



ESTI-Mitteilung Nr. 2023-1201
13. Dezember 2023

Abstände bei Annäherungen und Kreuzungen von elektrischen Leitungen mit Rohrleitungen

Inhalt

1. Einleitung.....	1
2. Aspekte der ohmschen Beeinflussung	2
2.1 Durchschlagspannung im Erdreich	2
2.2 Unterschied: Kreuzung und Parallelführung.....	4
3. Mindestabstände bei ohmscher Beeinflussung	4
3.1 Mindesthorizontalabstände bei Annäherungen und Parallelführungen von Starkstromanlagen und Rohrleitungen	4
3.2 Mindestabstände zwischen unterirdischen, elektrischen Kabelleitungen und Rohrleitungen.....	6
4. Literaturverzeichnis.....	6

1. Einleitung

Rohrleitungen, und andere elektrisch längsleitfähige Strukturen, können bei Annäherungen an Starkstromanlagen im Fehlerfall durch diese ohmsch beeinflusst werden:

- Eine Starkstromleitung übt im Erdschlussfall eine ohmsche Beeinflussung über die Erdungen aus. Bei ungenügenden Abständen kann ein Lichtbogen auf die Rohrleitung treffen und das Rohr beeinträchtigen.
- Rohrleitungen aus längsleitfähigem Material können im Erdschlussfall der Starkstromleitung zu einer Potentialverschleppung führen.

Nicht Bestandteil dieser Mitteilung sind:

- Induktive Beeinflussung
- Zündung von explosionsfähigen Gasgemischen durch elektrische Funken
- Nebenanlagen (sämtliche Anlagen, Gebäude, Installationen, Streckenschieber, Molchschleusen, Verteil-, Druckreduzier- und Abnahmestationen, die dem Betrieb der Rohrleitung dienen) von Rohrleitungsanlagen
- Schutzabstände zu Bauten ohne Rohrleitungsanlagen

Es ist vorgesehen diese Problematiken bei der Annäherung von Starkstromanlagen und Rohrleitungen zukünftig in einer ESTI-Weisung zu regeln. Bis dahin soll diese Mitteilung Klarheit über die wichtigsten Aspekte im Zusammenhang mit den Annäherungsabständen schaffen.

Von 1994 bis 2021 enthielt die Leitungsverordnung (LeV) [2], [3] Vorschriften betreffend dem Minimalabstand 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 führte. Zur Erarbeitung eines Leitfadens für die offenen Fragen hat das ESTI zusammen mit dem SVGW (Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches) 2023 eine enge Zusammenarbeit mit Fachleuten aus beiden Branchen organisiert.

2. Aspekte der ohmschen Beeinflussung

Im Folgenden wird auf die Aspekte eingegangen, welche für die Bemessung der Sicherheitsabstände zwischen Starkstromanlagen und Rohrleitungen massgebend sind.

2.1 Durchschlagsspannung im Erdreich

Eine der ersten Arbeiten über die Durchschlagsspannung zwischen metallischen Teilen im Erdreich stellen die Untersuchungen von K. Berger [10], [11] dar. Spätere Arbeiten, z.B. [13], [14] und [15] kommen zu ähnlichen Ergebnissen. Diese lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Niedrigste Überschlagsdistanzen ergeben sich bei einem spezifischen Erdbodenwiderstand zwischen 10 und 25 k Ω cm, (100 ... 250 Ω m, Leitfähigkeit 40 ... 100 μ S/cm). Dieser Bereich des spezifischen Erdbodenwiderstands wird bei Böden mit einem Wassergehalt von 30% - 50% (Sand und Sand/Lehm/Humus-Gemisch) erreicht.
- In [10] wurde mit Durchschlagsversuchen an Kugelfunkenstrecken im Erdboden die über die Schlagweite a gemittelte Durchschlagfeldstärke $E_0 = u_0/a$ untersucht. Die minimalen Werte liegen bei feuchtem Erdreich (30% - 50% Wassergehalt) bei 7 kV/cm und steigen bei trockeneren Böden nur mässig an (maximal Faktor 2). Es wurden Impulse mit Anstiegszeiten von wenigen μ s bis 1 ms angewendet. Die ermittelten Minimalwerte 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 Abstandsbe-messung zu Objekten im Erdboden nicht die mittlere Durchschlagfeldstärke ausschlaggebend, sondern die Feldstärke, bei welcher eine bereits eingesetzte Entladung sich weiter ausbreitet. Aus [10] kann ein Wert dieser Ausbreitungsfeldstärke E_1 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 be-achten, dass diese Feldstärke etwa um den Faktor 2 unter der Feldstärke liegt, die für die Verlängerung von Entladungskanälen in Luft erforderlich ist (Die Ausbreitung von Streamer- und Leaderentladungen in Luft bedingt Grundfeldstärken am Entladungskopf von 4 ... 5 kV/cm).

Das Vermeiden von Entladungen an Rohrleitungsanlagen und damit von unterirdischen Durchschlägen 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 eingepprägten 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 Tragwerkterdung und der Rohrleitungsanlage nicht ausgeschlossen werden. Tabelle 1 enthält errechnete Ionisationsradien für die in der Praxis vorkommenden Bereiche der Stromamplituden und Erdbodenwiderstände. Zum Vergleich sind die Werte aufgeführt, die gemäss Leitungsverordnung von 1994 bis 2006 [3] 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 Erdübergangstrom ist nicht gleich dem einpoligen Fehlerstrom zu setzen. Bei Freileitungen fliesst in der Regel ein erheblicher Teil des einpoligen Fehlerstromes über die Erdseile ab und trägt nicht zum Spannungstrichter um die Tragwerkserdungen bei. Noch geringer ist der Erdübergangstromanteil bei Starkstrom-Kabelleitungen (Hochspannungskabel oder Niederspannungs-Netzkabel). Der grösste Teil des einpoligen Fehlerstromes fliesst im Kabelschirm zum speisenden Netzknotenpunkt zurück. Nur der Fehlerstromanteil, welcher vom Kabelschirm oder von geerdeten Teilen der Kabelanlage ins Erdreich fliesst, erzeugt einen Spannungstrichter im Erdreich, der zu einem Durchschlag auf andere längsleitfähige Infrastrukturen führen kann.

Isolationsradius r [m]	Erdübergangstrom I_{eff} [A]				
	1'000 A	5'000 A	10'000 A	20'000 A	40'000 A
Spezifischer Bodenwiderstand ρ [Ωm]	Stromamplitude des Erdübergangstroms \hat{I} [A]				
	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_{eff}) (mindestens 3 m)	3.0	3.0	5.0	10.0	20.0

Tabelle 1 Berechneter Ionisationsradius r im Erdboden bei verschiedenen Stromamplituden des Erdübergangstroms \hat{I} und verschiedenen Werten des spezifischen Bodenwiderstands ρ unter der Annahme, dass die Ionisationsfeldstärke $E_i = 2.5 \text{ kV/cm}$ beträgt (nach Berger [10]) und, dass sich der Strom halbkugelförmig im Boden ausbreitet:

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

Letzte Zeile: Vergleich mit Regel für Abstände zwischen Rohrleitungen und Tragwerken gemäss LeV 1994 bis 2006 [3].

2.2 Unterschied: Kreuzung und Parallelführung

Bei den Sicherheitsabständen nach LeV [3] zwischen Rohrleitungen und Starkstromkabeln besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen Kreuzungen und Parallelführungen.

Bei Kreuzungen ist die Wahrscheinlichkeit, dass im Einflussbereich der Rohrleitung ein Erdschluss des Starkstromkabels eintritt, viel geringer, als wenn die beiden Systeme über viele Meter, in kurzer Distanz parallel verlaufen.

3. Mindestabstände bei ohmscher Beeinflussung

3.1 Mindesthorizontalabstände bei Annäherungen und Parallelführungen von Starkstromanlagen und Rohrleitungen

In Tabelle 2 sind die Mindesthorizontalabstände von Starkstromanlagen zu Rohrleitungen definiert. Wenn der Abstand Strom abhängig ist, ist für die Beurteilung der Erdübergangstrom, der Anteil des Erdschlussstroms, welcher ins Erdreich übertritt, zu berücksichtigen. Stromanteile, welche über Erdseile oder Kabelschirme abfliessen, können vernachlässigt werden.

Starkstromanlage (Betriebsspannung)	Mindesthorizontalabstand zur Rohrleitung
blanke oder isolierte Leiter von Freileitungen: bis 50 kV über 50 kV	d1 3 m 10 m
Tragwerke inkl. Erdungen* bis 50 kV über 50 kV	d2 3 m 0.5 m pro kA Erdübergangstrom, mindestens 3 m
Kraftwerke, Unterwerke, Schaltanlagen, inkl. Erdungen bis 100 kV über 100 kV	d3 0.5 m pro kA Erdübergangstrom, mindestens 10 m 30 m

Tabelle 2 Mindesthorizontalabstände bei Annäherungen und Parallelführungen von Starkstromanlagen und Rohrleitungsanlagen in Bezug auf die ohmsche Beeinflussung (Abbildung 1)
 *: Die armierten Beton-Mastfundamente gehören vollumfänglich zur Mast-erdung

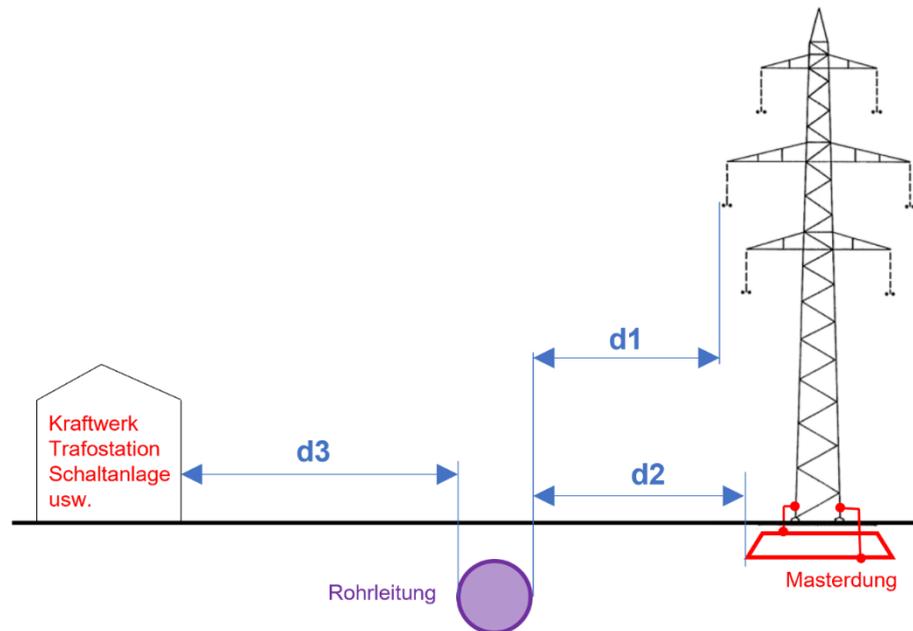


Abbildung 1 Annäherung von Starkstromanlagen an Rohrleitungen

Gemäss Art. 127 LeV [1] müssen Rohrleitungen, die sich mit Starkstrom-Freileitungen kreuzen, erdverlegt und mindestens 1 m überdeckt sein (Abbildung 2).

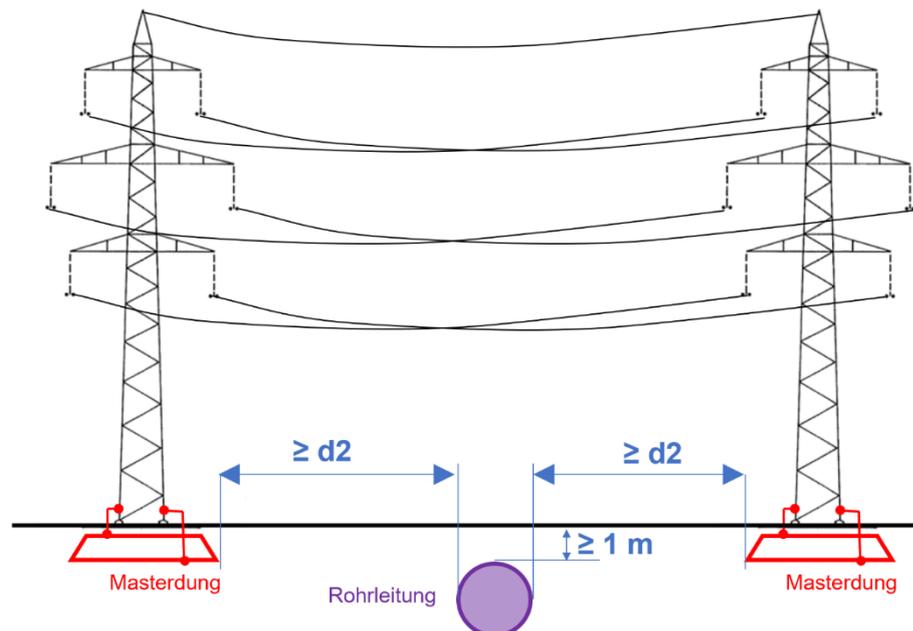


Abbildung 2 Kreuzung Freileitung mit Rohrleitung

3.3 Mindestabstände zwischen unterirdischen, elektrischen Kabelleitungen und Rohrleitungen

Kabelleitungen (Betriebsspannung)	bis 50 kV	über 50 kV	
Zur Rohrleitung paralleelführende Kabelleitungen (Abbildung 3)	2 m Erdschicht	0.5 m pro kA Erdübergangstrom, mindestens 3 m	d4
Kreuzung einer Schwach- oder Starkstromkabelleitung mit einer Rohrleitung (Abbildung 4)	0.5 m		

Weist die Kabelleitung eine zusätzliche Isolation auf (z.B. Kunststoffschutzrohre, Rohrblock*), so kann der Abstand auf 0.5 m Erdschicht reduziert werden (Abbildung 3). Vorbehalten bleibt Artikel 11 RLSV.

Tabelle 3 Mindestabstände zwischen unterirdischen Schwach- oder Starkstromkabelleitungen und Rohrleitungsanlagen
 *: Kunststoffkabelschutzrohre gelten als zusätzliche Isolation. Bei Muffenschachtbauten, die beim Betrieb Erdungsverbindungen zum Erdungssystem der Starkstromleitung (Kabelmäntel, Ableiter etc.) aufweisen, gelten die Abstände gemäss d4.

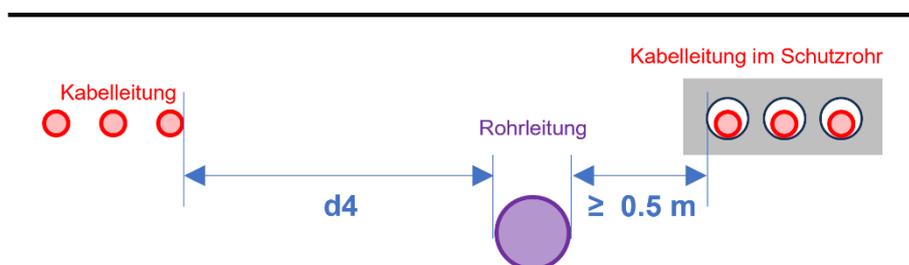


Abbildung 3 Annäherung Starkstrom-Kabelleitung mit Rohrleitungsanlagen

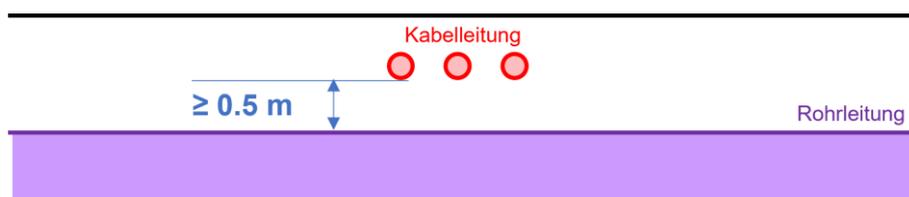


Abbildung 4 Kreuzung Kabelleitung mit Rohrleitung

4. Literaturverzeichnis

- [1] SR 734.31 «Verordnung über elektrische Leitungen (Leitungsverordnung, LeV)» 30. März 1994 (Stand am 1. Juli 2021)
- [2] SR 734.31 «Verordnung über elektrische Leitungen (Leitungsverordnung, LeV)» 30. März 1994 (Stand am 1. September 2009)
- [3] SR 734.31 «Verordnung über elektrische Leitungen (Leitungsverordnung, LeV)» 30. März 1994 (Stand am 30. März 1994)
- [4] SR 746.11, «Verordnung über Rohrleitungsanlagen zur Beförderung flüssiger oder gasförmiger Brenn- oder Treibstoffe (Rohrleitungsverordnung, RLV)» 26. Juni.2019 (Stand am 1. Juli 2023)

- [5] SR 746.12, «Verordnung über Sicherheitsvorschriften für Rohrleitungsanlagen (RLSV)» 4. Juni 2021 (Stand am 1. Juli 2023)
- [6] SR 746.12, «Verordnung über Sicherheitsvorschriften für Rohrleitungsanlagen (RLSV)» 4. April 2007 (Stand am 1. August 2019)
- [7] 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,
- [8] SNEN IEC 60071-1:2019-10 «Isolationskoordination - Teil 1: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen»
- [9] Swissgas, „Merkblatt Sicherheits- und Mindestabstände zu Rohrleitungsanlagen“ vom 30.06.2010
- [10] Berger K., „Das Verhalten von Erdungen unter hohen Stossströmen“, Bull. SEV Bd. 37, (1946), Heft 8, S. 197-211
- [11] Berger K.; « Le comportement des prises de terre sous courants de choc de grande intensité » ; Cigré Session 1946, Paper 320
- [12] Berger K., Baumann W.; "Die Gefährdung von Rohrleitungen im Spannungstrichter von Hochspannungs-Erdungen"; Bull. SEV Bd. 60 (1969), Heft 12, S. 525-534
- [13] Mousa A. M. ; „The soil ionization gradient associated with discharge of high currents into concentrated electrodes“; IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 9, No. 3, (1994), pp 1669-1677
- [14] 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
- [15] 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
- [16] Sprecher E.; „Untersuchungen über den Erdungswiderstand verschiedener Bodenarten und die Vorausberechnung der Elektroden“; Bull. SEV Bd. 25, Heft 15, 1934
- [17] SNEN 50443: 2012-08; "Auswirkungen elektromagnetischer Beeinflussungen von Hochspannungswechselstrombahnen und/oder Hochspannungsanlagen auf Rohrleitungen"

Autoren:

ESTI:	Günther Storf, Daniel Otti
ERI:	Roger Bächtiger, Stephan Messerschmid
SVGW:	Matthias Hafner, Tobias Mühle
Axpo:	Toni Wunderlin
FKH:	Reinhold Bräunlich, Philipp Alff
SKG:	Markus Büchler