

Niederohmige Sternpunktterdung bringt Vorteile

## Umstellung der Sternpunktterdung im 20-kV-Kabelnetz

Die niederohmige Sternpunktterdung gewährleistet eine rasche Ortung und Abschaltung von Erdfehlern. Die stationäre und transiente Spannungsbeanspruchung der fehlerfreien Leiter ist bei Resistanz- bzw. Reaktanzsternpunktterdung unterschiedlich, jedoch zeitlich deutlich kürzer als bei Resonanzsternpunktterdung. Damit verringert sich die Wahrscheinlichkeit von intermittierenden Fehlern oder Doppelerdschlüssen, die als die eigentlichen Problematiken hinsichtlich der Versorgungssicherheit und Spannungsqualität zu sehen sind. Die Verfasser berichten über die Motivation zur Sternpunktumstellung, den Netzschutz und Erfahrungen, welche bei einem Erdschlussversuch gewonnen wurden.

Im gelöschten betriebenen 20-kV-Kabelnetz führt ein einpoliger Erdschluss unter Umständen zu einer sehr lange andauernden Spannungsüberhöhung auf den nicht fehlerbehafteten Leitern. Eine automatische Abschaltung durch Netzschutzeinrichtungen findet bei dieser Form der Sternpunktbehandlung im einpoligen Fehlerfall in Deutschland nicht statt. Die manuelle Abschaltung durch Mitarbeiter des Netzbetreibers dauert vor allem dann sehr lange, wenn der be-

troffene 20-kV-Halbring vom Erdschlussfassungssystem nicht eindeutig ausgewiesen wird. Als Ursachen hierfür sind hochohmige und intermittierende Fehler oder parallele Speisekabel zu sehen. Es sei an dieser Stelle jedoch auch darauf verwiesen, dass mangelhafte Schutzkonzepte, unpassende Einstellungen der Schutzgeräte sowie eine unzureichende Inbetriebnahme ebenso die Ursache für ein Versagen des Erdschlusschutzsystems sein können. Die Anzahl der zur Identifizierung des fehlerhaften Kabels notwendigen Suchschaltungen hängt jedoch auch bei einem funktionierenden Erdschlusschutzsystem von der Anzahl der installierten Relais im Halbring sowie dessen Struktur ab und führt unwillkürlich zu beeinträchtigter Versorgung bei den betroffenen Kunden. Mit der Fehlerdauer wächst das Risiko, dass es zur Ausbildung eines weiteren Erdfehlers in einem anderen Leiter kommt.

Während Bauarbeiten im Versorgungsgebiet von Kabelnetzbetreibern in der Regel die Hauptgründe für 20-kV-Störungen darstellen, sind

### Erdfehler

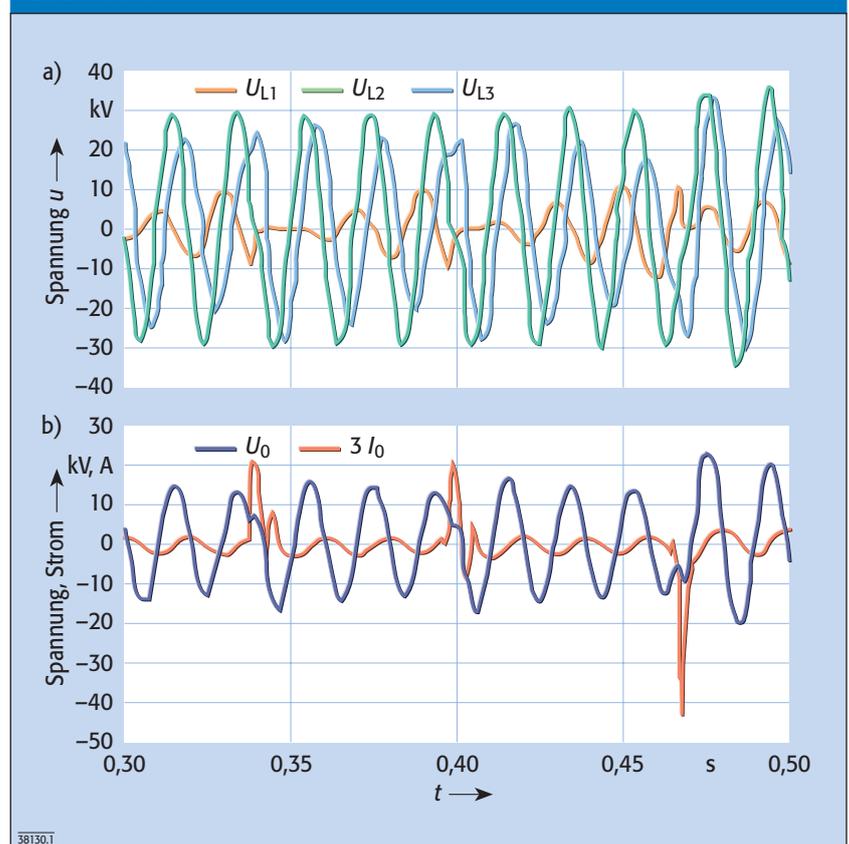


Bild 1. Intermittierender Erdfehler, a) Leiterspannungen, b) Sternpunktstrom und -spannung

Dipl.-Ing. **Walter Castor**, Bereichsleiter Netze, Dipl.-Ing. **Robert Finkl**, Abteilungsleiter Netzführung und Netzschutz, Erlanger Stadtwerke AG, und Dipl.-Ing. **Hagen Grünert**, Sachverständiger Elektrische Energietechnik, Schutztechnik von Hoch- und Mittelspannungsanlagen, Geschäftsführer der GSC power engineering GmbH, Erlangen.

als technische Ursachen vor allem PE-Kabel, Spannungswandler und Kaltschrumpfmuffen als Schwachstellen zu nennen. Untersuchungen an Kaltschrumpfmuffen ergaben, dass eine – in ihrem Ausmaß von der Lagertemperatur abhängige – Nicht-Reversibilität des Elastizitätsmoduls nach dessen Entlastung zur Verringerung der axialen elektrischen Festigkeit führt und als Ursache für erhöhte Fehlerhäufigkeit gesehen wird. Das Problem des »water treeing« bei PE-Kabeln aus bestimmter Fertigung ist in Erlangen kein Thema mehr, seit sämtliche PE-Kabel ausgetauscht oder saniert wurden.

Ein Doppelerdschluss führt für alle aus dem 20-kV-Netz versorgten Kunden zu einem spürbaren Spannungseinbruch mit den entsprechenden negativen Konsequenzen, wie Produktionsunterbrechungen oder Systemausfällen. Die selbstständige Löschung des Erdfehlers, durch Kompensation des kapazitiven Erdschlussstroms mit Petersenspulen, ist zweifelsfrei für Freileitungsnetzbetreiber von Vorteil.

Durch die bei niederohmiger Sternpunktterdung nur noch für maximal einige hundert Millisekunden andauernde Spannungsüberhöhung auf den gesunden Leitern findet ein Übergang zum mehrpoligen Fehler und dem damit verbundenen starken Spannungseinbruch praktisch nicht mehr statt. Abschaltungen von Kunden im Rahmen der Erdschlusssuche gehören ebenfalls der Vergangenheit an. Es wird durch den Netzschutz nur der tatsächlich fehlerbehaftete 20-kV-Halbring automatisch vom Netz getrennt. Die Wahrscheinlichkeit der Abschaltung eines zweiten Halbrings, wie im Falle eines Doppelerdschlusses, ist sehr gering. Da bei dieser Betriebsweise die Kurzschlussanzeiger in den Transformatorstationen bereits beim einpoligen Fehler zuverlässig ansprechen, wird gleichfalls die fehlerbehaftete Kabelstrecke innerhalb des Halbrings ausgewiesen, so dass die Freischaltung der fehlerbehafteten Teilstrecke und Wiedereinschaltung aller in diesem Halbring angeschlossenen Kunden sehr schnell vorgenommen werden kann. Der Spannungseinbruch der Leiterspannungen, der durch den einpoligen Fehler im niederohmig geerdeten Netz verursacht wird, ist deutlich geringer als beim Doppelerdschluss im gelöschten Netz und wird von den an der Unterspan-

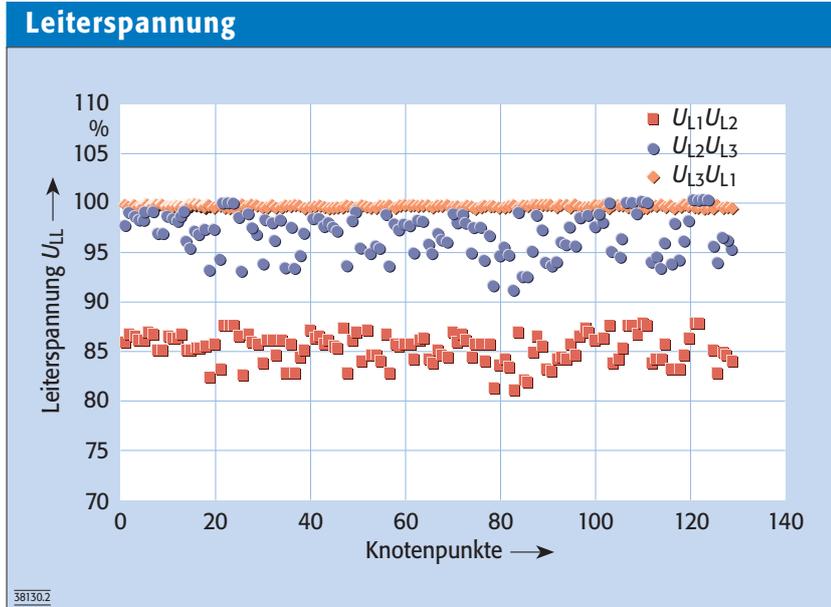


Bild 2. Minimale LL-Spannungen im Westnetz

nungsseite der Transformatoren angeschlossenen Kunden nicht registriert – so die bisherigen Erfahrungen der Erlanger Stadtwerke als auch die Erfahrungen regionaler und überregionaler Netzbetreiber.

Bild 2 zeigt die berechneten minimalen Leiterspannungen im betrachteten Netz für einpolige Fehler an allen Sammelschienen. Es ist ersichtlich, dass die Spannung nicht unter 80 % fällt.

Als Vorteile können somit gesehen werden:

- geringe Wahrscheinlichkeit von Doppelerdschlüssen und intermittierenden Erdschlüssen,
- geringe Spannungsabsenkung der Leiterspannungen während des Fehlers,
- Abschaltung des fehlerbehafteten

Abgangs, keine Abschaltung eines zweiten Abgangs,

- schnelle Fehlerlokalisierung sowie
- durch die schnelle Abschaltung nur lokal begrenzte thermische Schädigung des fehlerbehafteten Betriebsmittels.

#### Parameter der Sternpunktterdung

Die Erdung kann als Resistanz- oder Reaktanzsternpunktterdung ausgeführt werden. Für die Erdung muss die zu erwartende Höhe des Fehlerstroms berücksichtigt werden. Wesentliche Merkmale für die Auslegung sind:

- transiente Überspannungen: Die Resistanzerdung zeichnet sich durch eine höhere Dämpfung der transienten Spannungen aus. Das

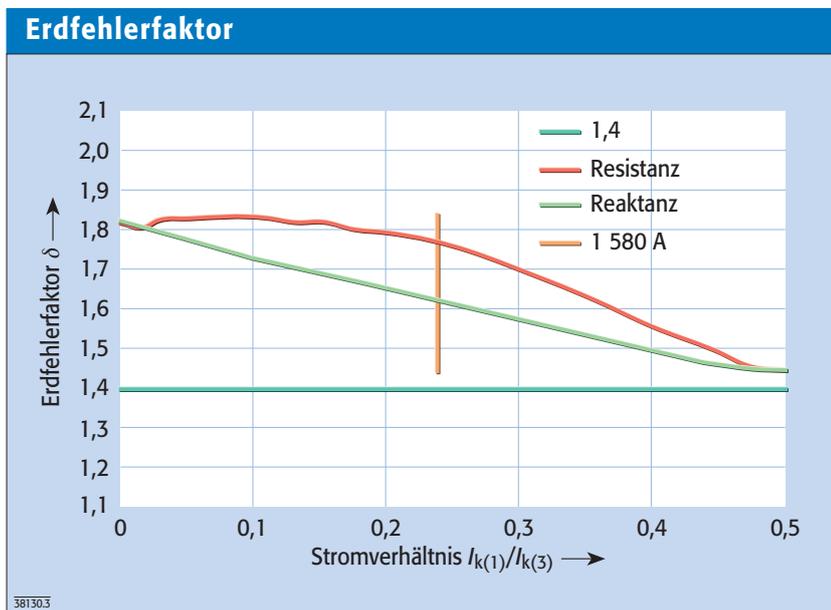


Bild 3. Erdfehlerfaktor als Funktion  $I_{k(1)}/I_{k(3)}$

bedeutet, dass die Spannungen der fehlerfreien Leiter nach Fehlereintritt wesentlich kleiner sind als bei Reaktanzsternpunktterdung.

- Stationäre Überspannungen: Bei der Resistanzsternpunktterdung liegen die Spannungsamplituden der gesunden Leiter im Fehlerfall in der Größenordnung derer des gelöschten Netzes.

Das betrachtete Netz ist trotz des maximalen Erdfehlerstroms von rd. 1 580 A (d. h.  $I_{k(1)}/I_{k(3)} = 0,24$ ) als ein Netz mit nicht wirksamer Sternpunktterdung zu bezeichnen ( $\delta > 1,4$ ). Die Dimensionierung der Erdungseinrichtung wird maßgeblich bestimmt durch:

- die obere Grenze des Fehlerstroms, die von den Erdungsanlagen gemäß DIN VDE 0101 und der Beeinflussung von Fernmeldeanlagen gemäß DIN VDE 0228 abhängt,
- die untere Grenze des Fehlerstroms, die durch die Netzschutzeinrichtungen bestimmt wird, um auch bei kleinstem Fehlerstrom einen Erdfehler sicher zu erkennen.

### Kabelimpedanzen

	R	X	$R_e/R_l$	$X_e/X_l$
$Z_1$ gemessen	0,157	0,116		
$Z_1$ theoretisch	0,151	0,105		
$Z_0$ gemessen	0,657	0,295	1,061	0,513
$Z_0$ theoretisch	0,572	0,232	0,929	0,403
Abweichung $Z_1$	-3,8 %	-9,6 %		
Abweichung $Z_0$	-12,9 %	-21,4 %	-12,4 %	-21,5 %

Tafel 1. Kabelimpedanzmessungen

### Schutztechnik

Die Umstellung der Sternpunktbehandlung erfordert im Netz des Energieversorgers als auch in den kundenseitigen 20-kV-Anlagen Anpassungen des Netzschutzes. In zwei bereits umgestellten Netzgebieten berechnen sich die minimalen Kurzschlussströme zu 1,6 kA für mehrpolige Fehler und zu 0,7 kA für

### Fehlergrenzen

	Prozent der Nennspannung		
	2 %	5 %	100 %
Betragsfehler	±6 %	±3 %	±3 %
Winkelfehler	±240 min	±120 min	±120 min

Tafel 2. Fehlergrenzen von Spannungswandlern 3P

### Fehlerkenngrößen

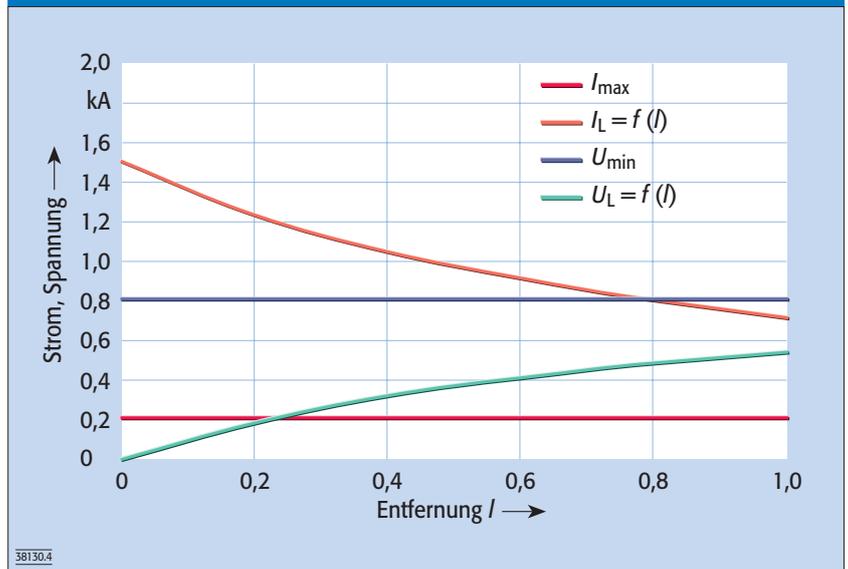


Bild 4. Einpolige Kurzschlussgrößen

einpolige Fehler. Unter Berücksichtigung paralleler Speisekabel und einer Ansprechbarkeit von mindestens 1,5 für Fehler im Schutzbereich zweiter Ordnung, beträgt der Einstellwert der leiterselektiven Anregelung rd. 200 A.

Die im Mittelspannungsnetz allgemein übliche Überstromanregung mit Einstellwerten zwischen 300 und 600 A muss daher für die Erdfehlererkennung durch eine spannungsgesteuerte Überstrom- oder Impedanzanregung ersetzt werden. Bild 4 zeigt den Fehlerstrom und die Fehlerspannung für

Fehler vom Speisepunkt im Umspannwerk bis zum entferntesten Netzausläufer. Die Spannung der fehlerhaften Phase bleibt für alle Fehlerorte unter dem Einstellwert  $U_{\min} = 0,8 U_N$ .

Der Schutz des Sternpunktbildners und Erdungswiderstands wird durch die Funktionen

- Überstromzeitschutz (50,50N, 51, 51N),
- Gegenseitenschutz (46) und
- Überlastschutz (49)

realisiert. Vor allem die Gegenseitenschutzfunktion bietet eine empfindliche, nahezu unverzögert

### Nullpunktbildner

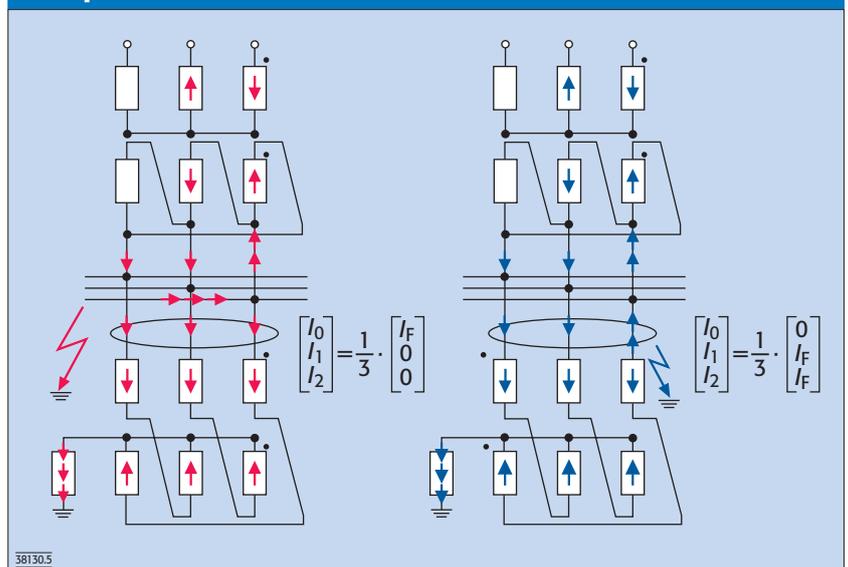


Bild 5. Ströme im Nullpunktbildner

wirkende und einfache Lösung zum Schutz des Kabels und Nullpunkt-bildners. *Bild 5* verdeutlicht, dass externe Fehler durch ein Nullsystem, interne Fehler durch ein Mit- und Gegensystem gekennzeichnet sind. Die Amplituden betragen jeweils 33 % des Fehlerstroms beim widerstandslosen Erdfehler.

### Praktische Erfahrungen und Versuchsergebnisse

Zur Verifizierung der Funktion der Schutzgeräte und vor allem der Gültigkeit der Kabeldaten sowie der tatsächlich auftretenden Erd- und Berührungsspannungen und dem Verhalten des Nullpunktbildners und Erdungswiderstands wurde ein Erdschlussversuch durchgeführt.

Um möglichst praxisnahe Bedingungen zu gewährleisten, wurde die Schaltung auf einen einpoligen Fehler mitten im Netz am Ende eines 0,89 km langen Kabels vom Typ NA2XS(F)2Y vorgenommen.

Der Fehler wurde selektiv bei einer Fehlerdauer von 120 ms vom betreffenden Distanzrelais abgeschaltet. Der Kurzschlussstrom betrug 1,43 kA, die Kurzschlussspannung 0,6 kV.

Es wurden die Erdspannungen am Speisepunkt und in Abständen von 150 und 350 m vom Umspannwerk gemessen. Die maximalen Amplituden lagen unter 20 V, was den praktischen Nachweis der Einhaltung der DIN VDE 0101 dokumentiert.

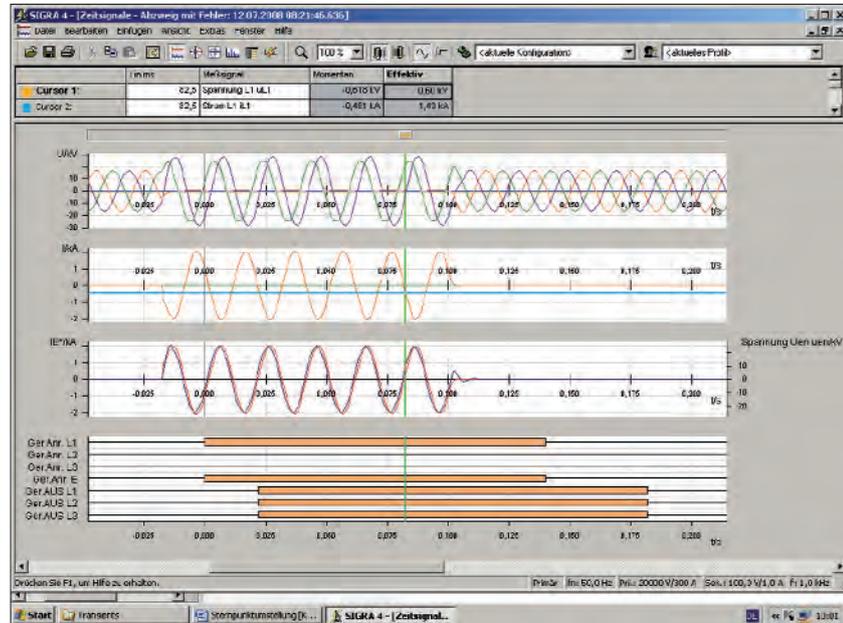


Bild 6. Störschrieb des fehlerbehafteten Felds

Großes Interesse galt der Verifikation der theoretischen und praktischen Kabeldaten. Hierzu wurden die Mit- und Nullimpedanz der Kabelstrecke ausgemessen. Die Abweichungen (*Tafel 1*) zeigen, dass besonders die Messung der Nullimpedanz bei der Verwendung von Distanzrelais unumgänglich ist.

Ein weiterer Aspekt, der nicht vernachlässigt werden darf, ist die Genauigkeit der Spannungswandler. Insbesondere im Kabelnetz mit kurzen Kabellängen beträgt die Kurzschlussspannung im Fehlerfall nur wenige Prozent der Nennspannung (siehe Versuchsdaten 5 %  $U_n$ ). In diesem Arbeitsbereich sind die Fehler, insbesondere der Winkelfehler, der häufig im Einsatz befindlichen Spannungswandler der Klasse 3P

entsprechend der *Tafel 2* relativ groß, was zu erheblichen Messfehlern bei der Reaktanzberechnung führt. Daher sollten Spannungswandler der Klassen 0,5 bzw. 1 verwendet werden.

### Zusammenfassung

Die Umstellung des 20-kV-Netzes von gelöschtem auf niederohmig geerdeten Sternpunkt bringt reinen Kabelnetzbetreibern und deren Kunden erhebliche betriebliche Vorteile, schont die angeschlossenen Betriebsmittel und führt mittelfristig zu Kosteneinsparungen.

Den Vorteilen ist der Aufwand gegenüberzustellen, der durch Anpassung des Netzschutzes und Installation der Erdungseinrichtungen verursacht wird. Im vorliegenden Fall beliefen sich die Kosten für ein umzustellendes Teilnetz mit einer Einspeiseleistung von 31,5 MVA auf weniger als 200 000 €, was dem günstigen Umstand zu verdanken ist, dass der gesamte Netzschutz bereits dreipolig ausgeführt war und deshalb in den Leistungsschalterabzweigen keine neuen 20-kV-Stromwandlersätze eingebaut werden mussten.

(38130)

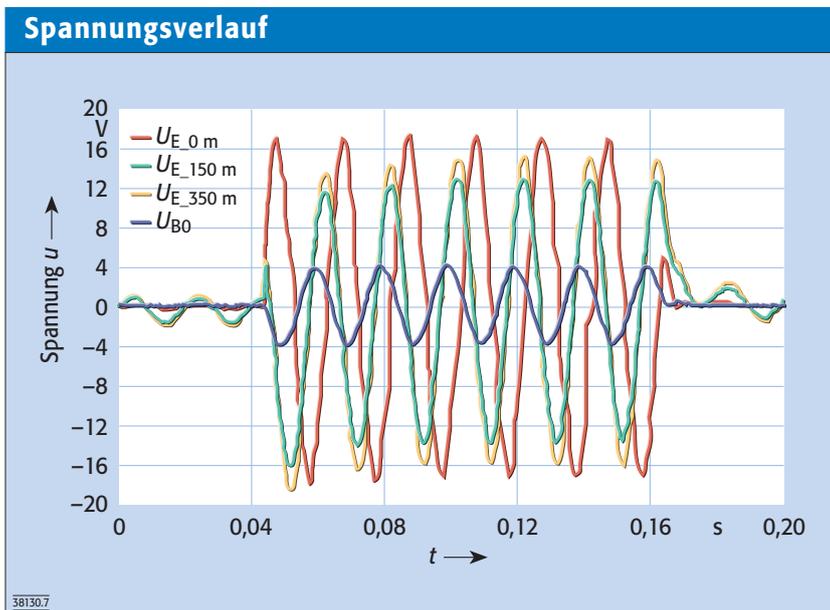


Bild 7. Erd- und Berührungsspannungen

- walter.castor@estw.de
- robert.fenkl@estw.de
- hagen.gruenert@gscpower.com
- www.estw.de
- www.gscpower.com