



Markus Gehrig

MG Power Engineering AG,
Mitglied diverser Normengremien,
Fachautor und Publizist, Dozent

Referat

Praxisbeispiele und Ausführungen zum Handbuch «Elektrische Anlagen gemäss Starkstromverordnung»

Markus Gehrig

MG Power Engineering AG

Co-Autor

Themen

1. ZEP und 3- oder 4-polige Schalter und USV
2. Kabelbelastung und Mehrfachleitungen parallel
3. Kabelbinder, Kräfte und Gurten (S. 46)

Zentraler Erdungspunkt

- Mit 3-poligen und mit 4 poligen Schaltern
- Nachteile der 4-poligen Schalter
- USV-Anlagen

7.3.1 3-polige Schalter

Niederspannungsnetzeinspeisung mit/ohne Generator: ZEP am Anschlusspunkt

Prinzipschema Erdung mit NS-Einspeisung VNB

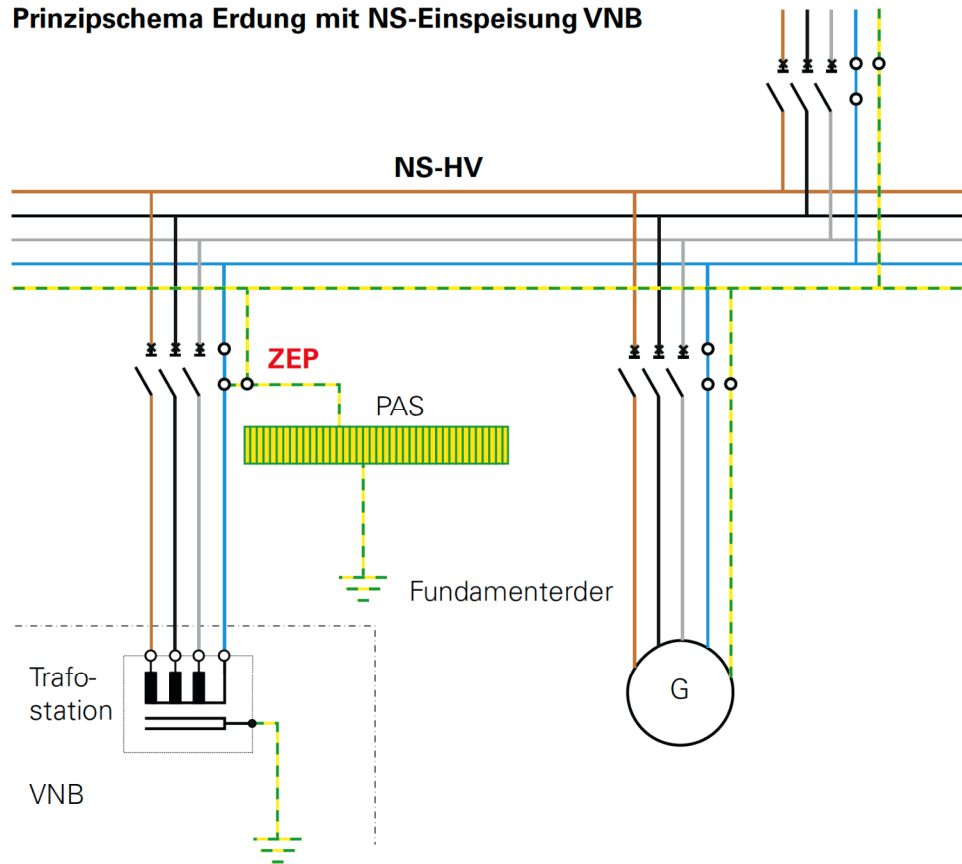
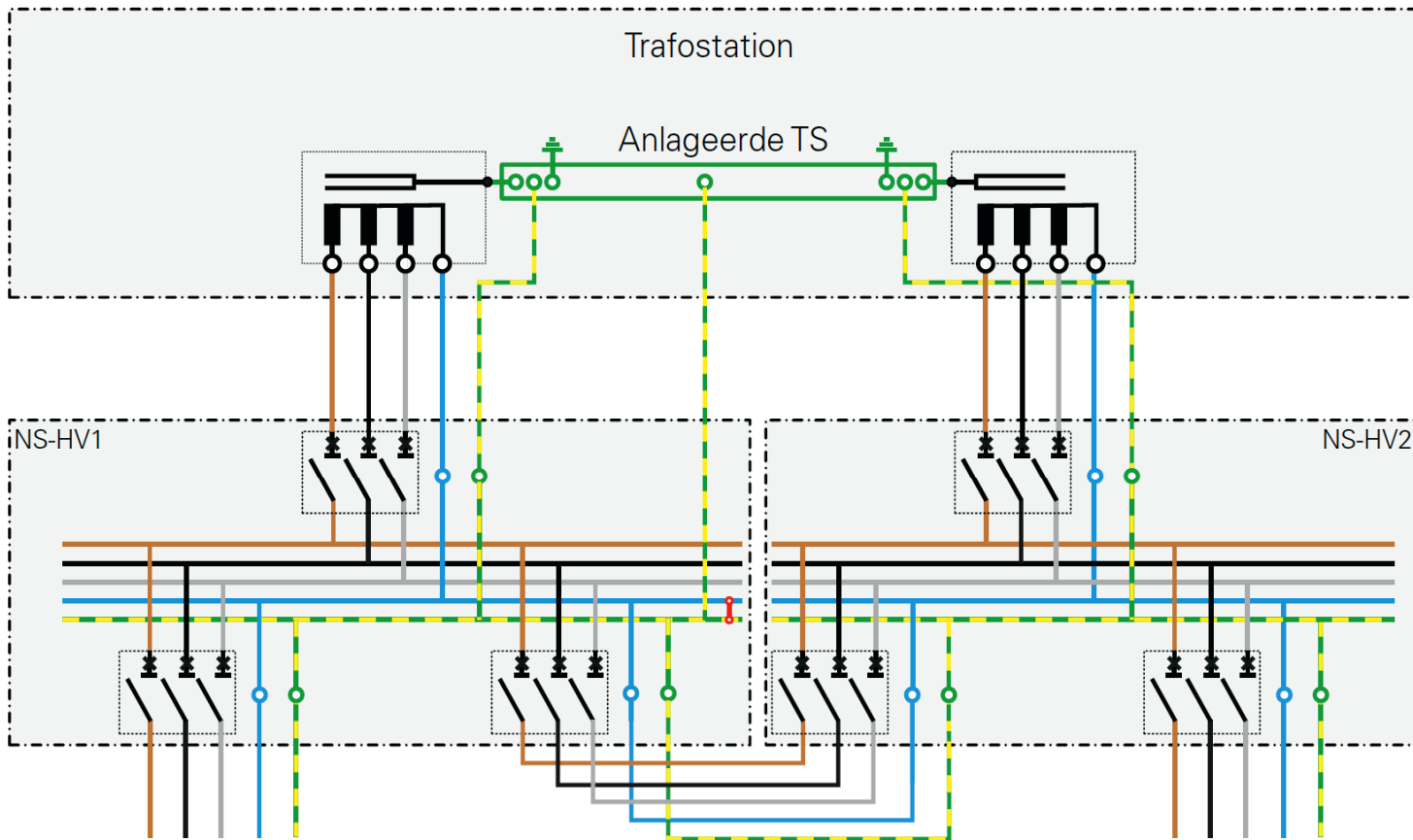


Abbildung 84

Legende

EV	Etagenverteiler
NEA	Netzersatzanlage
Netzschalter	Schalter, der die Normalnetzspeisung mit der Notnetz-schiene verbindet
Generatorschalter	Schalter, der den Generatorschutz enthält und den Generator mit der Notnetzschiene verbindet
Kuppelschalter	Schalter, der zwei Systeme miteinander verbindet



Grundsätze (bei mehreren Sternpunkten):

1. Der Neutralleiter ist in jeder Speisungsart (Netz-, Parallel und Inselbetrieb) an Erde gelegt (Personensicherheit)
2. Der Neutralleiter ist in der jeweiligen Speisungsart immer nur an einer einzigen Stelle geerdet (Beeinflussung anderer Geräte und Anlagen)

Speisung aus einer Trafostation mit zwei Trafos, die parallelgeschaltet werden können

Abbildung 85: Zentraler Erdungspunkt bei Speisung aus TS

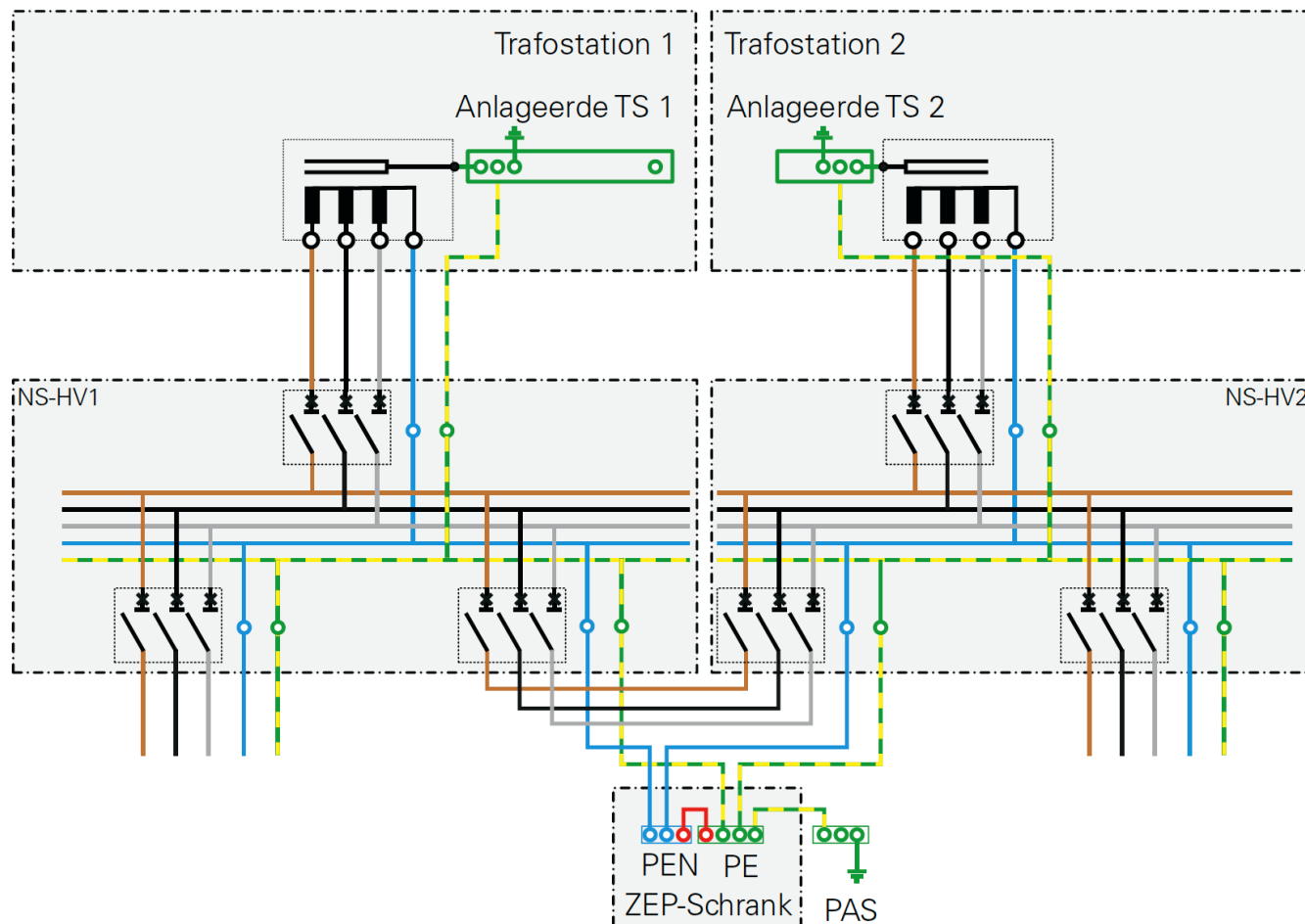


Abbildung 86: Zentraler Erdungspunkt bei Speisung aus TS mit separatem ZEP-Schrank

Speisung aus zwei Trafostationen
(gleich lange Zuleitungen), die
parallelgeschaltet werden können
(Variante mit separatem ZEP-Schrank)

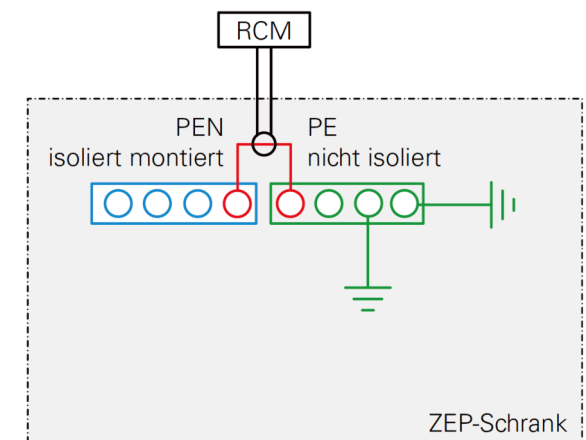
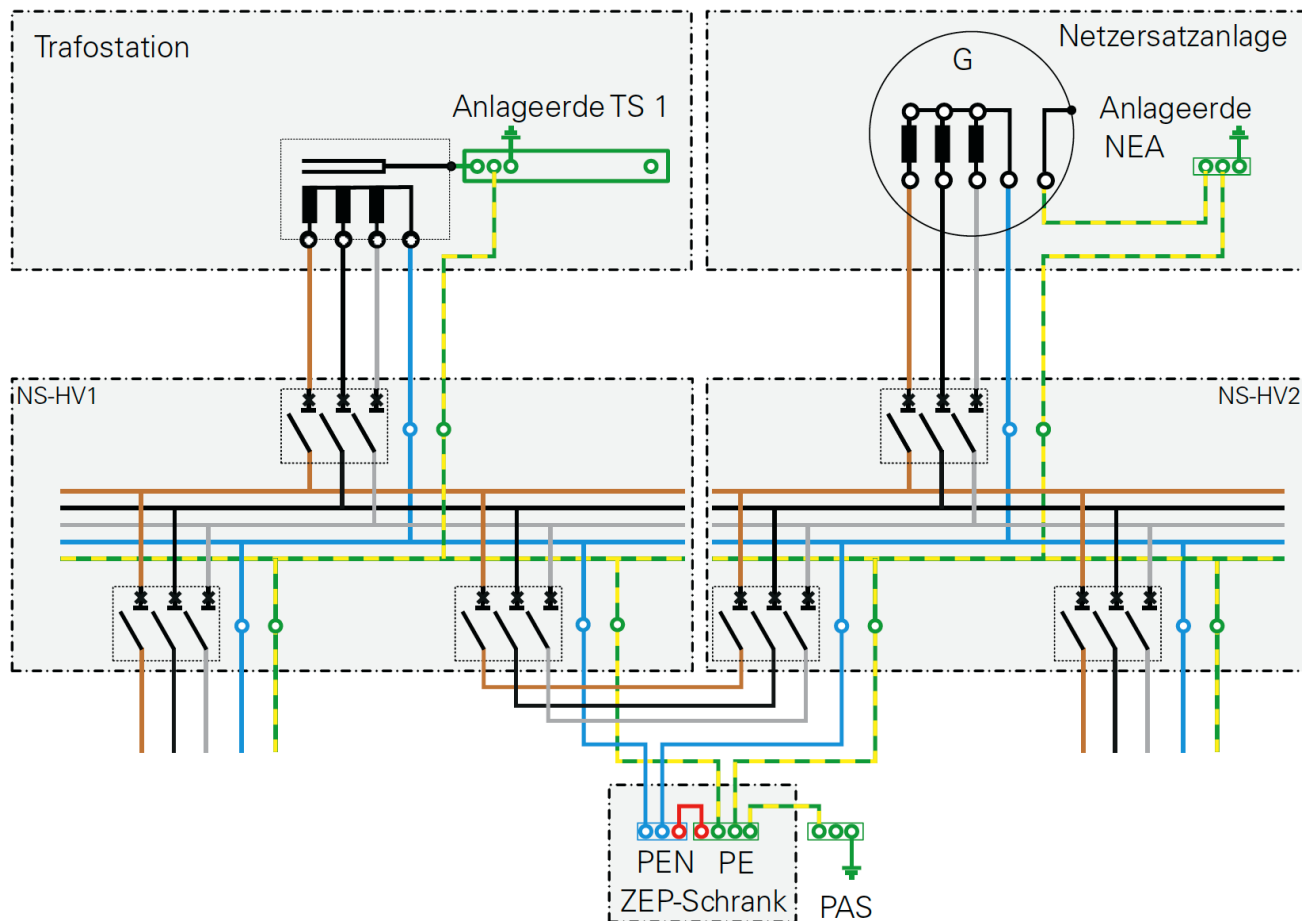


Abbildung 89



Einspeisung aus Trafostation und aus Generator. Parallelschaltung möglich, Standort des Generators ist egal (Variante mit separatem ZEP-Schrank)

Abbildung 87: Zentraler Erdungspunkt bei Speisung aus TS und Generator

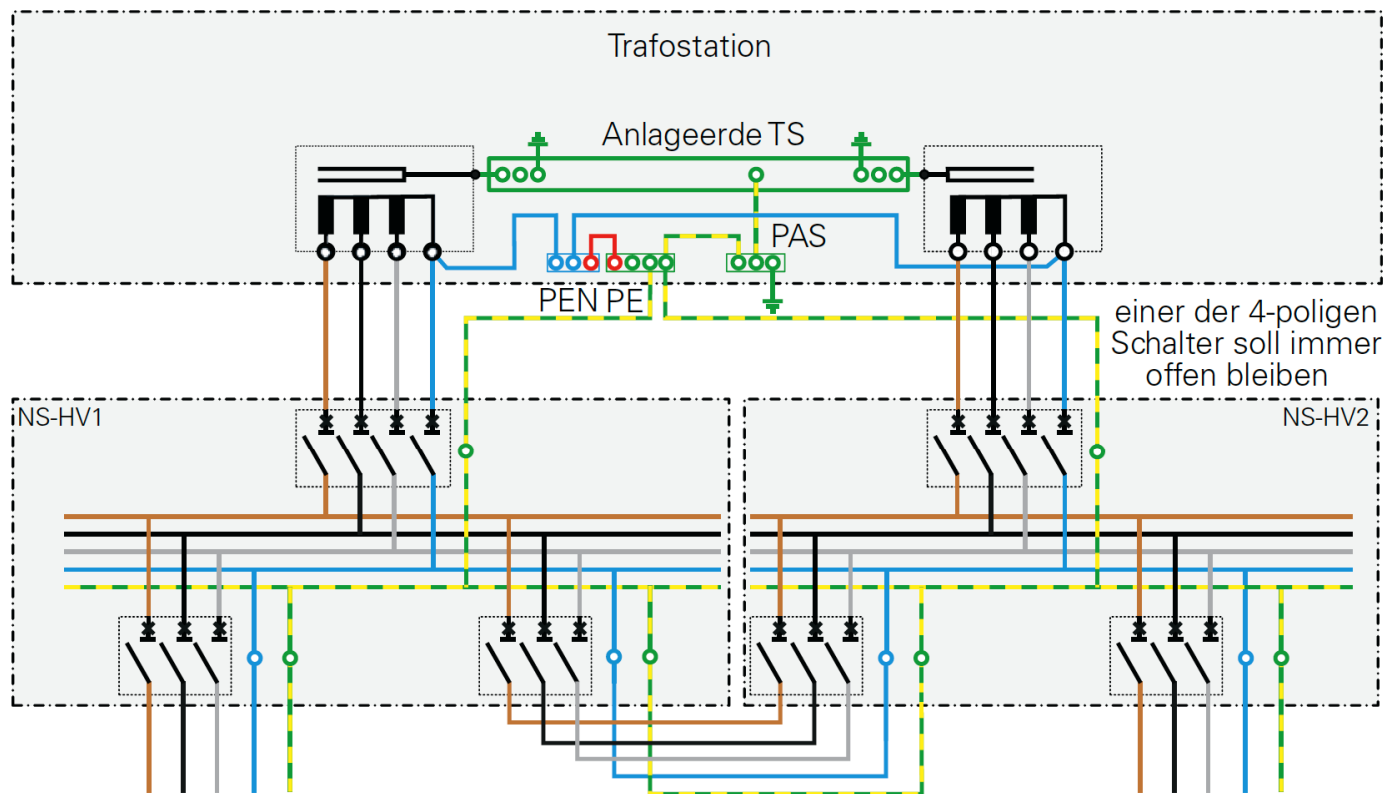


Abbildung 88: Zentraler Erdungspunkt mit 4-poligen Schaltern

Grundsatz:

Wenn 4-polige Trafoschalter oder Generatorschalter verwendet werden, muss die Sternpunkterdung vor dem Schalter liegen, da der PEN-Leiter nicht geschaltet werden darf (4.6.1.2.1.2 NIN).

Parallelschaltung der Quellen nur, wenn gemeinsamer ZEP möglich ist. Keine USV-Anlagen nachschalten, da bei ausgeschalteten Trafoschaltern die Sternpunkterdung fehlt.

Abhilfe mit Zusatzverlusten durch Trenntrafo vor oder nach dem USV-System (inkl. Servicebypass). Der Trafo ist dann aber Single-Point-of-Failure.

Spezialfall Netzumschalter

Netzumschalter müssen 4-polig ausgeführt werden (4.6.3.1.4 NIN). Der ZEP muss daher zwangsläufig vor der Umschaltung liegen. Während der Umschaltung mit Unterbrechung verliert die USV-Anlage die Sternpunkterdung. Das Umschalten ohne Unterbrechung ist zulässig, wenn es die Anlagen zulassen (4.6.3.14 NIN):

- Beide Netze sind jederzeit synchron;
- zu keiner Zeit sind unzulässig hohe Ausgleichsströme zu erwarten.

Wichtig

Schläge auf auslaufende Maschinen bei kurzen Umschaltzeiten beachten.

In allen anderen Fällen 3-polige Schalter für die Einspeisungen verwenden. Siehe Handbuch Kap. 7.3.1.

Fazit: Einfach ist gut

Mit dreipoligen Schaltern bei den Einspeisungen werden einfache stabile Lösungen erreicht. Die aus EMV-Sicht befürchteten Kreisströme und Rückleiterströme können mit 4-poligen Schaltern nur im ausgeschalteten Zustand vermieden werden. Ob 3- oder 4-polig geschaltet, die Kreisströme sind begrenzt auf die Hauptverteilung und stellen in der Praxis keine Probleme dar.

Die Probleme stellen sich dann, wenn verteilte NS-Einspeisungen oder Trafostationen in grösseren Arealen mit einer zentralen Notstromanlage versorgt werden sollen. Die einfachste und EMV-mässig problemloseste sowie sicherste Lösung ist hier die Notstromeinspeisung über die Mittelspannung.

Kabelbelastung

- Grenzbelastung von Kabeln
- Parallelverlegte Leiter

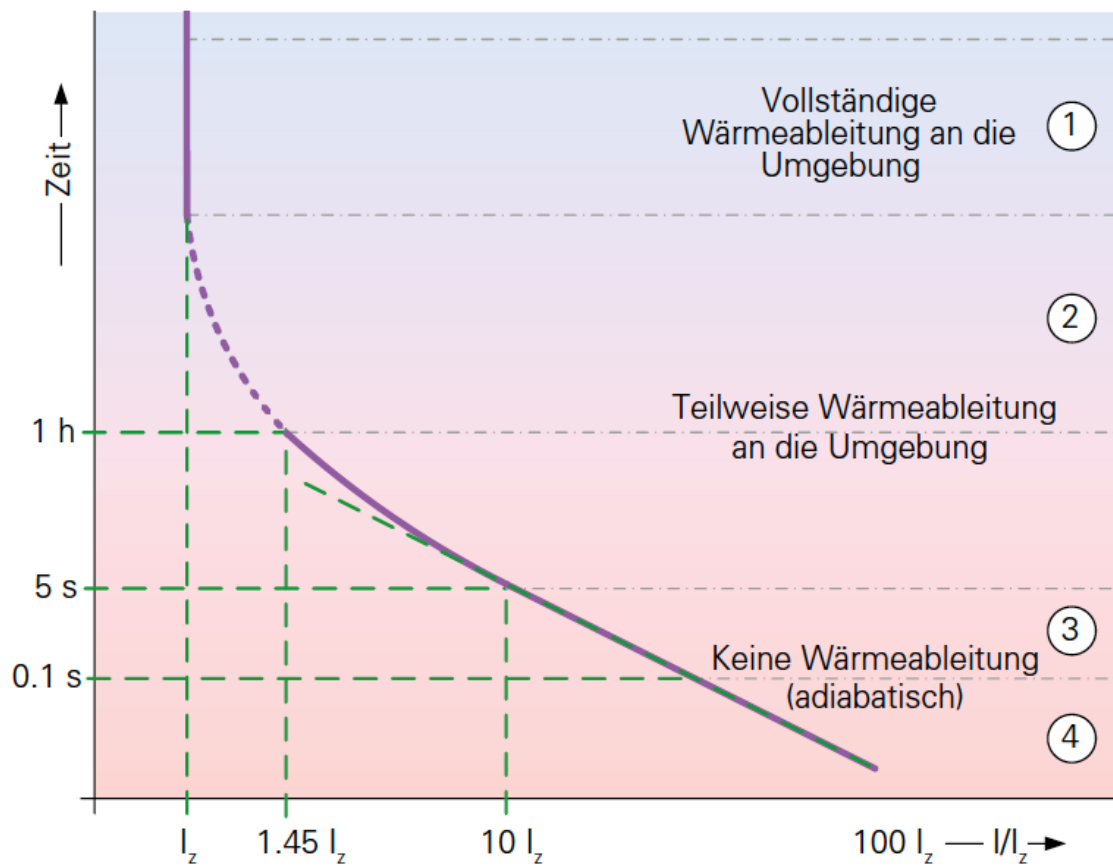


Abbildung 29: Grenzbelastung von Kabeln

I_z (grosser Prüfstrom; führt zur Auslösung der Schutzeinrichtung unter festgelegten Bedingungen)

MCB Charakteristik A, B, C, D: $I_z \leq 1.45 \cdot I_r$

Leistungsschalter: $I_z \leq 1.35 \cdot I_r$

Schmelzeinsätze: $I_z \leq 1.45 \cdot I_r$

Thermisch verzögerte Relais: $I_z \leq 1.25 \cdot I_r$

k (Materialwert nach DIN Ein-Sekunden-Stromdichte)

PVC/Cu-Leiter: $k = 115 \text{ A/mm}^2$

PVC/Al-Leiter: $k = 76 \text{ A/mm}^2$

Gummi: $k = 141 \text{ A/mm}^2$

VPE, EPR: $k = 143 \text{ A/mm}^2$

S (Leitungsquerschnitt in mm^2)

1. Bereich vollkommener Wärmeableitung bei Dauerstrom I_z -zulässige Betriebstemperatur 70°C
2. Bereich begrenzter Wärmeableitung bei Überlast $I_z \leq 1.45 \cdot I_r$
3. Bereich ohne Wärmeableitung bei maximaler Kurzschlussdauer 5 s $I^2t = \text{konstant}$, zulässige Kurzschlussstemperatur 160°C
4. Bei Ausschaltzeit $< 0,1 \text{ s}$ muss I^2t des Leitungsschutzschalters oder der Schmelzeinsätze kleiner als $k^2 \cdot S^2$ der Leitung sein.

Auslegung für Dauerbelastung

Grundsätzliche Bedingung: $I_B \leq I_N \leq I_z$

Kabelbelastung unter Standardbedingungen: I_z

$$I_z = I_{z\text{norm}} \cdot f_H \cdot f_T$$

$$I_z \geq I_B$$

$$I_{z\text{norm}} \cdot f_H \cdot f_T \geq I_B$$

mit: $I_{z\text{norm}}$ Normalbelastbarkeit gemäss Katalog
Belastbarkeit unter Einsatzbedingungen

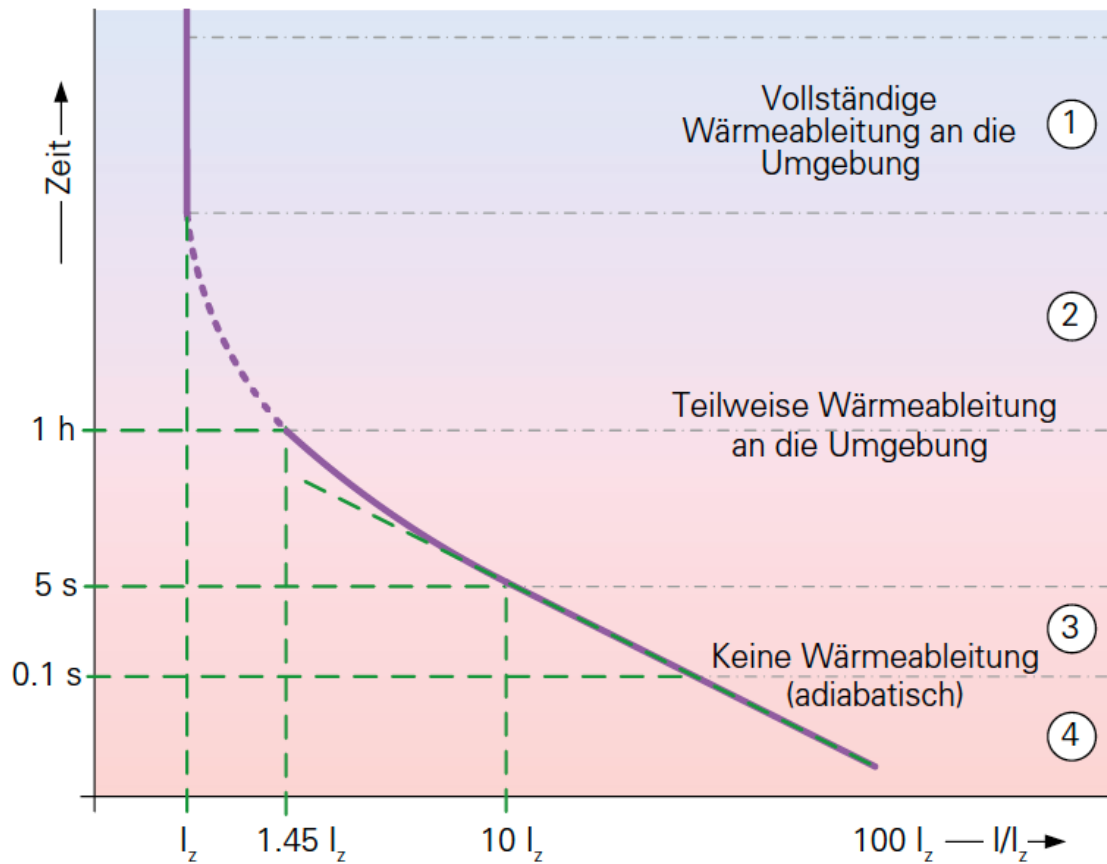


Abbildung 29: Grenzbelastung von Kabeln

S (Leitungsquerschnitt in mm²)

1. Bereich vollkommener Wärmeableitung bei Dauerstrom I_z -zulässige Betriebstemperatur 70 °C
2. Bereich begrenzter Wärmeableitung bei Überlast $I_z \leq 1,45 \cdot I_z$
3. Bereich ohne Wärmeableitung bei maximaler Kurzschlussdauer 5 s $I^2 t = \text{konstant}$, zulässige Kurzschlussstemperatur 160 °C
4. Bei Ausschaltzeit < 0,1 s muss $I^2 t$ des Leitungsschutzschalters oder der Schmelzeinsätze kleiner als $k^2 \cdot S^2$ der Leitung sein.

Auslegung für Dauerbelastung

Grundsätzliche Bedingung: $I_B \leq I_N \leq I_z$

Kabelbelastung unter Standardbedingungen: I_z

$$I_z = I_{z\text{norm}} \cdot f_H \cdot f_T$$

$$I_z \geq I_B$$

$$I_{z\text{norm}} \cdot f_H \cdot f_T \geq I_B$$

$$I_{z\text{norm}} \geq I_B / (f_H \cdot f_T)$$

mit: $I_{z\text{norm}}$ Normalbelastbarkeit gemäss Katalog
 I_z Belastbarkeit unter Einsatzbedingungen

Umgebungstemperatur: 30 °C (Standard) oder 40 °C ggf. noch höher
 Verlegungsart und Häufung der Kabel.

Kurzschlusschutz

Die spezifische Durchlassenergie (auch Joule Integral) des vorgeschalteten Schutzgerätes muss kleiner sein als das Produkt aus der Einsekundenstromdichte (Materialkoeffizient) k und dem Leiterquerschnitt (siehe dazu auch die Regeln über die Auslegung der Erdung Kap. 4.13.3).

$$I^2 \cdot t \leq k^2 \cdot S^2$$

Kabelgrenztemperaturen

Die Grenztemperaturen 70 °C oder 90 °C sind die Leitertemperaturen, die erreicht werden, wenn der zulässige Maximalstrom fließt.

Die Wahl von Kabeln mit Leitergrenztemperatur 90 °C ermöglicht eine gewisse Reserve für gelegentliche oder seltene Betriebsfälle mit hoher Leistung. Die Auslegung sollte auf weniger als 70 °C erfolgen.

Gründe:

- Verbrühungsgefahr (die Isolation isoliert nur elektrisch gut)
- Umgebung, frühzeitige Alterung
- Energieverbrauch, Wirtschaftlichkeit: Es ist wirtschaftlich günstiger, einen Querschnitt höher zu wählen, um Verluste zu minimieren

Parallelverlegte Leiter



Abbildung 30

In einer Lage spiegelsymmetrisch angeordnet

Spiegelsymmetrische Anordnung mit Auskreuzen bei 1/3 und 2/3 der Länge (bei Leitungslängen ≥ 20 m erforderlich):

- Erfordert viel Platz auf dem Trasse
- Bei Richtungsänderungen können oft geringere Radien realisiert werden als bei Mehrleiter-Kabel
- Häufungsfaktor 1 möglich



Abbildung 31

In zwei Lagen punktsymmetrisch angeordnet

Punktsymmetrische Anordnung mit Auskreuzen bei 1/3 und 2/3 der Länge (bei Leitungslängen ≥ 20 m erforderlich):

- Erfordert wenig Platz auf dem Trasse
- Bei Richtungsänderungen können oft geringere Radien realisiert werden als bei Mehrleiter-Kabel
- Reduktion durch Häufungsfaktor erforderlich

Parallelverlegte Leiter



EMV-mässig ideale Anordnung durch Verwendung von mehradrigen symmetrischen Kabeln

Abbildung 32

Mehrleiterkabel mit symmetrischer Anordnung (z. B. CFW-Kabel) ist ideal in EMV-empfindlicher Umgebung:

- Erfordert wenig Platz auf dem Trasse
- Bei Richtungsänderungen Radien beachten
- Keine Reduktion durch Häufungsfaktor erforderlich, wenn mit ausreichendem Abstand verlegt

Parallelverlegte Leiter

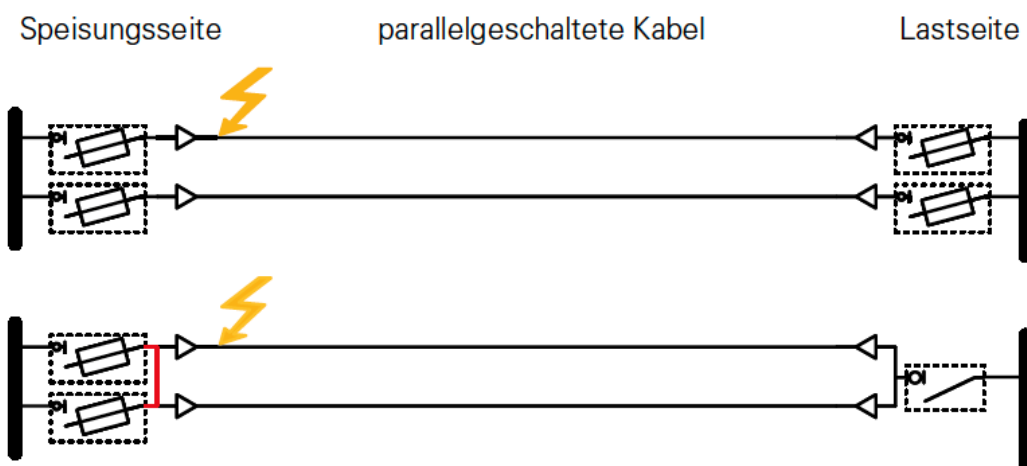


Abbildung 33: Parallelgeschaltete Kabel und die Absicherung

Wichtig bei parallelen Kabelsträngen:

- Alle Kabel gleich lang
- Einzelleiter bündeln und verdrillen, mindestens jedoch Drittel-Auskreuzung (bei Leitungslängen ≥ 20 m erforderlich)
- Abstand der Strangbündel 1 – 2-facher Kabeldurchmesser
- Strangströme messen (max. Differenz nach Norm: $\leq 10\%$, bei USV max. 1 – 2 %). Der höchstbelastete Einzelleiter ist das Mass für die maximale Gesamtlast.
- Nicht mehr als 4 parallele Stränge, dann besser einen grösseren Querschnitt wählen
- Beidseitig einzeln absichern oder speisungsseitig nach der Schutzeinrichtung verbinden, falls dies konstruktiv möglich ist.

Beispiel für Auslegung paralleler Kabel

Drei parallele Leiter pro Aussenleiter verlegt.

1. Messung der Ströme in allen parallelen Kabeln pro Aussenleiter

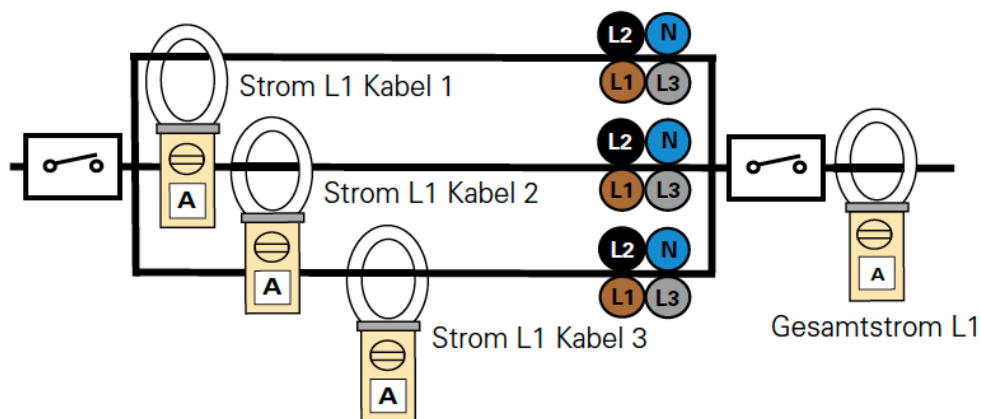


Abbildung 34: Messung parallele Kabel

2. Auswertung pro Aussenleiter, z. B. L1: Strom pro Kabel linear hochrechnen auf max. Strom

Kabel 1: Messwert 200 A = 50 % max. zulässiger Strom 400 A = 400 A

Kabel 2: Messwert 180 A = 50 % = 360 A

Kabel 3: Messwert 170 A = 50 % = 340 A

Max. zulässiger Gesamtstrom für Aussenleiter L1 1'100 A

Überlastschutz wegen unsym. Strom auf **1100 A** statt $3 \times 400 \text{ A} = 1'200 \text{ A}$

Gleiches für L2 und L3

Der tiefste Wert gibt vor, was am Leistungsschalter eingestellt wird oder was eine Schmelzsicherung nicht überschreiten darf. Beispiel:

Tiefster Wert des gesamtzulässigen Stromes L1, L2, L3: 951 A: Einstellung

Leistungsschalter: $I_r \leq 951 \text{ A}$, Schmelzsicherung: 800 A oder $2 \times 400 \text{ A}$

(nicht $1 \times 400 \text{ A}$ und $1 \times 500 \text{ A}$!)

Beispiel für Kurzschlussauslegung und Verzögerungszeit

Kurzschlusschutz der Kabel: zulässige Schutzabschaltzeit muss grösser sein als effektive Auslösezeit im Fehlerfall.

Abschaltzeit > 100 ms

max. zulässige Schutzauslösezeit für ein EPR-isoliertes Kupferleiterkabel mit $S = 95 \text{ mm}^2$:

$$t = (k \cdot \frac{S}{I})^2 = (143 \text{ A} \sqrt{\text{s/mm}^2} \cdot \frac{95 \text{ mm}^2}{36000 \text{ A}})^2 = 142 \text{ ms}$$

Bei Schmelzeinsätzen oder bei Leistungsschaltern ohne Kurzzeitverzögerung gilt die Bedingung wie oben:

$$I^2 \cdot t \leq k^2 \cdot S^2$$

Spezifische Durchlassenergie: $I^2 t$ aus dem Katalog des Herstellers (NHS oder Leistungsschalter)

Nehmen Sie mit

Das 3-poliges Schalten ist besser als 4-polig
Verlegearten beachten und Verlegung planen
Verzögerungszeiten beachten hohen Kurzschlussströmen