



Willkommen

Erdung, Potentialausgleich und Kabelschirme
...warum Fischstäbchen bei Kirchhoff
erstaunlich kühl bleiben»

Andy Caplazi
Product Manager Power Reliability

PHOENIX CONTACT AG
acaplazi@phoenixcontact.com

Alle Inhalte in dieser Präsentation, insbesondere Texte, Fotografien und Grafiken sind urheberrechtlich geschützt und alle in dieser Präsentation enthaltenen Strategien, Modelle, Konzepte und Schlussfolgerungen sind ebenfalls geistiges Eigentum von Phoenix Contact, sofern dies nicht anders, zum Beispiel durch Quellenangaben, gekennzeichnet ist. Alle in dieser Präsentation enthaltenen Informationen sind vertraulich zu behandeln. Es ist ohne vorherige schriftliche Genehmigung durch Phoenix Contact untersagt, diese Präsentation ganz oder auszugsweise zu kopieren, zu verändern, zu vervielfältigen, zu veröffentlichen, zu verbreiten oder in einer sonstigen Weise Dritten zugänglich zu machen.

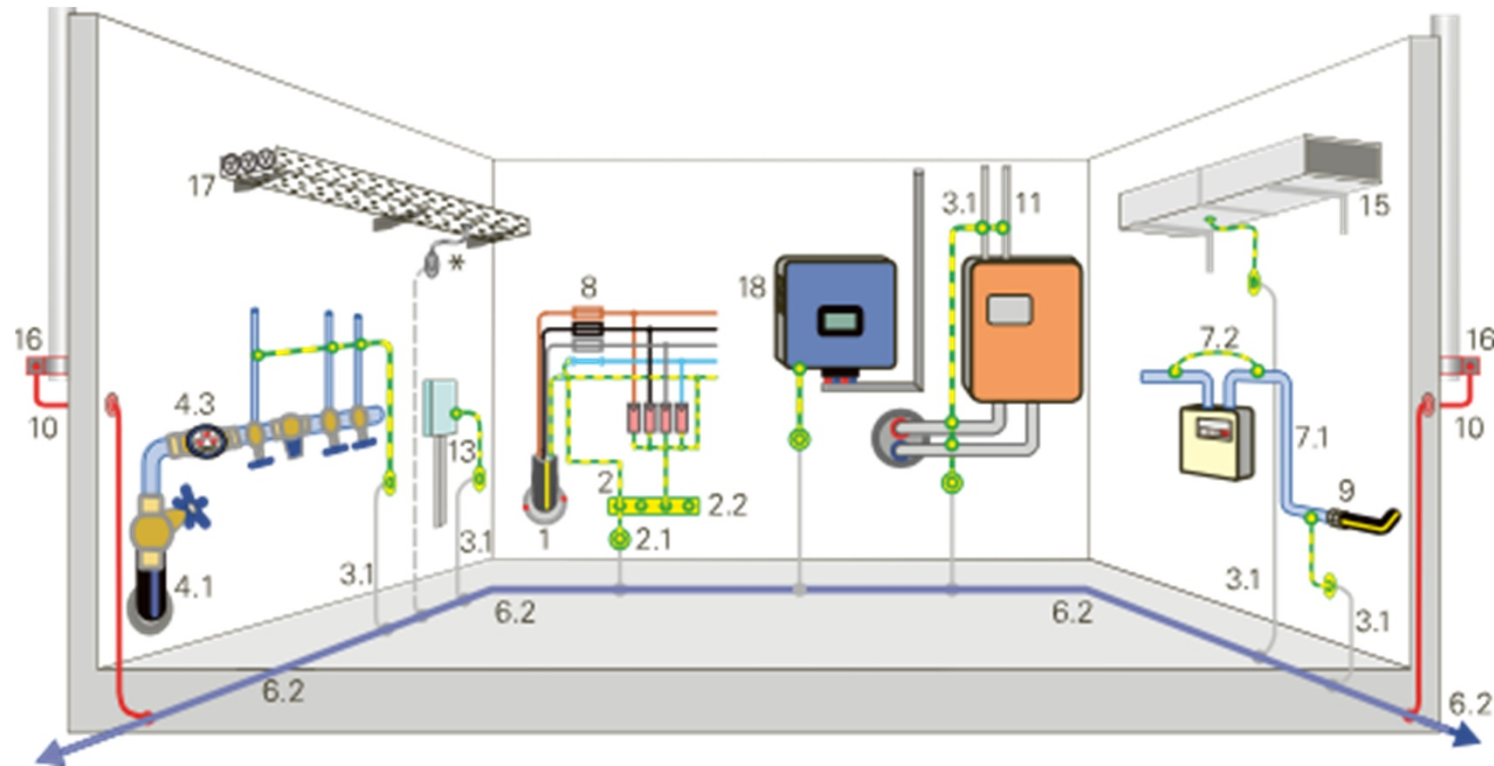
Erdung, Potentialausgleich und Kabelschirme

... am Ende ist alles eine Frage des Potenzials



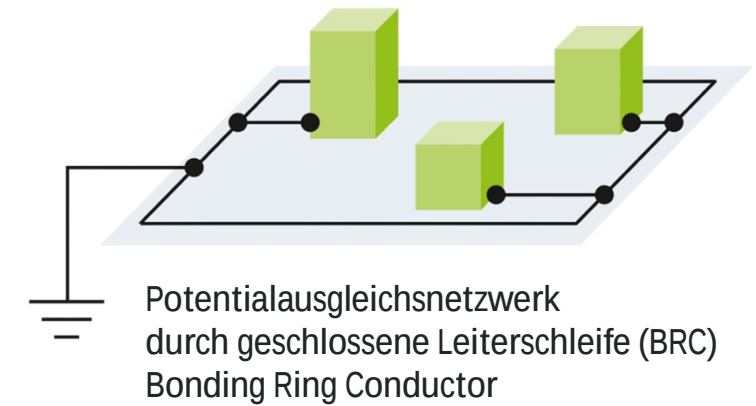
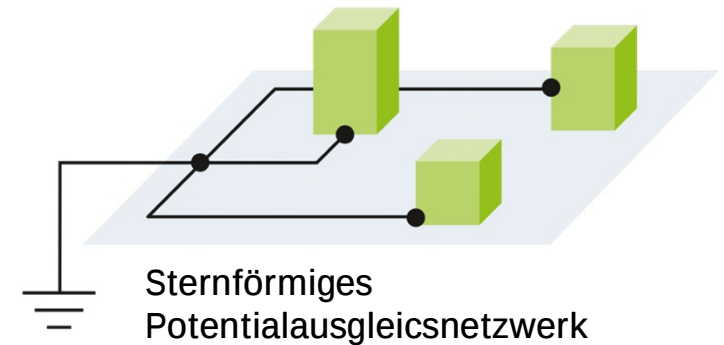
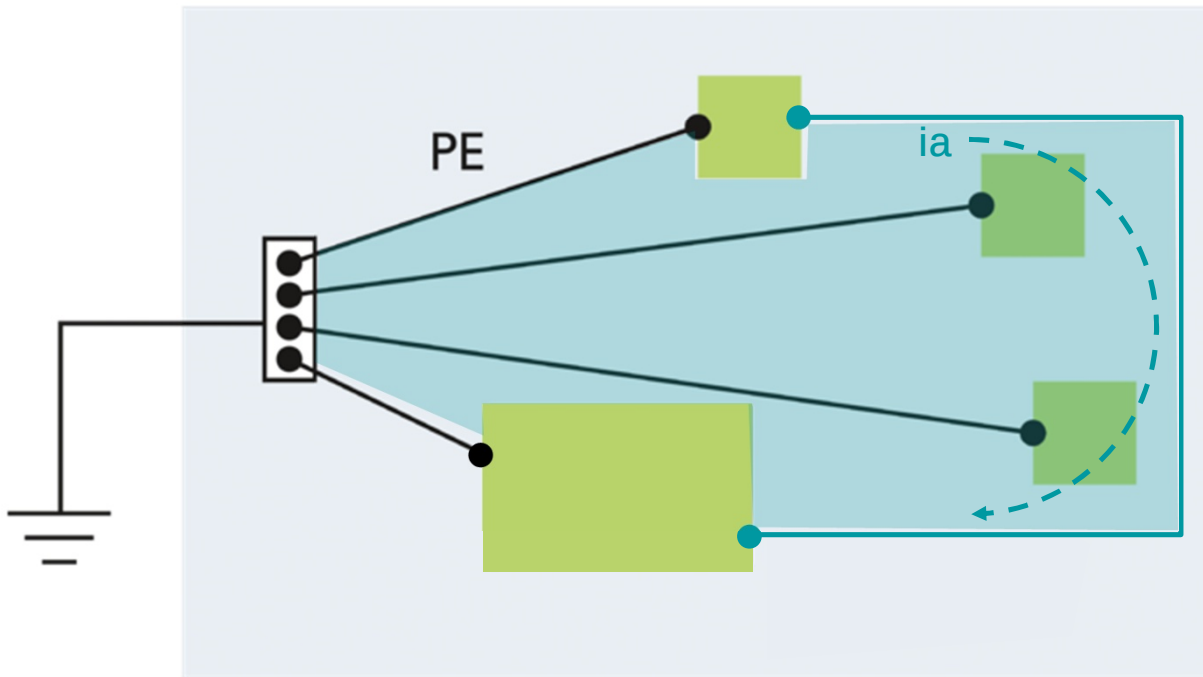
NIN 2025 4.1.1 Figur 1

Schutz-Potentialausgleich



Erdung und Potentialausgleich

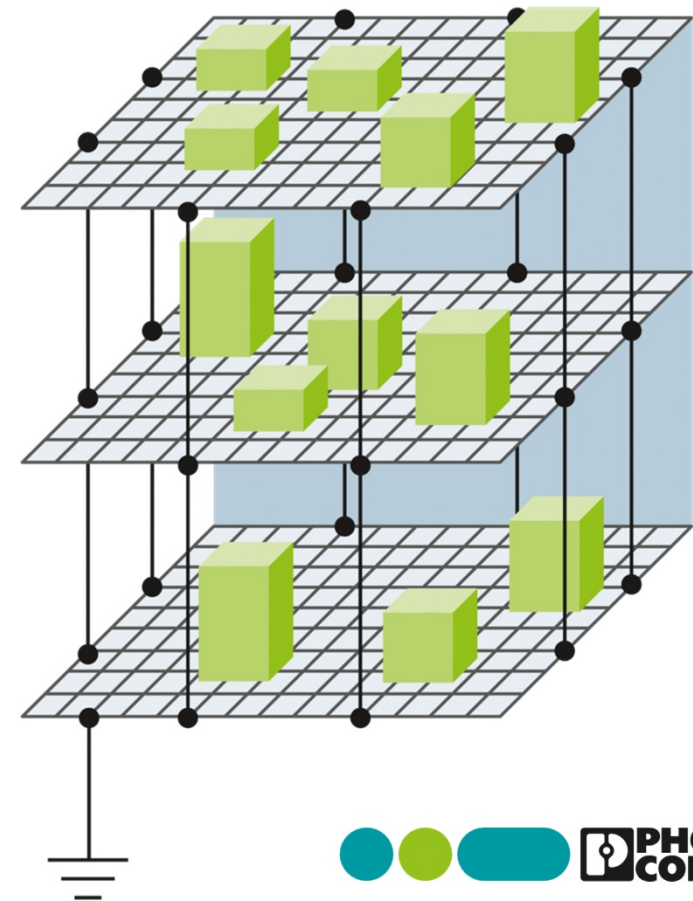
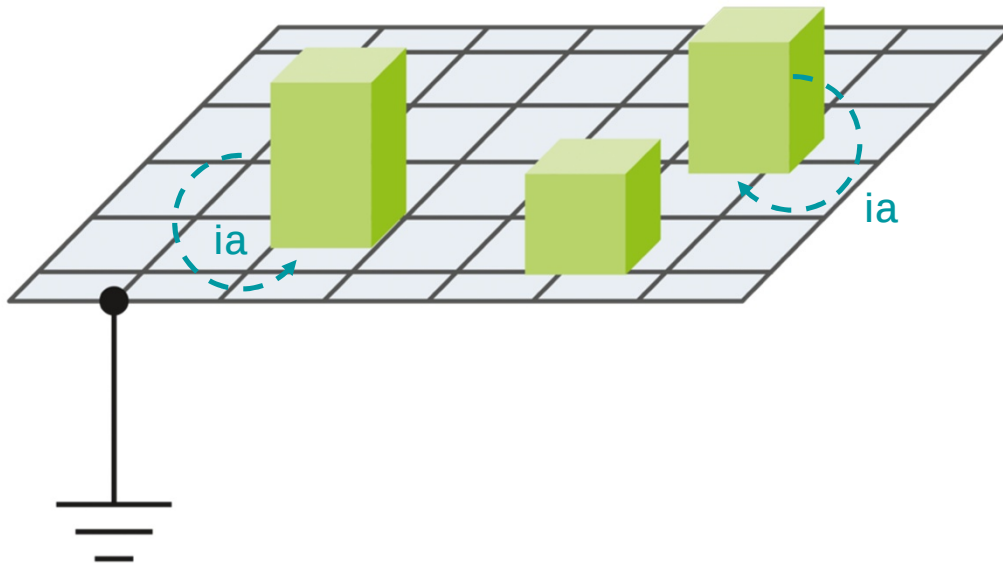
Sternförmiges Potenzialausgleichsnetzwerk



Elektromagnetische Verträglichkeit / Electromagnetic compatibility

Erdung und Potentialausgleich

Maschenförmiges Erdungs-System



Erdung und Potentialausgleich

Sternstruktur

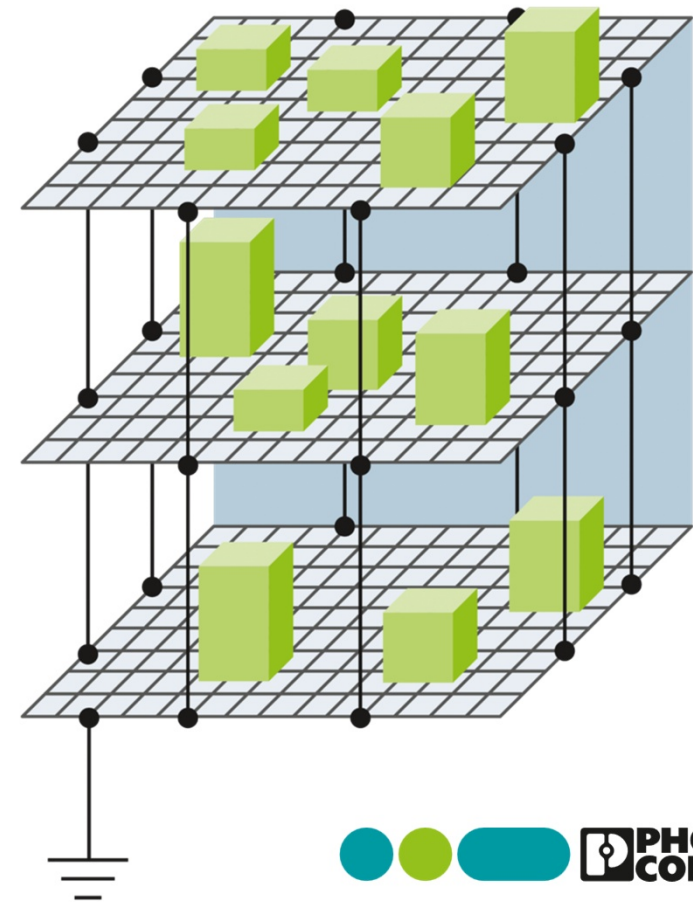
Potenzialausgleich- Systeme sollten eine sternförmige Topologie aufweisen. In der Praxis ist dies in den meisten Fällen nicht zu realisieren. Erdschleifen durch ungewollte Verbindungen zerstören die Sternstruktur, Ausgleichströme werden zu ausgedehnten Störgrössen.

Maschenstruktur

Ein eng untereinander vermenschtes Erdsystem bietet den grossen Vorteil, dass durch zufällige Verbindungen keine Störungen produziert werden können. In den engen Maschen bilden sich zwar Ausgleichströme, diese aber werden in einem niederimpedanten System keine Störungen verursachen.

Wichtig:

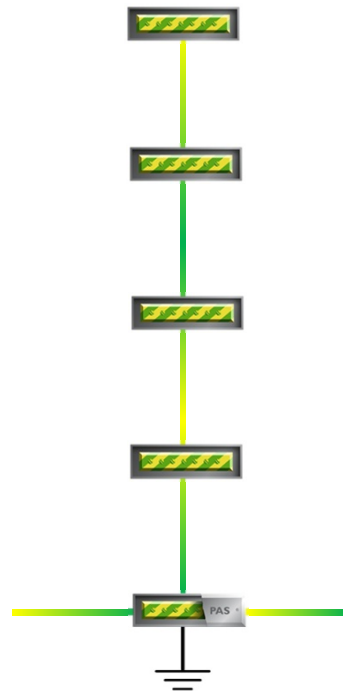
Je enger die Maschen gelegt sind, desto kleiner ist die Ausdehnung der Störgrösse. Je niederimpedant die Knotenpunkte untereinander verbunden sind, desto kleiner zeigen sich die Potenzialunterschiede.



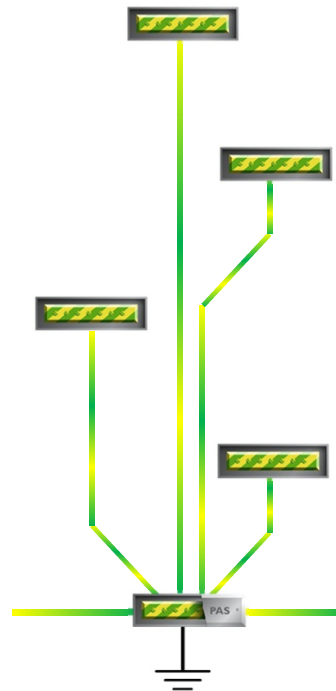
Elektromagnetische Verträglichkeit / Electromagnetic compatibility

Erdung und Potentialausgleich

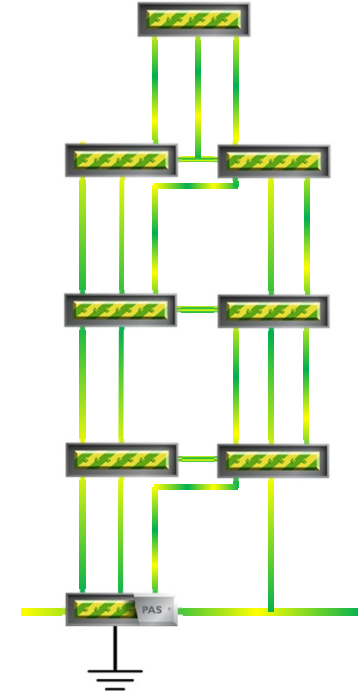
Linienförmiger-Potentialausgleich



Sternförmiger-Potentialausgleich



Maschenförmiger-Potentialausgleich



Reihenschaltung von Induktivitäten

Erdung und Potentialausgleich

Unter Blindwiderstand versteht man den Widerstand der durch sich ändernde Größen (Wechselspannung / Wechselstrom) erzeugt wird. Die Grösse des Blindwiderstandes ist abhängig von der Frequenz f der Wechselgrösse. Blindwiderstand X_L

Die Blindwiderstände werden mit Hilfe der Kreisfrequenz ω (Omega) nach folgender Formel berechnet:

$$\omega = 2 \times \pi \times f \quad 6,283$$

Die Einheit der Kreisfrequenz ω ist $1/s$

Induktiver Blindwiderstand X_L

Der Induktive Blindwiderstand X_L ist das Produkt aus Kreisfrequenz ω mal Induktivität L .

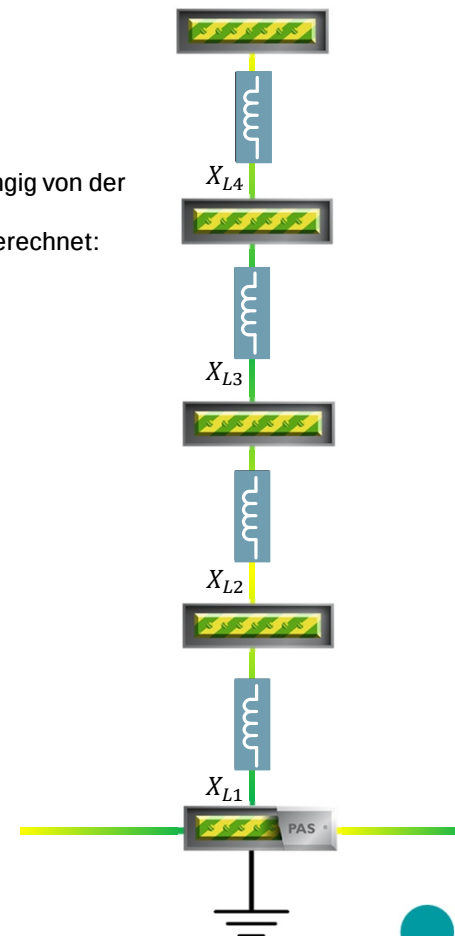
$$X_L = \omega \times L$$

$$X_L = 1/s \times V_s/A$$

$$X_L = V/A = \Omega$$

Linienförmiger-Potentialausgleich

$$X_{L\text{Ges}} = X_{L1} + X_{L2} + X_{L3} + X_{L4} \dots$$



Parallelschaltung von Induktivitäten

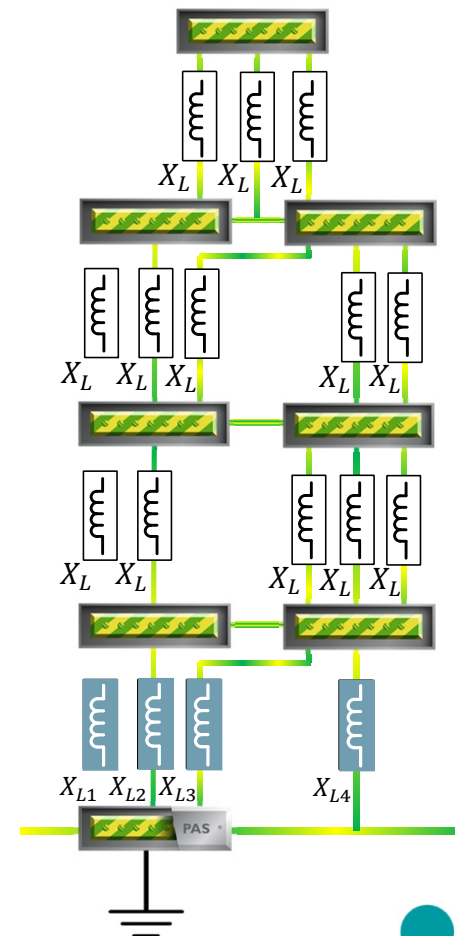
Erdung und Potentialausgleich

Parallelschaltung von Induktivitäten, im Beispiel dargestellt durch den Induktivitätsbelag der Potenzialausgleichsleiter:

Induktivitätsbelag CU Rundleiter = $1\mu H/Meter$

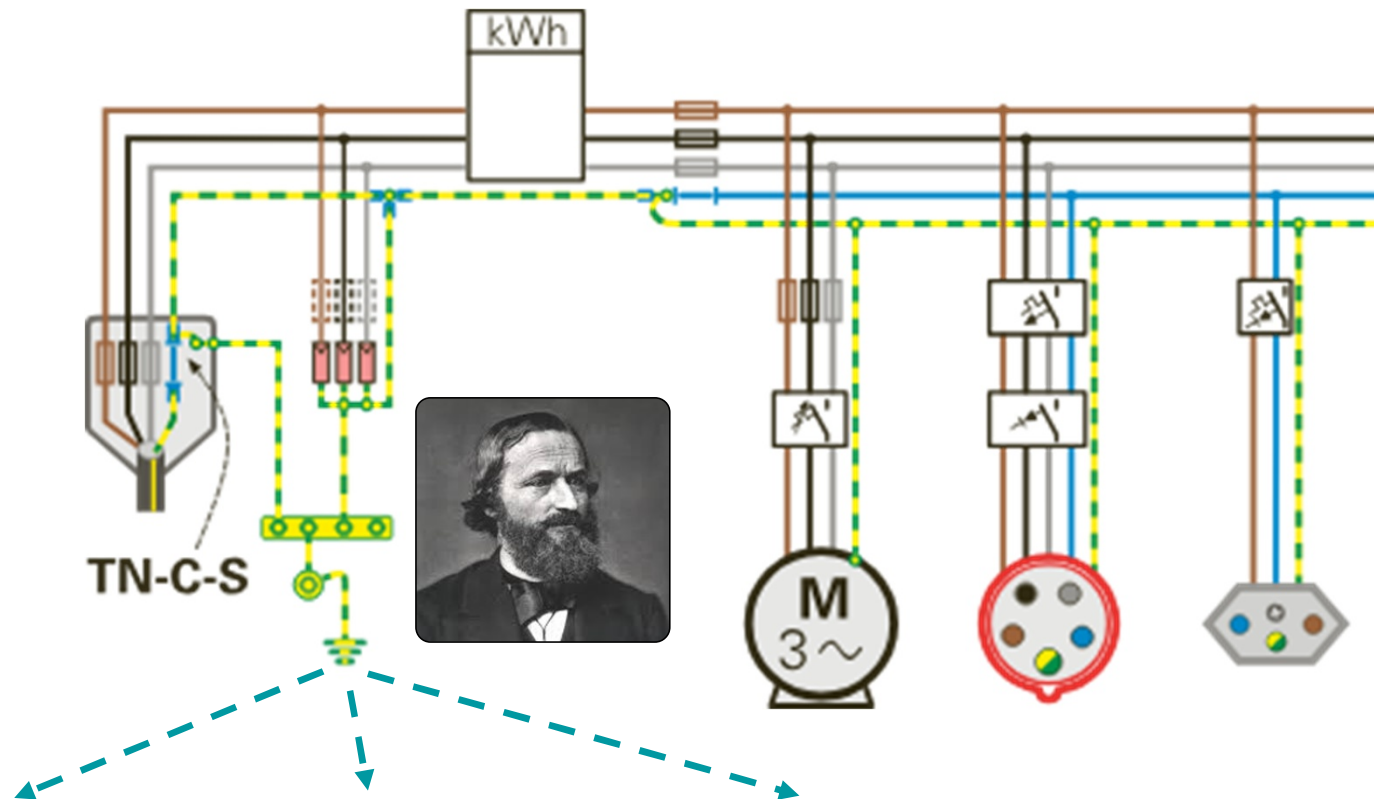
Maschenförmiger-Potentialausgleich

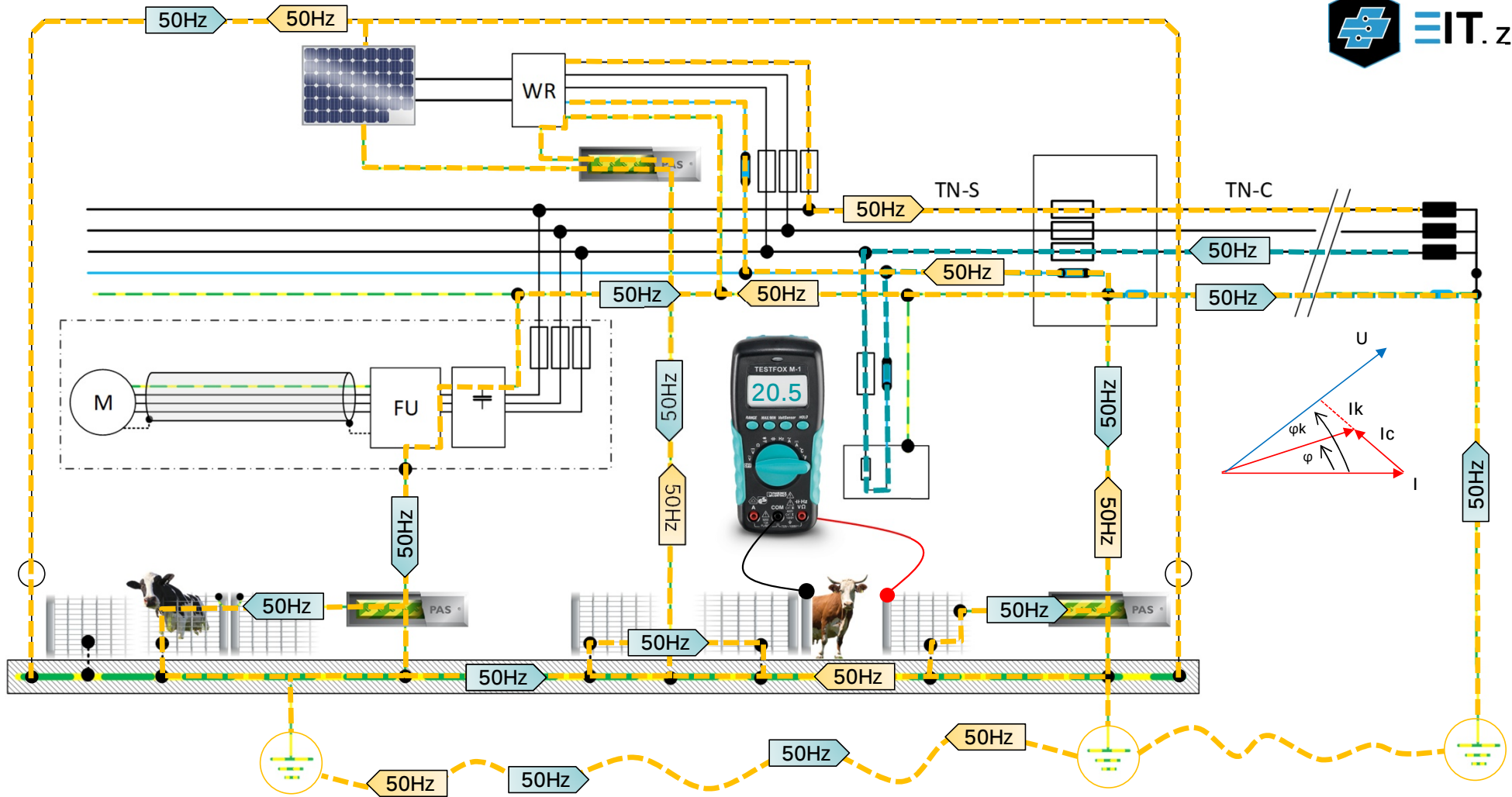
$$\frac{1}{X_{L\text{ Ges}}} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}} + \frac{1}{X_{L4}} \dots$$



NIN 2025 4.1.1 Figur 8

Neutralleiter, Schutzleiter und PEN-Leiter im System TN-C-S





Falsch! (galvanische Kopplung durch gemeinsame Bezugsleiter)

Bezugsleiter- Systeme

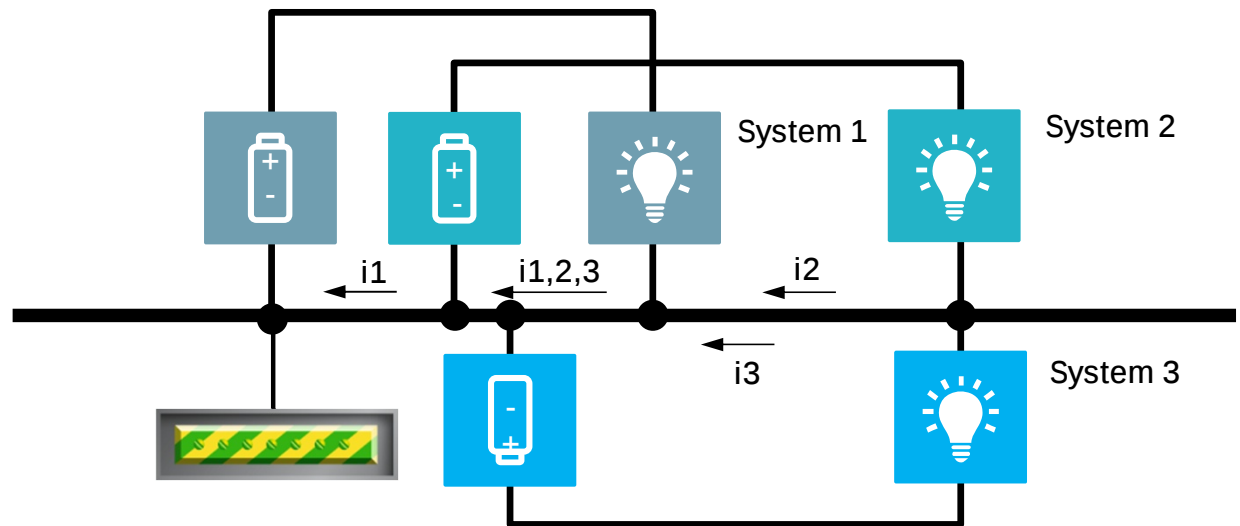
Falsche Installation!
(Galvanische Kopplung durch gemeinsam benutzte Bezugsleiterteile.)

Als Bezugsleiter sind grundsätzlich Leiter anzusehen, auf die die Potentiale anderer Leiter, vor allem die Signalleiter, bezogen sind.

Bezugsleiter im Leistungsnetz:
Mittelpunkt, N-50V, N-400V, N-380V, Stromrückführungen im gleichen Stromnetz.

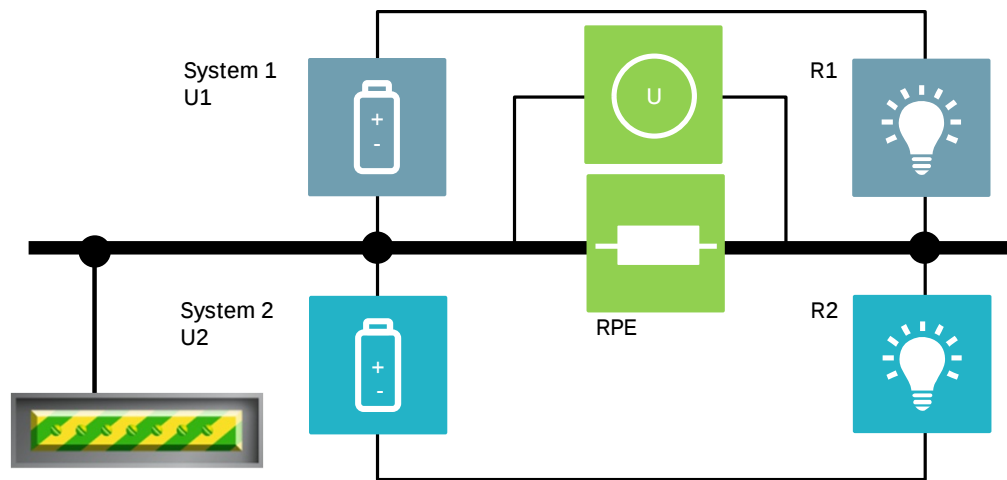
Bezugsleiter MSR:
0V, GND (ground)
CR (current return)

Die Gesamtheit aller Bezugsleiter bildet ein Bezugsleitersystem.



Helmholzsche Überlagerung

Bezugsleiter- Systeme



Der Helmholtzsche Überlagerungssatz gilt für alle von mehreren Strömen gleichzeitig durchflossenen Stromwege.

«Erde» ist auch ein Stromweg!
 «Masse» –Systeme sind auch Stromwege
 «geerdete Bezugsleiter» sind auch Stromwege
 «Kabelschirme» sind auch Stromwege

In diesen geschlossenen „Schleifen“ fließt unabhängig von deren Betriebszustand ein „Fremdstrom“!

$$I = I_1 + I_2$$

$$U = R \times I$$

$$U = R \times (I_1 + I_2)$$

Die **Spannung** an einem von mehreren Strömen durchflossenen Widerstand ergibt sich aus dem Produkt Widerstandes und der Summe der ihn durchfließenden Ströme.

Richtig! (keine galvanische Kopplung durch gemeinsame Bezugsleiter)

Bezugsleiter- Systeme

Richtige Installation !

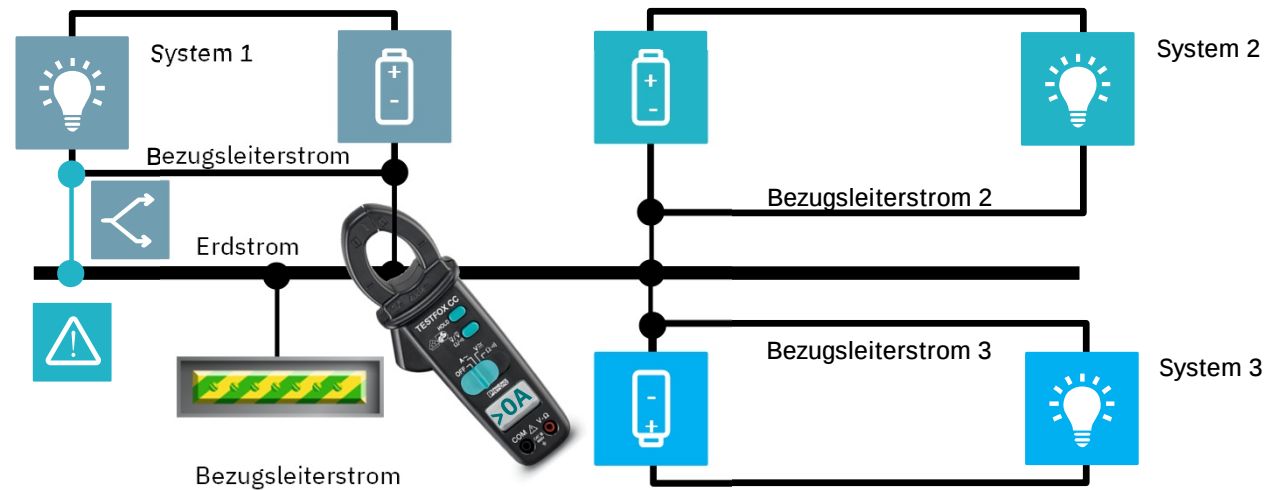
Für jeden Bezugsleiter von unterschiedlichen Netzen ist ein getrennter Kreis aufzubauen, welcher von anderen Bezugsleiter-Kreisen isoliert zu führen ist.

Jeder Bezugsleiter soll nach Möglichkeit in Form eines einfachen Sterns aufgebaut sein.

Bezugsleiter werden nur einmal auf einen Erdbezug gelegt. (niederimpedante Verbindung direkt an der Spannungsquelle.)

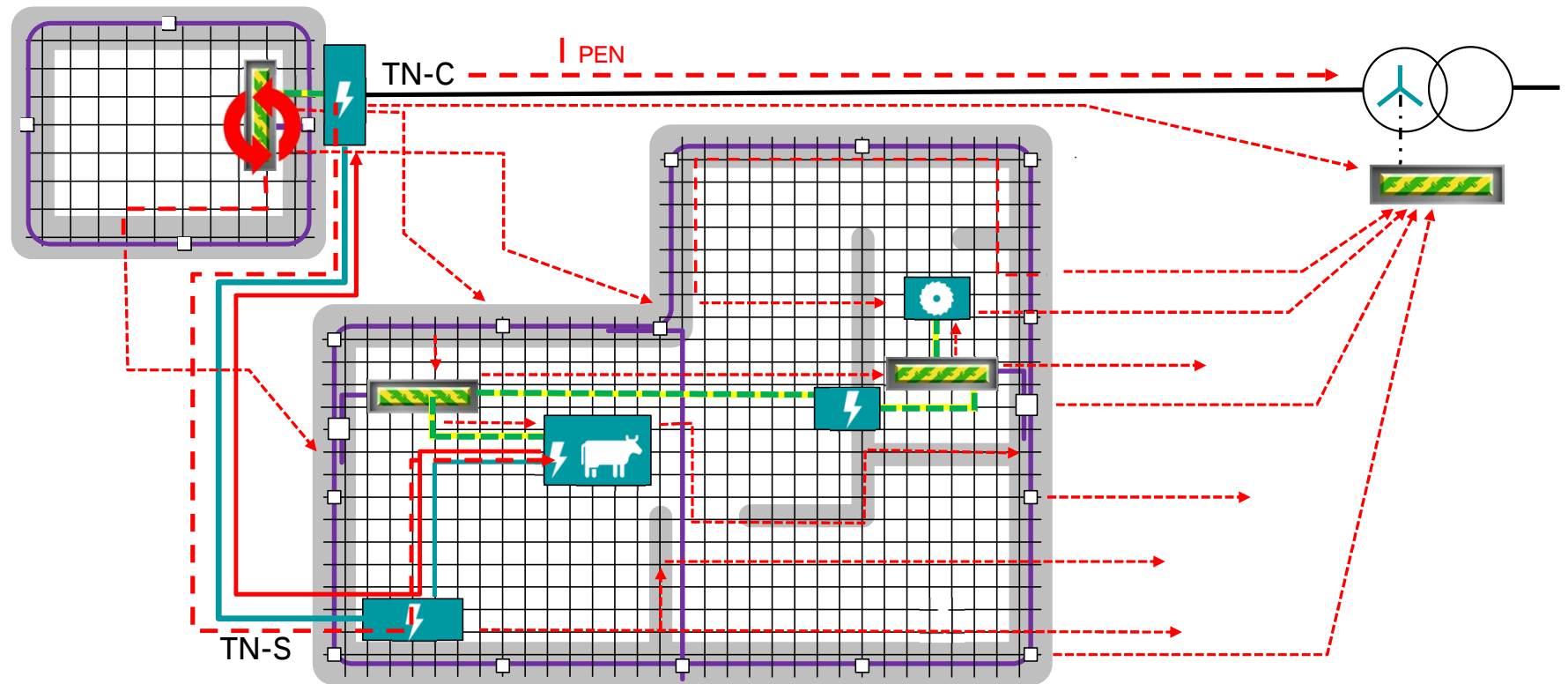
Die ohmschen und induktiven Anteile der Bezugsleiterimpedanzen sind so klein wie möglich zu halten.

Bei Signalübertragungen zwischen Baugruppen, die unterschiedlichen Bezugsleiterkreisen angehören, ist grundsätzlich eine galvanische Trennung vorzusehen.



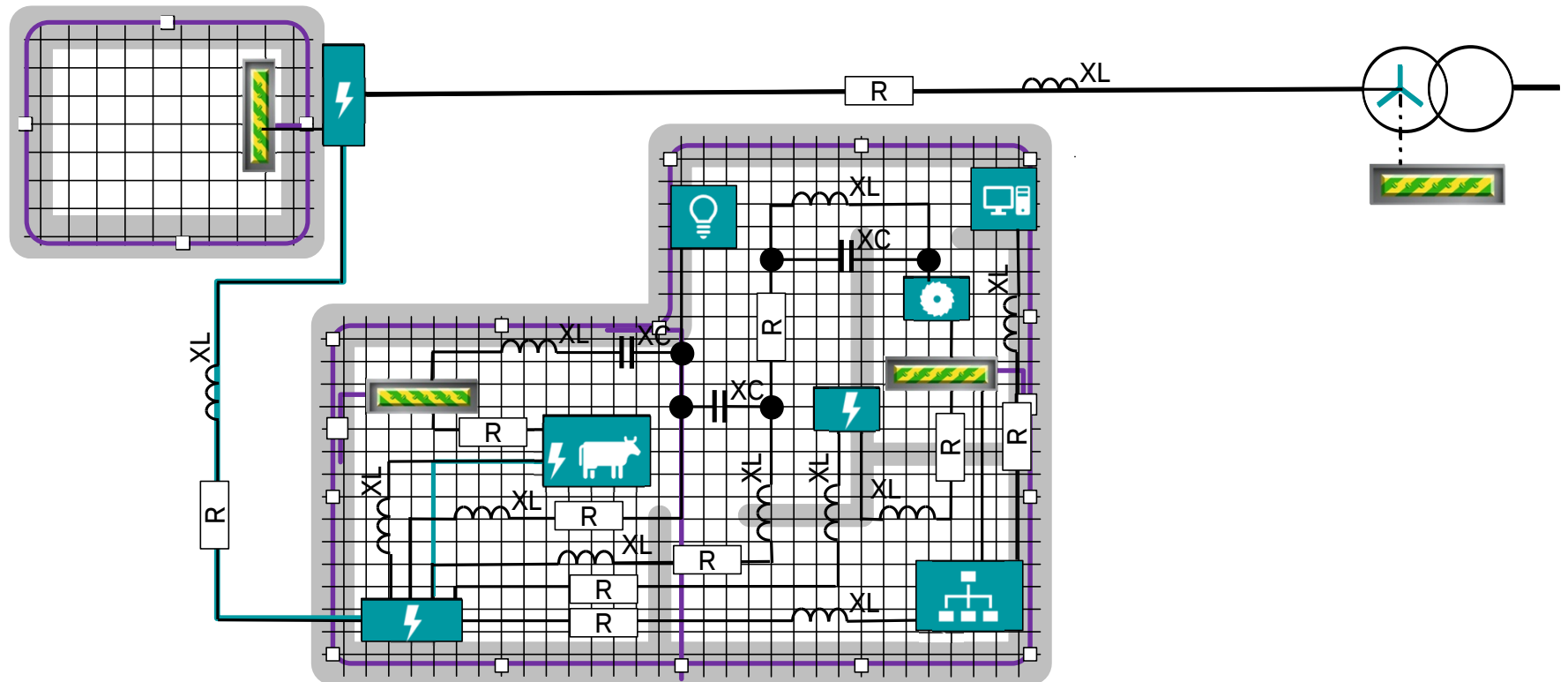
SN 414113:2024

Fundamenterder



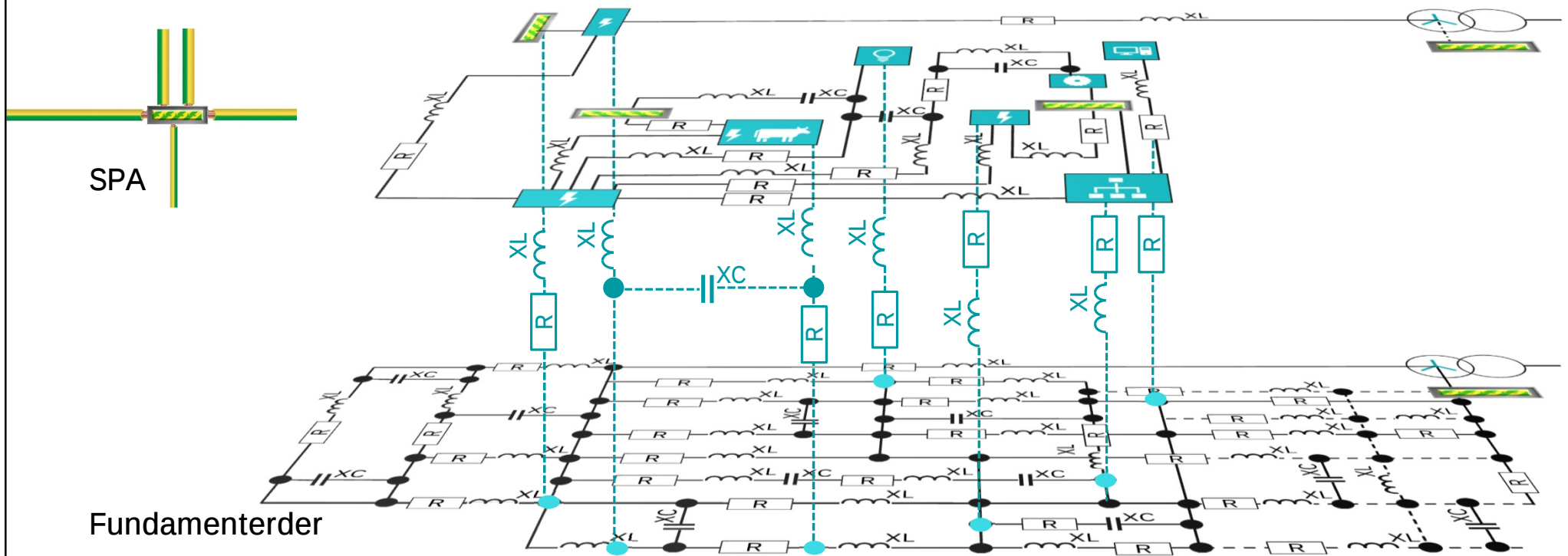
NIN 2025 4.1.1.3.1

Impedanzen über dem Schutzleiter/SPA-Leiter



Die Erdungsanlage

Impedanzen über dem Schutzleiter/SPA-Leiter/ Fundamenterder



PE

Blitzschutzanlage

Weidezaun

Melkanlage

Schrittspannung

TESTFOX M-1

~60V

RANGE MAX MIN VoltSensor HOLD

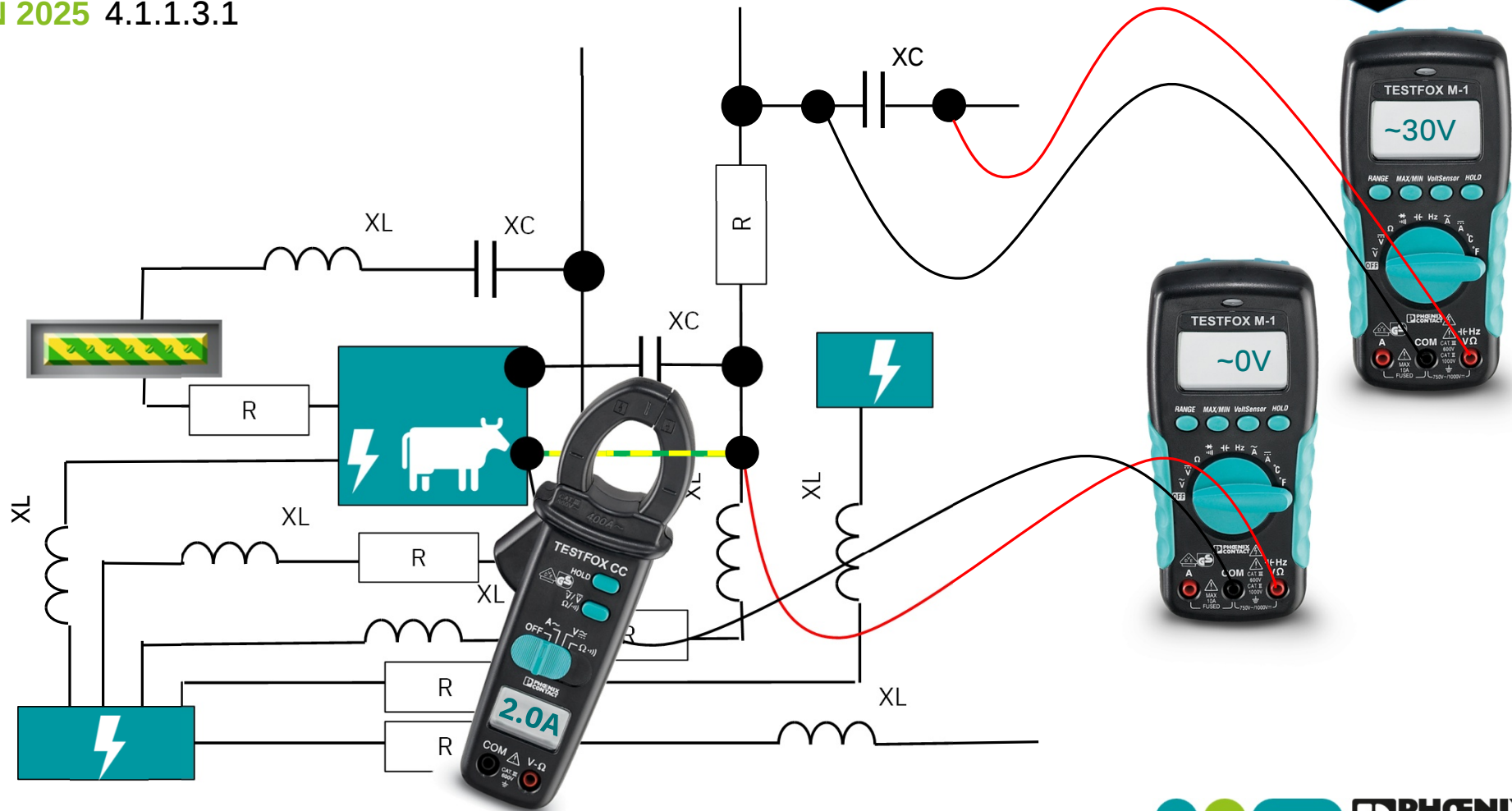
COM

10A FUSED

100V-1000V

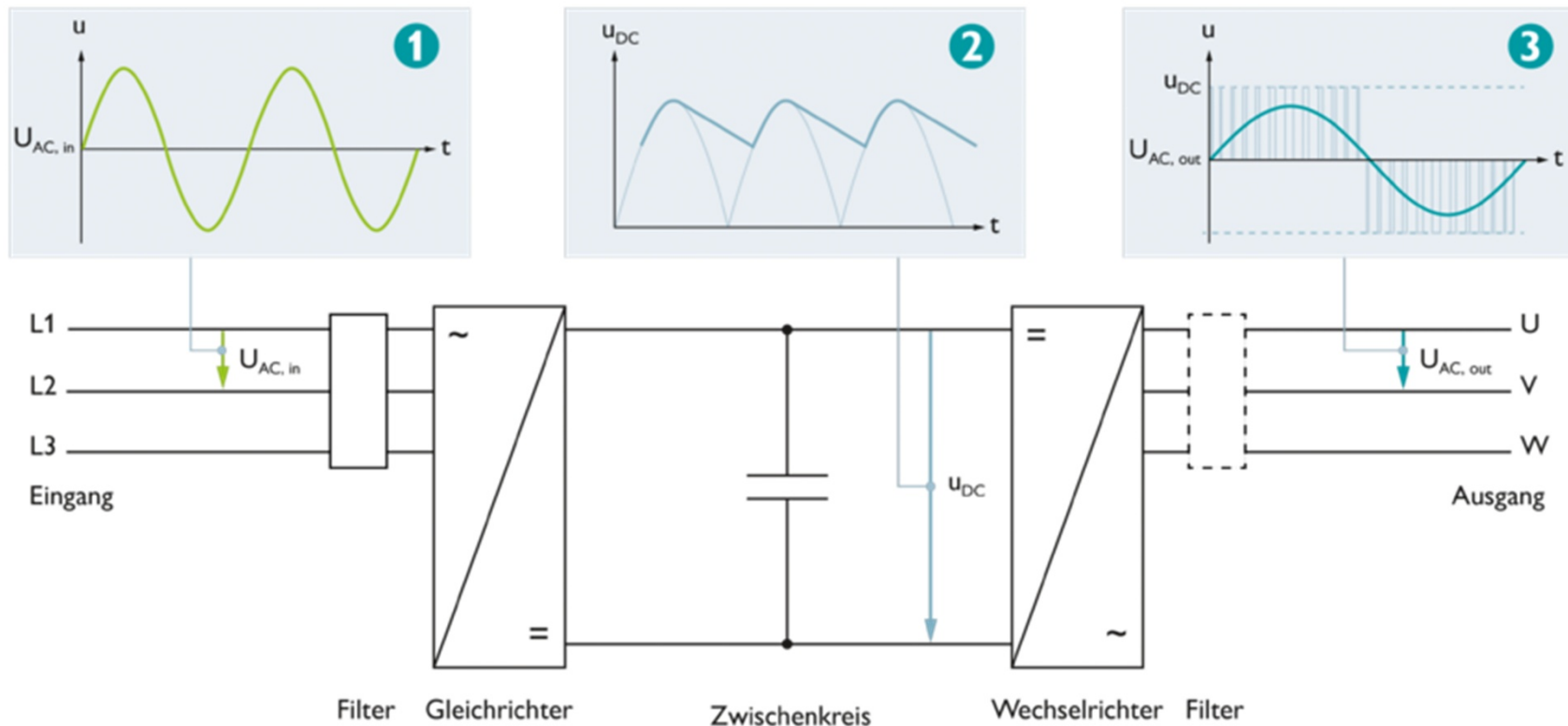
100V-1000V

NIN 2025 4.1.1.3.1



Die Frequenz beeinflusst die Impedanz Z

Der Frequenzumrichter eine mögliche Störgrösse



Grundlagen der Abschirmung

Schirmdämpfung [as] (Absorption und Reflexion)

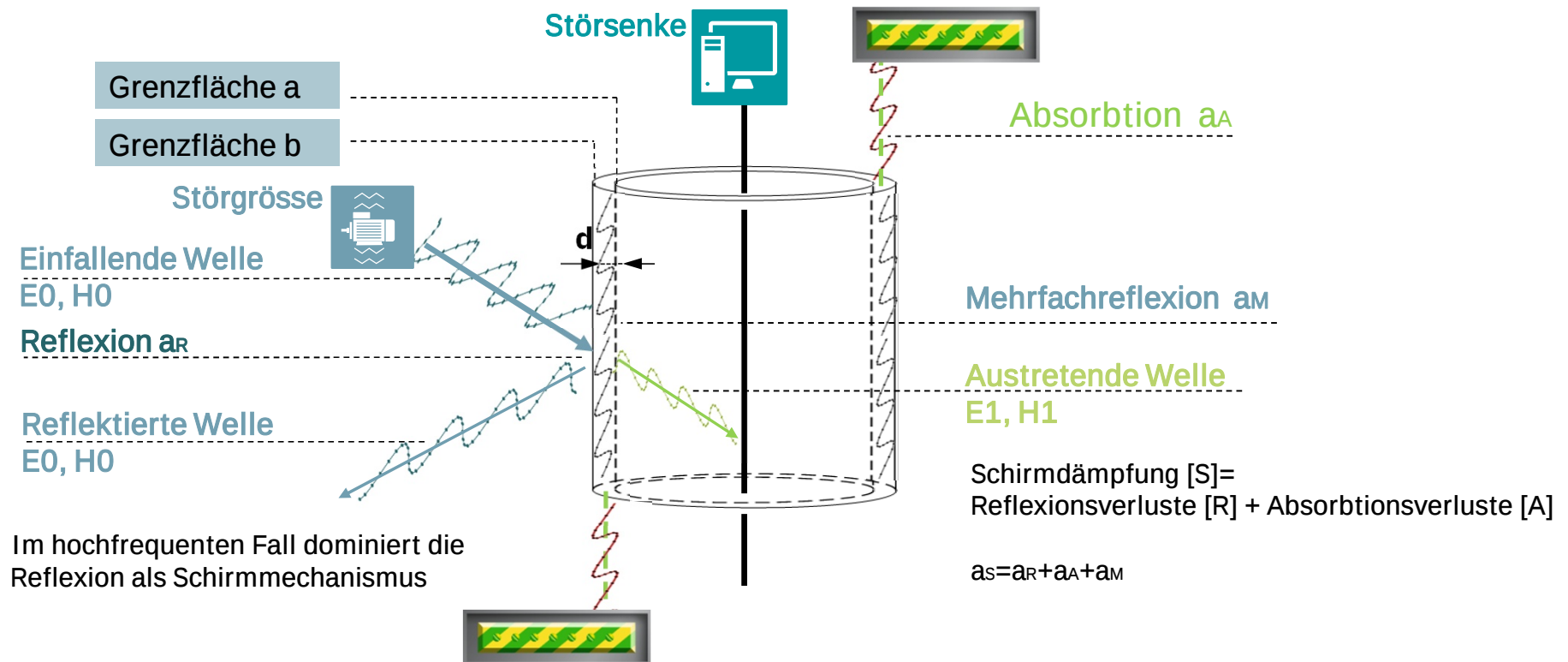
Frequenz	50Hz	1kHz	300kHz	100MHz
Magnet-Feld (H-Feld)	Magnetische Materialien (Magnetostatische Schirme) Suppermalloy, Mumetall, Grauguss, C-Stahl		Unmagnetische Materialien (Wirbelstrom-Schirme) Al, Cu, Ms (auch C-Stahl)	
Elekt .-Feld (E-Feld)	Elektrisch gut leitende Materialien Al, Cu, Ms, (auch C-Stahl)			

Die Abschirmung beruht auf Reflexion und Absorption des Störfeldes. Absorptions- und Reflexionsdämpfung addieren sich, wobei die Reflexionsdämpfung stark von der geometrischen Anordnung abhängig ist.



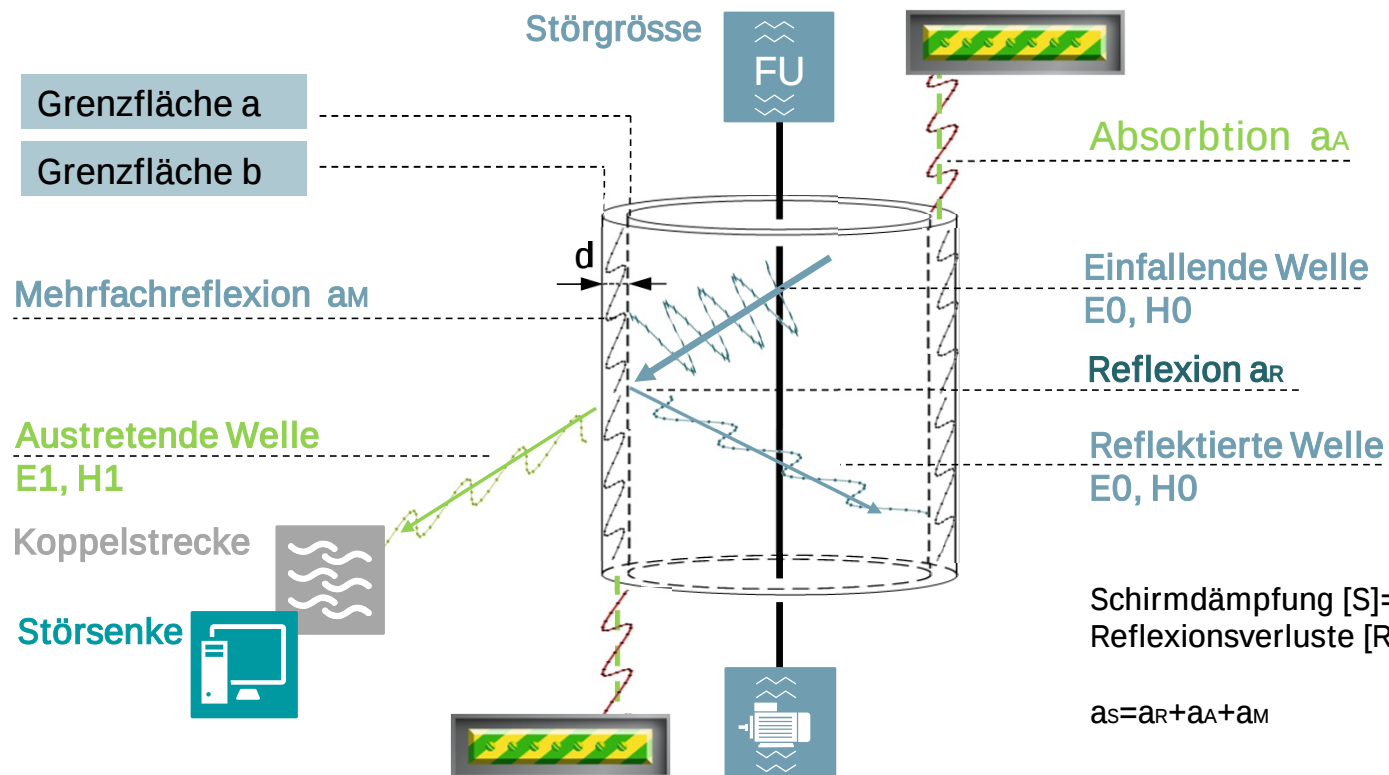
Grundlagen der Abschirmung

Schirmdämpfung [as] (Absorption und Reflexion)



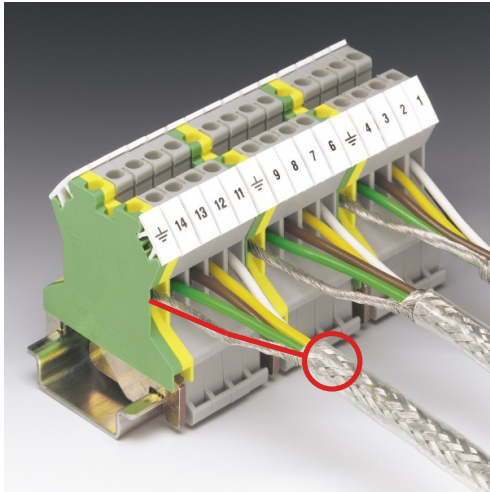
Grundlagen der Abschirmung

Schirmdämpfung [as] (Absorption und Reflexion)



Grundlagen der Abschirmung

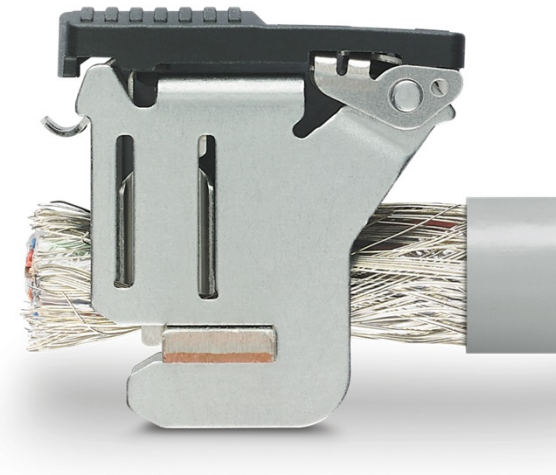
Schirmung/ Transferimpedanz Ω/m



Pigtails (Schweineschwanz- Technik)

Impedanz des Pigtails:

$$\begin{aligned} L &\sim 10\text{nH/cm} \\ XL &= 2\pi fL \end{aligned}$$



(Schirmanschluss über SK-Klemmen)

Schirm immer grossflächig auflegen, entweder mit einer Schirmbride oder einem geeigneten Konnektor

Grundlagen der Abschirmung

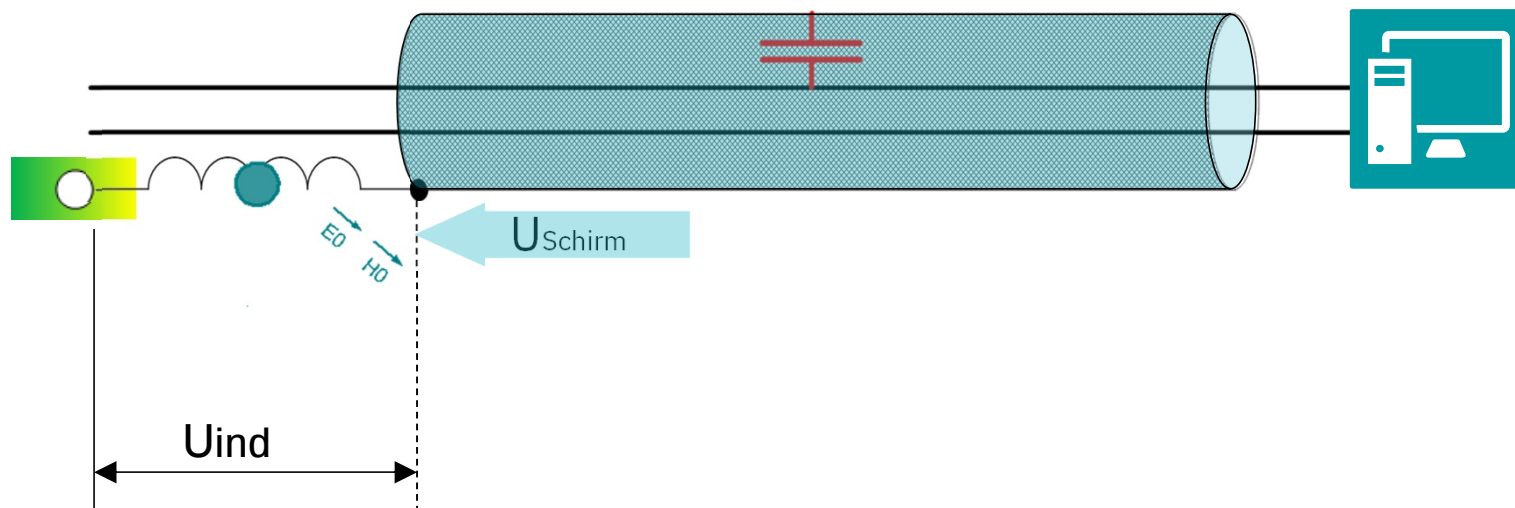
Schirmung/ Transferimpedanz Ω/m

(Störabstrahlung)

Ab einer bestimmten Frequenz wirkt das Pictail als Störantenne

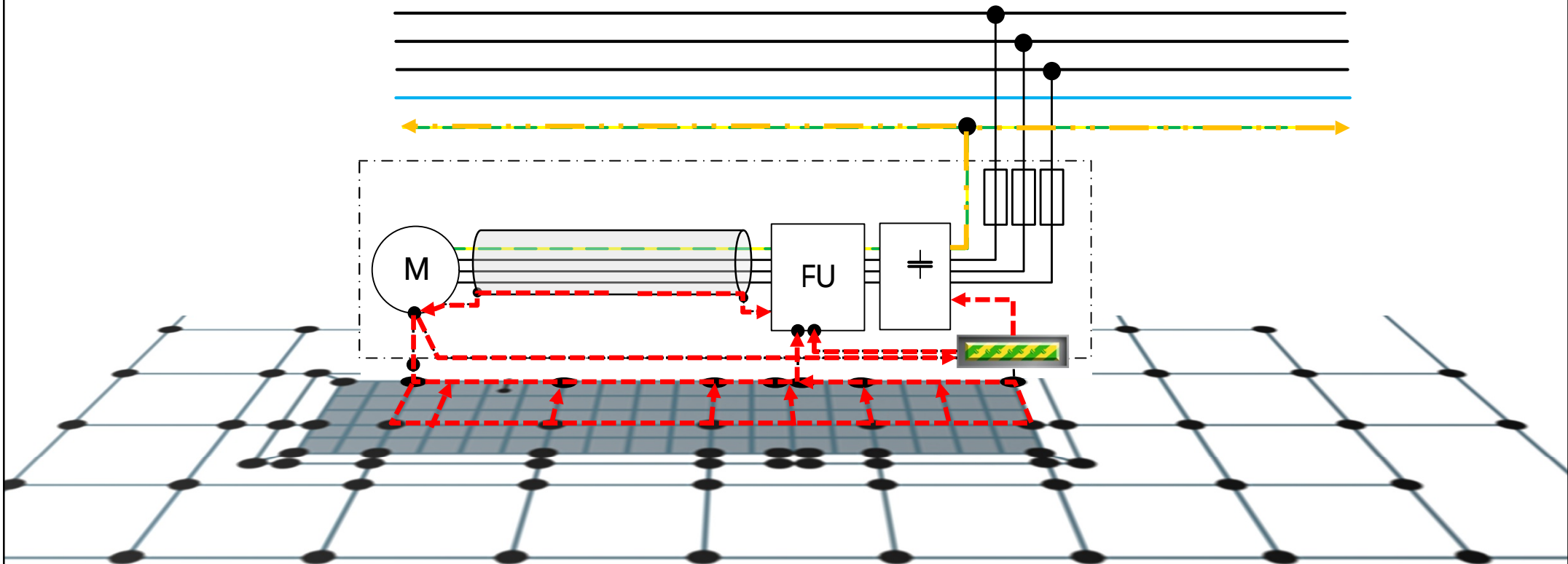
(Kapazitive Kopplung)

Kopplung über der gesamten Kapazität des Schirms

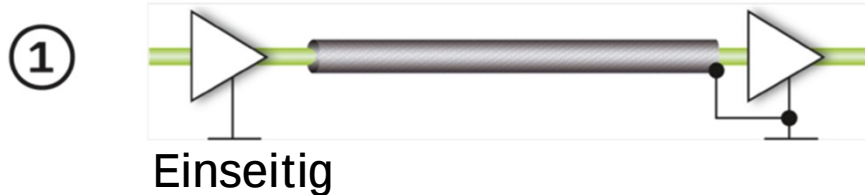


Die Frequenz beeinflusst die Impedanz Z

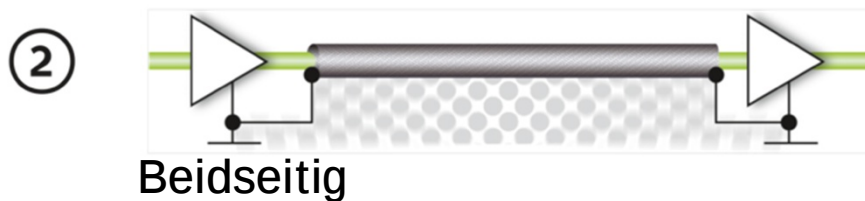
Der Frequenzumrichter eine mögliche Störgrösse



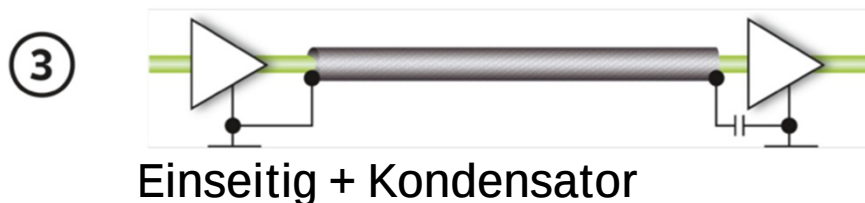
Die Applikation bestimmt die Schirmbehandlung



- ü Kapazitive Einkopplungen werden gegen Erde abgeleitet.
- o kein Schutz gegen induktive Einkopplungen!
- o wenig Wirkung bei hohen Frequenzen



- ü Kapazitive Einkopplungen werden gegen Erde abgeleitet.
- ü Induktive Einkopplungen werden reduziert



- ü Kapazitive Einkopplungen werden gegen Erde abgeleitet.
- ü Schutz gegen induktive HF-Einkopplungen
- o Kein Schutz gegen niederfrequente induktive Einkopplungen!



Danke

Erdung, Potentialausgleich und Kabelschirme

Andy Caplazi
Product Manager Power Reliability

PHOENIX CONTACT AG
acaplazi@phoenixcontact.com

AI MODIFIED