

**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse

**Herausgeber:** Electrosuisse

**Band:** 100 (2009)

**Heft:** 7

**Artikel:** Erdschlussenschutz im Mittelspannungsverteilnetz

**Autor:** Schmid, Roland

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-856391>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Erdschlussenschutz im Mittelspannungsverteilnetz

## Wahl des geeigneten Schutzprinzips unter Berücksichtigung möglicher Veränderungen im Netzbetrieb

Um die Verwendbarkeit installierter Erdschlussenschutzgeräte mittelfristig sicherstellen zu können, ist bei der Installation dieser Geräte wichtig, dass aus den verschiedenen Schutzgeräteprinzipien und den entsprechenden Schutzgeräten, die am Markt verfügbar sind, eines ausgewählt wird, das unter unterschiedlichen Netzbetriebsarten Erdschlüsse zuverlässig erkennen und ausschalten kann. Neben der Auswahl des Schutzgeräts selbst ist aber auch eine anwendungsspezifisch optimale Auswahl der zugehörigen Spannungs- und Stromwandler von Bedeutung.

Im Zusammenhang mit der Liberalisierung des Strommarkts wurde das Netzebenenmodell definiert. Die lokalen Energieversorger decken die Netzebenen 5b, 6 und 7 ab, die regionalen Versorger die Netzebenen 4 und 5a.

Roland Schmid

für die Thematik der Erdschlussdetektion und Abschaltung ist die Sternpunktbehandlung des Netzes, welche auf der Netzebene 4 erfolgt, und die Betriebspphilosophie des Netzes der Ebene 5a relevant. Die Betreiber der Netze der Ebene 5b müssen sich bei der Festlegung der Massnahmen zum Thema Erdschlussenschutz entsprechend den Vorgaben aus den Ebenen 4

und 5a ausrichten. Es besteht jedoch eine gegenseitige Abhängigkeit, d.h. der Betreiber der Netzebenen 4 und 5a kann nicht beliebige Betriebskonzepte definieren, weil diese wiederum durch die Erdschluss-schutzmassnahmen der Werke der Ebenen 5b beeinflusst werden.

Die Auswirkungen der Strommarktliberalisierung führten teilweise dazu, dass die Beziehungen zwischen regionalen und lokalen EWs strapaziert wurden. Im Zusammenhang mit dem Thema Erdschlussenschutz ist jedoch eine kooperative Grundhaltung beider Parteien erforderlich, um hinsichtlich Versorgungssicherheit, Technik und Kosten die optimale Lösung, auch in mittelfristiger Betrachtung, zu definieren.

Gedanken zum zukünftigen Netzbetrieb bzw. zur zukünftigen Behandlung von Erdschlüssen im Netz machen sich gegenwärtig vor allem Netzbetreiber, die noch Netze mit isoliertem Sternpunkt betreiben. Diese zukünftige Behandlung kann beispielsweise darin bestehen, dass Polerdungsschalter eingesetzt werden, dass der kapazitive Strom teilkompensiert wird oder dass der Sternpunkt des Netzes gelöscht betrieben wird. Die Auswirkungen dieser Massnahmen auf den Netzschatz und die zu verwendenden Prinzipien und Geräte werden in diesem Beitrag dargestellt. Ziel ist, dem Leser aufzuzeigen, welche Schutzprinzipien auch bei veränderten Netzegebenheiten weiter betrieben werden können, sodass

aktuell installierte Erdschlussenschutzgeräte und zugehörige Wandler auch unter veränderten Randbedingungen mittelfristig weiter nutzbar bleiben.

### Erdschlussenschutzgeräte

In diesem Kapitel soll aufgezeigt werden, nach welchen unterschiedlichen Grundprinzipien Erdschlussenschutzgeräte Erdschlüsse detektieren und abschalten können und unter welchen Netzbetriebsbedingungen welche Schutzgerätetypen vorgezugsweise zu verwenden sind.

### Messgrößen

Für die Erkennung von Erdschlüssen im Netz stehen die 3 Phasenspannungen ( $U_{L1}$ ,  $U_{L2}$ ,  $U_{L3}$ ), die 3 Phasenströme ( $I_{L1}$ ,  $I_{L2}$ ,  $I_{L3}$ ) und die beiden ableitbaren Größen Erdschlussspannung und Erdschlussstrom zur Verfügung.

Aus den Zusammenhängen der Theorie der symmetrischen Komponenten ergeben sich folgende Zusammenhänge (Details dazu siehe Kasten):

$$U_o = \frac{1}{3} (U_{L1} + U_{L2} + U_{L3}) \\ I_o = \frac{1}{3} (I_{L1} + I_{L2} + I_{L3})$$

Es gilt ebenfalls die Definition:

$$U_{en} = 3 \cdot U_o = U_{L1} + U_{L2} + U_{L3} \\ I_E = -3 \cdot I_o = -(I_{L1} + I_{L2} + I_{L3})$$

Als Folge daraus ist deshalb bei der Betrachtung von Angaben der Hersteller bezüglich Relaisfunktion immer darauf zu achten, welche Größen verwendet werden. Es gilt nämlich

$$U_{en} = 3 \cdot U_o \\ I_E = -3 \cdot I_o$$

Dabei spielt vor allem bei der Beziehung zwischen  $I_E$  und  $I_o$  das Minuszeichen bei der gerichteten Erd schlusserfassung eine zentrale Rolle. Mit einem Kabelumbauwandler wird die Summe der 3 Phasenströme gemessen. Er liefert somit als Ausgangsgröße den Wert  $-I_E$ .

Ausgehend von den zentralen Messgrößen  $U_{en}$  und  $I_E$  werten die Schutzgeräte je nach Funktionalität die folgenden Werte aus: die Amplitude  $U_{en}$ , die Amplitude  $I_E$ ,

### Technische Grundlagen im Internet

Eine Erläuterung aller themenrelevanten technischen Grundlagen sprengt den Rahmen dieses technischen Beitrags im Bulletin SEV/VSE. Um jedoch dem interessierten Leser diese Grundlagen trotzdem zugänglich zu machen, sind sie unter [www.technik-forum.ch](http://www.technik-forum.ch), Downloadbereich «Elektrische Energietechnik», Bereich «Installationen Hoch- und Mittelspannung», abrufbar.

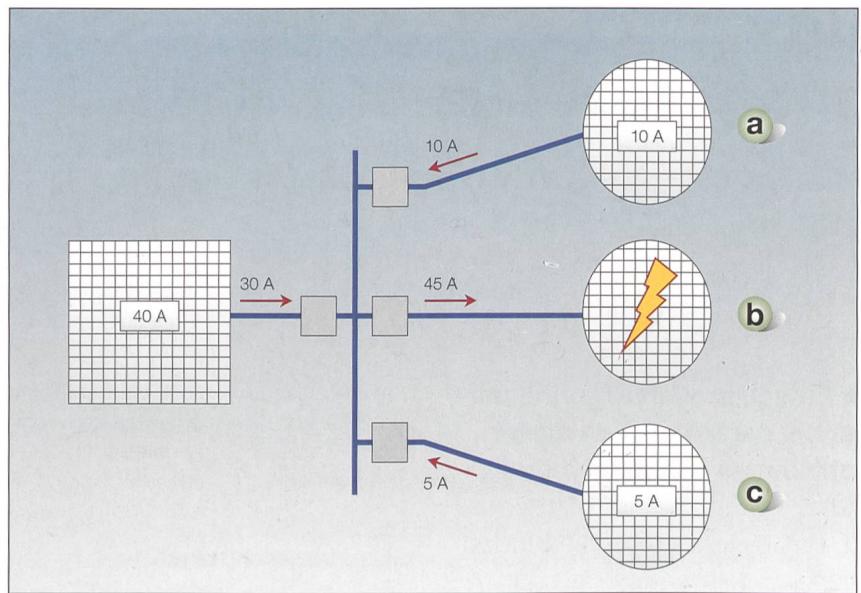


Bild 1 Erdschluss in Netzteil B.

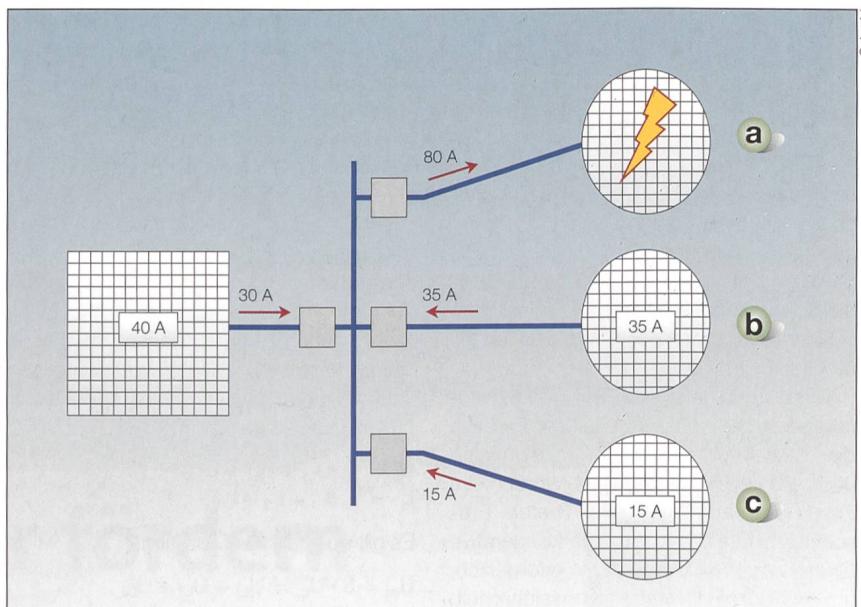


Bild 2 Erdschluss in Netzteil A.

den Phasenwinkel zwischen  $U_{en}$  und  $I_E$ , die spezifischen Frequenzanteile im Stromsignal  $I_E$  (z.B. die 5. Harmonische) und das Einschwingverhalten der Signale im Moment des Erdschlusseintritts.

#### Schutzgeräte im Netz mit isoliertem Sternpunkt

In Netzen mit isoliertem Sternpunkt kann der Erdschluss aufgrund des fliessenden kapazitiven Erdschlusstroms detektiert werden. Es gilt die Regel: Die erdschlussfreien Netzteile speisen Strom in den fehlerhaften Netzteil. Die sich ergebende Verteilung der kapazitiven Ströme zwischen

den verschiedenen Netzteilen hängt von den jeweiligen Erdschlusstromanteilen dieser verschiedenen Netzteile ab (Bilder 1 und 2):

Je nach Höhe der kapazitiven Fehlerstromanteile pro Netzteil resultieren unterschiedliche Fehlerstromhöhen. Für das Schutzgerät im Abgang zum Netzteil A ergeben sich je nach Lage des Fehlerorts folgende Stromwerte: Bei einem Erdschluss im Netzteil A fliessen ein Strom von 80 A in Richtung des Netzteils A (Bild 1). Bei einem Erdschluss ausserhalb des Netzteils A fliessen 10 A in Richtung Einspeisung (Bild 2).

Schmid

Es besteht somit ein deutlicher Unterschied im Fehlerstrom, abhängig von der Lage des Fehlers.

In dieser Netzkonstellation würde es genügen, ein Schutzgerät einzubauen, das nur die Amplitude des kapazitiven Erdschlusstroms (Überstromrelais) auswertet. Durch die Festlegung eines Ansprechgrenzwerts von beispielsweise 20 A liesse sich erkennen, ob der Fehler ausserhalb des Netzteils A oder innerhalb desselben liegt. Im ersten Fall wäre der Strom nämlich kleiner als 20 A, im zweiten grösser.

Für das Schutzgerät im Abgang zum Netzteil B ergibt sich eine weniger eindeutige Situation. Wenn der Erdschluss im Netzteil B liegt, ist der Strom 45 A, wenn er ausserhalb von B liegt, beträgt er 35 A. Dafür eine eindeutige Erkennungsschwelle zu definieren, ist kaum möglich.

Es besteht somit ein relevanter Unterschied im Fehlerstrom, abhängig von der Lage des Fehlers.

In dieser Netzkonstellation genügt es somit nicht, nur ein Überstromrelais einzubauen. Es muss ein Schutzgerät vorgesehen werden, das in der Lage ist, den kapazitiven Fehlerstrom gerichtet zu erfassen, d.h., es braucht ein gerichtetes Überstromrelais.

Gerichtet arbeitende Erdschlussschutzgeräte messen  $U_{en}$  und  $I_E$  und werten den Phasenwinkel zwischen diesen beiden Grössen aus. Dieser Phasenwinkel muss, je nachdem, ob der Erdschlusstrom vorwärts oder rückwärts fliessst, den Wert von  $+90^\circ$  bzw.  $-90^\circ$  aufweisen.

#### Schutzgeräte im Netz mit gelöscht betriebenem Sternpunkt

Wie in Figur 7 der Erläuterungen der technischen Grundlagen (siehe Kasten) gezeigt, werden im gelöschten Netz die kapazitiven Erdschlusstroms durch die induktiven Ströme der Löschspule überlagert. Je nach Kompensation (über oder unterkompensiert) kann am Erdschlussort ein Erdschlusstrom resultieren, der insgesamt einen ohmsch-induktiven oder ohmsch-kapazitiven Charakter aufweist. Aufgrund dieser Unsicherheit ist der kapazitive bzw. induktive Anteil für eine Richtungsbestimmung nicht nutzbar. Allein der ohmsche Anteil am Erdschlusstrom ermöglicht eine klare Aussage über die Fehlerrichtung.

Schutzgeräte, die in Netzen mit gelöschtem Sternpunkt verwendet werden, müssen deshalb wiederum die Grössen  $U_{en}$  und  $I_E$  erfassen und den Phasenwinkel zwischen diesen beiden Grössen auswerten. Dieser Phasenwinkel muss, je nachdem, ob der Erdschlusstrom vorwärts oder rückwärts fliessst, den Wert von  $0^\circ$  bzw.  $180^\circ$  aufweisen.

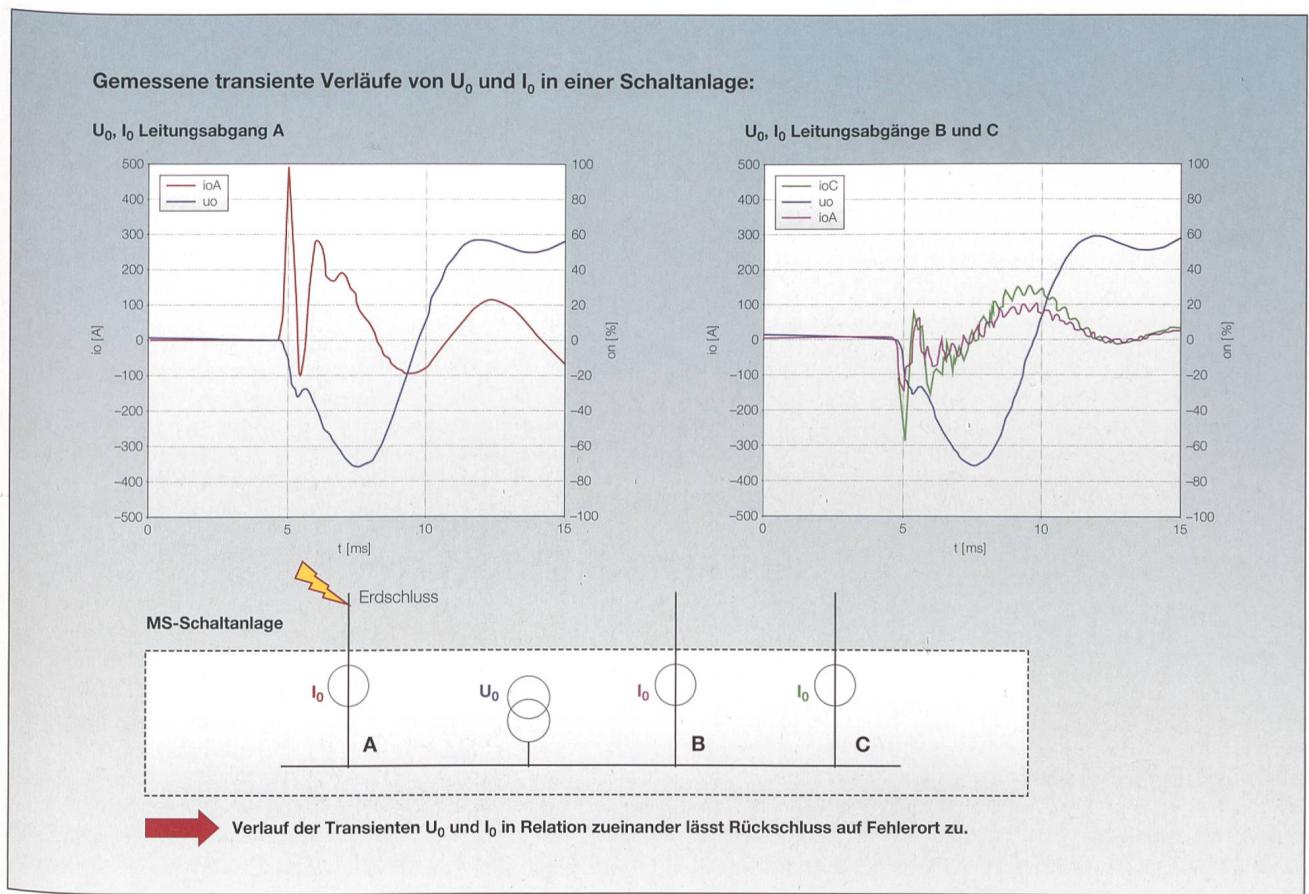


Bild 3 Auswertung transienter Signale zur Bestimmung des Erdschlussorts.

### Schutzgeräte im Netz mit Polerdungsschalter

Für die nachfolgenden Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass der Polerdungsschalter in einem Netz mit isoliertem Sternpunkt eingebaut wird. Dieser Polerdungsschalter dient allein dazu, die Erdgeschlussfehlerstelle vom Fehlerstrom zu entlasten. Um den fehlerbehafteten Leitungsabgang im Unterwerk oder draussen im Netz ermitteln zu können, sind ergänzend

dazu entsprechende Schutzgeräte in den verschiedenen Leitungsabgängen erforderlich. Für deren Funktion gelten dieselben Randbedingungen, wie sie im Abschnitt «Netze mit isoliertem Sternpunkt» beschrieben wurden.

Diese Schutzgeräte erkennen den fehlerbehafteten Leitungsabgang, bevor der Polerdungsschalter aktiv wird. Nach dem Zuschalten des Polerdungsschalters ändern die Stromflussrichtungen, entsprechend

kann dann der fehlerbehaftete Leitungsabgang nicht mehr zuverlässig ermittelt werden.

### Schutzgeräte im Netz mit teilkompensiertem Sternpunkt

Im Netz mit teilkompensiertem Sternpunkt treten am Erdschlussort kapazitive Fehlerströme auf, ähnlich wie beim isolierten Sternpunkt, die jedoch aufgrund der Überlagerung mit einem induktiven Teilkompensationsstrom in ihrer Amplitude reduziert sind.

Für die Funktionsweise von Erdgeschlusschutzgeräten gelten deshalb im Wesentlichen dieselben Aussagen, mit einer Einschränkung: Aufgrund der reduzierten kapazitiven Fehlerstromwerte ist eine Fehlerfassung aufgrund der Amplitude alleine erschwert, es sind somit ab einer bestimmten Lage des Schutzgeräts in einer verteilten Netzstruktur sinnvollerweise gerichtet arbeitende Geräte einzusetzen.

### Schutzgeräte, die das transiente Netzverhalten auswerten

Die bisher beschriebenen Schutzgeräteprinzipien basieren darauf, dass die 50-Hz-Verläufe der Größen  $U_{en}$  und  $I_E$  erfasst und ausgewertet werden. Diese Gerätefunktion

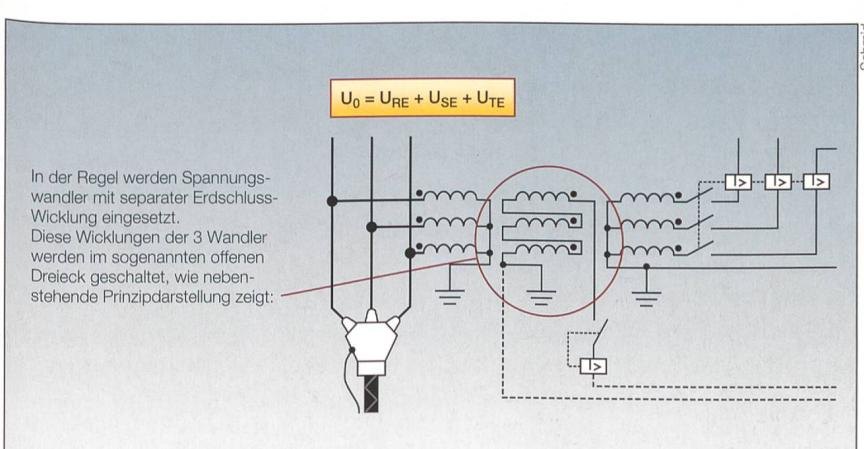


Bild 4 Spannungswandler im offenen Dreieck.

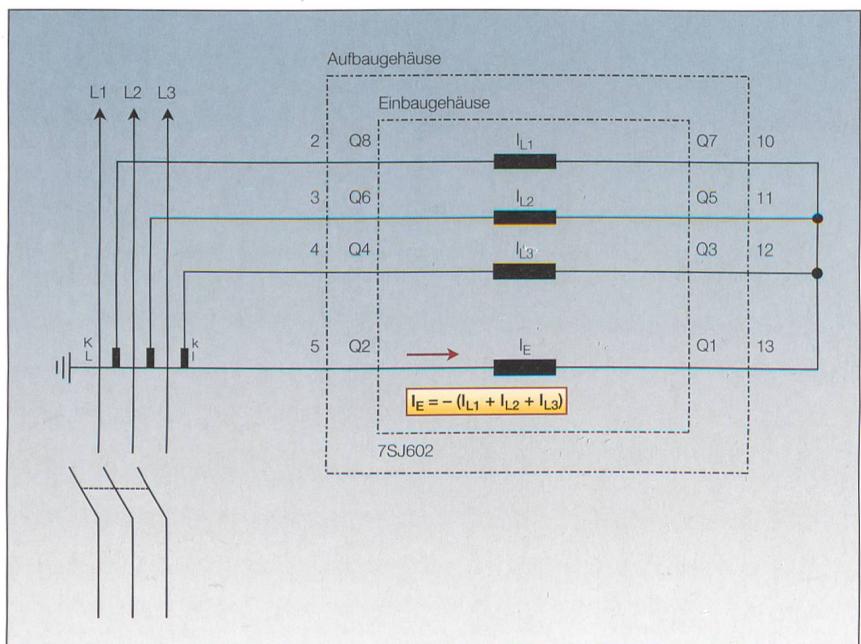


Bild 5 Summenbildung der Phasenströme.

nalität war bereits vor Jahrzehnten auf der Basis intelligent konstruierter elektromechanischer Relais verfügbar.

Seit wenigen Jahren sind aber auch numerische Schutzgeräte am Markt erhältlich, die die transienten Verläufe der Größen  $U_{en}$  und  $I_E$  erfassen und auswerten (Bild 3). Die Hintergründe der Entstehung dieser transienten Fehlergrößen zeigt die Ersatzdarstellung Figur 14 in den Erläuterungen der technischen Grundlagen (siehe Kasten).

Als Folge eines Erdschlusseintritts werden die beiden fehlerfreien Phasen auf das Niveau der verketteten Spannung angehoben. Dies führt aufgrund der Induktivitäten und Kapazitäten im Netz zu Einschwingvorgängen. Diese schlagen sich in einem entsprechenden Einschwingen von Erdschlussstrom und -spannung nieder, was

wiederum ausgewertet werden kann. Dieser Vorgang tritt auf, egal ob der Sternpunkt isoliert, kompensiert oder teilkompensiert ist.

Die erwähnten Geräte können die Erdschlussrichtung vorwärts und rückwärts erfassen.

Bezüglich Detektionsverhalten sind den Geräten jedoch netzbedingt gewisse Grenzen gesetzt. Einfacher formuliert heisst das: Wenn im Erdschlussfall kein relevantes Schwingen im Netz auftritt, haben die Geräte auch keine auswertbaren Signale verfügbar.

Eine Einflussgröße ist der Fehlerwiderstand an der Erdschlussstelle. Hochohmige Fehler sind entsprechend schwieriger zu detektieren. Fehlerwiderstände bis ca. 500 Ω lassen sich in der Regel aber noch zuverlässig erkennen.

Damit ein Schutzgerät an seinem Einbauort einen Erdschluss rückwärts erkennen kann, muss der nachfolgende Netzteil einen gewissen kapazitiven Netzcharakter haben (siehe auch Figur 14 in der im Kasten erwähnten Erläuterung der technischen Grundlagen). Erfahrungswerte zeigen, dass dann ein erkennbares Einschwingverhalten bei einem Fehler rückwärts erkennbar ist, wenn der nachfolgende Netzteil einen kapazitiven Erdschlussstrom von mindestens ca. 4 A aufweist, d.h. dass der nachfolgende Netzteil mindestens 1,5–2 km Kabellenzanteil aufweist.

### Schutzgeräte bei sich verändernden Randbedingungen

Die Betreiber von Netzen mit isoliertem Sternpunkt sind aus verschiedenen Gründen einem gewissen Handlungsbedarf ausgesetzt:

■ Aufgrund der kontinuierlich wachsenden kapazitiven Fehlerströme steigt der Druck, die Fehlerabschaltzeiten zu reduzieren, um die gesetzlichen Randbedingungen (Figur 6 der im Kasten erwähnten Grundlagen) einhalten zu können. Entsprechend hat dann eine Abschaltung innerhalb 120 ms zu erfolgen. Bei dieser kurzen Abschaltzeit ist es aber nicht mehr möglich, fehlerbehaftete Netzteile selektiv vom Netz zu trennen, sondern ganze Netzbereiche (alle Netzbereiche, die von demselben Trafo im Unterwerk angespeist werden) werden unselektiv vom Netz getrennt.

■ Kunden der Stromversorger reagieren empfindlich auf Netzabschaltungen. Zukünftig ist nicht auszuschliessen, dass unter den Randbedingungen des liberalisierten Markts die Stromlieferanten mit einer schlechten Versorgungsqualität mit einem Malus auf den einforderbaren Durchleitungsentgelten bestraft werden, wie dies in anderen Ländern bereits praktiziert wird.

■ Statistisch gesehen bilden bei auftretenden Netzfehlern mehrheitlich Erdschlüsse die Ursache.

Ausgehend vom Netzbetrieb mit isoliertem Sternpunkt werden deshalb mit dem Ziel, die negativen Auswirkungen von Erdschlüssen auf die Stromversorgung auf wenige Kunden zu begrenzen, Anpassungen im Netz geprüft wie die Umstellung auf gelöschten Sternpunkt oder die Beibehaltung des isolierten Sternpunkts mit Installation von Polerdungsschaltern.

Nachfolgend soll deshalb aufgezeigt werden, welche Erdschlusschutzgerätyphen sich unter verschiedenen Netzrandbedingungen zuverlässig verwenden lassen und somit Flexibilität hinsichtlich Umstellungen im Netz bieten.

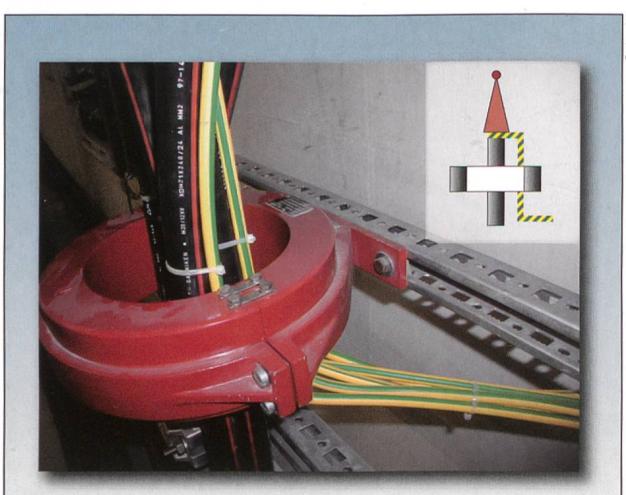


Bild 6 Kabelumbauwandler mit rückgeführt Kabelschirmerdung.

Die Erläuterungen aus dem vorhergehenden Kapitel lassen sich wie folgt zusammenfassen: Erdschlussenschutzgeräte sind dann unter verschiedenen Randbedingungen einsetzbar, wenn sie folgende Bedingungen erfüllen:

■ Für Schutzgeräte, die die Erdschlüsse gerichtet erfassen und dafür die 50-Hz-Komponenten der Größen  $U_{\text{en}}$  und  $I_E$  erfassen und auswerten, gilt: Der Auswertewinkel soll per Software umstellbar sein von  $90^\circ$  (kapazitiv) auf  $0^\circ$  (ohmsch). Dadurch ist das Gerät in Netzen mit isoliertem, kompensierten und teilkompensierten Sternpunkten und bei Einsatz eines Polerdungsschalters verwendbar. Das Anrege- bzw. Auslösekriterium soll so gewählt werden können, dass eine Verknüpfung von Anregestrom, Anregespannung und Phasenlage des Erdschlussstroms grundsätzlich möglich ist.

■ Für Schutzgeräte, die die transienten Verläufe der Größen  $U_{\text{en}}$  und  $I_E$  erfassen und auswerten, gilt: Diese Geräte sind ebenfalls verwendbar in Netzen mit isoliertem, kompensierten und teilkompensierten Sternpunkten und bei Einsatz eines Erdungsschalters.

## Einsatzkriterien und Auswahl von Erdschlusswandlern

Bei der Erfassung von Erdschlussspannung und -strom gibt es einiges zu beachten. Im Folgenden sind die wesentlichen Punkte beschrieben.

### Erdschlussspannung

Abhängig vom Gerätetyp bildet das Gerät die Erdschlussspannung intern aus den 3 Phasenspannungen, oder die Erdschlussspannung wird von aussen zugeführt. Die Bildung dieser Erdschlussspannung erfolgt durch Verschaltung von den 3 Phasenspannungen im sogenannten offenen Dreieck (Bild 4).

Zu diesem Zweck werden in der Regel die Phasenspannungswandler mit einer zweiten Wicklung ausgerüstet, die ein Übersetzungsverhältnis von beispielsweise  $16 \text{ kV}/\sqrt{3}$  zu  $100 \text{ V}/\sqrt{3}$  aufweisen. Dieses Verhältnis wird gewählt, damit im Erdschlussfall die Spannung den Wert  $100 \text{ V}$  annimmt (siehe Figur 3b der im Kasten erwähnten Erläuterung der technischen Grundlagen).

In der Regel wird dieses offene Dreieck der Spannungswandler nicht nur für die Bildung der Erdschlussspannung verwendet, sondern wird auch mit einem Widerstand beschaltet zwecks Dämpfung allfälliger Ferroresonanzeffekte. Bei der Dimensionierung dieser Wandler muss dieser Beschaltung Beachtung geschenkt werden.

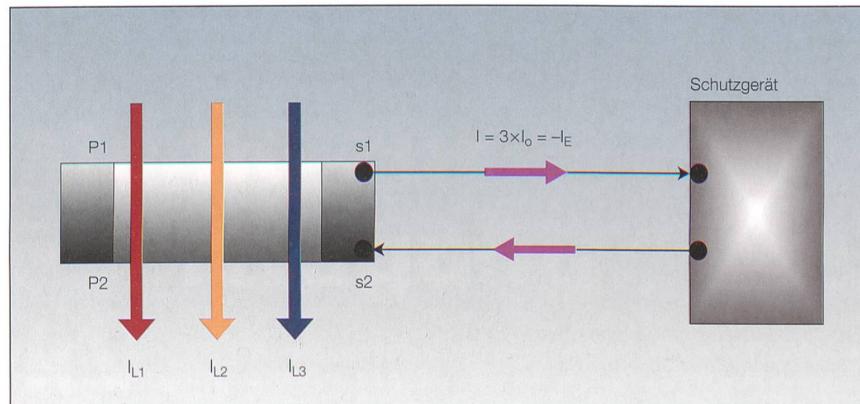


Bild 7 Ströme im Kabelumbauwandler.

Bei Spannungswandlern ist ebenfalls zu beachten, für welche Beanspruchung sie ausgelegt sind. Explizit ist bei Neuinstalltionen zu fordern, dass sie (gemäß IEC) mit  $1,9 \cdot U_0$  während 8 h betrieben werden können. Bei einer Umstellung der Netzbetriebsart (z.B. Abschaltung nach 120 ms) auf gelöschten Sternpunkt (Erdschlussdauer 2 h) besteht das Risiko, dass falsch ausgelegte Wandler diese 2 h Erdschlussdauer nicht überleben.

### Erdschlussstrom

Im Folgenden werden 2 Möglichkeiten der Erdschlussstromerfassung beschrieben sowie die Anforderungen an die Genauigkeit der Wandler.

#### Erdschlussstromerfassung mittels Phasenstromwandlern

Wie bereits erläutert, ergibt sich der Erdschlussstrom als Summe der 3 Phasen-

ströme. Diese Summenbildung kann auf 2 Arten vorgenommen werden. Entweder berechnet das Schutzgerät die Summe der 3 Phasenströme numerisch, oder die 3 Phasenströme werden signalmässig addiert, indem die Summe der 3 Ströme auf einen 4. Stromeingang des Schutzgeräts geführt wird (Bild 5).

Der Nachteil der Ermittlung des Erdschlussstroms als Summe der 3 Phasenströme liegt in der Genauigkeit der Stromwandler: Die 3 Phasenstromwandler können innerhalb ihrer spezifizierten Genauigkeitsklasse unterschiedliche Amplituden und Winkelfehler aufweisen. Diese äussern sich schliesslich in einem bezüglich Amplitude und Phasenlage etwas ungenauen Summenstromsignal.

Deshalb ist diese Art der Erdschlussstromerfassung nur dann geeignet, wenn ein möglicher Amplituden- oder Winkelfehler keinen negativen Einfluss auf die Zuver-

Messklassen IEC												
Accuracy class	± Percentage current ratio error at percentage of rated current shown below				± Phase displacement at percentage of rated current shown below							
					Minutes				Centiradians			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
1,0	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

Schutzklassen IEC														
Accuracy class	Current error at rated primary current %				Phase displacement at rated primary current				Composite error at rated accuracy limit primary current %					
					Minutes		Centiradians							
5 P	± 1				± 60				5					
10 P	± 3				-				10					

Bild 8 Die Klassen von Amplituden- und Winkelgenauigkeit von Kabelumbauwandlern gemäß IEC.

lässigkeit der Erdschlusserkennung bzw. -abschaltung hat.

## Erdschlusstromerfassung mittels Kabelumbauwandler

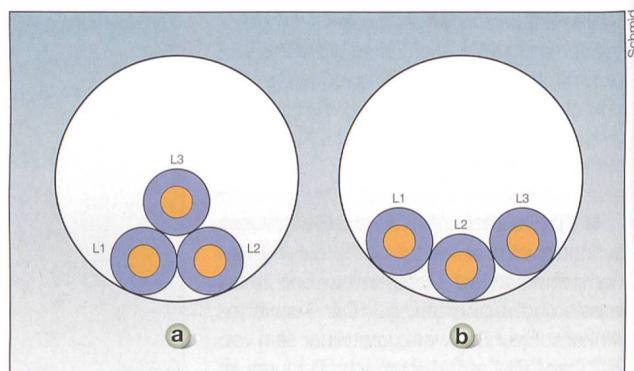
Ein Erdschlusstrom-Kabelumbauwandler misst direkt die Summe der 3 Phasenströme (Bild 6). Zu beachten ist, dass die Erdung der Kabelschirme (Schirmströme) korrekt durch den Stromwandler zurückgeführt wird. Auf die Polarität des Stroms des Erdschluss-Kabelumbauwandlers muss genau geachtet werden (Bild 7):

$$\text{Strom } P1-P2 = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} = 3 \times I_o = -I_E$$

## Stromwandler-Genaugkeitsklassen

Abhängig von der Schutzfunktionalität sind die Anforderungen an die Genauigkeit der Erdschluss-Kabelumbauwandler unterschiedlich. Für die Erkennung von kapazitiven Erdschlusströmen in Netzen mit iso-

Bild 10 MS-Kabel im Kabelschutzrohr,  
a) Dreileiterkabel,  
b) Einleiterkabel.



liertem Sternpunkt sind die Anforderungen an die Genauigkeit der Erdschluss-Kabelumbauwandler unkritisch.

Bei gelöschten Netzen und gerichteter Erdschlusserfassung muss der Wattstromanteil des Erdschlusstroms ermittelt werden. Dieser Watt-Reststrom kann, abhängig von den Netzbedingungen, relativ klein sein (5–10 A). Entsprechend ist zu klären, welche Anforderungen an die Amplituden- und die Winkelgenauigkeit des Kabelumbauwandlers gestellt werden müssen, damit Erdschlüsse vom Schutzgerät korrekt detektiert und abgeschaltet werden können. Bild 8 zeigt die nach IEC bestehenden Klassendefinitionen. Daraus ist ersichtlich, dass bezüglich Amplituden- und Winkelfehler ein Wandler 5P eine höhere Genauigkeit aufweist als ein Wandler der Klasse 1.

Grundsätzlich sind Wandlerhersteller in der Lage, auch Wandler mit spezifischen Genaugkeitsvorgaben herzustellen. Die Frage ist jedoch, ob diese Genaugkeitsklasse denn auch wirklich benötigt wird, sind doch speziell hergestellte Wandler logischerweise teurer als Standardwandler. Generell sollte deshalb auch bei der Auswahl der Stromwandler gelten: So gut wie nötig und nicht so gut wie möglich.

Aufgrund der Höhe der Ströme ist es fallweise (abhängig von der Netzkonstellation) möglich, den Erdschlusstrom als Summe der 3 Phasenströme zu bestimmen, d.h.

ein separater Erdschluss-Umbauwandler ist gar nicht erforderlich.

## Erdschlusstromerfassung in teilvermaschten Netzen

Beim Betrieb von teilvermaschten Netzen (Bild 8) oder beim Betrieb von Parallelkabeln zwischen 2 Anlagen kann es bei der Erfassung von Erdschlusströmen zu gewissen Erschwernissen kommen, da sich die Phasenströme nicht voll symmetrisch auf die Parallelkableitung aufteilen.

Ursache dafür sind die häufig eingesetzten Mittelpunktsnetzeinleiterkabel, entweder eingezogen in ein Kabelschutzrohr (Bild 9) oder verlegt in Ebene auf Pritschen in industriellen Anlagen.

Diese Einleiterkabel weisen dann pro Phasenleiter eine leicht unterschiedliche Reaktanz X auf. Das führt dazu, dass sich der Laststrom pro Phase unterschiedlich auf die Parallelkabel verteilt. Dies wiederum äußert sich pro Kableitung in einer Stromsumme

$$I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} = 3 \times I_o = -I_E$$

die von null verschieden ist. Eine solche Netzkonstellation bedeutet also, dass im Normalbetrieb die Erdschlussschutzgeräte einen Erdschlusstrom (wenige A) zu erfassen glauben.

Entsprechend von Bedeutung ist, dass die Erdschlussschutzgeräte nicht nur den Erdschlusstrom auswerten, sondern auch die Erdschlussspannung und den Phasenwinkel zwischen Erdschlusstrom und -spannung, damit Fehlererkennungen von Erdschlüssen ausgeschlossen werden können.

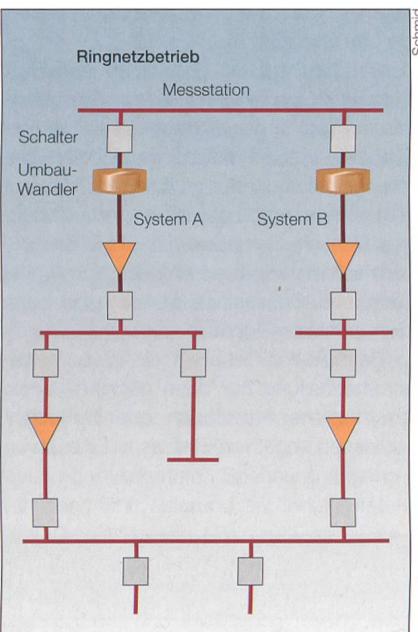


Bild 9 Teilvermaschte Netzstruktur mit Erfassung des Erdschlusstroms an parallel geschalteten Leitungen.

### Résumé

### Protection contre les courts-circuits à la terre sur le réseau moyenne tension

Choix du principe approprié de protection compte tenu des changements possibles dans l'exploitation du réseau. Afin de pouvoir garantir à moyen terme le fonctionnement des appareils installés en vue de la protection contre les pertes à la terre, il importe, lors de l'installation de ces appareils de choisir, parmi les divers principes de protection et les appareils correspondants disponibles sur le marché, des appareils capables de détecter et de couper fiablement les courts-circuits à la terre pour différents types d'exploitation du réseau. Outre le choix de l'appareil de protection proprement dit, un choix optimal des convertisseurs de tension et transformateurs de courant en fonction des applications est également important.

### Angaben zum Autor

**Roland Schmid**, Dr. sc. Techn. ETH, war während rund 15 Jahren in unterschiedlichen Funktionen bei Versorgungsunternehmen und Lieferanten im Bereich der Stromübertragung und -verteilung tätig. Seit Beginn 2002 ist er Partner der EcoWatt Projects AG in Altendorf.

EcoWatt Projects AG, Tiergartenstrasse 16, 8852 Altendorf, r.schmid@ewpag.ch

# Kabelsysteme zur Energieübertragung bis 500 kV.



Gesamtlösungen von Brugg Cables für Anwendungen aus Industrie- und Energieversorgung. Für weitere Informationen besuchen Sie unsere neue gestaltete Homepage [www.bruggcables.com](http://www.bruggcables.com) oder nehmen Sie Kontakt mit uns auf. Wir beraten Sie gerne persönlich.

Brugg Kabel AG, Klosterzelgstrasse 28, 5201 Brugg  
Telefon +41 (0)56 460 33 33, Fax +41 (0)56 460 35 36  
E-Mail [info@brugg.com](mailto:info@brugg.com), [www.bruggcables.com](http://www.bruggcables.com)

**BRUGG** CABLES  
*Well connected.*

# Die Zukunft liegt in der Kommunikation

– Mit Kamstrup erhalten Sie langjähriges Know-how



Kamstrup ist einer der führenden Hersteller von Systemlösungen für Energiemessung in der Welt.

Kamstrup Smart Meters erstellen Daten für verbraucherorientierte Mehrwertleistungen wie Steuerung, elektronische Rechnungsstellung und internetbasierte Dienste.



**Kamstrup**

[www.kamstrup.ch](http://www.kamstrup.ch)

# OPTIMATIK

## Energiedaten erfassen, aufbereiten, bereitstellen, liefern...

Optimatik ist Ihr leistungsstarker Partner für die Einführung und Unterstützung von Energiemarkt-Systemen.

Gemeinsam stellen wir mit Ihnen die richtigen Weichen für die Veränderungen im liberalisierten Strommarkt.

### ALLES AUS EINER HAND:

MOBILE ZÄHLERDATENERFASSUNG  
ZÄHLERFERNAUSLESDUNG  
ENERGIEDATENMANAGEMENT  
SMART METERING

Optimatik AG  
Gewerbezentrum Strahlholz  
CH-9056 Gais  
T +41 71 791 91 00  
F +41 71 791 91 10

Bureau Romandie:  
CH-1023 Crissier  
T +41 21 637 21 00  
[info@optimatik.ch](mailto:info@optimatik.ch)  
[www.optimatik.ch](http://www.optimatik.ch)