

Die Rolle von Globalen Erdungssystemen zur Sicherstellung der Zuverlässigkeit elektrischer Netze

14. Symposium Energieinnovation 2016 SCHUTZASPEKTE (SESSION C5)

Vortragender: Ernst Schmutzer

Autoren: Thomas Mallits, Ernst Schmutzer, Lothar Fickert, Thomas Höhn,
Redzo Muratovic, Joachim Gether

12.02.2016

AGENDA

- **Motivation**
- **Messung**
- **Weiterführende Simulationen**
- **Zusammenfassung**
- **Ausblick**

- **Die Altersstruktur vieler Kabelverteilnetze erfordert aufgrund der damit verbundenen verminderten Isolationsfestigkeit immer häufiger neue Schutzkonzepte für einen sicheren Anlagen- und Personenschutz in der Zukunft (KNOPE, KNOSPE statt isolierter oder gelöschter HS-Netze).**
- **Mit diesen neuen Schutzkonzepten steigen die Fehlerströme bei einpoligen Erdschlüssen und somit treten auch die erhöhte Gefahren hinsichtlich Erdoberflächenpotential, Schritt- bzw. Berührungsspannungen bei Stations- und Kabelfehlern innerhalb Globaler Erdungssysteme auf.**
- **Fragen**
 - **Welche Gefahren können bei der Umstellung auftreten?**
 - **Was ist ein Globales Erdungssystem?**
 - **Welche Lösungsmöglichkeiten gibt es?**
- **Antworten?**

Fehlerhäufigkeit in HS-Netzen

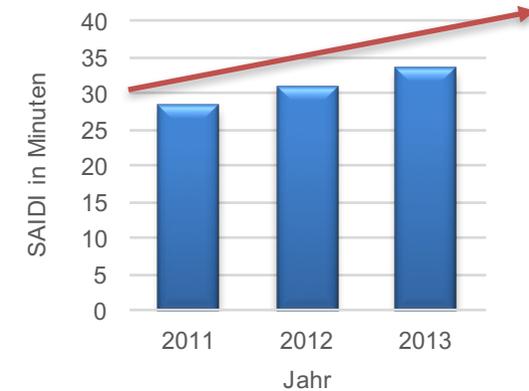
Indikator: System Average Interruption Duration Index (SAIDI)

Ungeplante kundenbezogene Nichtverfügbarkeit, nur technische und menschliche Fehler

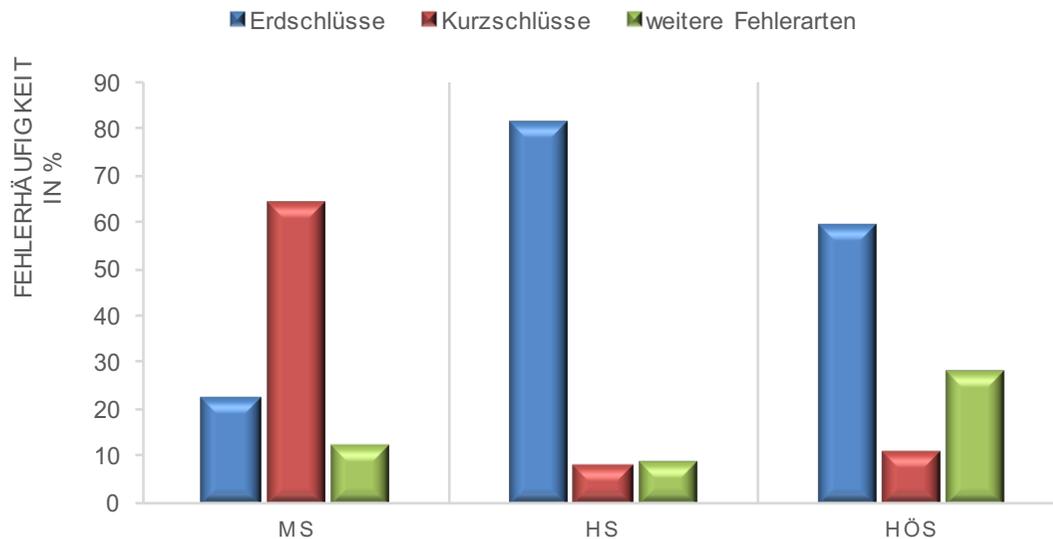
$$SAIDI = \frac{\sum U_i \cdot N_i}{\sum N_i} = \frac{\text{Summe aller Versorgungsunterbrechungen}}{\text{Gesamtzahl aller Verbraucher}} \text{ in Minuten, Stunden}$$

N_i Anzahl der Verbraucher

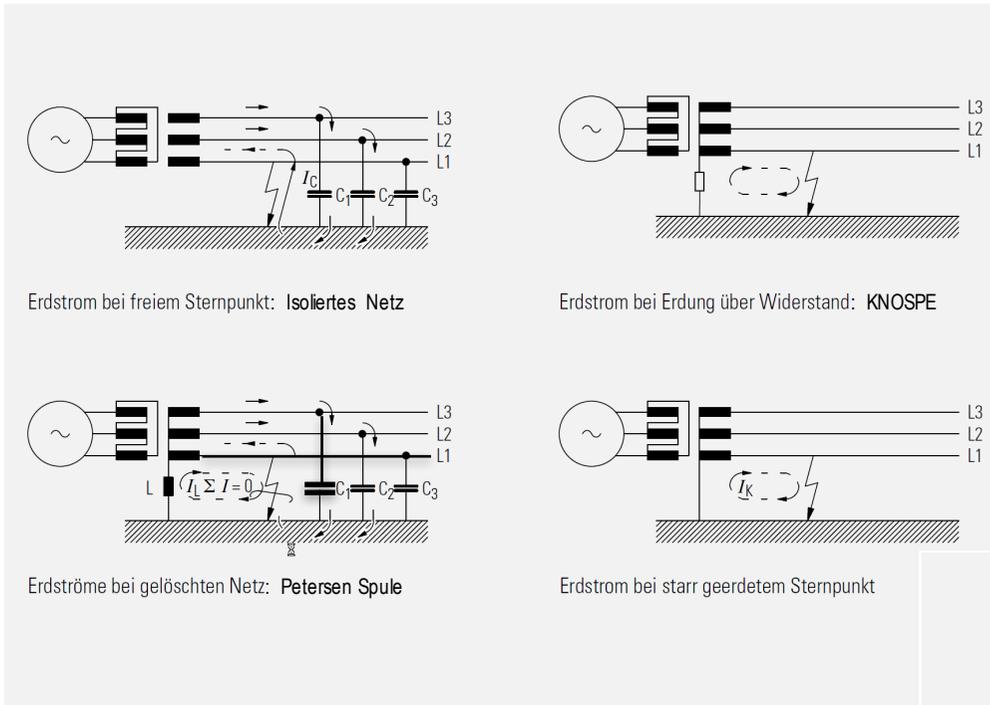
U_i jährliche Ausfallzeit in einem Gebiet (Abzweig, Ortsteil, Stadt,...) i



Quelle: E-Control, Ausfall und Störstatistik für Österreich 2013



Quelle: VDE Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik 2007



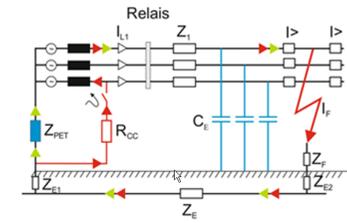
Erdstrom bei freiem Sternpunkt: **Isoliertes Netz**

Erdstrom bei Erdung über Widerstand: **KNOspe**

Erdströme bei gelöschten Netz: **Petersen Spule**

Erdstrom bei starr geerdetem Sternpunkt

Bild 2
Erdströme in Abhängigkeit von der Behandlung des Sternpunktes
Quelle: Erdschlusserfassung: Siemens LSA 2, 1995



Kurzzeitige niederohmige Phasen Erdung: **KNOspe**

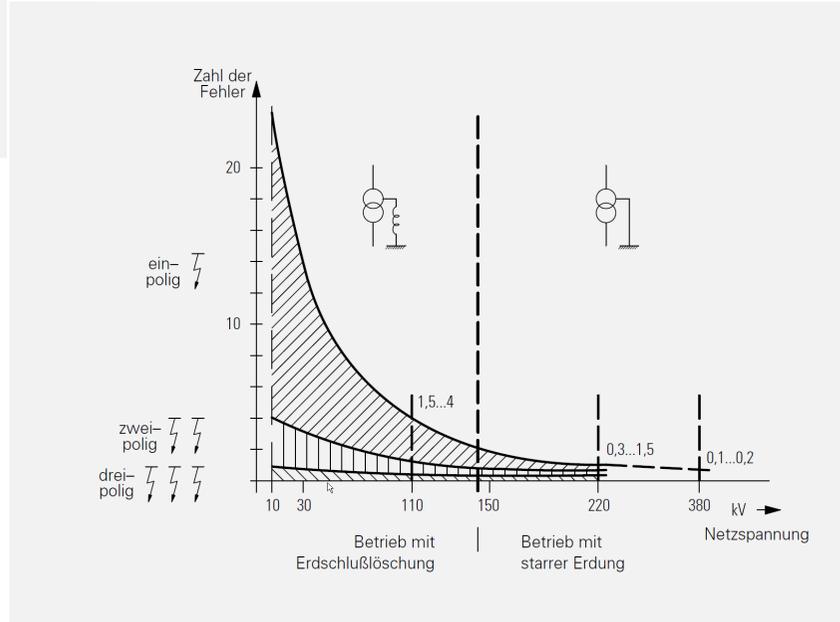
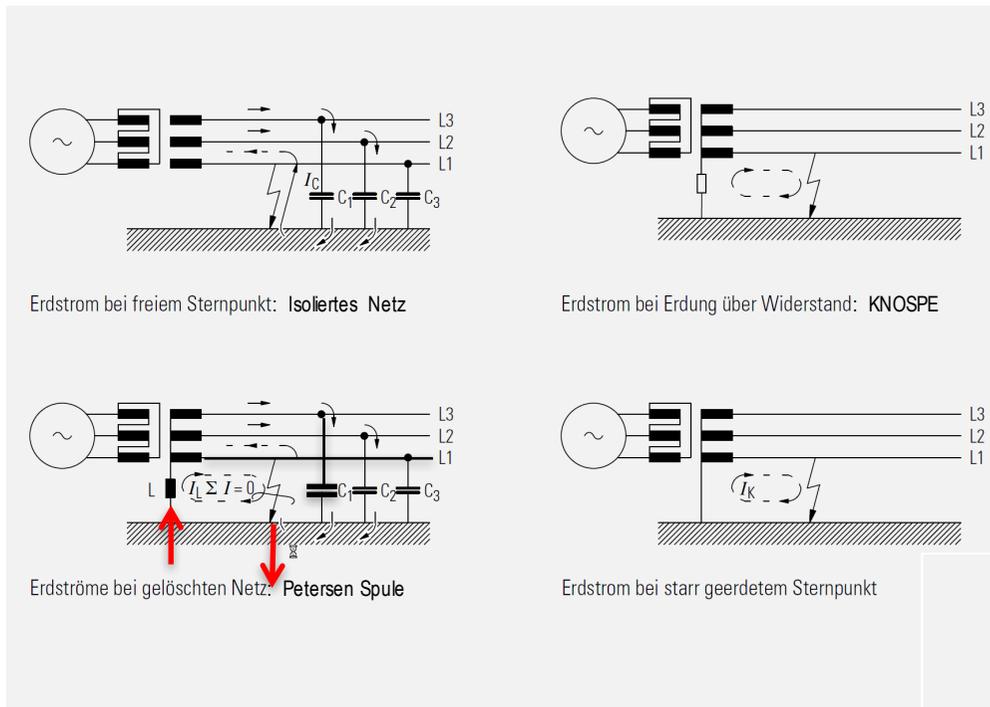


Bild 1
Zahl der Fehler auf 100 km Freileitung (im Jahresdurchschnitt)
Quelle: Erdschlusserfassung: Siemens LSA 2, 1995



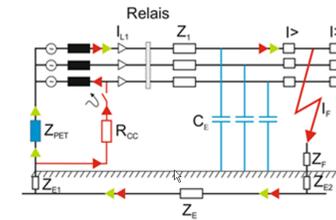
Erdstrom bei freiem Sternpunkt: **Isoliertes Netz**

Erdstrom bei Erdung über Widerstand: **KNOspe**

Erdströme bei gelöschtem Netz: **Petersen Spule**

Erdstrom bei starr geerdetem Sternpunkt

Bild 2
Erdströme in Abhängigkeit von der Behandlung des Sternpunktes
Quelle: Erdschlusserfassung: Siemens LSA 2, 1995



Kurzzeitige niederohmige Phasen Erdung: **KNOspe**

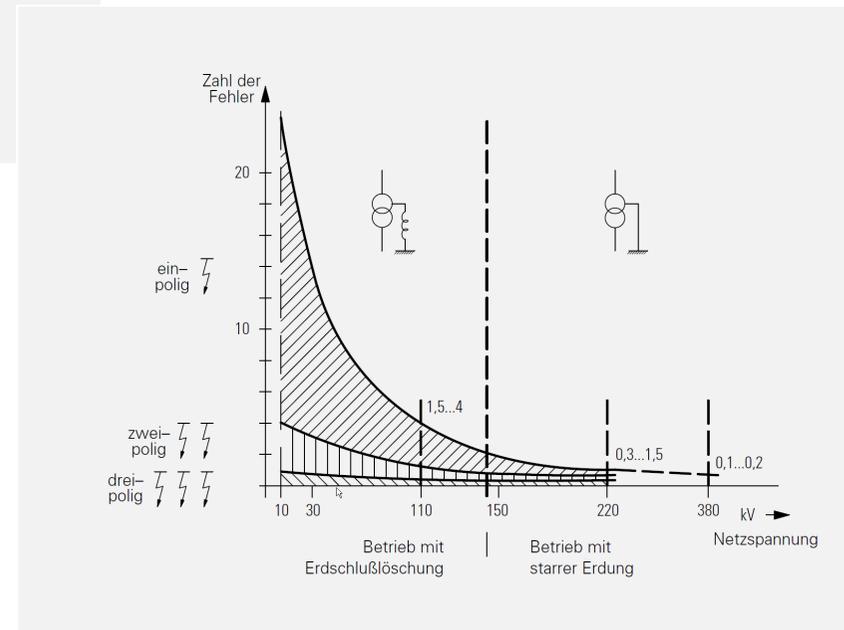
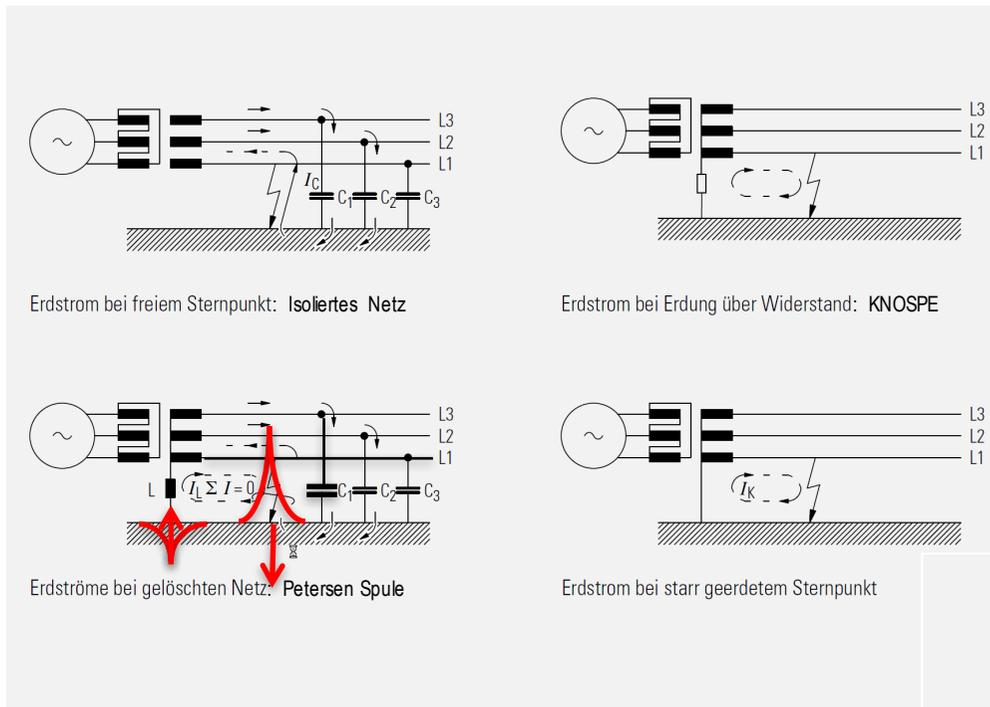


Bild 1
Zahl der Fehler auf 100 km Freileitung (im Jahresdurchschnitt)
Quelle: Erdschlusserfassung: Siemens LSA 2, 1995



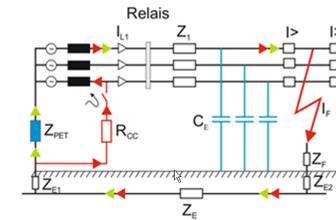
Erdstrom bei freiem Sternpunkt: **Isoliertes Netz**

Erdstrom bei Erdung über Widerstand: **KNOspe**

Erdströme bei gelöschtem Netz: **Petersen Spule**

Erdstrom bei starr geerdetem Sternpunkt

Bild 2
 Erdströme in Abhängigkeit von der Behandlung des Sternpunktes
 Quelle: Erdschlusserfassung: Siemens LSA 2, 1995



Kurzzeitige niederohmige Phasen Erdung: **KNOspe**

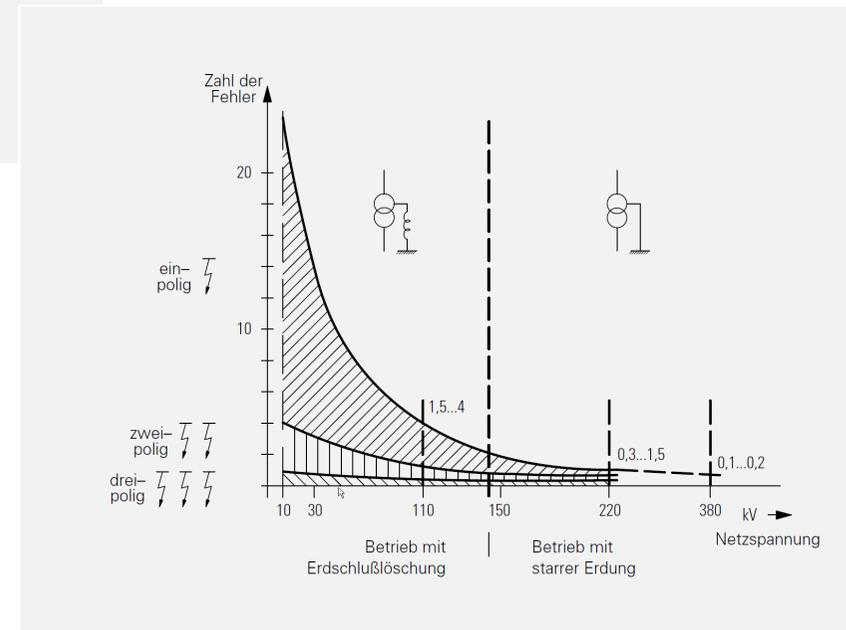
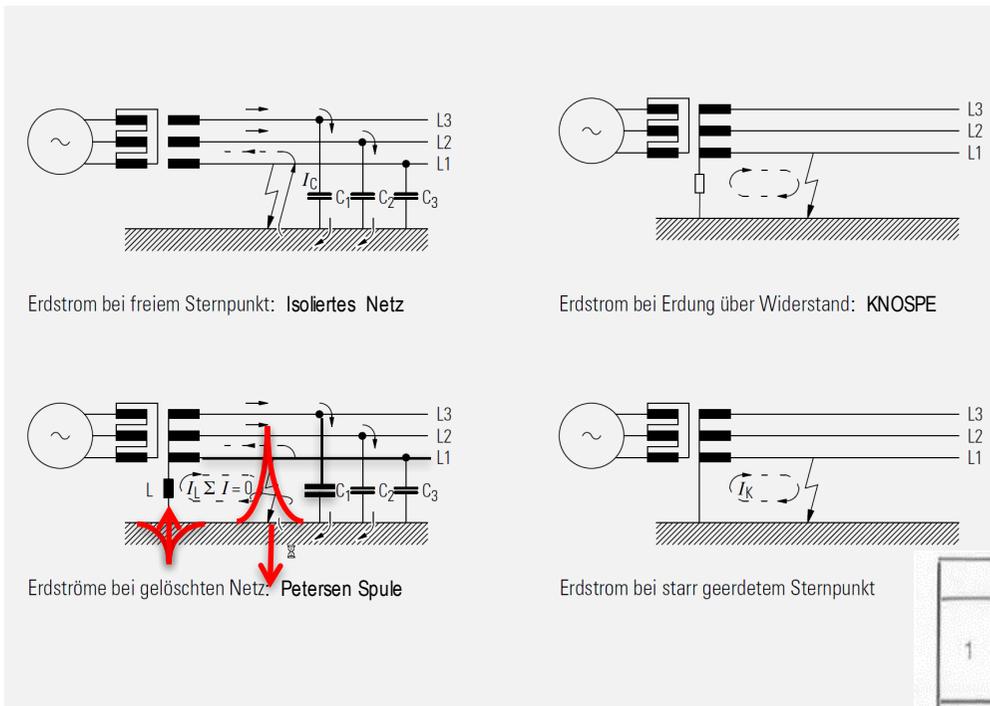


Bild 1
 Zahl der Fehler auf 100 km Freileitung (im Jahresdurchschnitt)
 Quelle: Erdschlusserfassung: Siemens LSA 2, 1995

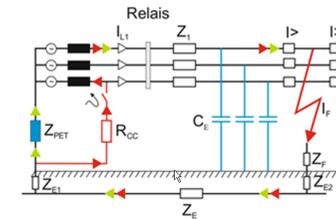


Erdstrom bei freiem Sternpunkt: **Isoliertes Netz**

Erdstrom bei Erdung über Widerstand: **KNO SPE**

Erdströme bei gelöschten Netz: **Petersen Spule**

Erdstrom bei starr geerdetem Sternpunkt



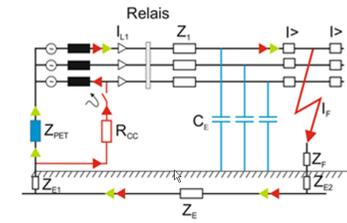
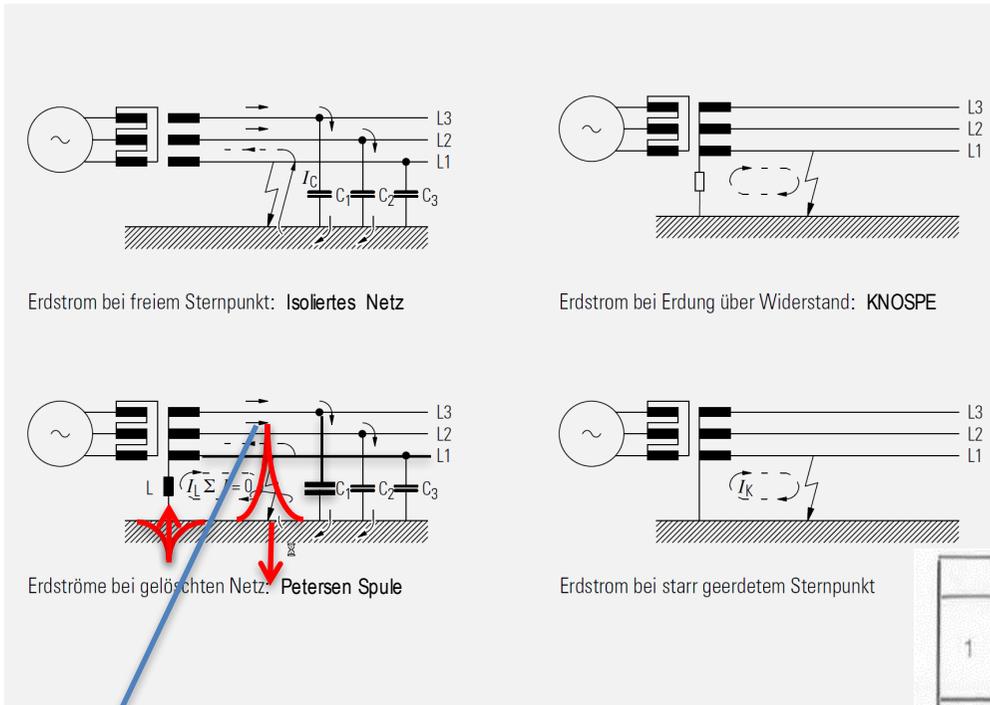
Kurzzeitige niederohmige Phasen Erdung: **KNO SPE**

Bild 2
 Erdströme in Abhängigkeit von der Behandlung des Sternpunktes
 Quelle: Erdschlusserfassung: Siemens LSA 2, 1995

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Nennspannung des Netzes kV		3 ... 20	25	30	45	60	110	150
2	Erdschlußreststrom bzw. Erdschlußstrom, A. Maßgebend ist die Grundwelle	Tabelle a	60	63	67	78	90	132	180
3		Tabelle b	35	37	40	50	60	—	—

Tabelle a für Netze mit Erdschlußkompensation; für Kabelnetze bis 20 kV Nennspannung mit kleinen Freileitungsanteilen gilt Tabelle a auch bei isoliertem neutralem Punkt, Tabelle b für Netze mit isoliertem neutralem Punkt.

Maximal zulässige Erdschlußrestströme
 Quelle: ÖVE B1 [3]



Erdstrom bei freiem Sternpunkt: **Isoliertes Netz**

Erdstrom bei Erdung über Widerstand: **KNOSE**

Kurzzeitige niederohmige Phasen Erdung: **KNOSE**

Erdströme bei gelöschten Netz: **Petersen Spule**

Erdstrom bei starr geerdetem Sternpunkt

Bild 2
Erdströme in Abhängigkeit von der Behandlung des Sternpunktes
Quelle: Erdschlusserfassung: Siemens LSA 2, 1995

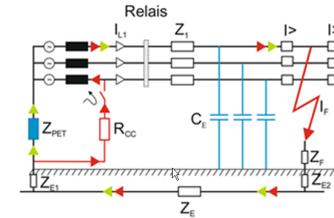
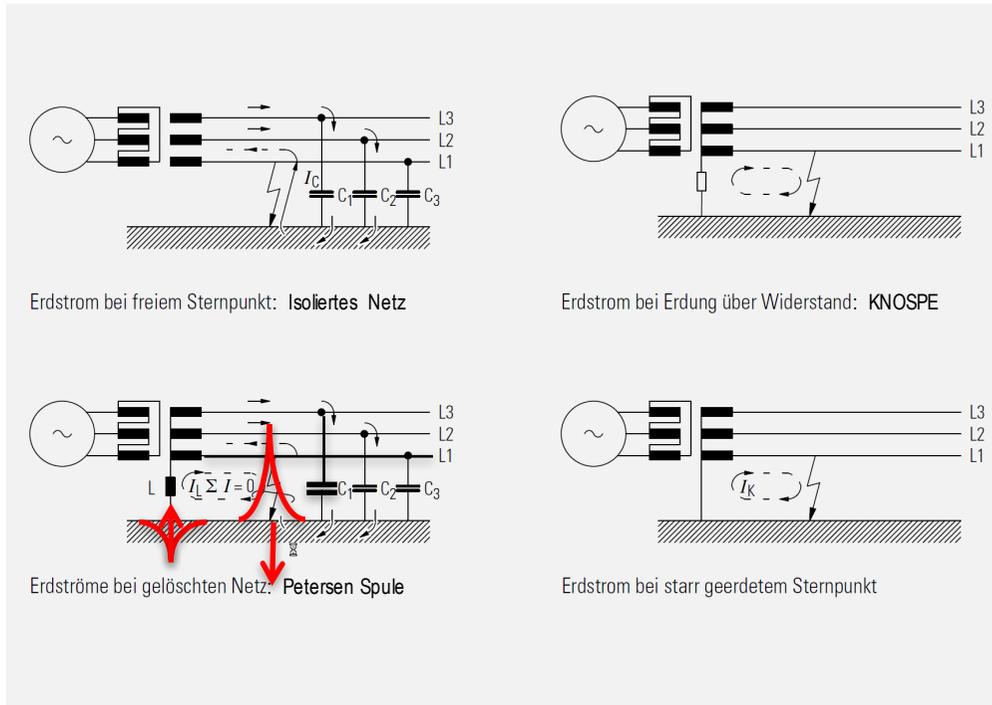
$$U_E = R_F \cdot I_F$$

U_E Erderspannung
 R_F Erderwiderstand
 I_F Fehlerstrom

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Nennspannung des Netzes kV		3 ... 20	25	30	45	60	110	150
2	Erdschlußreststrom bzw. Erdschlußstrom, A. Maßgebend ist die Grundwelle	Tabelle a	60	63	67	78	90	132	180
3		Tabelle b	35	37	40	50	60	-	-

Tabelle a für Netze mit Erdschlußkompensation; für Kabelnetze bis 20 kV Nennspannung mit kleinen Freileitungsanteilen gilt Tabelle a auch bei isoliertem neutralem Punkt, Tabelle b für Netze mit isoliertem neutralem Punkt.

Maximal zulässige Erdschlußrestströme
Quelle: ÖVE B1 [3]



Erdstrom bei freiem Sternpunkt: **Isoliertes Netz**

Erdstrom bei Erdung über Widerstand: **KNO SPE**

Kurzzeitige niederohmige Phasen Erdung: **KNO SPE**

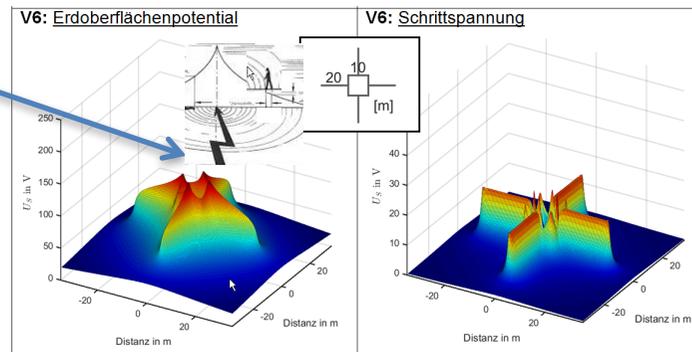
Erdströme bei gelöschten Netz: **Petersen Spule**

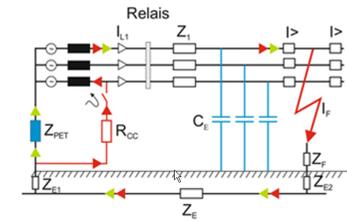
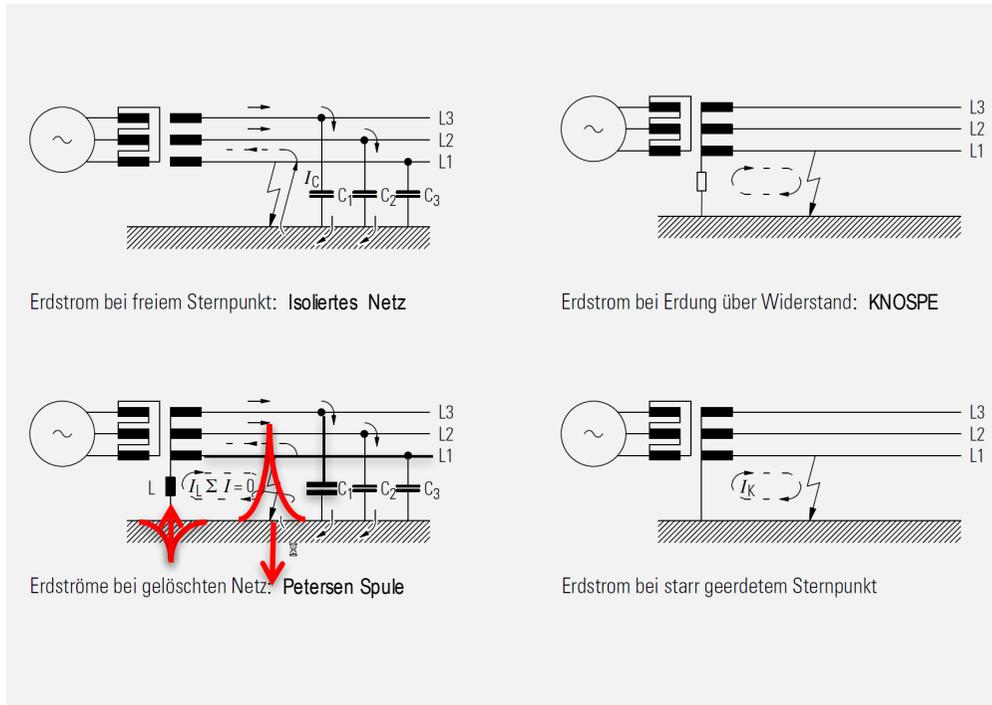
Erdstrom bei starr geerdetem Sternpunkt

Bild 2
 Erdströme in Abhängigkeit von der Behandlung des Sternpunktes
 Quelle: Erdschlusserfassung: Siemens LSA 2, 1995

$$U_E = R_F \cdot I_F$$

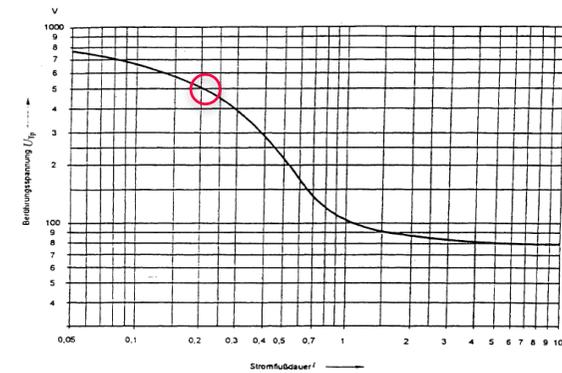
U_E Erderspannung
 R_F Erderwiderstand
 I_F Fehlerstrom





Kurzzeitige niederohmige Phasen Erdung: KNOSPE

Bild 2
 Erdströme in Abhängigkeit von der Behandlung des Sternpunktes
 Quelle: Erdschlusserfassung: Siemens LSA 2, 1995

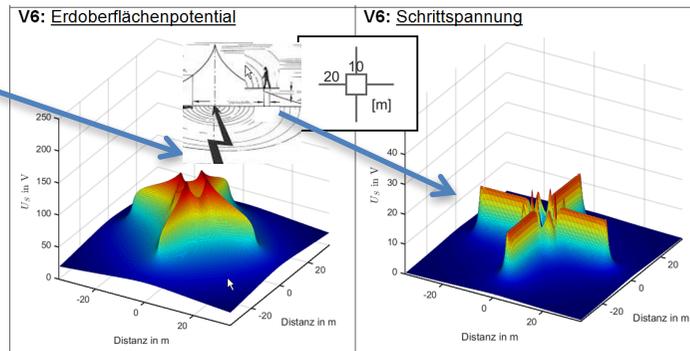


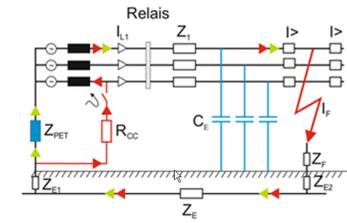
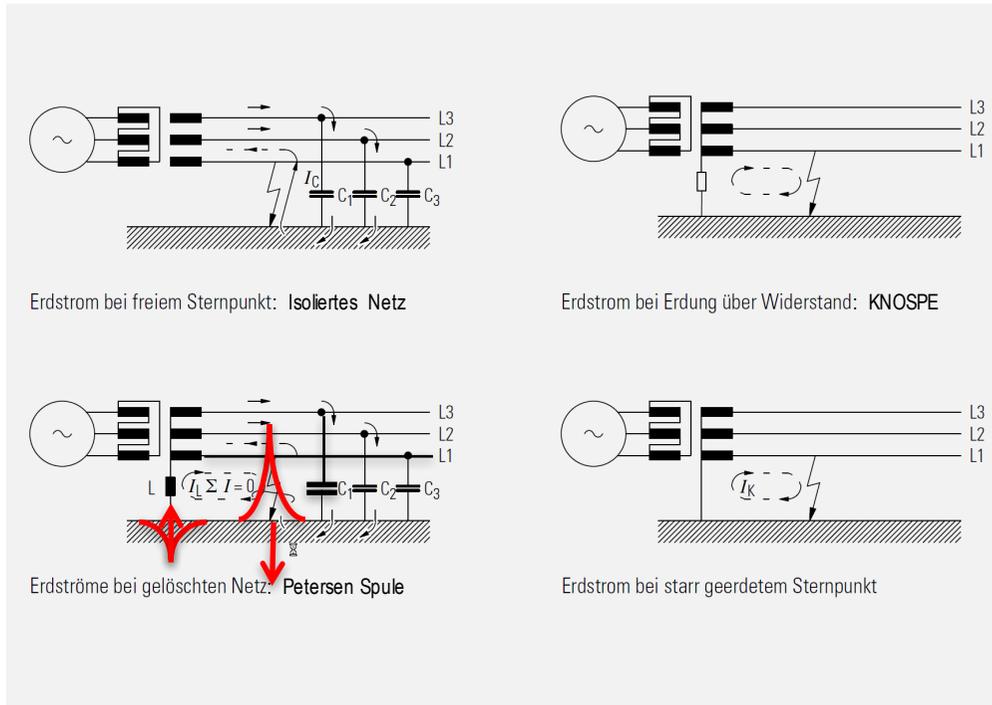
ANMERKUNG 1: Diese Kurve gilt für Erdfehler in Hochspannungsnetzen.
 ANMERKUNG 2: Falls der Stromfluß wesentlich länger andauert, als im Diagramm angegeben, kann für U_{TP} ein Wert von 75 V verwendet werden.

Maximal zulässige Berührungsspannungen
 Quelle: ÖVE E8383

$$U_E = R_F \cdot I_F$$

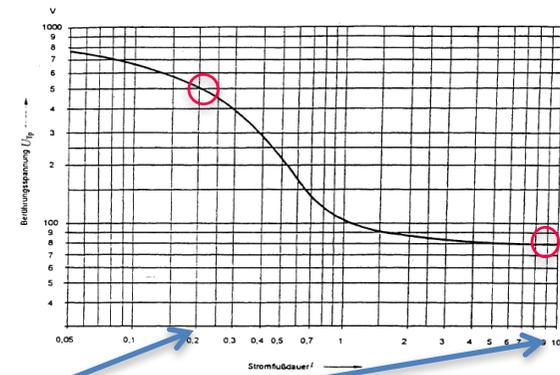
U_E Erderspannung
 R_F Erderwiderstand
 I_F Fehlerstrom





Kurzzeitige niederohmige Phasen Erdung: KNOSPE

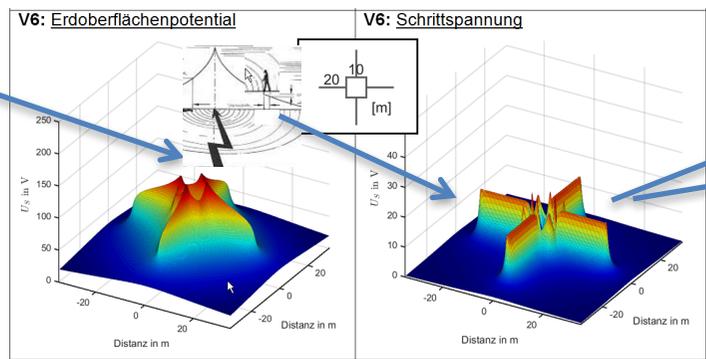
Bild 2
 Erdströme in Abhängigkeit von der Behandlung des Sternpunktes
 Quelle: Erdschlusserfassung: Siemens LSA 2, 1995



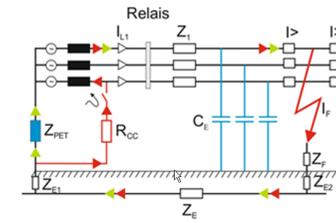
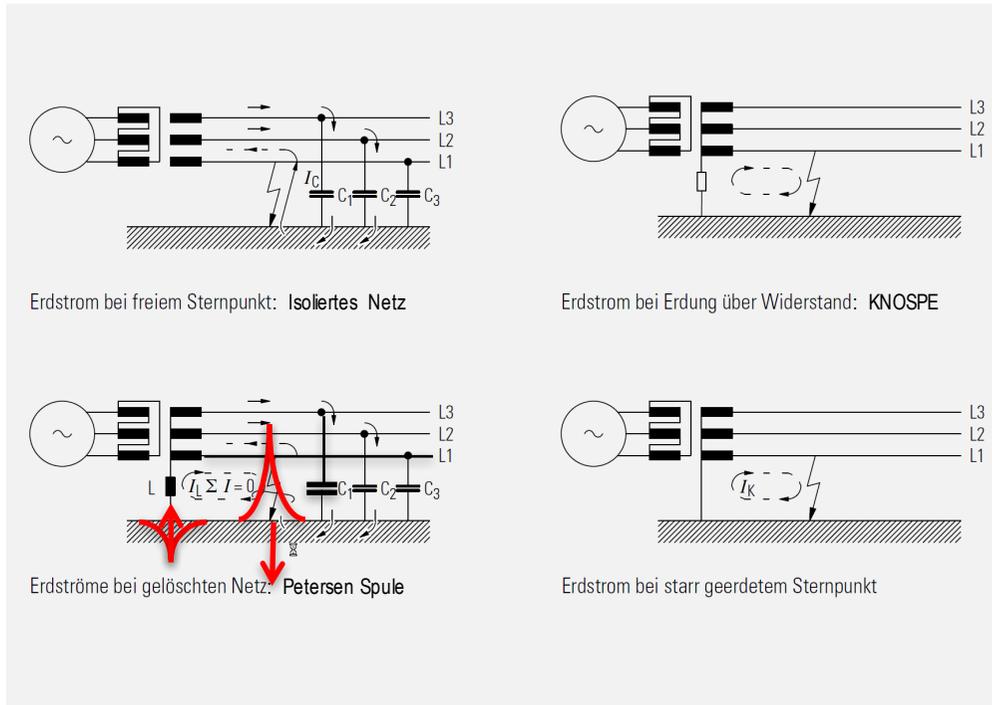
ANMERKUNG 1: Diese Kurve gilt für Fehler in Hochspannungsnetzen.
 ANMERKUNG 2: Falls der Stromfuß wesentlich länger andauert, als im Diagramm angegeben, kann für t_F ein Wert von 75 s verwendet werden.

$$U_E = R_F \cdot I_F$$

U_E Erderspannung
 R_F Erderwiderstand
 I_F Fehlerstrom



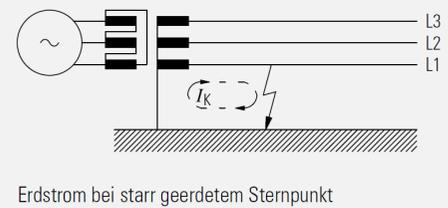
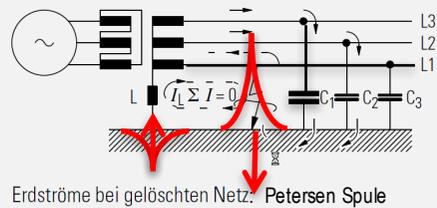
Maximal zulässige Berührungsspannungen
 Quelle: ÖVE E8383



Erdstrom bei freiem Sternpunkt: **Isoliertes Netz**

Erdstrom bei Erdung über Widerstand: **KNOSPE**

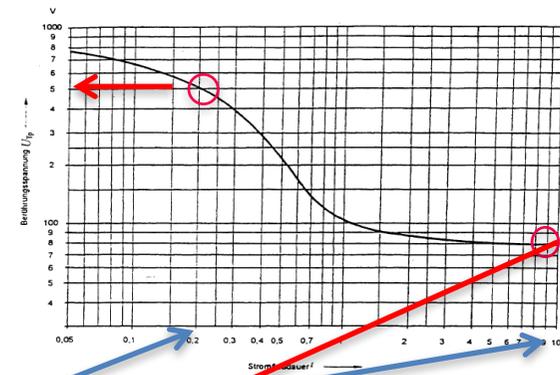
Kurzzeitige niederohmige Phasen Erdung: **KNOSPE**



Erdströme bei gelöschten Netz: **Petersen Spule**

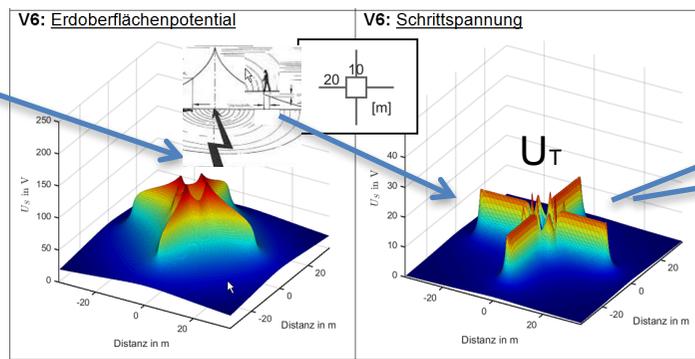
Erdstrom bei starr geerdetem Sternpunkt

Bild 2
 Erdströme in Abhängigkeit von der Behandlung des Sternpunktes
 Quelle: Erdschlusserfassung: Siemens LSA 2, 1995



$$U_E = R_F \cdot I_F$$

U_E Erderspannung
 R_F Erderwiderstand
 I_F Fehlerstrom



ANMERKUNG 1: Diese Kurve gilt für Hochspannungsnetze.
 ANMERKUNG 2: Falls der Stromfluß wesentlich länger andauert, als im Diagramm angegeben, kann für I_F ein Wert von 75 V verwendet werden.

$$U_{Tmax} = 2 \cdot 75 \text{ V} = 150 \text{ V}$$

Maximal zulässige Berührungsspannungen
 Quelle: ÖVE E8383

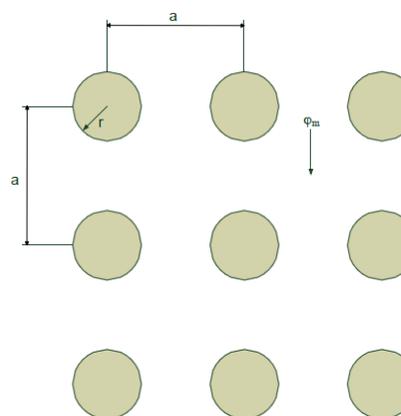
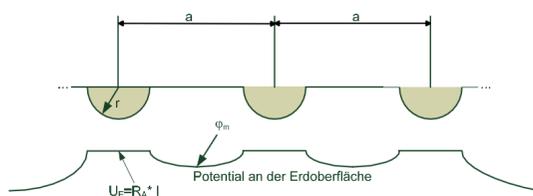
UT

Globale Erdungssysteme (ÖVE/ÖNORM EN 50522)

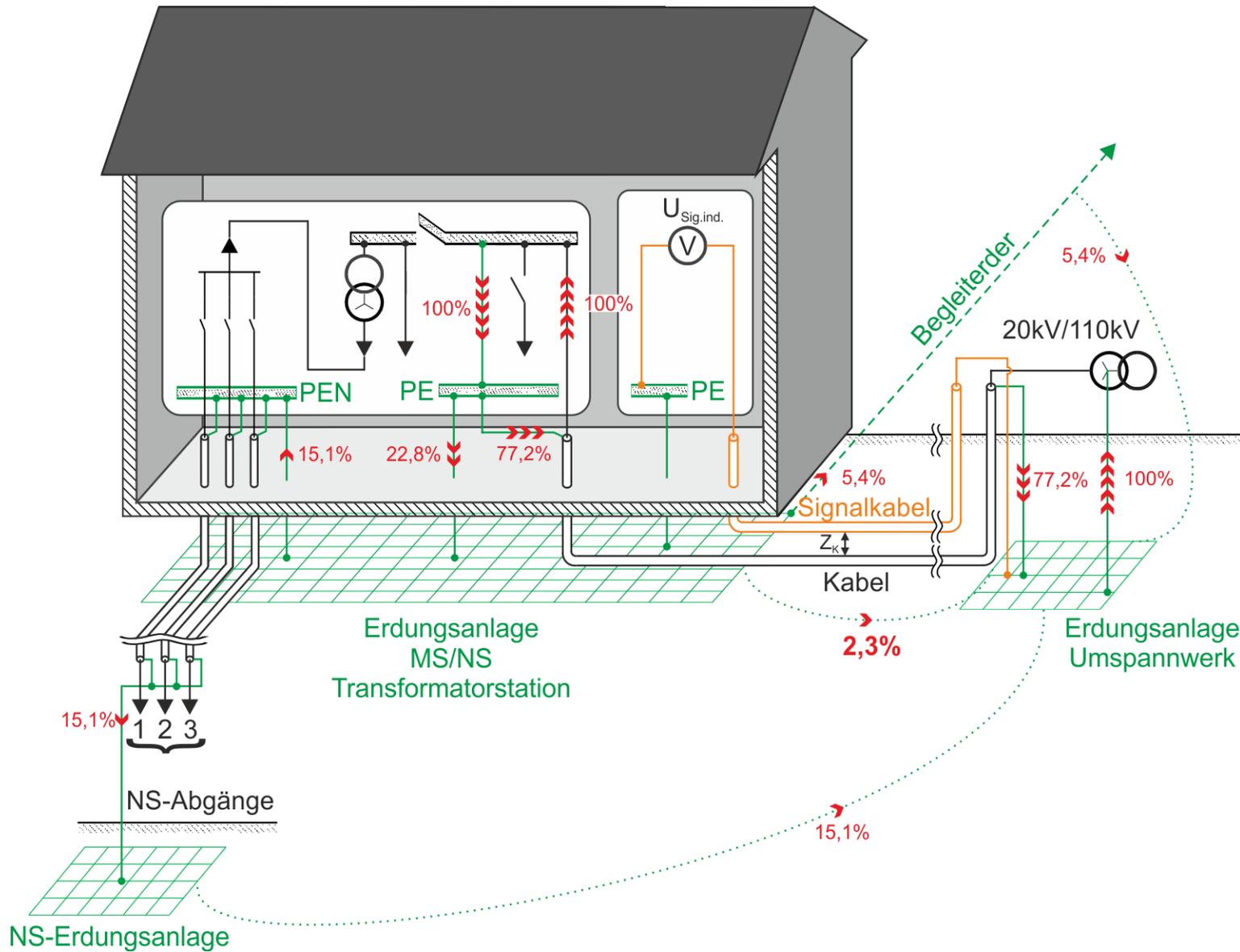
3.4.19 Globales Erdungssystem

Ein durch die Verbindung von örtlichen Erdungsanlagen hergestelltes Erdungssystem, das sicherstellt, dass durch den geringen gegenseitigen Abstand dieser Erdungsanlagen keine gefährlichen Berührungsspannungen auftreten. Solche Systeme bewirken eine Verteilung der Erdfehlerströme in der Weise, dass die Erdungsspannung der örtlichen Erdungsanlage reduziert wird. Solch ein System bildet eine Quasiäquipotentialfläche.

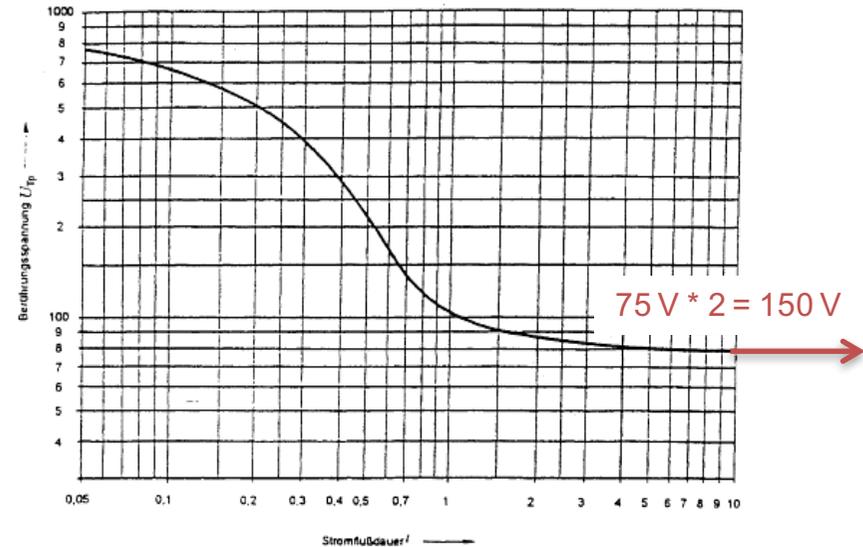
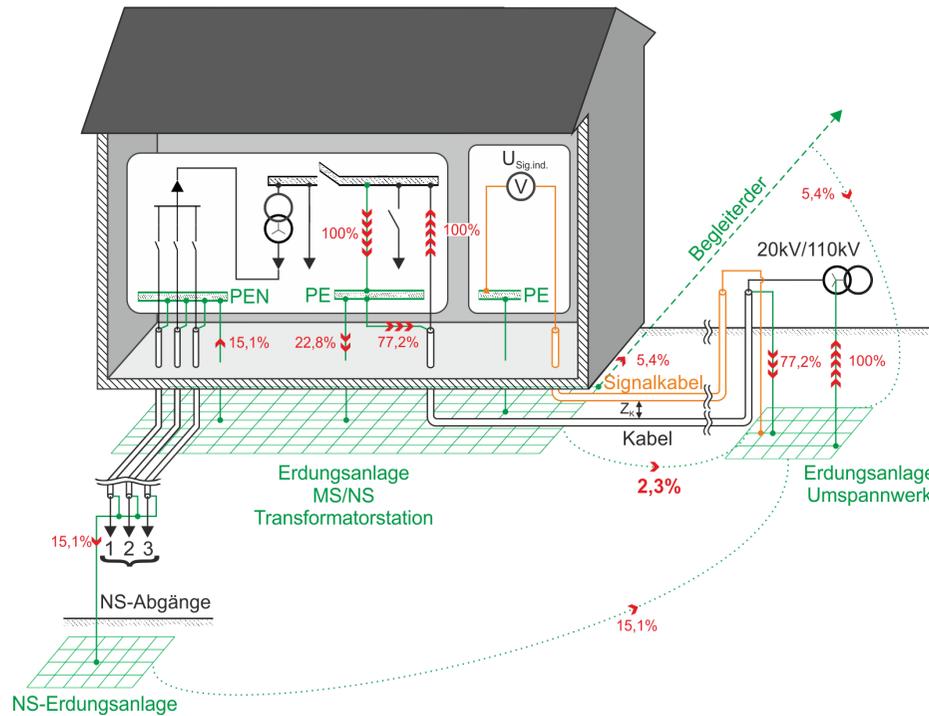
ANMERKUNG: Das Bestehen eines globalen Erdungssystems kann durch Muster-Messungen oder Berechnungen für typische Anordnungen nachgewiesen werden. Typisch für globale Erdungssysteme sind Stadtzentren, städtische oder industrielle Bereiche mit verteilten Nieder- und Hochspannungserdungen (siehe Anhang O).



Stromaufteilung MS/NS Trafostation (Übersicht)



Stromaufteilung MS/NS Trafostation (Interpretation)

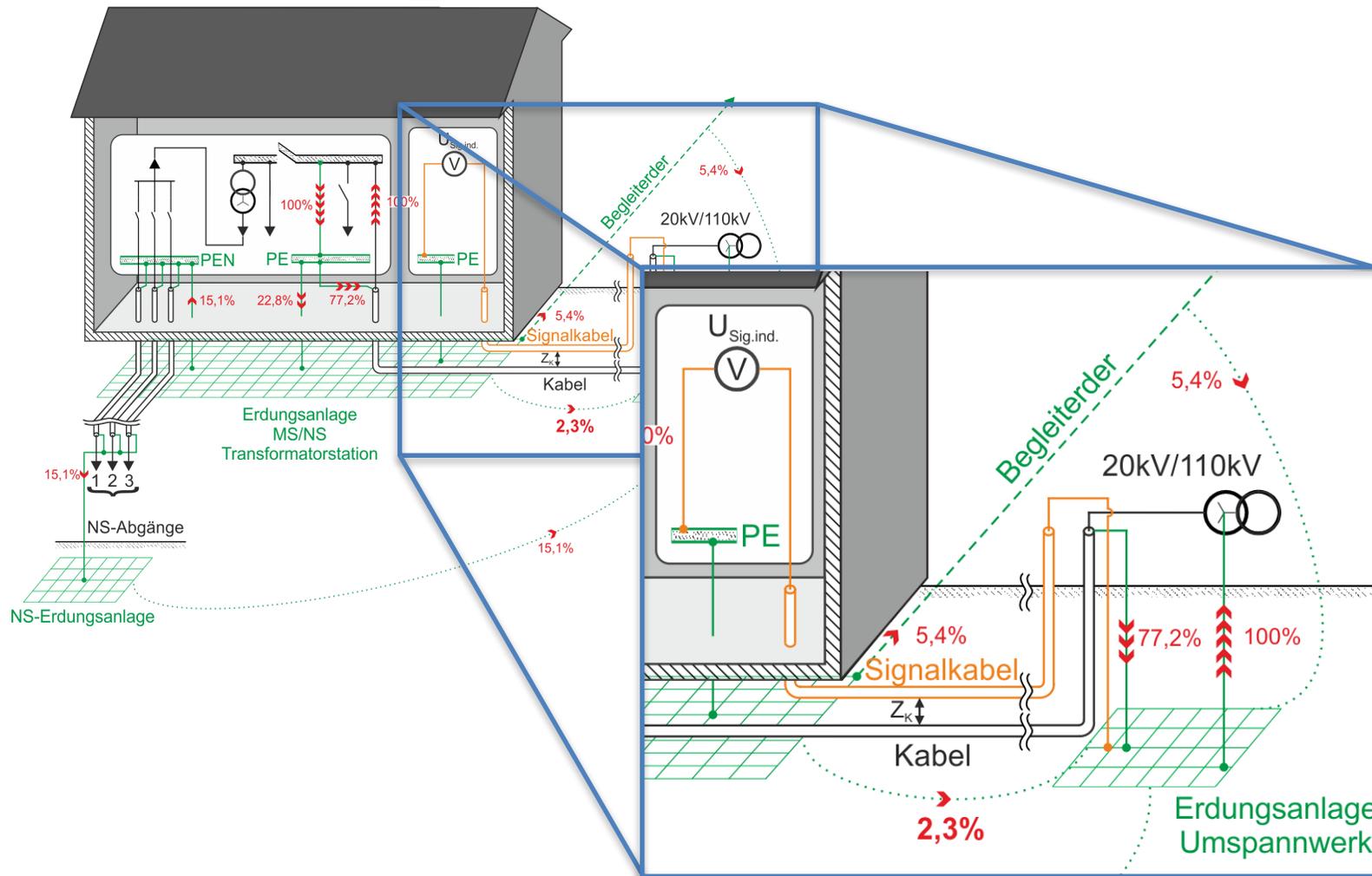


(Quelle: ÖVE/ÖNORM E 8383)

$$I_{F\ Erde\ Station\ Max} = \frac{U_{T\ Max\ E8383}}{R_{Station}} = \frac{150\ V}{5\ \Omega} = 30\ A$$

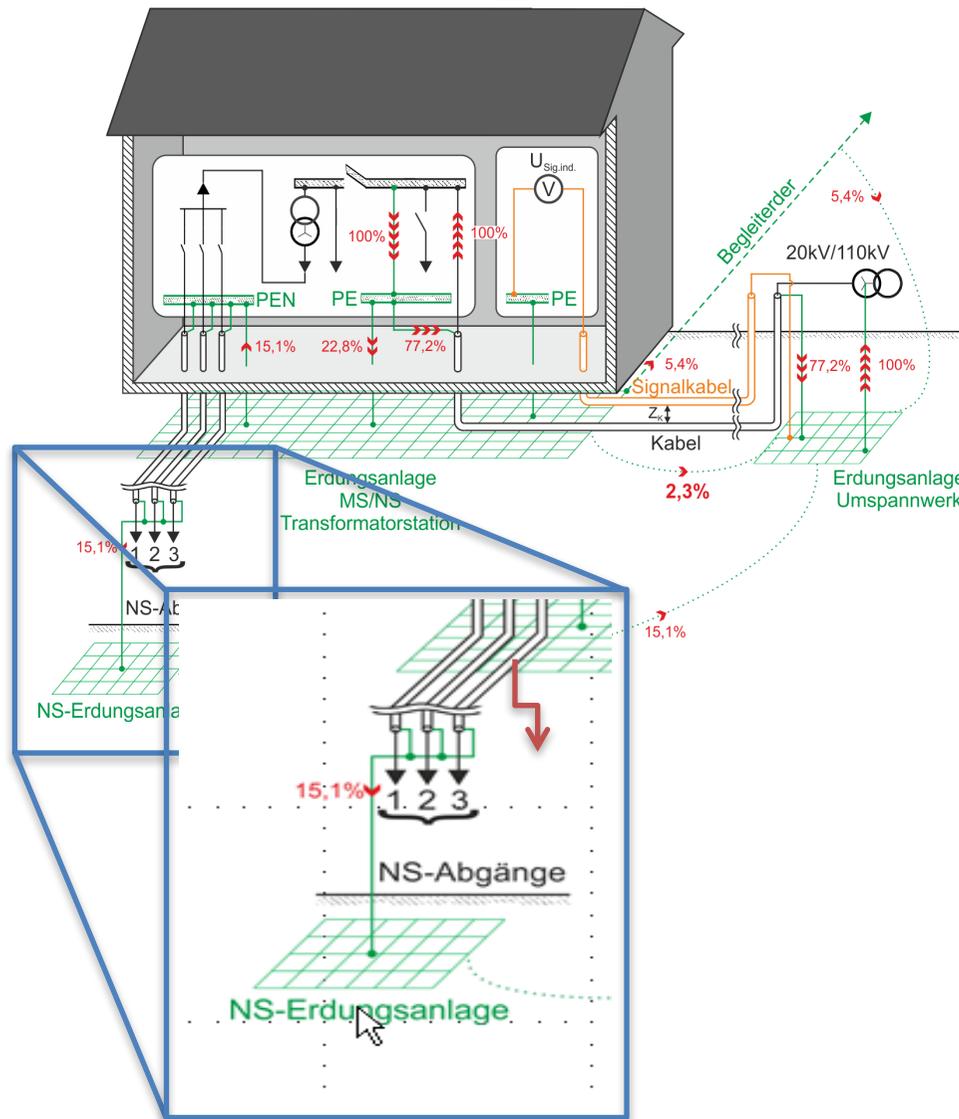
$$I_{F\ Ges} = I_{F\ Erde\ Station\ Max} * \frac{100\%}{2,3\%} < 1300\ A$$

Stromaufteilung MS/NS Trafostation (Interpretation)

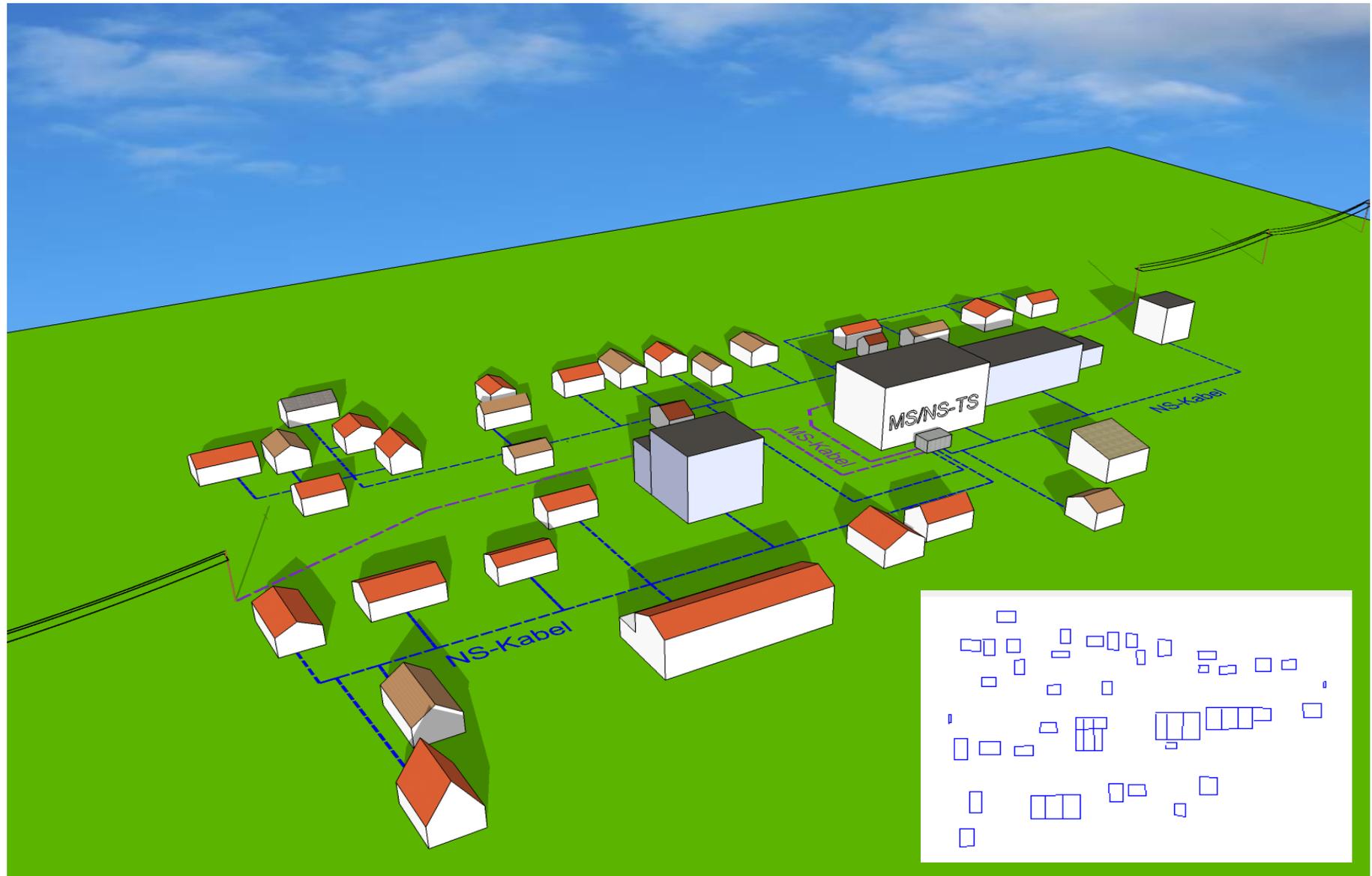


$$U_{\text{SignalK. ind.}} = l \cdot Z_k \cdot I_F = 6 \text{ km} \cdot 0,063 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 1300 \text{ A} \leq \mathbf{491 \text{ V}}$$

Stromaufteilung MS/NS Trafostation (Interpretation)

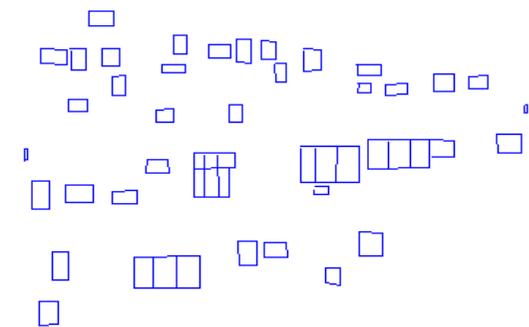
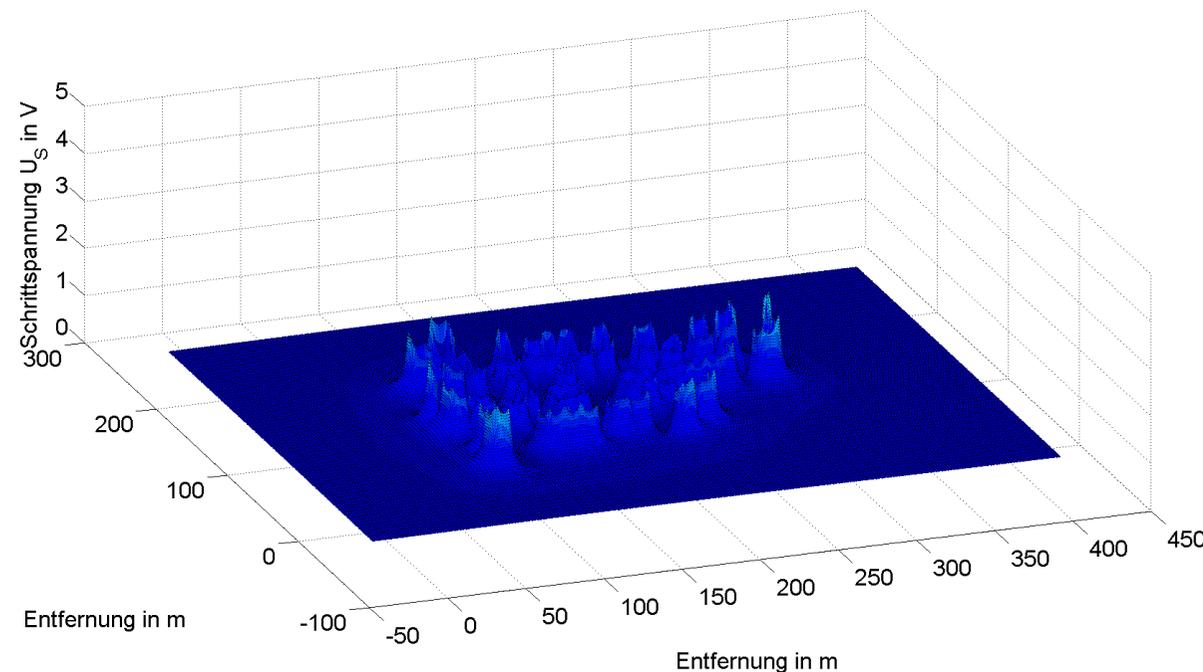
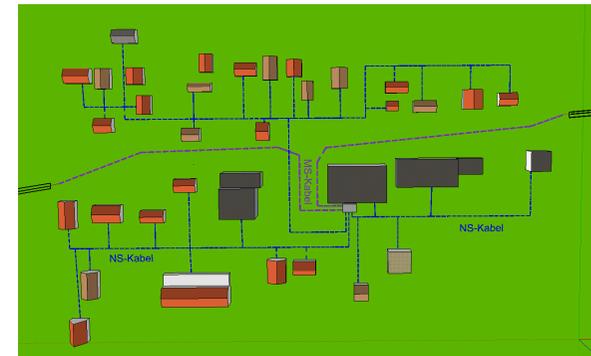
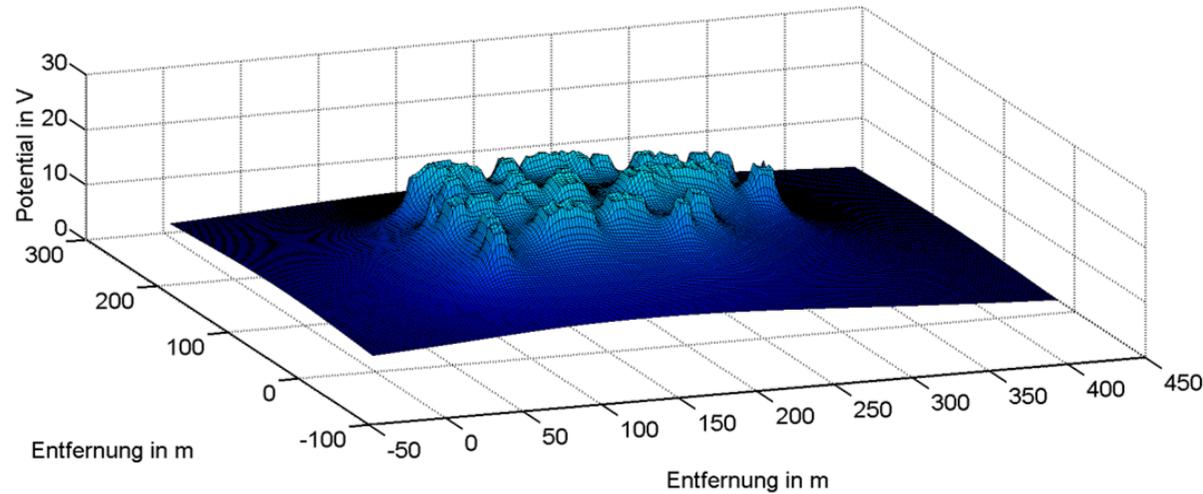


Modellsiedlung



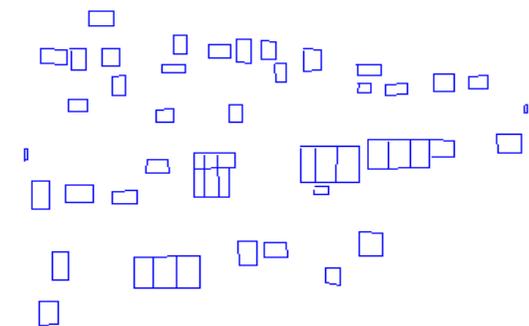
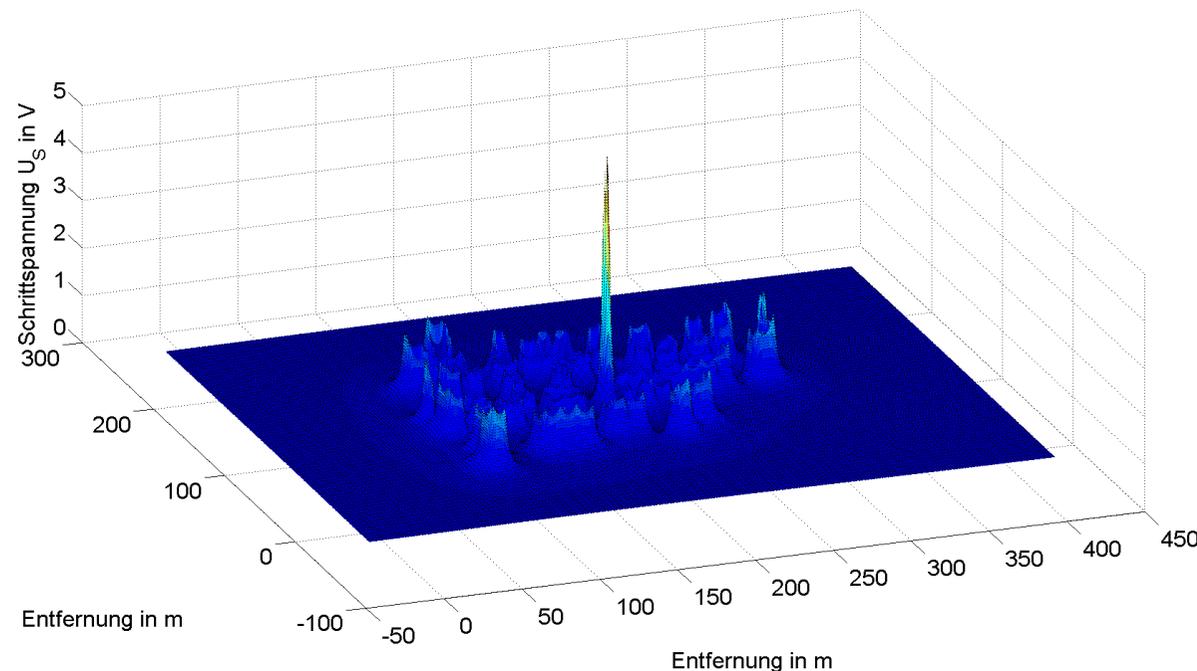
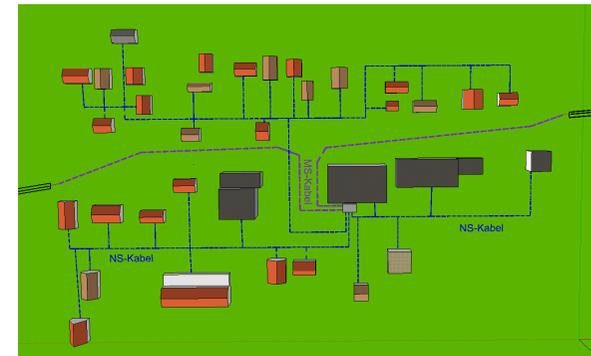
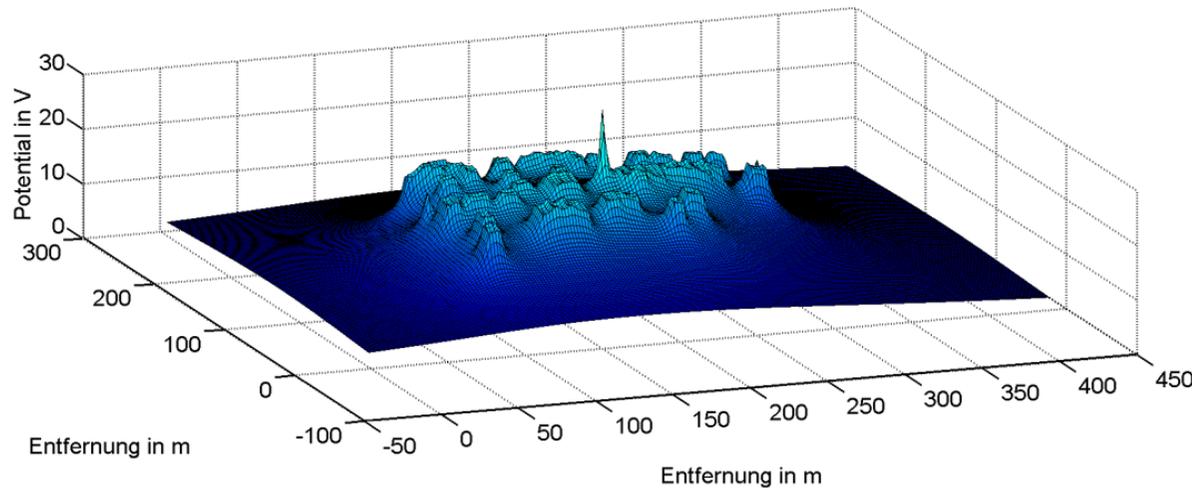
Simulation (2)

Stationsfehler – Wirkung des Globalen Erdungssystems



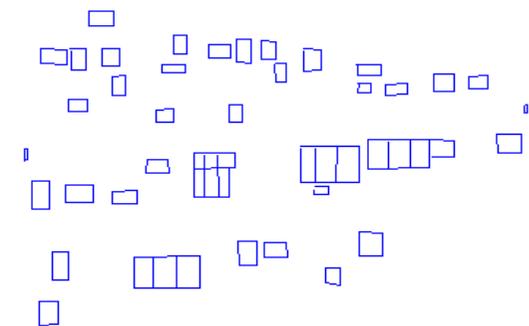
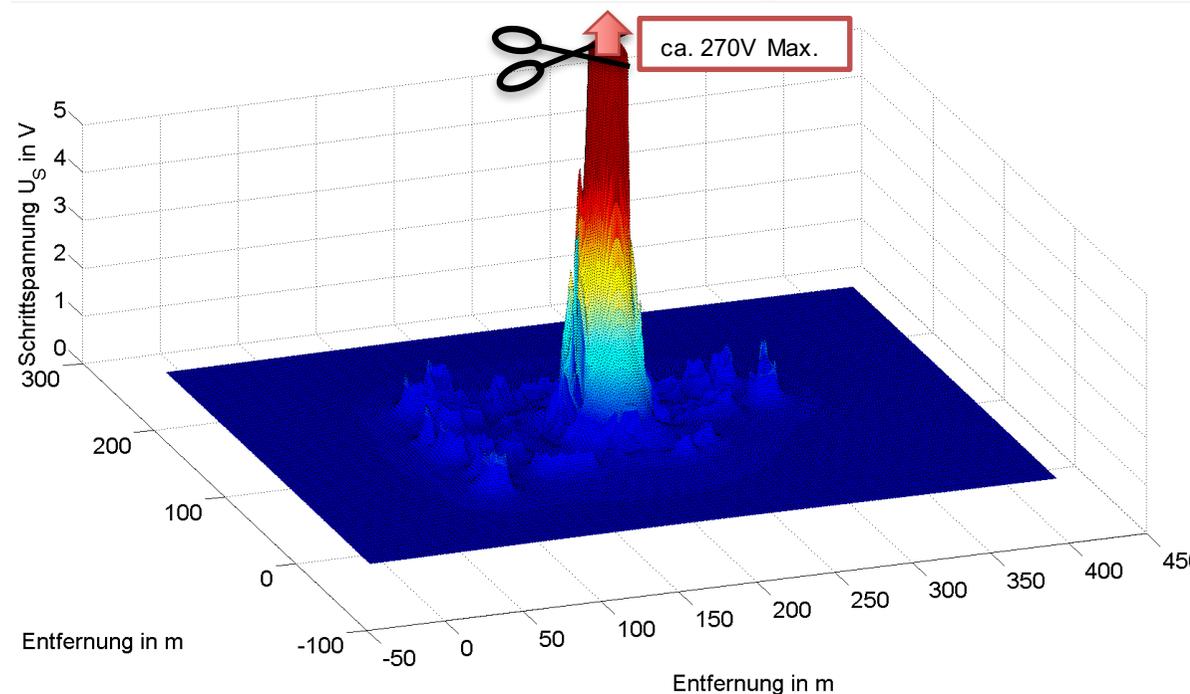
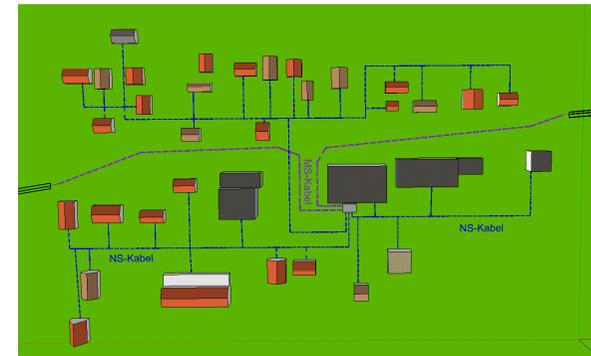
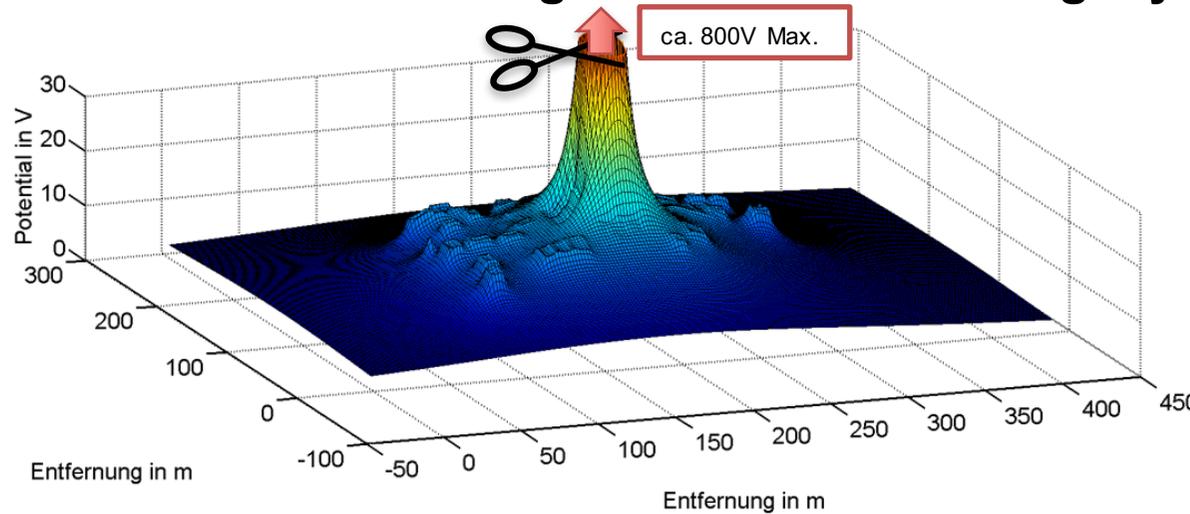
Simulation (3)

Kabelfehler – Wirkung des Globalen Erdungssystems (mit Schirm)



Simulation (4)

Kabelfehler – Wirkung des Globalen Erdungssystems (ohne Schirm)



- **1-polige Erdschlüsse in MS/NS Trafostationen,** die sich in einem Globalen Erdungssystem befinden, sind hinsichtlich Berührungsspannungen meist unkritisch.
 - *Die Anwendung von Hochstrom-Erdschlussortungsverfahren (KNOPE, KNOSPE) ist hier meist kein Problem.*
 - *Der Erdschlussortungsstrom kann aber Gefahren durch induktive Beeinflussung (z.B. in IKT-Leitungen) mit sich bringen.*
- **1-polige Erdschlüsse an MS-Kabeln,** die sich in Globalen Erdungssystemen befinden, sind hinsichtlich Berührungs- und Schrittspannungen nicht unkritisch.
 - *Bei Kabelfehlern ohne Reduktionswirkung des Schirms (z.B.: Kabelschirm nicht aufgelegt, Kabelschirm ausgebrannt) ist die Schritt- und berührungsspannungsreduzierende Funktionalität eines Globalen Erdungssystems nicht in jeder Fehlersituation gegeben.*
- Für den Betrieb von Verteilernetzen ist die koordinierte **Ausführung von Hoch- und Niederspannungserdungsanlagen** sowie von Begleiterdern von zentraler Bedeutung.
- Bei **Umstellung auf KNOSPE und KNOPE** sind die bestehenden alten Erdungsanlagen, die unter anderen Gesichtspunkten errichtet wurden, zu überprüfen.

Im Rahmen weiterer Untersuchungen an MS-Kabeln gilt es noch folgende Punkte zu behandeln:

- Auswirkungen von Längsspannungsabfällen innerhalb des Erdungssystems auf das Erdoberflächenpotential und die Schritt- bzw. Berührungsspannungen
- Analyse der tatsächlichen Fehlerstromaufteilung bei Kabelfehlern durch Modellierung und Messungen an der Fehlerstelle (inkl. des zeitlichen Verhaltens)

Die Rolle von Globalen Erdungssystemen zur Sicherstellung der Zuverlässigkeit elektrischer Netze

14. Symposium Energieinnovation 2016
SCHUTZASPEKTE (SESSION C5)

IFEA,
Thomas Mallits (thomas.mallits@tugraz.at),
Ernst Schmutzner (schmutzner@tugraz.at),

12.02.2016