

	DIN VDE 0845-6-1 (VDE 0845-6-1)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 33.040.01	Entwurf	Einsprüche bis 2010-06-30 Ersatz für E DIN EN 50351 (VDE 0845-6-1):2001-05 Vorgesehen als Ersatz für DIN VDE 0228-1 (VDE 0228-1):1987-12
Maßnahmen bei Beeinflussung von Telekommunikationsanlagen durch Starkstromanlagen – Teil 1: Grundlagen, Grenzwerte, Berechnungs- und Messverfahren Influence of high voltage systems on telecommunication systems – Part 1: General, limits, calculation and measurement methods Influence (électromagnétique) des réseaux d'énergie à haut tension sur les réseaux de télécommunication – Partie 1: Général, limites, méthodes de calcul et de mesure Anwendungswarnvermerk Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2010-02-22 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren. Stellungnahmen werden erbeten – vorzugsweise als Datei per E-Mail an dke@vde.com in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden – oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main. Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen. Gesamtumfang 32 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
4 Beeinflussungsgrenzwerte	13
4.1 Grenzwerte für Spannungen und Ströme	13
4.2 Störung der Telekommunikationsanlage	14
5 Maßnahmen gegen Beeinflussung	14
5.1 Allgemeines	14
5.2 Vorsorgliche Maßnahmen an Telekommunikationsanlagen	15
5.3 Schutz gegen Spannungen durch induktive Beeinflussung	16
5.4 Schutz gegen kapazitive Beeinflussung	16
5.5 Schutz gegen Beeinflussung durch ohmsche Kopplung	17
5.6 Maßnahmen an Telekommunikationsanlagen gegen Störungen	17
5.7 Maßnahmen gegen Funktionsstörungen in unsymmetrischen Anlagen	17
5.8 Bauliche Maßnahmen an Telekommunikationskabelanlagen im Einflussbereich von Starkstromanlagen	18
5.9 Schutzmaßnahmen beim Arbeiten an beeinflussten Telekommunikationsanlagen	19
6 Berechnungsverfahren	19
6.1 Allgemeines	19
6.2 Berechnungsformeln	20
7 Messverfahren	21
7.1 Messungen an Starkstromleitungen	21
7.2 Messungen an Telekommunikationsanlagen	22
Anhang A (normativ) Psophometrische Bewertung	25
Anhang B (normativ) Spezifischer Erdbodenwiderstand	26
Anhang C (normativ) Reduktionsfaktoren	28
Anhang D (informativ) Berechnungsbeispiel	32
Bilder	
Bild 1 – Länge einer Näherung	10
Bild 2 – Kreuzung	11
Bild 3 – Längsspannung	11
Bild 4 – Querspannung	12
Bild 5 – Trennübertrager	16

	Seite
Bild 6 – Schema für die Messung von Beeinflussungsspannungen.....	22
Bild 7 – Prinzipschaltung für die Messung bei kombinierter Beeinflussung	23
Bild 8 – Anordnung zum Messen der Geräusch- und Fremdspannung	24
Bild B.1 – Betrag der auf 1 km bezogenen Gegeninduktivität M zwischen zwei Einfachleitungen mit Rückleitung über Erde in Abhängigkeit vom Abstand d , vom spezifischen Widerstand des Erdreichs ρ und von der Frequenz f	27
 Tabellen	
Tabelle 1 – Grenzwerte für eingekoppelte Spannungen (Effektivwerte)	13
Tabelle A.1 – Psophometrische Bewertung nach ITU O.41, Ausgabe 10/1994 [13]	25
Tabelle B.1 – Spezifischer Erdbodenwiderstand.....	26
Tabelle C.1.....	28
Tabelle C.2 – Richtwerte für den Schienenreduktionsfaktor r_S	29
Tabelle C.3 – Richtwerte für Reduktionsfaktoren eines Rückleiterseils	30
Tabelle C.4 – Richtwerte für den Erdseil-Reduktionsfaktor r_E	30
Tabelle C.5 – Richtwerte für Reduktionsfaktoren von Telekommunikationskabeln	31
Tabelle D.1 – Berechnungsbeispiel für Beeinflussungsströme im Erdkreis	32

Vorwort

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium UK 767.6 „Schutz von Einrichtungen der Informationstechnik gegen Überspannungen und niederfrequente Felder“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Er baut auch auf dem früheren europäischen Norm-Entwurf prEN 50351 auf. Das entsprechende europäische Normprojekt wurde nicht zum Abschluss gebracht und die europäischen Arbeiten wurden inzwischen eingestellt. Der CENELEC-Stillstand wurde daraufhin wieder aufgehoben und der Weg zur notwendigen Aktualisierung der DIN VDE 0228-1 (VDE 0228-1):1987-12 freigemacht.

Änderungen

Gegenüber DIN VDE 0228-1 (VDE 0228-1):1987-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Änderung der Nummer der Norm, da entsprechend einem diesbezüglichen Beschluss des zuständigen UK 767.6 die Normen der Reihen DIN VDE 0228 (VDE 0228) zum Beeinflussungsschutz und DIN VDE 0845 (VDE 0845) zum Überspannungsschutz von Einrichtungen der Informationstechnik (ITE) zukünftig in der Reihe DIN VDE 0845 (VDE 0845) zusammengefasst werden;
- b) Aktualisierung und redaktionelle Überarbeitung des Inhalts.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050-161:1990		–
EN 50110-1:2004	–	DIN EN 50110-1 (VDE 0105-1):2005-06	VDE 0105-1
EN 50174-3:2003	–	DIN EN 50174-3 (VDE 0800-174-3):2004-09	VDE 0800-174-3
EN 50423-1:2005	–	DIN EN 50423-1 (VDE 0210-10):2005-05	VDE 0210-10
EN 60071-1:2006	IEC 60071-1:2006	DIN EN 60071-1 (VDE 0111-1):2006-11	VDE 0111-1
EN 61643-311:2001	IEC 61643-311:2001	DIN EN 61643-311 (VDE 0845-5-1):2002-12	VDE 0845-5-1
EN 61477:2002 + A1:2002	IEC 61477:2001 + A1:2002	DIN EN 61477 (VDE 0682-130):2003-11	VDE 0682-130
–	–	DIN VDE 0855-300 (VDE 0855-300):2008-08	VDE 0855-300
–	–	DIN VDE 0891-6 (VDE 0891-6):1990-05	VDE 0891-6
–	–	E DIN VDE 0845-6-2 (VDE 0845-6-2) (in Vorbereitung)	VDE 0845-6-2
–	–	E DIN VDE 0845-6-3 (VDE 0845-6-2) (in Vorbereitung)	VDE 0845-6-3
–	–	E DIN VDE 0845-6-4 (VDE 0845-6-4) (in Vorbereitung)	VDE 0845-6-4
–	–	E DIN VDE 0845-6-5 (VDE 0845-6-5) (in Vorbereitung)	VDE 0845-6-5

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 50110-1 (VDE 0105-1):2005-06, *Betrieb von elektrischen Anlagen; Deutsche Fassung EN 50110-1: 2004*

DIN EN 50174-3 (VDE 0800-174-3):2004-09, *Informationstechnik – Installation von Kommunikationsverkabelung – Teil 3: Installationsplanung und -praktiken im Freien; Deutsche Fassung EN 50174-3:2003*

DIN EN 50423-1 (VDE 0210-10):2005-05, *Freileitungen über AC 1 kV bis einschließlich AC 45 kV – Teil 1: Allgemeine Anforderungen – Gemeinsame Festlegungen; Deutsche Fassung EN 50423-1:2005*

DIN EN 60071-1 (VDE 0111-1):2006-11, *Isolationskoordination – Teil 1: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen (IEC 60071-1:2006); Deutsche Fassung EN 60071-1:2006*

DIN EN 61477 (VDE 0682-130):2003-11, *Arbeiten unter Spannung – Mindestanforderungen für die Nutzung von Werkzeugen, Geräten und Ausrüstungen (IEC 61477:2001 + A1:2002); Deutsche Fassung EN 61477:2002 + A1:2002*

DIN EN 61643-311 (VDE 0845-5-1):2002-12, *Bauelemente für Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Teil 311: Festlegungen für Gasentladungsableiter (ÜsAg) (IEC 61643-311:2001); Deutsche Fassung EN 61643-311:2001*

DIN VDE 0855-300 (VDE 0855-300):2008-08, *Funksende-/empfangssysteme für Senderausgangsleistungen bis 1 kW – Teil 300: Sicherheitsanforderungen*

DIN VDE 0891-6 (VDE 0891-6):1990-05, *Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Fernmeldeanlagen und Informationsverarbeitungsanlagen – Besondere Bestimmungen für Außenkabel nach DIN VDE 0816 Teil 1 bis Teil 3*

E DIN VDE 0845-6-2 (VDE 0845-6-2):2010-xx, *Maßnahmen bei Beeinflussung von Telekommunikationsanlagen durch Starkstromanlagen – Teil 2: Beeinflussung durch Drehstromanlagen*

E DIN VDE 0845-6-3 (VDE 0845-6-2:2010-xx, *Maßnahmen bei Beeinflussung von Telekommunikationsanlagen durch Starkstromanlagen – Teil 3: Beeinflussung durch Wechselstrom-Bahnanlagen*

E DIN VDE 0845-6-4 (VDE 0845-6-4:2010-xx, *Maßnahmen bei Beeinflussung von Telekommunikationsanlagen durch Starkstromanlagen – Teil 3: Beeinflussung durch Gleichstrom-Bahnanlagen.*

E DIN VDE 0845-6-5 (VDE 0845-6-5):2010-xx, *Maßnahmen bei Beeinflussung von Telekommunikationsanlagen durch Starkstromanlagen – Teil 5: Beeinflussung durch Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ)*

1 Anwendungsbereich

In dieser Norm werden neben Berechnungs- und Messverfahren auch die Grenzwerte für die Spannungen und/oder Ströme festgelegt, die in einer Telekommunikationsanlage durch ein oder mehrere Starkstromanlagen erzeugt werden.

Der Frequenzbereich für das in dieser Norm behandelte Phänomen umfasst 0 Hz bis 9 kHz. Die Grundfrequenzen für die berücksichtigten Wechselstrom-Starkstromanlagen betragen 50 Hz bei Energieversorgungsanlagen und 16,7 Hz und 50 Hz bei Bahnstromanlagen. Gleichstrom-Starkstromanlagen werden in dieser Norm ebenfalls betrachtet.

Diese Norm gilt nicht für Starkstromanlagen mit Effektivwerten der Betriebsspannungen unter 1 000 V.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

[1] DIN EN 50110-1 (VDE 0105-1):2005-06, *Betrieb von elektrischen Anlagen; Deutsche Fassung EN 50110-1:2004* (EN 50110-1:2004)

[2] DIN EN 60071-1 (VDE 0111-1):2006-11, *Isulationskoordination – Teil 1: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen (IEC 60071-1:2006; Deutsche Fassung EN 60071-1:2006* (EN 60071-1:2006)

[3] DIN EN 50423-1 (VDE 0210-10):2005-05, *Freileitungen über AC 1 kV bis einschließlich AC 45 kV – Teil 1: Allgemeine Anforderungen – Gemeinsame Festlegungen* (EN 50423-1:2005)

[4] DIN EN 61477 (VDE 0682-130):2003-11, *Arbeiten unter Spannung – Mindestanforderungen für die Nutzung von Werkzeugen, Geräten und Ausrüstungen* (EN 61477:2002 + A1:2002)

[5] DIN EN 61643-311 (VDE 0845-5-1):2002-12, *Bauelemente für Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Teil 311: Festlegungen für Gasentladungsableiter (ÜsAg)* (EN 61643-311:2005)

[6] DIN VDE 0855-300 (VDE 0855-300):2008-08, *Funksende-/empfangssysteme für Senderausgangsleistungen bis 1 kW – Teil 300: Sicherheitsanforderungen*

[7] DIN VDE 0891-6 (VDE 0891-6):1990-05, *Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Fernmeldeanlagen und Informationsverarbeitungsanlagen – Besondere Bestimmungen für Außenkabel nach DIN VDE 0816 Teil 1 bis Teil 3*

[8] IEC 60050-161, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*

[9] ITU-T Recommendation G.120:1998-12, *International Telephone Connections and Circuits – General characteristics of national systems forming a part of international connections – Transmission characteristics of national networks*

[10] ITU-T Recommendation K.10:1996-10, *Low frequency interference due to unbalance about earth of telecommunication equipment*

[11] ITU-T Recommendation K.68:2008-04, *Management of electromagnetic interference on telecommunication systems due to power systems and operators' responsibilities*

[12] ITU-Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines – Volume II: Calculating induced voltages and currents in practical cases, 1999

[13] ITU-T Recommendation O.41:1994-10, *Specifications for measuring of analogue parameters, psophometer for use on telephone-type circuits*

[14] Technische Empfehlung Nr. 1, TE 1:2006-06, *Anleitung zur Berechnung der in Telekommunikations-(TK-)Leitungen durch Starkstromleitungen induzierten Spannungen*

[15] Technische Empfehlung Nr. 2, TE 2:2004-11, *Richtlinie über hochspannungsbeeinflusste Nachrichten-anlagen*

[16] Technische Empfehlung Nr. 3, TE 3:2003-12, *Richtlinie für Schutzmaßnahmen an TK-Anlagen gegen Beeinflussung durch Netze der elektrischen Energieübertragung, -verteilung sowie Wechselstrombahnen*

[17] Technische Empfehlung Nr. 6, TE 6:1987-04, *Richtlinie über Schutzmaßnahmen an Blockanlagen der Deutschen Bundesbahn gegen Beeinflussung durch Hochspannungsanlagen*

[18] Technische Empfehlung Nr. 8, TE 8:1980-03, *Anleitung zur rechnerischen und messtechnischen Ermittlung der Reduktionswirkung von Kompensationsleitern*

[19] DIN EN 50174-3 (VDE 0800-174-3):2004-09, *Informationstechnik – Teil 3: Installationsplanung und -praktiken im Freien* (EN 50174-3:2003)

Die vorstehend genannten Technischen Empfehlungen (TE 1, TE 2, TE 3 und TE 6) der Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen (SfB) können über die Internetadresse: www.sfb-emv.de bezogen werden.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-161 [8] und die folgenden Begriffe.

3.1

Beeinflussung

Einwirkung einer Starkstromanlage auf eine benachbarte Telekommunikationsanlage, die durch Kopplung über kapazitive, induktive oder ohmsche Widerstände den Betrieb der Telekommunikationsanlage beeinträchtigt

3.2

kapazitive Kopplung

Vorgang, bei dem das elektrische Feld, das durch das einen oder mehrere unter Spannung stehende Leiter erzeugt wird, einen anderen Leiter beeinflusst. Die Kopplung wird durch Kapazitäten zwischen den Leitern und dem beeinflussten Leiter gegen Erde bemessen

3.3

galvanische Kopplung

tritt auf, wenn ein Teilstrom der Starkstromanlage über die Telekommunikationsanlage fließt

3.4

induktive Kopplung

Vorgang, bei dem ein durch Strom in einem Leiter erzeugtes magnetisches Feld einen anderen Leiter beeinflusst. Die Kopplung wird durch die Gegeninduktivität der beiden Leiter bemessen

3.5

Starkstromanlage

elektrische Energieversorgungs- oder Bahnstromanlage

3.6

erdsymmetrische Starkstromanlage

Starkstromanlage, deren Spannungs- und Stromsysteme im Normalbetrieb eine hohe Erdsymmetrie haben

Dazu gehören:

- a) Drehstromsysteme (siehe DIN VDE 0845-6-2 (VDE 0845-6-2))¹⁾;
- b) 110-kV-Bahnstromleitungen (siehe DIN VDE 0845-6-3 (VDE 0845-6-3))²⁾;
- c) erdsymmetrische Wechselstrom-Bahnanlagen (siehe DIN VDE 0845-6-3 (VDE 0845-6-3))²⁾;
- d) erdsymmetrische Gleichstrom-Bahnanlagen (siehe DIN VDE 0845-6-4 (VDE 0845-6-4))²⁾;
- e) erdsymmetrische Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsanlagen (HGÜ-Anlagen) (siehe DIN VDE 0845-6-5 (VDE 0845-6-5))²⁾.

Eine erdsymmetrische Starkstromanlage kann bei Fehlern kurzzeitig oder vorübergehend erdunsymmetrisch sein. Bei erdsymmetrischen Systemen tritt Unsymmetrie durch Erdkurzschlüsse oder Doppelerdschlüsse auf, bei denen Kurzschlussströme oder Teilkurzschlussströme über Erde fließen (siehe DIN VDE 0845-6-2 (VDE 0845-6-2) und siehe DIN VDE 0845-6-3 (VDE 0845-6-3)). Vorübergehende Erdunsymmetrie entsteht durch Erdfehler, die nur eine Spannungsunsymmetrie hervorrufen (siehe DIN VDE 0845-6-2 (VDE 0845-6-2)) oder bei zeitweise unsymmetrischem Betrieb von Gleichstrom-Bahnanlagen (siehe DIN VDE 0845-6-4 (VDE 0845-6-4)) oder HGÜ-Stromkreisen (siehe DIN VDE 0845-6-5 (VDE 0845-6-5)).

3.7

erdunsymmetrische Starkstromanlage

Starkstromanlage, die im Normalbetrieb zumindest teilweise die Erde als Rückleitung für die elektrische Energie benutzt. Dazu gehören:

- a) Wechselstrom-Bahnanlagen (siehe DIN VDE 0845-6-3 (VDE 0845-6-3))²⁾;
- d) erdunsymmetrische Gleichstrom-Bahnanlagen (siehe DIN VDE 0845-6-4 (VDE 0845-6-4))²⁾;
- e) erdunsymmetrische Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsanlagen (HGÜ-Anlagen) (siehe DIN VDE 0845-6-5 (VDE 0845-6-5))²⁾.

3.8

Wechselstrom-Energieversorgungsanlage

zur elektrischen Energieübertragung bestimmte elektrische Wechselstromanlage, die Freileitungen, Kabel, Netzstationen (Schaltstationen) und alle Anlagen bzw. Einrichtungen umfasst, die mit ihr verbunden sind

ANMERKUNG Drehstromsysteme sind Dreiphasen-Wechselstromanlagen.

3.9

Gleichstrom-Energieversorgungsanlage

zur elektrischen Energieübertragung bestimmte elektrische Gleichstromanlage, die Freileitungen, Kabel, Netzstationen (Schaltstationen) und alle Anlagen bzw. Einrichtungen umfasst, die mit ihr verbunden sind

3.10

Wechselstrom-Bahnanlage

elektrische Wechselstromanlage einer Bahn einschließlich elektrischer Zugantriebe und Schienen

3.11

Gleichstrom-Bahnanlage

elektrische Gleichstromanlage einer Bahn einschließlich elektrischer Zugantriebe und Schienen

3.12

Telekommunikationsanlage

Anlage, die mit Hilfe physikalischer Verbindungen Informationen zwischen zwei oder mehreren Punkten überträgt. Die in dieser Norm berücksichtigten Telekommunikationsanlagen sind solche mit metallenen Elementen (z. B. metallene Adern, Kabelmantel usw.).

¹⁾ Zurzeit Entwurf.

²⁾ In Vorbereitung.

3.13

Normalbetrieb

Fehlerfreier Betrieb des beeinflussenden Systems. Transiente (kurzzeitige) Vorgänge infolge von Schaltvorgängen in Starkstromanlagen werden als normal betrachtet.

3.14

Fehlerfall

Fehlerfälle im Sinne der Beeinflussung sind unbeabsichtigte Verbindungen von stromdurchflossenen Leitern zur Erde oder zu irgendeinem geerdeten leitenden Gegenstand (Erdkurzschluss bzw. Erdschluss).

ANMERKUNG Mehrpolige Kurzschlüsse in Drehstromsystemen werden in DIN VDE 0845-6-2 (VDE 0845-6-2) behandelt.

3.15

Einflussbereich einer Starkstromanlage

Gebiet, in dem Beeinflussungen von Telekommunikationsanlagen berücksichtigt werden müssen. Der Einflussbereich wird durch den Grenzabstand festgelegt.

3.16

Grenzabstand

größter Abstand zwischen einer Leitung der Starkstromanlage und einer Telekommunikationsleitung, innerhalb dem eine Beeinflussung in Betracht zu ziehen ist

3.17

Näherung

der innerhalb des Grenzabstands liegende Teil einer Telekommunikationsleitung von der Eintrittsstelle bis zur Austrittsstelle

3.18

Näherungslänge

Summe der wirksamen Längen der Näherungsabschnitte (siehe Bild 1) einer Näherung

3.19

Näherungsabschnitt

Abschnitt der wirksamen Näherungslänge, innerhalb dem mit einem Mittelwert des Abstands zwischen der beeinflussenden und der beeinflussten Leitung sowie mit gleich bleibenden anderen Einflussgrößen gerechnet werden darf

3.20

Näherungsabstand

d

geometrischer Mittelwert der Abstände eines Näherungsabschnitts zwischen einer Leitung der Starkstromanlage und einer Telekommunikationsleitung, soweit sie innerhalb der Grenzabstände liegen. Der Näherungsabschnitt ist so zu bemessen, dass der größere Abstand das Dreifache des kleineren nicht überschreitet.

$$d = \sqrt{a_1 \cdot a_2} \quad \text{Bedingung: } \frac{1}{3} \leq \frac{a_2}{a_1} \leq 3$$

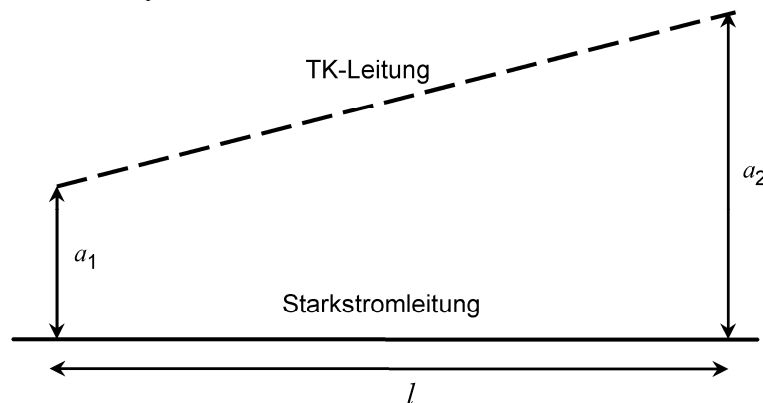


Bild 1 – Länge einer Näherung