ESTI-Mitteilung Nr. 2025-1201
1. Dezember 2025

Erläuterungen zur ESTI-Weisung 250 «Abstände bei Annäherungen von Starkstromanlagen mit Rohrleitungsanlagen»

Inhalt

1. Einleitung 2
2. Erläuterungen zur ohmschen Beeinflussung 2
2.1 Luft-Überschlagsspannungen 2
2.2 Durchschlagsspannung im Erdreich 2
2.2.1. Mindesthorizontalabstände bei Annäherungen und Parallelführungen von Starkstromanlagen und Rohrleitungen 4
2.3 Mindesthorizontalabstände bei Annäherungen und Parallelführungen von Starkstromanlagen und Rohrleitungen 5
2.4 Mindestabstände zwischen unterirdischen, elektrischen Kabelleitungen und Rohrleitungen 5
2.4.1. Parallelführung 5
2.4.2. Kreuzung 5
2.4.3. Zusätzliche Isolation bei Starkstromkabeln 5
2.5 Abstände zu Nebenanlagen 6
2.5.1. Mindestabstände zu Nebenanlagen 6
2.5.2. Mindestabstände zu Nebenanlagen gemäss RLV 6
3. Induktive Starkstrombeeinflussung von Rohrleitungen 6
3.1 Mechanismus der Spannungsinduktion auf Rohrleitungen 7
3.2 Abschätzung der Spannungsinduktion auf Rohrleitungen 9
3.3 Massnahmen zur Vermeidung gefährlicher Berührungsspannungen durch Längsinduktion an Rohrleitungen 11
3.3.1. Massnahmen während normalem Betrieb der Rohrleitung 11
3.3.2. Massnahmen während Umbauarbeiten an der Rohrleitung 12
4. Literaturverzeichnis 12
4.1 Schweizer Recht 12
4.2 Normen 13
4.3 Weiterführende Literatur 13

Eidgenössisches Starkstrominspektorat ESTI
Luppmenstrasse 1
8320 Fehraltorf
Tel. 058 595 18 18
info@esti.admin.ch
www.esti.admin.ch

1. Einleitung

Längsleitfähige Rohrleitungsanlagen aus Metall, oder andere elektrisch leitfähige Materialien, können bei Annäherungen an Starkstromanlagen durch diese beeinflusst werden.

Das ESTI erlässt deshalb die Weisung 250, welche die Abstände bei Annäherungen und Kreuzungen von Starkstromleitungen mit Rohrleitungen festhält.

In der vorliegenden Mitteilung wird der Inhalt dieser Weisung erklärt und einzuhaltende Abstände bei Näherungen zwischen Starkstrom- und Rohrleitungen begründet.

Mit dem Erscheinen dieser Mitteilung wird die ESTI-Mitteilung 2023-1201 zurückgezogen.

Von 1994 bis 2021 enthielt die Leitungsverordnung (LeV) [4] Vorschriften betreffend die Minimalabstände von elektrischen Leitungen zu Rohrleitungen, die dem Rohrleitungsgesetz (RLG) unterstellt sind (Art. 124, Art 133 und Anhang 19). Die gleichen Abstände waren, ebenfalls bis 2021, auch in der Verordnung über Sicherheitsvorschriften für Rohrleitungsanlagen (RLSV) enthalten (Art. 11 und Anhang). In diesem Zeitraum wurden die Abstandswerte ab 2007 leicht verschärft.

Im Zuge erneuter Anpassungen wurden im Jahr 2021 alle Abstandswerte in den genannten Verordnungen gestrichen, was sowohl bei den Betreibern von Starkstromanlagen als auch von Rohrleitungen zu Verunsicherungen und Abklärungsaufwänden führte.

In den Jahren 2023 bis 2025 haben sich Fachleute der Gasbranche und der Elektrizitätsversorgung, den Fachvereinen FKH und SGK und der Bewilligungsbehörden SVGW, ERI und ESTI unter Berücksichtigung des Stands des Wissens und der Richtlinien mit dieser Thematik befasst. Im Dezember 2023 wurde die ESTI-Mitteilung 2023-1201 veröffentlicht und seither die neue ESTI-Weisung 250 erarbeitet.

2. Erläuterungen zur ohmschen Beeinflussung

Im Folgenden wird auf die Aspekte eingegangen, welche für die Bemessung der Sicherheitsabstände zwischen Starkstrom- und Rohrleitungsanlagen ausschlaggebend sind.

2.1 Luft-Überschlagsspannungen

Alle Abstände müssen so bemessen werden, dass Überschläge zwischen blanken Hochspannungsleitern und Teilen von Rohrleitungsanlagen in atmosphärischer Luft in allen Betriebs- und Fehlersituationen sicher ausgeschlossen werden können. Dies kann erreicht werden, indem der Sicherheitsabstand von 0.01 m/kV der Betriebsspannung und einem zusätzlichen festen Abstand eingehalten wird (LeV [3]). Minimale Sicherheitsabstände für Luftdistanzen sind insbesondere der SN EN IEC 60071-1, Isolationskoordination [10] zu entnehmen.

Verweis 1 aus Kap. 4.1 ESTI-Weisung 250

2.2 Durchschlagsspannung im Erdreich

Entladungen an Rohrleitungsanlagen und somit unterirdische Durchschläge zwischen Starkstromerdung und Rohrleitungserdung sind zu vermeiden. Dies ist vor allem bei Freileitungstragwerken von Bedeutung, da hier im Fehlerfall hohe Stromdichten und damit hohe Feldstärken im Boden auftreten. Es ist der Erdungsstrom I_E zu berücksichtigen.

Verweis 2 aus Kap. 4.2 ESTI-Weisung 250

Eine der ersten Arbeiten über die Durchschlagsspannung zwischen metallischen Teilen im Erdreich stellen die Untersuchungen von K. Berger [18], [19] dar. Spätere Arbeiten, z.B. [21], [22] und [23] kommen zu ähnlichen Ergebnissen. Diese lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Grösste Überschlagsdistanzen ergeben sich bei einem spezifischen Erdbodenwiderstand zwischen 100 … 250 Ωm, (Leitfähigkeit 40 … 100 µS/cm). Dieser Bereich des spezifischen

Erdbodenwiderstands wird bei Böden mit einem Wassergehalt von 30% - 50% (Sand und Sand/Lehm/Humus-Gemisch) erreicht.

- In [18] wurde mit Durchschlagsversuchen an Kugelfunkenstrecken im Erdboden die über die Schlagweite a gemittelte Durchschlagsfeldstärke $E_0=u_0/a$ untersucht.
  Die minimalen Werte liegen bei feuchtem Erdreich (30% - 50% Wassergehalt) bei 7 kV/cm. Sie steigen bei trockeneren Böden nur mässig an (maximal Faktor 2). Bei diesen Untersuchungen wurden Impulse mit Anstiegszeiten von wenigen µs bis 1 ms angewendet. Die ermittelten Durchschlagsfeldstärken können als Richtwerte für Wechselstromhalbwellen (bei Erdfehlern) aber auch für Stossströme durch Blitzeinschläge herangezogen werden.
- Anders als bei Kugelfunkenstrecken besitzen übliche Erdleiter allerdings Kanten, an welchen diese minimale Feldstärke rasch überschritten wird. Deshalb ist für die Abstandsbemessung zu Objekten im Erdboden nicht die mittlere Durchschlagsfeldstärke ausschlaggebend, sondern die Feldstärke, bei welcher eine bereits eingesetzte Entladung sich weiter ausbreitet. Aus [18] kann ein Wert dieser Ausbreitungsfeldstärke E_i von 2.5 bis 3 kV/cm entnommen werden. Bei Stromstössen mit zunehmender Amplitude, beginnt der Erdungswiderstand unter den gemessenen Wechselspannungswiderstand zu sinken, wenn diese Feldstärke in einem wesentlichen Volumen überschritten wird. Es treten dann Entladungen auf, die eine gewisse Strecke im Erdreich quasi elektrisch kurzschliessen. Entscheidend scheint zu sein, dass bei Erdschlüssen und Blitzeinschlägen Feldstärken von 2.5 kV/cm bis in den Bereich einer Rohrleitungsanlage auftreten können. Es ist zu beachten, dass diese Feldstärke deutlich unter der Feldstärke liegt, die für die Verlängerung von Entladungskanälen in Luft erforderlich ist (Die Ausbreitung von Entladungen in Luft bedingt Grundfeldstärken am Entladungskopf für Streamerentladungen von 7 … 18 kV/cm- und für Leaderentladungen 5 kV/cm [24], [25]).

Durchschläge zwischen Starkstromerdung und Rohrleitungserdung ist vor allem bei Freileitungstragwerken von Bedeutung, da hier hohe Stromdichten und damit hohe Feldstärken im Boden auftreten.

Bei einem lokal in den Boden eingeprägten Strom ergibt sich in Abhängigkeit der Stromamplitude und des spezifischen Erdbodenwiderstands ein definierbarer Radius, innerhalb welchem solche Entladungen auftreten (Ionisationsradius). Liegt ein fremdgeerdetes Objekt, welches neutrales Potential führt, innerhalb dieses Radius, so kann ein Durchschlag im Erdboden zwischen der Tragwerkerdung und diesem Objekt nicht ausgeschlossen werden. Tabelle 1 enthält errechnete Ionisationsradien für die in der Praxis vorkommenden Bereiche der Stromamplituden und spezifischen Erdbodenwiderstände. Zum Vergleich sind die Werte aufgeführt, die gemäss Leitungsverordnung von 1994 bis 2006 [5] als Abstände zwischen Tragwerkserdungen über 1 kV und Rohrleitungen angegeben sind (0.5 m/kA aber mindestens 3 m). Letztere Regel gewährt demnach für einen spezifischen Erdbodenwiderstand bis zu 5'000 Ωm Abstände, die ausserhalb des Ionisationsradius liegen.

Hinweis: Der Erdungsstrom I_E ist nicht gleich dem Erdfehlerstrom I_F zu setzen.

Bei Freileitungen fliesst in der Regel ein erheblicher Teil des Erdfehlerstrom I_F über die Erdseile ab und trägt nicht zum Spannungstrichter um die Tragwerkserdungen bei.

Noch geringer ist der Erdungsstrom I_E bei Starkstrom-Kabelleitungen (Hochspannungskabel oder Niederspannungs-Netzkabel). Der grösste Teil des einpoligen Erdfehlerstromes I_F fliesst im Kabelschirm zum speisenden Netzknotenpunkt zurück. Nur der Fehlerstromanteil, welcher vom Kabelschirm oder von geerdeten Teilen der Kabelanlage ins Erdreich fliesst, erzeugt einen Erdungsstrom I_E mit einem Spannungstrichter im Erdreich.

Verweis 3 aus Kap. 4.2 ESTI-Weisung 250

Der Mindestabstand d zwischen Starkstromanlagen und Rohrleitungen definiert sich folgendermassen:

d = 0.5 m pro kA Erdungsstrom I_E

d muss mindestens 3 m betragen

Verweis 4 aus Kap. 4.2 ESTI-Weisung 250

Dieser Mindestabstand leitet sich aus der Tabelle 1 ab.

Isolationsradius r [m]	**Erdungsstrom $I_{E\ eff}$ [A]**				
	1'000 A	**5'000 A**	**10'000 A**	**20'000 A**	**40'000 A**
	Stromamplitude des Erdungsstroms $\hat{I}_E$ [A]				
Spezifischer Bodenwiderstand ρ [Ωm]	**1'414 A**	**7'071 A**	**14'142 A**	**28'284 A**	**56'569 A**
100 Ωm	0.30	0.67	0.95	1.3	1.9
200 Ωm	0.42	0.95	1.3	1.9	2.7
500 Ωm	0.67	1.5	2.1	3.0	6.0
1'000 Ωm	0.9	2.1	3.0	4.2	8.5
2'000 Ωm	1.3	3.0	4.2	6.0	13.4
5'000 Ωm	2.1	4.7	6.7	9.5	19.0
0.5 m/kA($I_{E\ eff}$) (mindestens 3 m)	3.0	3.0	5.0	10.0	20.0

Tabelle 1 Berechneter Ionisationsradius r im Erdboden bei verschiedenen Stromamplituden Î und verschiedenen Werten des spezifischen Bodenwiderstands ρ unter der Annahme, dass die Ionisationsfeldstärke E_i = 2.5 kV/cm beträgt (nach Berger [18]) und, dass sich der Strom halbkugelförmig im Boden ausbreitet:

Beziehung: $r = \sqrt{\hat{I}\,\rho\,/(E_i\,2\,\pi)}$, siehe auch [10]

Letzte Zeile: Vergleich mit Regel für Abstände zwischen Rohrleitungen und Tragwerken gemäss LeV 1994 bis 2021 [5] [4]

2.2.1. Mindesthorizontalabstände bei Annäherungen und Parallelführungen von Starkstromanlagen und Rohrleitungen

Beim Sicherheitsabstand nach LeV [5] zwischen Rohrleitung und Starkstromkabelanlagen besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen Kreuzungen und Parallelführung. Dieser Unterschied kann damit erklärt werden, dass bei einer Parallelführung über viele Meter mit einem Erdschluss (Defekt der Mantelisolation) im Bereich der Näherung gerechnet wird. Bei einer Über- oder Unterkreuzung wird das Auftreten eines Defekts am Kabelmantel im Bereich des Ionisationsradius als unwahrscheinlicher Zufall angesehen.

2.3 Mindesthorizontalabstände bei Annäherungen und Parallelführungen von Starkstromanlagen und Rohrleitungen

Starkstromanlage (Betriebsspannung)	Mindesthorizontalabstand zu allen längsleitfähigen Rohrleitungen:
blanke oder isolierte Leiter von Freileitungen:	**d1**
bis 50 kV	3 m
über 50 kV	10 m
Tragwerke, Kraftwerke, Trafostationen, Unterwerke inkl. Erdungen *	**d2****
	0.5 m pro kA Erdungsstrom I_E, mindestens 3 m

Tabelle 1 Mindesthorizontalabstände bei Annäherungen und Parallelführungen von Starkstromanlagen und Rohrleitungen in Bezug auf die ohmsche Beeinflussung (Abbildung 1).

*: Die armierten Beton-Mastfundamente gehören vollumfänglich zur Masterdung.

**: Vorbehalten bleibt Art. 12 und 14 RLSV [6] bei Rohrleitungen ERI.

Verweis 5 aus Kap. 4.3 ESTI-Weisung 250

In Verweis 5 sind die Mindesthorizontalabstände von Starkstromanlagen zu Rohrleitungen definiert. Wenn der Abstand von der Stromstärke abhängig ist, ist für die die Beurteilung der Erdungsstrom I_E, der Anteil des Erdfehlerstroms I_F, welcher ins Erdreich übertritt, zu berücksichtigen. Stromanteile, welche über Erdseile oder Kabelschirme abfliessen, werden nicht berücksichtigt.

In den ersten Ausgaben der LeV [5] wurde bei Freileitungen betreffen Sicherheitsabständen eine Unterscheidung bei 50 kV zu blanken oder isolierten Leitern eingeführt.

Mittelspannungsnetze bis 36 kV (Netzebene 5) werden in der Schweiz meist mit einem isolierten Sternpunkt oder mit Erdschlusskompensation betrieben. Dadurch bleiben die Ströme bei einem einpoligen Erdschluss klein, wodurch keine Entladungen im Erdreich zu erwarten sind. Das gilt auch für 50-kV-Hochspannungsnetze mit isoliertem Sternpunkt.

Anders sieht es bei Hochspannungsnetzen mit einem niederohmigen Sternpunkt aus: Wenn bei einem Erdschluss Erdübergangsströme von mehr als 6 kA auftreten können, müssen die Sicherheitsabstände möglicherweise auf bis zu 10 Meter vergrössert werden.

In der ESTI-Weisung 250 sind Abbildungen zu den Abständen vorhanden.

2.4 Mindestabstände zwischen unterirdischen, elektrischen Kabelleitungen und Rohrleitungen

2.4.1. Parallelführung

Keine Erläuterungen.

2.4.2. Kreuzung

Keine Erläuterungen.

2.4.3. Zusätzliche Isolation bei Starkstromkabeln

Keine Erläuterungen.

2.5 Abstände zu Nebenanlagen

Keine Erläuterungen.

2.5.1. Mindestabstände zu Nebenanlagen

Starkstromanlage (Betriebsspannung)	Mindesthorizontalabstand zu Nebenanlagen:
blanke oder isolierte Leiter von Freileitungen:	**d7**
bis 50 kV	3 m
über 50 kV	10 m
Tragwerke inkl. Erdungen *	**d8**
	0.5 m pro kA Erdungsstrom I_E mindestens 3 m
Kraft- und Unterwerke, Trafostationen, inkl. Erdungen *	**d8**
	0.5 m pro kA Erdungsstrom I_E mindestens 3 m
Kabel direkt erdverlegt:	**d9**
bis 50 kV	2 m Erdschicht
über 50 kV	0.5 m pro kA Erdungsstrom I_E mindestens 3 m
Kabel mit zusätzlicher Isolation (Kabelschutzrohr):	**d10**
	0.4 m

Tabelle 4 Mindesthorizontalabstände bei Annäherungen von Starkstromanlagen an Nebenanlagen von Rohrleitungsanlagen in Bezug auf die ohmsche Beeinflussung.

*: Die armierten Beton-Mastfundamente gehören vollumfänglich zur Masterdung.

Verweis 6 aus Kap. 4.5.1 ESTI-Weisung 250

In Verweis 6 sind die Mindesthorizontalabstände von Starkstromanlagen zu Nebenanlagen von Rohrleitungen definiert. Wenn der Abstand von der Stromstärke abhängig ist, ist für die Beurteilung der Erdungsstrom I_E, der Anteil des Erdschlussstroms, welcher ins Erdreich übertritt, zu berücksichtigen. Stromanteile, welche über Erdseile oder Kabelschirme abfliessen, werden nicht berücksichtigt.

2.5.2. Mindestabstände zu Nebenanlagen gemäss RLV

Für die Mindestabstände zwischen Starkstrom- und Rohrleitungen gemäss RLV wurden die im Speziellen folgenden Verordnungen und Richtlinie herbeigezogen:

- Verordnung über elektrische Leitungen (Leitungsverordnung), LeV [3]
- Rohrleitungssicherheitsverordnung, RLSV [8]
- Richtlinie vom Eidgenössisches Rohrleitungsinspektorat, ERI-Richtlinie [16]

3. Induktive Starkstrombeeinflussung von Rohrleitungen

Hochspannungsfreileitungen beeinflussen parallel verlegte, längsleitfähige Rohrleitungssysteme auch bei grossen Abständen. Darum müssen isolierte Rohrleitungen mit geeigneten Massnahmen geschützt werden (ESTI-Weisung 507).

Verweis 7 aus Kap. 5 ESTI-Weisung 250

Die induktive Beeinflussung von Rohrleitungen tritt bei längeren parallelen Verläufen zu Hochspannungsfreileitungen auf. Das Ausmass und die Notwendigkeit von Gegenmassnahmen hängen von zahlreichen Faktoren ab. Die ESTI-Weisung geht auf Abstände und Massnahmen gegen induktive Beeinflussung nicht ein. Im Folgenden wird der Mechanismus erklärt. Dabei werden Hinweise zur groben Abschätzung von längsinduzierten Spannungen gegeben (vgl. hierzu [11]).

3.1 Mechanismus der Spannungsinduktion auf Rohrleitungen

Bei einer Parallelführung zwischen Starkstrom- und Rohrleitungen können durch das Magnetfeld von einpoligen Fehlerströmen, die über die Starkstromleitung fliessen, hohe Längsspannungen auf der Rohrleitung induziert werden. Diese können an den Rohrleitungen und in Nebenanlagen zu unzulässig hohen Berührungsspannungen von 1000 V und mehr führen.

Im Normalbetrieb von Starkstromleitungen werden geringere Spannungen von einigen 1 V bis zu einigen 10 V auf Rohrleitungen induziert. Diese Spannungen müssen bei der Auslegung der Einrichtungen für den kathodische Schutz der Rohre berücksichtigt und ggf. durch Wechselstromableitungen (WSA) begrenzt werden.

Im Folgenden wird erläutert, in welchen Fällen mit gefährlichen Berührungsspannungen für das Personal, beim Bau und während des Betriebs von Rohrleitungsanlagen zu rechnen ist. Auch werden Massnahmen zum Schutz des Personals angegeben.

Abbildung 1 zeigt schematisch den Mechanismus, welcher zu den induzierten Spannungen führt. Häufigste Ursache für einen Erdschluss, der zu einpoligen Fehlerströmen führt ist ein Blitzschlag in das Erdseil, welcher einen rückwärtigen Überschlag von den Leiterseilen auf den Mast zur Folge haben kann.

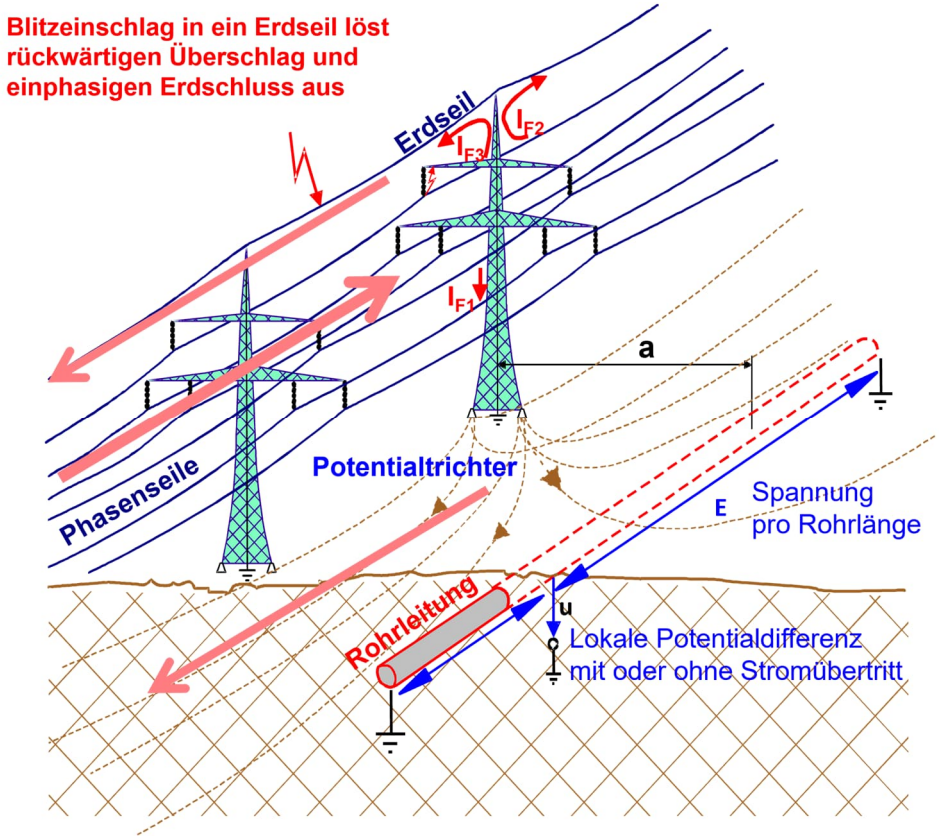

Abbildung 1 Induktive und Ohm'sche Beeinflussung einer Rohrleitung durch eine Drehstromleitung im Erdschlussfall

Bei der Ohm'schen Beeinflussung von Rohrleitungen durch die Näherung zu einem Tragwerk entsteht die Spannungsdifferenz zur Rohrleitung lokal beim Eintritt des Fehlerstroms in den Erdboden. Im Gegensatz dazu entsteht eine magnetisch induzierte Spannung entlang eines längeren parallelen Abschnitts mit der Starkstromleitung als Längsspannung auf der Rohrleitung. Dabei nimmt die Spannung entlang der Strecke, auf der ein hoher einpoliger Strom auf der Starkstromleitung fliesst, kontinuierlich zu (vgl. Abbildung 2). Der Fehlerort kann weit ausserhalb des Näherungsabschnitts, z.B. in einem Unterwerk, liegen. Dementsprechend kommen Beeinflussungen durch Induktion wesentlich häufiger vor als Ohm'sche Beeinflussungen. Bei isolierten Rohrleitungen treten die höchsten Spannungen, von jeweils der Hälfte der Längsspannung an den Enden der Beeinflussungstrecke auf. Die Spannungen oszillieren mit

der Frequenz des Fehlerstroms und eilen dem Fehlerstrom um einen Phasenwinkel von ca. 90° nach.

Induzierte Spannungen entstehen auch auf Rohrleitungen, die parallel zu Bahnlinien verlaufen. Aufgrund der 3x tieferen Frequenz im schweizerischen Bahnnetz werden bei gleichem einpoligem Strom auf den Rohrleitungen entsprechend geringere Längsspannungen induziert. Im Gegensatz zu Stromversorgungsnetzen fliesst bei Bahnstrecken ein Teil des betrieblichen Rückstroms über den Erdboden. Bei Parallelführungen von mehreren Kilometern Länge, können deshalb auch im Normalbetrieb der Bahnen gefährliche Induktionsspannungen auf den Rohrleitungen auftreten.

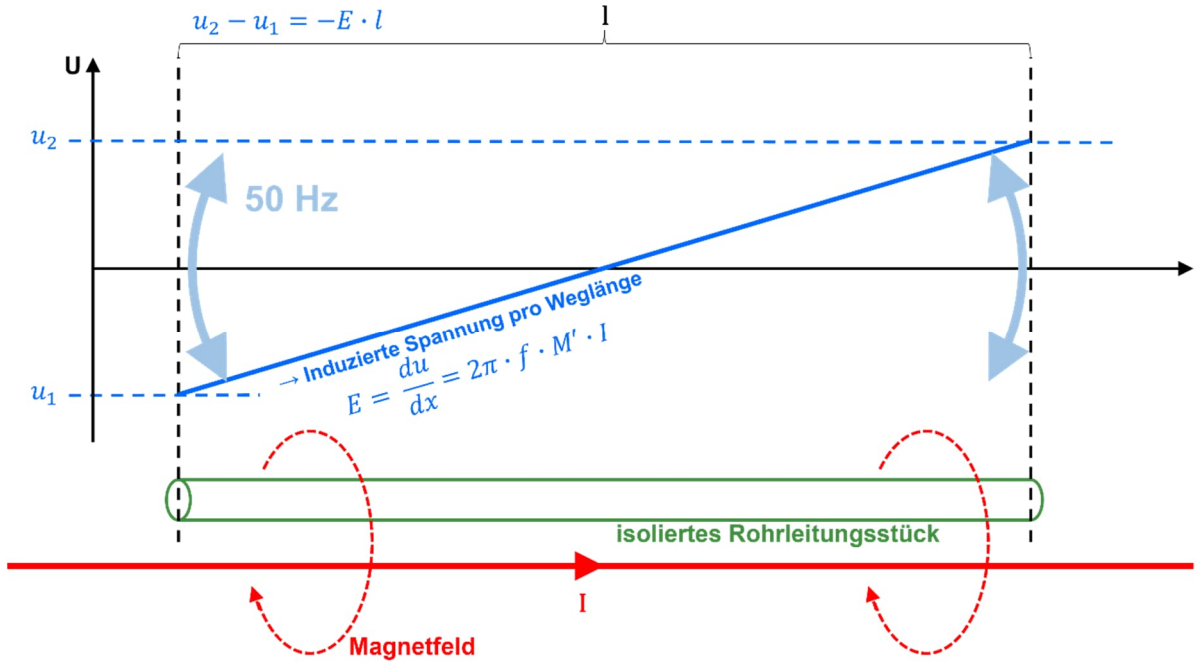

Abbildung 2 Schematische Darstellungen für die Entstehung einer Längsspannung und der Berührungsspannungen auf einer isolierten Rohrleitung an den beiden Enden einer Beeinflussungsstrecke durch magnetische Induktion bei einpoligem Strom auf einer parallelen Starkstromleitung:

I:	einpoliger Strom	M':	Gegeninduktivität pro Weglänge
E:	induzierte Spannung pro Weglänge	f:	Frequenz
l:	Länge der Beeinflussungsstrecke		
u_1, u_2:	Spannungen an den Enden der Beeinflussungsstrecke		

Die induzierte Spannung hängt von folgenden Einfluss-Faktoren ab:

1. Höhe des einpoligen Fehlerstrom. Die induzierten Spannungen und Ströme sind proportional zu diesem Strom
2. Rohrlänge, die durch den einpoligen Strom beeinflusst wird. Die längsinduzierte Spannung ist proportional zur Beeinflussungslänge
3. Abstand zwischen Rohrleitung und Starkstromleitung. Bei erheblicher Variation kann der Abstand abschnittsweise gemittelt werden und die induzierte Spannung pro Abschnitt addiert werden. Da bei Erdfehlern der Rückstrom im Erdboden in einem sehr breiten Korridor zurückfliesst, können hohe induzierte Spannungen bei Abständen von mehreren 100 m auftreten (vgl. Diagramm Abbildung 3)
4. Spezifischer Widerstand des Erdbodens
5. Reduktionsfaktoren durch metallische Rückleiter der Starkstromleitung:
   bei Kabelleitungen aufgrund der Kabelschirme, wenn sie beidseitig geerdet sind,
   bei Freileitungen aufgrund der Erdseile,
   bei Bahnstrecken aufgrund der Gleise und Erdrückleitungen

6. Geometrie der Rohrleitung und Materialdaten des Rohrs und der Rohrisolation
7. Impedanzen der Rohrleitung im Rohrleitungsnetz

3.2 Abschätzung der Spannungsinduktion auf Rohrleitungen

Eine grobe Abschätzung der induzierten Spannung für eine definierte parallele Strecke und einen mittleren Abstand zwischen Rohr- und Starkstromleitung ist mittels Diagramms Abbildung 3 möglich. Die mit dem Diagramm bestimmten Werte berücksichtigen die ersten 4 Einflussfaktoren und gelten für den ungünstigen hypothetischen Fall einer Rohrleitung, die an einem Ende der Beeinflussungsstrecke geerdet ist und am anderen Ende elektrisch offen liegt. In diesem Fall tritt die gesamte induzierte Längsspannung als Berührungsspannung gemäss dem Diagramm Abbildung 3 am offenen Ende auf. Richtwerte für den spezifischen Erdbodenwiderstand (Punkt 4) enthält Tabelle 2 und Richtwerte für die Reduktionsfaktoren (Punkt 5) **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** [23]. Bei Anwendung von Reduktionsfaktoren wird das Diagramm Abbildung 3 ebenfalls verwendet, indem der Reduktionsfaktor mit der Spannung multipliziert wird und zu einer entsprechenden Spannungsreduktion führt.

Die Einflüsse der Rohr-Geometrie und -Beschaffenheit (Punkt 6) spielen insbesondere bei Rohrleitungslängen von vielen Kilometer eine wesentliche Rolle.

Bei Rohren, die netzförmig eingebunden sind, liegen ausserdem elektrische Rohrimpedanzen an den Enden der Beeinflussungsstrecke vor (Punkt 7). Sie sind sowohl von der Leitungslänge bis zur nächsten Anlage wie auch von Wechselspannungs-Begrenzungseinheiten abhängig. Die Rohrimpedanzen führen zu weiteren erhebliche Spannungsreduktionen, die in der Regel einen Faktor 2 überschreiten.

Aufgrund der zahlreichen Einflussfaktoren werden für Spannungsinduktionsberechnungen Spezialprogramme eingesetzt, mit welchen die Verläufe von induzierten Spannungen auf Rohrleitungen detailliert berechnet werden können. Auch bei solchen Berechnungen bleiben Unsicherheiten durch variierende Erdbodenleitfähigkeiten und durch fremde metallische Infrastrukturen in Umgebung der Näherung zwischen Starkstrom und Rohrleitung bestehen.

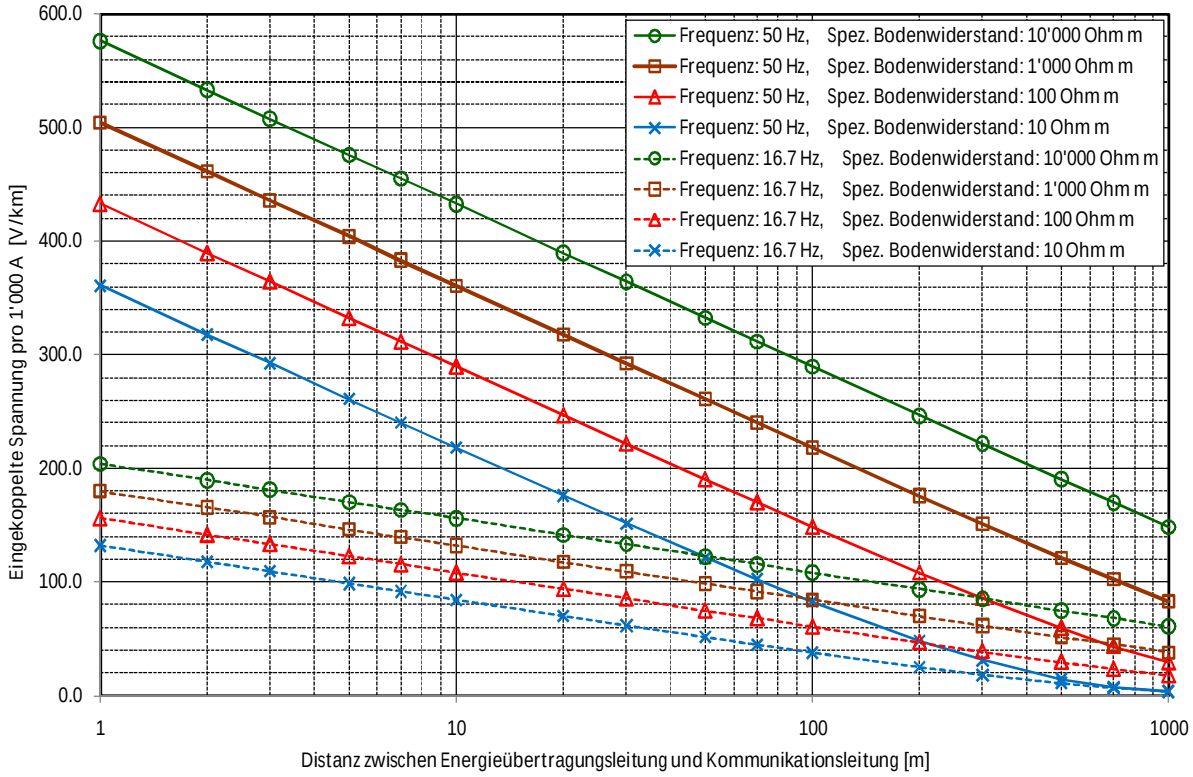

Abbildung 3 Induzierte Spannung
Aus SNG 481000, Erläuterungen für den Schwachstrom-Netzbau [13]

Bodenart	Spezifischer Erdwiderstand ρ_E Ωm
Moorboden	5 bis 40
Lehm, Ton, Humus	20 bis 200
Sand	200 bis 2 500
Kies	2 000 bis 3 000
Verwitterter Fels	meist unter 1 000
Sandstein	2 000 bis 3 000
Granit	bis 50 000
Moränenschutt	bis 30 000

Tabelle 2 Spezifische Erdwiderstände für Frequenzen technischer Wechselströme (Tabelle J.1 aus [12])

Rückleitersystem	Reduktionsfaktor r
Erdseile von Freileitungen (110 kV)	
- Stahl 50 … 70 mm^2	0.80 – 0.98
- ACSR 44/32 mm^2 (Aluminium/Stahl)	0.77
- ACSR 500/50 mm^2 (Aluminium/Stahl)	0.61
- AACSR 59-94 (Aldrey/Stahl) mit einem Erdseil	0.70 – 0.85
- AACSR 59-94 (Aldrey/Stahl) mit zwei Erdseilen	0.60 – 0.80
- AACSR 116-288 (Aldrey/Stahl) mit einem Erdseil	0.55 – 0.80
- AACSR 116-288 (Aldrey/Stahl) mit zwei Erdseilen	0.50 – 0.70
- OPGW 157 (Erdseil mit Lichtwellenleiter)	0.60 – 0.70
Papierisolierte Kabel (10 kV und 20 kV)	
- Cu 95 mm^2 / 1.2 mm Bleimantel	0.20 – 0.60
- Al 95 mm^2 / 1.2 mm Aluminiummantel	0.20 – 0.30
Einleiter-XLPE-Kabel (10 kV und 20 kV)	
- Cu 95 mm^2 / 16 mm^2 Cu-Schirm	0.50 – 0.60
Einleiter-ÖL-Kabel (110 kV)	
- Cu 300 mm^2 / 2.2 mm Aluminiummantel	0.37
Einleiter-XLPE-Kabel (110 kV)	
- Cu 300 mm^2 / 35 mm^2 Cu-Schirm	0.32
Einleiter-XLPE-Kabel (150 kV)	
- Cu 800 mm^2 / 700 mm^2 Bleimantel	0.20
Einleiter-ÖL-Kabel (400 kV)	
- Cu 1 200 mm^2 / 1 200 mm^2 Aluminiummantel	0.01
Bahnstrecken (16.7 Hz)	
- Nur Gleis ohne Rückleitererdseil	0.50
- Mit Rückleitererdseil	0.30

Tabelle 3 Typische Werte für Reduktionsfaktoren von Freileitungen und Kabeln (50 Hz) [12] und Bahnstrecken (16.7 Hz)

Die induzierte Spannung pro Weglänge für die Parallelführung einer Rohrleitung mit einer typischen Hochspannungsfreileitung der Netzebene 1 (Tonnenmastbild, 380 kV oder 220 kV) ist in Abbildung 4 dargestellt. Aufgetragen ist die längenbezogene induzierte Spannung im logarithmischen Massstab für einen einpoligen Fehlerstrom auf der Starkstromleitung von 1 kA in Funktion des Abstands zwischen der Rohrleitung und der Achse der Starkstromleitung.

Zum Vergleich ist auch die induzierte Spannung im Normalbetrieb eines Freileitungssystems bei Phasenströmen von 1 kA dargestellt. Die induzierten Spannungen sind mit und ohne Berücksichtigung des Erdseils eingetragen. Man beachte, dass der Reduktionsfaktor des Erdseils nur bei einpoligen Fehlerströmen gilt. Im Normalbetrieb verstärkt das Erdseil die induzierte Spannung auf der Rohrleitung. Durch die magnetische Kopplung zwischen den Leiterseilen und dem Erdseil entsteht ein nachteiliger Ausgleichsstrom in der Schleife Erdseil - Erdboden, der seinerseits Längsspannungen in fremden parallelen Leitungen induziert.

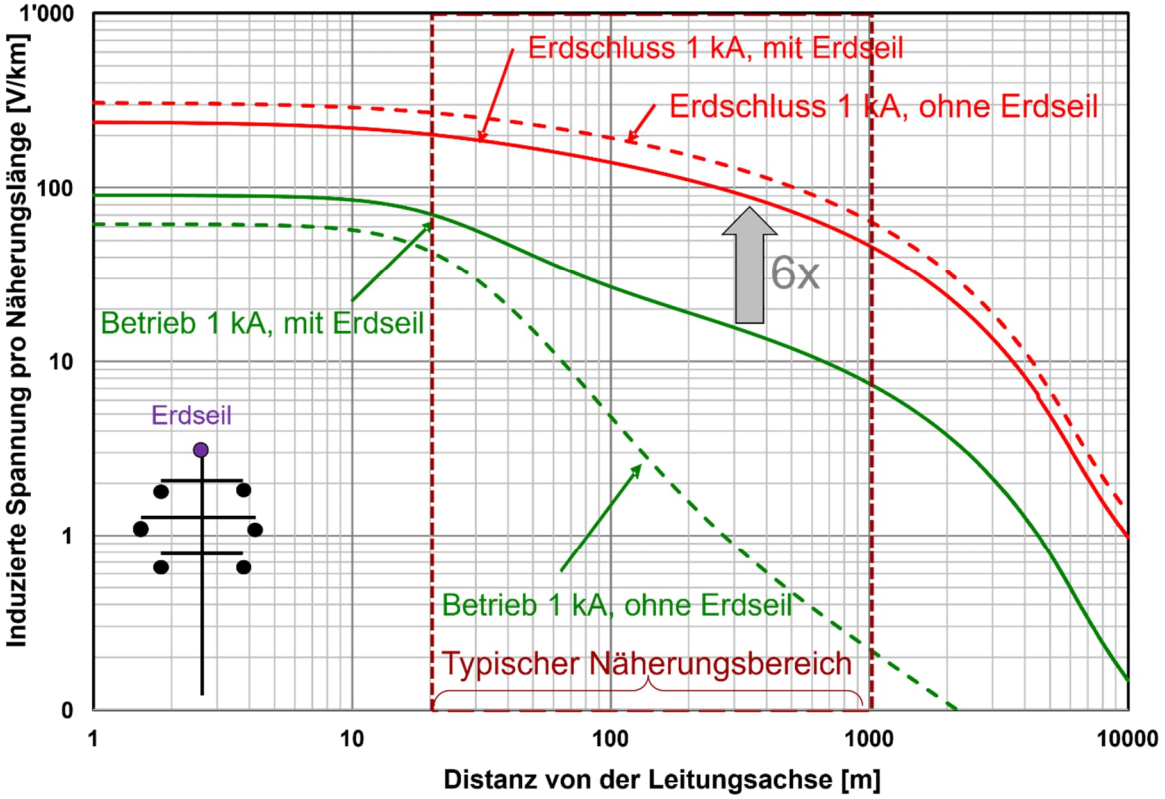

Abbildung 4 Induzierte Spannung auf einer Rohrleitung pro Länge der Parallelführung mit einem Freileitungssystem der Netzebene I für den Betriebsfall und für den einpoligen Fehlerfall jeweils bezogen auf einen Strom von 1 kA in Funktion des Abstands zwischen den Leitungen.

3.3 Massnahmen zur Vermeidung gefährlicher Berührungsspannungen durch Längsinduktion an Rohrleitungen

3.3.1. Massnahmen während normalem Betrieb der Rohrleitung

Gefährliche Berührungsspannungen auf Rohrleitungen durch einpolige Fehlerströme sind vor allem in Nebenanlagen (Schieberstationen, Druckreduzieranlagen etc.) relevant. Die Gefahr der Elektrisierung kann hier durch isolierende Standorte oder durch einen Potentialausgleich vermieden werden. Hohe Differenzspannungen können insbesondere zwischen den Rohrenden entstehen, die durch Isolierflansche getrennt sind. Mögliche Sicherheitsmassnahmen sind isolierende Barrieren für den Berührungsschutz oder Spannungsbegrenzer, die für den Personenschutz zugelassen sind, einzusetzen.

3.3.2. Massnahmen während Umbauarbeiten an der Rohrleitung

In Bau- und Umbauphase von Rohrleitungen in Bereichen mit parallelen Starkstromleitungen werden folgende Sicherheitsmassnahmen empfohlen:

Die induzierten Spannungen pro Länge sollen nach 3.2 abgeschätzt werden und die Rohrlängen für die Überschreitung der zulässigen Berührungsspannungen gemäss Starkstromverordnung Anhang 4 [2] bestimmt werden:

Bestehen zusammenhängende Rohrleitungsstücke, bei denen die zulässigen Berührungsspannungen überschritten werden können, muss an den Arbeitsstellen eine der folgenden zwei Massnahmen getroffen werden.

1. Realisierung eines Erdpotentialausgleichs mit allen berührbaren metallischen Teilen und dem Arbeitsstandort. Als Arbeitsstandort können metallische Gitter verwendet werden, die mit der Rohrleitung durch Erdleiter verbunden werden. Ebenso sollen der Schutzleiter der Arbeitsstromversorgung sowie die Gehäuse der Arbeitsgeräte mit dem Potentialausgleich verbunden werden

2. Bildung isolierter Arbeitsstandorte durch Isoliermatten, Arbeiten mit Gummistiefeln und Isolierhandschuhen

Es ist zu berücksichtigen, dass die Längsimpedanz von Rohrleitungen sehr gering sind und dadurch bei Beeinflussung durch einen Erdschluss eine starre Längsspannung entsteht. Um in diesem Fall die Berührungsspannungen mittels Erdungen auf beiden Seiten klein zu halten, sind Erdungsimpedanzen deutlich unter 1 Ω notwendig. Durch eine Erdung mit Erdungsspiessen ist dies kaum erreichbar. Hingegen wäre die Verbindung zu einer grösseren geerdeten Anlage in der Regel ausreichend, insbesondere wenn die Anlage in die Erdung eines Elektrizitätsversorgungsnetzes eingebunden ist. Eine Erdung mit mehreren parallelgeschalteten Erdspiessen ist nur ausreichend wirksam, wenn die Rohrleitung an keiner anderen Stelle geerdet ist.

Beim Zusammenfügen längerer Rohrabschnitte sollen die Rohrenden mit Erdungslitzen verbunden werden (empfohlen Kupferkabel ca. 35 mm^2), bevor die Rohre definitiv zusammengefügt (bzw. verschweisst) werden. Beim Durchverbinden der Rohrleitung wird auch im Normalbetrieb der Starkstromleitungen ein Ausgleichsstrom von mehreren A erwartet, weshalb entsprechende Schutzmassnahmen (Handschuhe, Schutzbrillen) beim Zusammenfügen von geerdeten Rohrabschnitten vorgesehen werden müssen.

4. Literaturverzeichnis

4.1 Schweizer Recht

[1] SR 734.0 "Bundesgesetz betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen (Elektrizitätsgesetz, EleG)" 24. Juni 1902 (Stand am 1. Juli 2024)

[2] SR 734.2, "Verordnung über elektrische Starkstromanlagen (Starkstromverordnung)" 30. März 1994 (Stand am 1. Juni 2019)

[3] SR 734.31 "Verordnung über elektrische Leitungen (Leitungsverordnung, LeV)" 30. März 1994 (Stand am 1. Juli 2021)

[4] SR 734.31 "Verordnung über elektrische Leitungen (Leitungsverordnung, LeV)" 30. März 1994 (Stand am 1. September 2009)

[5] SR 734.31 "Verordnung über elektrische Leitungen (Leitungsverordnung, LeV)" 30. März 1994 (Stand am 30. März 1994)

[6] SR 746.1, "Bundesgesetz über Rohrleitungsanlagen zur Beförderung flüssiger oder gasförmiger Brenn- oder Treibstoffe (Rohrleitungsgesetz, RLG)" 4. Oktober 1963 (Stand am 1. September 2023)

[7] SR 746.11, "Verordnung über Rohrleitungsanlagen zur Beförderung flüssiger oder gasförmiger Brenn- oder Treibstoffe (Rohrleitungsverordnung, RLV)" 26. Juni.2019 (Stand am 1. Juli 2025)

[8] SR 746.12, "Verordnung über Sicherheitsvorschriften für Rohrleitungsanlagen (RLSV)" 4. Juni 2021 (Stand am 1. Juli 2025)

[9] SR 746.12, "Verordnung über Sicherheitsvorschriften für Rohrleitungsanlagen (RLSV)" 4. April 2007 (Stand am 1. August 2019)

4.2 Normen

[10] SN EN IEC 60071-1:2019-10 "Isolationskoordination - Teil 1: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen"

[11] SN EN 50443: 2012-08; "Auswirkungen elektromagnetischer Beeinflussungen von Hochspannungswechselstrombahnen und/oder Hochspannungsanlagen auf Rohrleitungen"

[12] SN EN 50522: 2022-03; "Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV"

[13] SNG 481000: 2013-11; "Erläuterungen für den Schwachstromnetzbau"

[14] SNG 483755: 2023; "Erden als Schutzmassnahme in elektrischen Starkstromanlagen - Erläuterungen zu den Artikeln 53 – 61 der Starkstromverordnung SR 734.2"

4.3 Weiterführende Literatur

[15] SfB, TE7 „Massnahmen beim Bau und Betrieb von Rohrleitungen im Einflussbereich von Hochspannungs-Drehstromanlagen und Wechselstrom-Bahnanlagen“, Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen SfB, Deutsche Bahn AG, Deutsche Telekom AG, Verband der Elektrizitätswirtschaft VDEW e.V., TE7 Oktober 2006, textgleich mit AfK-Empfehlung Nr. 3, Arbeitsgemeinschaft DVGW/VDE für Korrosionsfragen (AfK), DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. 53123 Köln, Josef-Wirmer-Strasse 1-3,

[16] ERI Richtlinie 2025, Planung, Bau und Betrieb von Rohrleitungsanlagen über 5 bar, 2.4.2025

[17] Swissgas, „Merkblatt Sicherheits- und Mindestabstände zu Rohrleitungsanlagen“ vom 30.06.2010

[18] Berger K., „Das Verhalten von Erdungen unter hohen Stossströmen“, Bull. SEV Bd. 37, (1946), Heft 8, S. 197-211

[19] Berger K.; « Le comportement des prises de terre sous courants de choc de grande intensité » ; Cigré Session 1946, Paper 320

[20] Berger K., Baumann W.; "Die Gefährdung von Rohrleitungen im Spannungstrichter von Hochspannungs-Erdungen"; Bull. SEV Bd. 60 (1969), Heft 12, S. 525-534

[21] Mousa A. M. ; „The soil ionization gradient associated with discharge if high currents into concentrated electrodes“; IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 9, No. 3, (1994), pp 1669-1677

[22] Nor N. M., Haddad A., Griffiths H.; “Determination of threshold electric field EC of soil under high impulse currents”; IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 3, pp. 2108-2113, July 2005

[23] Nixon K. J., Jandrell I. R., Philips A. J. ; „A simplified model of the lightning performance of a driven rod earth electrode in multi-layer soil that includes the effect of soil ionisation“; Conference Record of the IEEE Industry Applications Conference on the occasion of the 41st IAS Annual Meeting; 2006, pp. 1821-1825

[24] Sprecher E.; „Untersuchungen über den Erdungswiderstand verschiedener Bodenarten und die Vorausberechnung der Elektroden“; Bull. SEV Bd. 25, Heft 15, 1934

[25] VDEW, Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke, Erdungen in Starkstromnetzen, 1992

[26] Beyer B., Boeck W., Möller K., Zaengl W., «Hochspannungstechnik, Theoretische und praktische Grundlagen», Springer-Verlag, 1986, ISBN 3-540-16014-0

[27] Küchler A., «Hochspannungstechnik, Grundlagen, Technologie, Anwendungen», Springer-Verlag, 4. Auflage 2017, ISBN 978-3-662-54699-4

Autoren:

ESTI:	Günther Storf
ERI:	Roger Bächtiger, Stephan Messerschmid
SVGW:	Matthias Hafner, Tobias Mühle
Transitgas:	Marco Bader
Swissgas:	Matthias von Ah
Axpo:	Toni Wunderlin
FKH:	Reinhold Bräunlich, Philipp Alff
SGK:	Markus Büchler