessungsbürde (0,10 VA)									
VA/Ipr[%]	1	5	10	20	50	100	120	FS Wert	
0,1	0,0512	0,2196	0,2753	0,3182	0,358	0,375	0,3786	12,6	
10	-1,03	-0,3	-0,135	-0,029	0,0515	0,103	0,1175	4,42	

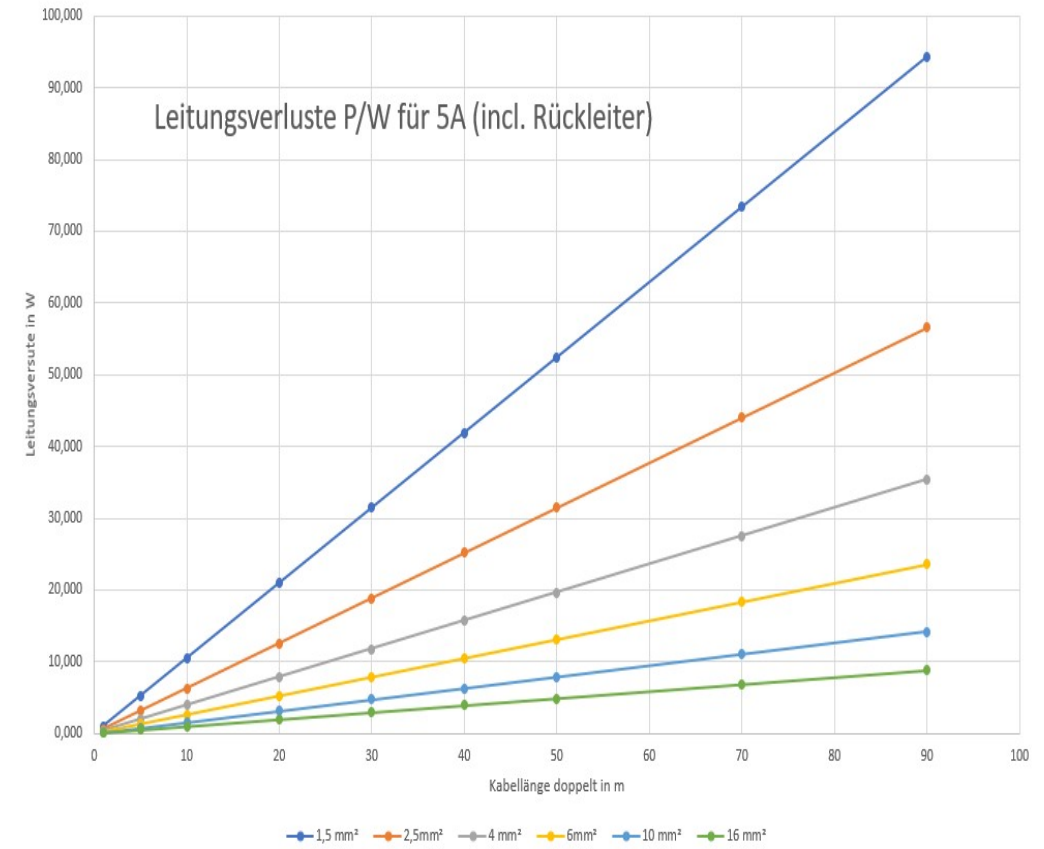
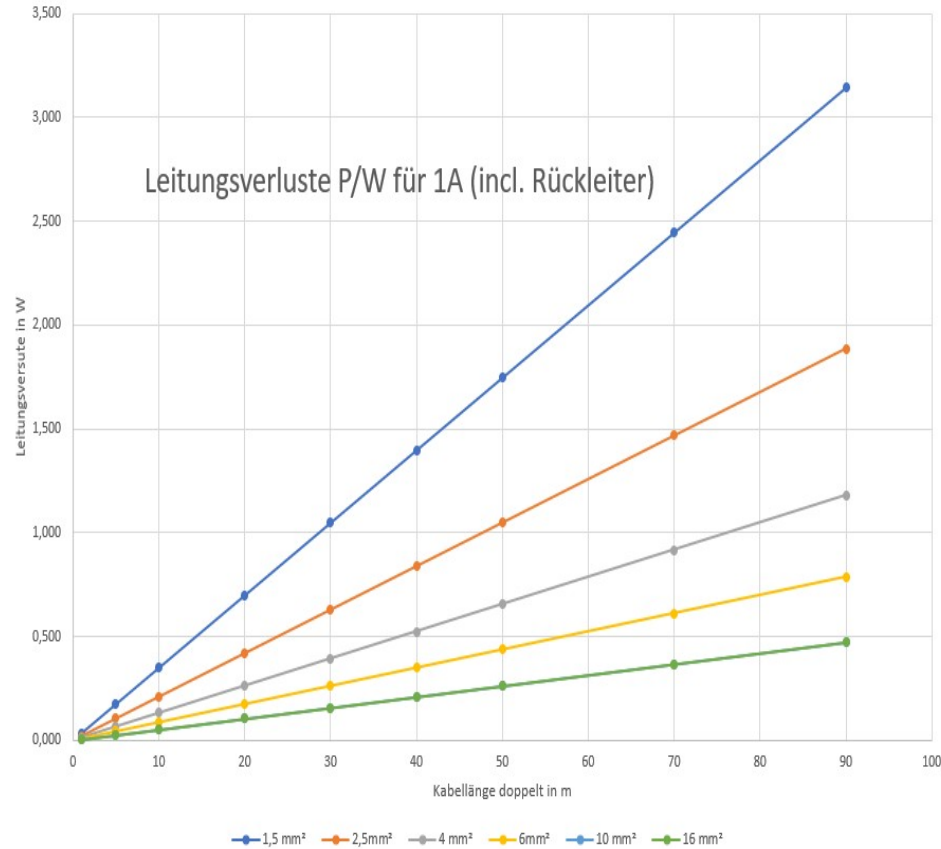


Quelle: Labor REDUR

3.3. Interaktion → Verluste

Leistungsverluste für 1 und 5 A

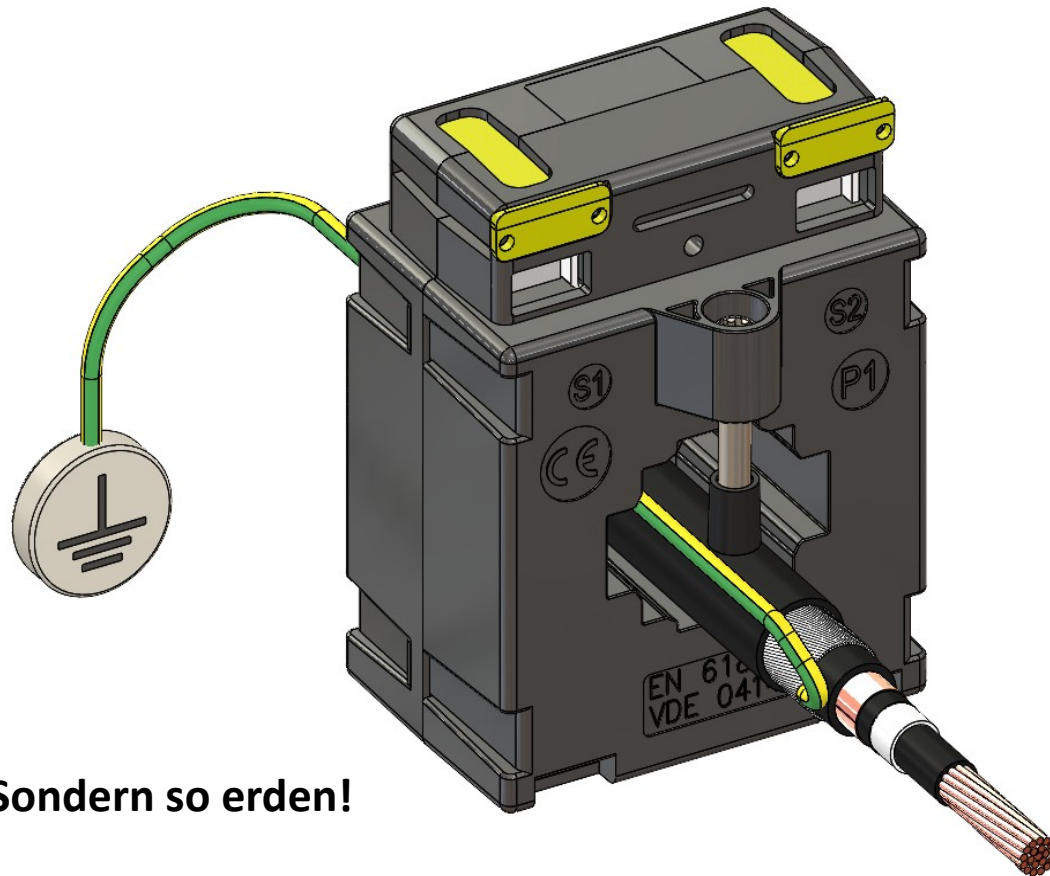
→ . Rückleiter für Stromwandler @ 75°C!!



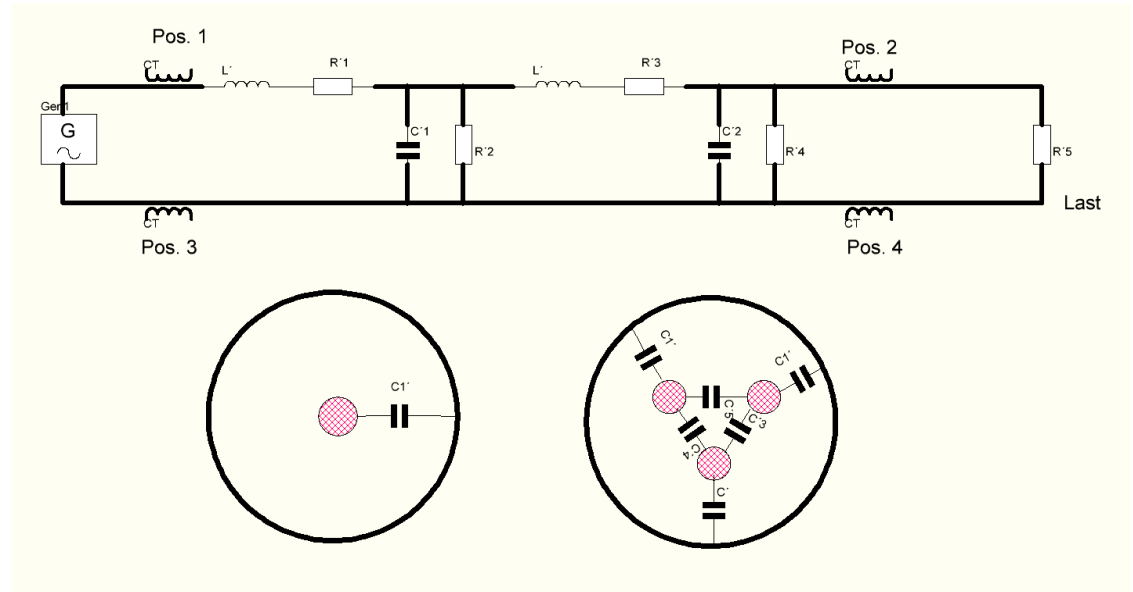
Bitte für Stromwandler mit $I_{pr} = 120\%$ verwenden !!
→ fast alle CT's

→ Bitte auch Wandlerverluste beachten

3.4. Interaktion Einbau



Sondern so erden!

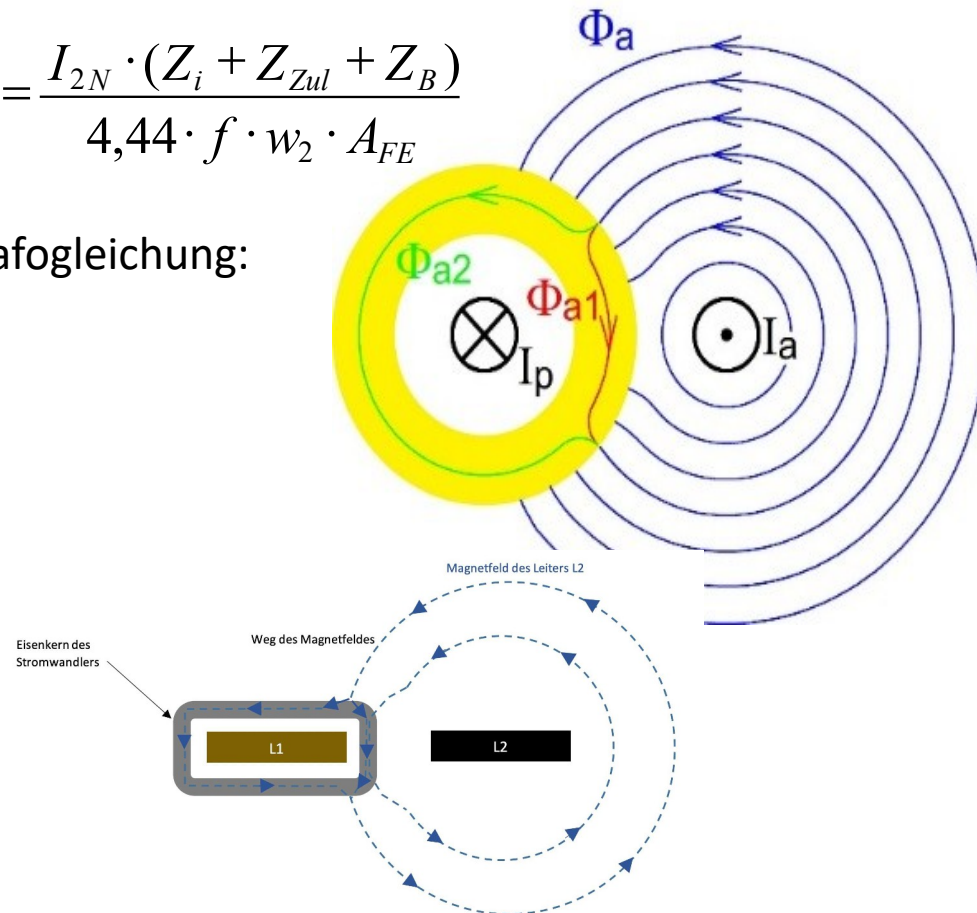


- Bitte die äußere Isolation **nicht** zurückschneiden !!!!
(auch wenn es funktioniert)

3.6. Interaktion → Proximity / Fremdfeld

$$B_N = \frac{I_{2N} \cdot (Z_i + Z_{Zul} + Z_B)}{4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot A_{FE}}$$

Trafogleichung:

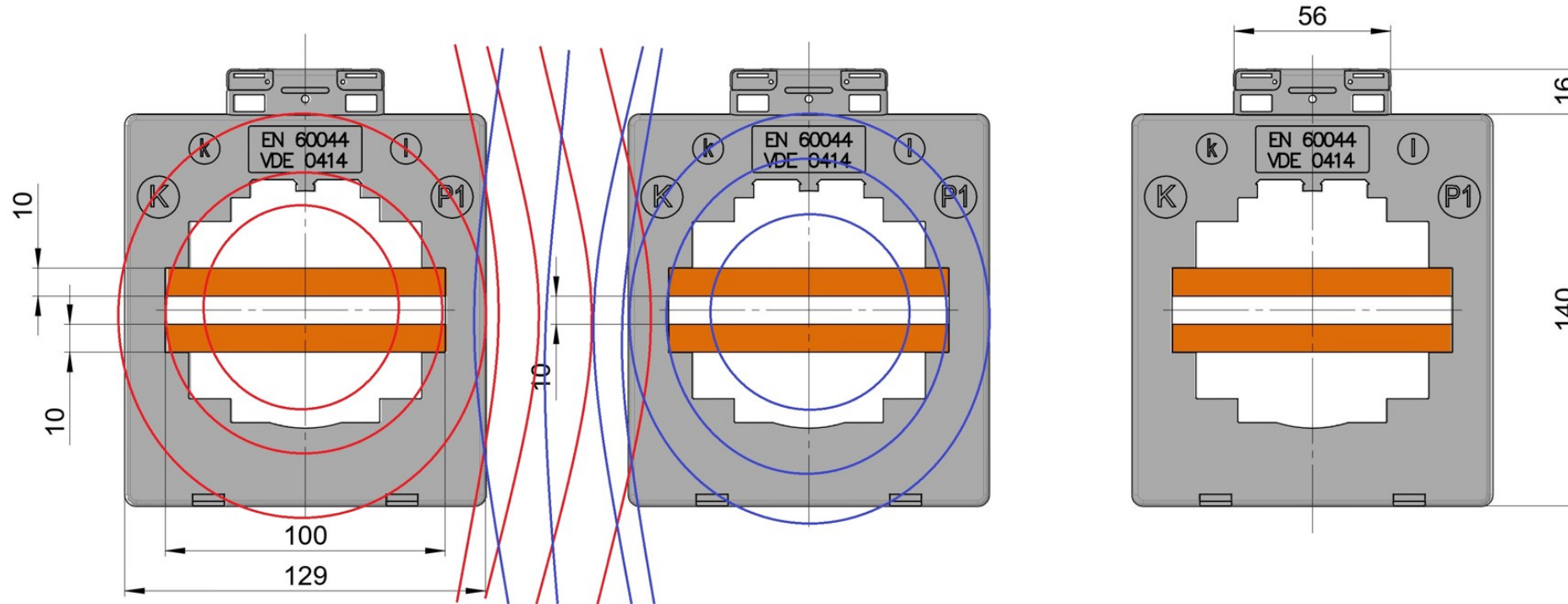


Abhängigkeiten:

- Magnetische Flussdichte = Arbeitspunkt
- Frequenz
- Bebürdung = Arbeitspunkt (Kernmaterial)
- Primärstrom ($\geq 2000A$)/Sekundärstrom → N
- Abstand zur Nachbarschiene Phasenabstand
- Bauform des Wandlers/Kernform
- Wickeltechnik = homogene Feldverteilung
- Anordnung der Primärschiene (mittig)

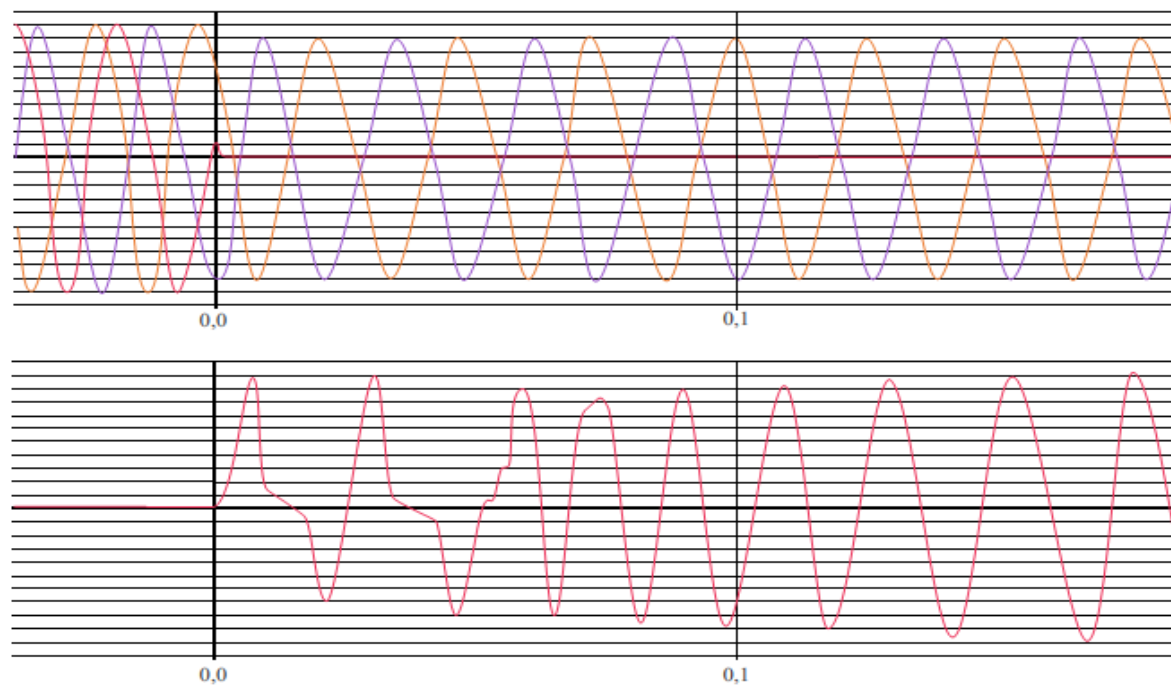
Auch Querschienen und Rückleiter erzeugen ein Fremdfeld!

3.7. Interaktion → Proximity / Fremdfeld / für $I_{pr} \geq 2000A$

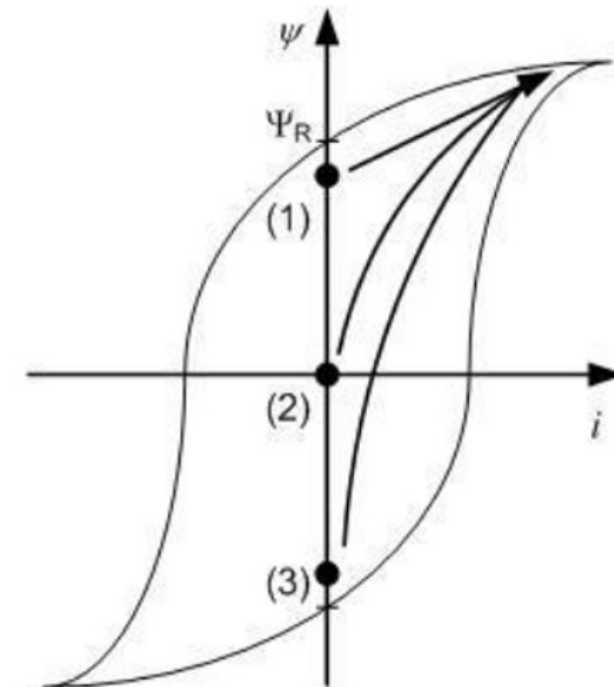


1. Der Stromfluss in Leiter 1 beeinflusst die Induktion des Nachbarwandlers 2.
2. Der magnetische Fluss im Wandlerkern 1 beeinflusst die Induktion des Nachbarwandlers 2. (Für $I_{pr} \geq 2000A$ relevant)

4.1. Interaktion Dynamik → Remanenz



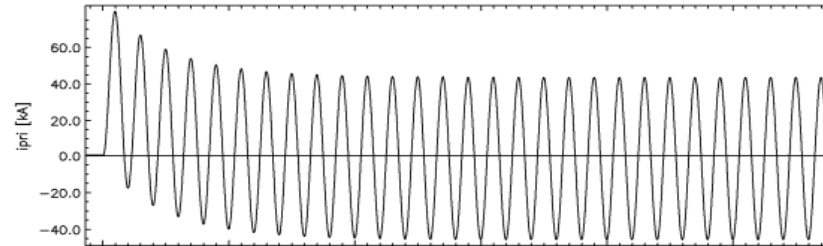
Wandlerreaktion bezogen auf Netzzuschaltung (Simulation)
Dauer ca. 100....300 ms



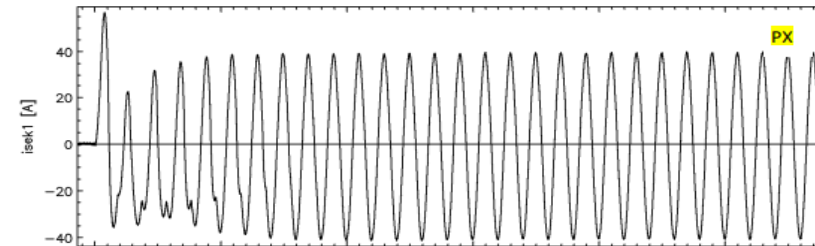
4.2. Interaktion Dynamik

Test-No. 10221826_Drei Sekundärströme

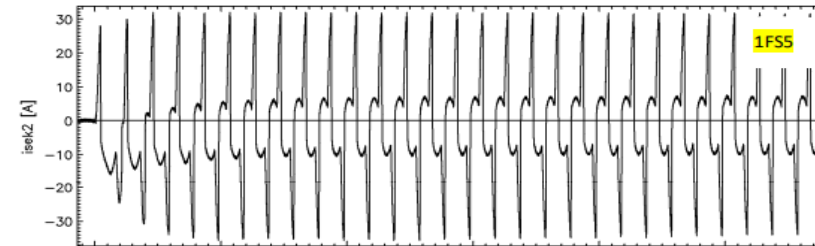
Primärstrom (Kurzschluss)



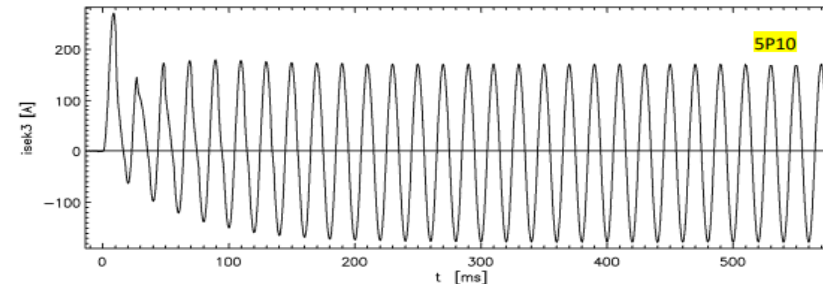
Sekundärstrom (PX Schutzw.)



Sekundärstrom (Messwandler)



Sekundärstrom (5P10 Schutzw.)



$$I_{th} = 60 * I_{pr}$$

$$I_{dyn} = 2,5 * I_{th}$$

Hinweis zum Kurzschluss:
Bis max. 100 kA

Beispiel: $I_{th} = 40$ kA

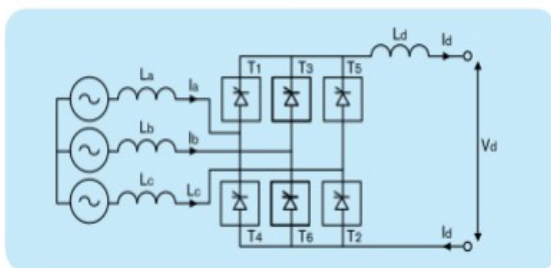
$$I_{dyn} = 100$$
 kA

4.3. Interaktion Dynamik

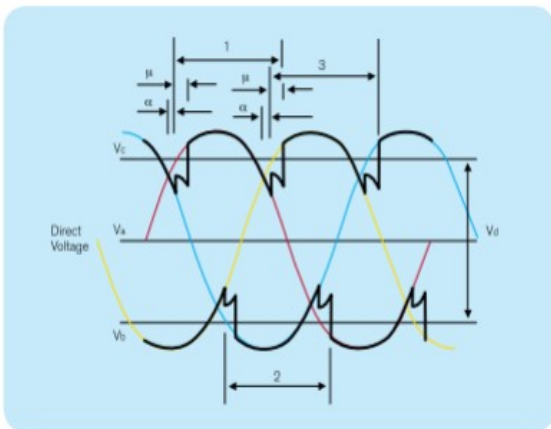
Elektronik als Ursache von Oberwellen / Harmonischen
→ hier Spannung

Detail: HVDC-Technologie (HGÜ)

- Gleichrichten (Bsp.: Thyristor-Brücke)



Schaltung



Ausgangsspannung

Achtung N - Leiterströme = 3..5 x I_{ph}
bei Frequenzumrichtern!!!

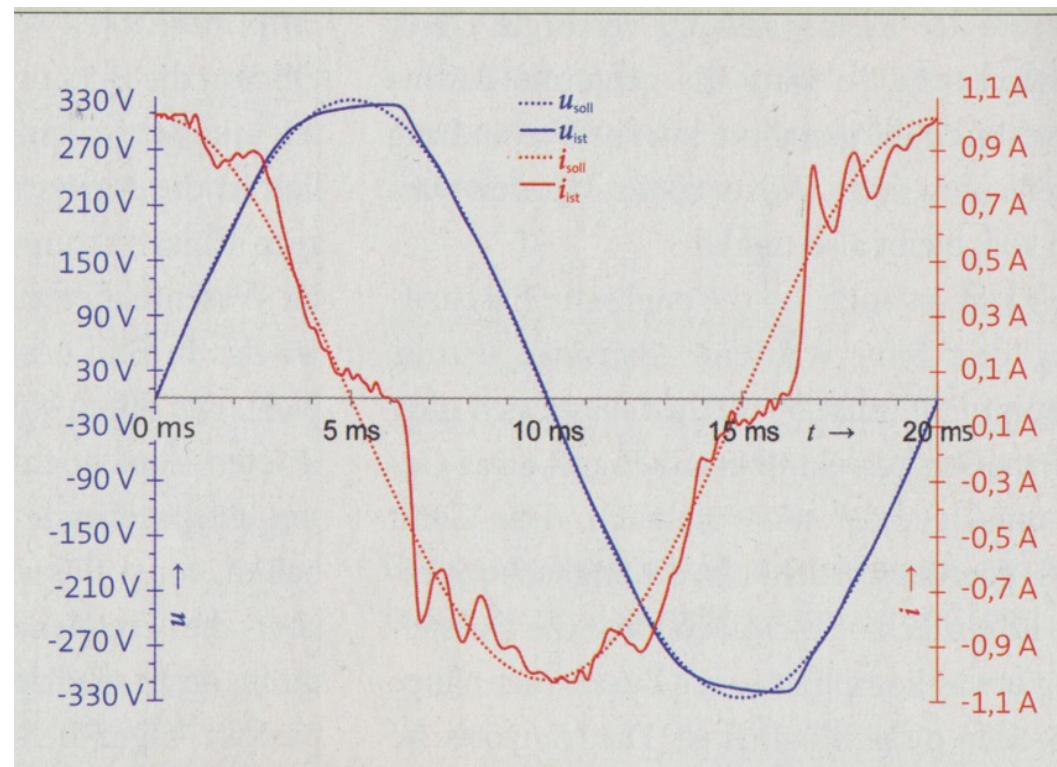


Bild 13: Strom eines Kondensators von 10 µF an gewöhnlicher Netzspannung in einem Wohnhaus

Quelle : Das Elektrohandwerk 21.2023

5.1 Kleinsignalstromwandler

• Zukunftslösung weil:

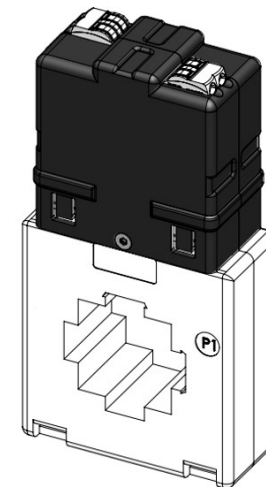
- Kleines Bauvolumen möglich
- Hohe Genauigkeit
- Optimierte Verkabelung
- Geringe Eigenverluste nach $P_v = I^2 * \sum R$
- Sekundärgröße ist ein elektronisch direkt

zu verarbeitendes AC oder DC Strom- oder Spannungssignal
Z. B. 0,1A; 0,05A oder 225mV oder 333mV (auch 150mV).



Typenreihe mit $U_a=333mV$

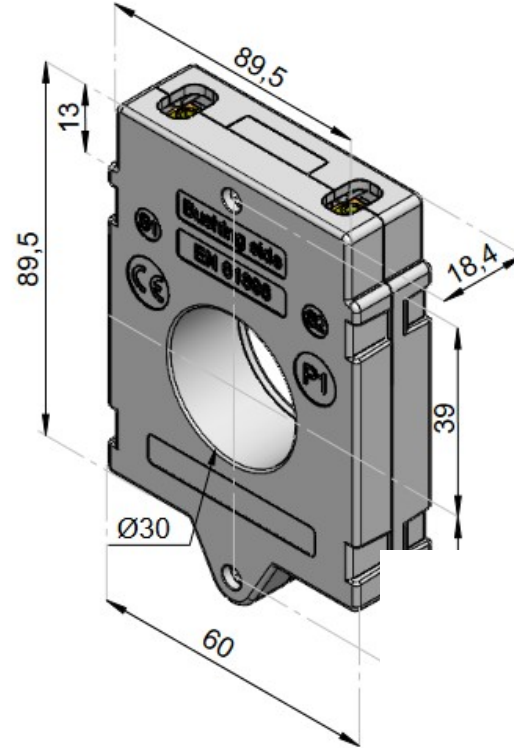
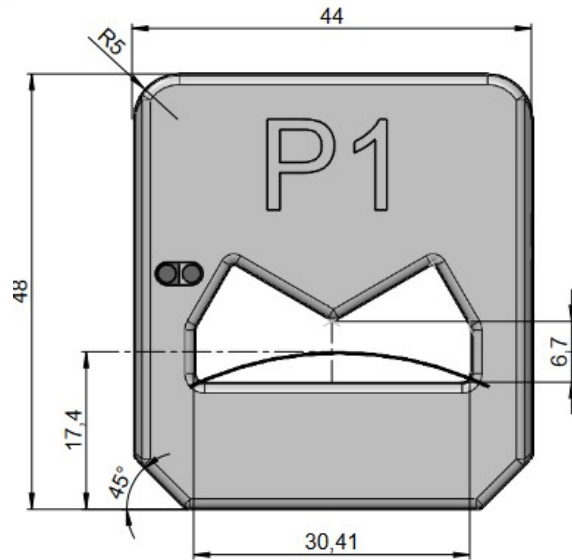
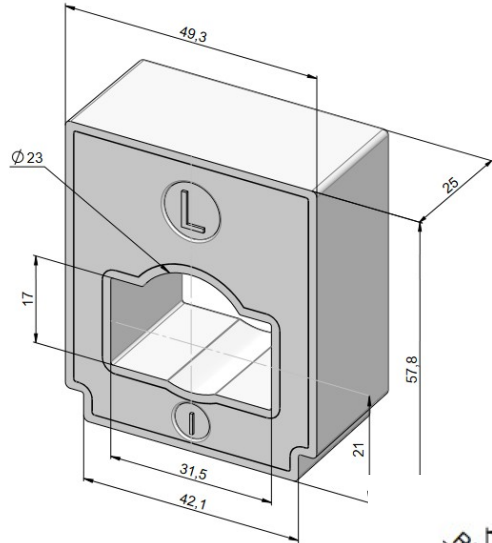
- Keine Hilfsenergie im Vergleich zur Rogowski-Spule erforderlich
- Sehr linear → bis Faktor 10 möglich
- Temperaturstabil & alterungsstabil, da keine Halbleiter
- Aber: Windungszahl sehr hoch z.B. $1000/0,1 = 10\ 000$ Windung
Windungen → Trick mit $N = N_1 * N_2 =$ Kaskadenwandler



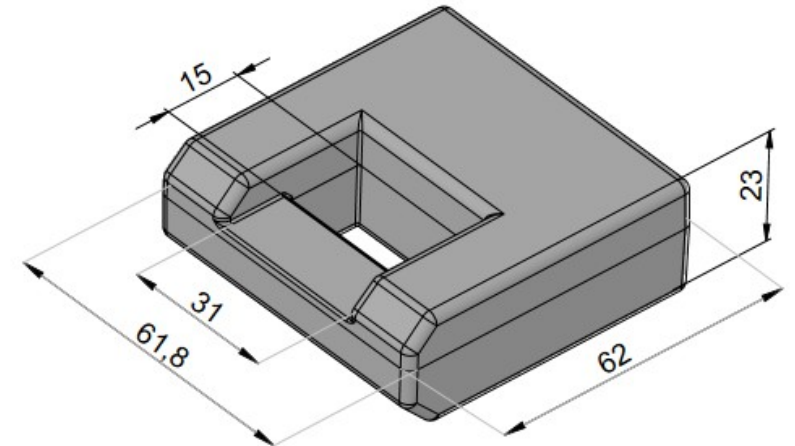
5.2 Kleinleistungswandler:



A Phoenix Mecano Company



Wandlerleistung <1VA



6. Ausblick

- Reduzierung von Wandlerleistungen
- Orientierung auf Wandler mit Nennspannungen $\leq 1,2$ kV???
- Verringerung der Ströme/Kleinspannungen
- Verringerung von Baugröße und Schaltschrankverlusten
- Weitbereichswandler (Messbereiche und auch für Schutz)
- Messungen bis Frequenzen von 10 kHz
- Digitale Signale; Bussysteme, zusammen mit den Endgeräten

Personen für Sie als technische Ansprechpartner



A Phoenix Mecano Company

Thomas Stüttgen

Leiter R&D bei REDUR

Aufgabenbereich: alles Andere

Tel.: 02428 905 3737

0160 90814216

thomas.stuettgen@redur.de

Michael Müller

Techniker in der R&D Abteilung bei REDUR

Aufgabenbereich:

Mess- und Prüftechnik incl. Berechnungen

Tel.: 02428 905 3717

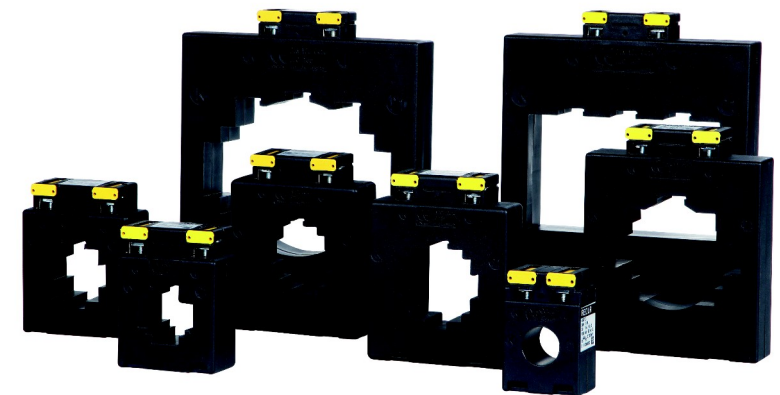
Michael.Mueller@redur.de

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr. –Ing. Norbert Koch

n.koch@redur.de

Mobil 0160 707 8588





REDUR

A Phoenix Mecano Company