Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 48 (1957)

Heft: 19

Artikel: Ableitungen znd praktische Auswertung der Zustandsgleichung für kurze Spannweiten mit Berücksichtigung der Abspannketten

Autor: Hügi, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058694

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 04.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Pour ces motifs, la quantité admissible d'anhydride carbonique a été fixée à 10 mg/l et la durée de l'essai à une heure.

Certains gaz présentent une limite inférieure d'explosion moins élevée que celle de l'hydrogène, mais leur poids moléculaire est plus élevé et elles diffusent plus lentement, de sorte que l'on peut également les considérer par rapprot à l'hydrogène.

Le matériel utilisable en atmosphère passagèrement déflagrante constitue un cas particulier du matériel antidéflagrant et il ne s'en distingue que par le fait que les carters peuvent être munis de garnitures d'étanchéité. L'emploi de ce matériel exige, dans chaque cas, une autorisation de la part des autorité compétentes. Toutes les dispositions relatives au matériel antidéflagrant, qui ne concernent pas les carters résistant à une atmosphère passagèrement déflagrante, c'est-à-dire celles qui se rapportent aux températures, aux lignes de fuite, au verrouillage de parties sous tension, etc., sont par conséquent applicables, par analogie, au matériel utilisable en atmosphère passagèrement déflagrante.

Afin d'éviter toute confusion avec d'autres désignations abrégées (matériel antidéflagrant, matériel antigrisouteux, etc.), on a adopté la désignation sDi 30 pour le matériel utilisable en atmosphère passagèrement déflagrante. Cette désignation signifie qu'il s'agit d'un matériel d'exécution spéciale (*s*), qui garantit pendant *30* minutes une étanchéité (*Di*chtheit) par rapport à une atmosphère passagèrement déflagrante.

Adresse de l'auteur:
M. Zürcher, Dr ès sc. techn., ingénieur chimiste, Station d'essai des matériaux de l'ASE, 301, Seefeldstrasse, Zurich 8.

Ableitung und praktische Auswertung der Zustandsgleichung für kurze Spannweiten mit Berücksichtigung der Abspannketten

Von *J. Hügi*, Luzern

621.315.1

Es wird eine Zustandsgleichung aufgestellt, die dem Einfluss der Abspannketten bei kurzen Spannweiten Rechnung trägt. Anhand eines Beispiels wird ferner die einfachste numerische Auflösung dieser Zustandsgleichung erläutert.

Une équation d'état, tenant compte de l'influence des chaînes d'arrêt en cas de portées courtes, est établie. La résolution numérique la plus simple de cette équation d'état est en outre démontrée à l'aide d'un exemple.

A. Einleitung

Der nachfolgenden Ableitung einer Zustandsgleichung für kurze Spannweiten mit verhältnismässig langen und schweren Abspannketten wie dies vor allem in Freiluftanlagen der Fall ist, liegen folgende vereinfachende Annahmen zugrunde:

1. Auf beiden Seiten des Seiles sind gleich lange und gleich schwere Abspannketten mit gleich hohen Aufhängepunkten angebracht.
2. Die Abspannketten werden als ideale Ketten betrachtet mit einer vom Temperatur- und Spannungszustand unabhängigen Länge.

Da die abzuleitende Zustandsgleichung vor allem für Freiluftanlagen gedacht ist, dürfte die erste Annahme fast ausnahmslos zutreffen. Die zweite Annahme stellt eine Idealisierung des wirklichen Sachverhaltes dar und ist somit fehlerbehaftet. In der praktischen Auswertung wird dieser Fehler aber so klein, dass die vereinfachende Annahme ohne weiteres verantwortet werden kann.

B. Ableitung der Zustandsgleichung

a) Änderung der Spannweite bei Lagenänderung der Abspannkette

Mit den Bezeichnungen der Fig. 1 wird für kleine Kettendurchhänge:

$$d = 2\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 - s^2} = l\sqrt{1 - \left(\frac{2s}{l}\right)^2}$$

Durch die Entwicklung des Wurzelausdruckes in eine Potenzreihe ergibt sich daraus:

$$d = l - \frac{2s^2}{l}$$

und entsprechend

$$d_0 = l - \frac{2s_0^2}{l}$$

$$\frac{\Delta a}{2} = d_0 \cos u_0 - d \cos u$$

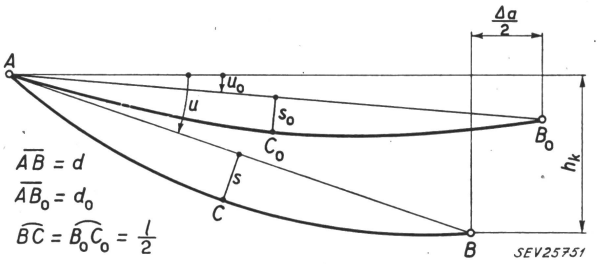

Fig. 1
Lagenänderung der Abspannkette bei Zustandsänderung des Leiterseiles
d, d_0 Sehnenlängen der Abspannkette bei verschiedenen Seilzuständen; l Kettenlänge; s, s_0 Pfeilhöhen der Kettenlinien; u, u_0 Neigungswinkel der Kettensehnen; h_k Höhendifferenz von Aufhängepunkt und Endpunkt der Abspannkette; Δa Änderung der Spannweite des Seiles

$$\Delta a = 2\,l(\cos u_0 - \cos u) + \frac{4}{l}(s^2 \cos u - s_0^2 \cos u_0) =$$

$$= -4\,l \sin\frac{u_0 + u}{2} \cdot \sin\frac{u_0 - u}{2} + \frac{4}{l}(s^2 \cos u - s_0^2 \cos u_0)$$

Für kleine Winkel u und u_0 folgt:

$$\sin\frac{u_0 + u}{2} \approx \frac{u_0 + u}{2}; \quad \sin\frac{u_0 - u}{2} \approx \frac{u_0 - u}{2}$$

$$\cos u \approx 1; \quad \cos u_0 \approx 1$$

so dass sich die Änderung der Spannweite mit guter Näherung wie folgt ergibt:

$$\Delta a = l\,(u^2 - u_0^2) + \frac{4s^2}{l} - \frac{4s_0^2}{l} \qquad (1)$$

Das Glied $l\,(u^2 - u_0^2)$ berücksichtigt die Änderung der Kettenneigung, während die beiden übrigen Glieder der Veränderung des Kettendurchhanges Rechnung tragen.

Für kleine Neigungswinkel u wird bei einem Seil:

$$s = f = \frac{a^2\,\gamma}{8\,p}$$

(γ spezifisches Gewicht des Seiles)

durch Multiplikation mit dem Seilquerschnitt q ergibt sich daraus:

$$s\,q = \frac{a}{8\,p}\,a\,q\,\gamma = \frac{a}{8\,p}\,G_s$$

Wird für G_s das Gewicht G und für a näherungsweise die Länge l der Abspannkette eingesetzt, so folgt daraus:

$$s = \frac{l\,G}{8\,p\,q} \quad \text{und entsprechend} \quad s_0 = \frac{l\,G}{8\,p_0\,q}$$

Diese Werte in Gl. (1) eingesetzt ergeben:

$$\Delta a = l\,(u^2 - u_0^2) + \frac{l\,G^2}{16\,p^2\,q^2} - \frac{l\,G^2}{16\,p_0^2\,q^2} \qquad (2)$$

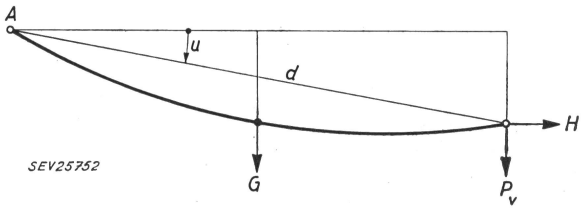

Fig. 2
Äussere Kräfte an der Abspannkette
H Horizontal- und P_v Vertikalkomponente des Seilzuges an der Abspannkette; G Gewicht der Abspannkette

Die Momentengleichung für den Kettenaufhängepunkt A (Fig. 2) lautet:

$$G\,\frac{d}{2}\cos u + P_v\,d\cdot\cos u - H\,d\cdot\sin u = 0$$

Für kleine Winkel u folgt daraus:

$$\frac{G}{2} + P_v - H\,u = 0$$

$$u = \frac{G + 2\,P_v}{2\,H} \qquad (3)$$

Die Bedingung für Gleichgewicht am Seil liefert den Horizontalzug H und den Vertikalzug P_v (Fig. 3). Für kleine Seildurchhänge weicht die Seillänge nur sehr wenig von der Spannweite ab, und das Seilgewicht wird daher:

$$G_s = a\,q\,\gamma$$

und der Vertikalzug:

$$P_v = \frac{a\,q\,\gamma}{2}$$

P_v und H in Gl. (3) eingesetzt liefern folgenden Ausdruck für den Neigungswinkel der Abspannkette:

$$u = \frac{G + a\,q\,\gamma}{2\,p\,q}$$

und entsprechend

$$u_0 = \frac{G + a\,q\,\gamma_0}{2\,p_0\,q}$$

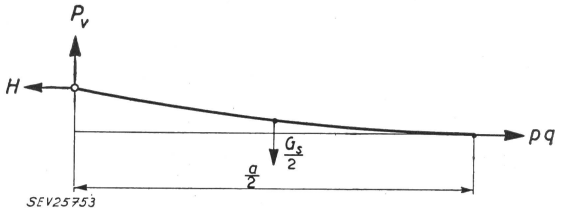

Fig. 3
Äussere Kräfte am Seil
G_s Seilgewicht; p Horizontalspannung im Seil; q Seilquerschnitt; a Seilspannweite

Diese Werte in Gl. (2) eingesetzt ergeben für die Veränderung der Spannweite:

$$\Delta a = \frac{l\,(G + a\,q\,\gamma)^2}{4\,p^2\,q^2} - \frac{l\,(G + a\,q\,\gamma_0)^2}{4\,p_0^2\,q^2} + \frac{l\,G^2}{16\,p^2\,q^2} - \frac{l\,G^2}{16\,p_0^2\,q^2}$$

Für praktische Bedürfnisse ist es wichtig, die Höhendifferenz h_k von Aufhängepunkt und Endpunkt der Abspannkette zu kennen.

Für kleine Winkel u und kleine Durchhänge der Abspannkette wird:

$$h_k = l\,u = \frac{l\,(G + a\,q\,\gamma)}{2\,p\,q}$$

b) Änderung der Seillänge

Die Längenänderung des Seiles ist sowohl der Temperaturänderung als auch der Spannungsänderung im Seil proportional.

$$\Delta\,l_s = (t - t_0)\,\alpha\,l_s + \frac{(p - p_0)\,l_s}{E}$$

Wird auch hier die Seillänge näherungsweise gleich der Spannweite gesetzt, so folgt:

$$\Delta\,l_s = (t - t_0)\,\alpha\,a + \frac{(p - p_0)\,a}{E}$$

c) Seillängen

Die Gleichung der Seilkurve lautet:

$$y = c\cdot\cosh\frac{x}{c}$$

und ihre Ableitung:

$$\frac{dy}{dx} = \sinh\frac{x}{c}$$

$$c = \frac{p}{\gamma} \quad \text{(Parameter)}$$

durch Rektifikation erhält man als Seillänge:

$$l_s = 2 \int_0^{\frac{a}{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}\, dx = 2\, c \cdot \sinh \frac{x}{c} \Bigg|_0^{\frac{a}{2}} \qquad (4)$$

Zur Vereinfachung der Rechnung wird Gl. (4) nach *Mac-Laurin* in eine Potenzreihe entwickelt, wobei nur die zwei ersten Glieder berücksichtigt werden:

$$l_s = 2\, c \left(\frac{x}{c} + \frac{x^3}{6\, c^3}\right)\Bigg|_0^{\frac{a}{2}} = a + \frac{a^3}{24\, c^2}$$

$$l_s = a + \frac{a^3\, \gamma^2}{24\, p^2}$$

und entsprechend

$$l_{s0} = a + \frac{a^3\, \gamma_0^2}{24\, p_0^2}$$

l_s und l_{s0} stellen die Seillängen bei verschiedenen Zuständen auf die gleiche Spannweite a bezogen dar.

d) Längenbilanz

Die ursprüngliche Länge der Seilkurve, zusammen mit der Veränderung der Länge, ist gleich der Länge der neuen Seilkurve zwischen den ursprünglichen Grenzen, zusammen mit der Veränderung der Spannweite:

$$l_{s0} + \Delta\, l = l_s + \Delta\, a$$

$$a + \frac{a^3\, \gamma_0^2}{24\, p_0^2} + (t - t_0)\, \alpha\, a + \frac{(p - p_0)\, a}{E} =$$

$$= a + \frac{a^3\, \gamma^2}{24\, p^2} + \frac{l\,(G + a\, q\, \gamma)^2}{4\, p^2\, q^2} -$$

$$- \frac{l\,(G + a\, q\, \gamma_0)^2}{4\, p_0^2\, q^2} + \frac{l\, G^2}{16\, p^2\, q^2} - \frac{l\, G^2}{16\, p_0^2\, q^2}$$

durch Umformung erhält man so die gesuchte Zustandsgleichung:

$$p^3 + A\, p^2 - B = 0$$

wobei:

$$A = \frac{a^2\, \gamma_0^2\, E}{24\, p_0^2} + \frac{l\,(G + \gamma_0\, q\, a)^2\, E}{4\, p_0^2\, q^2\, a} +$$

$$+ \frac{l\, G^2\, E}{16\, p_0^2\, q^2\, a} + (t - t_0)\, \alpha\, E - p_0$$

$$B = \frac{a^2\, \gamma^2\, E}{24} + \frac{l\,(G + \gamma\, q\, a)^2\, E}{4\, a\, q^2} + \frac{l\, G^2\, E}{16\, a\, q^2}$$

In diesen Gleichungen bedeuten:

- a Spannweite des Leiters, d. h. die horizontale Distanz zwischen den Abspannketten in cm
- l Länge einer Abspannkette in cm
- G Gewicht einer Abspannkette in kg
- q Querschnitt des Leiters in cm²
- α Wärmeausdehnungskoeffizient des Leitermaterials, bezogen auf 1 °C
- E Elastizitätsmodul des Leiters in kg/cm²
- p_0 bekannte Horizontalkomponente der Beanspruchung in kg/cm² des Leiters im Anfangszustand bei der bekannten Anfangstemperatur t_0 in °C und bei
- γ_0 bekanntes Gewicht von Leiter und Zusatzlast, bezogen auf 1 cm Länge und 1 cm² Querschnitt des Leiters in kg/cm³
- p gesuchte Horizontalkomponente der Zugbeanspruchung des Leiters in kg/cm² bei der angenommenen Temperatur t und bei
- γ Gewicht des Leiters und der Zusatzlast in kg/cm³, bezogen auf 1 cm Länge und 1 cm² Querschnitt, dem Zustand bei der Temperatur t entsprechend

C. Praktische Auswertung der Zustandsgleichung

Beispiel:

Die Länge eines Spannfeldes in einer 150-kV-Freiluftanlage beträgt 24 m. Als Leitermaterial dient ein Cu-Seil von 240 mm² Querschnitt, das mit zwei Isolatorenketten von je 100 kg Gewicht und 2 m Länge abgespannt wird. Der maximale Horizontalzug auf die Abspannkonstruktion darf pro Seil 960 kg erreichen. Gesucht ist der Durchhang vom Aufhängepunkt der Abspannketten bis zum Scheitelpunkt der Seilkurve bei einer Temperatur von 10 °C.

Da es bei kurzen Spannweiten nicht eindeutig von vorneherein bekannt ist, ob der maximale Seilzug bei 0° mit Schneebelastung oder bei −20° ohne Schneebelastung auftritt, müssen beide Fälle untersucht werden. Nehmen wir daher vorerst an, die maximale Beanspruchung der Leiter trete auf bei 0° mit Schneebelastung und rechnen hierauf die Beanspruchung bei −20° ohne Schnee.

Es betragen:

$a = a_s - 2\, l = 24 - 2 \cdot 2 = 20 \text{ m} = 2 \cdot 10^3 \text{ cm}$

$l = 2 \cdot 10^2 \text{ cm}$

$G = 10^2 \text{ kg} \qquad \gamma = 0{,}9 \cdot 10^{-2} \text{ kg/cm}^3$

$q = 2{,}4 \text{ cm}^2 \qquad \gamma_0 = 0{,}9 \cdot 10^{-2} + \frac{0{,}02}{2{,}4} = 1{,}73 \cdot 10^{-2} \text{ kg/cm}^3$

$\alpha = 17 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$

$E = 10^6 \text{ kg/cm}^2 \quad p_0 = \frac{960}{2{,}4} = 4 \cdot 10^2 \text{ kg/cm}^2$

Diese Werte ergeben eingesetzt:

$A_{-20} = 312 + 910 + 68 - 340 - 400 = 550$

$B_{-20} = (13{,}5 + 89 + 10{,}9) \cdot 10^6 = 113{,}4 \cdot 10^6$

Die Zustandsgleichung für die Beanspruchung bei −20° ohne Schnee lautet daher:

$$p^3_{-20} + 550\, p^2_{-20} - 113{,}4 \cdot 10^6 = 0$$

Für die numerische Auflösung ist es bequemer, wenn man die ganze Gleichung durch 10^6 dividiert, so dass p_{-20} in kg/mm² erscheint:

$$p^3_{-20} + 5{,}50\, p^2_{-20} - 113{,}4 = 0.$$

Am einfachsten lässt sich diese Gleichung dritten Grades lösen mit Hilfe der Regula falsi oder mit dem Newtonschen Näherungsverfahren.

Lösung mit der Regula falsi:

Vorerst wird eine erste Näherung für p_{-20} angenommen (z. B. $p_{-20} = 3{,}3$) und der Wert obigen Polynoms bestimmt. Dies geschieht am einfachsten mittels des Hornerschemas:

1	5,50	0	−113,4
	3,30	29,04	95,8
	8,8	29,04	− 17,6

Differenzbetrag $\Delta_1 = -17{,}6$

Zweiter angenommener Näherungswert: $p_{-20} = 3{,}6$

1	5,50	0	−113,4
	3,60		118
	9,10		+ 4,6

Differenzbetrag $\Delta_2 = +4{,}6$

Die lineare Interpolation ergibt für die nächste Näherung $p_{-20} = 3{,}54$ (Fig. 4):

5,50	−113,4
3,54	113,4
9,04	0

$$p_{-20} = 3{,}54 \text{ kg/mm}^2$$

Wie das Ergebnis zeigt, wird die Beanspruchung des Seiles bei −20 °C kleiner als bei 0° + Schneebelastung. Wären die Abspannketten in der Zustandsgleichung nicht berücksichtigt worden, so hätte die Rechnung bei −20 °C eine grössere Beanspruchung ergeben als bei 0° + Schneebelastung.

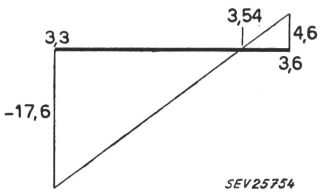

Fig. 4
Graphische Interpolation

−17,6 Differenzbetrag für die Annahme $p_{-20} = 3{,}3$
4,6 Differenzbetrag für die Annahme $p_{-20} = 3{,}6$
3,54 nächste Näherung für p_{-20}

Mit der gleichen Berechnungsart beträgt die Beanspruchung des Seiles bei 10 °C:

$$p_{10} = 2{,}90 \text{ kg/mm}^2$$

Durchhang bei 10 °C

Der ganze Durchhang f_{10} setzt sich zusammen aus dem Durchhang f_{s10} des Leiters und der Höhendifferenz h_{10} vom Aufhängepunkt bis zum Endpunkt der Abspannkette.

Der Leiterdurchhang wird:

$$f_{s10} = \frac{a^2 \gamma}{8\, p_{10}} = \frac{2^2 \cdot 10^6 \cdot 0{,}9 \cdot 10^{-2}}{8 \cdot 2{,}9 \cdot 10^2} = 15{,}5 \text{ cm}$$

Die Höhendifferenz beträgt bei 10 °C:

$$h_{k10} = \frac{l\,(G + a\,q\,\gamma)}{2\, p_{10}\, q} = \frac{2 \cdot 10^2 \cdot (100 + 2 \cdot 10^3 \cdot 2{,}4 \cdot 0{,}9 \cdot 10^{-2})}{2 \cdot 2{,}9 \cdot 10^2 \cdot 2{,}4} = 20{,}5 \text{ cm}$$

womit der Durchhang:

$$f_{10} = 15{,}5 + 20{,}5 = 36 \text{ cm}$$

Adresse des Autors:
J. Hügi, Hochrütiring 9, Luzern.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Die Verwendung von Polyäthylen-Hochspannungskabeln in chemischen Betrieben

621.315.211.9 : 679.582

[Nach *S. J. Rosch:* Application of Polyethylene-Insulated High-Voltage Cables in Chemical Plants. Trans. AIEE, Part III, Power Apparatus and Systems, Bd. 76(1957), Nr. 26, S. 824...834]

Unter dem Begriff eines chemischen Betriebes sind nicht nur solche zu verstehen, deren Endprodukt aus einem oder mehreren der unzähligen Arten chemischer Substanzen besteht, er muss vielmehr auf viele andere Industriezweige ausgedehnt werden, deren Fertigprodukte nicht rein chemischer Natur sind, bei deren Herstellung aber zahlreiche chemische Vorgänge vorliegen. Elektrische Einrichtungen solcher Produktionsanlagen können den gleichen zerstörenden Einflüssen unterworfen sein, wie jene in Fabriken, wo nur chemische Substanzen als Endprodukte gewonnen werden.

Im allgemeinen sind die Anforderungen der chemischen Industrie an Hochspannungskabel für Verteilnetze mittlerer Hochspannung die gleichen wie in andern Industrien, nur die Arbeitsbedingungen sind durch die dauernde Einwirkung chemischer Substanzen erschwert. Das aussergewöhnlich günstige Verhalten von Polyäthylen unter dem Einfluss unzähliger chemischer Agenzien, die andere elektrische Isolationen in kurzer Zeit zerstören, hat sehr früh das Augenmerk der Kabelfabrikanten auf die Verwendung dieses Materials zur Herstellung von Dielektriken und Schutzmäntel gerichtet, um den in solchen Betrieben gestellten erschwerten Betriebsbedingungen begegnen zu können. Tabelle I gibt über die Säure- und Laugenfestigkeit von Polyäthylen Aufschluss. Tabelle II zeigt das Verhalten des Isolationswiderstandes von 15 Kabelkonstruktionen mit Dielektriken aus Gummi, Butyl, Polyvinylchlorid und Polyäthylen, welche über eine Zeitspanne von 113 Tagen in 5 verschiedene flüssige Medien, wovon 4 sehr starke chemische Agenzien sind, eingetaucht waren. 4 Kabelkonstruktionen, diejenigen mit äussern Schutzhüllen aus Polyäthylen, hielten allein dieser Prüfung stand.

Säure- und Laugenfestigkeit von Polyäthylen

Tabelle I

Chemikalien	bei 25 °C	bei 60 °C
Ammoniak	nein	nein
Aetznatron	nein	nein
Rauchende Salpetersäure	ja	ja
Konzentrierte Salpetersäure	ja	ja
Rauchende Schwefelsäure	ja	ja
Reine Chlorsulfonsäure	ja	ja
Konzentrierte Schwefelsäure	nein	nein
Konzentrierte Salzsäure	nein	nein
Eisessig	nein	nein
Reine Phosphorsäure	nein	nein
Fluorwasserstoffsäure 28 %	nein	nein

Veränderung des Isolationswiderstandes von Kabeln mit verschiedenartiger Gummi- und Kunststoffisolation nach deren Eintauchen in verschiedene Flüssigkeiten während 113 Tagen

Tabelle II

Nr.	Material der Kabel	Isolationswiderstand (in MΩ) nach Eintauchen in				
		Essigsäure	Azeton	Buttersäure	Wasser	Propylalkohol
1	600-V-Polyäthylen	∞	∞	∞	∞	∞
2	5000-V-Polyäthylen, braun	∞	∞	∞	∞	∞
3	15000-V-Polyäthylen Neonkabel	∞	∞	∞	∞	∞
4	15000-V-Polyäthylen u. PVC-Mantel	∞	∞	20	∞	∞
5	600-V-Polyäthylen-isolation und PVC-Mantel	∞	∞	0,05	∞	∞
6	600-V-Polyäthylen Klebband und PVC-Mantel	0,1	∞	0	∞	∞
7	600-V-Gummi und Neoprene	∞	∞	0	∞	∞
8	600-V-Butylgummi	∞	∞	0,1	∞	∞
9	600-V-TW-Type, PVC, schwarz	∞	∞	1,0	∞	∞
10	600-V-T-Type, PVC, schwarz	∞	∞	40	∞	∞
11	600-V-feuchtigkeitsfester Gummilatex, umflochten	∞	∞	0	∞	∞
12	600-V-TW-Type, PVC, schwarz	∞	∞	2	∞	∞
13	600-V-Gummilatex, umflochten	0,03	∞	0	∞	∞
14	300-V-Polyäthylen	∞	∞	∞	∞	∞
15	600-V-30 %-Gummi, glasumflochten	0	∞	0	50,0	∞

Die Verwendung von Polyäthylen als Dielektrikum von Starkstrom-Hochspannungskabeln und als Schutzmantel geht auf ca. 10 Jahre zurück. Polyäthylen weist ausgezeichnete dielektrische Festigkeit auf, wenn der Betriebsgradient unter dem Ionisationsgradient liegt, wird aber drastisch heruntergesetzt, wenn Ionisation im normalen Betrieb vorliegt. Die niedere Dielektrizitätskonstante, sowie die hohen Innen- und Oberflächen-Widerstandswerte begrenzen einerseits die Stärke von Glimmentladungen, während anderseits die Natur der