

# Elektrisch gezündete Brände in Niederspannungsanlagen



Autor: Eur.-Phys. Dipl.-Ing. Alfred Mörx

**EATON**

*Powering Business Worldwide*

## Vorwort des Verfassers

In dieser Fachpublikation geht es um das Thema *elektrisch gezündete Brände in Niederspannungsanlagen* und die Möglichkeiten das Risiko des Entstehens dieser Brände durch geeignete Maßnahmen bei der Planung und Ausführung der Installation wirkungsvoll zu verhindern.

Es geht vor allem darum, in dem hier zur Verfügung stehenden Umfang, bestmöglich verständlich zu machen, wie Brände elektrischer Ursache (mit Ausnahme von Bränden, die durch Blitzeinwirkung oder durch missbräuchliche Verwendung von Niederspannungs-Betriebsmitteln entstehen können) entstehen und welche Schutzkonzepte heute zur Reduzierung des Risikos derartiger Ereignisse zur Verfügung stehen.

Es werden in erster Linie die wesentlichen Zusammenhänge für Hausinstallationen und ähnliche Anwendungen dargestellt. Anforderungen und Detaillösungen für industrielle oder gewerbliche Anlagen - wenngleich es viele Gemeinsamkeiten gibt - sind nicht Gegenstand dieser Fachpublikation.

Diese Fachpublikation will und kann die umfassende Beschäftigung mit den Details der in den jeweiligen Ländern Europas geltenden anerkannten Regeln der Technik für die Errichtung von Niederspannungsanlagen und den jeweils zu treffenden installationstechnischen Maßnahmen nicht ersetzen. Es geht hier um eine möglichst praxisnahe Einführung in das Thema. Das Ziel ist, Überblickswissen bis zu jenem Detailgrad zu vermitteln, dass darauf aufbauend eine gezielte individuelle Beschäftigung mit dem Themenkreis für alle Interessierten möglich ist.

Redaktionsschluss für diese Publikation ist der 1. September 2016.



### **Eur.-Phys. Dipl.-Ing. Alfred Mörx**

(\*1958 in Wien) ist seit 2001 Inhaber und Leiter von diam-consult, eines Ingenieurbüros für Physik mit dem Arbeitsschwerpunkt Risikoanalyse und Schutztechnik in komplexen technischen Systemen. Er studierte technische Physik an der TU-Wien. Als Experte für grundlegende Fragen der elektrotechnischen Sicherheit arbeitet er seit mehr als 25 Jahren in nationalen, europäischen und internationalen Arbeitsgruppen im Bereich sichere Elektrizitätsanwendung.

Internet: [www.diamcons.com](http://www.diamcons.com), E-Mail: [am@diamcons.com](mailto:am@diamcons.com)

Inhaltsübersicht

<b>1</b>	<b>Schutzziele</b> .....	<b>3</b>
1.1	Gesetzliche Grundlagen für Installationen und Betriebsmittel.....	3
1.2	Abgrenzung von elektrischen Betriebsmitteln und elektrischen Anlagen.....	4
1.3	Anforderungen aus den anerkannten Regeln der Technik.....	5
1.3.1	Grundsätzliches.....	5
1.3.2	Aktuelle internationale und europäische Entwicklungen .....	5
<b>2</b>	<b>Ursachen von elektrisch gezündeten Bränden</b> .....	<b>6</b>
2.1	Oberschwingungsströme im Neutralleiter .....	8
2.2	Sorgloser Umgang des Benutzers mit Verbrauchsmitteln in der Installation .....	9
2.3	Änderung der Raumnutzung ohne Anpassung von Installation und Schutzmaßnahmen ..	9
2.4	Unzureichende Instandhaltung und mangelhafte Instandsetzung.....	9
<b>3</b>	<b>Erkennung möglicher Zündquellen in der Niederspannungsinstallation</b> .....	<b>10</b>
3.1	Fehlerstrom in Niederspannungs - Schaltgerätekombinationen, Verteilungsleitungen und Endstromkreisen.....	10
3.2	Störlichtbogenschutz in Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen .....	10
3.2.1	Auftreten von Störlichtbogen.....	10
3.2.2	Störlichtbogen - Schutzsysteme .....	11
3.3	Serielle und parallele Lichtbogen in Endstromkreisen .....	12
<b>4</b>	<b>Schutzvorkehrungen in der Installation</b> .....	<b>14</b>
4.1	Thermische Auslegung von Schaltgerätekombinationen und Verbindungsstellen in der Installation .....	14
4.2	Auslegung von Querschnitten und Wahl der geeigneten Verlegeart von Kabeln und Leitungen und deren Überstrom-Schutzeinrichtungen .....	15
4.3	Erfassung von Differenzströmen mittels Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen.....	15
4.4	Erfassung von seriellen und parallelen Lichtbogen in Endstromkreisen mittels Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen.....	17
4.4.1	Grundsätzliches.....	17
4.4.2	Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen.....	18
4.4.3	Schutzwirkung.....	19
4.4.4	Installation von Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen.....	21
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Literaturhinweise</b> .....	<b>23</b>

## 1 Schutzziele

### 1.1 Gesetzliche Grundlagen für Installationen und Betriebsmittel

EU-Richtlinien gehen grundsätzlich von der Freiwilligkeit der Anwendung von anerkannten Regeln der Technik aus. EU-Richtlinien legen für Produkte (z. B. elektrische Betriebsmittel) jedoch wesentliche Sicherheitsanforderungen fest, bei deren Einhaltung das Inverkehrbringen der Betriebsmittel nicht behindert werden darf.

Normen und technische Bestimmungen, insbesondere *harmonisierte Normen* (für elektrische Betriebsmittel), haben jedoch deswegen eine große Bedeutung, weil bei ihrer Einhaltung die Erfüllung der wesentlichen Sicherheitsanforderungen als gegeben anzusehen ist. Man spricht auch davon, dass die *Konformitätsvermutung* besteht.

Die gesetzlichen Anforderungen an die elektrotechnische Sicherheit für elektrische Anlagen und Betriebsmittel sind im österreichischen Elektrotechnikgesetz (ETG) [14] enthalten. Es enthält eine klare Formulierung hinsichtlich der Gestaltung von Sicherheitsmaßnahmen auf dem Gebiete der Elektrotechnik.

#### Sicherheitsmaßnahmen auf dem Gebiete der Elektrotechnik

§ 3. (1) Elektrische Betriebsmittel und elektrische Anlagen sind innerhalb des ganzen Bundesgebietes so zu errichten, herzustellen, instand zu halten und zu betreiben, dass ihre Betriebssicherheit, die Sicherheit von Personen und Sachen, ferner in ihrem Gefährdungs- und Störungsbereich der sichere und ungestörte Betrieb anderer elektrischer Anlagen und Betriebsmittel sowie sonstiger Anlagen gewährleistet ist. Um dies zu gewährleisten, ist gegebenenfalls bei Konstruktion und Herstellung elektrischer Betriebsmittel nicht nur auf den normalen Gebrauch, sondern auch auf die nach vernünftigen Ermessen zu erwartende Benutzung Bedacht zu nehmen. In anderen Rechtsvorschriften enthaltene Bestimmungen über den Schutz des Lebens und der Gesundheit von Personen werden durch diese Bestimmungen nicht berührt<sup>1</sup>.

§ 3. (2) Im Gefährdungs- und Störungsbereich elektrischer Anlagen und elektrischer Betriebsmittel sind jene Maßnahmen zu treffen, welche für alle aufeinander einwirkenden elektrischen und sonstigen Anlagen sowie Betriebsmittel zur Wahrung der elektrotechnischen Sicherheit und des störungsfreien Betriebes erforderlich sind.

Die in diesem Gesetzestext enthaltenen drei grundlegenden Sicherheitsziele sind im Bild 1-1 nochmals zusammengestellt.

Anerkannte Regeln der Technik für das Errichten, Betreiben, Ändern und Instandhalten von elektrischen Anlagen werden in Österreich durch die so genannte „Elektrotechnikverordnung“ verbindlich erklärt.

---

<sup>1</sup> Schreibweise der Wörter in den Zitaten durch den Autor an die Regeln der neuen deutschen Rechtschreibung angepasst.

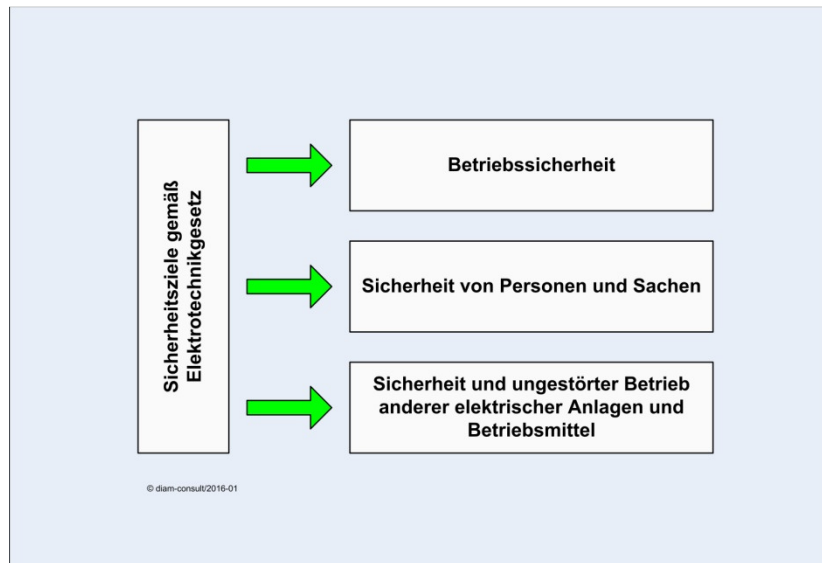


Bild 1-1 Sicherheitsziele gemäß § 3 (1) Elektrotechnikgesetz 1992, ETG-1992 in der Fassung BGBl. I/129/2015

In anderen Ländern Europas geschieht dies (hinsichtlich der Auswirkungen für die Praxis) in vergleichbarer Form durch Hinweise auf das jeweils nationale elektrotechnische Regelwerk (z. B. auf das VDE-Normenwerk in Deutschland, auf die Niederspannungs-Installationsnorm NIN in der Schweiz)

## 1.2 Abgrenzung von elektrischen Betriebsmitteln und elektrischen Anlagen

Im Vergleich zu früheren Fassungen des Elektrotechnikgesetzes wurden im Elektrotechnikgesetz 1992 und in der Änderung 2015 die Definitionen von elektrischen Anlagen und elektrischen Betriebsmitteln neu gestaltet. Dadurch wird eine deutliche Abgrenzung dieser beiden Begriffe erreicht.

§ 1. (1) Elektrische Betriebsmittel im Sinne dieses Bundesgesetzes sind Gegenstände, die als Ganzes oder in einzelnen Teilen zur Gewinnung, Fortleitung oder zum Gebrauch elektrischer Energie bestimmt sind. Betriebsmäßige Zusammenfassungen mehrerer elektrischer Betriebsmittel, die als bauliche Einheit in Verkehr gebracht werden und zumindest zu diesem Zeitpunkt als bauliche Einheit ortsveränderlich sind, gelten ebenfalls als elektrische Betriebsmittel.

§ 1. (2) Eine elektrische Anlage im Sinne dieses Bundesgesetzes ist eine ortsfeste betriebsmäßige Zusammenfassung elektrischer Betriebsmittel, soweit diese Zusammenfassung nicht nach Abs. 1 als Betriebsmittel zu betrachten ist. Anlagen zum Potenzialausgleich, Erdungsanlagen, Blitzschutzanlagen und Anlagen zum kathodischen Korrosionsschutz sind ebenfalls elektrische Anlagen.

§ 1. (2a) Bewegliche Anlagen sind eine Kombination von Geräten und gegebenenfalls weiteren Einrichtungen, die beweglich und für den Betrieb an verschiedenen Orten bestimmt sind. Bewegliche Anlagen (betriebsmäßige Kombinationen elektrischer Geräte auf Fahrzeugen, transportablen Bauwerken und fliegenden Bauten) unterliegen in sicherheitstechnischer Hinsicht den gleichen Bestimmungen wie ortsfeste Anlagen.

## 1.3 Anforderungen aus den anerkannten Regeln der Technik

### 1.3.1 Grundsätzliches

Ganz grundlegend gilt, dass Personen, Nutztiere und Sachen gegen unzulässige Erwärmung, die von elektrischen Betriebsmitteln oder elektrischen Anlagen ausgehen können, zu schützen sind.

Insbesondere gilt es zu verhindern, dass es zur Entzündung, Verbrennung oder sonstige Schädigung von Werk- und Baustoffen kommt und das Auftreten von Verbrennungen (Brandwunden) vermieden wird. Vor allem darf es nicht zur Beeinträchtigung der sicheren Funktion der installierten Einrichtungen kommen [19], [20].

Für die Errichtung elektrischer Niederspannungsanlagen gelten z. B. in Österreich derzeit die Bestimmungen der Normenreihe ÖVE/ÖNORM E 8001 und auch noch Bestimmungen der Normenreihe ÖVE EN 1.

In diesen sind an vielen Stellen Anforderungen hinsichtlich der Vermeidung elektrisch gezündeter Brände enthalten; wie allgemein z. B. in EN 1, Teil 2, Abschnitt 25.2.1

Betriebsmittel müssen so angeordnet und angebracht werden, dass weder die im Betrieb noch die im Überlastungs- und Kurzschlussfall auftretenden Temperaturen die Anlage oder die Umgebung gefährden, d. h., sie müssen [...] den jeweils zutreffenden technischen Bestimmungen entsprechen und hierfür geeignet sein [...]

oder für landwirtschaftliche und gartenbauliche Betriebsstätten in E 8001-4-56, Abschnitt 56.5

Bei Anwendung von Nullung oder Fehlerstrom-Schutzschaltung ist eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mit  $I_{\Delta N} \leq 0,3$  A für den Brandschutz vorzusehen.

### 1.3.2 Aktuelle internationale und europäische Entwicklungen

In den letzten Jahren sind auch in die anerkannten Regeln der Technik von IEC<sup>2</sup> und CLC<sup>3</sup> für die Installation von elektrischen Niederspannungsanlagen Bestimmungen aufgenommen worden, die der Verminderung des Risikos von Bränden mit elektrischer Ursache dienen [21], [22].

Einige dieser Installationsregeln werden (bzw. wurden) zum Zeitpunkt der Erstellung des Manuskripts dieser Publikation<sup>4</sup> in nationale anerkannte Regeln der Technik übernommen und darüber hinaus mit zusätzlichen, nationalen Anforderungen ergänzt [20].

Die betrifft sowohl den Einsatz von Störlichtbogen-Schutzsystemen (siehe Abschnitt 3.2) wie auch die Verwendung von Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen (siehe Abschnitt 4.4).

In der jüngsten Ausgabe von VDE 0100-420 [20] wird der Einsatz von Störlichtbogen-Schutzsystemen für fest angebrachte Betriebsmittel, bei deren bestimmungsgemäßen Betrieb Lichtbogen oder Funken austreten können angeraten, wenn an die elektrische Anlage hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit erwartet werden.

---

<sup>2</sup> Internationale Elektrotechnische Kommission (International Electrotechnical Commission)

<sup>3</sup> Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung (European Committee for Electrotechnical Standardisation)

<sup>4</sup> Redaktionsschluss: 1. September 2016

Diese Schutzeinrichtungen müssen die Lichtleistung des Lichtbogens und den Anstieg des Stromes in den Außenleitern erkennen, den Lichtbogen innerhalb von 5 ms löschen und die elektrische Anlage (oder - falls dies möglich ist, den jeweiligen Anlagenteil) von der Versorgung trennen. Diese Anforderung folgt der Erkenntnis, dass langsam reagierende Schutzeinrichtungen die Beschädigung von Sachgütern nicht verhindern können; dadurch ist auch eine rasche Wiederinbetriebnahme der Anlage nicht möglich.

Aber auch Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen<sup>5</sup> wurden in internationale, europäische und nationale anerkannte Regeln der Technik für die Errichtung von Niederspannungsanlagen aufgenommen [20], [21], [22].

Seit 1. Februar 2016 sind in *Deutschland* Fehler-Lichtbogenschutzeinrichtungen bei der Ausführung neuen Anlagen in bestimmten Stromkreisen sowie bei Änderungen oder Erweiterungen vorhandener elektrischer Anlagen zu berücksichtigen<sup>6</sup> [20].

Für bereits in Planung oder in Bau befindliche elektrische Anlagen gilt in Deutschland eine Übergangsfrist bis zum 18. Dezember 2017. Für elektrische Anlagen, die nach diesem Zeitpunkt in Betrieb genommen werden, gelten ausschließlich die Bestimmungen DIN VDE 0100-420 (VDE 0100-420):2016-02.

Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen sind damit zum Bestandteil von anerkannten Regeln der Technik geworden. Diese sehen nun vor, dass AFDD *in einphasigen Endstromkreisen (Wechselstrom)* mit einem Betriebsstrom nicht größer als 16 A für folgende Anwendungen eingebaut werden:

- in Schlaf- oder Aufenthaltsräumen von Heimen oder Tageseinrichtungen für Kinder, behinderte oder alte Menschen (z. B. Kindertagesstätten, Seniorenheime)
- in Schlaf- oder Aufenthaltsräumen von barrierefreien Wohnungen<sup>7</sup>
- in Räumen oder Orten
  - mit einem Brandrisiko durch verarbeitete oder gelagerte Materialien<sup>8</sup>
  - mit brennbaren Baustoffen Materialien<sup>9</sup>
  - mit Gefährdungen für unersetzbare Güter<sup>10</sup>

Alle bisher veröffentlichten anerkannten Regeln der Technik für Europa gehen davon aus, dass ausschließlich Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen eingesetzt werden, die EN 62606 [10] entsprechen.

## 2 Ursachen von elektrisch gezündeten Bränden

Wie schon seit vielen Jahrzehnten aus der Literatur und der Praxis bekannt (siehe z. B. [5], [6]) ergeben sich Brandgefahren in elektrischen Niederspannungsanlagen beim gleichzeitigen Vorhandensein

---

<sup>5</sup> Auch im deutschen Sprachraum werden diese Schutzgeräte oftmals auch mit ihrer englischen Kurzbezeichnung als AFDD benannt. AFDD ... Arc Fault Detection Device.

<sup>6</sup> DIN VDE 0100-420 (VDE 0100-420):2016-02

<sup>7</sup> Barrierefreie Wohnungen gemäß DIN 18040-2

<sup>8</sup> DIN VDE 0100-420: (VDE 0100-420):2016-02, Abschnitt 422.3

<sup>9</sup> DIN VDE 0100-420: (VDE 0100-420):2016-02, Abschnitt 422.4

<sup>10</sup> DIN VDE 0100-420: (VDE 0100-420):2016-02, Abschnitt 422.6

- einer Zündquelle
- eines brennbaren Stoffs und
- von Sauerstoff.

Ist eine der drei Komponenten nicht vorhanden, kann es nicht zu einem Brand kommen. Aus elektrotechnischer Sicht „schlummern“ Zündquellen z. B. in Wärmeerzeugern, Leuchten, Klemmstellen, mangelhaft instand gesetzten Anlagen, überlasteten Leitungsanlagen.

Als vordringliches Schutzziel für das Verhindern von mittels elektrischer Energie gezündeten Bränden gilt in der Praxis das Vermeiden von Zündquellen bzw. das rechtzeitige Erkennen von Zündquellen, ehe die an der Fehlerstelle wirkende Energie so groß geworden ist, dass das Stoff/Sauerstoff-Gemisch zündet.

Die Brandschadensstatistik für Österreich<sup>11</sup> weist für das Jahr 2013 eine Zahl von 1150 Bränden mit elektrischer Energie<sup>12</sup> als Brandursache aus. Die Schadenssumme betrug ca. 70 Mio. Euro. Das entspricht 25 % der Gesamtschadenssumme aus allen Brandursachen. Auch bei vorsichtiger Interpretation des Verlaufes der Anzahl wie auch der Schadenssumme seit dem Jahr 2003 kann man eine leichte Zunahme der Werte erkennen (Bild 2-1).



Bild 2-1 Anzahl und Schadenssummen der Brände mit elektrischer Energie als Brandursache; Verlauf von 2007 bis 2013; Quelle: Österreichische Brandverhütungsstellen (Hrsg.), Brandschadenstatistik 2013

Auch im Jahr 2013 betrafen mehr als die Hälfte aller Brände (ca. 52 %) *Privathaushalte*. Bei den häufigsten Brandursachen lag neuerlich die Zündquelle „Elektrische Energie“ an zweiter Stelle.

Wenngleich die in den einzelnen Ländern Europas verfügbaren Statistiken nicht vollständig miteinander vergleichbar sind, gibt es in der Literatur z. B. für Deutschland Erkenntnisse [18], die die große Bedeutung elektrischer Energie als Ursache von Bränden nachweisen. Auch dort wird als eine der Hauptursachen für Brände die Elektrizität mit einem Anteil von 34 % an allen Brandursachen im Jahr 2010 genannt.

<sup>11</sup> Österreichische Brandverhütungsstellen (Hrsg.), Brandschadenstatistik 2013

<sup>12</sup> In diesen Zahlen sind Kleinschäden (Schäden kleiner 2000 € bzw. Tirol kleiner 1500 €), Schäden durch Wärmegeräte sowie indirekte und direkte Blitzschäden *nicht enthalten*.



## 2.1 Oberschwingungsströme im Neutralleiter

Oberschwingungsströme im Neutralleiter elektrischer Niederspannungsanlagen, vor allem in alten Anlagen, bilden eine potenzielle Zündquelle.

Eine häufig auftretende Ursache für die Entstehung von Oberschwingungen sind Gleichrichtungsvorgänge (z. B. in Netzteilen).

Die so genannten „nicht drehenden Oberschwingungen“ oder auch Oberschwingungen des Nullsystems genannt, erzeugen kein Drehfeld. Der Grund hierfür ist, dass diese Oberschwingungen einen Periodenverlauf besitzen, der genau in die Teilung der um  $120^\circ$  verschobenen Netzströme der Außenleiter fällt.

Dadurch haben die Ströme der 3. Oberschwingung ( $i_{3L1}$ ,  $i_{3L2}$ ,  $i_{3L3}$ ) in allen drei Außenleitern gleiche Phasenlage. Diese Situation ist in Bild 2-2 dargestellt.

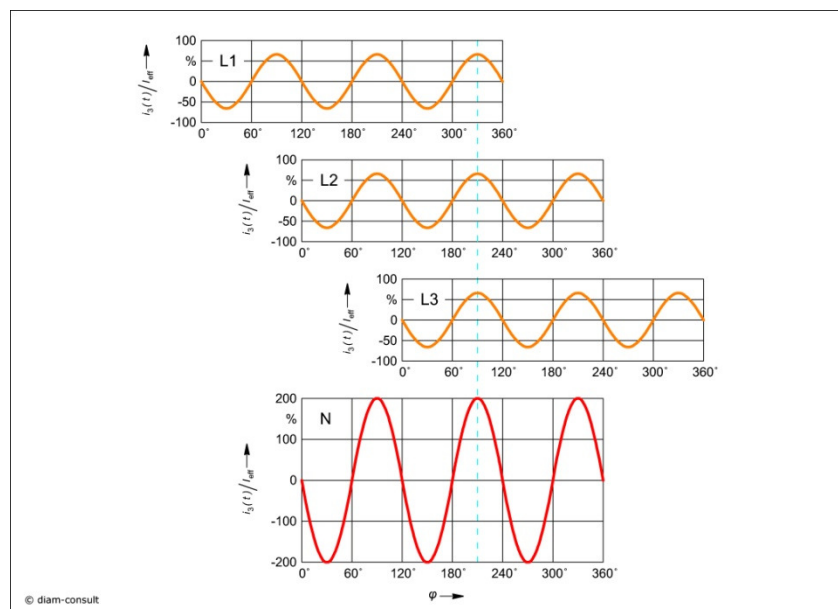


Bild 2-2 Überlagerung der dritten Oberschwingung im Neutralleiter; Darstellung in Prozent des Effektivwertes des Außenleiterstromes

Dies bedeutet, dass sich die *netzfrequenten Ströme* (mit Grundschwingung z. B. 50 Hz) der Außenleiter bei symmetrischer Belastung im Neutralleiter *zu null* addieren. Die 3. *Oberschwingung* im Neutralleiter erreicht bei symmetrischer Belastung jedoch ihren *dreifachen Wert*<sup>13</sup>. Da in der Vergangenheit viele Neutralleiter nur mit halbem Querschnitt ausgelegt wurden, kann diese Situation thermisch an Klemmstellen selbst dann schon kritisch werden, wenn die Außenleiter bei Weitem noch nicht ausgelastet sind.

Dies gilt grundsätzlich auch für alle Oberschwingungen, deren Ordnungszahl durch drei teilbar ist (6., 9., 12., ...). Die Scheitelwerte sind jedoch meist viel kleiner als jede der dritten Oberschwingung.

<sup>13</sup> Auch bei 150-Hz-Strömen kann es zu Phasenverschiebungen kommen; auf diese soll jedoch hier bewusst nicht eingegangen werden.

## 2.2 Sorgloser Umgang des Benutzers mit Verbrauchsmitteln in der Installation

Aus der langjährigen Praxis der Anwendung der elektrischen Energie in Verbraucheranlagen ist bekannt, dass Brände, vor allem infolge nachstehend angeführter Ursachen entstehen:

- mangelhafte oder nicht bestimmungsgemäß betriebene Elektrowärmegeräte und Leuchten (z. B. Heizlüfter mit blockierten Ventilatoren oder Geräte mit zu geringer Standfestigkeit, Leuchten in denen Lampen mit zu großer Leistung verwendet werden, Abdecken von Heizkörpern mit Kleidungsstücken)
- andere elektrische Geräte, die mangelhaft sind oder bei denen Mängel während des Betriebes auftreten (z. B. Fernsehgeräte)
- zu hohe Erwärmung von Leitungen infolge unzureichendem Überstromschutz oder Kontaktfehlern (z. B. lose Klemmstellen)
- Lichtbogen infolge von Kurzschlüssen mit oder ohne Fehlerstrom zur Erde (z. B. infolge von Kriechwegbildung)
- mechanische Beschädigungen an Leitungen (gequetschte oder angebohrte Leitungen der festen Installation) aber auch an Verlängerungsleitungen für ortsveränderliche Betriebsmittel
- Alterung von Leitungen und Betriebsmitteln
- Umwelteinflüsse (Temperatur, UV-Strahlung)
- stark belastete oder überlastete, mechanisch beschädigte Steckdosen oder Steckdosenleisten

## 2.3 Änderung der Raumnutzung ohne Anpassung von Installation und Schutzmaßnahmen

Bei Änderung der Nutzung von Räumen, wie z. B. wenn brennbare Materialien in Gefahr bringender Menge in die Nähe elektrischer Betriebsmittel kommen können, der Raum demnach als brandgefährdeter Raum gilt, ist die Elektroinstallation diesen veränderten Bedingungen anzupassen.

Leitungen und Kabel müssen in diesen Fällen zur Verhinderung von Bränden durch Isolationsfehler in TN- und TT-Systemen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit einem Nennfehlerstrom von  $I_{\Delta N} \leq 0,3 \text{ A}$  geschützt werden<sup>14</sup>.

Wo widerstandsbehaftete Fehler einen Brand verursachen können, z. B. bei Deckenheizungen mit Flächenheizelementen, muss der Nennfehlerstrom  $I_{\Delta N} \leq 0,03 \text{ A}$  sein.

Werden derartige Anpassungen der Niederspannungsinstallation nicht vorgenommen, besteht nach Änderung der Raumnutzung latente Brandgefahr durch elektrische Energie.

## 2.4 Unzureichende Instandhaltung und mangelhafte Instandsetzung

Der Betreiber einer elektrischen Niederspannungsanlage ist zu deren sicherem Betrieb verpflichtet (siehe auch Abschnitt 1.1, und [7]). Dazu zählen auch die Durchführung von Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen zum Erhalt dieses sicheren Zustandes.

Wenn das Instandhaltungspersonal nicht ausreichend unterwiesen oder nicht ausreichend fachlich ausgebildet ist, kann es dazu kommen, dass Mängel bei diesen Tätigkeiten zur Erhöhung des

---

<sup>14</sup> Siehe dazu auch ÖVE/ÖNORM E 8001-4-50:2001, Abschnitt 50.5.7

Brandrisikos führen. Zum Beispiel durch Verwenden nicht geeigneter Werkzeuge und Installationsmaterialien.

### **3 Erkennung möglicher Zündquellen in der Niederspannungsinstallation**

Neben der weiteren Optimierung von Schutzvorkehrungen, die dem Schutz von Menschen und Tieren gegen gefährliche Körperströme dienen, beschäftigen sich Grundlagenarbeiten und technische Entwicklungen zunehmend mit dem Schutz vor Gefahren durch Lichtbogen, oft auch als *Störlichtbogen* bezeichnet.

#### **3.1 Fehlerstrom in Niederspannungs - Schaltgerätekombinationen, Verteilungsleitungen und Endstromkreisen**

Als Fehlerstrom wird jener Strom bezeichnet, der bei einem Isolationsfehler über eine Fehlerstelle fließt<sup>15</sup>. Fehlerströme können dabei zu unmittelbaren Gefährdungen für Menschen und Tiere, zum Beispiel zu Herzkammerflimmern führen, aber auch Zündquellen für Brände darstellen. Dies gilt gleichermaßen für Schaltgerätekombinationen, Verteilungsleitungen und Endstromkreise.

Die Erfassung dieser Fehlerströme erfolgt heute zum überwiegenden Teil über Schutzgeräte, die für ihr Ansprechen ausschließlich den beim Fehler auftretenden Strom erfassen, ihn geeignet auswerten und ab einem bestimmten „Schwellenwert“ den jeweiligen Stromkreis ausschalten. (Eine Ausnahme bildet dabei das im Abschnitt 3.2 angesprochene System zur optischen Erfassung von Störlichtbogen.)

Bei Betrachtung von Kurz- oder Erdschlüssen standen bisher (auch in der nationalen und internationalen Normung) serielle und parallele Lichtbogen in Endstromkreisen nicht im Mittelpunkt schutztechnischer Überlegungen<sup>16</sup>. Dies ändert sich derzeit, nicht zuletzt durch die Verabschiedung einer international geltenden anerkannten Regel der Technik für Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen [10].

#### **3.2 Störlichtbogenschutz in Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen**

##### **3.2.1 Auftreten von Störlichtbogen**

Für Störlichtbogen in Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen können nachstehende Zündursachen angegeben werden:

- Kondenswasserbildung (Feuchtigkeit in der Schaltgerätekombination)
- Verschmutzung in Form von Fremdbelägen auf Stromschienen und Teilen von Schaltgeräten
- Transiente Überspannungen infolge von Gewitter- bzw. Schaltüberspannungen
- Vorzeitige (unbemerkte) Alterung von Isolierwerkstoffen infolge sporadischer oder dauernder thermischer Überlastung
- Lockere oder lose Verbindungen, fehlerhafte Kontaktstellen
- Arbeiten an Teilen der Schaltanlage

---

<sup>15</sup> Definition gemäß ÖVE/ÖNORM E 8001-1:2010-03-01; im Besonderen wird damit in Niederspannungsanlagen jener Strom bezeichnet, der infolge eines Isolationsfehlers zur Erde abfließt und gegebenenfalls die Auslösung der Schutzeinrichtung für den Fehlerschutz bewirkt.

<sup>16</sup> Eine Ausnahme bildet dabei Nord-Amerika. Dort gibt es schon seit den 1990er Jahren Schutzgeräte, die die Erfassung von parallelen und später dann auch seriellen Lichtbogen in Endstromkreisen ermöglichen.

Eine der möglichen Konsequenzen des Auftretens von Störlichtbogen ist die vollständige Zerstörung der Schaltgerätekombination.

Dabei wird das Stahlblechgehäuse durch den großen Innendruck von bis zu 15 - 25 t/m<sup>2</sup> bei Lichtbogeneinwirkung auch für die Umgebung *und der dort befindlichen Personen* zu einer großen Gefahr. Nicht selten werden unter dem Einfluss von Störlichtbogen Seitenwände, Türen, Einbaugeräte aus dem Gehäuse der Schaltgerätekombination herausgeschleudert.

Eine weitere mögliche Folge von Störlichtbogen kann die Entstehung und Ausbreitung so genannter elektrisch gezündeter Brände sein.

Störlichtbogen sind seltene Ereignisse im Arbeitsumfeld dieser Personen. Sie erfordern dennoch für den nicht auszuschließenden Fall ihres Auftretens einen zuverlässigen Schutz, zumal sie durch fehlerhafte Handlungen bei den Arbeiten hervorgerufen sein können.

Störlichtbogen entstehen nicht nur mit oder als Folge eines Kurzschlusses, sondern auch dann, wenn Strom führende Teile, z. B. Leitungen, Kabelschuhe, Schaltgeräte, Sicherungen, ohne besondere Vorkehrungen unter Last getrennt werden<sup>17</sup> [23].

### **3.2.2 Störlichtbogen - Schutzsysteme**

Eine seit einigen Jahren in der Praxis verwendete Methode zur schnellen Erkennung von Störlichtbogen ist die Erfassung des vom Störlichtbogen ausgesendeten Lichts [9].

Dabei werden innerhalb der Schaltanlage auftretenden Lichtbogen innerhalb der ersten beiden Millisekunden ihres Bestehens erfasst. Danach wird die den Lichtbogen speisende Netzspannung mit einem pyrotechnischen Kurzschließer in weniger als 2 ms kurzgeschlossen; dadurch wird dem Störlichtbogen Energie entzogen. Dieser Kurzschluss wird dann durch Leistungsschalter erkannt und ausgeschaltet. Schnelle Lichtbogenlöschung reduziert die Folgewirkungen, da der starke, durch den Lichtbogen herbeigeführte Temperaturanstieg, das Erreichen des Temperatur- und Druckmaximums innerhalb der Schaltanlage (oder des Verteilers) verhindert (Bild 3-1).

---

<sup>17</sup> ÖVE/ÖNORM EN 50110-1:2014-10-01, Anhang B. 6, [23].

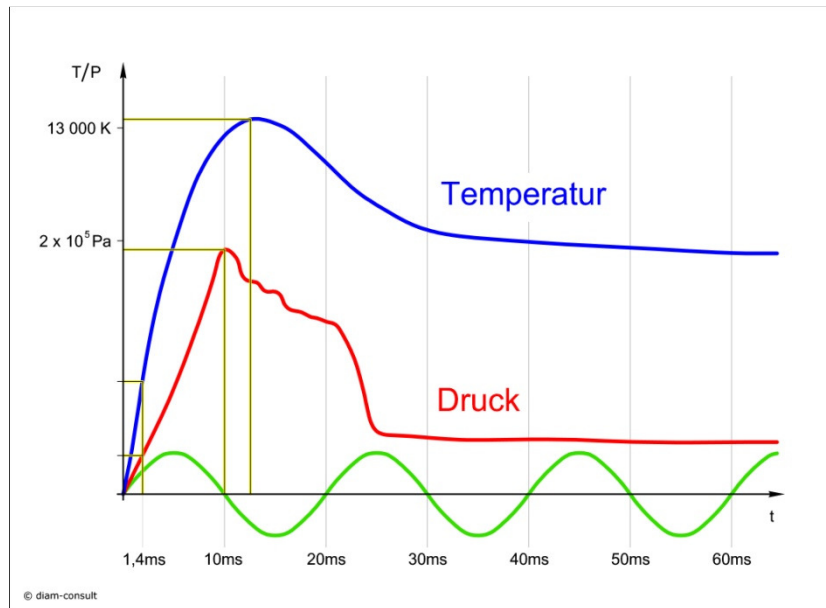


Bild 3-1 Verlauf von Druck und Temperatur eines Störlichtbogens in einer Niederspannungs-Schaltgerätekombination; eine rasche Unterbrechung (hier z. B. nach 1,4 ms) der elektrischen Versorgung verhindert das Ansteigen des Druckes und der Temperatur des Lichtbogens; schematische, beispielhafte Darstellung.

Über den tatsächlichen Einsatz von Störlichtbogen-Schutzsystemen gegen oder beim Auftreten von Lichtbogen wird in der Regel nach Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung [24] entschieden. Schutzziele für den Einsatz solcher Systeme können u. a. Personenschutz, Sachschutz oder auch die Verfügbarkeit der elektrischen Anlage sein.

### 3.3 Serielle und parallele Lichtbogen in Endstromkreisen

Die Entstehung eines Brandes durch Fehlerlichtbogen in der Niederspannungsinstallation kann u. a. nachstehend angeführte Ursachen haben:

- Isolationsdefekt zwischen aktiven Leitern
- Leitungsbeschädigung oder Leitungsbruch durch äußere mechanische Einwirkungen
- Klemmstellen, die durch äußere Einflüsse oder thermischer Überlastung erhöhten Widerstand aufweisen

Serielle und parallele Störlichtbogen in Endstromkreisen werden manchmal auch als *stromschwache Störlichtbogen* [8] bezeichnet. Eine schematische Darstellung von parallelen und seriellen Lichtbogen geben Bild 3-2 und Bild 3-3.

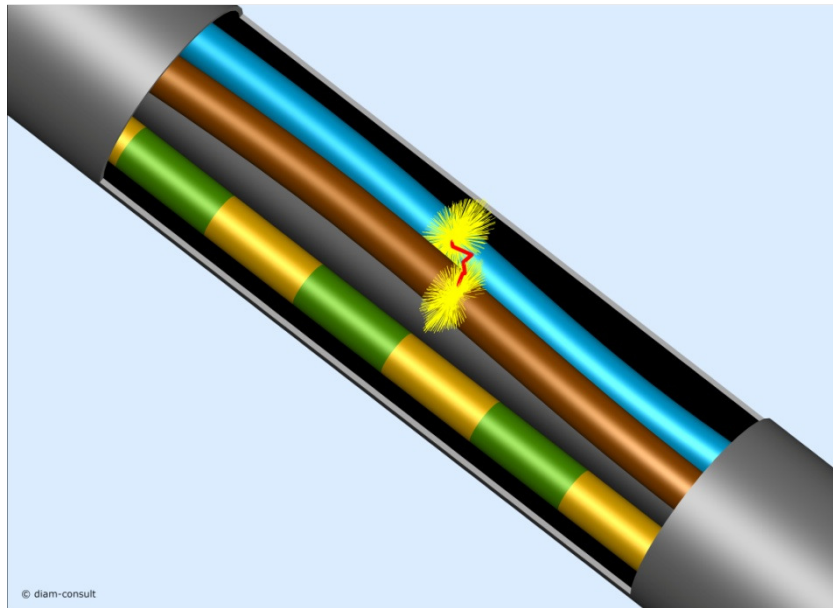


Bild 3-2 Paralleler Lichtbogen zwischen L- und N-Leiter und serieller Lichtbogen an einem L-Leiter in einer Mantelleitung oder im Elektroinstallationsrohr; schematische Darstellung

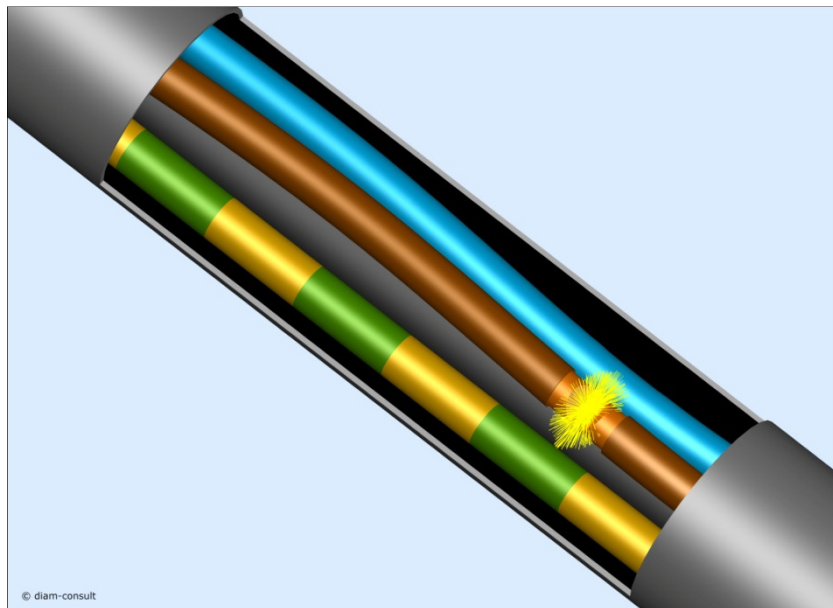


Bild 3-3 Serieller Lichtbogen an einem L-Leiter in einer Mantelleitung oder im Elektroinstallationsrohr; schematische Darstellung

Ein stromschwacher Störlichtbogen ist ein Lichtbogen, bei dem der Gesamtstrom, der über den Lichtbogen fließt, im Bereich des Nennstroms des Stromkreises, bzw. des Nennstroms der verwendeten Schutzeinrichtungen liegt.

Da der Fehlerstrom nicht deutlich größer ist als der Nennstrom oder manchmal auch unterhalb der Auslöseschwelle der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen liegt, lösen Überstrom-Schutzeinrichtungen und Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen nicht (immer) aus.

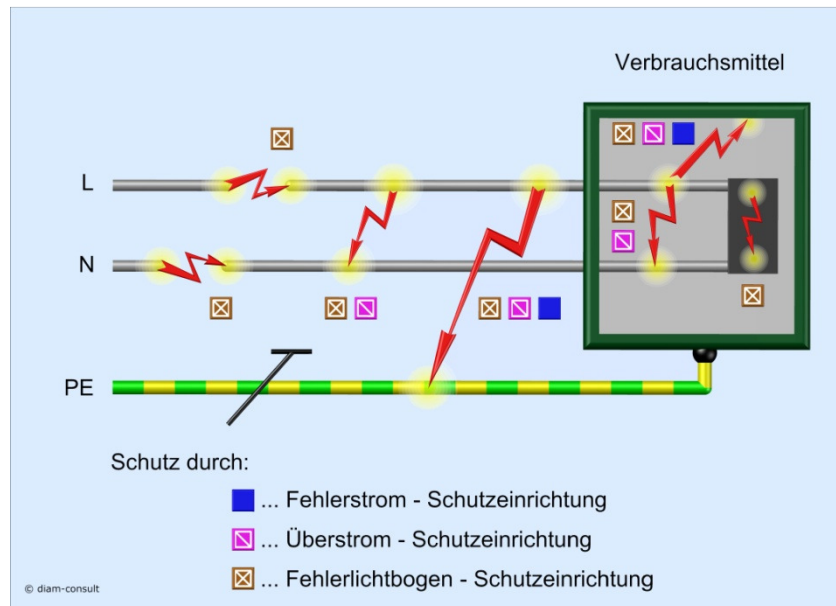


Bild 3-4 Auftreten von parallelen und seriellen Störlichtbogen in einem Endstromkreis; schematische Darstellung  
 Im Bild 3-4 sind die Möglichkeiten für das Auftreten von parallelen und seriellen Störlichtbogen dargestellt. Es sind mögliche Fehlerstellen im Endstromkreis<sup>18</sup> und im Verbrauchsmittel eingezeichnet. Treten stromschwache Störlichtbogen auf, ergänzt die Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtung die Schutzwirkung von Fehlerstrom- bzw. Überstrom -Schutzeinrichtung.

## 4 Schutzvorkehrungen in der Installation

In den anerkannten Regeln der Technik für die Planung und Ausführung von Niederspannungsinstallationen sind eine Reihe von Schutzvorkehrungen enthalten, die dem Entstehen von elektrisch gezündeten Bränden vorbeugen.

Praktisch allen diesen Maßnahmen ist gemeinsam, dass die norm- und fachgerechte Planung und Errichtung der Anlage und aller Schutzvorkehrungen sowie der verantwortungsvolle Betrieb unbedingte Voraussetzung für ein möglichst geringes Restrisiko hinsichtlich elektrisch gezündeter Brände darstellen. Die Notwendigkeit von wiederkehrenden Prüfungen durch dafür qualifizierte Elektrofachkräfte darf hier natürlich auch nicht unerwähnt bleiben. In den folgenden Abschnitten sind einige wesentliche Maßnahmen zur Verringerung des Restrisikos für das Entstehen elektrisch gezündeter Brände zusammengestellt.

### 4.1 Thermische Auslegung von Schaltgerätekombinationen und Verbindungsstellen in der Installation

Über die Notwendigkeit der anwendungsgerechten Ausführung von Schaltgerätekombinationen wurde in den letzten Jahren in den anerkannten Regeln der Technik und in der Literatur [3] immer wieder hingewiesen.

<sup>18</sup> Als *Endstromkreis* wird der Stromkreis zu den Verbrauchsmitteln ab der letzten Überstrom-Schutzeinrichtung bezeichnet (Definition gemäß ÖVE/ÖNORM E 8001-1:2010-03-01, Abschnitt 3.1.11.3)

Insbesondere der mechanischen Ausführung von allen Verbindungsstellen (Klemmstellen) in der Installation, der Verwendung geeigneter Klemmen, Aderendhülsen und der dazu vorgesehenen Crimp-Werkzeuge usw. kommt große Bedeutung zu.

#### **4.2 Auslegung von Querschnitten und Wahl der geeigneten Verlegeart von Kabeln und Leitungen und deren Überstrom-Schutzeinrichtungen**

Thermisch überlastete Kabel und Leitungen, in nicht geeigneter Verlegeart, wie z. B. in zu großer Häufung, ohne ausreichende Berücksichtigung der tatsächlich im Betrieb auftretenden Umgebungstemperaturen sowie die Nicht-Einhaltung der für die jeweilige Leitungsart zulässigen Biegeradien stellen potenzielle Risiken für Brände dar.

Nachstehend soll - stellvertretend für eine Reihe weiterer Bestimmungen - eine für die Praxis wesentliche Anforderung für die fachgerechte Auslegung von Kabel- und Leitungsanlagen zitiert<sup>19</sup> werden (Hervorhebungen A. M.):

Bei Änderungen und Erweiterungen durch zusätzliche Leitungen oder Kabel sind der zulässige Dauerstrom  $I_2$  und der Nennstrom  $I_N$  der Schutzeinrichtung auch für den durch die Änderung oder Erweiterung beeinflussten Teil neu zu bestimmen.

Auf die Verwendung von Überstrom-Schutzeinrichtungen, die auch den *Neutralleiter* gegen Überlast- und Kurzschluss schützen (Überstrom-Schutzeinrichtungen mit zwei bzw. vier geschützten Polen), soll an dieser Stelle nur hingewiesen werden. Diese schützen dann auch vor der thermischen Überlastung des Neutralleiters beim Auftreten von Oberschwingungsströmen.

#### **4.3 Erfassung von Differenzströmen mittels Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen**

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen können gegen elektrisch gezündete Brände schützen, die infolge von *Strömen gegen Erde* entstehen (siehe Bild 3-4).

Fehlerströme gegen Erde entstehen, wenn

- zwischen Außenleitern ein Isolationsfehler auftritt und z. B. über einen Kriechweg ein Teil des (Kurzschluss-) Stromes als Fehlerstrom zu einem in der Nähe befindlichen geerdeten Teil fließt, oder wenn
- der Isolationsfehler direkt zwischen einem aktiven Leiter (z. B. Außenleiter) und geerdeten Teilen auftritt.

Praktisch durchgeführte Versuche [5], [15] zeigen, dass die Fehlerleistung<sup>20</sup> - wenn sie unzulässig lange an eine Fehlerstelle wirkt - schon aus Strömen von ca. 300 mA ausreicht, um einen Brand zu zünden.

---

<sup>19</sup> ÖVE EN 1, Teil 3, § 41.1, letzter Absatz.

<sup>20</sup> Die *Grenzleistung der Fehlerstelle* für die Gefahr eines elektrisch gezündeten Brandes wird jedenfalls mit Werten unterhalb 100 W angesetzt. Oft wird auch die Grenze von 60 W als „für die Praxis als niedrig genug erachtet, um Brandgefahren zu vermeiden“ [5].



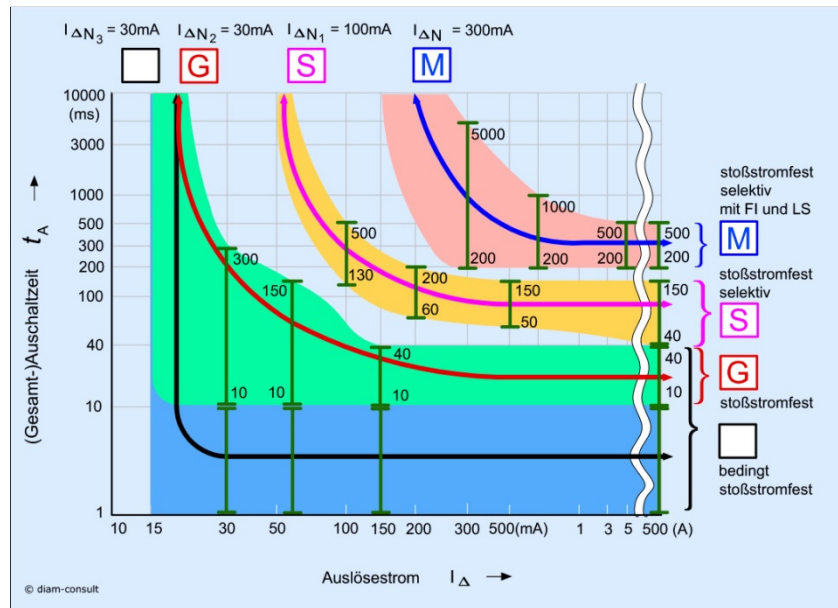


Bild 4-1 Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs M; Selektivität

Sie sind jedoch in erster Linie für den Schutz gegen gefährlichen elektrischen Schlag konzipiert und müssen aus elektrophysiologischen Gründen genau definierte Grenzen hinsichtlich der maximal zulässigen (Gesamt-) Ausschaltzeit einhalten. Sie schalten demnach „schnell“ aus. Je nach dem Wert des auftretenden Fehlerstromes liegen damit die Ausschaltzeiten bei einigen zehn Millisekunden bis zu 0,13 s (bei FI-Schaltern der Charakteristik S).

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen der derzeit gebräuchlichen Auslösestrom-/Ausschaltzeit-Charakteristik<sup>21</sup> können prinzipiell gegen derartige Gefahren schützen.

Das bedeutet, dass Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in vielen Fällen gleichzeitig mit Überstrom-Schutzeinrichtungen ausschalten. Dies beeinträchtigt die Verfügbarkeit der elektrischen Energie und führt zu (nicht notwendigen) Stillstandzeiten elektrischer Betriebsmittel (Datenverlust, ...).

Zur Vermeidung dieser ungewollten Auslösungen, bei gleichzeitigem, für die gesamte Anlage<sup>22</sup> (oder den Anlagenteil) wirksamen Brandschutz, genauer muss es wohl „Erdschluss-Brandschutz“ heißen, wurden Fehlerstrom-Schutzschalter des Typs M entwickelt [12]. Diese schalten mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen und Leitungsschutzschaltern selektiv (siehe Bild 4-1).

<sup>21</sup> Das sind: S-Schalter, G-Schalter und sogenannte „unverzögerte“ FI-Schalter (früher auch „bedingt-stoßstromfeste“ FI-Schalter genannt).

<sup>22</sup> Für Stromkreise mit Nennströmen über 32 A.

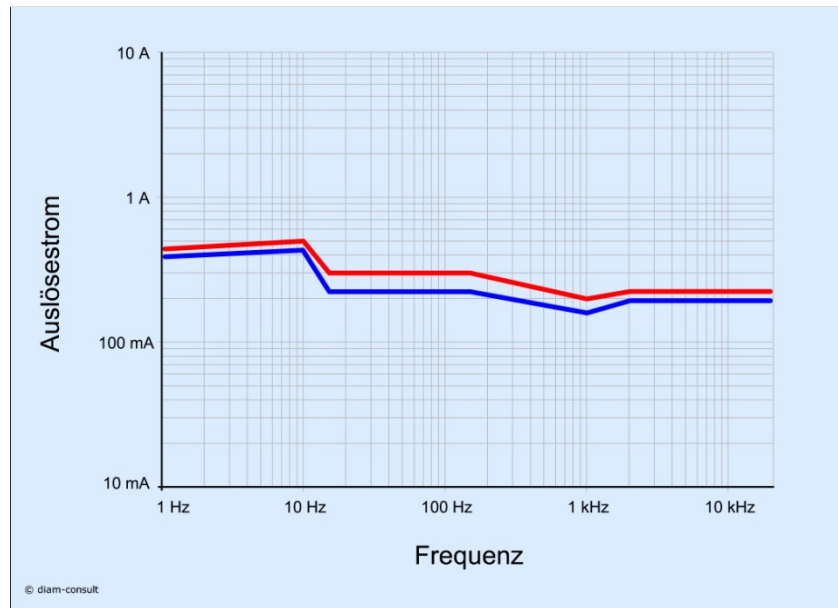


Bild 4-2 Fehlerstrom-Schutzeinrichtung des Typs B+; Auslösestrom / Frequenzbereich mit Auslösegrenzen (maximal, minimal); Daten entnommen [13]

Auch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen, die nicht nur für sinusförmige Fehlerströme mit einer Bemessungsfrequenz von 50 Hz, sondern auch andere Fehlerstrom-Kurvenformen erfassen können, sind schon in Ausführungen erhältlich, die wirksam gegen elektrisch gezündete Brände eingesetzt werden können. Ein Beispiel dafür ist in Bild 4-2 angegeben.

#### 4.4 Erfassung von seriellen und parallelen Lichtbogen in Endstromkreisen mittels Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen

##### 4.4.1 Grundsätzliches

Fehlerstrom - Schutzeinrichtungen und Überstrom-Schutzeinrichtungen sind - wie seit vielen Jahrzehnten bekannt - wirksame Geräte zur Reduzierung des Risikos des Entstehens von elektrisch gezündeten Bränden.

Fehlerstrom- und Überstrom-Schutzeinrichtungen sind jedoch nicht in der Lage das Risiko elektrisch gezündete Brände infolge von seriellen oder parallelen Lichtbogen zwischen spannungführenden Leitern zu verringern.

Bei seriellen Fehlerlichtbogen gibt es keinen Strom gegen den Schutzleiter. Die Impedanz eines seriellen Fehlerlichtbogens verringert den Betriebsstrom, wodurch dieser unter dem Auslöseschwellenwert der Überstrom-Schutzeinrichtung bleibt. Überstrom-Schutzeinrichtungen und Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen können derartige Fehler nicht erfassen.

Im Fall paralleler Fehlerlichtbogen zwischen Außen- und Neutralleiter wird der Strom durch die Impedanz des Stromkreises begrenzt. Darüber hinaus sind Überstrom-Schutzeinrichtungen für sporadisch auftretenden Lichtbogen nicht ausgelegt.

In ÖVE/ÖNORM EN 62606 [10] wird darauf hingewiesen, dass der Effektivwert eines vom Fehlerlichtbogen verursachten Erdschlussstroms, der in der Lage ist, einen Brand zu zünden, nicht auf die Bemessungsfrequenz von 50/60 Hz begrenzt ist. Dieser Erdschlussstrom kann ein weit

umfangreicheres Frequenzspektrum aufweisen, das in den derzeit verfügbaren anerkannten Regeln der Technik für die Prüfung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen nicht berücksichtigt wird.

#### 4.4.2 Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen

Aus den oben genannten Gründen wurden in Nord-Amerika schon in den 1990er Jahren Schutzgeräte zur Erfassung von Störlichtbogen entwickelt.

In Europa sind anerkannte Regeln der Technik für die Prüfung von Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen<sup>23</sup> erst im Jahr 2014 veröffentlicht worden [10].

Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen (AFDD) sind Einrichtungen zur Begrenzung der Auswirkung von Fehlerlichtbogen durch Abschaltung des Stromkreises, wenn ein Fehlerlichtbogen festgestellt wird<sup>24</sup>. Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen sollen das Risiko der Zündung eines Brandes durch Elektrizität in den nachgeschalteten Einrichtungen begrenzen.

AFDD werden unter anderem nach ihrer Bauart eingeteilt.

Da gibt es einerseits Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen, die aus einer sogenannten AFD-Einheit<sup>25</sup> und Ausschaltvorrichtungen bestehen und die dafür gedacht sind, *mit einer vom Hersteller angegebenen geeigneten (Kurzschluss-) Schutzeinrichtung in Reihe angeschlossen zu werden*. Diese Schutzeinrichtung muss dabei einer oder mehreren einschlägigen Normen<sup>26</sup> entsprechen. (Diese Bauart von AFDD enthält keine Schutzeinrichtung.)

Andererseits gibt es AFDD, als eine Einrichtung, die aus einer *Schutzeinrichtung mit integrierter AFD-Einheit besteht* und die einer oder mehreren einschlägigen Normen<sup>27</sup> entsprechen. Dazu zählen z. B. Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen, die vom Hersteller als kombinierte Fehlerstrom/Leitungsschutzschalter mit integrierter AFD-Einheit geliefert werden.

Außerdem gibt es AFDD, bestehend aus einer AFD-Einheit und einer (vom Hersteller) angegebenen Schutzeinrichtung, *die vor Ort zusammenzubauen<sup>28</sup> sind*. Als Schutzeinrichtungen können dabei Fehlerstrom-Schutzschalter, kombinierte Fehlerstrom/Leitungsschutzschalter oder Leitungsschutzschalter zum Einsatz kommen.

Die Unterbrechung des Stroms erfolgt - je nach Bauform - entweder durch Ausschaltvorrichtungen oder durch eine Schutzeinrichtung, die eine AFD-Einheit enthält, oder durch eine Schutzeinrichtung, die mit einer AFD-Einheit zusammengebaut ist.

---

<sup>23</sup> Auch im deutschen Sprachraum werden diese Schutzgeräte oftmals auch mit ihrer englischen Kurzbezeichnung als AFDD benannt. AFDD ... **A**rc **F**ault **D**etection **D**evice.

<sup>24</sup> Definition gemäß ÖVE/ÖNORM EN 62606:2014-09-01, Abschnitt 3.3

<sup>25</sup> Unter einer AFD-Einheit versteht man Teil der AFDD, die die Funktion der Erfassung und Unterscheidung von gefährlichen Erdfehlerlichtbogen, parallelen und seriellen Fehlerlichtbogen sichert und den Betrieb der Einrichtung auslöst, um den Strom zu unterbrechen.

<sup>26</sup> EN 60898-1, EN 61009-1, IEC 60269

<sup>27</sup> EN 60898-1, EN 61008-1, EN 61009-1 oder EN 62423

<sup>28</sup> Für diese Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen gelten die Anforderungen von ÖVE/ÖNORM EN 62606:2014-09-01, Anhang D.

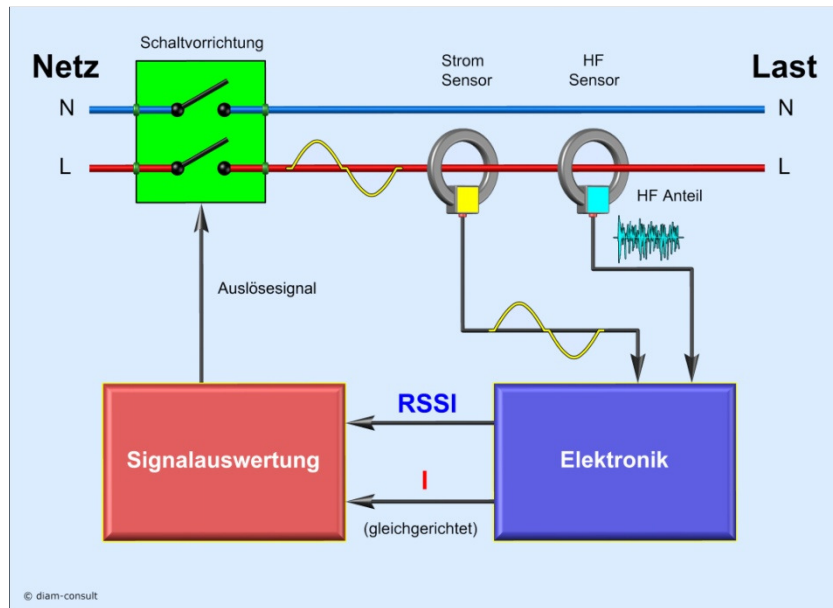


Bild 4-3 Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtung; schematische Darstellung; RSSI ... Received signal strength indication (HF-Leistung des Stroms)

Eine schematische Darstellung des Aufbaues einer Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtung<sup>29</sup> gibt Bild 4-3.

Der Betriebsstrom  $I$  wird über zwei getrennte Sensoren erfasst und über eine Elektronik in einen niederfrequenten und hochfrequenten Anteil zerlegt.

#### 4.4.3 Schutzwirkung

Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen zerlegen den jeweils erfassten Strom des jeweiligen Endstromkreises in einen niederfrequenten und hochfrequenten Anteil.

Diese beiden Signale dienen als Grundlage für die Lichtbogenerkennung und werden von einem Mikrocontroller ausgewertet, ob es sich um das charakteristische HF-Signal eines seriellen oder parallelen Lichtbogens, oder um das HF-Rauschen eines Verbrauchsmittels, wie z. B. eines Bürstenmotors oder eines elektronischen Transformators handelt. Im ersten Fall wird die Ausschaltung des betreffenden Stromkreises bewirkt, im zweiten Fall wird nicht ausgeschaltet.

Je nach Ausführung des AFDD kann als Schalteinrichtung natürlich auch z. B. ein LS/FI-Schalter (Schutzeinrichtung mit integrierter AFD-Einheit) als Schalteinrichtung zum Einsatz kommen. Damit kann in Endstromkreisen mit Steckdosen auch Zusatzschutz und Fehlerlichtbogenschutz durch ein einziges Schutzgerät realisiert werden.

Es handelt sich bei Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen um Schutzgeräte, die *nicht als Alternative zu Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen und/oder Überstrom-Schutzeinrichtungen* zu betrachten sind. Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen können keine Isolationsfehler erkennen! Wie es ein Autor [11] treffend beschrieben hat: „Die Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtung „wartet“ (nur) auf HF-Signale von einem Fehlerlichtbogen.“

<sup>29</sup> Die Darstellung folgt einer Anregung aus [25].

Die (zusätzliche) Schutzwirkung von Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen kann durch den Vergleich der Strom-Zeit(-Halbwellenzahl) -Diagramme von Überstrom-Schutzeinrichtungen und Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen anschaulich dargestellt werden (Bild 4-4).

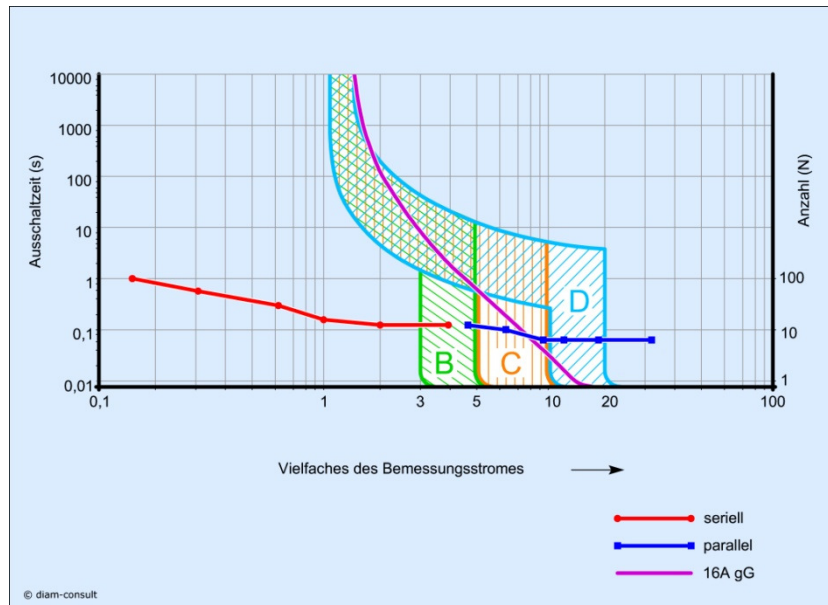


Bild 4-4 Strom-Zeit-Halbwellenzahl-Diagramm von Überstromschutzeinrichtungen und Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen, schematische Darstellung; Schmelzsicherung 16 A, gG, Leitungsschutzschalter, B, C, D; AFDD mit Charakteristik für serielle und parallele Störlichtbogen

Die Auslösekennlinie von Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen wird für Lichtbogenströme bis einschließlich 63 A (typisch für Isolationsfehler von Außenleiter gegen Erde oder beim Auftreten von seriellen Lichtbogen) und darüber bis 500 A (typisch für Isolationsfehler von Außenleiter gegen Erde oder beim Auftreten von parallelen Lichtbogen) festgelegt (Tabelle 4-1, Tabelle 4-2).

Die Auslösekennlinie für parallele Störlichtbogen ist im Bereich kleiner Ströme identisch mit jener für seriellen Störlichtbogen und liegt somit auch unter den Auslösekennlinien von Überstrom-Schutzeinrichtungen. Bei großen Werten des Lichtbogenstromes wird in [10] keine feste Auslösezeit, sondern eine Anzahl von Störlichtbogen-Halbwellen (N) definiert, die innerhalb von 0,5 s auftreten dürfen. Die Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtung muss den Fehlerlichtbogen ausschalten, wenn die in Tabelle 4-2 angegebene Anzahl der Halbwellen des Lichtbogens innerhalb einer Dauer von 0,5 s auftritt.

Lichtbogenstrom (Effektivwert) (A)	2,5	5	10	16	32	63
Höchstzulässige Ausschaltzeit (s)	1	0,5	0,25	0,15	0,12	0,12

Tabelle 4-1 Ausschaltzeiten für Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen bei kleinen Werten des Lichtbogenstromes;  $U_N = 230\text{ V}$ ; entnommen [10]

Lichtbogenstrom (Effektivwert) (A)	75	100	150	200	300	500
Halbwellenzahl (N)	12	10	8	8	8	8

Tabelle 4-2 Halbwellenzahl für Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen bei großen Werten des Lichtbogenstromes;  $U_N = 230\text{ V}$ ; entnommen [10]

Für serielle Lichtbogen liegt die Auslösezeit auch deutlich unterhalb jeder von Überstrom-Schutzeinrichtungen.

#### 4.4.4 Installation von Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen

Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen (Produktanforderungen siehe [10]) müssen am Anfang des zu schützenden Endstromkreises, nach den Angaben des Herstellers eingebaut werden.

Dabei sind die die Normbedingungen für den Betrieb der AFDD zu beachten. Wenn vom Hersteller keine Bedingungen spezifiziert werden, gelten die Bedingungen gemäß Tabelle 4-3.

Einflussgröße	Normbereich der Anwendung	Bezugswert	Prüfabweichungen <sup>f)</sup>
Umgebungstemperatur <sup>a)g)</sup>	- 5°C bis + 40 °C <sup>b)</sup>	20°C	± 5°C
Höhenlage	Nicht über 2000 m		
Relative Feuchte Höchstwert bei 40°C	50 % <sup>c)</sup>		
Äußeres Magnetfeld	Nicht über dem 5-fachen Erdmagnetfeld in jeder Richtung	Erdmagnetfeld	<sup>d)</sup>
Lage	Wie vom Hersteller angegeben, mit einer Abweichung von 2° in jede Richtung <sup>e)</sup>	wie vom Hersteller angegeben	2° in jeder Richtung
Frequenz	Bezugswert ± 5 % <sup>f)</sup>	Bemessungswert	± 2 %
Verzerrung der Sinusform	Nicht über 5 %	Null	5 %

a) Der Höchstwert der mittleren Temperatur beträgt 35 °C.  
 b) Nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Anwender sind Werte außerhalb des Bereiches zulässig, wo härtere klimatische Bedingungen herrschen.  
 c) Höhere Werte der relativen Feuchte sind bei niedrigeren Temperaturen zulässig (z. B. 90 % bei 20 °C).  
 d) Wenn eine AFDD in der Nähe eines starken Magnetfeldes eingebaut ist, können zusätzliche Anforderungen notwendig sein.  
 e) Die Einrichtung muss befestigt werden, ohne dass Verformungen auftreten, die seine Funktion beeinträchtigen.  
 f) Die angegebenen Abweichungen gelten, wenn in den entsprechenden Prüfungen nichts anderes festgelegt ist.  
 g) Höchstgrenzen von -20 °C und +60 °C sind während Lagerung und Transport zulässig und sollten bei der Konstruktion der Einrichtung berücksichtigt werden

Tabelle 4-3 AFDD; Normbedingungen für den Betrieb gemäß EN 62606:2013-11; [10]

Im Falle einer AFDD, die für die Verbindung oder die Integration oder den Zusammenbau mit einer oder mehreren Schutzeinrichtungen vorgesehen ist, deren Normbedingungen für den Betrieb und den Einbau härter als die in Tabelle 4-3 angegebenen sind, müssen die Normbedingungen für den Betrieb und den Einbau der jeweils härtesten Schutzeinrichtungsnorm eingehalten werden.

Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen werden in Endstromkreise eingebaut. In Bild 4-5 ist ein Ausführungsbeispiel für eine Niederspannungsanlage mit Schutzmaßnahme Nullung (TN-System) für den Fehlerschutz und Zusatzschutz für Stromkreise mit Steckdosen dargestellt.

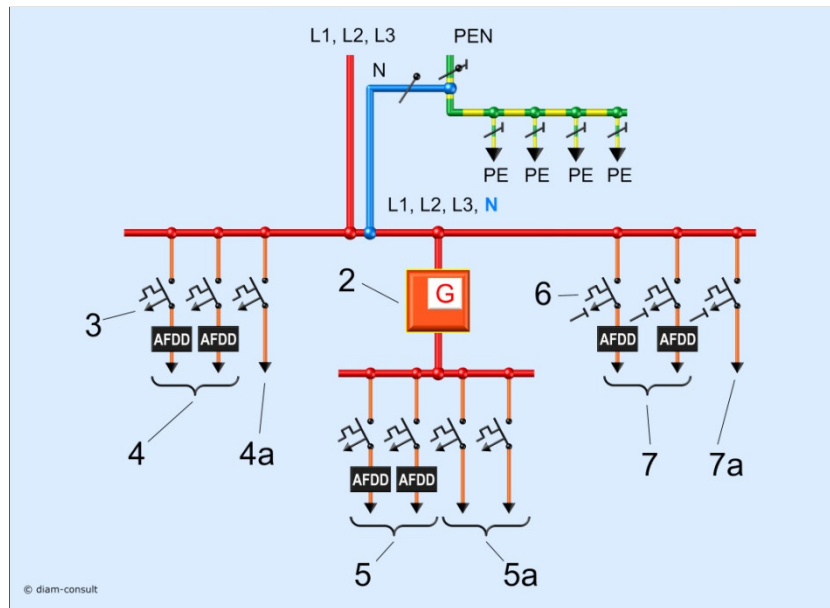


Bild 4-5 Einbau von Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen in Endstromkreise von Niederspannungsanlagen mit Schutzmaßnahme Nullung (TN-System) für den Fehlerschutz, einzelne Stromkreise mit Schutzmaßnahme Zusatzschutz; Ausführungsbeispiel, schematische Darstellung

- 2 ... Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCCB) des Typs G gemäß ÖVE/ÖNORM E 8601:2015-02-01 für den Zusatzschutz von Stromkreisen mit Steckdosen
- 3 ... Leitungsschutzschalter, auch als Kombination von RCBO und AFDD
- 4 ... Stromkreise für fest angeschlossene elektrische Betriebsmittel und Schutz mittels AFDD
- 4a ... Stromkreis mit fest angeschlossene elektrische Betriebsmittel
- 5 ... Stromkreise mit Steckdosen, Zusatzschutz und Schutz mittels AFDD, auch als Kombination von RCBO und AFDD
- 5a ... Stromkreise mit Steckdosen
- 6 ... Kombinierte Leitungsschutz-/Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCBO) für den Zusatzschutz von Stromkreisen mit Steckdosen
- 7 ... Stromkreise mit Steckdosen, Zusatzschutz und Schutz mittels AFDD, auch als Kombination von RCBO und AFDD
- 7a ... Stromkreis mit Steckdosen, Zusatzschutz

## 5 Zusammenfassung

Brände elektrischer Ursache und Maßnahmen zu deren Vermeidung stehen zunehmend im Mittelpunkt nationaler, europäischer und internationaler Schutzüberlegungen. Mit der anlagenspezifisch geeigneten Kombination aus der sorgfältigen Anwendung der Installationsregeln und modernen Schutzgeräten für den Überstrom-, Differenzstrom- und Fehlerlichtbogenschutz stehen dem Planer, Errichter und Betreiber von Niederspannungsanlagen wirksame technische Möglichkeiten für die Verringerung des Risikos von Sach- und Personenschäden zur Verfügung.

## 6 Literaturhinweise

- [1] Ludwar, G., Mörx, A., Elektrotechnikrecht, Praxisorientierter Kommentar; ÖVE, FEEL, ON, Wien 2007, ISBN: 978-3-85133-044-1
- [2] BGBl. 106/1993; Elektrotechnikgesetz 1992, in der Fassung BGBl. I/129/2015, 6. November 2015
- [3] Henschl, T., Mörx, A.; Elektroinstallation in Gebäuden, Neuauflage; Österreichischer Wirtschaftsverlag; 2012; ISBN 3-85212-116-5
- [4] Österreichische Brandverhütungsstellen (Hrsg.), Brandschadenstatistik 2013
- [5] Schwenkhagen, Hans., Schnell, Paul.; Gefahrenschutz in elektrischen Anlagen; Verlag W. Girardet Essen, 1957
- [6] Hofheinz, Wolfgang; Fehlerstrom-Überwachung in elektrischen Anlagen; VDE-Schriftenreihe 113, VDE-Verlag GmbH., 2008
- [7] ÖVE/ÖNORM EN 50110-1 (EN 50110-2-100 eingearbeitet):2014-10-01
- [8] Müller, Peter; Detektion von stromschwachen Störlichtbögen in Niederspannungsschaltanlagen, Dissertation Universität Stuttgart, 2014, Printed by Druckerei Hohlweg, 70182 Stuttgart, Deutschland, 2015, ISBN: 978-3-00-048762-0
- [9] Esser, W., Meyer, D.; Auslösekennlinien einstellungsspezifisch darstellen und ihr Zusammenwirken kompetent beurteilen; Moeller GmbH., Bonn, 2004
- [10] ÖVE/ÖNORM EN 62606: 2014 09 01; Allgemeine Anforderungen an Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen
- [11] Schmucki, Josef; Schutz vor elektrisch gezündeten Bränden; Elektrotechnik 4/2015, elektrosuisse, SEV Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik; CH-8320 Fehraltorf.
- [12] ÖVE/ÖNORM E 8603:2015-11-01; Zeitverzögerte Fehlerstrom-Schutzschalter des Typs M ohne eingebautem Überstromschutz zur Anwendung in Stromkreisen mit Nennströmen über 32 A Ergänzung zu ÖVE/ÖNORM EN 61008-1
- [13] Eaton Industries (Austria) GmbH; xEffect - Schaltgeräte für industrielle Anwendungen; 2015
- [14] BGBl. 106/1993, Elektrotechnikgesetz 1992 in der Fassung BGBl. I/129/2015
- [15] Mörx, A.; Fehlerstellen in Niederspannungsanlagen und elektrische Zündung von Bränden; Forschungsprotokoll, diam-consult, Ingenieurbüro für Physik, Wien; 2007 (unveröffentlicht).
- [16] Mörx, A.; Brandschutz in Niederspannungsanlagen (Teile 1 bis 3), elektrojournal Hefte 9a, 10, 11, Österreichischer Wirtschaftsverlag, 2006
- [17] Mörx, A.; Brandschutz in Niederspannungsanlagen (Teile 4 bis 6), elektrojournal Hefte 3, 4, 6, Österreichischer Wirtschaftsverlag, 2008
- [18] Datenbank des IFS „Institut für Schadenverhütung und Schadenforschung“ der öffentlichen Versicherer e.V., Kiel; <http://www.ifs-kiel.de>; zitiert in Martel, Anheuser, Hueber, Berger, Erhard; Schutz gegen parallele Störlichtbögen in Hauselektroinstallationen; VDE Fachbericht 67; 2011
- [19] ÖVE/ÖNORM E 8001-1-23:2000-12-01; Errichtung von elektrischen Anlagen mit Nennspannungen bis AC 1000 V und DC 1500 V, Teil 1-23: Schutzmaßnahmen - Schutz gegen thermische Einflüsse
- [20] DIN VDE 0100-420 (VDE 0100-420), Februar 2016; Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-42: Schutzmaßnahmen - Schutz gegen thermische Auswirkungen
- [21] HD 60364-4-42:2011 + A1:2015; Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-42: Schutzmaßnahmen - Schutz gegen thermische Auswirkungen



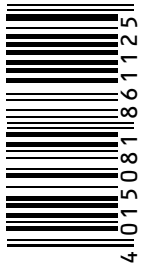
- [22] IEC 60364-4-42:2010 + A1:2014; Low-voltage electrical installations - Part 4-42: Protection for safety - Protection against thermal effects
- [23] EN 50110-1:2013; Betrieb von elektrischen Anlagen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- [24] Mörx, A., Störlichtbogen in Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen, Gefährdungsbeurteilung gemäß EN 50110-1:2014;  
[http://www.diamcons.com/images/stories/kostenlose\\_publicationen/0162\\_09\\_DACH\\_2016\\_Diskussionsbeitrag\\_Moerx\\_AT\\_V\\_03.pdf](http://www.diamcons.com/images/stories/kostenlose_publicationen/0162_09_DACH_2016_Diskussionsbeitrag_Moerx_AT_V_03.pdf)
- [25] Martel, Anheuser, Hueber, Berger, Erhard; Schutz gegen parallele Störlichtbögen in Hauselektroinstallationen; VDE Fachbericht 67; 2011
- [26] ÖVE/ÖNORM E 8601:2015-02-01; Kurzzeitverzögerte Fehlerstrom-Schutzschalter des Typs G ohne und mit eingebautem Überstromschutz Ergänzung zu ÖVE/ÖNORM EN 61008-1 und ÖVE/ÖNORM EN 61009-1
- [27] ÖVE/ÖNORM E 8001-1:2010-03-01; Errichtung von elektrischen Anlagen mit Nennspannungen bis AC 1000 V und DC 1500 V, Teil 1: Begriffe und Schutz gegen elektrischen Schlag (Schutzmaßnahmen)
- [28] ÖVE/ÖNORM EN 61008-1:2015-12-01; Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter ohne eingebauten Überstromschutz (RCCBs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- [29] ÖVE/ÖNORM EN 61009-1:2015-12-01; Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter mit eingebautem Überstromschutz (RCBOs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen

Eaton ist ein im Bereich des Energiemanagements tätiges Unternehmen, das 2015 einen Umsatz von 20,9 Mrd. US-Dollar erwirtschaftete. Eaton stellt seinen Kunden energieeffiziente Lösungen bereit, mit denen sie elektrische, hydraulische und mechanische Energie effektiver, effizienter, sicherer und nachhaltiger managen können.

Eaton beschäftigt ca. 97.000 Mitarbeiter und verkauft Produkte an Kunden in mehr als 175 Ländern.

Weitere Informationen erhalten Sie unter [www.eaton.eu](http://www.eaton.eu)

Artikel Nummer 188246



Zusätzliche Kontaktinformationen  
finden Sie unter  
[www.eaton.eu/electrical/customersupport](http://www.eaton.eu/electrical/customersupport)