

	DIN IEC 60079-25 (VDE 0170-10-1)	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 29.260.20

Einsprüche bis 2007-09-30

Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 60079-25
(VDE 0170/0171-10-1):2004-09

Entwurf

Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 25: Eigensichere Systeme (IEC 31G/171/CD:2007)

Explosive atmospheres –
Part 25: Intrinsically safe systems
(IEC 31G/171/CD:2007)

Atmosphères explosives –
Partie 25: Systèmes de sécurité intrinsèque
(CEI 31G/171/CD:2007)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf 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 147 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 31G/171/CD:2007 „Explosive atmospheres – Part 25: Intrinsically safe systems“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom SC 31G „Intrinsically-safe apparatus“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 241 „Schlagwetter- und explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (<http://www.dke.de>) zuständig.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60079-25 (VDE 0170/0171-10-1):2004-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Aufnahme des Feldbus-Eigensicherheitskonzeptes (FISCO);
- b) Aufnahme des Konzeptes nichtzündfähiger Feldbussysteme (FNICO);
- c) Aufnahme der Staubgruppen definiert als Gruppe III;
- d) Aufnahme des Schutzniveaus „ic“;
- e) Ergänzung des Abschnittes 8 „Verbindungsverdrahtung / in einem eigensicheren elektrischen System verwendete Kabel“;
- f) Aufnahme von Anforderungen an Kabeln und mehradrige Kabeln in Abschnitt 9;
- g) Aufnahme eines Abschnittes für den Abschluss eigensicherer Stromkreise als Abschnitt 10.

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
HD 588.1 S1:1991	IEC 60060-1:1989 + Corrigendum 1990	DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1):1994-06	VDE 0432-1
EN 60079-0:2006	IEC 60079-0:2004, modifiziert	DIN EN 60079-0 (VDE 0170-1):2007-05	VDE 0170-1
—	IEC 60079-11:2005	—	—
EN 60079-14:2003	IEC 60079-14:2002	DIN EN 60079-14 (VDE 0165-1):2004-07	VDE 0165-1
EN 61158-2:2004	IEC 61158-2:2003 + Corrigendum 2004	DIN EN 61158-2:2005-05	—
EN 60529:1991 + A1:2000	IEC 60529:1989 + A1:1999	DIN EN 60529 (VDE 0470-1): 2000-09	VDE 0470-1

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1), *Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 1: Allgemeine Festlegungen und Prüfbedingungen.*

DIN EN 60079-0 (VDE 0170-1), *Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche – Teil 0: Allgemeine Anforderungen.*

DIN EN 60079-14 (VDE 0165-1), *Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche – Teil 14: Elektrische Anlagen für gefährdete Bereiche (ausgenommen Grubenbaue).*

DIN EN 61158-2, *Digitale Datenkommunikation in der Leittechnik – Feldbus für industrielle Leitsysteme – Teil 2: Spezifikation der Bitübertragungsschicht (Physical Layer).*

DIN EN 60529 (VDE 0470-1), *Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code).*

Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 25: Eigensichere Systeme

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe.....	6
4 Dokument der Systembeschreibung.....	8
5 Einteilung in Gruppen und Klassen	8
6 Schutzniveaus.....	8
6.1 Allgemeines	8
6.2 Schutzniveau „ia“	9
6.3 Schutzniveau „ib“	9
6.4 Schutzniveau „ic“	9
7 Umgebungstemperaturbemessung	9
8 Verbindungsverdrahtung / in einem eigensicheren elektrischen System verwendete Kabel.....	9
9 Anforderungen an Kabel und mehradrige Kabel	10
9.1 Allgemeines	10
9.2 Mehradrige Kabel.....	10
9.3 Elektrische Kennwerte von Kabeln	10
9.4 Leitende Schirmungen	10
9.5 Typen von mehradrigen Kabeln.....	10
10 Abschluss eigensicherer Stromkreise.....	11
11 Erdung und Potentialausgleich eigensicherer Systeme	11
12 Blitzschutz und Schutz gegen sonstige elektrische Überspannungen	11
13 Bewertung eines eigensicheren Systems.....	12
13.1 Allgemeines	12
13.2 Einfache Betriebsmittel	13
13.3 Analyse induktiver Stromkreise	14
13.4 Fehler in mehradrigen Kabeln	14
13.5 Überprüfungen und Typprüfungen.....	15
14 Kennzeichnung	15
15 Vorher festgelegte Systeme	15
Anhang A (informativ) Bewertung eines einfachen eigensicheren Systems	16
Anhang B (normativ) Bewertung von Stromkreisen mit mehr als einer Energiequelle.....	19
Anhang C (informativ) Zusammenschaltung nichtlinearer und linearer eigensicherer Stromkreise.....	23
Anhang D (normativ) Verifizierung von induktiven Kennwerten	59
Anhang E (informativ) Ein mögliches Format für Zeichnungen der Systembeschreibung und Installationszeichnungen	61
Anhang F (informativ) Überspannungsschutz eines eigensicheren Stromkreises	64
Anhang G (normativ) Prüfung von elektrischen Kabelkennwerten	67

	Seite
Anhang H (Informativ/normativ?) Die Verwendung einfacher Betriebsmittel in Systemen	69
Anhang I (normativ) FISCO-Systeme	71
Bild 1 – Systemanalyse.....	13
Bild 2 – Typisches System mit einfachen Betriebsmitteln	14
Bild B.1 – In Reihe geschaltete Energiequellen	21
Bild B.2 – Parallel geschaltete Energiequellen	21
Bild B.3 – Ohne Festlegung zusammengeschaltete Energiequellen	22
Bild C.1 – Ersatzschaltung und Ausgangskennlinie ohmscher Stromkreise	24
Bild C.2 – Strom- und/oder Spannungsaddition bei Zusammenschaltungen.....	26
Bild C.3 – Ausgangskennlinie und Ersatzschaltung einer Quelle mit trapezförmiger Kennlinie.....	29
Bild C.4 – Beispiel einer Zusammenschaltung	33
Bild C.5 – Summenkennlinien zum Stromkreis nach Bild C.4	35
Bild C.6 – Strom- oder Spannungsaddition des Beispiels nach Bild C.4	36
Bild C.7 – Grenzkurvendiagramm für allgemeine Quellkennlinien – Gruppe IIC	47
Bild C.8 – Grenzkurvendiagramm für allgemeine Quellkennlinien – Gruppe IIB.....	57
Bild C.9 – Kopierschablone für allgemeine Quellkennlinien	58
Bild D.1 – Typischer induktiver Stromkreis	60
Bild E.1 – Typisches Blockschaltbild für ein eigensicheres System aus dem Dokument der Systembeschreibung	62
Bild E.2 – Typische Installationszeichnung für ein eigensicheres System	63
Bild F.1 – Anforderungen an den Überspannungsschutz in einem Instrumentenstromkreis	66
Bild I.1 – Typisches System.....	73
Tabelle C.1 – Erforderliche Größen zur Beschreibung der Ausgangskennlinie	27
Tabelle C.2 – Zuordnung der Diagramme zu den Betriebsmittelgruppen und Induktivitäten.....	30

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 60079 enthält die spezifischen Anforderungen an Aufbau und Prüfung eigensicherer elektrischer Systeme in Schutzart „i“, die vollständig oder teilweise für die Verwendung in gasexplosionsgefährdeten Bereichen der Gruppe I oder der Gruppe II oder in explosionsgefährdeten Staubatmosphären der Gruppe III vorgesehen sind. Die vorliegende Norm ist zur Anwendung vom Konstrukteur des Systems vorgesehen, der ein Hersteller, ein Fachberater oder ein Angehöriger der Belegschaft des Endanwenders ein kann.

Die vorliegende Norm ergänzt und modifiziert die allgemeinen Anforderungen von IEC 60079-0. Steht eine Anforderung der vorliegenden Norm im Widerspruch zu den Anforderungen von IEC 60079-0, hat die Anforderung der vorliegenden Norm Vorrang.

Diese Norm ergänzt IEC 60079-11, deren Anforderungen für elektrische Betriebsmittel gelten, die in eigensicheren elektrischen Systemen verwendet werden.

Die Anforderungen an die Errichtung eines Systems der Gruppe II, das nach der vorliegenden Norm ausgelegt ist, sind in IEC 60079-14 festgelegt.

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).

IEC 60060-1, *High voltage techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60079-0, *Electrical apparatus for explosive gas atmospheres – Part 0: General requirements*

IEC 60079-11:2005, *Electrical apparatus for explosive gas atmospheres – Part 11: Intrinsic safety “i”*

IEC 60079-14:2002, *Electrical apparatus for explosive gas atmospheres – Part 14: Electrical installations in hazardous areas (other than mines)*

IEC 61158-2, *Digital data communications for measurement and control – Fieldbus for use in industrial control systems – Part 2: Physical layer specification and service definition*

IEC 60529, *Degree of protection provided by enclosure (IP Code)*

MT-ANMERKUNG Überarbeitete Normtitel, Normnummern, Daten und Abschnittsnummern entsprechend aktualisieren.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden spezifischen Begriffe für eigensichere elektrische Systeme. Sie ergänzen die in IEC 60079-0 und IEC 60079-11 angegebenen Begriffe.

ANMERKUNG Zusätzliche, für gasexplosionsgefährdete Bereiche geltende Definitionen sind dem Kapitel 426 des Internationalen Elektrotechnischen Wörterverzeichnisses (IEV) IEC 60050 (426) zu entnehmen.

3.1

eigensicheres elektrisches System

Baugruppe aus miteinander verbundenen elektrischen Betriebsmitteln, die im Dokument der Systembeschreibung dargestellt sind und in der die Stromkreise oder Teile von Stromkreisen, die für die Benutzung in einem explosionsgefährdeten Bereich vorgesehen sind, eigensichere Stromkreise sind

3.1.1

bescheinigtes eigensicheres elektrisches System

eigensicheres elektrisches System in Übereinstimmung mit 3.1, für das ein Zertifikat ausgestellt wurde, in dem bestätigt wird, dass das elektrische System mit IEC 60079-25 übereinstimmt

3.1.2

nicht bescheinigtes eigensicheres elektrisches System

eigensicheres elektrisches System in Übereinstimmung mit 3.1, bei dem die Kenntnisse der elektrischen Kennwerte der verwendeten bescheinigten eigensicheren elektrischen Betriebsmittel, bescheinigten zugehörigen Betriebsmittel, einfachen Betriebsmittel und die Kenntnisse der elektrischen und physikalischen Kennwerte der Verbindungsverdrahtung die eindeutige Schlussfolgerung erlauben, dass die Eigensicherheit sichergestellt ist

3.2

Dokument der Systembeschreibung

Dokument, in dem die einzelnen elektrischen Betriebsmittel, deren elektrische Kennwerte und die der Verbindungsverdrahtung festgelegt sind

3.3

Systemgestalter

Person, die für das Dokument der Systembeschreibung verantwortlich ist, die erforderliche Kompetenz zur Erfüllung der Aufgabe hat und die ermächtigt ist, im Namen ihres Arbeitgebers in Verpflichtungen einzutreten

3.4

größte Kabelkapazität (C_c)

größte Kapazität des Verbindungskabels, das in einem eigensicheren Stromkreis ohne Aufhebung der Eigensicherheit eingeschaltet werden kann

3.5

größte Kabelinduktivität (L_c)

größte Induktivität des Verbindungskabels, das in einen eigensicheren Stromkreis ohne Aufhebung der Eigensicherheit eingeschaltet werden kann

3.6

größtes Kabelinduktivitäts-/Widerstandsverhältnis (L_c/R_c)

größter Wert des Verhältnisses von Induktivität (L_c) zu Widerstand (R_c) des Verbindungskabels, das in einen eigensicheren Stromkreis ohne Aufhebung der Eigensicherheit eingeschaltet werden kann

3.7

lineare Stromversorgung

Energiequelle, deren verfügbarer Ausgangsstrom durch einen Widerstand bestimmt wird. Die Ausgangsspannung sinkt linear mit der Erhöhung des Ausgangsstromes ab

3.8

nicht lineare Stromversorgung

Quelle, bei der die Ausgangsspannung und der Ausgangsstrom einen nichtlinearen Zusammenhang aufweisen

BEISPIEL: Eine mit Halbleiterbauelementen geregelte Versorgung, die bis zu einem konstanten Stromgrenzwert eine konstante Ausgangsspannung hat.

3.9

FISCO

Feldbus-Eigensicherheitskonzept

3.10

FNICO

Konzept nichtzündfähiger Feldbussysteme

4 Dokument der Systembeschreibung

Ein Dokument der Systembeschreibung muss für sämtliche Systeme erarbeitet werden. Das Dokument der Systembeschreibung muss eine ausreichende Analyse des Schutzniveaus bereitstellen, das vom System erreicht wird.

In Anhang E werden Beispiele typischer Schaltbilder zur Erläuterung der Anforderungen an das Dokument der Systembeschreibung angegeben.

Die Mindestanforderungen sind:

- a) Blockschaltbild des Systems, in dem sämtliche Betriebsmittel innerhalb des Systems verzeichnet sind;
- b) Angabe der Unterteilung der Betriebsmittelgruppe, des Schutzniveaus für jedes Betriebsmittel, Temperaturklasseneinteilung und Bemessung der Umgebungstemperatur des Systems nach 5, 6 und 7;
- c) die Anforderungen und zulässigen Kennwerte der Verbindungsverdrahtung nach 8;
- d) Einzelheiten der Erdungs- und Verbindungspunkte des Systems nach 11. Bei der Verwendung von Überspannungsschutzeinrichtungen muss auch eine Untersuchung nach 12 enthalten sein;
- e) falls zutreffend, muss die Begründung der Bewertung von Betriebsmitteln als 'einfaches Betriebsmittel' nach IEC 60079-11 enthalten sein. Besonders dort, wo mehrere Arten von einfachen Betriebsmitteln eingeschlossen sind, muss die Analyse der Summierung ihrer Kennwerte zur Verfügung stehen. Deren Zusammenwirken muss in einem Blockschaltbild dargestellt sein; ein Beispiel eines derartigen Blockschaltbildes ist in Bild 2 aufgeführt.
- f) eine eindeutige Kennzeichnung des Dokuments der Systembeschreibung muss erarbeitet werden;
- g) der Systemgestalter muss das Dokument unterschreiben und mit dem Datum versehen.

5 Einteilung in Gruppen und Klassen

Eigensichere elektrische Systeme müssen der Gruppe I, Gruppe II oder Gruppe III, wie in IEC 60079-0 festgelegt, zugeordnet werden. Eigensichere Systeme der Gruppe II und Gruppe III als Ganzes oder Teile davon müssen gegebenenfalls eine entsprechende weitere Unterteilung der Gruppe aufweisen.

Für Betriebsmittel in einem eigensicheren elektrischen System der Gruppe II und Gruppe III, die für den Einsatz in gas- oder staubexplosionsgefährdeten Bereichen vorgesehen sind, muss eine Oberflächentemperaturklasse oder eine höchste Oberflächentemperatur nach IEC 60079-0 und IEC 60079-11 angegeben werden.

Betriebsmittel in einem eigensicheren System der Gruppe I, die für die Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen vorgesehen sind, dürfen dort, wo sich Kohlenstaub als Schicht ablagern kann, eine höchste Oberflächentemperatur von 150 °C oder dort, wo keine Ablagerung von Kohlenstaub als Schicht zu erwarten ist, z. B. wegen Abdichtung mit einem Schutzgrad von IP54 oder höher nach IEC 60529, von 450 °C haben.

ANMERKUNG 1 Bei eigensicheren elektrischen Systemen der Gruppe II und Gruppe III oder Teilen davon dürfen die Unterteilungen A, B und C abweichend zu den im System enthaltenen eigensicheren elektrischen Betriebsmitteln und zugehörigen elektrischen Betriebsmitteln sein.

ANMERKUNG 2 Verschiedene Teile desselben eigensicheren elektrischen Systems dürfen unterschiedliche Unterteilungen (A, B, C) aufweisen. Die verwendeten Betriebsmittel dürfen unterschiedliche Oberflächentemperaturklassen und unterschiedliche Bemessungswerte der Umgebungstemperatur haben.

6 Schutzniveaus

6.1 Allgemeines

Jedes Teil eines eigensicheren elektrischen Systems, das für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen vorgesehen ist, wird entweder ein Schutzniveau von „ia“, „ib“ oder „ic“ nach IEC 60079-11 haben. Das vollständige System erfordert nicht zwangsläufig ein einziges Schutzniveau.

ANMERKUNG Ist beispielsweise ein Messgerät, das ein „ib“-Messgerät ist, für den Anschluss eines „ia“-Messfühlers ausgelegt, wie ein pH-Messgerät mit angeschlossener Sonde, dann ist der Teil des Systems bis zu dem Messgerät „ib“ und der Sensor mit seinen Anschlüssen „ia“.

Abschnitt 13 enthält Einzelheiten der erforderlichen Bewertung.

6.2 Schutzniveau „ia“

Wo die für ein Betriebsmittel des Schutzniveaus „ia“ (siehe 5.2 von IEC 60079-11) geltenden Anforderungen von einem eigensicheren System oder Teil eines als eine Gesamtheit angesehenen Systems erfüllt werden, muss dieses System oder der Teil eines Systems dem Schutzniveau „ia“ zugeordnet werden.

6.3 Schutzniveau „ib“

Wo die für ein Betriebsmittel des Schutzniveaus „ib“ (siehe 5.3 von IEC 60079-11) geltenden Anforderungen von einem eigensicheren System oder Teil eines als eine Gesamtheit angesehenen Systems erfüllt werden, muss dieses System oder der Teil eines Systems dem Schutzniveau „ib“ zugeordnet werden.

6.4 Schutzniveau „ic“

Wo die für ein Betriebsmittel des Schutzniveaus „ic“ (siehe 5.4 von IEC 60079-11) geltenden Anforderungen von einem eigensicheren System oder Teil eines als eine Gesamtheit angesehenen Systems erfüllt werden, muss dieses System oder der Teil eines Systems dem Schutzniveau „ic“ zugeordnet werden.

7 Umgebungstemperaturbemessung

Wo ein Teil oder das gesamte eigensichere System als für den Betrieb außerhalb des bestimmungsgemäßen Betriebstemperaturbereiches von -20 °C bis $+40\text{ °C}$ geeignet angegeben ist, muss das im Dokument der Systembeschreibung festgelegt werden.

8 Verbindungsverdrahtung / in einem eigensicheren elektrischen System verwendete Kabel

Die elektrischen Kennwerte der Verbindungsverdrahtung, von der die Eigensicherheit abhängt, und die Ableitung dieser Kennwerte müssen im Dokument der Systembeschreibung festgelegt sein. Alternativ dazu muss ein spezieller Kabeltyp festgelegt sein und die Begründung für dessen Einsatz muss in der Dokumentation enthalten sein. Dort, wo ein spezieller Kabeltyp festgelegt ist, muss er die betreffenden Anforderungen von Abschnitt 9 erfüllen.

Sofern zutreffend, muss das Dokument der Systembeschreibung auch die zulässigen Typen der in 9 vorgeschriebenen mehradrigen Kabel festlegen, die jeder einzelne Stromkreis benutzen darf. In dem besonderen Fall, wo Fehler zwischen separaten Stromkreisen nicht berücksichtigt worden sind, muss eine Anmerkung im Blockschaltbild des Dokuments der Systembeschreibung mit folgendem Wortlaut ergänzt werden: „Wo das Verbindungskabel Teile eines mehradrigen Kabels einbezieht, das andere eigensichere Stromkreise enthält, muss das mehradrige Kabel die Anforderungen an mehradrige Kabel vom Typ A und B erfüllen, wie in Abschnitt 9 von IEC 60079-25 festgelegt“.

Ein mehradriges Kabel darf nebeneinander keine eigensicheren und nicht eigensicheren Stromkreise enthalten.

Mehradrige Kabel dürfen mehr als einen der eigensicheren 'ia'-, 'ib'- oder 'ic'-Stromkreise umfassen, die zu den betreffenden, in 13 festgelegten Fehlern neigen. Eigensichere 'ic'-Stromkreise dürfen nur in einem mehradrigen Kabel vom Typ A oder Typ B betrieben werden.

ANMERKUNG Dieser Abschnitt ist nicht dafür vorgesehen, die Verwendung von blanken Leitern in einem Signalsystem zu unterbinden; diese sollten nur als einfache Betriebsmittel und nicht als Verbindungsverdrahtung angesehen werden.

9 Anforderungen an Kabel und mehradrige Kabel

9.1 Allgemeines

Der Durchmesser eines Einzelleiters oder der Litzen von mehrdräftigen Leitern innerhalb des gefährdeten Bereichs darf nicht geringer sein als 0,1 mm.

Die radiale Dicke der Isolierung von jeder Ader muss sich nach dem Durchmesser des Leiters und der Art der Isolierung richten und bei der Gruppe I mindestens 0,3 mm und bei der Gruppe II und Gruppe III mindestens 0,2 mm betragen.

9.2 Mehradrige Kabel

Mehradrige Kabel müssen einer dielektrischen Prüfung von mindestens

- 500 V Effektivwert Wechselspannung oder 750 V Gleichspannung standhalten, die zwischen Leiter – Erde, Leiter – Schirmung, Schirmung – Erde und Leiter – Bewehrung angelegt wird;
- 1 000 V Effektivwert Wechselspannung oder 1 500 V Gleichspannung standhalten, die zwischen einem Leiterbündel angelegt wird, das aus einer Hälfte der miteinander verbunden Adern des Kabels und einem Leiterbündel der anderen Hälfte der miteinander verbundenen Adern besteht. Diese Prüfung ist nicht auf mehradrige Kabel mit leitenden Schirmungen für einzelne Stromkreise anwendbar.

Die Prüfung der Durchschlagsfestigkeit muss in Übereinstimmung mit einer entsprechenden Kabelnorm oder nach 10.3 von IEC 60079-11 vorgenommen werden

9.3 Elektrische Kennwerte von Kabeln

Die elektrischen Kennwerte C_c und L_c oder C_c und L_c/R_c für alle Kabel, die in einem eigensicheren System verwendet werden, müssen nach a), b) oder c) bestimmt werden:

- die ungünstigsten elektrischen Kennwerte, die vom Kabelhersteller vorgegeben sind;
- elektrische Kennwerte, die durch Messung einer Probe mit dem in Anhang G beschriebenen Verfahren zum Prüfen der elektrischen Kennwerte von Kabeln ermittelt wurden;
- 200 pF/m und entweder 1 µH/m oder ein Induktivitäts-/Widerstandsverhältnis (L_c/R_c), berechnet durch Dividieren von 1 µH durch den vom Hersteller festgelegten Schleifenwiderstand je Meter, wo die Verbindung zwei oder drei Adern eines auf herkömmliche Weise aufgebauten Kabels (mit oder ohne Schirmung) umfasst. Alternativ für Systeme der Gruppe II oder Gruppe III darf ein L/R-Verhältnis von 30 µH/Ω eingesetzt werden.

Wo ein FISCO- oder FNICO-System angewendet wird, müssen die Anforderungen an die Kabelkennwerte mit Anhang I übereinstimmen.

9.4 Leitende Schirmungen

Wo leitende Schirmungen individuellen Schutz für eigensichere Stromkreise bieten, um zu verhindern, dass derartige Stromkreise miteinander in Verbindung kommen, muss die Beschichtung dieser Schirmungen mindestens 60 % des Flächeninhalts der Oberfläche betragen.

9.5 Typen von mehradrigen Kabeln

Mehradrige Kabel müssen für die Zwecke der anzusetzenden Fehler und Bewertung der Sicherheit des Kabels in einem eigensicheren System entweder als Typ A, Typ B oder Typ C eingestuft werden. Die Kabeltypen sind nachstehend festgelegt.

9.5.1 Kabel vom Typ A

Ein Kabel, dessen Konstruktion mit 9.2, 9.3 und 9.4 übereinstimmt.

9.5.2 Kabel vom Typ B

Ein Kabel, dessen Konstruktion mit 9.2 und 9.3 übereinstimmt, starr und außerdem wirkungsvoll gegen Beschädigung geschützt ist; kein Stromkreis innerhalb des Kabels hat eine Höchstspannung U_0 , die 60 V überschreitet.

ANMERKUNG Kabel vom Typ B, die in Systemen der Gruppe I zur Anwendung kommen, sind schwer gegen mechanische Beschädigung zu schützen.

9.5.3 Kabel vom Typ C

Ein Kabel, dessen Konstruktion mit 9.2 und 9.3 übereinstimmt.

10 Abschluss eigensicherer Stromkreise

Eigensichere Systeme, die Verteilerkästen oder Elektronikschränke umfassen, in denen eigensichere Stromkreise enden, müssen die Anforderungen von Abschnitt 6.2.1 von IEC 60079-11 erfüllen.

11 Erdung und Potentialausgleich eigensicherer Systeme

Im allgemeinen muss ein eigensicherer Stromkreis entweder vollständig erdfrei oder nur an einem Punkt an das Bezugspotential angeschlossen sein, das mit dem gefährdeten Bereich verbunden ist. Die erforderliche Isolierung (außer an dem einen Punkt) ist so zu bemessen, dass sie einer Isolationsprüfung mit 500 V nach IEC 60079-11, 6.4.12, widersteht. Sofern diese Anforderung nicht erfüllt ist, muss der Stromkreis an diesem Punkt als geerdet angesehen werden. An einem Stromkreis sind mehr als ein Erdanschluss unter der Voraussetzung zulässig, dass der Stromkreis galvanisch in Teilstromkreise getrennt ist, von denen jeder nur einen Erdpunkt besitzt.

Schirmungen müssen nach IEC 60079-14 an Erde oder am Bauwerk angeschlossen sein. Wo ein System für den Einsatz in einer Anlage vorgesehen ist, in der deutliche Potentialunterschiede (größer als 10 V) zwischen dem Bauwerk und dem Stromkreis auftreten können, besteht die bevorzugte Technik darin, einen Stromkreis zu verwenden, der von äußeren Einflüssen, wie z. B. Änderungen des Erdpotentials in einiger Entfernung vom Bauwerk, galvanisch getrennt ist. Besondere Sorgfalt ist dort erforderlich, wo das System für die Verwendung an Standorten der Zone 0 vorgesehen ist.

Im Dokument der Systembeschreibung sollte eindeutig angegeben werden, welcher Punkt oder welche Punkte des Systems für den Anschluss an das Bezugspotential der Anlage vorgesehen ist/sind und welche speziellen Anforderungen an einen derartigen Anschluss bestehen. Das lässt sich mit dem Hinzufügen eines Verweises auf IEC 60079-14 im Dokument der Systembeschreibung erreichen.

12 Blitzschutz und Schutz gegen sonstige elektrische Überspannungen

Zeigt eine Risikoanalyse, dass eine Installation gegen Blitz- und sonstige Überspannungen besonders anfällig ist, müssen Vorkehrungen zur Vermeidung dieser möglichen Gefährdungen getroffen werden.

Wenn ein Teil eines eigensicheren Stromkreises in einer Zone 0 in einer Weise installiert ist, dass die Gefahr von sich entwickelnden gefährlichen oder schädigenden Potentialunterschieden innerhalb der Zone 0 besteht, dann muss eine Überspannungsschutzeinrichtung installiert werden. Der Überspannungsschutz ist zwischen jedem Leiter des Kabels einschließlich der Schirmung und der Anlage erforderlich, sofern dieser Leiter nicht bereits mit der Anlage verbunden ist. Die Überspannungsschutzeinrichtung muss außerhalb, jedoch so nahe wie technisch möglich an der Grenze der Zone 0, vorzugsweise in einem Abstand bis 1 m, installiert werden.

Überspannungsschutz für Betriebsmittel in den Zonen 1 und 2 muss in die Systemauslegung für besonders gefährdete Standorte einbezogen werden.

E DIN IEC 60079-25 (VDE 0170-10-1):2007-08

Die Überspannungsschutzeinrichtung muss in der Lage sein, mindestens einen Entladungsstrom mit einem Scheitelwert von 10 kA (8/20 µs-Impuls nach IEC 60060-1 bei 10 Beanspruchungen) ableiten zu können. Der Anschluss zwischen der Schutzeinrichtung und dem örtlichen Bauwerk muss eine Mindestquerschnittsfläche besitzen, die 4 mm² Kupfer entspricht. Das Kabel zwischen dem eigensicheren Betriebsmittel in der Zone 0 und der Überspannungsschutzeinrichtung muss so installiert sein, dass es gegen Blitzschlag geschützt ist. Jede in einen eigensicheren Stromkreis eingebaute Überspannungsschutzeinrichtung muss für den vorgesehenen Einsatzort einen geeigneten Explosionsschutz besitzen.

Die Verwendung von Überspannungsschutzeinrichtungen, die den Stromkreis und das Bauwerk über nicht-lineare Bauelemente verbinden, wie Gasentladungsröhren und Halbleiterbauelemente, wird nicht so angesehen, dass sie die Eigensicherheit eines Stromkreises nachteilig beeinflussen, vorausgesetzt, dass der Strom durch das Bauelement im bestimmungsgemäßen Betrieb kleiner als 10 µA ist.

ANMERKUNG Bei der Durchführung einer Isolationsprüfung mit 500 V unter gut kontrollierbaren Bedingungen kann es notwendig sein, die Überspannungsschutzeinrichtungen abzutrennen, damit sie die Messungen nicht ungültig machen.

Eigensichere Systeme, in denen Überspannungsschutzverfahren angewendet werden, müssen durch eine ausreichend dokumentierte Untersuchung der Auswirkung von indirekter Mehrfacherdung unterstützt werden, wobei die oben dargelegten Kriterien zu berücksichtigen sind. Die Kapazität und Induktivität der Überspannungsschutzeinrichtungen müssen bei der Bewertung eines eigensicheren Systems Berücksichtigung finden.

In Anhang F werden einige Aspekte der konstruktiven Ausführung des Überspannungsschutzes von eigensicheren Systemen erläutert.

13 Bewertung eines eigensicheren Systems

13.1 Allgemeines

Enthält ein System Betriebsmittel, die als solche für sich nicht mit IEC 60079-11 übereinstimmen, dann muss dieses System als Ganzes analysiert werden. Das System muss so analysiert werden, als wäre es ein Betriebsmittel. Ein System mit dem Schutzniveau 'ia' muss nach den in 5.2 von IEC 60079-11 angegebenen Kriterien analysiert werden. Ein System mit dem Schutzniveau 'ib' muss nach den in 5.3 von IEC 60079-11 angegebenen Kriterien analysiert werden. Ein System mit dem Schutzniveau 'ic' muss nach den in 5.4 von IEC 60079-11 angegebenen Kriterien analysiert werden. Zusätzlich zu den Fehlern innerhalb der Betriebsmittel müssen auch Ausfälle innerhalb der Feldverdrahtung, die in 13.4 aufgeführt sind, berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 1 Es ist bekannt, dass die Anwendung von Fehlern auf das System als Ganzes weniger streng ist als die Anwendung von Fehlern auf jedes einzelne Betriebsmittel; es wird dennoch angenommen, dass ein annehmbares Sicherheitsniveau erreicht wird.

ANMERKUNG 2 Systeme oder Teile von Systemen des Schutzniveaus 'ic' sind kein Gegenstand von zählbaren Fehlern. Werden jedoch Fehler zwischen Betriebsmitteln des Schutzniveaus 'ic' und höheren Schutzniveaus in Betracht gezogen, dann müssen die zählbaren Fehler für die Bewertung der höheren Schutzniveaus, d. h. 'ia' oder 'ib', herangezogen werden.

Wo sämtliche erforderlichen Informationen zur Verfügung stehen, ist es zulässig, die Fehlerzählung auf das System als Ganzes anzuwenden, selbst wenn die eingesetzten Betriebsmittel IEC 60079-11 entsprechen. Das ist eine alternative Lösung zu dem üblicheren einfachen Vergleich der Eingangs- und Ausgangskennwerte der gesondert analysierten oder geprüften Betriebsmittel. Enthält ein System ausschließlich analysierte oder geprüfte Betriebsmittel, die IEC 60079-11 entsprechen, muss die Verträglichkeit aller im System vorhandenen Betriebsmittel nachgewiesen werden. Fehler innerhalb der Betriebsmittel wurden bereits betrachtet und deshalb ist keine weitere Berücksichtigung dieser Fehler notwendig. Enthält ein System eine einzelne Stromquelle, berücksichtigen die Ausgangskennwerte dieser Stromquelle Unterbrechung, Kurzschluss und Erdung der externen Verbindungskabel und demzufolge brauchen diese Ausfälle nicht weiter berücksichtigt zu werden. Anhang A enthält weitere Einzelheiten zur Analyse dieser einfachen Stromkreise.

Wenn ein System mehr als eine lineare Stromquelle enthält, dann muss die Wirkung der zusammengeschlossenen Stromquellen analysiert werden. Anhang B veranschaulicht die Analyse für die am häufigsten auftretenden Kombinationen.

Wenn ein eigensicheres System mehr als eine Stromquelle besitzt und eine oder mehrere dieser Stromquellen nichtlinear ist/sind, kann das Bewertungsverfahren nach Anhang B nicht angewendet werden. Für diese Arten eigensicherer Systeme wird in Anhang C erläutert, wie die Systemanalyse durchgeführt werden kann, wenn die Kombination eine einzelne nichtlineare Stromquelle enthält.

Bild 1 stellt die Prinzipien der Systemanalyse dar.

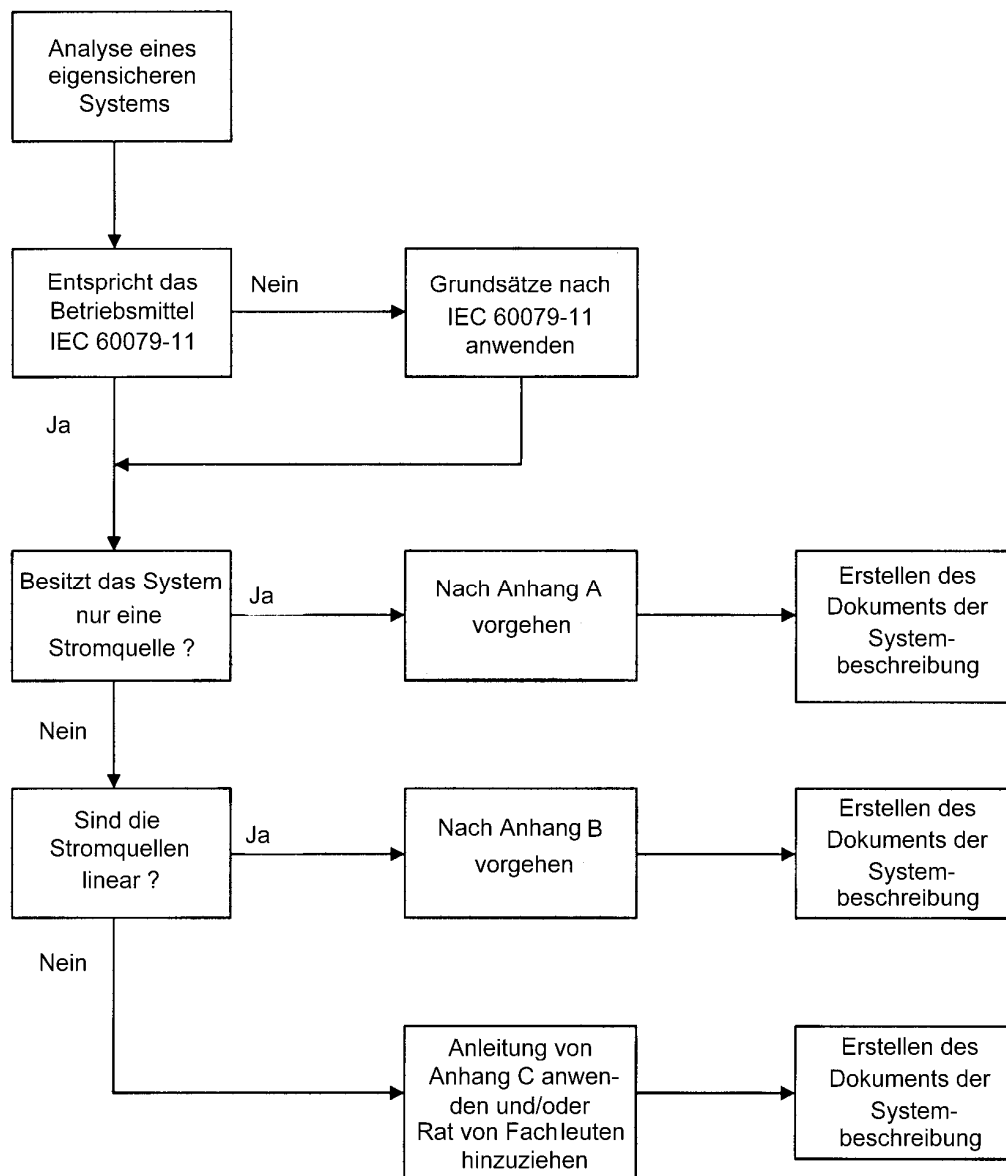


Bild 1 – Systemanalyse

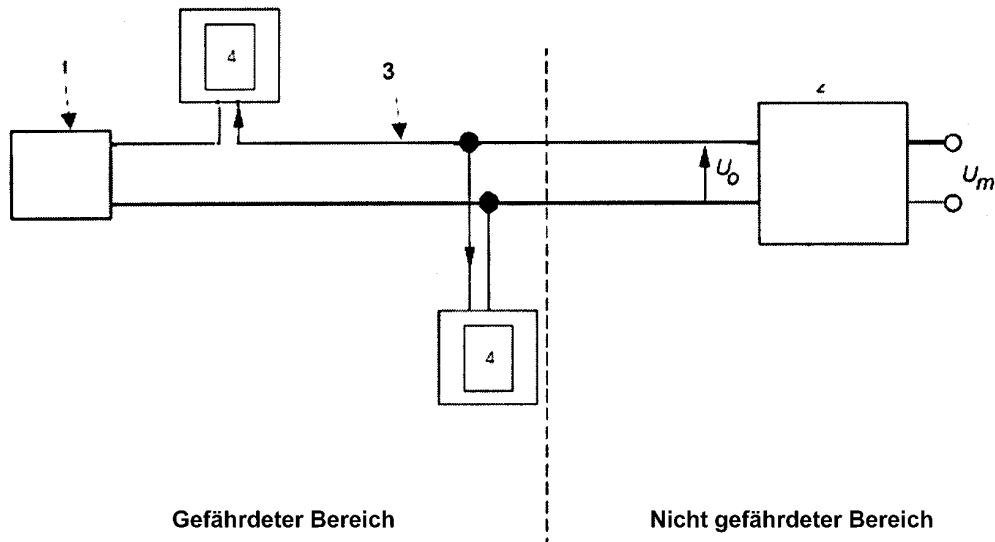
13.2 Einfache Betriebsmittel

Schalter, Anschlussklemmen, Anschlusskästen, Stecker und Steckdosen, die die Anforderungen von IEC 60079-11 an einfache Betriebsmittel erfüllen, dürfen in ein System eingefügt werden, ohne die Sicherheitsbewertung zu modifizieren. Wenn andere Arten einfacher Betriebsmittel, die mit den Anforderungen von

– Entwurf –

E DIN IEC 60079-25 (VDE 0170-10-1):2007-08

5.7b) von IEC 60079-11 übereinstimmen, in ein System eingebracht werden, kann die Sicherheitsbewertung modifiziert werden, wenn die Gesamtsicherheit des Systems ermittelt wird. Ein typisches System mit einfachen Betriebsmitteln ist in Bild 2 dargestellt.



Legende

- 1 Bescheinigte eigensichere Einrichtung
- 2 Bescheinigte zugehörige eigensichere Einrichtung
- 3 Kabel
- 4 Einfache Betriebsmittel

Bild 2 – Typisches System mit einfachen Betriebsmitteln

13.3 Analyse induktiver Stromkreise

Wenn ein Betriebsmittel auf Grund seiner Dokumentation oder seines Aufbaus eine klar definierte Induktivität und einen klar definierten Widerstand enthält, muss die Sicherheit der induktiven Aspekte des Systems durch den in Anhang D festgelegten Prozess bestätigt werden.

13.4 Fehler in mehradrigen Kabeln

Die Fehler, sofern vorhanden, die bei mehradrigen Kabeln berücksichtigt werden müssen, die in eigensicheren elektrischen Systemen verwendet werden, hängen vom Typ des verwendeten Kabels ab. In den folgenden Unterabschnitten sind die für jeden Kabeltyp zu bewertenden Kabelfehler genau beschrieben.

13.4.1 Kabel Typ A

Wenn das Kabel die Anforderungen von 11.4.1 erfüllt, brauchen keine Fehler zwischen Stromkreisen in Betracht gezogen zu werden.

13.4.2 Kabel Typ B

Wenn das Kabel die Anforderungen von 11.4.2 erfüllt und die U_0 eines eigensicheren Stromkreises innerhalb des Kabels 60 V nicht überschreitet, brauchen keine Fehler zwischen Stromkreisen in Betracht gezogen zu werden.

13.4.3 Kabel Typ C

Die Kombination von Fehlern, die aus zwei Kurzschlüssen zwischen Leitern und gleichzeitig aus bis zu vier Unterbrechungen von Leitern bestehen, die zum ungünstigsten Zustand führen.

Alle Stromkreise in einem mehradrigen Kabel, die zu Beschädigungen neigen, müssen das Schutzniveau des Stromkreises mit dem niedrigsten Schutzniveau übernehmen.

13.4.4 Weitere Kabelarten (Induktivitätsabgleich – Stellungnahme der Tagung)

Bei nicht mit 9.5 übereinstimmenden Kabeln gibt es keine Beschränkung der Anzahl an Kurzschlüssen zwischen Leitern und gleichzeitig der Unterbrechung von Leitern, die Berücksichtigung finden müssen.

13.5 Überprüfungen und Typprüfungen

Wenn es erforderlich ist, Überprüfungen und/oder Typprüfungen vorzunehmen, um zu ermitteln, ob ein System ausreichend sicher ist, müssen die in IEC 60079-11, Abschnitt 10, festgelegten Verfahren angewendet werden.

14 Kennzeichnung

Alle Betriebsmittel innerhalb des Systems müssen leicht identifizierbar sein.

Die Mindestanforderung ist, dass das entsprechende Dokument der Systembeschreibung leicht zurückverfolgbar sein muss. Eine annehmbare Verfahrensweise ist die Vorgabe einer eindeutigen Gerätestromkreisnummer, die die Stromkreisdokumentation kennzeichnet, die ihrerseits das Dokument der Systembeschreibung angibt.

Wenn das System als Ganzes bewertet und die Übereinstimmung mit IEC 60079-11 festgestellt wurde, dann muss jedes einzelne Betriebsmittel nach dieser Norm gekennzeichnet werden.

15 Vorher festgelegte Systeme

Ein System und dessen sämtliche einzelne Bauteile können vorher festgelegt und so bewertet werden, dass die Verbindung der einzelnen Bauteile und Kabel hinreichend gut bekannt ist und die Bewertungsanforderungen der vorliegenden Norm vereinfacht werden können. Ein derartiges vorher festgelegtes System ist das FISCO-System; die Bewertung eines FISCO-Systems wird in Anhang I dargelegt.

Anhang A (informativ)

Bewertung eines einfachen eigensicheren Systems

Die Mehrheit der eigensicheren Systeme sind einfache Systeme, die eine einzige Energiequelle in zugehörigen Betriebsmitteln enthalten, die mit einem einzigen vor Ort installierten eigensicheren Betriebsmittel verbunden sind. Dieses Dokument verwendet die Kombination der Temperatur-Messumformer und die in Anhang E gezeigte eigensichere Schnittstelle, um das Analysenverfahren zu veranschaulichen.

Die anfängliche Anforderung besteht darin, die Sicherheitskennwerte der beiden Betriebsmittel im Stromkreis festzustellen. Diese Kennwerte lassen sich am besten aus einer Kopie der Bescheinigung herleiten, die dem Systemplaner zur Verfügung stehen sollte. Bei der Systemausführung sollten besonders spezielle Anwendungsbedingungen berücksichtigt werden. Welche Informationen in die Systemzeichnung übertragen werden, wird konkret von der Notwendigkeit einer eindeutig zu begründenden Systemanalyse und dadurch bestimmt, relativ einfach die spezielle Einbauzeichnung aus dieser Referenzzeichnung zu erstellen.

Die Kompatibilität der beiden Betriebsmittel wird durch den Vergleich der Kennwerte jedes Betriebsmittels festgestellt. Die Reigenfolge ist gewöhnlich folgende:

- Vergleichen der Schutzniveaus. Wenn sie sich unterscheiden, übernimmt das System das am wenigsten empfindliche Schutzniveau. Hat beispielsweise das eine Betriebsmittel das Schutzniveau 'ia' und das andere das Schutzniveau 'ib', dann wird dem System das Schutzniveau 'ib' zugeordnet. Eine Energiequelle, die mit 'ib' bescheinigt ist, verfügt über zulässige Ausgangskennwerte für den Einsatz in 'ic'-Stromkreisen. Wenn diese höheren Werte bei der Systemplanung zum Einsatz kommen, erhält das System das Schutzniveau 'ic'.
- Vergleichen der Explosionsklasseneinteilung. Wenn sie sich unterscheiden, übernimmt das System die am wenigsten empfindliche Klasseneinteilung. Gehört beispielsweise ein Betriebsmittel zur Gerätegruppe IIC und das andere zur Gerätegruppe IIB, dann wird das System der Gerätegruppe IIB zugeordnet. Bei einer als IIC bescheinigten Energiequelle ist es üblich, dass sie zulässige Ausgangskennwerte $[L_0, C_0 \text{ und } L_0/R_0]$ für Gerätegruppen IIB und IIA hat. Werden diese höheren Werte eingesetzt, dann bestimmen die verwendeten Kennwerte das System der Gerätegruppe.
- Bestimmen der Temperaturklasseneinteilung der feldmontierten Betriebsmittel. Betriebsmittel können für verschiedene Anwendungsbedingungen unterschiedliche Temperaturklasseneinteilungen haben [gewöhnlich Umgebungstemperatur] und das maßgebliche Betriebsmittel sollte ausgewählt und aufgezeichnet werden. Dabei ist zu beachten, dass es das Betriebsmittel ist, mit dem die Temperaturklasseneinteilung festgelegt wird und nicht das System.
- Der zulässige Umgebungstemperaturbereich jedes Betriebsmittels sollte aufgezeichnet werden.
- Die Spannung $[U_0]$, der Strom $[I_0]$ und die Ausgangskennwerte der Leistung $[P_0]$ der Energiequelle sollten mit den Eingangskennwerten $[U_i, I_i \text{ und } P_i]$ des Feldgerätes verglichen werden, und die Ausgangskennwerte sollten die betreffenden Eingangskennwerte nicht überschreiten. Gelegentlich wird die Sicherheit des Feldgerätes vollständig von nur einem dieser Kennwerte bestimmt [gewöhnlich U_i]. Unter diesen Umständen sind die nicht festgelegten Kennwerte irrelevant.
- Bestimmen der zulässigen Kabelkennwerte.

Die zulässige Kabelkapazität $[C_c]$ wird durch Subtrahieren der Eingangskapazität des Feldgerätes $[C_i]$ von der zulässigen Ausgangskapazität der Energiequelle $[C_0]$ hergeleitet, d. h. $C_c = C_0 - C_i$.

Die zulässige Kabelinduktivität $[L_c]$ wird durch Subtrahieren der Eingangsinduktivität des Feldgerätes $[L_i]$ von der zulässigen Ausgangsinduktivität der Energiequelle $[L_0]$ hergeleitet, d. h. $L_c = L_0 - L_i$.

Die Bestimmung des zulässigen L/R -Verhältnisses des Kabels $[L_c/R_c]$ ist leicht, vorausgesetzt, dass die Eingangsinduktivität des eigensicheren Betriebsmittels vernachlässigt werden kann. $[L_i]$ weniger als 1 % von L_0 . L_c/R_c wird dann als gleich groß angenommen, so dass die Stromquelle L_0/R_0 ist. Ist die

Induktivität des Feldgerätes beträchtlich, dann kann die in IEC 60072-26 enthaltene Gleichung herangezogen werden, um das zulässige L_c/R_c -Verhältnis zu berechnen, sofern das als ratsam erscheint. Erfreulicherweise ist das keine häufig auftretende Anforderung.

Zunehmende Beachtung fand seit kurzem die Wechselwirkung der Systeminduktivität und Systemkapazität, die das Risiko von zündfähigen Funken erhöht. Diese Bedenken beschränken sich auf unveränderliche Induktivität und Kapazität und nicht auf die verteilten Kennwerte eines Kabels. Demzufolge sind bei derartig seltenen Gelegenheiten, wo die konzentrierte Induktivität [die Summe von L_i der Energiequelle und des Feldgerätes] und die konzentrierte Kapazität [die Summe von C_i der Energiequelle und des Feldgerätes] mehr als 1 % der betreffenden Ausgangskennwerte der Energiequelle L_0 und C_0 betragen, die zulässigen Ausgangskennwerte von beiden durch zwei zu dividieren. Es sollte betont werden, dass diese Verringerung der Ausgangskennwerte nur bei sehr wenigen Gelegenheiten anwendbar ist, weil es bei Feldgeräten ungewöhnlich ist, sowohl induktive als auch kapazitive Eingangskennwerte zu haben, die erheblich zu groß sind. Häufig werden die L_i - und C_i -Werte einer Energiequelle in der Dokumentation nicht angegeben und unter diesem Umständen ist anzunehmen, dass sie vernachlässigbar sind. Es gibt keinen Hinweis, dass es als notwendig erachtet wird, noch einmal von vorn anzufangen und die Sicherheitsdokumentation von bestehenden Installationen in Hinblick auf die neueste Anforderung zu überprüfen. Neue Analysen sollten jedoch diese entfernte Möglichkeit in Betracht ziehen.

Zusammenfassend ist festzustellen, ob die konzentrierte Kapazität oder Induktivität weniger als 1 % von den betreffenden Ausgangskennwerten beträgt. Ist das der Fall, dann gilt die ursprünglich Berechnung. Liegen beide Kennwerte über 1 % von den Ausgangskennwerten, dann sollten C_0 und L_0 des Systems um den Faktor 2 verringert werden. Wenn diese Verringerung als notwendig erachtet wird, dann sind die verwendeten Angaben zu überprüfen, weil das eine ungewöhnliche Situation ist.

Wenn eine Energiequelle mit 'ia' oder 'ib' bescheinigt ist., dann werden die zulässigen Ausgangskennwerte L_0 , C_0 und L_0/R_0 mit einem Sicherheitsfaktor von 1,5 abgeleitet. Wenn eine derartige Energiequelle in einem 'ic'-Stromkreis verwendet wird, können die zulässigen Ausgangskennwerte mit einem Einheits-Sicherheitsfaktor abgeleitet werden. Daraus ergibt sich eine bedeutende Veränderung, die gewöhnlich die Notwendigkeit aufhebt, die Kabelkennwerte im Einzelnen zu berücksichtigen. Genaue Werte lassen sich nach den Verfahren und Tabellen in der Betriebsmittelnorm ermitteln. Eine annehmbare konservative Verfahrensweise besteht darin, L_0 und L_0/R_0 mit zwei und C_0 mit drei zu multiplizieren, wodurch gewöhnlich alle Bedenken zu Kabelkennwerten zerstreut werden.

- g) Überprüfen, ob das Niveau der Isolierung gegen Erde annehmbar ist oder ob die Anforderungen an das Erdungssystem erfüllt sind.

Wenn alle die Anforderungen erfüllt sind, wurde die Kompatibilität der beiden eigensicheren Betriebsmittel festgestellt. Eine übliche Form der Aufzeichnung der Analysenergebnisse ist die Erstellung einer Tabelle. Das folgende Beispiel benutzt die Werte aus der typischen Systemzeichnung [siehe Bild E.1] und vergleicht die eigensichere Schnittstelle und den Temperatur-Messumformer.

– Entwurf –

E DIN IEC 60079-25 (VDE 0170-10-1):2007-08

Tabelle A.1 – Analyse eines einfachen eigensicheren Systems

Schrittfolge	Kennwerte	Schnittstelle	Temperatur-Messumformer	System
a)	Schutzniveau	ia	ia	ia
b)	Betriebsmittel der Gruppe	IIC	IIC	IIC
c)	Temperaturklasseneinteilung	T4		
d)	Umgebungstemperatur	-20 °C bis +60 °C	-40 °C bis +80 °C	
e)	Kennwertevergleich			
	Spannung	U_0 : 28 V	U_i : 30 V	✓
	Strom	I_0 : 93 mA	I_i : 120 mA	✓
	Leistung	P_0 : 650 mW	P_i : 1 W	✓
f)	Kabelkennwerte			
	Kapazität	C_0 : 83 nF	C_i : 3 nF	C_c : 80 nF
	Induktivität	L_0 : 4,2 mH	L_i : 10 µH	L_c : 4,2 mH
	L/R -Verhältnis	L_0/R_0 : 54 µH/Ω		L_c/R_c : 54 µH/Ω
g)	Isolierung	Isoliert	Isoliert	Isoliert

Anhang B (normativ)

Bewertung von Stromkreisen mit mehr als einer Energiequelle

Diese Analyse gilt nur, wenn die betrachteten Energiequellen einen widerstandsbegrenzten linearen Ausgang haben. Sie gilt nicht für Energiequellen, die andere Formen der Strombegrenzung verwenden.

Das in IEC 60079-14, Anhang B, enthaltene vereinfachte Verfahren liefert konservative Ergebnisse, die eine betriebssichere Installation sicherstellen und als Alternative zu diesem Anhang angewendet werden können.

Sofern mehr als eine Energiequelle vorhanden ist und die Verbindungen so unter überwachten Bedingungen ausgeführt werden, dass eine ausreichende Trennung und mechanische Stabilität nach IEC 60079-11 gegeben ist, dann werden die Verbindungen als störanfällig im Hinblick auf Öffnung oder Kurzschluss angesehen, aber eine Umpolung der Verbindung oder eine Änderung von Reihen- in Parallelschaltung oder Parallel- in Reihenschaltung wird nicht angenommen. Verbindungen innerhalb eines Baugruppenträgers oder Bedienpultes, das an einem Standort mit ausreichender Qualitätsüberwachung und geeigneten Prüfmöglichkeiten aufgebaut wurde, sind ein Beispiel für den erforderlichen Integritätsgrad.

In Bild B.1 ist eine übliche Reihenschaltung dargestellt. Diese Reihenordnung ergibt eine Leerlaufspannung U_o aus $U_1 + U_2$, wobei die Möglichkeit des Auftretens einer Spannung $U_1 - U_2$ nicht berücksichtigt wird. Bei der Betrachtung der Sicherheit des Systems werden drei Spannungen U_1 , U_2 und $U_o = U_1 + U_2$ zusammen mit ihren entsprechenden Strömen I_1 und I_2 sowie dem kombinierten Strom

$$I_o = \frac{U_1 + U_2}{R_1 + R_2}$$

berücksichtigt.

Jeder der drei Ersatzstromkreise muss nach IEC 60079-11, Tabelle A.1, hinsichtlich der Sicherheit beurteilt werden. Für jeden Stromkreis müssen dann die Werte von L_o oder wahlweise L_o/R_o und C_o festgelegt und der ungünstigste Wert zusammen mit seinem entsprechenden Ersatzstromkreis verwendet werden.

Bei der Bestimmung dieser Werte muss unter allen Umständen ein Sicherheitsfaktor von 1,5 eingesetzt werden.

ANMERKUNG Wenn sich die beiden Spannungen addieren, bestimmt der kombinierte Stromkreis den Kapazitätswert. Die Induktivität und gegebenenfalls das L_o/R_o -Verhältnis können jedoch durch einen der separaten Stromkreise, für sich allein betrachtet, bestimmt werden. Die kleinste Induktivität stimmt nicht immer mit dem größten Strom im Stromkreis und das kleinste L_o/R_o -Verhältnis, falls eingesetzt, nicht mit der kleinsten Induktivität überein.

Es sollte die angepasste Leistung bestimmt werden, die von jedem der Ersatzstromkreise zur Verfügung gestellt werden kann. Die angepasste Leistung der zusammengefassten Stromkreise ist nur dann die Summe der verfügbaren Leistung von jedem Stromkreis, wenn die Quellen den gleichen Ausgangsstrom haben.

Wenn die Energiequellen, wie in Bild B.2 dargestellt, parallel geschaltet sind, müssen die drei Ströme I_1 , I_2 und $I_o = I_1 + I_2$ mit ihren entsprechenden Spannungen U_1 , U_2 und

$$U_o = \frac{U_1 R_2 + U_2 R_1}{R_1 + R_2}$$

berücksichtigt werden.

Jeder der drei Ersatzstromkreise muss hinsichtlich der Sicherheit unter Anwendung von IEC 60079-11, Tabelle A.1, beurteilt werden. Die Werte von L_o oder wahlweise von L_o/R_o und C_o müssen für jeden

– Entwurf –

E DIN IEC 60079-25 (VDE 0170-10-1):2007-08

Stromkreis festgelegt und der ungünstigste Wert zusammen mit seinem entsprechenden Ersatzstromkreis verwendet werden. Es muss auch die angepasste Leistung bestimmt werden, die von jedem der drei Ersatzstromkreise zur Verfügung steht. Die angepasste Leistung der zusammengefassten Stromkreise ist nur dann die Summe der verfügbaren Leistung von jedem Stromkreis, wenn die Quellen die gleiche Ausgangsspannung haben.

Wenn zwei Energiequellen mit demselben eigensicheren Stromkreis verbunden sind und deren Zusammenschaltung nicht durch zuverlässige Verbindungen klar definiert ist, wie in Bild B.3 dargestellt, muss die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, dass die Energiequellen sowohl in Reihe als auch parallel geschaltet werden können. Unter diesen Umständen müssen alle möglichen Ersatzstromkreise bewertet werden, indem beide angegebenen Verfahren befolgt werden. Es müssen die ungünstigsten Ausgangskennwerte und Ersatzstromkreise bei der Bestimmung der Integrität des eigensicheren Systems verwendet werden.

Die Betriebsmittel des gefährdeten Bereiches dürfen eine Energiequelle enthalten, wodurch sich ein Betriebsmittel mit charakteristischen Ausgangskennwerten, zum Beispiel aus eingebauten Batterien, ergibt. Wenn dies der Fall ist, muss die Analyse des Systems die Kombination dieser Energiequelle mit jeder Energiequelle der zugehörigen Betriebsmittel einschließen. Eine derartige Analyse muss wegen möglicher Fehler der Feldverdrahtung auch die Umpolung der Verbindungen berücksichtigen.

Nachdem die repräsentativen Ersatzstromkreise bestimmt wurden, können diese Stromkreise verwendet werden, als wenn nur eine einzelne Energiequelle vorhanden wäre, und es kann das bereits in Anhang A erläuterte Verfahren angewendet werden, um festzustellen, ob das System in seiner Gesamtheit ausreichend sicher ist.

Werden zwei oder mehrere Energiequellen mit unterschiedlichen Ausgangsspannungen miteinander verbunden, kann der sich ergebende Stromfluss zusätzliche Verluste in den Begrenzungsstromkreisen verursachen. Wenn die Stromkreise eine übliche Widerstandsstrombegrenzung haben, werden die zusätzlichen Verluste nicht als Beeinträchtigung der Eigensicherheit angesehen.

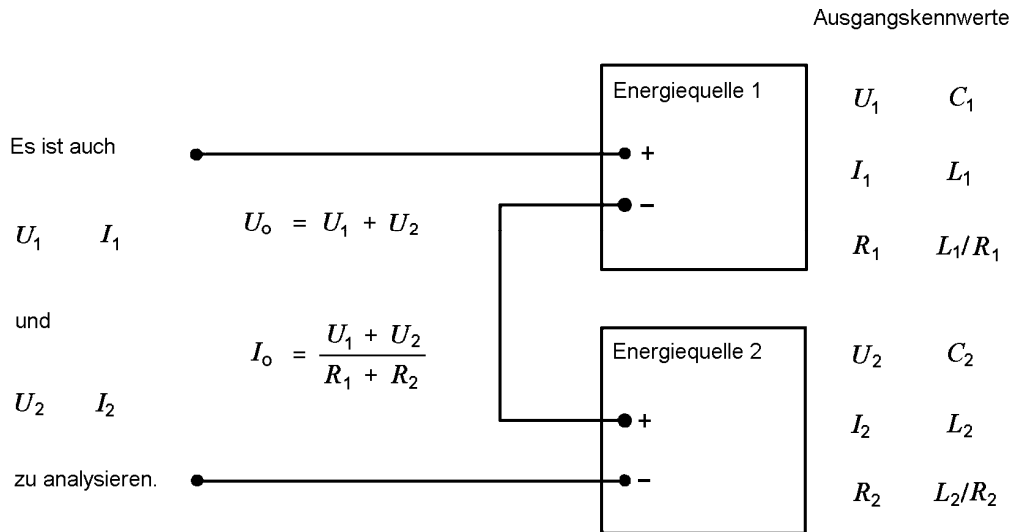


Bild B.1 – In Reihe geschaltete Energiequellen

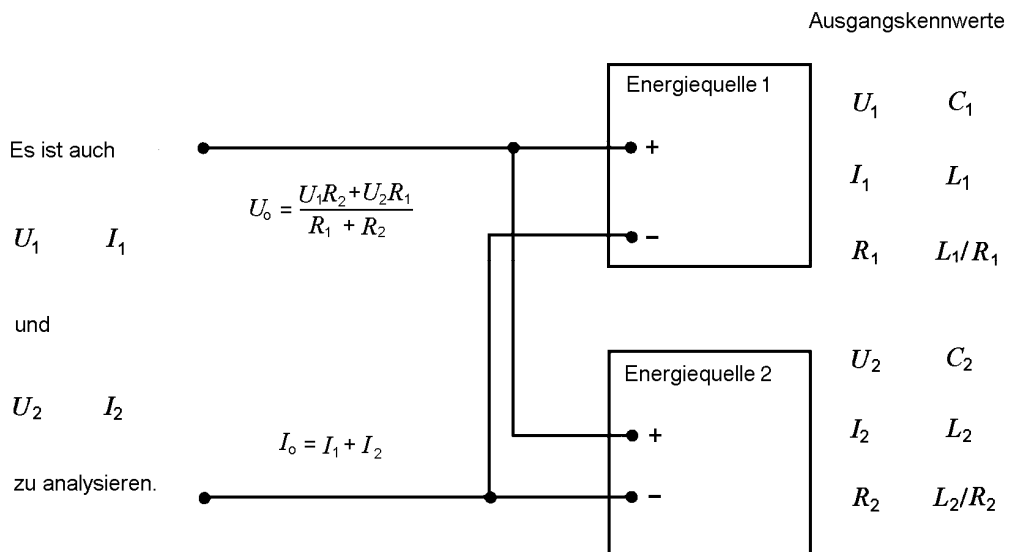
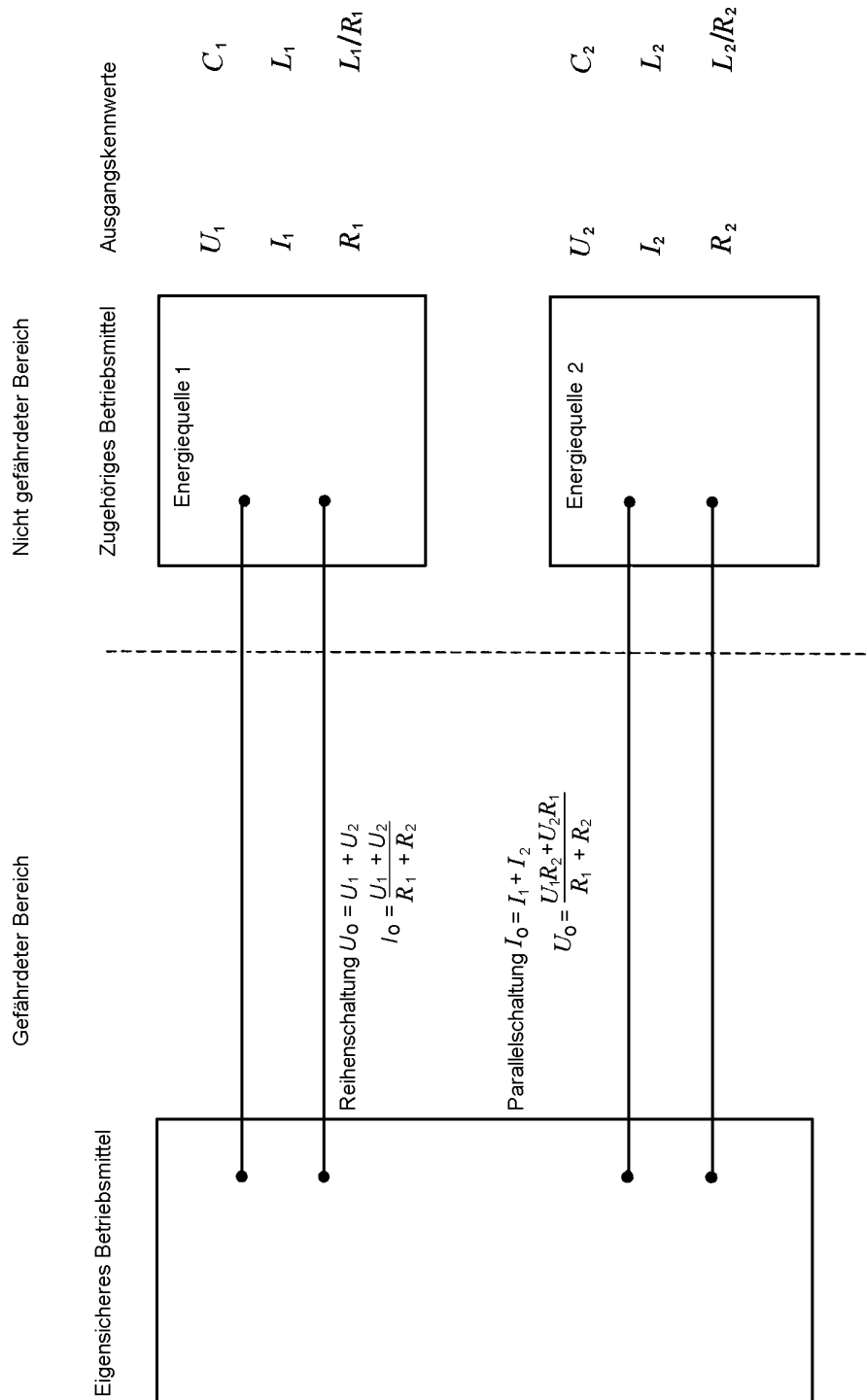


Bild B.2 – Parallel geschaltete Energiequellen



Legende

- 1 Stromquelle 1
- 2 Stromquelle 2

Bild B.3 – Ohne Festlegung zusammengeschaltete Energiequellen

Anhang C (informativ)

Zusammenschaltung nichtlinearer und linearer eigensicherer Stromkreise

Dieses Thema war längere Zeit Gegenstand ausführlicher Untersuchungen und befindet sich noch in der Entwicklung. Dieses Dokument enthält die begründete Meinung einer bedeutenden Prüfstelle und wurde umfangreich besprochen. Es enthält den gegenwärtig besten verfügbaren Kenntnisstand und wird hinzugefügt, um bei der Anwendung weitere Erfahrungen sammeln zu können.

Die Bemessung und Anwendung nichtlinearer Stromversorgungen erfordert spezielle Kenntnisse und den Zugang zu geeigneten Prüfmöglichkeiten. Wenn eine autorisierte Prüfstelle sich selbst davon überzeugt hat, dass eine spezielle Energiequelle ausreichend sicher ist, dann ist es zulässig, ein System nach der vorliegenden Norm zu konstruieren. Alle speziellen Bedingungen, die sich auf ein derartiges System beziehen, müssen in der Begleitdokumentation eindeutig angegeben werden.

Wird eine Sicherheitsanalyse einer Kombination aus Stromversorgungen mit nichtlinearen Ausgängen ausgeführt, kann die Wechselwirkung der beiden Stromkreise eine beträchtliche Erhöhung der Verlustleistung in den Bauelementen des Regelkreises verursachen. Dieser Faktor muss berücksichtigt werden. Es wird empfohlen, jeweils nur eine Energiequelle mit begrenzenden Halbleitern mit linearen und/oder trapezförmigen Quellen zu kombinieren.

C.1 Einleitung

Die Errichtungsbestimmungen nach IEC 60079-14 gestatten dem Betreiber einer elektrischen Anlage im explosionsgefährdeten Bereich, mehrere eigensichere Stromkreise zusammenzuschalten. Das gilt auch für den Fall, dass mehrere 'zugehörige Betriebsmittel' (die im Normalbetrieb oder nur im Fehlerfall aktive Quellen darstellen) enthalten sind (C.12.2.5.2 von IEC 60079-14). Dabei darf auf die Beteiligung der Prüfstelle oder eines Sachverständigen verzichtet werden, wenn ein rechnerischer oder messtechnischer Nachweis über die Eigensicherheit der Zusammenschaltung geführt wird.

Der messtechnische Nachweis muss mit Hilfe des genormten Funkenprüfgerätes nach IEC 60079-11 unter Einbeziehung des Sicherheitsfaktors an den zusammengeschalteten elektrischen Betriebsmitteln geführt werden. In diesem Fall müssen auch bestimmte Fehlerbedingungen, die zu den ungünstigsten Verhältnissen im Hinblick auf das Zündverhalten führen – Annäherung an den ungünstigsten anzunehmenden Fall – berücksichtigt werden. Demzufolge stößt diese Form des Nachweises in der Praxis häufig auf Schwierigkeiten und bleibt in der Regel den Prüfstellen vorbehalten.

Eine rechnerische Bewertung der Zusammenschaltung lässt sich, zumindest für ohmsche Stromkreise, relativ einfach durchführen, wenn die beteiligten elektrischen Quellen einen linearen Innenwiderstand aufweisen, d. h. eine Ausgangskennlinie wie die in Bild C.1a) dargestellt. In diesem Fall sind die Zündgrenzkurven nach IEC 60079-11 anwendbar und es kann das in IEC 60079-14, Anhang A, oder in Bild C.7 und C.8 beschriebene Verfahren dieses Schriftstücks zugrunde gelegt werden.

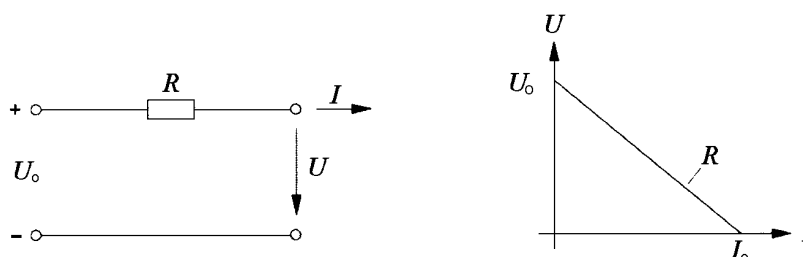


Bild C.1a) – Lineare Kennlinie

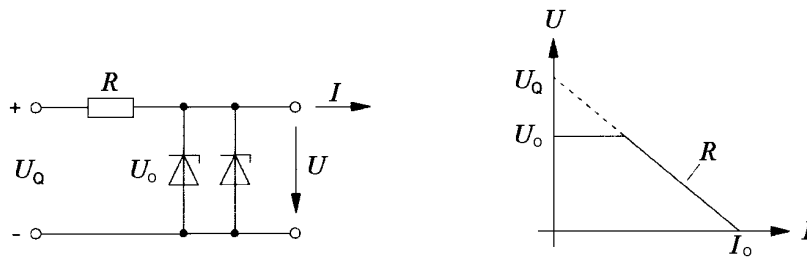


Bild C.1b) – Trapezförmige Kennlinie

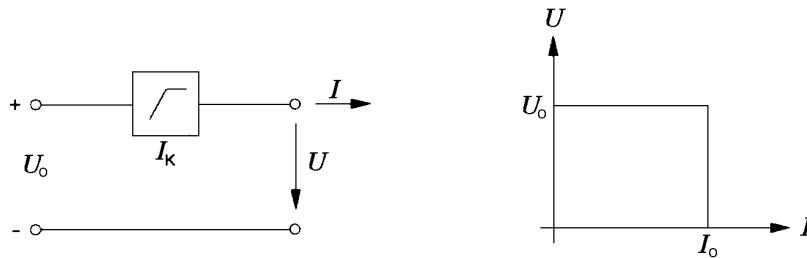


Bild C.1c) – Rechteckförmige Kennlinie

Bild C.1 – Ersatzschaltung und Ausgangskennlinie ohmscher Stromkreise

Hierzu sind im ersten Schritt die sich durch die Zusammenschaltung der zugehörigen Betriebsmittel ergebenden neuen Höchstwerte von Spannung und Strom zu ermitteln. Wenn die zugehörigen Betriebsmittel nach Bild C.2a) zusammengeschaltet sind, liegt eine Reihenschaltung vor. Es addieren sich die Höchstwerte der Leerlaufspannungen U_0 der einzelnen zugehörigen Betriebsmittel, während als Höchstwert des Stromes der größte Kurzschlussstrom I_0 der einzelnen Quellen anzusetzen ist. Bei einer Zusammenschaltung nach Bild C.2c) liegt eine Parallelschaltung vor. Es addieren sich die Kurzschlussströme, während die größte Leerlaufspannung zu nehmen ist.

Wenn die Zusammenschaltung der Betriebsmittel hinsichtlich der Polarität nicht eindeutig ist (wie in Bild C.2e)), dann kann sich je nach zu betrachtendem Fehlerzustand eine Reihenschaltung oder eine Parallelschaltung ergeben. In diesem Fall sind sowohl die Spannungsaddition als auch die Stromaddition getrennt zu betrachten. Die ungünstigsten Werte sind zugrunde zu legen.

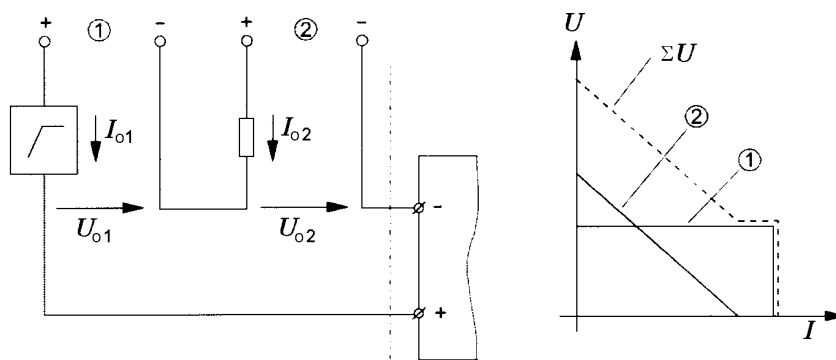


Bild C.2a) – Reihenschaltung mit Spannungsaddition

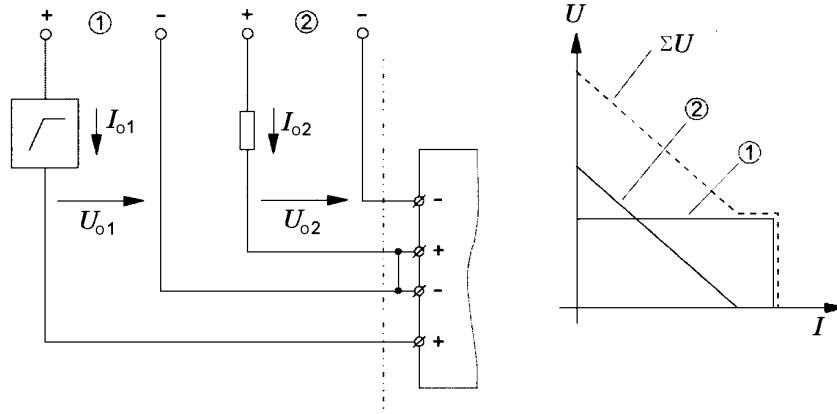


Bild C.2b) – Reihenschaltung mit Spannungsaddition und eventueller Stromaddition

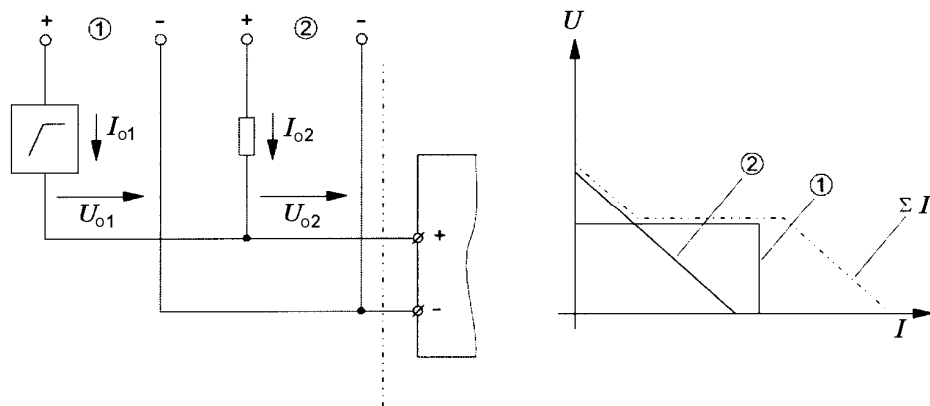


Bild C.2c) – Parallelschaltung mit Stromaddition

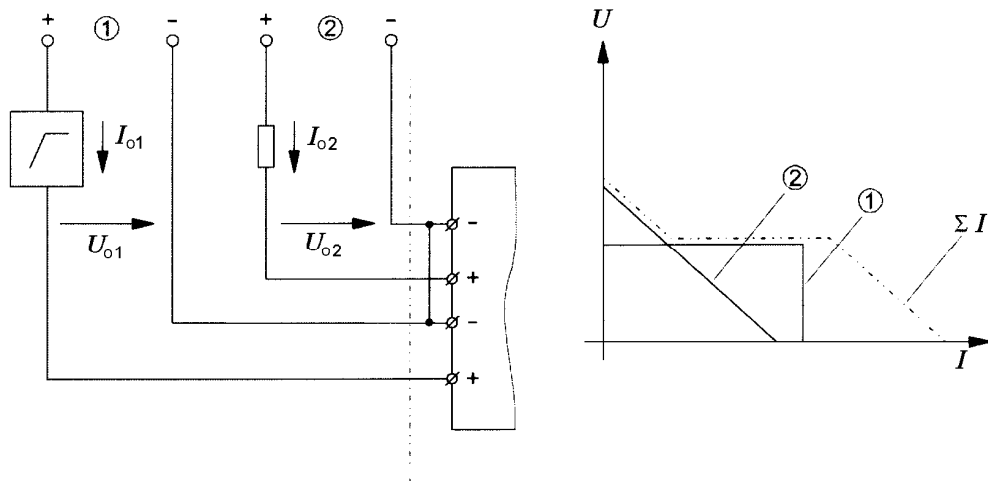


Bild C.2d) – Parallelschaltung mit Stromaddition und eventueller Spannungsaddition

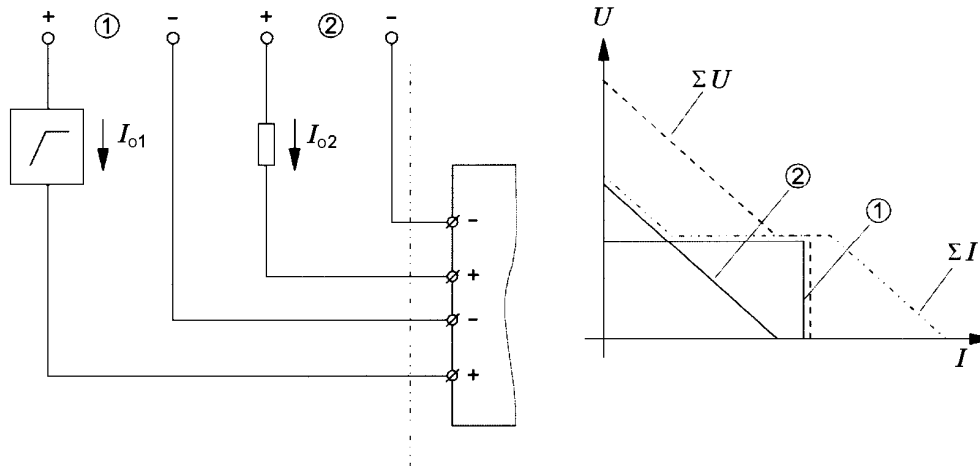


Bild C.2e) – Reihen- oder Parallelschaltung mit Strom- und Spannungsaddition

Bild C.2 – Strom- und/oder Spannungsaddition bei Zusammenschaltungen

Nach Ermittlung der neuen Höchstwerte von Strom und Spannung ist die Eigensicherheit der Zusammenschaltung anhand der in IEC 60079-11 aufgeführten Zündgrenzkurven unter Berücksichtigung des Sicherheitsfaktors für den ohmschen Stromkreis zu überprüfen und die neuen höchstzulässigen Werte für äußere Induktivität L_o und Kapazität C_o sind zu ermitteln. Hier ergeben sich aus dem in IEC 60079-14, Anhang A, vorgestellten Verfahren allerdings Schwächen, die folgende Ursachen haben:

- Die höchstzulässigen Induktivitäten gelten nur für eine Höchstspannung von 24 V;
- das gemeinsame Auftreten von Induktivität und Kapazität ist nicht berücksichtigt.

Legt man trotzdem nur die Leerlaufspannungen und Kurzschlussströme zugrunde, so sinkt im Spannungsbereich oberhalb etwa 20 V durch die genannten Vereinfachungen der tatsächlich erreichte Sicherheitsfaktor vom angestrebten Wert von 1,5 bis etwa auf 1,0 ab. Das scheint noch annehmbar zu sein, weil die Zusammenschaltung nach IEC 60079-14 im Allgemeinen nur das Schutzniveau 'ib' erreicht, auch wenn alle Einzelgeräte dem Schutzniveau 'ia' entsprechen. Bei niedrigen Spannungen kann der Sicherheitsfaktor jedoch auch beträchtlich unter den Wert von 1,0 sinken. Eine derartige Herangehensweise ist somit hinsichtlich der Sicherheit unwirksam.

Wenn eine oder mehrere aktive Quelle(n) in einem Stromkreis mindestens eine Quelle mit nichtlinearer Kennlinie ist, kann eine Bewertung auf Grundlage der Leerlaufspannungen und der Kurzschlussströme nicht mehr zum ursprünglichen Ziel führen.

Häufig kommen in der Praxis Quellen mit 'trapezförmiger' Kennlinie vor (Bild C.1b)) und auch Quellen mit 'rechteckförmiger' Ausgangskennlinie (Bild C.1c)) treten auf, wenn elektronische Strombegrenzungseinrichtungen verwendet werden. Für derartige Ersatzschaltungen sind die Zündgrenzkurven nach IEC 60079-11 nicht anwendbar. Die vorliegende Norm schreibt deshalb ein grafisches Verfahren vor, das die sicherheitstechnische Beurteilung der Zusammenschaltung von Netzwerken mit nichtlinearen Stromkreisen anhand von Diagrammen erlaubt. Zugrunde liegt ein neues rechnergestütztes Funkenzündmodell, welches es gestattet, auch bei nichtlinearen Quellen und bei gemeinsamem Auftreten von Induktivität und Kapazität den angestrebten Sicherheitsfaktor zu erreichen.

Das hier vorgestellte grafische Verfahren ist anwendbar für den Gefahrenbereich Zone 1 und für die Betriebsmittelgruppen IIC und IIB. Es ist zu betonen, dass hier ein Instrument für die Zusammenschaltung vorgestellt wird; der Einsatz für die Festlegung der Eigensicherheitskennwerte von Stromkreisen mit einzelnen Energiequellen ist nur im Falle einfacher rechteckförmiger oder linearer Energiequellen sinnvoll.

C.2 Grundtypen nichtlinearer Stromkreise

C.2.1 Kenngrößen

Zur Beurteilung der Eigensicherheit von aktiven Stromkreisen ist es erforderlich, den Innenwiderstand und die Quellenspannung zu kennen. Im einfachsten Fall lässt sich die Quelle mit zwei (konstanten) elektrischen Größen charakterisieren, entweder mit der Spannung U_o und dem Innenwiderstand R_i oder mit U_o und dem Kurzschlussstrom I_o (siehe Bild C.1a)). U_o wird häufig durch Zener-Dioden bestimmt. U_o und I_o sind Höchstwerte, die bei den in IEC 60079-11 festgelegten Fehlerfällen auftreten können. Im Fall von Bild C.1a) liegt eine lineare Kennlinie vor. Leider sind in der Praxis nur wenige Stromkreise exakt in dieser einfachen Art darzustellen.

So weist z. B. eine Batterie mit einem externen Strombegrenzungswiderstand keinen konstanten Innenwiderstand auf. Ebenso ändert sich die Quellenspannung in Abhängigkeit vom Ladezustand. Um das Verhalten von derartigen praktischen Schaltungen studieren zu können, werden diese als deren einfachere Ersatzschaltungen dargestellt, die natürlich nicht weniger zündfähig sein dürfen als der konkret vorliegende Stromkreis. Im oben aufgeführten Beispiel einer Batterie wäre dann die maximale Leerlaufspannung als U_o und der externe Widerstand als R_i wie in Bild C.1a) anzusetzen. Diese Ersatzschaltung hat eine lineare Kennlinie.

Gewöhnlich lassen sich auch die nichtlinearen Schaltungen auf die beiden Grundtypen nach Bild C.1b) und C.1c) zurückführen. Die Quelle mit trapezförmiger Kennlinie (Bild C.1b)) besteht aus einer Spannungsquelle, einem Widerstand und zusätzlichen spannungsbegrenzenden Schaltelementen (z. B. Zener-Dioden) an den Ausgangsklemmen. Bei der rechteckförmigen Kennlinie nach Bild C.1c) wird der Strom durch eine elektronische Stromregelung begrenzt.

Wird nun die Ausgangsleistung der unterschiedlichen Netzwerke betrachtet, so wird unmittelbar deutlich, dass unterschiedliche Zündgrenzwerte gültig sein müssen, denn der Zündfunke ist ebenfalls ein 'Verbraucher', mit dessen Anpassung an die speisende Quelle gerechnet werden muss. Die höchste verfügbare Leistung aus der in Bild C.1a) dargestellten Quelle ist

$$P_{\max} = \frac{1}{4} U_o \times I_o$$

und für die trapezförmige Kennlinie (Bild C.1b)) gilt:

$$P_{\max} = \frac{1}{4} U_Q \times I_o \quad (\text{für } U_o > \frac{1}{2} \times U_Q), \text{ oder}$$

$$P_{\max} = U_o \times (U_Q - U_o)/R \quad (\text{für } U_o \leq \frac{1}{2} \times U_Q).$$

Die trapezförmige Kennlinie Bild C.1b) geht für U_Q gegen ∞ in die rechteckförmige Kennlinie nach Bild C.1c) über.

Hier gilt:

$$P_{\max} = U_o \times I_o.$$

Zur vollständigen elektrischen Beschreibung einer Quelle sind für die lineare und die rechteckförmige Kennlinie zwei Größen und für die trapezförmige Kennlinie drei Größen erforderlich (Tabelle C.1).

Tabelle C.1 – Erforderliche Größen zur Beschreibung der Ausgangskennlinie

Kennlinie	Erforderliche Kennwerte
Linear, Bild C.1a)	U_o, I_o oder U_o, R
Trapezförmig, Bild C.1b)	U_o, U_Q, R oder U_o, R, I_o oder U_o, U_Q, I_o
Rechteckförmig, Bild C.1c)	U_o, I_o

C.2.2 Angaben in den Prüfbescheinigungen

Da nach IEC 60079-14, 12.2.1 oder 12.3, Betriebsmittel mit aktiven eigensicheren Stromkreisen bescheinigt sein müssen, kann davon ausgegangen werden, dass für die einzelnen Betriebsmittel, die mit ihren eigensicheren Stromkreisen zusammengeschaltet werden sollen, jeweils immer eine Prüfbescheinigung vorliegt, die die entsprechenden elektrischen Größen enthält.

Der erste Schritt bei der sicherheitstechnischen Bewertung muss darin bestehen, für die einzelnen Stromkreise die Art der Kennlinie und die zugehörigen elektrischen Größen zu ermitteln. Da dem Planer oder Betreiber normalerweise die Schaltung und der innere Aufbau der Betriebsmittel nicht bekannt sind, muss er sich auf die elektrischen Daten in den Prüfbescheinigungen stützen.

Die in den Bescheinigungen üblicherweise angegebenen Werte sind Leerlaufspannung (hier als U_0 bezeichnet) und Kurzschlussstrom (hier als I_0 bezeichnet) sowie in der Regel die maximal verfügbare Leistung P_0 . Aus diesen Werten lassen sich häufig bereits Rückschlüsse auf die Art der Kennlinie ziehen.

Beispiel (Höchstwerte):

$$U_0 = 12,5 \text{ V}$$

$$I_0 = 0,1 \text{ A}$$

$$P_0 = 313 \text{ mW}$$

Da P_0 hier ein Viertel des Produktes aus Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom beträgt, kann geschlossen werden, dass es sich in diesem Beispiel um eine lineare Kennlinie (Bild C.1a)) handelt.

Beispiel (Höchstwerte):

$$U_0 = 20,5 \text{ V}$$

$$I_0 = 35 \text{ mA}$$

$$P_0 = 718 \text{ mW}$$

Hier ergibt sich P_0 als Produkt von Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom, demzufolge liegt also eine rechteckförmige Kennlinie vor (Bild C.1c)).

In bestimmten Fällen korrespondieren die Werte für die Leistung sowie für die Strom- und Spannungsangaben nicht, weil die Leistung für den stationären Fall (Erwärmungsverhalten nachgeschalteter Bauteile) und die Strom- oder Spannungswerte für das dynamische Verhalten (Funkenzündung) angegeben sind. Es ist also im Zweifelsfall kritisch zu überprüfen, welche Kennlinie für die Zusammenschaltung, also für das Funkenzündverhalten, zugrunde zu legen ist.

Im Falle einer trapezförmigen Kennlinie reichen die Angaben in der Prüfbescheinigung oft nicht aus, um die Kennlinie zu konstruieren. Hier fehlt die dritte Größe (siehe Tabelle C.1), entweder U_Q oder R .

Wenn R als die zusätzliche Größe angegeben ist, besteht die geringste Gefahr der Verwechslung. Deshalb wird gewöhnlich R in den Prüfbescheinigungen angegeben. Die Größe U_Q (Bild C.1b)) lässt sich dann aus $U_Q = I_0 \times R$ ableiten.

In den meisten Fällen ist bei nichtlinearen Stromkreisen auch die Kennlinienform in der Prüfbescheinigung angegeben.

Ein Beispiel kann wie folgt aussehen.

Höchstwerte (trapezförmige Kennlinie):

$$U_0 = 13,7 \text{ V}$$

$$I_0 = 105 \text{ mA}$$

$$R = 438 \, \Omega$$

$$P_o = 1\,010 \, \text{mW}$$

Die zugrunde liegende Kennlinie zeigt Bild C.3a); Bild C.3b) zeigt die sicherheitstechnische Ersatzschaltung.

Die Berechnung kommt wie folgt zustande:

$$U_Q = I_o \times R = 46 \, \text{V} \text{ und}$$

$$P_o = (U_Q - U_o) \times U_o / R = 1\,010 \, \text{mW}$$

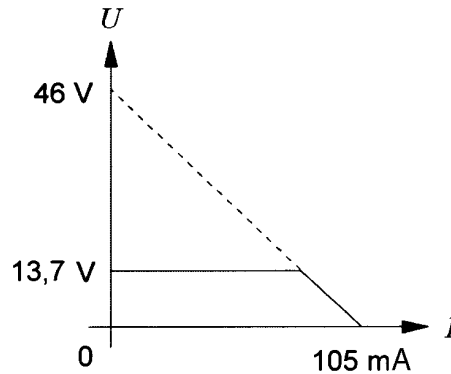


Bild C.3a) – Ausgangskennlinie

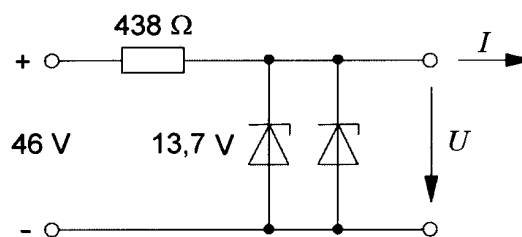


Bild C.3b) – Ersatzschaltung

Bild C.3 – Ausgangskennlinie und Ersatzschaltung einer Quelle mit trapezförmiger Kennlinie

Auf diese Weise sind die für die Zusammenschaltung benötigten Daten aus den Angaben zu erhalten, die in der Prüfbescheinigung aufgeführt sind. Fehlen Angaben in älteren Bescheinigungen, so müssen die Werte vom Hersteller des Betriebsmittels oder von der jeweiligen Prüfstelle erfragt werden.

Bei der Planung eigensicherer Stromkreise ist stets anzustreben, die Zusammenschaltungen und die Anzahl an zusammengeschalteten Betriebsmitteln klein zu halten. Häufig lässt sich diese Zielstellung in der Praxis nicht erreichen, weil es auch erforderlich ist, Fehlerbedingungen zu berücksichtigen. Das bedeutet, dass einige Betriebsmittel, die beim bestimmungsgemäßen Gebrauch nicht als Quellen wirken, unter Fehlerbedingungen als Quellen anzusehen sind.

Die passiven Eingänge von Geräten, z. B. Messumformern, Schreibern usw., können bei sicherheitstechnischer Betrachtung als aktive Quellen wirken. Deshalb müssen auch die in Prüfbescheinigungen angegebenen Höchstwerte beachtet werden. So kann die betriebsmäßige Kennlinie eines Stromkreises erheblich von der sicherheitstechnischen Kennlinie abweichen. Die in der Prüfbescheinigung angegebenen Höchstwerte für Leerlaufspannung U_o und Kurzschlussstrom I_o werden in einigen Fällen von dem jeweiligen Stromkreis nur kurzzeitig abgegeben. Andererseits gilt der Leistungswert normalerweise für stationäre Verhältnisse, die bei der Erwärmung von angeschlossenen Bauteilen zu berücksichtigen sind.

C.3 Zusammenschaltung von eigensicheren Stromkreisen mit mehreren Quellen

C.3.1 Ermittlung einer Summen-Ausgangskennlinie

Bei der Zusammenschaltung wird davon ausgegangen, dass die Ausgangskennlinien für die als Quelle zu betrachtenden Stromkreise bekannt sind (siehe C.2). Es ist nun anhand der Schaltung zu überprüfen, ob im Normalbetrieb und unter Fehlerbedingungen nur mit einer Spannungsaddition, einer Stromaddition oder mit Spannungs- und Stromaddition gerechnet werden muss.

Sind die zusammengeschalteten Quellen in Reihe geschaltet und nicht potentialgebunden, z. B. an Erde (Bild C.2a)), dann ist unabhängig von der Polarität der Quellen nur die Spannungsaddition möglich. Die Summen-Ausgangskennlinie lässt sich in geeigneter Weise durch grafische Addition gewinnen, indem für jeden Stromwert die Spannungswerte der einzelnen Quellen addiert werden. Die strichpunktierte Kurve in Bild C.2 stellt jeweils die Summenkennlinie der einzelnen Fälle dar.

Bei der Reihenschaltung nach Bild C.2b), wo der gemeinsame Pol beider Spannungsquellen mit zum Verbraucher geführt wird, ist eine Stromaddition nur dann auszuschließen, wenn die Polarität beider Quellen in der hier vorgegebenen Richtung sicherheitstechnisch festliegt (z. B. bei bestimmten Sicherheitsbarrieren). Bei Quellen, deren Polarität sich betriebsmäßig oder unter Fehlerbedingungen verändern kann, ist sowohl die Spannungs- als auch die Stromaddition in Betracht zu ziehen (siehe Bild C.2e)).

Bei der Parallelschaltung nach Bild C.2c) ist nur eine Stromaddition möglich, wenn bei zweipoligen Quellen jeweils zwei Anschlüsse miteinander verbunden werden. Eine Spannungsaddition ist in diesem Fall nicht möglich, und die Summenkennlinie wird durch grafische Addition der Einzelstromwerte erzeugt.

Wird von jeder Quelle nur ein Pol mit dem der anderen Quelle verbunden (Bild C.2d)), so ist eine Spannungsaddition nur dann auszuschließen, wenn die Polarität der Quellen, wie hier dargestellt, unter allen Umständen sicherheitstechnisch festliegt (z. B. bei Sicherheitsbarrieren). Andernfalls muss sowohl die Spannungs- als auch die Stromaddition berücksichtigt werden (siehe Bild C.2e)).

Führen schließlich mehrere Stromkreise in einen Schaltungsbereich, in dem beliebige Verknüpfungen angenommen werden müssen (Bild C.2e)), so kann je nach den in Betracht kommenden Fehlerbedingungen eine Reihen- oder Parallelschaltung auftreten, sodass sowohl Strom- als auch Spannungsaddition zu betrachten sind. Da beide Fälle jedoch nicht gleichzeitig möglich sind, müssen in zwei Arbeitsschritten die Summenkennlinie für Stromaddition und die Summenkennlinie für Spannungsaddition konstruiert werden. Diese Vorgehensweise ist auch in allen Zweifelsfällen bei den Stromkreisen in den Bildern C.2b) und C.2d) erforderlich sowie bei Stromkreisen mit mehr als zwei Leitern. Das so gewonnene Ergebnis wird immer auf der sicheren Seite liegen.

C.3.2 Sicherheitstechnische Beurteilung der Zusammenschaltung und Ermittlung der höchstzulässigen Kapazität und Induktivität

Nachdem nun nach C.3.1 die Summen-Ausgangskennlinie der Zusammenschaltung ermittelt worden ist, kann im nächsten Schritt die Analyse der Eigensicherheit beginnen. Hierfür sind die in den Bildern C.7 und C.8 aufgeführten Diagramme zu verwenden. Die Diagramme enthalten für die neuen Höchstwerte von Stromstärke und Spannung im zusammengeschalteten Stromkreis bei vorgegebener Induktivität die Grenzkurven für lineare Quellkennlinien (gestrichelte Grenzkurve) und für rechteckförmige Kennlinien (durchgezogene Grenzkurve). Weiterhin sind auch Kurvenscharen zur Ermittlung der höchstzulässigen äußeren Kapazität für beide Fälle angegeben. Eine Zusammenstellung zeigt Tabelle C.2.

Tabelle C.2 – Zuordnung der Diagramme zu den Betriebsmittelgruppen und Induktivitäten

Bild	Betriebsmittelgruppe	Zulässige Induktivität L_0
C.7a)	IIC	0,15 mH
C.7b)		0,5 mH
C.7c)		1 mH
C.7d)		2 mH
C.7e)		5 mH

Tabelle C.2 (fortgesetzt)

Bild	Betriebsmittelgruppe	Zulässige Induktivität L_0
C.8a)	IIB	0,15 mH
C.8b)		0,5 mH
C.8c)		1 mH
C.8d)		2 mH
C.8e)		5 mH

Für die Beurteilung der Eigensicherheit wird zunächst die Betriebsmittelgruppe und dann die angestrebte Gesamtinduktivität für die Zusammenschaltung ausgewählt. Ist nur mit kleinen Induktivitäten (keine konzentrierten Induktivitäten, kurze Leitungslängen) zu rechnen, so ist das Diagramm mit der kleinsten Induktivität (d. h. Bild C.7a) für Gruppe IIC und Bild C.8a) für Gruppe IIB) auszuwählen.

In das jeweilige Diagramm wird dann die Summen-Ausgangskennlinie eingezeichnet. Wenn nach C.3.1 Strom- und Spannungsaddition zu betrachten sind, müssen beide Summen-Ausgangskennlinien eingetragen werden.

Nun ist unmittelbar abzulesen, ob die Zusammenschaltung mit der dem Diagramm zugrunde liegenden Induktivität und in der gewählten Betriebsmittelgruppe eigensicher ist. Die Summenkennlinie darf die Grenzkurve der Rechteck-Quelle im Diagramm an keiner Stelle schneiden. Außerdem muss der durch die größte auftretende Spannung und den größten Strom der Summenkennlinie definierte Punkt im Diagramm unterhalb der Grenzkurve der linearen Quelle liegen.

Die höchstzulässige Kapazität des resultierenden Stromkreises ergibt sich als der kleinere Wert aus den beiden C_0 -Grenzkurvenscharen, der der höchste C_0 -Wert ist, der bezogen auf die Grenzkennlinien der Rechteck-Quelle und der linearen Quelle von der Summen-Ausgangskennlinie noch nicht geschnitten wird. Wird für eine Anwendung eine größere zulässige Kapazität C_0 gewünscht, so kann das gegebenenfalls durch Zugrundelegung eines Diagramms für eine kleinere Induktivität erreicht werden. Der gleiche Ansatz kann auch für den Fall angewendet werden, dass die Summen-Ausgangskennlinie die Grenzkurve für die induktive Grenze der linearen oder der Rechteck-Quelle schneidet. Wird auch im Diagramm für die kleinste Induktivität (0,15 mH) die jeweilige Grenzkurve im CII-Diagramm überschritten, so wird die Verwendung des IIB-Diagramms empfohlen. Wird auch hier eine der Grenzkurven überschritten, so ist die Zusammenschaltung auch für die Betriebsmittelgruppe IIB nicht eigensicher.

C.3.3 Ergänzende Erläuterungen zum Kennlinienverfahren

Das in C.3.1 und C.3.2 beschriebene Verfahren zur sicherheitstechnischen Beurteilung von Zusammenschaltungen eigensicherer Stromkreise beruht auf Grundlagenuntersuchungen und Modellrechnungen. Die aktuelle Bewertungsmethode führt auf abweichende Werte zu bisherigen Berichten.

Im Kleinspannungsbereich sind künftig etwas größere Kapazitäten zulässig. Bei höheren Spannungen kann der Unterschied bis zum Faktor 3 reichen. Im Gegensatz zu den Diagrammen im bisherigen Bericht ist bei den Diagrammen in den Bildern C.7 und C.8 die Grenzkurve für den rein ohmschen Stromkreis fortgelassen; sie ist inhärent durch die induktiven Grenzen mit erfasst. Weiterhin wurden hier auch die Grenzkurven für lineare Quellen aufgenommen. Abgesehen davon bleibt das eingeführte grafische Verfahren weitgehend erhalten.

Das grafische Verfahren beruht auf der Reduktion der tatsächlichen Quellenkennlinie auf jeweils eine abstrahierte lineare sowie eine rechteckförmige Quelle und dem Vergleich mit den zugehörigen Grenzkurven. Nur für den Fall, dass die tatsächliche Quellenkennlinie entweder linear oder rechteckförmig ist, kann die Auswertung der Diagramme den Sicherheitsfaktor von 1,5 exakt sicherstellen. In manchen Fällen komplexerer Quellen kann jedoch vorteilhaft eine einhüllende lineare oder rechteckförmige Kennlinie konstruiert werden, und der Sicherheitsfaktor bleibt erhalten. Falls beide Grenzkriterien ausgenutzt werden, kann der tatsächlich erzielte Sicherheitsfaktor geringfügig kleiner sein (jedoch immer größer als 1). Das ist eine Folge der Reduzierung der wirklichen Verhältnisse auf diese einfache grafische Methode. Nach allgemeiner Expertenauffassung ist das im Verantwortungsbereich der Errichtung für den Gefahrenbereich der Zone 1 akzeptabel.

Bei Anwendung der Diagramme in den Bildern C.7 und C.8 wird auch stets das Zusammenwirken von Induktivität und Kapazität (gemischter Stromkreis) berücksichtigt. Auch bei der Zusammenschaltung rein linearer Stromkreise (Ausgangskennlinie nach Bild C.1a)) sollte das Verfahren angewendet werden. Das vorgestellte

E DIN IEC 60079-25 (VDE 0170-10-1):2007-08

Verfahren macht keinen Unterschied zwischen konzentrierten Induktivitäten oder Kapazitäten und solchen, die sich von verteilten Kabelkenngrößen ableiten. Solange Leitungen mit Laufzeiten bis etwa 10 µs auftreten, gibt es aus derzeitiger Sicht auch keinen Anlass für diese Unterscheidung. Der Bezug auf konzentrierte Elemente liegt auf der sicheren Seite und stellt im Gegensatz zu früheren Berechnungsmethoden auch keine ganz wesentliche Einschränkung mehr dar.

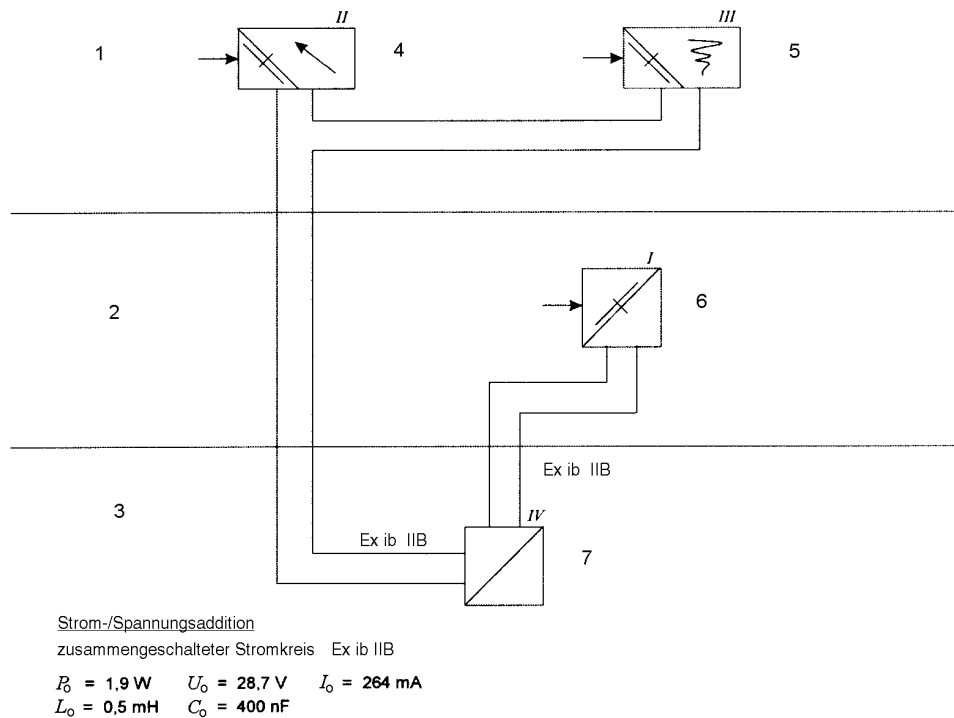
Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass alle Angaben hinsichtlich der sicherheitstechnischen Daten aus einem einzigen Diagramm entnommen werden können. Dennoch sollte ein zusätzlicher Vergleich der Zuordnung maximale Leerlaufspannung zu maximaler Kapazität nach Tabelle A.2 in IEC 60079-11 erfolgen, weil in bestimmten Fällen das hier beschriebene Kennlinienverfahren höhere zulässige Kapazitäten angibt. Es sind dann die Werte aus IEC 60079-11 zu nehmen, weil ansonsten Missverständnisse auftreten können.

Die erhaltenen Werte für die höchstzulässige äußere Induktivität und Kapazität gelten stets für die gesamte Zusammenschaltung, d. h. es sind auch die an den äußeren Klemmen wirksamen Induktivitäten und Kapazitäten der einzelnen Geräte zu berücksichtigen.

Das den Diagrammen zugrunde gelegte Berechnungsverfahren weist keine bekannten signifikanten systematischen Abweichungen von den Ergebnissen der Zündversuche bei den zugrunde liegenden Grundsatzuntersuchungen auf. Die zahlreichen zur Verfügung stehenden Messergebnisse weisen bekanntermaßen Streuungen auf, die bei etwa 10 % liegen. Der Grund dafür liegt im Prinzip und dem Messverfahren des Funkenprüfgerätes. Größere Abweichungen des hier vorgestellten Berechnungsverfahrens sind nicht zu erwarten.

C.4 Erläuterung des Kennlinienverfahrens anhand eines Beispiels

Im Beispiel nach Bild C.4 wird ein Analysengerät mit Verstärker innerhalb des explosionsgefährdeten Bereiches aus einem Netzgerät (I) eigensicher gespeist. Das eigensichere Verstärker-Ausgangssignal (0 mA bis 20 mA-Signal) wird auf einer Anzeige (II) und auf einen Schreiber (III) eingespeist.



Legende

- | | |
|---|---|
| 1 Messwarte | 5 Schreiber, betriebsmäßig passiv; Höchstwerte: 1 V, 31 mA, 10 mW, lineare Kennlinie |
| 2 Schaltraum | 6 Netzteil, Höchstwerte: Ex ib IIB 15,7 V, 100 mA, 1,57 W, $L_0 \leq 1 \text{ mH}$, $C_0 \leq 650 \text{ nF}$ elektronische Strombegrenzung, rechteckförmige Kennlinie |
| 3 Anlage (explosionsgefährdeter Bereich) | 7 Analysengerät mit Verstärker (eigensicheres Betriebsmittel) |
| 4 Anzeiger, betriebsmäßig passiv; Höchstwerte: 12 V, 133 mA, 0,4 W, lineare Kennlinie | |

Bild C.4 – Beispiel einer Zusammenschaltung

Das Analysengerät ist ein eigensicheres Betriebsmittel; das Netzgerät, der Anzeiger und der Schreiber sind zugehörige Betriebsmittel im Sinne der IEC 60079-11. Im Normalbetrieb ist nur das Netzgerät als aktive Quelle wirksam, während Anzeiger und Schreiber passiv sind. Für die sicherheitstechnische Analyse müssen jedoch die im Fehlerfall möglichen Höchstwerte der drei Geräte zugrunde gelegt werden, die aus den Prüfbescheinigungen hervorgehen.

Es liegen folgende Angaben vor:

I. Netzgerät

Ausgang in Zündschutzart Ex ib IIB

Höchstwerte:

$$U_0 = 15,7 \text{ V}$$

$$I_0 = 100 \text{ mA}$$

$$P_0 = 1,57 \text{ W}$$

$$L_0 = 1 \text{ mH}$$

E DIN IEC 60079-25 (VDE 0170-10-1):2007-08

$$C_o = 650 \text{ nF}$$

Rechteckförmige Ausgangskennlinie (Bild C.1c))

II. Anzeiger

Eingang in Zündschutzart Ex ib IIC

Höchstwerte:

$$U_o = 12 \text{ V}$$

$$I_o = 133 \text{ mA}$$

$$P_o = 0,4 \text{ W}$$

$$L_o = 1,8 \text{ mH}$$

$$C_o = 1,4 \text{ }\mu\text{F}$$

Lineare Ausgangskennlinie (Bild C.1a))

III. Schreiber

Eingang in Zündschutzart Ex ib IIC

Höchstwerte:

$$U_o = 1 \text{ V}$$

$$I_o = 31 \text{ mA}$$

$$P_o = 10 \text{ mW}$$

$$L_o = 36 \text{ mH}$$

$$C_o = 200 \text{ }\mu\text{F}$$

Lineare Ausgangskennlinie (Bild C.1a))

Bei der Zusammenschaltung nach Bild C.4 können sich je nach Fehlerbedingungen im Analysengerät wie nach Bild C.2e) die Spannungen oder die Ströme addieren. Die Einzelkennlinien und die beiden Summenkennlinien für Spannungs- und Stromaddition sind in Bild C.5 dargestellt.

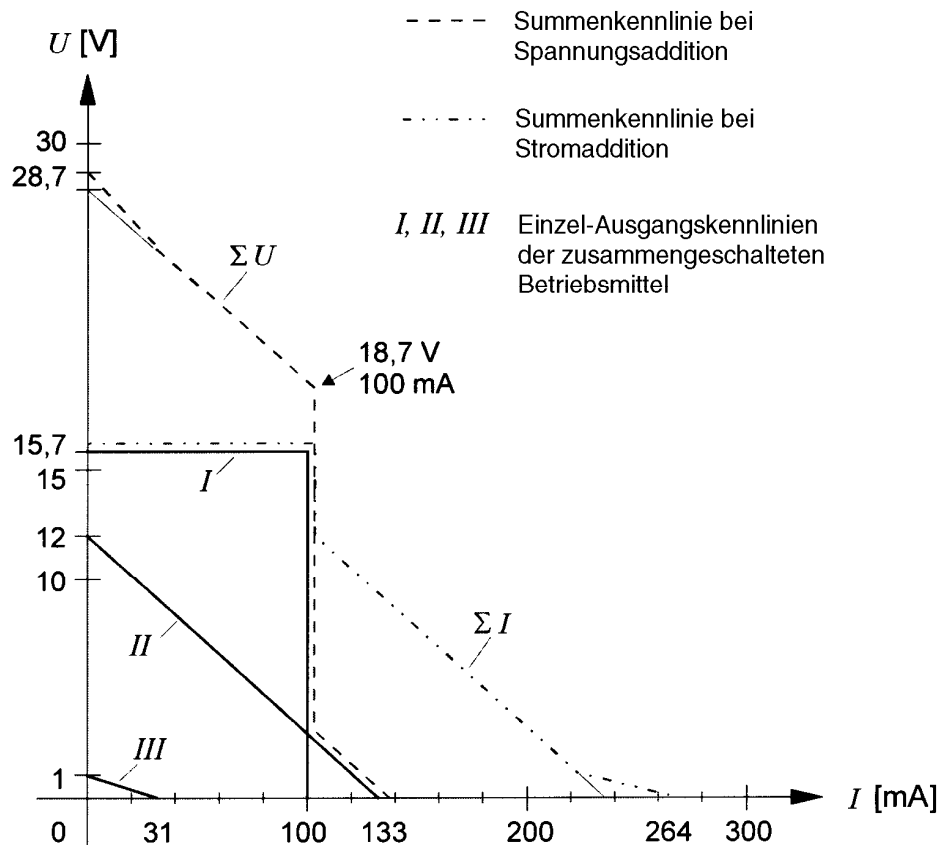


Bild C.5 – Summenkennlinien zum Stromkreis nach Bild C.4

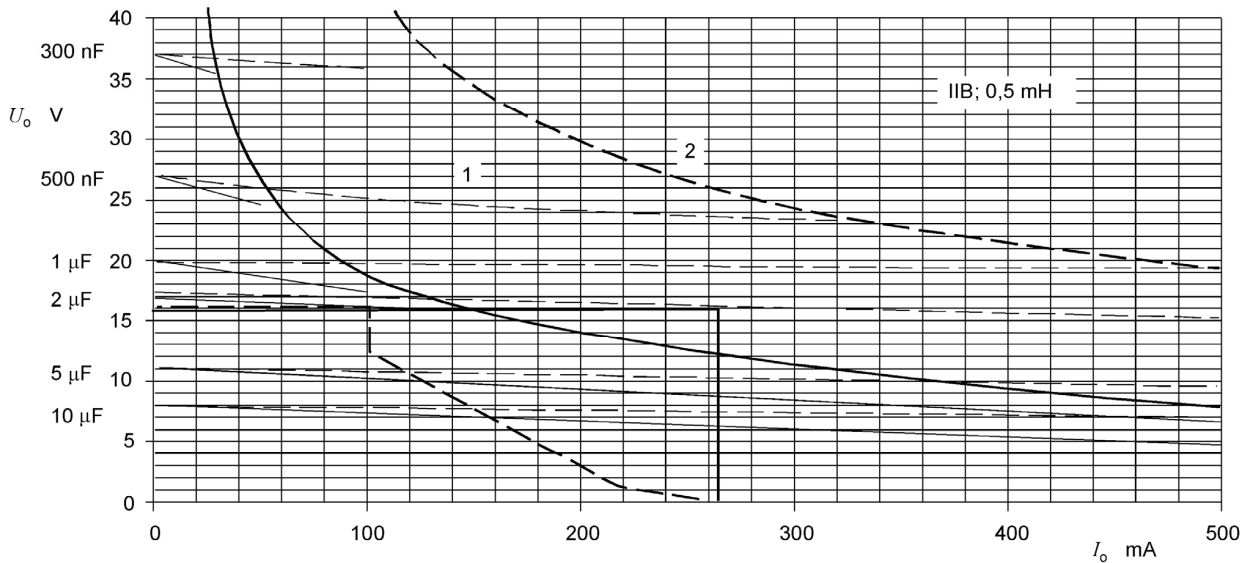
Zur Überprüfung der Eigensicherheit sind die beiden Summenkennlinien in Bild C.8b) (Betriebsmittelgruppe IIB, $L = 0,5$ mH) eingezeichnet (Bilder C.6a) und C.6b)).

Der Knickpunkt mit 18,7 V und 100 mA bei der Spannungsaddition ist hier offensichtlich der kritische Punkt; er liegt am nächsten an der induktiven Grenze der Rechteck-Quelle, überschreitet diese jedoch nicht. In diesem Punkt wird auch die theoretisch höchste Leistung von 1,9 W erreicht.

Da die Summenkennlinien beider Zusammenschaltungen den Grenzkriterien im Hinblick auf die induktive Grenzkurve für die lineare Quelle und die für die Rechteck-Quelle auf Bild C.6a) und C.6b) genügen, ist die sicherheitstechnische Prüfung hier positiv ausgefallen. Für die maximale Spannung der Summenkennlinie (28,7 V) ergibt sich im vorliegenden Beispiel die höchstzulässige Kapazität der Zusammenschaltung zu etwa 400 nF aus der Kurvenschar in Bild C.6b). Eine Kontrolle nach Tabelle A.2 in IEC 60079-11 für 28,7 V, Gruppe IIB ergibt einen zulässigen Kapazitätswert von 618 nF, der höher liegt als der hier gefundene Wert von 400 nF.

– Entwurf –

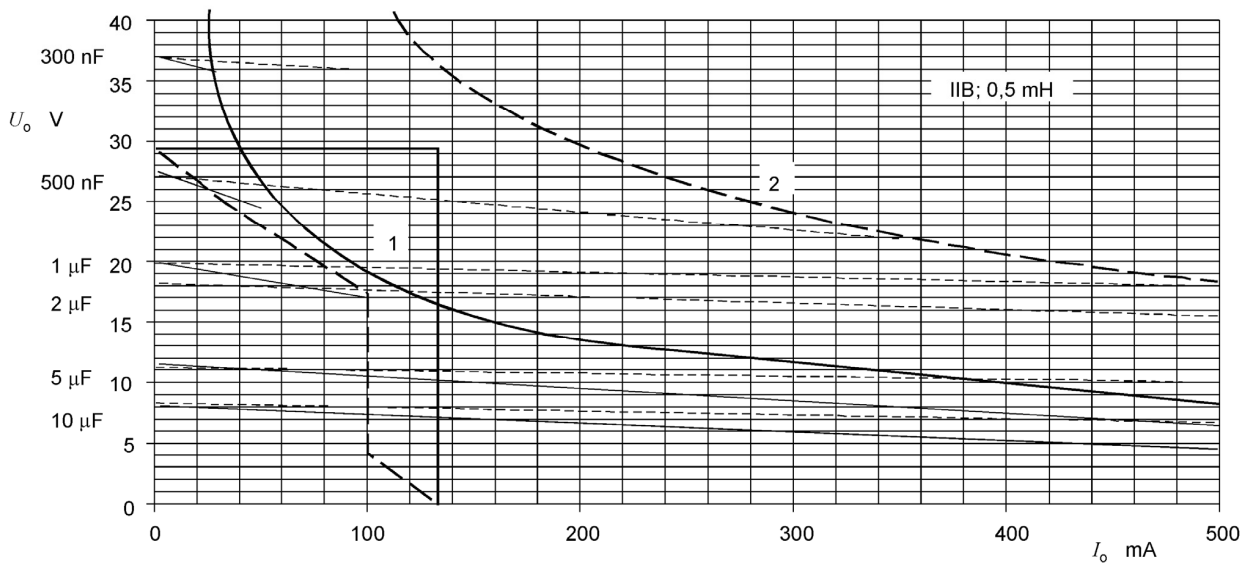
E DIN IEC 60079-25 (VDE 0170-10-1):2007-08



Legende

- 1 Induktive Grenze der Rechteck-Quelle
- 2 Induktive Grenze der linearen Quelle

Bild C.6a) – Stromaddition



Legende

- 1 Induktive Grenze der Rechteck-Quelle
- 2 Induktive Grenze der linearen Quelle

Bild C.6b) – Spannungsaddition

Bild C.6 – Strom- oder Spannungsaddition des Beispiels nach Bild C.4

Die resultierenden Werte der Zusammenschaltung sind nun:

Betriebsmittelgruppe IIB

Höchstwerte:

$$U_o = 28,7 \text{ V}$$

$$I_o = 264 \text{ mA}$$

$$P_o = 1,9 \text{ W}$$

$$L_o = 0,5 \text{ mH}$$

$$C_o = 400 \text{ nF}$$

Da im vorliegenden Beispiel die zugehörigen Betriebsmittel (Netzgerät, Anzeiger und Schreiber) keine wirk-samen Induktivitäts- und Kapazitätswerte an den eigensicheren Ein-/Ausgängen aufweisen, dürfen die Höchstwerte für Induktivität und Kapazität für das eigensichere Betriebsmittel (Analysengerät) und für die Leitungen ausgeschöpft werden.

C.5 Zusammenfassung

Bei der Planung und Errichtung mess- und prozesstechnischer Anlagen in der chemischen und petrochemi-schen Industrie ergibt sich häufig die Notwendigkeit, mehrere einzeln bescheinigte Betriebsmittel mit eigen-sicheren Stromkreisen zusammenzuschalten.

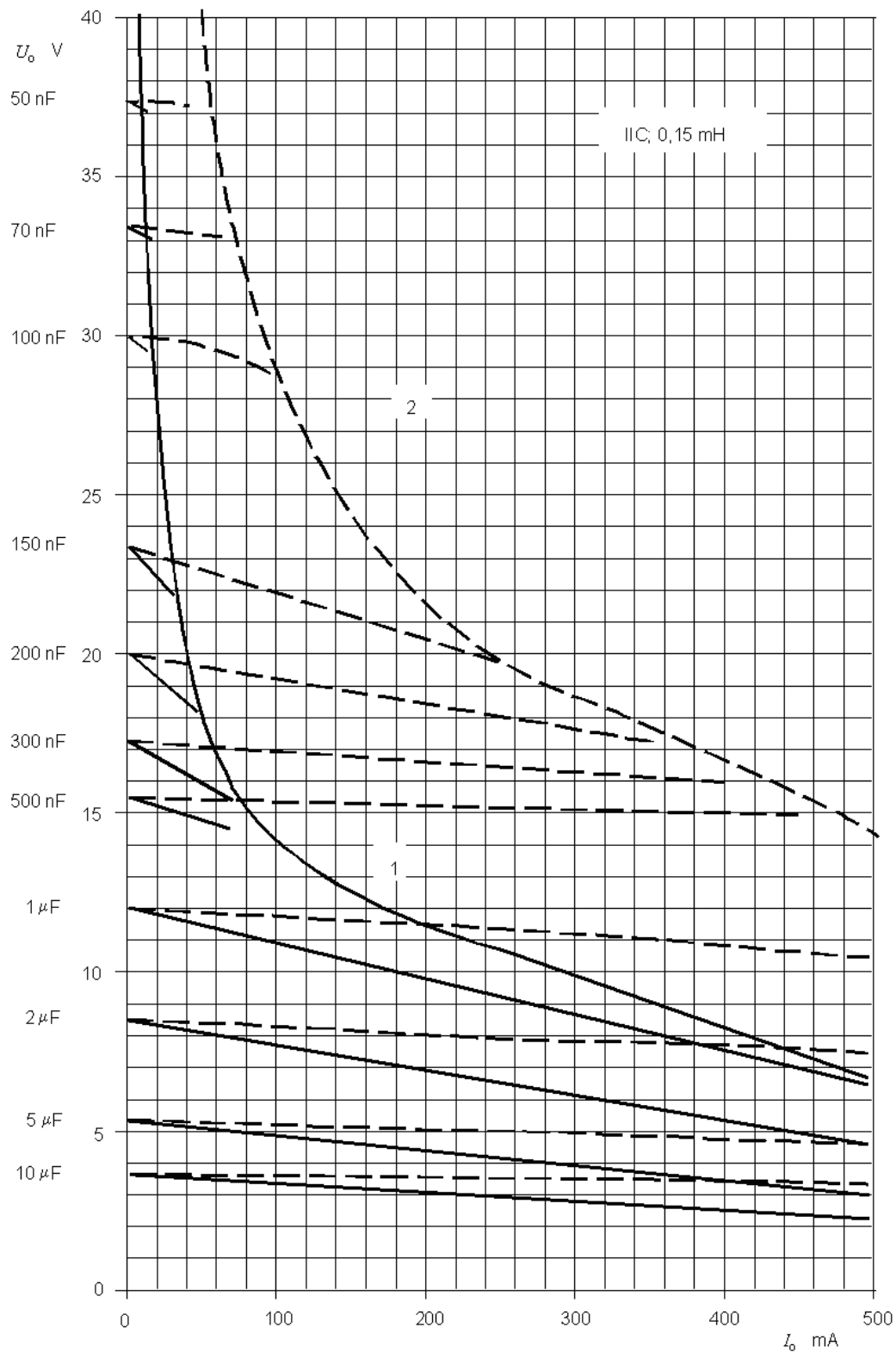
Dem Planer, Errichter oder Betreiber einer elektrischen Anlage im explosionsgefährdeten Bereich gestatten die Errichtungsbestimmungen IEC 60079-14, solche Zusammenschaltungen in eigener Verantwortung vor-zunehmen, sofern ein rechnerischer oder messtechnischer Nachweis über die Sicherheit der Zusammen-schaltung geführt wird. Da der Betreiber in der Regel nicht die Möglichkeit eines messtechnischen Nachweises hat (die erforderlichen Geräte stehen ihm nicht zur Verfügung), bleibt die Nachweismöglichkeit durch ein geeignetes Berechnungsverfahren. IEC 60079-14 gibt bisher nur ein Verfahren an, das ausschließlich für Quellen mit rein linearem Innenwiderstand angewendet werden kann und auch dort nicht immer zu sicheren Konstellationen führt. In der Praxis treten weiterhin häufig Quellen mit nichtlinearem Verhalten auf, deren Zusammenschaltung bisher nur mit Hilfe einer Prüfstelle möglich war.

Es wurde deshalb eine Verfahrensweise entwickelt, die die sicherheitstechnische Beurteilung der Zusammenschaltung von Netzwerken mit nichtlinearen Stromkreisen anhand von Diagrammen erlaubt. Das hier beschriebene Kennlinienverfahren ist für die Betriebsmittelgruppen IIB und IIC und für den Gefahrenbereich Zone 1 anwendbar.

Kern des Verfahrens ist die grafische Summation der Ausgangskennlinien der beteiligten eigensicheren Quellen. Die Summen-Ausgangskennlinien werden dann in ein geeignetes Diagramm eingetragen, aus dem schließlich die Eigensicherheit des ohmschen, induktiven, kapazitiven und gemischten (d. h. bei gleichzeitiger induktiver und kapazitiver Beschaltung) Stromkreises abgelesen werden kann. Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass alle Informationen und Randbedingungen bezüglich der sicherheits-technischen Daten unmittelbar aus einem Diagramm entnommen werden können. Der erforderliche Sicherheitsfaktor von 1,5 ist bereits in die Diagramme eingearbeitet.

C.6 Diagramme

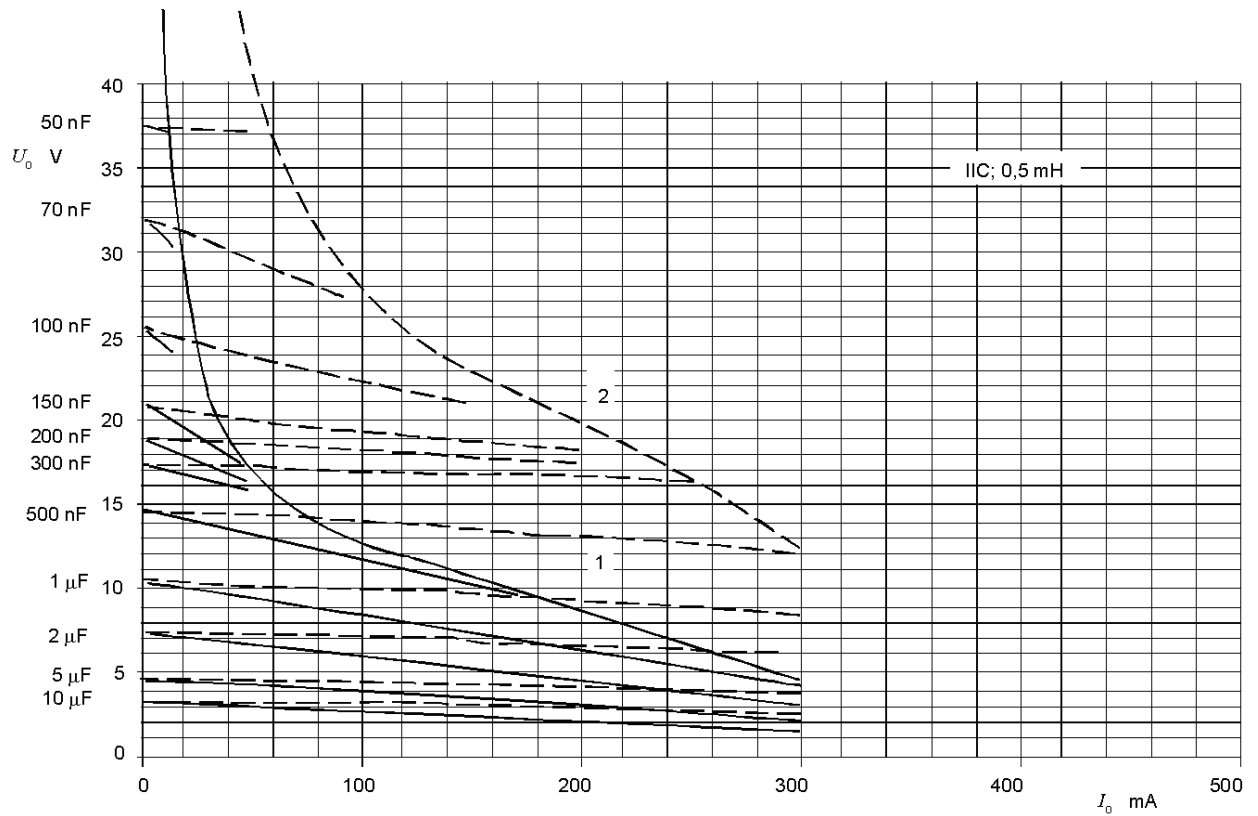
Das Diagramm C.9 ist einbegriffen, so dass es auf Folie kopiert als Transparenzschablone verwendet werden kann. Die selbst berechneten Diagramme für Spannungs- oder Stromaddition können eingezeichnet und auf die unterschiedlichen Grenzkurvendiagramme (Normalmaßstab) zur Auswertung gelegt werden. Die folgenden Seiten enthalten die Grenzkurvendiagramme nach Tabelle C.2 jeweils im Normalmaßstab und in günstigster Skalierung.



Legende

- 1 Induktive Grenze der Rechteck-Quelle
- 2 Induktive Grenze der linearen Quelle

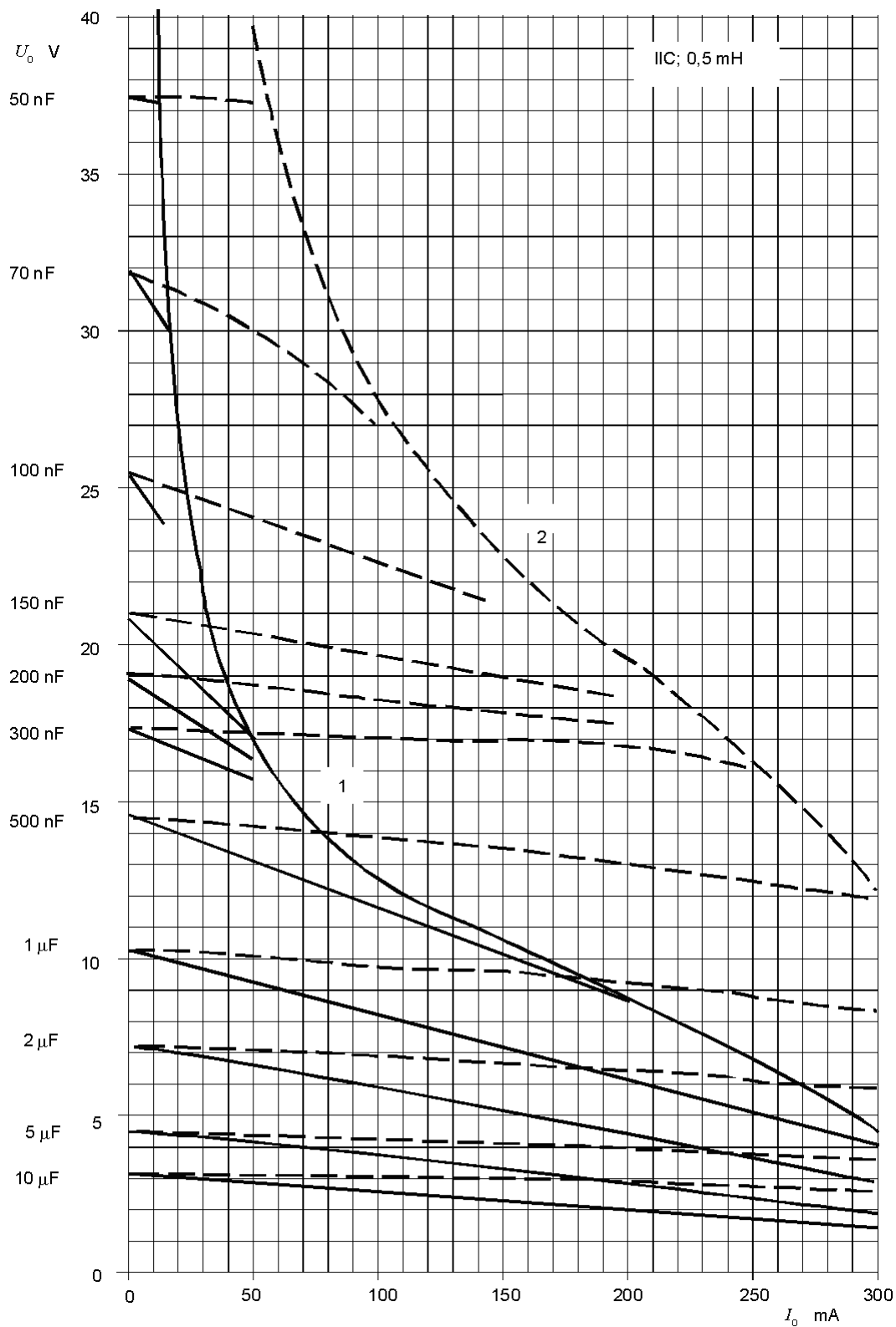
Bild C.7a) – Diagramm für 0,15 mH



Legende

- 1 Induktive Grenze der Rechteck-Quelle
- 2 Induktive Grenze der linearen Quelle

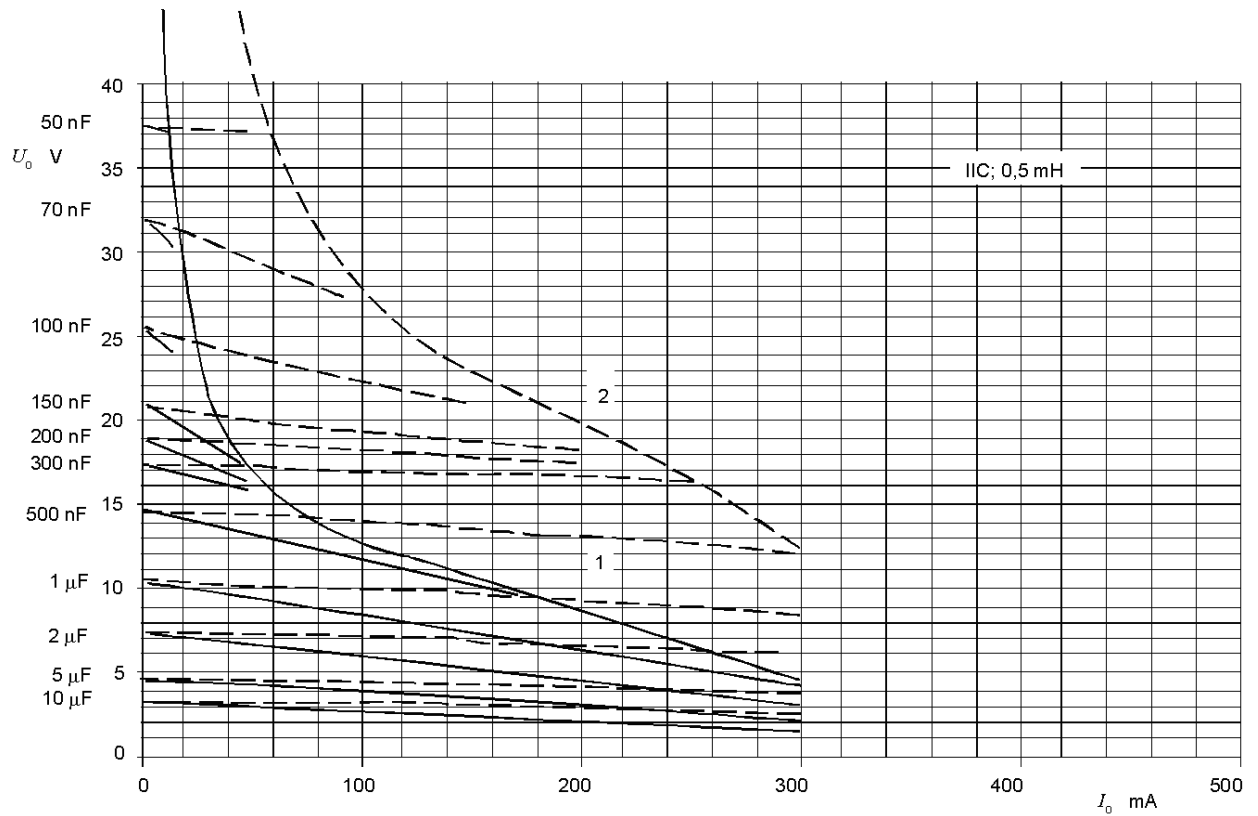
Bild C.7a) – Diagramm für 0,15 mH (fortgesetzt)



Legende

- 1 Induktive Grenze der Rechteck-Quelle
- 2 Induktive Grenze der linearen Quelle

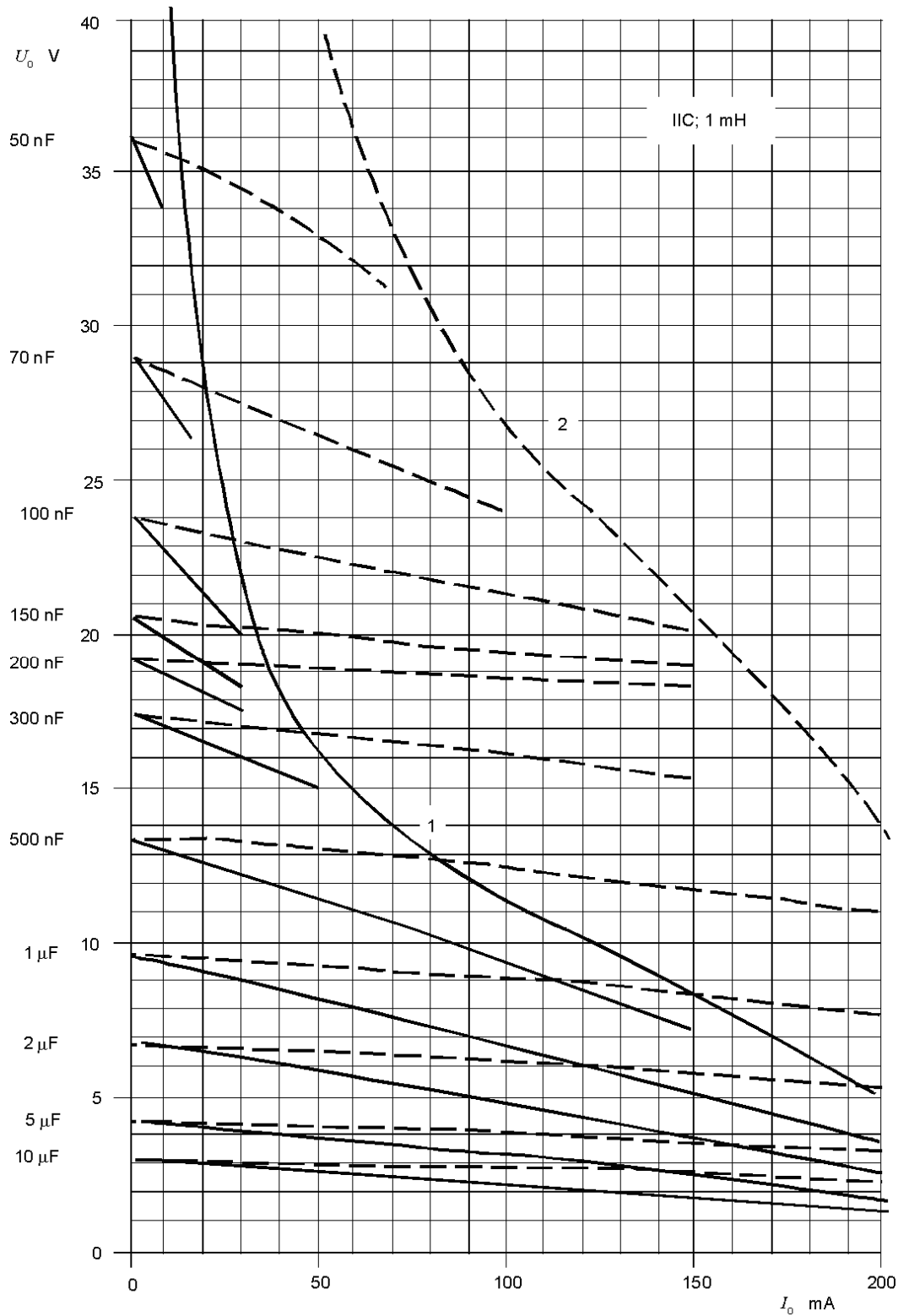
Bild C.7b) – Diagramm für 0,5 mH



Legende

- 1 Induktive Grenze der Rechteck-Quelle
- 2 Induktive Grenze der linearen Quelle

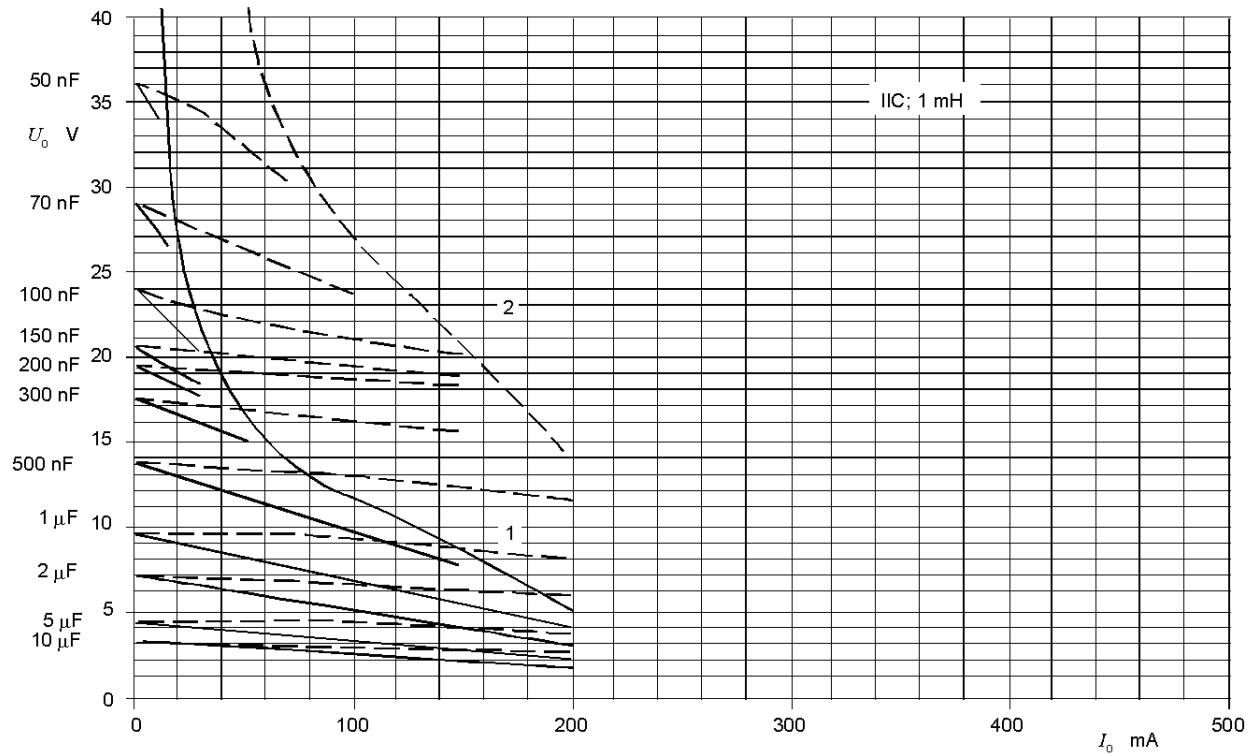
Bild C.7b) – Diagramm für 0,5 mH (fortgesetzt)



Legende

- 1 Induktive Grenze der Rechteck-Quelle
- 2 Induktive Grenze der linearen Quelle

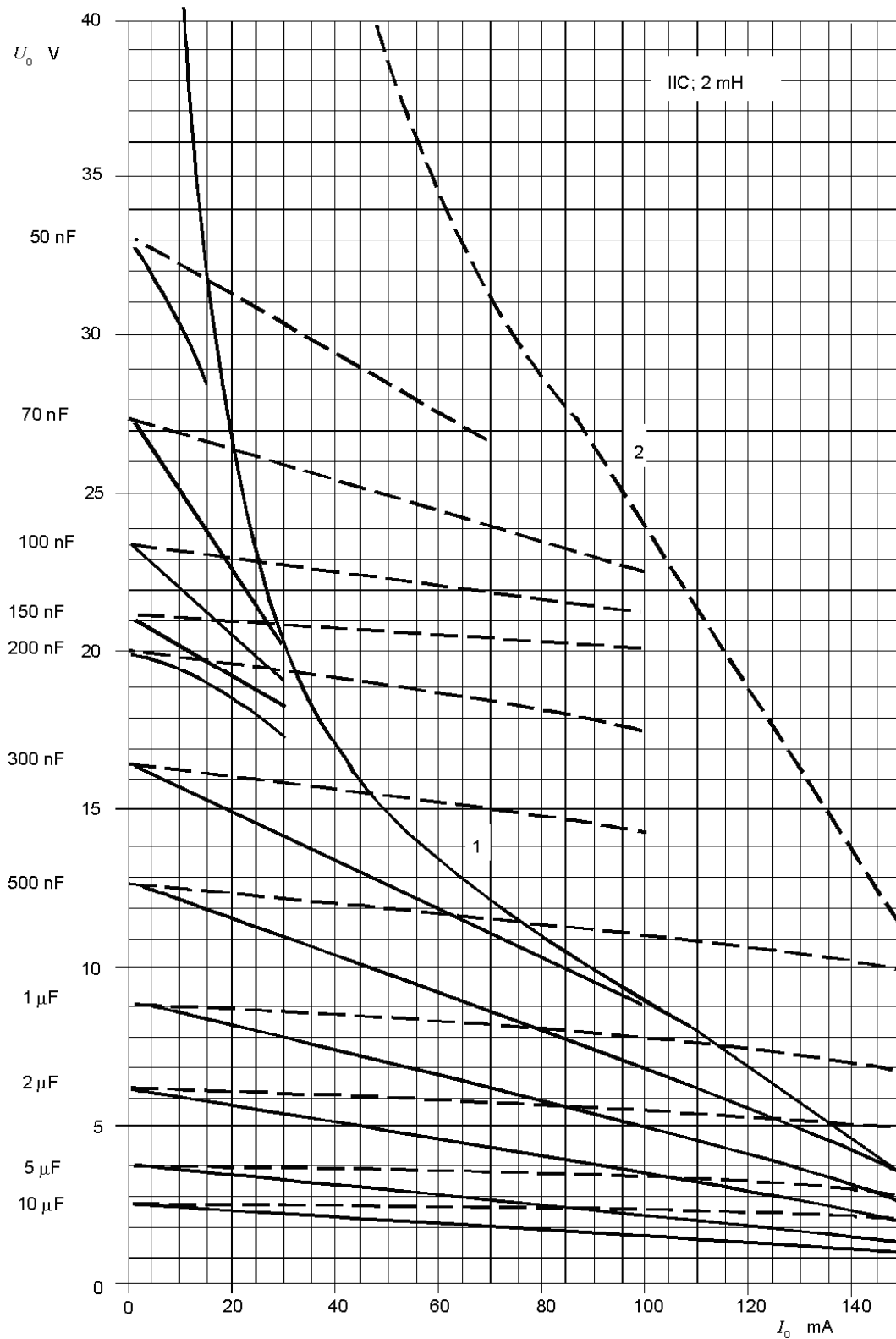
Bild C.7c) – Diagramm für 1 mH



Legende

- 1 Induktive Grenze der Rechteck-Quelle
- 2 Induktive Grenze der linearen Quelle

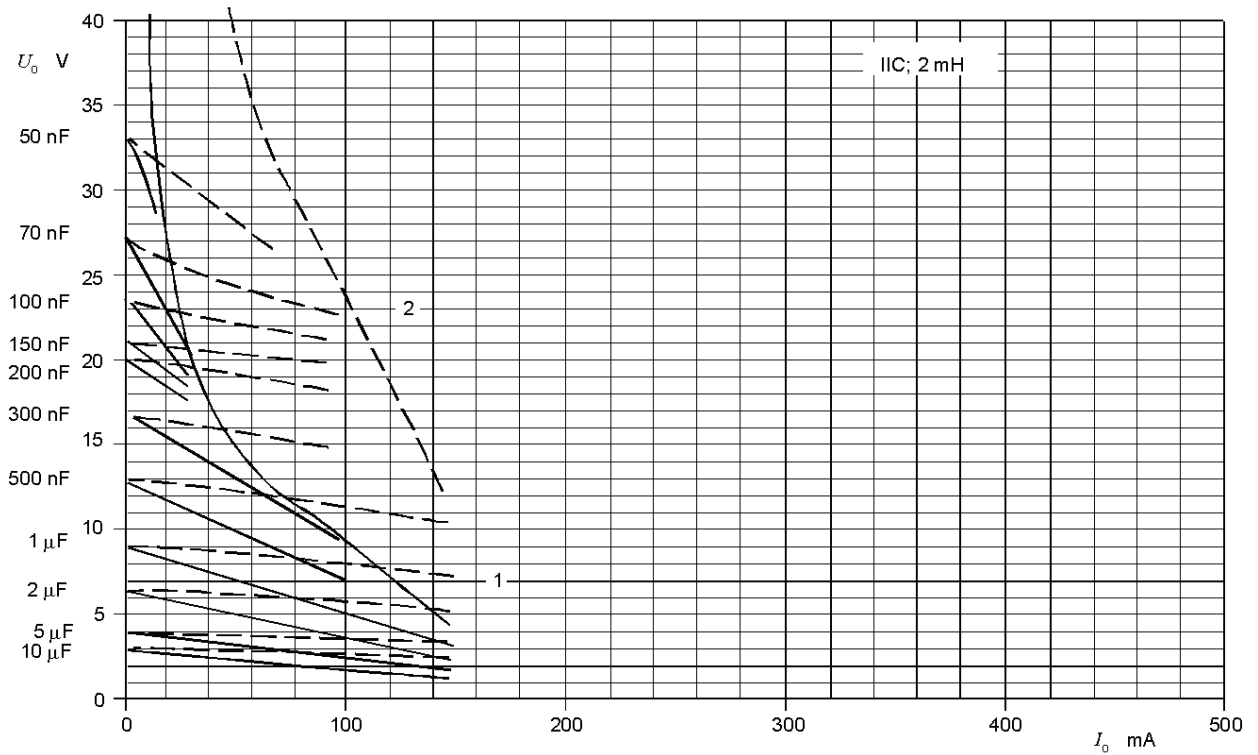
Bild C.7c) – Diagramm für 1 mH (fortgesetzt)



Legende

- 1 Induktive Grenze der Rechteck-Quelle
- 2 Induktive Grenze der linearen Quelle

Bild C.7d) – Diagramm für 2 mH



Legende

- 1 Induktive Grenze der Rechteck-Quelle
- 2 Induktive Grenze der linearen Quelle

Bild C.7d) – Diagramm für 2 mH (fortgesetzt)