

Erzeugung und Messung von Hochspannungen

Teil 2 Bestimmungen für Spannungsmessungen mit einpolig geerdeten Kugelfunkenstrecken

VDE 0433**Teil 2/8.61**

1. red. geänd. Nachdruck

Diese Bestimmungen sind den Empfehlungen der IEC für Spannungsmessungen mit Kugelfunkenstrecken „Recommendations for voltage measurement by means of sphere-gaps (one sphere earthed)“ angeglichen worden. Auf ergänzende oder abweichende Festlegungen wird in den Erläuterungen (Kleindruck) gegebenenfalls besonders hingewiesen.

Inhalt

I. Gültigkeit		§ 14	Allgemeine Oberflächenbeschaffenheit der Kugeln
§ 1	Geltungsbeginn	§ 15	Anforderungen an die Kugelschäfte
§ 2	Geltungsbereich	§ 16	Höhe der Kugeln über einer geerdeten waagerechten Fläche
II. Begriffe		§ 17	Freier Schutzraum um die Kugeln
§ 3	Begriffserklärungen	§ 18	Elektrische Anschlüsse
III. Grundlage der Spannungsmessung		§ 19	Vorwiderstände
§ 4	Allgemeines	§ 20	Bestrahlung
§ 5	Tafel der Durchschlagspannungen	V. Anwendung von Meß-Kugelfunkenstrecken	
§ 6	Meßunsicherheit	§ 21	Allgemeines Vorgehen
§ 7	Umrechnung der Tafelangaben auf andere als normale atmosphärische Bedingungen	§ 22	Messen von Wechselspannungen
§ 8	Einfluß der Luftfeuchte	§ 23	Messen von Gleichspannungen
§ 9	Einfluß einer Bestrahlung	§ 24	Messen von Stoßspannungen
IV. Anforderungen an Meß-Kugelfunkenstrecken		§ 25	Meßunsicherheit der Schlagweite
§ 10	Allgemeine Ausführung	§ 26	Besondere Hinweise
§ 11	Werkstoff der Kugeln	Anhang 1	
§ 12	Durchmesser und zulässige Durchmesserabweichungen der Kugeln	Anhang 2	
§ 13	Zulässige Oberflächenunregelmäßigkeiten der Kugeln		

Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) e.V.

Die vorliegende Fassung gilt, bis eine Änderung oder Neufassung gemäß einer Bekanntmachung in der ETZ in Kraft tritt.

VDE-Verlag GmbH, 1 Berlin 12 (Charlottenburg)

I. Gültigkeit

§ 1

Geltungsbeginn

- a) Diese Bestimmungen gelten ab 1. August 1961¹⁾
- b) Bis zum Erscheinen gesonderter Bestimmungen für das Messen von gegen Erde symmetrischen Spannungen mit Kugelfunknstrecken gelten dafür noch die bisherigen Bestimmungen in VDE 0430/XII.41 „Regeln für Spannungsmessungen mit der Kugelfunknstrecke“.
- c) Im übrigen werden die Bestimmungen in VDE 0430/XII.41 mit dem 1. August 1961 ungültig.

§ 2

Geltungsbereich

Diese Bestimmungen gelten für das Messen des Scheitelwertes von Spannungen mit einpolig geerdeten Kugelfunknstrecken, deren Ausführung und Verwendung den folgenden Angaben für Meß-Kugelfunknstrecken entsprechen. Sie erstrecken sich auf die Messung von

- a) Wechselspannungen
- b) Gleichspannungen
- c) Stoßspannungen

mit einer Meßunsicherheit der Spannung innerhalb der in § 6 angegebenen Grenzen.

II. Begriffe

§ 3

Begriffserklärungen

- a) Meß-Kugelfunknstrecken im Sinne dieser Bestimmungen sind Kugelfunknstrecken, die aus zwei durchmessergleichen Metallkugeln als Elektroden mit einem Nenndurchmesser D gemäß § 11 bestehen und den in diesen Bestimmungen gestellten Anforderungen entsprechen.
- b) Die Durchschlagspannung U_D von Kugelfunknstrecken ist der Wert der Spannung zwischen den Kugeln, bei der ein Durchschlag²⁾ erfolgt.

1) Genehmigt durch den Vorstand des VDE im Juni 1961, bekanntgegeben in ETZ-A 1960 S. 575 und 1961 S. 520.

2) Die Begriffe „Durchschlag“ und „Überschlag“ werden in diesen Regeln entsprechend den Begriffserklärungen in VDE 0111/8.53, § 7, verwendet.

- c) Als Durchschlagspunkte einer Kugelfunkenstrecke werden diejenigen Punkte auf der Oberfläche der beiden Kugeln angesehen, zwischen denen die kürzeste Entfernung besteht.
- d) Die Schlagweite S von Kugelfunkenstrecken ist der Abstand der Durchschlagspunkte.

III. Grundlage der Spannungsmessung

§ 4

Allgemeines

Die Grundlage von Spannungsmessungen mit Meß-Kugelfunkenstrecken ist der definierte Zusammenhang zwischen der Durchschlagspannung U_D in Luft und der Schlagweite S . Die Schlagweite S kann infolgedessen als Maß des Scheitelwertes der Spannung dienen, wenn entweder durch Steigern der Spannung bei gegebener Schlagweite oder durch Verringern der Schlagweite bei gegebener Spannung der Durchschlag der Kugelfunkenstrecke herbeigeführt wird.

§ 5

Tafel der Durchschlagspannungen

Der Zusammenhang zwischen der Durchschlagspannung U_D in Luft und der Schlagweite S bei einpoliger Erdung und atmosphärischen Normalbedingungen von

20 °C Lufttemperatur und 1013 mbar (= 760 Torr) Luftdruck

ist für Wechsel-, Gleich- und Stoßspannungen gemäß § 6 in Tafel 1 wiedergegeben. Die für verschiedene Schlagweiten aufgeführten Durchschlagspannungen sind Scheitelwerte.

Die Tafel enthält Durchschlagspannungen für die verschiedenen Kugeldurchmesser gemäß § 12, und zwar für jeden Kugeldurchmesser jeweils

- a) in der linken Spalte ($\sim$, $—$, $\wedge$) für
Wechselspannungen,
positive und negative Gleichspannungen,
negative Stoßspannungen,
- b) in der rechten Spalte ($\wedge$) für
positive Stoßspannungen.

Die Tafel gilt nicht für die Messung von Stoßspannungen unter ungefähr 10 kV.

Im Falle von Stoßspannungen haben die Durchschlagspannungen wegen der statistischen Streuung bei wiederholten Messungen die Bedeutung von 50 %-Durchschlag-Stoßspannungen.

Die in Tafel 1 aufgeführten Durchschlagspannungen sind international vereinbarte und durch die IEC festgelegte Werte. Ihr Zustandekommen ist in Anhang 1 erläutert. Angaben über die Meßunsicherheit bei Spannungsmessungen nach diesen Bestimmungen unter Benutzung der Tafelwerte enthält § 6.

§ 6

Meßunsicherheit

Die in Tafel 1 aufgeführten Durchschlagspannungen gelten innerhalb der folgenden Grenzen als genau und auch als reproduzierbar, wenn bei Spannungsmessungen nach diesen Bestimmungen verfahren wird.

a) Wechselspannungen:

1. bei Schlagweiten bis 0,5 *D*: $\pm 3 \%$,
2. bei größeren Schlagweiten: erhöhte, nicht angebbare Unsicherheit, Durchschlagspannungen daher in Klammern.

Die Tafelwerte beruhen auf Messungen mit Wechselspannungen von 50 bis 60 Hz. Sie können ohne jede Einschränkung bis zu Frequenzen von 1000 Hz benutzt werden.

Darüber hinaus können die Tafelwerte nach den IEC-Empfehlungen bei ungedämpften Wechselspannungen bis 20 kHz sowie bei gedämpften Wechselspannungen bis 500 kHz ohne merklichen Fehler zugrunde gelegt werden, wenn die Spannungen bis höchstens 15 kV Scheitelwert betragen.

Bei höheren Frequenzen und Spannungen sind die Abweichungen von den Tafelwerten noch nicht ausreichend geklärt.

b) Positive und negative Gleichspannungen:

1. bei Schlagweiten bis etwa 0,4 *D*: $\pm 5 \%$,
2. bei größeren Schlagweiten: erhöhte, nicht angebbare Unsicherheit.

Wegen des bei Gleichspannung merklichen Einflusses von Staub und Fasern in der Luft ist im Vergleich zu Wechsel- und Stoßspannungen die Genauigkeit der Tafelwerte geringer angesetzt, wobei die genannte Genauigkeit schon hinreichende Staubbefreiheit der Luft voraussetzt. (Beachte in diesem Zusammenhang § 26!)

c) Positive und negative Stoßspannungen mit einem Spannungsverlauf nach VDE 0433 Teil 3 und Rückenhalbwertszeiten $\geq 50 \mu\text{s}$:

1. bei Schlagweiten bis 0,5 *D*: $\pm 3 \%$,
2. bei größeren Schlagweiten: erhöhte, nicht angebbare Unsicherheit, Durchschlagspannungen daher in Klammern.

Für Stoßspannungen mit kürzeren Rückenhalbwertszeiten sowie für im Rücken abgeschnittene Stoßspannungen, die in den IEC-Empfehlungen nicht berücksichtigt sind, gilt als Anhalt:

Bei Stoßspannungen mit Rückenhalbwertszeiten unter etwa $15 \mu\text{s}$ steigen die Durchschlagspannungen gegenüber den Tafelwerten an, bei $5 \mu\text{s}$ um etwa 3 bis 5 %.

Bei abgeschnittenen Stoßspannungen, die aus Stoßspannungen mit einem Spannungsverlauf nach VDE 0433 Teil 3 und Rückenhalbwertszeiten $\geq 50 \mu\text{s}$ bei einer Abschnidezeit von mindestens $3 \mu\text{s}$ erzeugt werden, kann bei Schlagweiten bis 0,5 D ebenfalls mit $\pm 3 \%$ gerechnet werden.

Es ist zu beachten, daß sich die vorstehend bei Wechsel-, Gleich- und Stoßspannungen angenommenen Werte der relativen Meßunsicherheit der Spannung bei Vorhandensein überlagerter (hochfrequenter) Oberschwingungen noch erhöhen können.

§ 7

Umrechnung der Tafelangaben auf andere als normale atmosphärische Bedingungen

Die Durchschlagspannung von Kugelfunkenstrecken ändert sich angenähert proportional mit der relativen Luftdichte d , die ihrerseits von der Lufttemperatur ϑ und dem Luftdruck b abhängig ist:



Die in Tafel 1 aufgeführten Durchschlagspannungen für atmosphärische Normalbedingungen von 20°C und 1013 mbar (= 760 Torr), bei denen die relative Luftdichte $d = 1$ ist, müssen deshalb bei anderen Werten der relativen Luftdichte d umgerechnet werden.

Die dafür gültigen Durchschlagspannungen (U_{Dd}) werden erhalten, indem die Durchschlagspannungen der Tafel 1 (U_D) mit einem von d abhängigen Umrechnungsfaktor k gemäß Tafel 2 multipliziert werden:

$$U_{Dd} = k \cdot U_D$$

Tafel 2

$d = 0,70$	$0,75$	$0,80$	$0,85$	$0,90$	$0,95$	$1,00$	$1,05$	$1,10$	$1,15$
$k = 0,72$	$0,77$	$0,81$	$0,86$	$0,91$	$0,95$	$1,00$	$1,05$	$1,09$	$1,13$

Im Bereich $0,95 \leq d \leq 1,05$, in dem hiernach praktisch $k = d$ ist, gilt:

$$U_{Dd} = d \cdot U_D$$

Bei einer anderen relativen Luftdichte als $d = 1$ ist die Tafel 1 wie folgt zu gebrauchen:

- | | |
|--|---|
| a) Die Durchschlagspannung zu einer bestimmten Schlagweite S wird gesucht: | Der Tafel wird die zu S gehörende Durchschlagspannung entnommen und mit k (im Bereich $0,95 \leq d \leq 1,05$ mit d) multipliziert. |
| b) Die zum Durchschlag bei einer bestimmten Spannung erforderliche Schlagweite S wird gesucht: | Die betreffende Spannung wird durch k (im Bereich $0,95 \leq d \leq 1,05$ durch d) dividiert, und zu dieser auf $d = 1$ umgerechneten Durchschlagspannung wird der Tafel die zugehörige Schlagweite entnommen. |

§ 8

Einfluß der Luftfeuchte

Die Feuchte der Luft hat praktisch keinen Einfluß auf die Durchschlagspannung von Kugelfunkenstrecken. Sie wird deshalb in diesen Bestimmungen nicht berücksichtigt. (Beachte in diesem Zusammenhang § 26!)

§ 9

Einfluß einer Bestrahlung

Die Durchschlagspannung von Kugelfunkenstrecken wird durch die Ionisation der Luft im Raum zwischen den Kugeln beeinflusst.

Die in Tafel 1 aufgeführten Durchschlagspannungen gelten ohne künstliche Bestrahlung, mit Ausnahme

- a) der Durchschlagspannungen unter 50 kV Scheitelwert, unabhängig vom Kugeldurchmesser,
- b) der Durchschlagspannungen für Kugeln von 12,5 cm Durchmesser und darunter, unabhängig von der Höhe der Spannung.

IV. Anforderungen an Meß-Kugelfunkenstrecken

Einpolig geerdete Kugelfunkenstrecken unterliegen den folgenden Anforderungen. Dadurch soll gewährleistet werden, daß die in § 6 angesetzte Meßunsicherheit nicht durch Meßfehler vergrößert wird, die auf Ausführung, Aufstellung und den Anschluß der Kugelfunkenstrecken zurückzuführen sind.

Bei Einhaltung der im folgenden festgelegten Grenzwerte ist die Meßunsicherheit der Spannungsmessung nur noch von der Schlagweitenmessung abhängig. § 25 enthält darüber nähere Bestimmungen.

§ 10

In Bild 1 und 2 sind zwei typische Anordnungen von Kugelfunktenstrecken dargestellt. Bild 1 zeigt eine Kugelfunktenstrecke in senkrechter, Bild 2 eine Kugelfunktenstrecke in waagerechter Anordnung.

[illegible]

Es bedeuten:

- | | |
|--|--|
| 1 Kugeln (gemäß § 11 bis § 14) | P Durchschlagspunkt der spannungsführenden Kugel |
| 2 Kugelschäfte (gemäß § 15) | A Höhe des Durchschlagpunktes der spannungsführenden Kugel über der geerdeten waagerechten Fläche (gemäß § 16) |
| 3 Abschirmelektrode (gemäß § 15) | B Halbmesser des freien Schutzraums (gemäß § 17) |
| 4 Isolator | D Kugeldurchmesser (gemäß § 12) |
| 5 Raumbegrenzung, innerhalb der nicht besonders gezeichnete Konstruktionsteile, z. B. die Vorrichtung für die Schlagweiteinstellung, liegen sollen | S Schlagweite |