

Schutzmaßnahmen gegen Beeinflussungsspannungen auf freigeschalteten Hochspannungs-Freileitungen

Einleitung:

Vor dem Hintergrund der Energiewende kommt dem Netzausbau sowie auch der Verfügbarkeit der Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen eine besondere Bedeutung zu. Die bestehenden Übertragungs- und Verteilnetze transportieren zunehmend höhere Leistungen über weitere Entfernungen. Dies bedeutet, dass es zunehmend schwieriger wird, für längerfristige Zeiträume Freischaltungen zu generieren.

Vor diesem Hintergrund befasst sich der nachfolgende Vortrag mit der Betrachtung der Schutzmaßnahmen gegen Beeinflussungsspannungen bei Arbeiten an freigeschalteten Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen.

Theoretische Erläuterungen zur Beeinflussungsthematik

Durch induktive und kapazitive Kopplung können leitfähige Teile, z.B. Leiterseile oder Konstruktionselemente, gefährliche Berührungsspannungen annehmen, wenn Sie sich im Bereich von unter Spannung stehenden Anlagen befinden. Die Kopplung ist umso größer, je höher die Ströme (Stromänderungen) auf den beeinflussenden Leitungen sind und je mehr sich die Leitungen räumlich annähern.

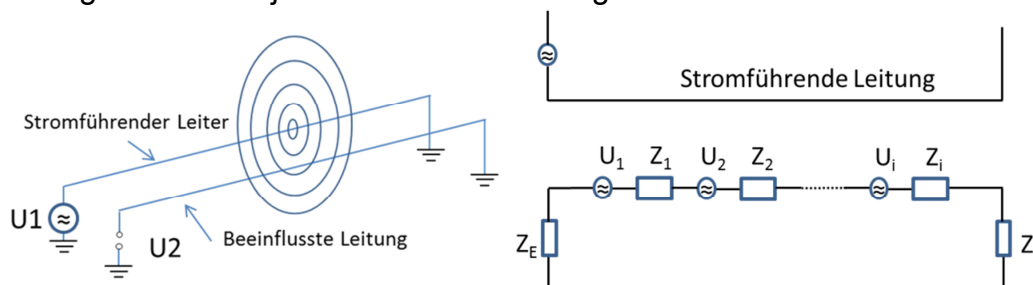


Abbildung 1: Kopplung benachbarter Leiter, Ersatzschaltbild

Arbeiten mit Gefährdungen durch Beeinflussungsspannungen

Die nachfolgenden Betrachtungen beziehen sich auf Arbeiten an freigeschalteten Hochspannungsfreileitungen, die sich im Einflussbereich von unter Spannung stehenden Anlagenteilen befinden. Die Vorgaben zur Arbeitsmethode "Arbeiten in der Nähe von unter Spannung stehenden Teilen" gemäß DIN VDE 0105-100 sind zu beachten. In diesem Vortrag werden nur die elektrischen Gefährdungen durch Beeinflussungsspannungen sowie die daraus resultierenden Schutzmaßnahmen betrachtet.

Je nach Arbeitsauftrag werden nur einzelne Systeme oder auch alle Systeme einer Mastseite für Arbeiten freigeschaltet. Somit ergeben sich unterschiedliche Einflussfaktoren für die Höhe der Beeinflussungsspannung.

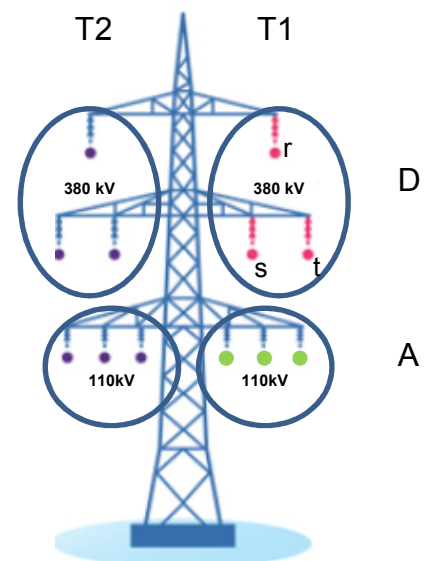


Abbildung 2: Mast (vorne) mit vier Stromkreisen

(Quellen: links: Wikipedia, MdE, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1105119>, rechts: AD-Mast, Amprion)

Zu Beeinflussungen kommt es auch durch Leitungssysteme auf parallel verlaufenden anderen Leitungszüge, wie z. B. im Hintergrund von Abbildung 1 erkennbar, sowie durch Leitungskreuzungen.

Es ist zu berücksichtigen, dass bei abschnittsweise parallel geführten Trassen Spannungen induziert werden können, die sich auch dann noch auswirken, wenn sich die Trassen voneinander trennen und die induzierenden Systeme von der Arbeitsstelle aus nicht mehr zu sehen sind (veranschaulicht in Abbildung 3).

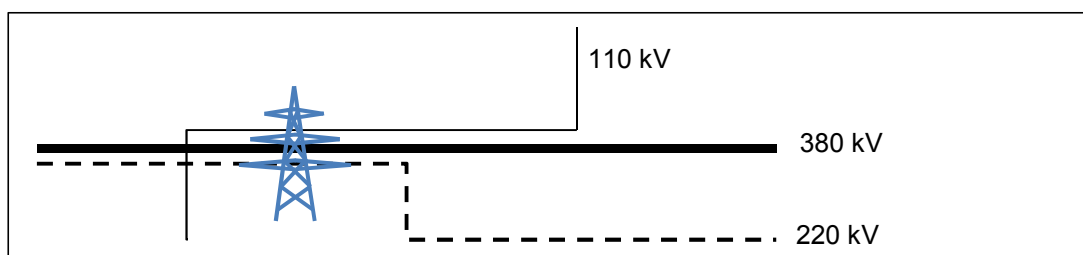


Abbildung 3: Schematische Darstellung möglicher Trassenführungen

Schutzmaßnahmen

Das Auftreten gefährlicher Berührungsspannungen an den Arbeitsstellen von mehr als 50 V Wechselspannung ist durch abschnittsweise Erdung in angemessenen Abständen zu verhindern.

Bei der Trennung von Leitern wird durch zusätzliche Potentialausgleichsmaßnahmen verhindert, dass Arbeitende unterschiedliche Potentiale berühren und es zu einem gefährlichen Körperstrom kommt.



Abbildung 4: Erdung beim Arbeiten auf Freileitungsmasten (Quelle: Amprion)

Überprüfung der Schutzmaßnahmen

Durch die Verfügbarkeit von computergestützten Simulations-Werkzeugen ist es heute möglich, einfache aber realistische Leitungsverläufe und Mastgeometrien im Computer nachzubilden und rechnergestützt die Beeinflussungsspannungen unter verschiedenen Betriebsbedingungen zu simulieren. Solche Simulationen wurden mit dem Computerprogramm PSCAD (Power System Computer Aided Design, Manitoba Hydro International Ltd, Canada, www.pscad.com) durchgeführt.

Als exemplarisches Modell diente eine typische Mastgeometrie („ABD-Masttyp“) mit zwei 380 kV-Stromkreisen im oberen Bereich, zwei 220 kV-Stromkreisen im mittleren Bereich und zwei 110 kV-Stromkreisen im unteren Bereich (siehe schematische Darstellung in Abbildung 5).

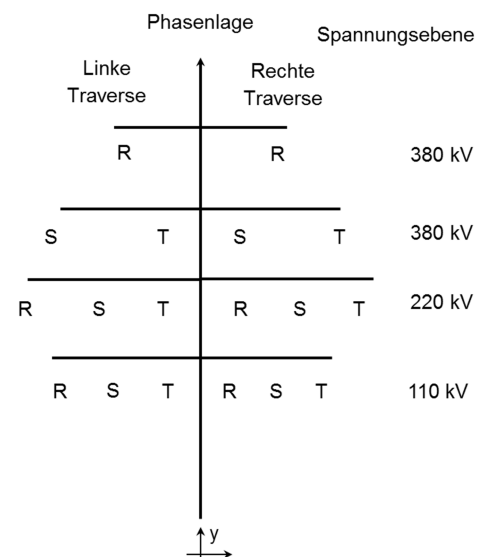
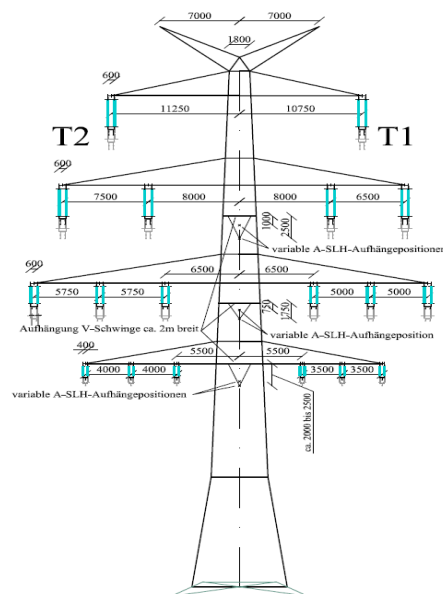


Abbildung 5: Typischer Mast mit 3 Spannungsebenen

Berücksichtigt wurden sowohl die Leiterbündelung (Viererbündel bei 380 kV, Zweierbündel bei 220 kV und einzelne Leiterseile bei 110 kV) sowie der typische Leiterdurchhang. Es wurden verschiedene Trassenlängen, Stromstärken (Normalbetrieb, Kurzschlussfall) und Erdungsstellen simuliert und die kapazitiven und induktiven Beeinflussungsspannungen berechnet.

Ein exemplarischer Betrachtungsfall (Abbildung 6) besteht aus einem 102 km langen Leitungssystem, das über 50 km an dem oben gezeigten ABD-Masttyp parallel zu einem aktiven System verläuft.

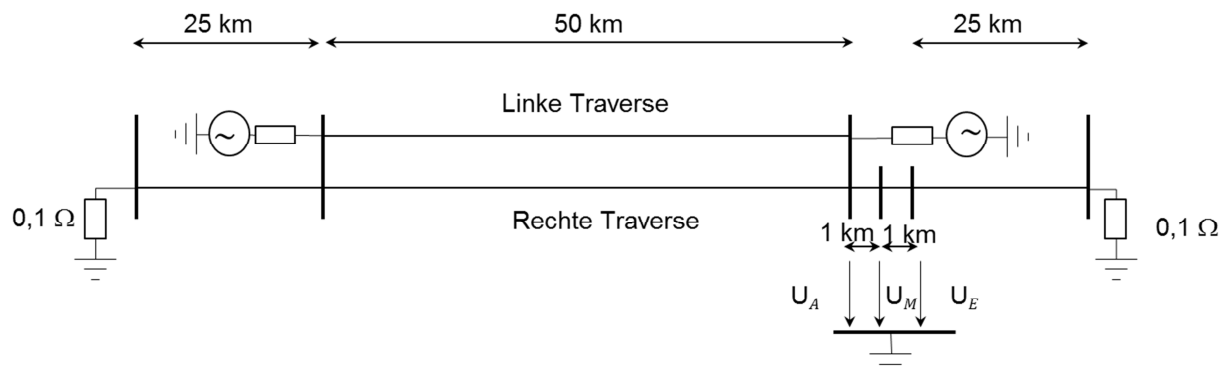


Abbildung 6: Exemplarisches Modellbild des Leitungsverlaufs

Für Nennströme (peak) von 4 kA (380 kV), 1,8 kA (220 kV) und 0,9 kA (110 kV) ergibt sich mit ausschließlicher Erdung an den Ausschaltstellen eine maximale Beeinflussungsspannung von etwa 2 kV auf dem freigeschalteten gegenüberliegenden Leitersystem. Bei einer zusätzlichen Erdung an der gedachten Arbeitsstelle E beträgt die maximale Beeinflussungsspannung U_E dort etwa 50 V. In zwei Kilometer Abstand von dieser Erdungsstelle steigt die Beeinflussungsspannung auf 300 V. Bei Erdung an den drei jeweils 1 km entfernten Masten (A, M und E) sinkt die maximale Berührungsspannung U_M am Ort des mittleren Mastes auf etwa 10 V.

Ergebnisse:

Im Vortrag werden ausgewählte Ergebnisse der Berechnungen vorgestellt und Abhängigkeiten der Beeinflussungsspannung von der Leitungsgeometrie, den Stromstärken (Betriebsstrom oder Kurzschlussstrom) sowie der Anordnung der Erdungsstellen erläutert. Es wird deutlich, dass erwartungsgemäß die Entfernung der Leiterseile voneinander und die Stromstärke auf den aktiven Stromkreisen die Beeinflussungsspannung entscheidend mitbestimmen.

Mit alleiniger Erdung an den Ausschaltstellen erreichen die Beeinflussungsspannungen an der Arbeitsstelle einige kV. Selbst bei Erdung an der Arbeitsstelle kann die Berührungsspannung immer noch über den zulässigen 50 V liegen. Zusätzliche Erden an den benachbarten Masten senken in dem hier simulierten Fall die Berührungsspannungen auf ungefährliche Werte.

Fazit:

Die betrachteten Untersuchungen wurden anhand von Leitungsmodellen mit Hilfe von mathematischen Simulationen durchgeführt. Die Aussagen gelten aufgrund der Vielzahl einfließender Parameter nur für den modellierten, stark vereinfachten Einzelfall. In der Praxis ist der Aufwand für eine detaillierte Modellierung realer Konfigurationen sehr hoch.

Um unzulässig hohe Berührungsspannungen für die Arbeitenden zu vermeiden, ist eine Erdung der Arbeitsstelle als auch eine Erdung an dem vorherigen und dem nachfolgenden Mast vorzunehmen.

Hierbei ist darauf zu achten, dass die Erdungsvorrichtungen fest angezogen sowie auf sauberem, leitfähigem Untergrund angebracht werden.