



## **Generalerneuerung der 220-kV-Ltg. St. Peter am Hart - Ernsthofen**

### **Ohmsche, induktive und kapazitive Beeinflussung**

Einflussgrößen, Grenzwerte der zulässigen Beeinflussungsspannungen sowie  
Maßnahmen gegen unzulässige Beeinflussungen

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Einschlägige Normen und Richtlinien</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Ohmsche Beeinflussung</b>	<b>3</b>
3.1	Einflussgrößen bei der ohmschen Beeinflussung	3
3.1.1	Örtliche Bodenverhältnisse	3
3.1.2	Hochspannungsleitung	4
3.2	Mastausbreitungswiderstände	4
3.3	Ermittlung der Erdungsspannung von Masterdungsanlagen	4
3.4	Gefahrenkreise um die Mastmittelpunkte	4
3.5	Maßnahmen gegen unzulässige Beeinflussungsspannungen	5
3.5.1	Maßnahmen gegen unzulässige Berührungsspannungen	5
3.5.2	Maßnahmen gegen unzulässige Spannungsbeanspruchungen	5
3.5.3	Maßnahmen gegen Potentialverschleppungen	5
<b>4</b>	<b>Induktive Beeinflussung</b>	<b>5</b>
4.1	Einflussgrößen bei der induktiven Beeinflussung	5
4.1.1	Hochspannungsleitung	6
4.1.2	Fernmeldeleitung	6
4.1.3	Rohrleitung	6
4.2	Induktive Beeinflussung von Fernmeldeleitungen	6
4.3	Induktive Beeinflussung von Rohrleitungen	7
<b>5</b>	<b>Kapazitive Beeinflussung</b>	<b>8</b>
5.1	Einflussgrößen bei der kapazitiven Beeinflussung	8
5.1.1	Hochspannungsleitung	9
5.1.2	Maßnahmen gegen kapazitive Beeinflussung	9

## 1 Einleitung

Im Zuge des Projektes der Generalerneuerung der 220-kV-Ltg. St. Peter - Ernsthofen von Austrian Power Grid AG (APG) mehr als 70 Jahre nach ihrer Errichtung wird auch die ohmsche, induktive und kapazitive Beeinflussung im Beeinflussungsbereich der Hochspannungsleitung untersucht. Erforderlichenfalls sind geeignete Schutzmaßnahmen gegen unzulässige Beeinflussungsspannungen festzulegen.

## 2 Einschlägige Normen und Richtlinien

Bei der Untersuchung der Beeinflussung durch die 220-kV-Leitung sind folgende Normen und Richtlinien zu berücksichtigen:

- ÖVE-B 1/1976 (Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Wechselstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV)
- ÖVE/ÖNORM EN 50341:2011 (Freileitungen über AC 45 kV – Teil 1: Allgemeine Anforderungen – Gemeinsame Festlegungen)
- ÖVE/ÖNORM EN 50443:2012 (Auswirkungen elektromagnetischer Beeinflussungen von Hochspannungswechselstrombahnen und/oder Hochspannungsanlagen auf Rohrleitungen)
- TE 30:2014 (Maßnahmen bei Errichtung und Betrieb von Rohrleitungen und Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV zur Vermeidung unzulässiger Beeinflussung), eine technische Empfehlung des Technischen Komitees für Beeinflussungsfragen
- ÖNORM EN 15280:2013 (Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom an erdverlegten Rohrleitungen anwendbar für kathodisch geschützte Rohrleitungen)
- Vornorm ÖVE/ÖNORM E 8850:2006 (Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz – Beschränkung der Exposition von Personen)
- ITU-T Directives, Volume II (1999) (Calculating induced voltages and currents in practical cases)

## 3 Ohmsche Beeinflussung

### 3.1 Einflussgrößen bei der ohmschen Beeinflussung

Die ohmsche Beeinflussung erfolgt über das elektrische Strömungsfeld im Erdboden. Fließt über eine Erdungsanlage ein Strom gegen Erde, so bildet sich ein Spannungstrichter aus, der wesentlich von der Ausdehnung der Erdungsanlage abhängt. Abhängig von der Höhe der Erdungsspannung können unzulässige Berührungsspannungen, Spannungsbeanspruchungen oder Potentialverschleppungen auftreten.

Bei Hochspannungsleitungen des mit niederohmiger Sternpunktterdung betriebenen 220/380-kV-Netzes von APG ist die ohmsche Kurzzeitbeeinflussung bei einem einpoligen Erdkurzschluss mit einer Fehlerdauer von 0,15 s zu berücksichtigen.

#### 3.1.1 Örtliche Bodenverhältnisse

Eine wichtige Einflussgröße bei der ohmschen Beeinflussung ist der örtliche spezifische Bodenwiderstand. Er ist mitbestimmend für den Ausbreitungswiderstand einer Erdungsanlage und die Ausdehnung des Spannungstrichters. Eine Vorabermittlung des spezifischen Bodenwider-

standes im Bereich geplanter Maststandorte wird im Allgemeinen im Hinblick auf den damit verbundenen Aufwand nicht durchgeführt.

### **3.1.2 Hochspannungsleitung**

Die Einflussgrößen bei einer 220-kV-Leitung sind:

- Ausführungsform der Masterdungsanlage
- Erdseildaten sowie Aufhängehöhe und Durchhang
- Spannfeldlängen
- 3I0-Profil (Höhe der in Abhängigkeit des Fehlerortes auftretenden einpoligen Erdkurzschlussstromanteile), das die Ausbauplanung des 220/380-kV-Netzes entsprechend berücksichtigt

### **3.2 Mastausbreitungswiderstände**

Vor der Errichtung einer neuen Hochspannungsleitung lassen sich die Ausbreitungswiderstände der Masterdungsanlagen im Allgemeinen nur auf der Grundlage von Annahmen zum örtlichen spezifischen Bodenwiderstand – eventuell gestützt von einigen Bodenwiderstandsmessungen – rechnerisch ermitteln. Im vorliegenden Fall der Generalerneuerung einer Leitung, bei der die bisherigen Maststandorte erhalten bleiben bzw. nur geringfügige Verschiebungen erfolgen, kann von den Ausbreitungswiderständen der bisherigen Masterdungsanlagen auf den jeweiligen örtlichen spezifischen Bodenwiderstand zurückgerechnet werden.

### **3.3 Ermittlung der Erdungsspannung von Masterdungsanlagen**

Die Erdungsimpedanz eines Mastes wird aus der Parallelschaltung des Ausbreitungswiderstandes des betreffenden Mastes und den beiden dazu parallel geschalteten sog. Kettenleiterimpedanzen (Aneinanderreihung von Erdseilimpedanzen der Spannfelder samt Ausbreitungswiderständen der Nachbarmaste) Richtung Leitungsanfang bzw. Leitungsende errechnet.

Mit den aus dem 3I0-Profil entnommenen, für die jeweiligen Maste geltenden einpoligen Erdkurzschlussströme werden dann unter Berücksichtigung des Erdseilreduktionsfaktors mit den Erdungsimpedanzen die Erdungsspannungen der Maste berechnet.

### **3.4 Gefahrenkreise um die Mastmittelpunkte**

In den einschlägigen Normen sind hinsichtlich von Berührungsspannungen oder von Spannungsbeanspruchungen unterschiedliche Grenzen der zulässigen Beeinflussungsspannung festgelegt. Beispielsweise sind mit ÖVE/ÖNORM EN 50341:2011 neben der ohne Zusatzwiderstände im Berührungstromkreis zulässigen Berührungsspannung von 550 V auch Spannungsgrenzen unter Berücksichtigung von Schuhwerk und örtlichen Bodenverhältnissen am jeweiligen Standort ableitbar und in ÖVE-B 1/1976 sind für Fernmeldeanlagen die Grenzen der zulässigen Gefährdungsspannung mit 300 V bzw. 500 V festgelegt, wobei die Spannungsbeanspruchung von Fernmeldekabeln 1200 V nicht überschreiten darf.

Die Erdungsspannungen der Maste einer 220-kV-Leitung können teilweise ein Mehrfaches dieser zulässigen Beeinflussungsspannungen betragen. Damit sind hinsichtlich etwaiger Maßnahmen nicht nur der Mast selbst, sondern auch die Bereiche in der Mastumgebung zu betrachten, innerhalb derer der bei einem einpoligen Erdkurzschluss auftretende Spannungstrichter Potentialanhebungen über der zulässigen Beeinflussungsspannung bewirkt.

Zur Nachbildung des zu erwartenden Spannungstrichters wird ein der Masterdungsanlage äquivalenter Halbkugelerder verwendet. Mit dieser Vereinfachung werden für jeden Mast Radien von Kreisen – sog. Gefahrenkreisradien – ermittelt, innerhalb derer die Potentialanhebung über der jeweiligen zulässigen Beeinflussungsspannung liegt.

### **3.5 Maßnahmen gegen unzulässige Beeinflussungsspannungen**

Bei den im Mastbereich erhobenen Einbauten und Objekten wird anhand der entsprechenden Gefahrenkreise festgestellt, ob Maßnahmen gegen unzulässige Beeinflussungsspannungen erforderlich sind. Die Maßnahmen lassen sich in Maßnahmen gegen unzulässige Berührungsspannungen, Maßnahmen gegen Spannungsbeanspruchungen und Maßnahmen gegen Potentialverschleppungen unterteilen.

#### **3.5.1 Maßnahmen gegen unzulässige Berührungsspannungen**

Um zu verhindern, dass unzulässige Berührungsspannungen auftreten können, werden im Wesentlichen entweder die Potentialsteuerung durch geeignete Steuererder oder die Standortisolierung angewendet. Berührungsspannungen können auch dadurch verhindert werden, dass berührbare metallene Teile geeignet isoliert – wie beispielsweise dem Ersatz von blanken metallenen Zäunen durch geeignet kunststoffummantelte Zäune – oder durch geeignete nichtmetallene Teile ersetzt werden.

#### **3.5.2 Maßnahmen gegen unzulässige Spannungsbeanspruchungen**

Werden isolierte Leitungen im Bereich des Spannungstrichters eines Mastes geführt, so wird in jenem Bereich, in dem eine unzulässige Spannungsbeanspruchung zu erwarten ist, die Leitung in einer entsprechend isolierten Umhüllung – z.B. einem geeigneten Isolierrohr – geführt oder mit einer zusätzlichen Isolierung versehen.

Für die Versorgung von elektrischen Niederspannungsanlagen im Mastbereich können in einzelnen Fällen Isoliertransformatoren erforderlich sein.

Bei den Maßnahmen gegen unzulässige Spannungsbeanspruchung ist auch die Stoßspannungsbeanspruchung bei einem Blitzschlag in den Mast zu berücksichtigen.

#### **3.5.3 Maßnahmen gegen Potentialverschleppungen**

Ausgedehntere metallene Einbauten oder Objekte, die blank oder isoliert im Spannungstrichter bestehen bzw. auch nach außen reichen – z.B. metallene Rohrleitungen, Metallzäune –, können Potentialverschleppungen verursachen. Unzulässige Beeinflussungsspannungen können in solchen Fällen durch galvanische Trennungen – z.B. Isoliertransformatoren, Isolierstücke – an geeigneter Stelle oder durch das Isolieren von blanken metallenen Einbauten verhindert werden.

Die Nullung, bei der der PEN-Leiter des Verteilernetzes mit dem Erder der elektrischen Niederspannungsanlage verbunden wird, darf bei Niederspannungsanlagen, die sich in Mastnähe befinden, nicht als Maßnahme des Fehlerschutzes angewendet werden, sondern es ist die Fehlerstromschutzschaltung anzuwenden. Hierbei ist ein geeigneter Überspannungsschutz vorzusehen.

## **4 Induktive Beeinflussung**

### **4.1 Einflussgrößen bei der induktiven Beeinflussung**

Die induktive Beeinflussung erfolgt über den Mechanismus der Kopplung von Erdschleifen, deshalb ist neben der Lage der beeinflussenden und der beeinflussten Leitung zueinander auch der spezifische Bodenwiderstand  $\rho_E$  tiefer gelegener Bodenbereiche (bis mehrere 100 m) von Bedeutung. Im Bereich der 220-kV-Ltg. St. Peter - Ernstshofen wird dafür ein Wert von 50  $\Omega\text{m}$  angenommen.

#### 4.1.1 Hochspannungsleitung

Die Einflussgrößen einer 220-kV-Leitung sind:

- Mastkopfbild und Durchhang
- Erdseildaten
- Verdrillungsschema
- Zulässiger Dauerstrom der Leitung
- 3IO-Profil (Höhe der in Abhängigkeit des Fehlerortes auftretenden einpoligen Erdkurzschlussstromanteile)

#### 4.1.2 Fernmeldeleitung

Die Einflussgrößen einer Fernmeldeleitung sind:

- Kabelmantelreduktionsfaktor

#### 4.1.3 Rohrleitung

Die Einflussgrößen einer Rohrleitung sind:

- Rohrmaterial, Außendurchmesser
- Art der Umhüllung, Umhüllungsstärke, Umhüllungswiderstand
- Länge der Rohrleitung beiderseits außerhalb der Näherung
- Etwaige an die Rohrleitung angeschlossene Erder (Ort sowie Ausbreitungswiderstand)

### 4.2 Induktive Beeinflussung von Fernmeldeleitungen

Die Untersuchung der induktiven Beeinflussung erfolgt bei Fernmeldeleitungen, die innerhalb eines Bereiches von 2000 m beiderseits der Leitungsachse einer Hochspannungsleitung liegen und eine sog. Näherung bilden. Bei 220-kV-Leitungen ist nur die Kurzzeitbeeinflussung durch den einpoligen Erdkurzschlussstrom zu untersuchen.

Die Näherung wird in entsprechend viele Näherungsabschnitte zerlegt und für jeden dieser Abschnitte wird die Koppelimpedanz nach den von Carson bzw. Pollaczek stammenden Formeln für die Kopplung von Erdschleifen ermittelt. Die in einem Näherungsabschnitt induzierte Spannung ergibt sich nach folgender Formel:

$$U_{i0} = Z_K \cdot I_{k1} \cdot k \cdot r_{wi} \cdot r_s \cdot r_z$$

$$U_i = U_{i0} \cdot r_{kk}$$

Darin bedeuten:

- $U_{i0}$  induzierte Längsspannung (ohne Berücksichtigung der reduzierenden Wirkung eines Kabelmantels)
- $U_i$  induzierte Längsspannung (mit Berücksichtigung des Kabelmantelreduktionsfaktors)
- $Z_K$  im Näherungsabschnitt auftretende Koppelimpedanz
- $I_{k1}$  für die Näherung geltender einpoliger Erdkurzschlussstrom
- $k$  Erdseilreduktionsfaktor
- $r_{wi}$  Erwartungsfaktor für die induktive Beeinflussung
- $r_s$  Schienenreduktionsfaktor
- $r_z$  Zivilisationsfaktor
- $r_{kk}$  Kabelmantelreduktionsfaktor des jeweiligen FM-Kabels

Die in den einzelnen Näherungsabschnitten induzierten Spannungen werden aufsummiert und ergeben die in der Näherung induzierte Gesamtspannung.

Die Grenzwerte der zulässigen Kurzzeitbeeinflussungsspannung gegen Erde sind für Fernmeldeleitungen wie folgt festgelegt:

Art der Fernmeldeleitung	Grenzwerte der Kurzzeitbeeinflussungsspannung
Freileitung	300 V
Kabel ohne Übertrager	300 V bei Fernmeldeanlagen der A1 Telekom AG
	500 V bei anderen Fernmeldeanlagen
Kabel mit Übertrager	1200 V (das entspricht 60 % der Prüfwechselfspannung zwischen Ader und Metallmantel oder Schirm)

Wird der Grenzwert der zulässigen Kurzzeitbeeinflussungsspannung überschritten, so sind Schutzmaßnahmen an der Fernmeldeanlage erforderlich. In Abstimmung mit dem Betreiber der Fernmeldeanlage werden die Schutzmaßnahmen je nach Höhe der Beeinflussungsspannung festgelegt, z.B. Einsatz von Überspannungsableitern oder galvanische Trennung mittels Übertragern.

#### 4.3 Induktive Beeinflussung von Rohrleitungen

Die Untersuchung der induktiven Beeinflussung erfolgt bei Rohrleitungen, die innerhalb eines Bereiches von 1000 m beiderseits der Leitungsachse einer Hochspannungsleitung liegen. Unter bestimmten Bedingungen – wie geringe Näherungslänge oder steiler Kreuzungswinkel – kann auf eine detaillierte Untersuchung verzichtet werden.

Abhängig vom Bereich des Rohrleitungspotentials sind Maßnahmen gegen unzulässige Beeinflussungsspannungen an Rohrleitungen zu treffen:

Bereich des Rohrleitungspotentials	Art der Beeinflussung	Maßnahmen gegen unzulässige Beeinflussungsspannungen
$U_R \leq 60 \text{ V}$	Langzeit	Keine
$U_R > 60 \text{ V}$		Herabsetzung des Rohrleitungspotentials auf $U_R \leq 60 \text{ V}$ : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anschluss von Erdern</li> <li>- Einbau von elektrischen Trennstellen</li> </ul> oder Verminderung der abgreifbaren Spannung auf $U_R \leq 60 \text{ V}$ : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potentialsteuerung bzw. Isolierung des Standorts</li> <li>- Isolierung von Rohrleitungen</li> <li>- Maßnahmen in Rohrleitungsstationen</li> </ul> Üblicherweise wird eine geeignete Kombination dieser Maßnahmen angewendet.  Bei Arbeiten an üblicherweise nicht zugänglichen Stellen können betriebliche Maßnahmen zur Anwendung kommen.
$U_R \leq 1500 \text{ V}$	Kurzzeit	Keine
$U_R > 1500 \text{ V}$	Kurzzeit	Herabsetzung des Rohrleitungspotentials auf $U_R \leq 1500 \text{ V}$ : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anschluss von Erdern</li> <li>- Einbau von elektrischen Trennstellen</li> </ul> oder Verminderung der abgreifbaren Spannung auf $U_R \leq 1500 \text{ V}$ : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potentialsteuerung bzw. Isolierung des Standorts</li> <li>- Isolierung von Rohrleitungen</li> <li>- Maßnahmen in Rohrleitungsstationen</li> <li>- Maßnahmen an Armaturen und Leitungszubehör</li> </ul>

		Üblicherweise wird eine geeignete Kombination dieser Maßnahmen angewendet. Bei Arbeiten an üblicherweise nicht zugänglichen Stellen können betriebliche Maßnahmen zur Anwendung kommen.
$U_R > 2000 \text{ V}^{1)}$	Kurzzeit	Anschluss von Erdern zur Herabsetzung des Rohrleitungspotential auf $U_R \leq 1500 \text{ V}$ oder Anschluss von Erdern zur Herabsetzung des Rohrleitungspotentials auf $U_R \leq 2000 \text{ V}$ und Maßnahmen entsprechend Kurzzeitbeeinflussung für Rohrleitungspotentiale im Bereich $1500 \text{ V} < U_R \leq 2000 \text{ V}$ .

1) Bei bitumenumhüllten Rohrleitungen ist eine natürliche Begrenzung des Rohrleitungspotentials auf etwa 1500 V zu erwarten. Maßnahmen zur Herabsetzung des Rohrpotentials auf unter 2000 V sind daher bei solchen Rohrleitungen nicht erforderlich.

Wie bei der Untersuchung von Näherungen mit Fernmeldeleitungen werden zuerst Näherungsabschnitte gebildet und die in diesen Abschnitten induzierte Spannung ermittelt. Dann wird unter Berücksichtigung der Rohrumhüllung sowie etwaiger an die Rohrleitung angeschlossener Erder der Verlauf des Rohrpotentials entlang der gesamten zusammenhängenden Rohrleitung berechnet. Üblicherweise ergeben sich die höchsten Rohrpotentiale an den Enden einer Näherung.

Bei Rohrleitungen ist die neben der Kurzzeitbeeinflussung durch den einpoligen Erdkurzschlussstrom auch die Langzeitbeeinflussung durch den Betriebsstrom zu untersuchen.

Neben der Personengefährdung ist bei Rohrleitungen mit aktivem kathodischem Korrosionsschutz auch das Risiko einer Gefährdung der Rohrleitung durch Wechselstromkorrosion zu berücksichtigen. Ein einheitlicher Grenzwert für das Rohrpotential ist nicht festgelegt. Das höchste örtlich auftretende Rohrpotential sollte 15 V nicht überschreiten. Abhängig von der Ausführung des kathodischen Korrosionsschutzes kann das Einhalten niedrigerer Werte des Rohrpotentials erforderlich sein. Solch niedrige Werte des Rohrpotentials werden im Allgemeinen durch den Anschluss von Erdern über geeignete, den Gleichstrom sperrende Einrichtungen erreicht. Vorschläge für Stellen an der Rohrleitung, wo Erder angeschlossen werden sollen, und die geeigneten Ausbreitungswiderstände dieser Erder werden im Zuge der Beeinflussungsuntersuchung erarbeitet.

Die geeigneten Maßnahmen gegen unzulässige Beeinflussungsspannungen sind mit dem Betreiber der Rohrleitung zu vereinbaren.

## 5 Kapazitive Beeinflussung

### 5.1 Einflussgrößen bei der kapazitiven Beeinflussung

Die kapazitive Beeinflussung im Bereich von Drehstromfreileitungen wird durch das elektrische Feld verursacht. Ein leitfähiger Teil, der von Erde isoliert sind, nimmt im elektrischen Feld eine Spannung an, die umso höher ist, je näher sich der betreffende Teil bei den Leiterseilen befindet. Wird ein solcher Teil von Personen berührt, so bricht zwar die Spannung sofort auf unkritische Wert zusammen, jedoch fließt dann ein Dauerstrom über die Person zur Erde, der sog. Ableitstrom oder Kontaktstrom.



### 5.1.1 Hochspannungsleitung

Für die kapazitive Beeinflussung relevanten Einflussgrößen einer 220-kV-Leitung sind:

- Mastkopfbild und Durchhang
- Beseilung
- Höchste Betriebsspannung der Leitung

### 5.1.2 Maßnahmen gegen kapazitive Beeinflussung

Die kapazitive Beeinflussung ist im Bereich von 30 m beiderseits der Leitungsachse der 220-kV-Leitung zu berücksichtigen. Alle großflächigen metallenen Teile wie z.B. Blechdächer oder metallene Dachrinnen, die dem elektrischen Feld der Leitung ausgesetzt sind, sind jedenfalls zu erden. Dazu genügen einfache Staberder, mit denen der zu erdende Teil an zumindest zwei Stellen geerdet wird.

Metallene Zäune oder Spanndrähte im o.g. 30-m-Bereich sind ebenfalls zu erden. Beim Erden von Spanndrähten ist darauf zu achten, dass die Erder nicht im Bereich des Spannungstrichters eines Mastes gesetzt werden und keine Potentialverschleppungen auftreten. In besonderen Fällen sind die Spanndrähte geeignet elektrisch aufzutrennen.

Bei Weidezäunen kann eine unzumutbare kapazitive Beeinflussung nur vermieden werden, indem der Zaun so errichtet wird, dass der im o.g. 30-m-Bereich verlaufende Zaunabschnitt entsprechend kurz gehalten wird.

*Erstellt für:*

**Austrian Power Grid AG**

**Wagramerstraße 19 (IZD-Tower)**

**1220 Wien**