

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 57 (1966)

Heft: 22

Artikel: Vorschlag zur Normung und Ermittlung minimaler Luft- und Kreisstrecken

Autor: Schwyn, J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916646>

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: 18.02.2026

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Vorschlag zur Normung und Ermittlung minimaler Luft- und Kriechstrecken

Von J. Schwyn, Schaffhausen

621.3.048.83

Aufgrund physikalischer, theoretischer, vor allem aber praktischer Unterlagen werden ein Normstreckensystem und ein Bewertungssystem für die Bestimmung minimaler Luft- und Kriechstrecken für Niederspannungsmaterial der gesamten Elektrotechnik aufgestellt. Anhand von Beispielen wird der Gebrauch der beiden Systeme erläutert. Ein Vergleich der Luft- und Kriechstrecken der heutigen Unterlagen (Vorschriften, Regeln, Empfehlungen, etc.) mit den vorgeschlagenen Luft- und Kriechstrecken zeigt gute Übereinstimmung.

Un système à sections normalisées et un système d'évaluation en vue de la détermination des lignes de fuite et des distances dans l'air, appliquée au matériel à basse tension de toute l'électrotechnique, ont été établis sur la base de données physiques, théoriques, mais avant tout pratiques. Des exemples illustrent l'application des deux systèmes. Une comparaison entre les données actuellement en vigueur au sujet des lignes de fuite et des distances dans l'air (Prescriptions, Règles, Recommandations etc.) d'une part, et les lignes de fuite et distances dans l'air préconisées d'autre part, aboutit à une excellente concordance.

Einleitung

Um die sicherheitstechnischen Anforderungen an elektrisches Installations-Material und elektrische Apparate, im folgenden Material genannt, erfüllen zu können, müssen zwischen unter Spannung stehenden Teilen verschiedenen Potentials und zwischen unter Spannung stehenden Teilen und Erde, sowie der gefährlichen Berührung ausgesetzten Stellen, minimale Isolationsstrecken vorhanden sein.

Schon seit Jahrzehnten haben mehrere Länder Unterlagen über minimale Luft- und Kriechstrecken herausgegeben. Die Grösse derselben hängt in erster Linie von der verlangten Prüfspannung und somit von der Höhe der Nennisolationsspannung ab. Ausserdem müssen die voraussehbare Kurzschlussauswirkung am Material, der in der Umgebung der Luft- und Kriechstrecken zu erwartende Einfluss von Verstaubung und Feuchtigkeit, die Kriechwegfestigkeit der Isolierstoffe, aber auch die Konstruktion und weitere sicherheitstechnische Überlegungen berücksichtigt werden. Da es sich dabei um Ermessensfragen handelt, ist verständlich, dass die heutigen nationalen Unterlagen teilweise voneinander abweichen.

Zweck dieser Arbeit ist es, aufgrund der heutigen Kenntnis der Isolationsprobleme und einer eingehenden Prüfung der zur Verfügung stehenden Unterlagen, für das Niederspannungsgebiet einheitliche Richtlinien für die Bemessung minimaler Luft- und Kriechstrecken auszuarbeiten.

Die Vorschläge basieren auf theoretischen Überlegungen und physikalischen Unterlagen, vor allem aber auf den Erfahrungen, die mit dem Material, das seit Jahrzehnten nach vorhandenen Anforderungen und Vorschriften gebaut wurde, gemacht worden sind. Dabei werden ausser CEE- [4¹] und CEI- [5] Empfehlungen nur solche Unterlagen beigezogen, die einer gewissen Systematik genügen und auch die Kriechwegfestigkeit der Isolierstoffe berücksichtigen.

Die Arbeit gliedert sich in 4 Teile:

1. Normstreckensystem;
2. Bewertungssystem;
3. Bewertungsbeispiele;
4. Zusammenfassung.

1. Normstreckensystem

1.1 Nennisolationsspannung U_i

In den nationalen Empfehlungen sind die Luft- und Kriechstrecken Spannungsstufen und Materialgruppen zugeordnet. Im folgenden werden vorerst auf Grund von Grösse und Stufung der vorhandenen Nennisolationsspannungen Referenzspannungen aufgestellt und diskutiert.

In Tabelle I sind in den Kolonnen 4...14 in logarithmischen Abständen die maximalen Werte der Nennisolationsspannungen einer Anzahl «Unterlagen» aufgeführt und mit den, entsprechend einer dezimalgeometrischen Normzahlenreihe [6] aufgestellten Referenz-Spannungen U_R (Kolonne 3) und einer logarithmischen Spannungsskala (Kolonne 2) verglichen.

Von 32...250 V wurde die Normreihe R 20/6 mit einem Spannungssprung von 2, von 250...11000 V die Normreihe R 20/3 mit einem Spannungssprung $\approx \sqrt{2}$ gewählt. Die Abgrenzung der entsprechenden Spannungsfelder, deren obere Begrenzungslinie 10 % über der Normspannung gewählt wurde, zeigt, dass z. B. die Nennisolationsspannungen 380 und 750 V den Normwerten 355 bzw. 710 V zugeordnet sind. Im übrigen ist ersichtlich, dass die Werte den Spannungsnormen der verschiedenen Länder gebührend Rechnung tragen.

Der Einfachheit halber soll im folgenden nur noch von Nennisolationsspannung gesprochen werden.

1.2 Basis-Luftstrecken L_b

Wenn man von der Kurzschlussauswirkung und Verschmutzung usw. absieht und von minimalen Luftdurchschlagswerten ausgeht, kann man, entsprechend einer minimalen Sicherheit, ausgedrückt durch eine minimale Prüfspannung, den Nennisolationsspannungen minimale Luftstrecken zuordnen.

¹) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

In Fig. 1 sind die Durchschlagsspannungen in Luft $U_{d\ min}$ entsprechend dem ungünstigsten inhomogenen Feld (Spitze gegen Spitze) und $U_{d\ max}$ entsprechend einem annähernd homogenen Feld als Hüllkurven verschiedener Literaturangaben und Versuchsresultate, in Abhängigkeit der Schlagweite L_b aufgezeichnet. Ausgegangen von einer mittleren Nennisolationsspannung $U_i = 500$ V, einer minimalen Prüfspannung $U_p = 2 U_i + 500 = 1500$ V, und unter Annahme einer kleinen Sicherheitsmarge erhält man bei der entsprechenden Durchschlagsspannung $U_{d\ min} = 1800$ V, die Luftstrecke von 2 mm. Der zulässige Richtwert der Feldstärke beträgt demnach 2500 V/cm. Soll dieser im Bereich von 250...1000 V konstant bleiben, so muss für die Basisluftstrecken der Streckensprung gleich dem Spannungssprung $= \sqrt{2}$ gewählt werden. Für Spannungen unter 250 V rechtfertigt sich eine abnehmende Feldstärke. Dies wird erreicht, indem für den gesamten Spannungsbe reich ein einheitlicher Streckensprung $= \sqrt{2}$ festgelegt wird. (Tabelle II).

Durch die Verminderung der Feldstärke werden etw leiche leitenden Verunreinigungen, die sich zwischen den Elektroden ansammeln und der kleineren Isolierstrecke wegen einer verhältnismässig hohe Schwächung der Isolation zur Folge haben könnten, berücksichtigt.

Die in Fig. 1 eingezeichnete Prüfspannung U_p zeigt, dass die minimale Durchschlagsspannung $U_{d\ min}$ mit genügender Sicherheit über der Prüfspannung liegt. Da in der Praxis nicht mit derart extremen Elektrodenformen gerechnet werden muss, kann ab Nennspannungen gleich oder grösser 250 V auch die Prüfspannung $U_p = 2 U_i + 1000$ V eingehalten werden.

In Fig. 2 sind die Sicherheitszahl $S = \frac{\text{Durchschlags- spannung } U_{d\ min}}{\text{Nennisola- tions- spannung } U_i}$

und die Feldstärke $E = U_i/L_b$ in Abhängigkeit der Nennisolationsspannung U_i dargestellt.

Vergleich der Wechselstrom-Nennisolationsspannungen (Kolonne 4...14) mit den Referenz-Spannungen U_R (Kolonne 3)

Tabelle I

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Spannungs- skala V	U_R [6]	CEE [4]	CEI [5]	SEV [1;2]	VDE [7]	VDE [8]	SEV [9]	EK-KL [10]	UL [11]	CSA [12]	BS [13]	NEMA [14]
Niederspannung													
	20						24						
	30	32						30					
	50												
	60			60									
	63												
	125						125	125	125	125			
											150	150	150
	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250		250	
	355	380	380	380	380	380	380	380	380	380			300
	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500			440
	710	750	660	750	750	750	750	750	(750)	600	600		650
	1000		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000			600
	1400						1500	1500					1500
	2000						2000	2000					
	2800						3000	3000				2500	2500
	4000												3300
	5600						6000	6000				5000	5000
	8000												6600
	11000						10000	10000					11000
Hochspannung													

1.3 Normstrecken

Die Materialgruppen unterscheiden sich vor allem durch die Einsatzbedingungen, denen das den Gruppen zugeordnete Material genügen muss. Unter Einsatzbedingungen versteht man die Grösse der voraussehbaren Kurzschlussauswirkung am Material und den Grad der zu erwartenden Verschmutzung

Basis-Luftstrecke L_b und Feldstärke E in Abhängigkeit der Nennisolationsspannung U_i

Tabelle II

U_i (V)	32	63	125	250	355 (380)	500	710 (750)	1000
L_b (mm)	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4
E (V/cm)	≈ 900	1260	≈ 1800	2500	≈ 2500	2500	≈ 2500	2500

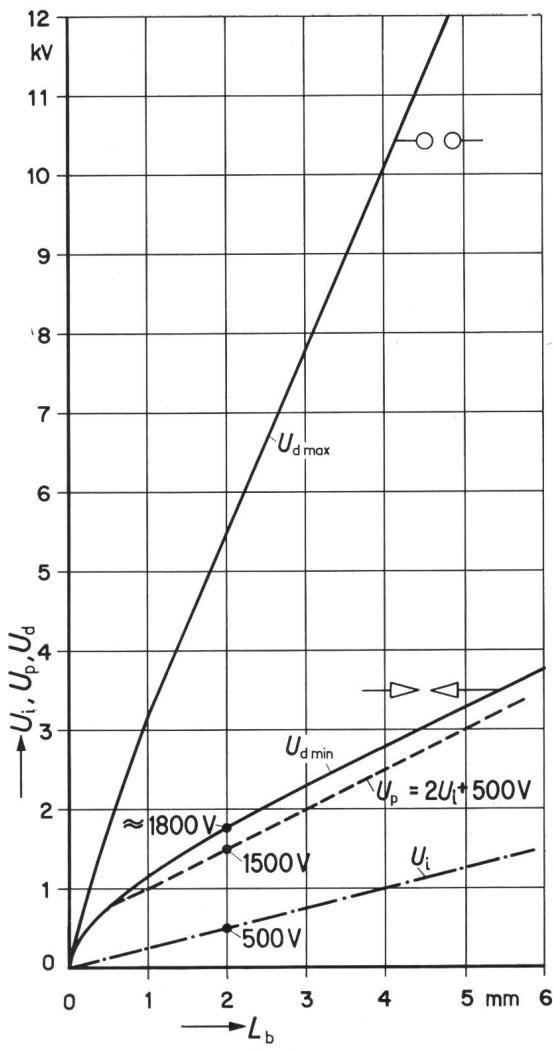


Fig. 1

Ermittlung der Basis-Luftstrecke von 2 mm

U_i Nennisolationsspannung; U_p Prüfspannung; U_d Durchschlagspannung; L_b Basis-Luftstrecke (Schlagweite)

in der Umgebung der Luft- und Kriechstrecken. Jeder Material-Gruppe ist eine Luft- und Kriechstreckengruppe zugeteilt. Wenn die Kriechwegfestigkeit der Isolierstoffe oder gewisse Zuschläge es verlangen, müssen höhere Material-Gruppen gewählt werden.

Die Grösse der Luft- und Kriechstrecken und der Streckensprung von Gruppe zu Gruppe können nicht mehr vorwiegend durch theoretische und physikalische Überlegungen und Unterlagen bestimmt werden; vielmehr ist auf die Erfahrungen mit den bisherigen Unterlagen zurückzugreifen. Dabei kann festgestellt werden, dass der Mittelwert der Gruppenstreckensprünge, trotz starker Unterschiede der Einzelwerte, erstaunlich gut mit dem in Tabelle II gewählten Streckensprung der Spannungsstufen übereinstimmt.

Somit können alle Strecken, sowohl diejenigen der Spannungsstufen als auch diejenigen der Materialgruppen aus den vorhergehenden Strecken durch Multiplikation mit dem konstanten Streckensprung von $\sqrt{2}$ erhalten werden. Auf Grund dieser Erkenntnis und der Basisluftstrecke 0,35 der Tabelle II, kann folgende Gleichung aufgestellt werden:

$$L, K = L_b \min \cdot \varphi^n = 0,35 (\sqrt{2})^n \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

L Luftstrecke (mm)

K Kriechstrecke (mm)

$L_b \min$ minimale Basisluftstrecke = 0,35 mm

φ Streckensprung = $\sqrt{2}$

n Summe der Streckensprünge = Bewertungs-Exponent

Mit Hilfe von Gl. (1) und unter Berücksichtigung eines maximalen Streckenwertes, (siehe Tabelle V, Zeile 9), kann eine Strecken-Reihe für L, K (Tabelle III) erstellt werden, die sowohl für Luft- wie Kriechstrecken gültig ist. Die Streckenwerte entsprechen der Normreihe R 20/3 der dezimalgeometrischen Normzahlen [6] und sind somit Normstrecken.

Normstrecken L, K in Abhängigkeit des Bewertungs-Exponenten

Tabelle III

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$L, K (\text{mm})$	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11	16	22	32	45

1.4 Normstreckenquadrat

Um eine Übersicht der Zuordnung der Normstrecken in Tabelle III zu den Spannungsstufen einerseits und zu den Materialgruppen andererseits zu erhalten, kann ein Normstreckenquadrat aufgestellt werden (Tabelle IV).

Im Bedarfsfalle ist eine Erweiterung der Tabelle in jeder Richtung möglich; dies gilt für die Spannungsstufen wie für die Materialgruppen.

Da die Streckensprünge der Spannungsstufen und der Materialgruppen gleich gross sind, können denselben Streckenwert verschiedene Nennisolationsspannungen bei entsprechenden Materialgruppen zugeordnet werden. So kann z. B. in Bezug auf Isolation ein Material für 500 V mit Isolier-

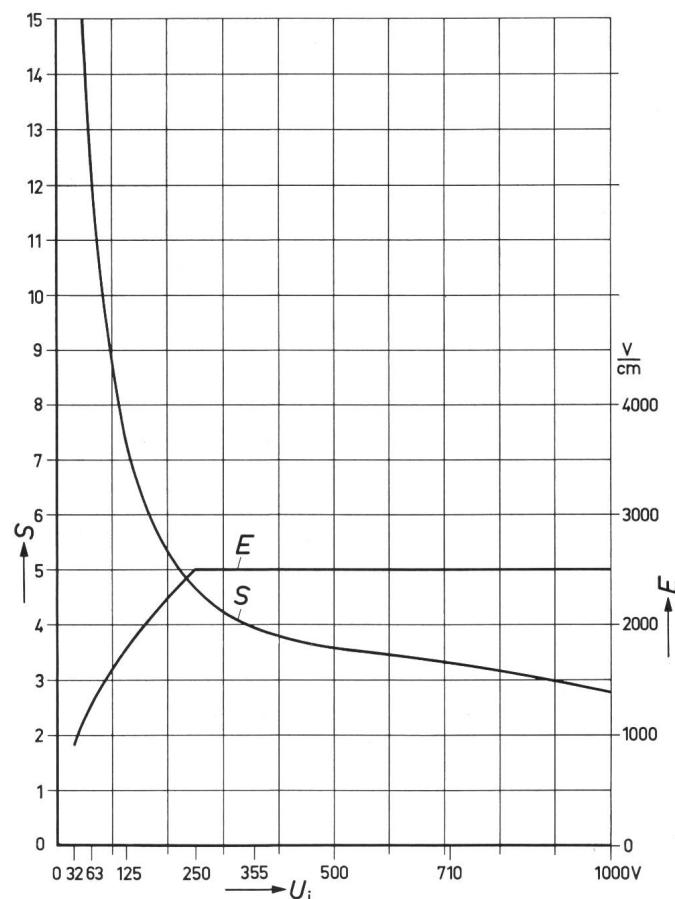


Fig. 2
Charakteristische Basiswerte

$$S \text{ Sicherheitszahl } \frac{U_d \min}{U_i}; E \text{ Feldstärke } \frac{U_i}{L_b}$$

U_i Nennisolationsspannung

Normstrecke in Abhängigkeit von Nennisolationsspannung und Materialgruppe

Tabelle IV

Nenn- Isolations- Spannung V	Materialgruppe							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Normstrecke [mm]								
32	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4
63	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,6
125	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8
250	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11
(380)	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11	16
500	2	2,8	4	5,6	8	11	16	22
(750)	2,8	4	5,6	8	11	16	22	32
1000	4	5,6	8	11	16	22	32	45

stoff guter Kriechwegfestigkeit, bei Verwendung für 380 V mit Isolierstoff mittlerer Kriechwegfestigkeit und bei Verwendung für 250 V mit Isolierstoff geringer Kriechwegfestigkeit ausgeführt werden.

In Fig. 3 sind die 8 Streckenstufen logarithmisch aufgezeichnet und damit ein Überblick über den Verlauf der Luft- und Kriechstrecken und der Spannungs- und Streckensprünge gegeben.

1.5 Kontrolle des Normstreckensystems

In Tabelle V werden die Luft- und Kriechstrecken-Gruppen der Empfehlungen verschiedener Länder mit den Normstrecken verglichen und festgestellt, welchen Materialgruppen in Tabelle IV sie zugeordnet werden können (Kolonne 15). Dabei hielte man sich vor allem an die in der Praxis am meisten verankerten Luft- und Kriechstrecken, d. h. an die Strecken der Nennisolationsspannungen 250, 380, 500 V. Wo diese nicht zu einer genügend fundierten Materialgruppe führten, wurden der gleichen Ländergruppe zwei Materialgruppen zugeordnet. In Zeile 9 der Tabelle V sind die Mittelwerte der Luft- und Kriechstrecken der Kolonne 14 aufgeführt und können in Zeile 10 mit den Normstrecken verglichen werden.

Ausserdem sind in Fig. 4a die Normstrecken der Tabelle III in Abhängigkeit des Bewertungsexponenten als Normstreckenkurve R und zum Vergleich die Luft- und Kriechstrecken der Empfehlungen verschiedener Länder als Streuwerte S aufgezeichnet. In Fig. 4b sind die Mittelwerte M der Streuwerte mit den Normstrecken R verglichen. Daraus geht hervor, dass diese mit grosser Annäherung mit den Streumittelwerten übereinstimmen.

2. Bewertungssystem

In Abschnitt 1.3 wurde gezeigt, dass für ein Material die minimalen Luft- und Kriechstrecken ermittelt werden können, wenn die entsprechende Anzahl Streckensprünge bekannt ist. Da die Grösse der Luft- und Kriechstrecken von den Streckenkomponenten

Nennisolationsspannung
Kurzschluss-Auswirkung
Verschmutzung
Kriechwegfestigkeit
Gefahrenzuschlag
Rippenaufwertung

abhängt, werden diese als Vielfaches des Streckensprungs bewertet. Die Anzahl Streckensprünge ergibt sich aus der Summe der Bewertungsziffern, wird mit n bezeichnet und «Bewertungsexponent» benannt.

2.1 Nennisolationsspannung

Die Bewertung der Nennisolationsspannung geht aus den Tabellen II und III hervor. Die Bewertungsziffer sei mit a bezeichnet und wie folgt zugeordnet:

$$U_i = 32 - 63 - 125 - 250 - 355 - 500 - 710 - 1000 \text{ V}$$

$$(380) \quad (750)$$

$$a = 0 \quad 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7$$

2.2 Kurzschluss-Auswirkung

Man unterscheidet primäre und sekundäre Kurzschluss-Auswirkungen. Während erstere am Material entsteht, ist die zweite eine Folge der ersten und entsteht außerhalb des Materials. Die Bewertung berücksichtigt nur die voraussehbare primäre Auswirkung.

Ein Kurzschluss kann durch Überschlag oder Kriechstrom eingeleitet werden. Der entstehende Kurzschlußstrom kann

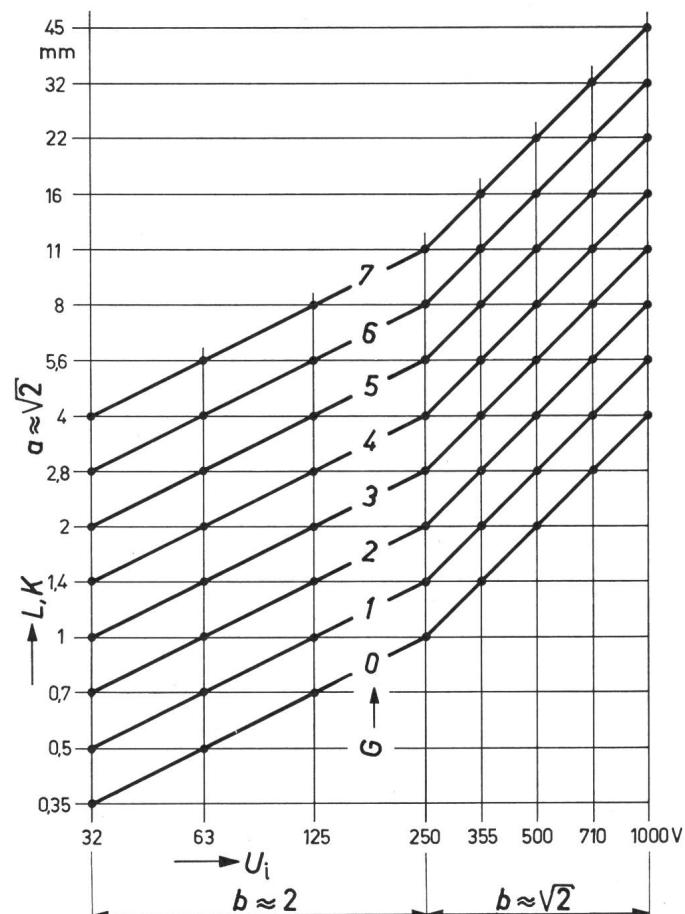


Fig. 3
Luft- und Kriechstrecken der Tabelle IV in Funktion der Nennisolationsspannung für die verschiedenen Materialgruppen logarithmisch dargestellt

L Luftstrecke; K Kriechstrecke; G Materialgruppe; U_i Nennisolationsspannung; a Streckensprung; b Spannungssprung

Vergleich der Luft- und Kriechstrecken verschiedener Länder mit den Normstrecken, und Bestimmung und Vergleich der Materialgruppen der Kolonnen 15 und 17

Tabelle V

	11	12	13	14															15	16			17	18				
1	Empfehlungen verschiedener Länder		Luftstrecke Kriechstrecke	Bezeichnung nach Empfehlungen verschiedener Länder																	Durch Vergleich ermittelte Materialgruppe	Kurzschluss- auswirkung	Verschmutzung	Kriechweg- festigkeit	Gefahren- zuschlag	Errechnete- Materialgruppe	Vergleich der Kolonnen 15 u. 17	
						0,35	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11	16	22	32	45	b	c	d	e				
2	[4]	CEE	L	a	—	0,5	—	1,5	2	3	4	—									1	1	0		1	●		
				b	—	1,5	—	2	3	4	6	—									2	1	1		2	●		
				c	—	2,5	—	3	4	6	8	—									3	3			3	●		
		[4]	K	a	—	0,5	—	2	2	3	4	—									1	1	0	0	1	●		
				b	—	2	—	3	4	5	8	—									3	1	1	1	3	●		
				c	—	3	—	4,5	6	7,5	10	—									4	3	1		4	●		
3	[5]	CEI	L	L-L, ≤ 63A	—	2	—	3	4	6	10	14									3					3	●	
				L-A, ≤ 63A	—	3	—	5	6	8	14	20									4					1	4	●
				L-L, > 63A	—	3	—	5	6	8	14	20									5					1	4	○
				L-A, > 63A	—	5	—	6	8	10	14	20									4					1	4	●
				a ≤ 63A	—	2	—	3	4	6	10	14									3					0	3	●
		[5]	K	b ≤ 63A	—	3	—	4	6	10	14	20									4					1	4	○
				c ≤ 63A	—	3	—	4	6	10	14	20									5					1	4	○
				a > 63A	—	3	—	5	6	8	14	20									4					0	1	4
				b > 63A	—	4	—	8	10	12	20	28									5					0	1	4
				c > 63A	—	4	—	8	10	12	20	28									6					1	1	5
4	[1; 2]	SEV	L	—	—	—	3	4	5	7	9									3					3	●		
				K	1	—	—	3	4	5	7	9								3					0	3	●	
5	[7]	VDE	L	3	3	4	5	6	8	10	14									4					4	●		
				3	3	4	5	6	8	10	14									5					4	○		
				a	3	3	4	6	6	10	14	20								5					0	4	+	
				b	3	4	6	6	8	12	18	24								5					1	5	●	
		[7]	K	c	3	6	8	10	12	15	22	30								6					2	6	●	
				d	4	6	10	12	14	20	28	36								7					3	7	●	
6	[8]	VDE	L	A	0,3	0,4	0,5	1	1,5	2	3	4									0					0	●	
				B	1	1	1,5	2	3	4	6	8								2	1	1			2	●		
				C	1,5	2	2,5	3	4	6	8	10								3	3				3	●		
				D	—	3	4	5	6	8	10	14								4	4				4	●		
				Aa	0,3	0,4	0,5	1	1,5	2	3	4								0	0	0	0		0	●		
				Ab	0,4	0,5	1	1,5	2	3	4	6								1	0	0	1		1	●		
				Ba	1	1	1,5	2	3	4	6	10								2	1	1	0		2	●		
				Bb	1,5	2	2,5	3	4	6	10	14								3	1	1	1		3	○		
		[8]	K	Ca	1,5	2	2,5	3	4	6	10	14								4	1	1	1		0	3	●	
				Cb	1,5	2	2,5	3	4	6	10	14								4	0	0	3		0	3	○	
				Cb	2	3	3,5	4	6	10	14	20								5	1	4	○		1	4	○	
				Da	—	3	4	5	6	10	14	20								5	0	4	+		0	4	+	
				Db	—	4	6	8	10	14	20	28								6	1	5	+		1	5	+	
				L	A	1	1	2	3	3	4	6	8							2	0	0			2	2	●	
7	[9]	SEV	L	d	—	3	4	5	6	8	—	14								4					4	●		
				k ₁	—	3	4	5	6	10	—	14								4					0	4	●	
				k ₂	—	4	6	8	10	14	—	20								6	1	5	+		3	7	+	
				k ₃	—	10	14	17	20	28	—	8									8							
		[10]	CES	A	—	0,5	0,5	1	1,5	2	3	4								0	0	0			0	●		
				B	—	1,5	1,5	2	3	4	5,5	7,5								2	1	1			2	●		
				C	—	2	2	3	4	6	8	10								3	3				3	●		
				D	—	3	4	5	6	8	11	14								4	4				4	●		
				A ₁	—	0,5	0,5	1	1,5	2	3	4								0	0	0	0		0	●		
				A ₂	—	0,8	0,8	1,5	2	3	4,5	6								1	0	0	1		1	●		
8	[10]	K	K	A ₃	—	1	1	2	3	4	6	8								2	0	0	2		2	●		
				B ₁	—	1,5	1,5	2	3	4	5,5	7,5								2	1	1	0		2	●		
				B ₂	—	2	2	3	4,5	6	8	11								3	1	1	1		3	●		
				B ₃	—	3	3	4	6	8	11	15								4	1	1	2		4	●		
				C ₁	—	2	2	3	4	6	8	10								3					0	3	●	
				C ₂	—	3	3	4,5	6	9	12	15								4					1	4	●	
				C ₃	—	4	4	6	8	12	15	20								5					2	5	●	
				D ₁	—	3	4	5	6	8	11	14								4					0	4	●	
		[10]	K	D ₂	—	4	6	8	9	12	16	20								5	1	5	○		1	5	○	
				D ₃	—																							

eine bleibende Überschreitung des zulässigen Ableit- oder Berührungsstromes, eine aus dem Material austretende Stichflamme, eine teilweise oder totale Zerstörung des Materials, usw. zur Folge haben.

Die Kurzschlussauswirkung hängt vor allem von der an den Luft- und Kriechstrecken wirksam werdenden Kurzschlussleistung ab. Befinden sich jedoch explosive Gase in der Umgebung der Luft- und Kriechstrecken, so genügt unter Umständen eine sehr kleine Leistung, um die Gase zu entzünden und eine Explosion auszulösen. Die Kurzschluss-Auswirkung kann auch vom Bau des Materials abhängen.

Die Bewertungsziffer sei mit b bezeichnet und wie folgt zugeordnet:

	vernachlässigbar	mittel
$b =$	0	1
	gross	sehr gross
$b =$	2	3

«Vernachlässigbar» ist die Kurzschluss-Auswirkung, wenn ein allfälliger Überschlag oder Kurzschluss keine sicherheitstechnischen Folgen nach sich zieht. (Schwachstrom-Anlagen, Stromkreise kleiner Leistung).

«Mittel» ist die Kurzschluss-Auswirkung in Stromkreisen, deren Leistung durch besondere Massnahmen genügend beschränkt ist.

«Gross» kann die Kurzschluss-Auswirkung in Stromkreisen beliebiger Leistung werden.

Mittel oder gross kann die Kurzschluss-Auswirkung werden, wenn am Material Kurzschlußströme auftreten, die unter Umständen für Personen und Sachen gefährlich sind (Starkstromanlagen).

«Sehr gross» kann die Kurzschluss-Auswirkung werden, wenn sich durch Überschlag oder Kriechstrom explosive Gase, die sich in der Umgebung der Luft- und Kriechstrecken angesammelt haben, entzünden und zu einer Explosion führen.

2.3 Verschmutzung

Zu den Umgebungsbedingungen von Luft- und Kriechstrecken gehört die zu erwartende Verschmutzung, d. h. Ansammlung irgendwelcher Ausscheidungen oder Fremdkörper oder deren Vermischung mit Feuchtigkeit auf einer ursprünglich sauberen Oberfläche eines Isolierstoffes. Die unterschiedlichen Anforderungen an Luft- und Kriechstrecken für trockene, feuchte und nasse Umgebung sind daher in der Verschmutzungskomponente berücksichtigt.

Die Bewertungsziffer sei mit c bezeichnet und wie folgt zugeordnet:

gering	mittel	gross	sehr gross
$c =$	0	1	2

3

Da unter Umgebung eine Zone verstanden wird, innerhalb der die physikalischen Zustände als gleich angenommen werden können, kann durch geeignete Massnahmen wie Ab-

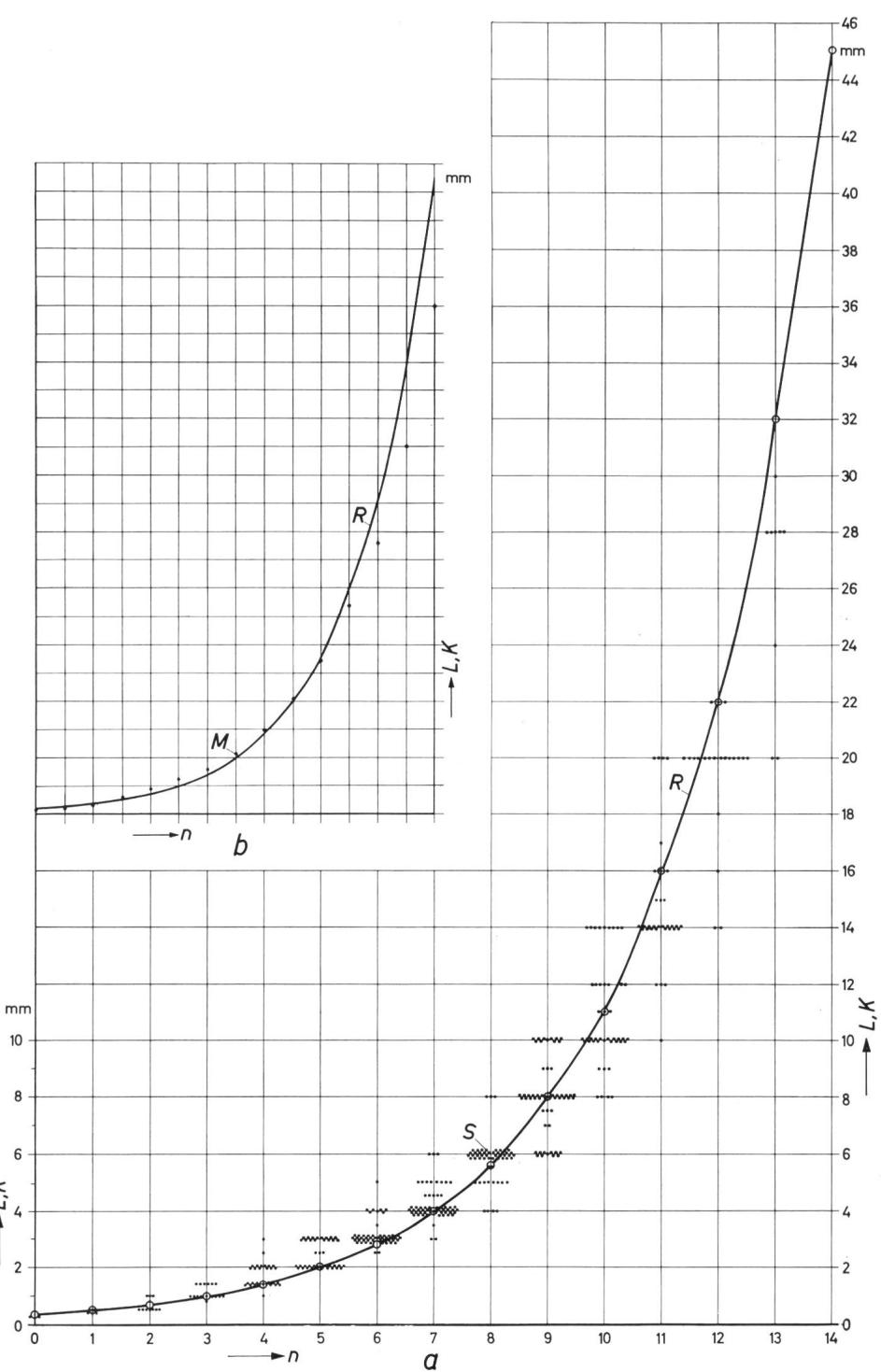


Fig. 4
Normstrecken der Tabelle III in Funktion des Bewertungsexponenten und Vergleich mit den Streuwerten (a) und deren Mittelwert (b) (s. Tabelle V)
 L Luftstrecke; K Kriechstrecke; M Mittelwert der Streuwerte;
 S Streuwerte; R Normstreckenkurve; n Bewertungsexponent

deckungen, Kapselungen, usw., der Grad der Verschmutzung gemildert und dadurch die Bewertung kleiner angesetzt werden.

Unter sehr grosser Verschmutzung wird z. B. Einwirkung von Metallstaub, Kohlenstaub usw. verstanden.

2.4 Kriechwegfestigkeit

Die Isolation besteht aus Luft oder aus Isolierstoff. Die Luft ist in der Bewertung der Nennisolationsspannung berücksichtigt. Der Isolierstoff verlangt eine zusätzliche Bewertung entsprechend seiner Kriechwegfestigkeit.

2.7 Beispiel einer Bewertungsstelle

Bestimmung minimaler Luft- und Kriechstrecken von Niederspannungsmaterial

Tabelle VI

Streckenkomponenten		Bezeichnung + Bewertung der Streckenkomponenten													
		V	(380)							(750)					
			32	63	125	250	355	500	710	1000					
Nennisolationsspannung	a		0	1	2	3	4	5	6	7					
Kurzschluss - Auswirkung	b	1) vernachlässigbar	2) mittel	2) gross	3) sehr gross										
4) Verschmutzung	c	gering	mittel	gross	5) sehr gross										
6) Kriechwegfestigkeit	d	sehr gut	gut	mittel	gering										
			0												
		0		1		2									
		0	1	2											
Gefahrenzuschlag	e	1...X													
7) Rippenaufwertung	f	-1													
n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
L,K [mm]	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11	16	22	32	45

$$n = a + b + c + d + e + f = \text{Summe der Bewertungsziffern} = \text{Bewertungsexponent}$$

$$L, K = \text{Luft- oder Kriechstrecke} = 0,35 (\sqrt[1/2]{n}) \text{ in mm}$$

- 3) Material bei dem ein allfälliger Überschlag oder Kurzschluss keine sicherheitstechnischen Folgen nach sich zieht. (Schwachstromanlagen nach den Hausinstallationsvorschriften des SEV, Publ. 1000.1961, Ziff. 912, Sekundärstromkreise hinter Kleintransformatoren bis 30 VA Nennleistung, oder gleichwertig geschützte Stromkreise über 50 V Nennspannung [15].)
- 2) Material an dem Kurzschlußströme auftreten können, deren Auswirkung unter Umständen für Personen und Sachen gefährlich sind (Starkstromanlagen).
- 3) Explosionsicheres Material Schutzart «erhöhte Sicherheit» wird unabhängig von der an den Luft- und Kriechstrecken wirksamen Leistung mit «sehr gross» bewertet.
- 4) Für Material, bei dem die Kurzschlussauswirkung sicherheitstechnisch vernachlässigbar ist, darf unabhängig vom Verschmutzungsgrad (gering, mittel, gross) die Bewertung mit 0 erfolgen.
- 5) Unter «sehr grosser» Verschmutzung wird Einwirkung von Metallstaub, Kohlenstaub, etc., verstanden.
- 6) $d = 0$, für Material, bei dem die Kurzschlussauswirkung sicherheitstechnisch vernachlässigbar ist, darf, unabhängig vom Grad der Kriechwegfestigkeit (sehr gut – gut – mittel – gering) die Bewertung mit 0 erfolgen.
 $d = 0 - 1 - 2$ für Haushalt- und Industrie-Material.
 $d = 0 - 1 - 2 - 3$ für explosionsicheres Material Schutzart «erhöhte Sicherheit».
- 7) Die Höhe der aufwertbaren Rippe muss mindestens $\frac{1}{5}$ der Kriechstrecke und darf nicht weniger als 2 mm, für explosionsicheres Material, Schutzart «erhöhte Sicherheit» nicht weniger als 2,8 mm betragen. Eine Aufwertung kommt nur in Frage, wenn die Bewertung der Verschmutzung ≥ 1 ist.

Die Isolierstoffe können nach der Publikation 3010.1965, des SEV [3] in Kriechwegfestigkeitsklassen sehr guter - guter - mittlerer und geringer Kriechwegfestigkeit eingeteilt werden. In der Praxis werden diesen Klassen je nach Bedürfnis Bewertungsgruppen z. B. 0, 0-1-2, 0-1-2-3 zugeordnet, wobei für die Zuordnung vor allem die voraussehbare Kurzschluss-Auswirkung berücksichtigt wird.

Die Bewertungsziffer sei mit d bezeichnet.

Für Material mit *vernachlässigbarer* Kurzschluss-Auswirkung werden an die Kriechwegfestigkeit keine Anforderungen gestellt; alle Isolierstoffe fallen in die Bewertungsgruppe 0.

Material *mittlerer* Kurzschluss-Auswirkung, z. B. gewöhnliches Installations-Material, kann Bewertungsgruppe 0 – 1 – 2 zugeordnet und wie folgt aufgeteilt werden:

Bewertung 0: sehr gute Kriechwegfestigkeit

Bewertung 1: gute und mittlere Kriechwegfestigkeit

Bewertung 2: geringe Kriechwegfestigkeit

Explosionssicheres Material in Schutzart «erhöhte Sicherheit» mit *sehr grossen* Kurzschluss-Auswirkungen kann der Bewertungsgruppe 0 – 1 – 2 – 3 entsprechend sehr guter - guter - mittlerer - geringer Kriechwegfestigkeit zugeordnet werden.

2.5 Gefahrenzuschlag

Der Gefahrenzuschlag berücksichtigt die Fälle, die besonderen Gefahren und Wünschen Rechnung tragen und in den übrigen Strecken-Komponenten nicht enthalten sind.

Beispiel: Luft- und Kriechstrecken zwischen spannungsführenden Teilen und nicht geerdeten Metallteilen, die bei einem Isolationsdefekt unter Spannung kommen und zufällig berührt werden können, werden oft grösser bemessen als die Strecken zwischen spannungsführenden Teilen und Erde. Der Zuschlag trägt der zusätzlichen Gefahr Rechnung.

Der Gefahrenzuschlag sei mit e bezeichnet und mit 1...X bewertet.

2.6 Rippenaufwertung

Die Spannungsfestigkeit einer Kriechstrecke hängt

einerseits vom verwendeten Isolierstoff, andererseits vom Verschmutzungsgrad der Kriechstrecke ab. Man kann somit durch Verringerung und durch Unterbrechung der Schmutzschicht, z.B. durch quer zur Kriechstrecke liegende Rippen die Spannungsfestigkeit erhöhen.

Wird vorausgesetzt, dass das Material lageunabhängig konstruiert ist, so bleibt bei Einbau einer Rippe mit minimaler Rippenhöhe (H) jedoch mindestens $1/5$ der Kriechstrecke (K), auch im ungünstigsten Fall $1/5$ dieser schmutzfrei. Unter dieser Voraussetzung kann angenommen werden, dass der Verschmutzungsgrad genügend reduziert wird und somit die Kriechstrecke kleiner gemacht werden darf. Rippen, deren Höhe gleich oder grösser ist als H , mindestens aber $K/5$ be-

trägt, lassen daher zusätzlich zur normalen Bewertung noch eine Aufwertung der Kriechstrecke zu.

Die Rippenaufwertung sei mit f bezeichnet und mit -1 bewertet. (Eine Aufwertung kommt nur in Frage, wenn die Bewertung der Verschmutzung ≥ 1 ist.)

2.8 Ermittlung der Luft- und Kriechstrecken

In Tabelle VI sind die in den Abschnitten 2...2.6 aufgestellten Bedingungen für die Bestimmung der Luft- und Kriechstrecken zusammengefasst. Für ein gewähltes Material, oder Teile desselben, lässt sich mit Hilfe der bewerteten Streckenkomponenten, durch einfache Summation der Bewertungsziffern $a \dots f$, der Bewertungsexponent n ermitteln und aus der L, K -Zeile die entsprechende Strecke entnehmen.

Für *Luftstrecken* sind Nennisolationsspannung, Kurzschlussauswirkung, Verschmutzung und Gefahrenzuschlag, für *Kriechstrecken* Nennisolationsspannung, Kurzschlussauswirkung, Verschmutzung, Kriechwegfestigkeit, Gefahrenzuschlag und Rippenaufwertung zu berücksichtigen.

So ergibt sich z. B. für:

Nennisolationsspannung 500 V	$a = 5$
«grosse» Kurzschluss-Auswirkung	$b = 2$
«mittlere» Verschmutzung	$c = 1$
Isolierstoff «geringer» Kriechwegfestigkeit	$d = 2$
Gefahrenzuschlag	$e = 0$
aufwertbare Rippe	$f = -1$
<i>Luftstrecke:</i> $n = a + b + c = 5 + 2 + 1 = 8$	$L = 5,6 \text{ mm}$
<i>Kriechstrecke:</i> $n = a + b + c + d + f = 5 + 2 + 1 + 2 - 1 = 9$	$K = 8 \text{ mm}$

3. Bewertungsbeispiele

3.1 Beispiel 1

Material: Elektronisches Messgerät mit Netz-Anschluss, bestimmt für Laboratorium
Netzspannung = 220 V \sim

Trenntransformator = 220/100 V, 25 VA (Nennleistung)

Gesucht werden die nötigen Luft- und Kriechstrecken.

Lösung:

a) Elektronischer Teil

Entsprechend 100 V Sekundärspannung wird $a = 2$

Da der elektronische Teil mittels eines Kleintransformators von weniger als 30 VA Nennleistung vom Netz getrennt ist, kann die Kurzschluss-Auswirkung und somit Verschmutzung und Kriechwegfestigkeit vernachlässigt werden, so dass $b + c + d = 0$

Somit wird $n = a = 2$

Die Luftstrecke ist demnach gleich der Kriechstrecke $L = K = 0,7 \text{ mm}$.

b) Netz-Teil

Entsprechend 220 V Netzspannung wird $a = 3$

Kann die Kurzschluss-Auswirkung als «mittel» bewertet werden, so ist $b = 1$

Wird für Laboratorien mit einer «mittleren» Verschmutzung gerechnet, so ist $c = 1$

Bei Verwendung von Isolierstoff «sehr guter» Kriechfestigkeit wird $d = 0$

Somit wird $n = a + b + c = 5$

Die Luftstrecke ist demnach gleich der Kriechstrecke $L = K = 2 \text{ mm}$.

3.2 Beispiel 2

Material: Motorschutzschalter für 500 V Nennisolationsspannung, 15 A Nennstrom, bestimmt für industrielle, gewerbliche und landwirtschaftliche Betriebe.

Gesucht werden die nötigen Luft- und Kriechstrecken.

Lösung:

Entsprechend 500 V Nennisolationsspannung wird $a = 5$

Da es sich um Industriematerial handelt, kann die Kurzschlussauswirkung mit «gross» bewertet werden

$b = 2$

Die Verschmutzung wird für industrielle, gewerbliche und landwirtschaftliche Betriebe «gross» bewertet, da jedoch eine Kapselung vorgesehen ist, darf eine «mittlere» Bewertung eingesetzt werden

Wird Isolierstoff «guter» Kriechwegfestigkeit verwendet, so ist

$c = 1$

Luftstrecke: $n = a + b + c = 8$

$d = 1$

Kriechstrecke: $n = a + b + c + d = 9$

$L = 5,6 \text{ mm}$

Wird die Kriechstrecke mit einer 2 mm hohen Rippe ausgeführt, so ist $n = a + b + c + d + f = 8$

$K = 8 \text{ mm}$

Wird die Kriechstrecke mit einer 2 mm hohen Rippe ausgeführt, so ist $n = a + b + c + d + f = 8$

$K = 5,6 \text{ mm}$

3.3 Beispiel 3

Material: Anschlusskasten in explosionssicherer Ausführung, Schutzart «erhöhte Sicherheit», für 500 V Nennisolationsspannung, 400 A Nennstrom

Gesucht werden die nötigen Luft- und Kriechstrecken

Lösung:

Entsprechend 500 V Nennisolationsspannung wird $a = 5$

Entsprechend Kurzschlussauswirkung «sehr gross» wird

$b = 3$

Entsprechend Verschmutzung «mittel», da eine Kapselung vorgesehen ist, wird

$c = 1$

Luftstrecke: $n = a + b + c = 9$

$L = 8 \text{ mm}$

Wird Isolierstoff «mittlerer» Kriechwegfestigkeit verwendet, so ist

$d = 2$

Falls mit einer Rippe von 2,8 mm Höhe konstruiert wird, ist

$f = -1$

Kriechstrecke: $n = a + b + c + d + f = 10$

$K = 11 \text{ mm}$

Die Nachkontrolle zeigt, dass 2,8 mm Rippenhöhe genügt, da 1/5 der Kriechstrecke nur $11/5 = 2,2 \text{ mm}$ ergibt.

3.4 Beispiel 4

Aufgabe: Aufgrund von Tabelle VI und der heutigen Praxis sind den gebräuchlichsten Einsatzarten, gekennzeichnet durch Kurzschluss-Auswirkung und Verschmutzung, Materialgruppen der Tabelle IV zuzuordnen.

Lösung:

Tabelle VII

Kurzschluss-Auswirkung	Verschmutzung	Materialgruppe nach Tabelle IV ¹⁾	Bemerkung
vernachlässigbar	0 ²⁾	0	Schwachstrom-Anlagen
mittel	1 gering	1	
mittel	1 mittel	2	Haushalt
mittel	1 gross	3	Haushalt
gross	2 mittel	1	Industrie
gross	2 gross	2	Industrie
mittel	1 sehr gross	3	Material mit stark leitender Verschmutzung
sehr gross	3 mittel	1	Explosions-sicheres Material, Schutzart «erhöhte Sicherheit»

¹⁾ Die Streckenwerte der Materialgruppen sind Luftstrecken oder Kriechstrecken für Isolierstoffe, deren Kriechwegfestigkeit der Bewertung «0» zugeordnet ist.

²⁾ Siehe Tabelle VI Bemerkung 4).

3.5 Kontrolle des Bewertungssystems

In Tabelle V wurden die Luft- und Kriechstrecken-Gruppen der nationalen Empfehlungen verschiedener Länder durch Vergleich mit den Normstrecken und Materialgruppen der Tabellen III und IV entsprechend Kolonne 15 der Tabelle V

eingestuft. Im weiteren wurden mit Hilfe der in Tabelle VI festgelegten Bewertungsunterlagen die Materialgruppen rechnerisch ermittelt und in Kolonne 17, Tabelle V eingesetzt. Kolonne 18 zeigt, dass die durch Vergleich und die mittels Bewertungssystem ermittelten Materialgruppen weitgehend übereinstimmen. Man kann somit für ein bestimmtes Material, aufgrund der dafür in Betracht fallenden Einsatzbedingungen und Streckenkomponenten mit Hilfe der in Tabelle VI aufgeführten Bewertungsunterlagen Luft- und Kriechstrecken auf einfache Weise ermitteln.

4. Zusammenfassung

Ausgegangen von genormten Nennisolationsspannungen und diesen zugeordneten minimalen Prüfspannungen, wurden über Basisluftstrecken, mit Hilfe eines konstanten Streckensprunges, die minimalen Luft- und Kriechstrecken für das gesamte Niederspannungsgebiet festgelegt.

Unter Annahme von 6 Streckenkomponenten, Nennisolationsspannung, Kurzschlussauswirkung, Verschmutzung, Kriechwegfestigkeit, besondere Gefahren und Konstruktion, als Vielfaches des Streckensprunges bewertet, wurde ein Bewertungssystem aufgestellt, mit dessen Hilfe für ein gewähltes Material die entsprechenden Luft- und Kriechstrecken ermittelt werden können.

Das System ist verschieden anwendbar. So können minimale Luft- und Kriechstrecken für ein bestimmtes Material nach Tabelle VI einzeln ermittelt werden, wenn die Bewertung der entsprechenden Streckenkomponenten festgelegt ist. Es können auch Streckentabellen, ähnlich Tabelle IV, erstellt werden, indem für ein bestimmtes Material, die dessen Einsatzart entsprechende Materialgruppe (siehe Tabelle VII) ermittelt wird und je nach Bedarf weitere Materialgruppen z. B. für die verschiedenen Kriechwegfestigkeiten der Isolierstoffe usw. angegliedert werden.

Das System ist erweiterungsfähig und kann auch auf das Gebiet der Hochspannung ausgedehnt werden.

In dem Masse, als die interessierten Länder in der Aufteilung und Bewertung der Streckenkomponenten sich einigen, sind einheitliche Isolationsvorschriften für elektrisches Material möglich.

Literatur

- [1] Vorschriften für Niederspannungsschalter. Publ. 0119.1947/1955 des SEV.
- [2] Vorschriften für nichtkeramische Isolierpreßstoffe. Publ. 177 des SEV.
- [3] Regeln für die Prüfung von Isolierteilen an elektrischem Material für Betriebsspannungen bis 1000 V. Publ. 3010.1965 des SEV.
- [4] Lignes de fuite et distances dans l'air. Recommandations du Comité des Règles Générales. CEE REC 3. Octobre 1964.
- [5] Appareillage de commande à basse tension à l'usage industriel. Première Partie: Contacteurs. CEI-Publication 158-1, première édition 1964, annexe C.
- [6] Normzahlen und normale Masszahlen. Normblatt VSM 10001 Blatt 1...4. (ISO/R3-1953.)
- [7] Vorschriften für explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel. VDE-Vorschrift 0171/2.61.
- [8] Bestimmungen für die Bemessung der Kriech- und Luftstrecken elektrischer Betriebsmittel. VDE-Vorschrift 0110/5.65.
- [9] Vorschriften für explosionssichere elektrische Installationsmaterialien und Apparate. Publ. 1015.1959 des SEV.
- [10] 4. Entwurf der Expertenkommission des CES für Kriechwege und Luftdistanzen. Regeln für die Bemessung und Beurteilung von Luft- und Kriechstrecken. CES EK-KL 61/3, Klassen 1, 2, 3.
- [11] USA Standards for Safety, Industrial Control Equipment. Underwriters Laboratories Chicago, UL 508, 10th edition, September 1964.
- [12] Specification for Industrial Control Equipment. Canadian Standard Association, CSA C 22.2, Nr. 14, Ottawa 1953.
- [13] Motor Starters and Controllers. British Standard 587 : 1957.
- [14] Industrial Control. National Electrical Manufacturers Association, New York. NEMA Standards Publication No. IC 1-1965.
- [15] Hausinstallationsvorschriften des SEV. Publ. 1000.1961 des SEV.

Adresse des Autors:

Jakob Schwyn, Oberingenieur. a. Konstruktionschef der Carl Maier & Cie., Schaffhausen.

Comment déterminer si, et si oui quand l'accumulation artificielle devra être utilisée en Suisse pour compléter la production d'énergie régularisée

Par A. L. Colomb, Baden

621.31(494)

La Suisse, jusqu'à présent, a couvert ses besoins d'énergie électrique avec la production d'usines hydrauliques. Grâce à l'aménagement de nombreuses installations à accumulation saisonnière, la production d'énergie régularisée n'a jamais posé de problèmes. Aujourd'hui, les possibilités de production hydroélectrique sont presque épuisées et l'installation de centrales thermiques s'impose. Les centrales thermiques produisant avant tout de l'énergie de base, il devient nécessaire d'examiner les possibilités de production d'énergie régularisée. Le problème est assez complexe et le but de ce travail ne sera pas le résoudre mais, pour l'ensemble du réseau suisse, d'essayer de définir une méthode menant à sa solution et de déterminer quelles sont les informations nécessaires pour y arriver.

Bis in die Gegenwart konnte die Schweiz ihren Energiebedarf durch hydraulische Kraftwerke decken. Dank der Errichtung zahlreicher Saison speicherwerke gab es in der Spitzenenergieversorgung nie Schwierigkeiten. Heute sind jedoch die Möglichkeiten der hydraulischen Energie nahezu erschöpft und der Bau thermischer Kraftwerke drängt sich auf. Da thermische Kraftwerke vor allem Bandenergie erzeugen, wird es notwendig, dass man die Möglichkeiten der Spitzendeckung studiert. Dieses Problem ist ziemlich komplex und der Sinn dieser Arbeit ist nicht, das-selbe zu entscheiden, sondern es soll versucht werden, für die gesamte schweizerische Energieversorgung einen Weg zu finden, dieses Problem zu lösen und zu bestimmen, welche Informationen man benötigt, um eine solche Lösung zu finden.

1. Généralités

Deux principaux types d'accumulation artificielle sont en usage aujourd'hui. Il s'agit d'abord, dans un système purement hydraulique, de l'accumulation artificielle saisonnière. De l'énergie de surplus est employée pour accumuler de l'eau disponible dans un bassin que les apports naturels n'arrivent pas à remplir. Il est évident qu'un tel système est à conseiller chaque fois que les conditions topographiques et hydrologiques le

permettent. Dans le cas d'un tel système, seule l'énergie de perte du système peut être considérée comme détruite car sans accumulation artificielle, l'eau disponible aurait été dans la plupart des cas perdue. La production nette d'énergie est donc toujours positive.

Ceci n'est pas nécessairement le cas pour le second type d'accumulation artificielle consistant en installations mixtes thermiques-hydrauliques. Dans ce cas, la production nette