

Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen
Wirtschaftliche Optimierung der Leiterquerschnitte von Kabeln
(IEC 1059 : 1991)
Deutsche Fassung HD 558 S1 : 1991

DIN
VDE 0298
Teil 100

Diese Norm enthält die Deutsche Fassung des Harmonisierungsdokumentes
Diese Norm enthält zugleich die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm

HD 558 S1
IEC 1059

Diese auch vom Vorstand des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE) e.V. genehmigte Norm ist damit zugleich eine **VDE-Bestimmung** im Sinne von VDE 0022. Sie ist unter obenstehender Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekanntgegeben worden.

Application of cables, wires and flexible cords in power installations;
Economic optimization of cable size;
(IEC 1059 : 1991)
German version HD 558 S1 : 1991

Das internationale Schriftstück IEC 1059 : 1991, „Economic Optimisation of power cable size“, ist unverändert in diesen deutschen Norm-Entwurf übernommen worden. IEC 1059 : 1991 ist identisch mit dem Harmonisierungsdokument HD 558 S1.

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm (VDE-Bestimmung) gilt ab 1. Dezember 1992.

Norm-Inhalt war veröffentlicht als Entwurf DIN VDE 0298 Teil 100/06.91.

Fortsetzung Seite 2
und 21 Seiten HD

Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)

Nationales Vorwort

Zuständig für die Übernahme des Harmonisierungsdokumentes HD 558 S1 ist das UK 411.1 „Starkstromkabel“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE). Das K 411 „Starkstromkabel und isolierte Starkstromleitungen“ hat die Veröffentlichung als Norm genehmigt. Das Harmonisierungsdokument HD 558 S1 ist auf dem Wege der Umfrage bei CENELEC auf der Basis des IEC-Schriftstückes 20A(Central Office)131 zustande gekommen.

Die im Abschnitt 2 zitierten IEC-Normen sind in folgende Deutsche Normen übernommen:

IEC 228 DIN VDE 0295

IEC 287 –

IEC 853 –

Zitierte Normen

– in der Deutschen Fassung:

Siehe Abschnitt 2

– in nationalen Zusätzen:

DIN VDE 0295 Leiter für Kabel und isolierte Leitungen für Starkstromanlagen

Internationale Patentklassifikation

H 02 B 1/20

H 01 B 9/00

**HARMONISIERUNGSDOKUMENT
HARMONIZATION DOCUMENT
DOCUMENT D'HARMONISATION**

HD 558 S1

März 1991

DK 621.315.3 : 658

Deskriptoren: Kabel, Hochspannung, Leiter, Querschnitt, Wahl, Kosten, Kalkulation

Deutsche Fassung

**Wirtschaftliche Optimierung der Leiterquerschnitte
von Kabeln
(IEC 1059 : 1991)**

Economic optimisation of power
cable size
(IEC 1059 : 1991)

Optimisation économique des sections
d'âme de câbles
(CEI 1059 : 1991)

Dieses Harmonisierungsdokument wurde von CENELEC am 1990-06-11 angenommen.
Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen für die Übernahme dieses Harmonisierungsdokuments auf nationaler Ebene festgelegt sind.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Dieses Harmonisierungsdokument besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch).

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR ELEKTROTECHNISCHE NORMUNG
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Das CENELEC-Fragebogenverfahren zur unveränderten Annahme der Internationalen Norm IEC 1059 : 1991 (Umfrage auf Basis von IEC 20A(CO)131) ergab, daß für die Annahme als Harmonisierungsdokument keine gemeinsamen CENELEC-Abänderungen notwendig waren.

Das Bezugsdokument wurde den CENELEC-Mitgliedern zur formellen Abstimmung vorgelegt und von CENELEC am 11. Juni 1991 als HD 558 S1 genehmigt.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum der Ankündigung des HD auf nationaler Ebene (doa): 1991-01-01
- spätestes Datum der Veröffentlichung einer harmonisierten nationalen Norm (dop): 1992-03-01
- spätestes Datum für die Zurückziehung entgegenstehender nationaler Normen (dow): 1992-03-01

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 1059 : 1991 wurde von CENELEC als Harmonisierungsdokument ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Inhalt

	Seite
Einleitung	2
Abschnitt	
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Symbole	5
4 Berechnung der Gesamtkosten	6
5 Bestimmung des wirtschaftlichen Leiterquerschnittes	8
5.1 Erste Methode: Der wirtschaftliche Strombereich für jeden Leiter in einer Reihe von Größen	8
5.2 Zweite Methode: Wirtschaftlicher Leiterquerschnitt für eine gegebene Last	8
Anhänge	
A Beispiele für die Berechnung des wirtschaftlichen Leiterquerschnitts	10
B Mittlere Leitertemperatur und Leiterwiderstand	19

Einleitung**1. Allgemeiner Teil**

Die im allgemeinen bei der Auswahl einer Kabelgröße angewendeten Verfahren führen zur zulässigen Mindestquerschnittsfläche und halten die Anfangsinvestitionskosten des Kabels so gering wie möglich. Die Kosten der während der Lebensdauer des Kabels anfallenden Verluste werden von diesem Verfahren nicht berücksichtigt.

Die steigenden Energiekosten erfordern in Verbindung mit den hohen Energieverlusten, die sich aus den Betriebstemperaturen ergeben, welche durch neuere Isolierstoffe (z. B. 90 °C bei XLPE und EPR) möglich sind, nunmehr eine Betrachtung der Auswahl der Kabelgröße vor einem weitergefaßten wirtschaftlichen Hintergrund. Anstatt lediglich die Anfangskosten so gering wie möglich zu halten, sollte die Summe der Anfangskosten und der Kosten der Verluste während der wirtschaftlichen Lebensdauer des Kabels so gering wie möglich gehalten werden. Bezüglich der letzteren Bedingung führt ein größerer als nach dem Gesichtspunkt der geringsten Anfangskosten gewählter Leiter zu einem geringeren Leistungsverlust bei demselben Strom und ist bei Berücksichtigung der gesamten wirtschaftlichen Lebensdauer sehr viel kostengünstiger.

Die späteren Kosten der Energieverluste während der wirtschaftlichen Lebensdauer des Kabels können durch angemessene Schätzungen des Lastwachstums und der Energiekosten berechnet werden. Die wirtschaftlichste Stromleitergröße wird erreicht, wenn die Summe aus zukünftigen Energieverlust-, Anschaffungs- und Verlegekosten so gering wie möglich gehalten wird.

Die Gesamtkosteneinsparung, wenn eine größere Leitergröße gewählt wird als die, die durch thermische Zwänge bestimmt wird, ist der beträchtlichen Reduzierung der Kosten bei Energieverlusten im Vergleich zur Erhöhung der Kaufkosten zuzuschreiben. Für die Werte der in dieser Norm verwendeten finanziellen und elektrischen Parameter, die nicht außergewöhnlich sind, liegt die Einsparung bei den kombinierten Kauf- und Betriebskosten in der Größenordnung von 50 %, siehe Abschnitt A.6 in Anhang A. Berechnungen für sehr viel kürzere Finanzzeiträume können ein ähnliches Muster aufweisen.

Ein weiteres wichtiges Merkmal, das von den Beispielen demonstriert wird, ist, daß die möglichen Einsparungen nicht kritisch von den Leiterquerschnitten abhängen, wenn diese im Bereich des wirtschaftlichen Wertes liegen; siehe Bild A.3. Dies hat zwei Auswirkungen:

- a) Die Einwirkung von Fehlern bei Finanzdaten, insbesondere solchen, die die späteren Kosten bestimmen, ist gering. Es ist zwar vorteilhaft, Daten mit größtmöglicher Genauigkeit anzustreben, doch können beträchtliche Einsparungen mit Daten erzielt werden, die auf vernünftigen Schätzungen beruhen.
- b) Andere Betrachtungen bezüglich der Wahl des Leiterquerschnittes, die für die Gesamtwirtschaftlichkeit einer Anlage kennzeichnend sind, wie Fehlerströme, Spannungsabfall und Querschnittsrationalisierung, können mit angemessener Betonung behandelt werden, ohne daß zu viele der Vorteile aus der Wahl einer wirtschaftlichen Größe verlorengehen.

2. Wirtschaftliche Aspekte

Um die Kauf- und Installationskosten mit den Kosten der Energieverluste zu kombinieren, die während der wirtschaftlichen Lebensdauer eines Kabels entstehen, muß man sie in vergleichbaren wirtschaftlichen Werten ausdrücken, d. h. Werten, die sich auf denselben Zeitpunkt beziehen. Dabei ist es nützlich, das Kaufdatum der Installation als diesen Punkt zu verwenden und sich darauf als auf die „Gegenwart“ zu beziehen. Die „zukünftigen“ Kosten der Energieverluste werden dann in ihre äquivalenten „gegenwärtigen Werte“ umgerechnet. Dies geschieht durch das Verfahren der „Diskontierung“, wobei der Diskontierungssatz mit den Kosten der Kreditaufnahme verbunden ist.

In dem hier beschriebenen Verfahren wurde die Inflation aufgrund dessen nicht berücksichtigt, weil sie sich sowohl auf die Kosten für die Kreditaufnahme als auch auf die Energiekosten auswirkt. Werden diese Punkte über den gleichen Zeitraum betrachtet und ist die Auswirkung der Inflation für beide ungefähr gleich, kann in zufriedenstellender Weise eine wirtschaftliche Kabelgröße ausgewählt werden, ohne die zusätzliche Komplikation der Inflation einzuführen.

Um den gegenwärtigen Wert der Verlustkosten zu berechnen, ist es notwendig, Werte für die zukünftige Entwicklung der Last, der jährlichen Erhöhung des kWh-Preises und der jährlichen Diskontierungssätze über die gesamte wirtschaftliche Lebensdauer des Kabels hinweg zu wählen, die 25 Jahre oder mehr betragen kann. In dieser Veröffentlichung können keine Richtlinien hinsichtlich dieser Aspekte gegeben werden, da sie von den Bedingungen und finanziellen Zwängen der einzelnen Installationen abhängen. Es werden lediglich die passenden Gleichungen gegeben: es liegt in der Verantwortung der Projektierung, sich über die anzuwendenden wirtschaftlichen Faktoren einig zu werden.

Die in dieser Norm vorgeschlagenen Gleichungen sind recht einfach, aber bei ihrer Anwendung sollte entsprechend berücksichtigt werden, daß man davon ausgeht, daß die Finanzparameter während der wirtschaftlichen Lebensdauer des Kabels unverändert bleiben. Dennoch sind die Kommentare im vorhergehenden Abschnitt über die Auswirkung der Genauigkeit dieser Parameter auch hier relevant.

Es gibt für die Berechnung der wirtschaftlichen Kabelgröße zwei Methoden, die auf denselben finanziellen Konzepten basieren. Bei der ersten, bei der man eine Reihe von Leitergrößen betrachtet, wird ein Bereich von wirtschaftlichen Strömen für jede der Leitergrößen berechnet, die für besondere Installationsbedingungen ins Auge gefaßt wurden, und dann wird die Größe ausgewählt, deren wirtschaftlicher Bereich den erforderlichen Lastwert enthält. Diese Methode ist geeignet, wenn mehrere ähnliche Installationen betrachtet werden. Bei der zweiten Methode, die dort geeigneter sein kann, wo nur eine Installation betroffen ist, ist die optimale Querschnittsfläche für die erforderliche Last zu berechnen und dann der nächstgelegene Norm-Leiterquerschnitt auszuwählen.

3. Andere Kriterien

Andere Kriterien, z. B. Kurzschlußstrom und seine Dauer, Spannungsfall und Leiterquerschnittsrationalisierung müssen auch betrachtet werden. Ein Kabel, das mit wirtschaftlicher Stromleitergröße gewählt wurde, kann jedoch auch unter diesen anderen Gesichtspunkten zufriedenstellend sein, so daß die folgende Aufstellung nützlich sein kann, wenn eine Kabelgröße zu bestimmen ist.

- a) Berechnung der wirtschaftlichen Querschnittsfläche
- b) Mittels der in IEC 287 und IEC 853 gegebenen Verfahren ist zu prüfen, ob die durch a) angegebene Größe die am Ende der wirtschaftlichen Periode erwartete Maximallast tragen kann, ohne daß die Leitertemperatur den zulässigen Maximalwert überschreitet;
- c) Prüfung, ob der Querschnitt des gewählten Kabels für die entsprechende Dauer die voraussichtlichen Kurzschluß- und Erdschlußströme sicher führen kann;
- d) Prüfung, ob der Spannungsfall am Kabelende innerhalb akzeptabler Grenzen liegt;
- e) Prüfung hinsichtlich anderer Kriterien, die für die Installation zutreffen.

Zur Vervollständigung des Bereichs der wirtschaftlichen Auswahl sollte den Folgen einer Versorgungsunterbrechung das angemessene Gewicht beigemessen werden. Es ist möglicherweise notwendig, einen größeren Leiterquerschnitt zu verwenden, als bei normalen Lastbedingungen erforderlich wäre, und/oder die wirtschaftliche Wahl erfordern würde oder das Netz entsprechend anzupassen.

Seite 4
HD 558 S1 : 1991

Eine weitere Kostenkomponente liegt möglicherweise in den finanziellen Konsequenzen einer Fehlentscheidung, die je nach ihrer Wahrscheinlichkeit bewertet wird. Dabei gelangt man aber in den Bereich der Entscheidungstheorie, der außerhalb des Rahmens dieser Norm liegt.

Folglich ist die Bestimmung der Kabelgröße nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten nur ein Teil der gesamtwirtschaftlichen Betrachtung eines Systems und kann anderen wichtigen wirtschaftlichen Faktoren weichen.

Wirtschaftliche Optimierung der Leiterquerschnitte von Kabeln

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm behandelt ausschließlich die wirtschaftliche Auswahl des Leiterquerschnittes, basierend auf Energieverlusten. Spannungsabhängige Verluste sind nicht berücksichtigt worden.

Anmerkung 1: Es wird empfohlen, die in dieser Norm dargestellte Methode nicht bei Kabeln anzuwenden, die bei Systemspannungen gleich oder größer als die folgenden (siehe IEC 287) betrieben werden:

Kabeltyp	Systemspannung U_0 in kV
Kabel, isoliert mit imprägniertem Papier:	
einadrig	38
Öl- und Gasdruckkabel	63,5
Kabel mit anderen Isolierungstypen:	
Butylgummi	18
EPR	63,5
PVC	6
PE (hohe und geringe Dichte)	127
XLPE (ungefüllt)	127
XLPE (gefüllt)	63,5

Anmerkung 2: Modifikationen zu der in dieser Norm vorgeschlagenen Methode werden gegenwärtig erörtert, um die elektrischen Verluste zu berücksichtigen.

Ebenso wurden auch Punkte wie Wartung, Energieverluste in Zwangskühlsystemen und Tageszeit-Energiekosten nicht in diese Norm aufgenommen.

Beispiele zur Anwendung der Methode auf ein hypothetisches Versorgungssystem werden in Anhang A dargestellt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Normen enthalten Angaben, die, durch Verweis in diesem Text, Angaben dieser Internationalen Norm darstellen. Zum Zeitpunkt der Herausgabe gelten die angegebenen Ausgaben. Alle Normen unterliegen der Überarbeitung, und Verhandlungspartner, die sich auf diese Internationale Norm beziehen wollen, sind bei ihrer Anwendung aufgefordert, möglichst die neuesten Ausgaben der genannten Normen anzuwenden. Die Mitglieder von IEC und ISO halten Verzeichnisse der jeweils gültigen Internationalen Normen bereit.

IEC 228: 1978, Leiter von Kabeln und isolierten Leitungen

IEC 287: 1982, Berechnung der Dauerbelastbarkeit von Kabeln (100 % Last)

IEC 853: Berechnung der Strombelastbarkeit von Kabeln bei zyklischer Last und bei Notbetrieb

3 Symbole

A	variable Kostenkomponente, bezogen auf die Länge und die Leitergröße	$\text{cu}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$
B	Hilfsgröße, definiert durch die Gleichung (16)	–
C	konstante Komponente der Kosten je Einheitslänge, bezogen auf die Verlegungsbedingungen usw.	cu/m
CT	Gesamtkosten eines Systems	cu
D	Tarifgebühr/Jahr	$\text{cu}/(\text{W} \cdot \text{Jahr})$
F	Hilfsgröße, definiert durch die Gleichung (10)	cu/W
I_{max}	Maximallast im ersten Jahr, d. h. der höchste Durchschnittsstundenwert	A
$I(t)$	Last als eine Funktion der Zeit	A
l	Kabellänge	m
CJ	gegenwärtig Betrag der Kosten aus Stromwärmeverlusten während N Jahren	cu
N	der von finanziellen Berechnungen abgedeckte Zeitraum, auch „wirtschaftliche Lebensdauer“ genannt	Jahre
N_p	Anzahl der Phasenleiter/Stromkreis	
N_c	Anzahl der Stromkreise mit gleichem Typ und gleichem Lastwert	