

SIEMENS



SENTRON

# Brandschutzschalter 5SM6

Technik-Fibel



Ob Schützen, Schalten, Messen oder Überwachen – die Komponenten für die Niederspannungs-Energieverteilung von Siemens bieten Ihnen für alle Anwendungen der elektrischen Installationstechnik das passende Gerät. Ob für industrielle Anwendungen, Infrastruktur oder Gebäude, sie garantieren ein Höchstmaß an Flexibilität, Komfort und Sicherheit. So haben Sie den gesamten Stromkreis sicher im Griff.

Die seit vielen Jahren bewährten Schutzeinrichtungen wie Sicherungen, Leitungsschutzschalter und Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen sind nicht dafür geeignet, Fehlerlichtbögen zu detektieren, insbesondere wenn diese im Fehlerfall durch eine Impedanz begrenzt werden. Diese Schutzlücke wird nun durch den Brandschutzschalter 5SM6 (engl.: 5SM6 arc-fault detection units/ AFD units) geschlossen. Der Brandschutzschalter 5SM6 erkennt Fehlerlichtbögen, die bei seriellen Schadstellen und unsicheren Kontakten oder auch als Folge von Isolationsfehlern zwischen aktiven Leitern untereinander oder gegen den Schutzleiter entstehen können. Damit wird ein sehr wirksamer Beitrag zur Vermeidung von elektrisch gezündeten Bränden geboten.

Mit dieser Fibel erläutern wir neben physikalischen Eigenschaften von Lichtbögen insbesondere den Aufbau und die Wirkungsweise des Brandschutzschalters. Die Vorstellung der Geräteausführungen und die Anwendungsbeispiele sollen die Auswahl und den korrekten Einsatz dieses Gerätes erleichtern.

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Brandstatistiken und Brandursachen</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Schutzeinrichtungen</b>	<b>14</b>
3.1	Fehlerlichtbögen und eingeführte Schutzeinrichtungen	14
3.2	Das erweiterte Schutzkonzept	16
<b>4</b>	<b>Zünd- und Brennbedingungen des Lichtbogens</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Konkrete Beispiele von Fehlersituationen mit seriellen Lichtbögen</b>	<b>19</b>
5.1	Fehlersituation Bereich bis 3 A Lichtbogenstrom	20
5.2	Fehlersituation Bereich von 3 A bis 10 A Lichtbogenstrom	22
5.3	Fehlersituation über 10 A Lichtbogenstrom	24
5.4	Einfluss des Laststroms auf Brandentstehung	24
<b>6</b>	<b>Fehlersituation mit parallelen Fehlerlichtbögen</b>	<b>27</b>
6.1	Grundsätzliche Betrachtung	27
6.2	Abschaltverhalten von Überstrom-Schutzeinrichtungen	28
6.3	Bewertung	30
<b>7</b>	<b>Erkennung der Fehlerlichtbögen</b>	<b>31</b>
7.1	Prinzipieller Aufbau des Brandschutzschalters 5SM6	31
7.2	Erfassung serieller Fehlerlichtbögen	32
7.3	Erfassung paralleler Fehlerlichtbögen	33
7.4	Vermeidung unerwünschter Auslösungen	34

<b>8</b>	<b>Normen und Anforderungen an Brandschutzschalter</b>	<b>38</b>
8.1	Allgemeine Grundsätze	38
8.2	Produktnorm	38
8.3	Errichtungsbestimmungen	40
<b>9</b>	<b>Produktbeschreibung des Brandschutzschalters 5SM6</b>	<b>43</b>
9.1	Produktausführungen	43
9.2	Allgemeine Eigenschaften	45
9.3	Besondere Eigenschaften	46
<b>10</b>	<b>Ratgeber</b>	<b>49</b>
10.1	Installation des Brandschutzschalters	49
10.2	Vorgehen nach Auslösung des Brandschutzschalters	49
<b>11</b>	<b>Anwendungsbeispiele</b>	<b>52</b>
<b>12</b>	<b>Quellenangaben und Literaturhinweise</b>	<b>53</b>
<b>13</b>	<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b>	<b>54</b>

## 1. Einführung

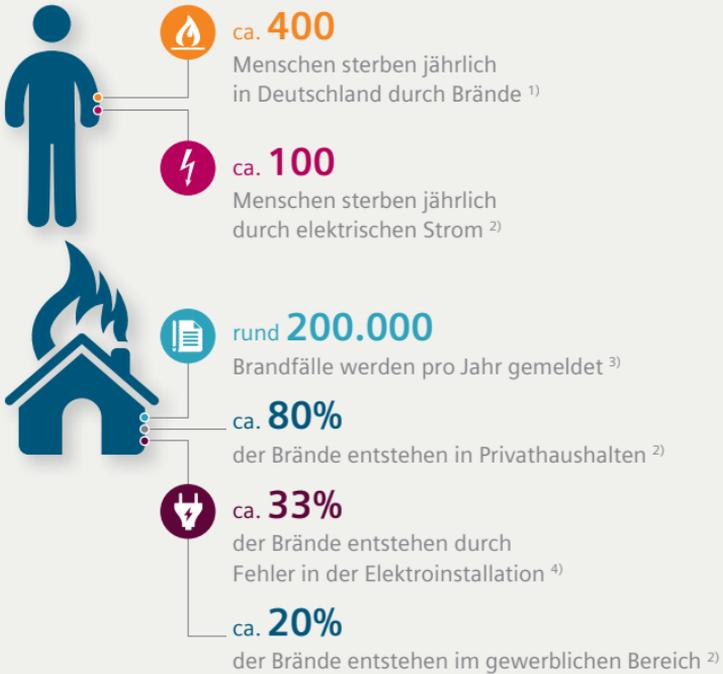
Fehlerlichtbogenerkennung hat bereits eine langjährige Vorgeschichte in den USA. Erste Patente dazu resultieren aus dem Jahre 1983. In den 90er Jahren wurde ein erheblicher Aufwand getrieben um geeignete Anforderungen zu definieren und entsprechende Produkte zur Erkennung von Fehlerlichtbögen zu entwickeln. Seit 2001 erfolgte die schrittweise Einführung der AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter) in den USA. Im Jahre 2005 wurde in die nationalen Errichtungsbestimmungen die Forderung aufgenommen für Endstromkreise mit 15/ 20A in Schlafräumen AFCIs einzusetzen. Seit 2008 ist diese Forderung auf den Schutz von Endstromkreisen in allen Wohnräumen erweitert worden.

## 2. Brandstatistiken und Brandursachen

In Deutschland werden jedes Jahr ca. 200.000 Brandfälle registriert. Dadurch entstehen Schäden in Höhe von rund 6 Milliarden Euro. Noch schwerer wiegen die ca. 60.000 Verletzten, davon ca. 6.000 Schwerverletzte und die 400 Toten, von denen etwa 80% in Privatwohnungen ums Leben kamen. Besonders schwerwiegend ist die Tatsache, dass besonders viele Brandopfer nachts im Schlaf überrascht werden und über 90% an den Folgen einer Rauchvergiftung sterben. Die meisten Feuer beginnen mit einer Schwelphase in der sich die Räume schnell mit Rauchgasen füllen. Diese Gase können bereits ab wenigen Atemzügen zur Bewusstlosigkeit oder gar zum Tode führen.

Seit vielen Jahren liegt der Anteil der Brände, die durch Elektrizität verursacht werden, stabil bei ca. 33%. 2014 lag dieser Anteil beispielsweise bei 34% (siehe Bild 1, Seite 8). Lässt man die nicht beeinflussbaren Ursachen wie Brandstiftung und menschliches Fehlverhalten außer Acht, steigt der Anteil der elektrisch verursachten Brände sogar auf rund 50% an. Davon liegt die Brandursache dann zu ca. 50% im Verbraucher und zu ca. 30% in der Installation. Die traurige Bilanz: Circa 100 Menschen sterben jährlich durch elektrischen Strom.

## Brandstatistiken



<sup>1)</sup> GDV (2015) – Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.

<sup>2)</sup> Stiftung Warentest 01/2013

<sup>3)</sup> Statistisches Bundesamt (2011): Gesundheit – Todesursachen in Deutschland 2011

<sup>4)</sup> IFS (2014): IFS Brandursachenstatistik 2013

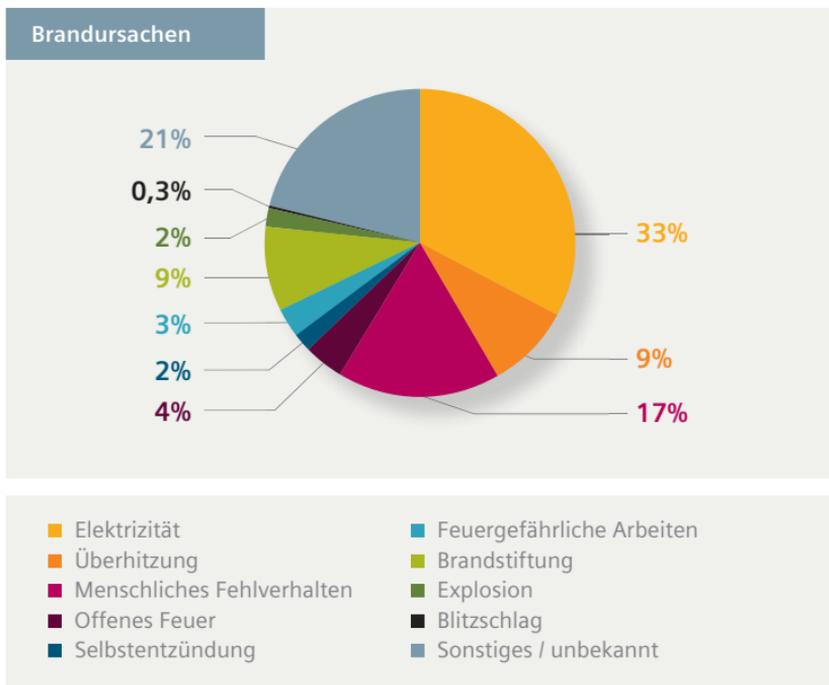
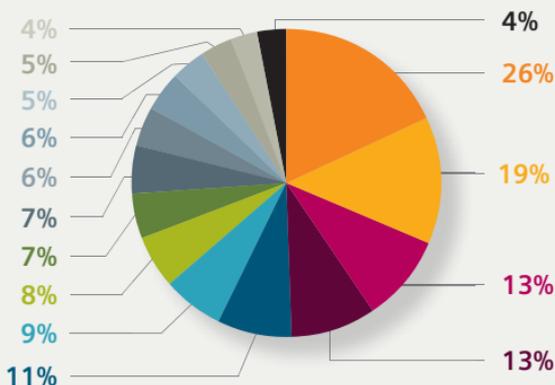


Bild 1: Brandursachen in Deutschland 2014

Interessant ist auch ein Blick auf die Mängelstatistik des VdS (VdS Schadenverhütung GmbH) aus über 30.000 Betriebsprüfungen. Bild 2 zeigt die Aufteilung der dabei festgestellten mehr als 150.000 Mängel. Da die Anlagen auch mehrfache Mängel aufweisen, summieren sich diese auf über 100%.

## Mängelstatistik



- Technische Unterlagen nicht komplett / nicht vorhanden
- Schutz gegen direktes Berühren nicht gewährleistet
- Wand- und Deckendurchführungen mangelhaft
- Betriebsmittel beschädigt
- Kabel- und Leitungsverlegung mangelhaft
- Betriebsmittel unzureichend befestigt
- Zubehör (Warn-, Sicherheits- und Bezeichnungsschilder, Aushänge, Wartungsbuch, -geräte) fehlen / mangelhaft
- Leiteranschlüsse und -verbindungen mangelhaft
- Schutzleiter nicht einzeln lösbar, hat Verbindung zu N-Leiter
- Beschriftungen, Kennzeichnungen der Stromkreise und elektrischer Betriebsmittel fehlen / unvollständig
- Sauberkeit der elektrischen Anlage unzureichend
- Kabel- und Leitungseinführungen an elektrischen Betriebsmittel mangelhaft
- Überlast- und Kurzschlusschutzorgane fehlen / mangelhaft
- Potenzialausgleich fehlt / mangelhaft
- Schutz bei indirektem Berühren nicht gewährleistet

Bild 2: VdS – Mängelstatistik in elektrischen Anlagen (2008)

Bei einer Vielzahl der festgestellten Mängel, z. B. mangelhafte Leitungsverlegung oder Wand-/ Deckendurchführung, können auch Fehlerlichtbögen, welche von vorhandenen Schutzeinrichtungen nicht erfasst werden, zur Entstehung von Bränden führen. Die für Deutschland gültigen Zahlen sind in ähnlicher Größenordnung auf andere europäische Länder übertragbar. Allerdings sind die Daten in unterschiedlicher Art erfasst und aufbereitet.

Ein Beispiel zur Brandstatistik zeigt das Bild 3. Hier können auch die festgestellten Mängel wie Nagetierverbiss, lose Verbindungen, Alterung oder Beschädigung mit Feuchtigkeit zur Brandentstehung durch Fehlerlichtbögen führen.

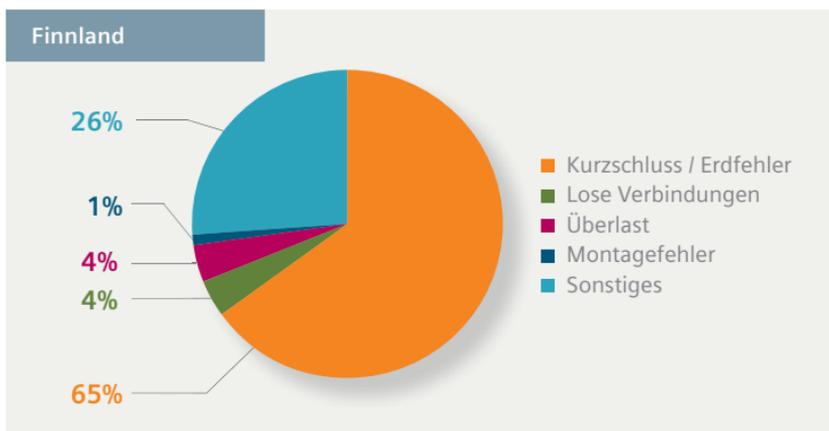
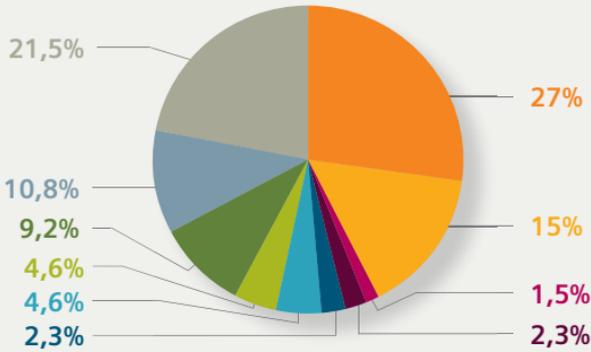


Bild 3: Brandstatistik 2006; Absolute Anzahl: 1.860 Brände

Aus den USA liegt eine weitere Untersuchung vor (siehe Bild 4), die sich detaillierter mit den in der Installation beobachteten Effekten beschäftigt, bevor die Brände entstanden. Diesen Effekten lassen sich mögliche Ursachen und Arten von Fehlerlichtbögen zuordnen.

USA

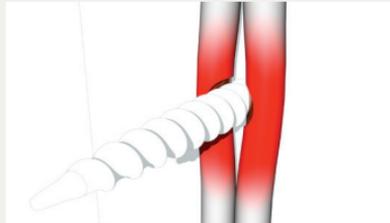


- Sicherung angesprochen
- Sonstiges
- Verlöschen des Lichts
- Funken / Lichtbogen am Auslass
- Radio-Empfang gestört
- Glühlampen durchgebrannt
- Verlangsamte Verbraucher
- Auslösen einer Schutzvorrichtung
- Gedimmtes Licht
- Flackerndes Licht

Bild 4: Beobachtungen vor Eintritt eines elektrischen verursachten Brandes in den USA

Die aus der Statistik ersichtlichen Fehlersituationen lassen sich durchaus auch in der Praxis beobachten. Einige als häufig erkannte Fehlerquellen (auch nicht zulässige Ausführungen) in der elektrischen Installation oder auch nach der Steckdose werden nachfolgend genannt.

- a) Beschädigte Leitungsisolierungen, z. B. durch Nägel, Schrauben oder Klammern
- b) Bei Leitungen mit zu engem Biegeradius besteht die Gefahr von Kabelbrüchen
- c) Bei einem Leitungsverlauf durch offene Türen und Fenster können beim Schließen der Zimmertüren oder Fenster die Leitungen gequetscht werden, so dass aufgrund der geschädigten Isolierung Fehlerlichtbögen entstehen können
- d) Schädigung/ Alterung der Isolation durch Umwelteinflüsse wie UV-Strahlen, Temperatur, Feuchte, Gase
- e) Nagetierverbiss
- f) Lose Kontakte, z. B. durch zu geringes Drehmoment
- g) Durch Krallenbefestigung beschädigte Leiter



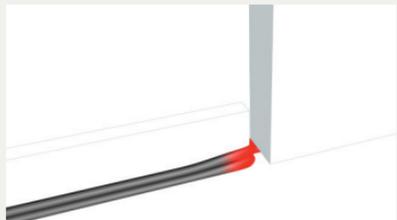
a) Nägel oder Schrauben



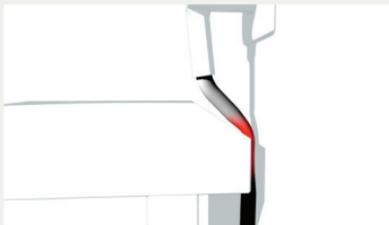
a) zu feste Klammern



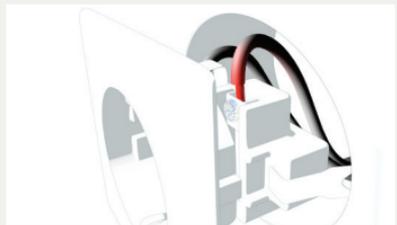
b) zu enger Biegeradius



c) gequetschte Leitung



c) gequetschte Leitung



g) durch Krallenbefestigung  
beschädigte Leitung

Die Zahlen aus den Brandstatistiken, die beobachteten Mängel und die daraus resultierenden Effekte begründen die Notwendigkeit, ein geeignetes Schutzgerät wie den Brandschutzschalter zu entwickeln, um damit zur Reduzierung der Brände durch Fehlerlichtbögen beizutragen.

## 3. Schutzeinrichtungen

### 3.1 Fehlerlichtbögen und eingeführte Schutzeinrichtungen

Fehlerlichtbögen können in unterschiedlicher Art auftreten (siehe Bild 5). Die unterschiedlichen Fehlerfälle in Bezug auf die Funktionsweise der eingeführten Schutzeinrichtungen (Fehlerstrom-Schutzeinrichtung, Überstrom-Schutzeinrichtung) sollen hier betrachtet werden.

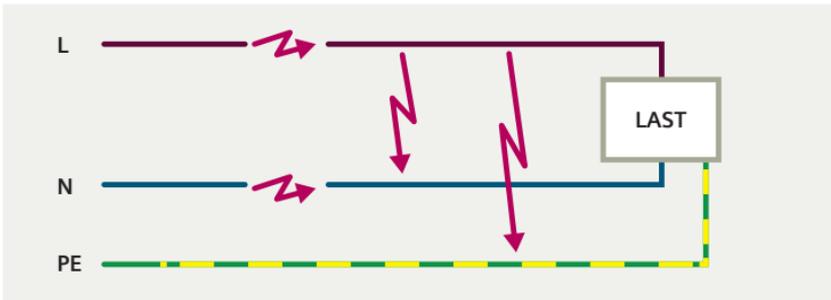


Bild 5: Arten von Fehlerlichtbögen

#### a) Parallele Fehlerlichtbögen

Parallele Fehlerlichtbögen können z. B. durch Alterung des Isolationsmaterials oder Präsenz von leitender Verschmutzung zwischen den Außenleitern verursacht werden.

#### Paralleler Fehlerlichtbogen zwischen Außenleiter (L) und Erdungsleiter (PE):

Es fließt ein Strom über den Lichtbogen vom Außenleiter gegen PE. Eine in der Anlage vorhandene Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mit einem maximalen Bemessungsdifferenzstrom von 300 mA kann hier zum Brandschutz eingesetzt werden. Dies ist für bestimmte Bereiche (z. B. „feuergefährdete Betriebsstätten“) sogar ausdrücklich gefordert. Überstrom-Schutzeinrichtungen schützen in manchen Fällen nicht, da die Impedanzen im Fehlerkreis zu hoch sein können. Dadurch lassen sich die Abschaltbedingungen mit den notwendig kurzen Zeiten nicht erfüllen, um die Energie an der Schadstelle auf Werte zu begrenzen, die eine Brandentstehung verhindern würden.

### **Paralleler Fehlerlichtbogen zwischen Außenleiter und Außen- oder Neutralleiter:**

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen sind hier nicht zum Schutz geeignet, da kein Strom über PE oder Erde abfließt. Überlast- und Kurzschluss-Schutzeinrichtungen, wie Leitungsschutzschalter, können hier nur bedingt schützen. Abhängig ist dies von den Impedanzen im Fehlerkreis, inklusive dem Wert der Bogenspannung und ob die Abschaltbedingungen bei solchen Strom-/ Zeitwerten erfüllt werden, um die Energie an der Schadstelle auf Werte zu begrenzen, die eine Brandentstehung verhindern würden. Insbesondere bei Fehlerstellen mit hohen Übergangswiderständen oder bei Verwendung von Verlängerungsleitungen nach der Steckdose begrenzen hohe Impedanzwerte die Stromhöhe und können die rechtzeitige Abschaltung verhindern (siehe Kapitel 6, Seite 27 ff.).

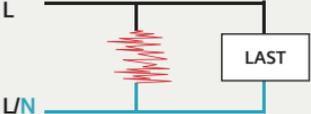
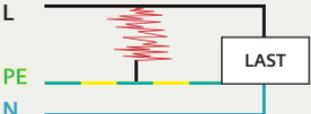
### **b) Serieller Fehlerlichtbogen in einem aktiven Leiter:**

Es fließt hier kein Strom gegen PE oder Erde und der Laststrom wird auf Grund der Bogenspannung des Lichtbogens in Reihe mit der Nutzlast sogar noch verringert. Deshalb können Fehlerstrom- und Überstrom-Schutzeinrichtungen in diesem Fehlerfall keinen Schutz bieten.

Es bleibt also festzustellen, dass zumindest für den Fall eines seriellen Fehlerlichtbogens kein Schutz besteht und für parallele Fehlerlichtbögen zwischen aktiven Leitern eine Verbesserung des Schutzniveaus notwendig ist. Um diese Schutzlücken zu schließen wird das Siemens Schutzkonzept für die Niederspannungs-Energieverteilung um den Brandschutzschalter 5SM6 erweitert.

## 3.2 Das erweiterte Schutzkonzept zur Brandvermeidung

Der Brandschutzschalter 5SM6 erweitert das aus Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen und Überstrom-Schutzeinrichtungen bestehende Schutzkonzept zur Reduzierung von elektrisch gezündeten Bränden und schließt die bisher vorhandene Schutzlücke. Bild 6 zeigt die Situation für die einzelnen Fehlerfälle für Schutzeinrichtungen nach IEC- bzw. EN-Standards (z. B. Deutschland).

Fehlerfall	Schutzvarianten
<p><b>Parallel (Phase-Neutral/Phase-Phase)</b></p> 	
<p><b>Parallel (Phase-Schutzleiter)</b></p> 	
<p><b>Seriell</b></p> 	
<p>Bild 6: Fehlerfälle und zum Brandschutz geeignete Schutzeinrichtungen</p>	<p>LS Leitungsschutzschalter            FI Fehlerstrom-Schutzeinrichtung            AFD Brandschutzschalter</p>

Die Eigenschaften von Lichtbögen, sowie die Funktion und Wirkungsweise des Brandschutzschalters 5SM6 werden in den nächsten Kapiteln erläutert.

## 4. Zünd- und Brennbedingungen des Lichtbogens

An Fehlerstellen, die in Bewegung sind oder eine geringe Leitfähigkeit aufweisen, können sogenannte „Kontakt-Lichtbögen“ (siehe Bild 7) durch direkte oder indirekte Kontaktierung von Metallteilen entstehen. Durch Bewegung (Vibration, thermische Ausdehnung) der ursprünglich in direkter Berührung stehenden Metallteile wird durch Lichtbögen und Erwärmung eine Schmelzbrücke gebildet. Diese wird weiter erhitzt, wieder unterbrochen und es bilden sich kurzzeitig instabile Lichtbögen. Es entstehen dadurch hohe Temperaturen an den Metallteilen (Elektroden). Die Luft wird ionisiert und nach einem Verlöschen des Lichtbogens im Nulldurchgang wird dieser erneut gezündet. Brennbare Materialien in der Umgebung (z. B. Leitungsisolation) karbonisieren.

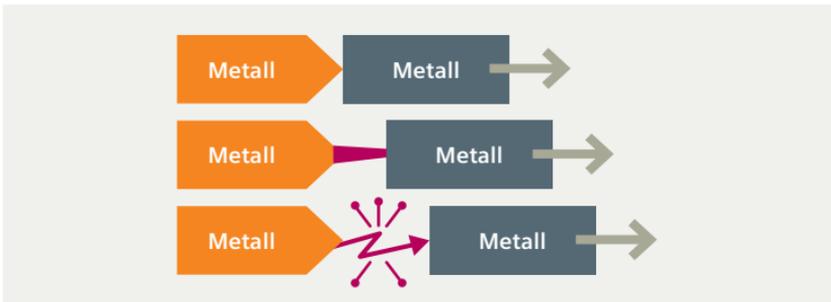


Bild 7: Kontakt-Lichtbogen

Ist die Isolation zwischen zwei Leitern beschädigt, können sich über eine leitfähige Isolationsstrecke parallele Fehlerlichtbögen auch ohne direkten Metallkontakt bilden (siehe Bild 8, Seite 18).

Bei Materialien zwischen den Leitern können sich die Isolationseigenschaften auf Grund von Alterung, chemischer, thermischer oder mechanischer Belastung verringern. Auf Oberflächen, die durch Schmutz oder Kondensationswasser kontaminiert sind, können Kriechströme entstehen. Diese und kurze Entladungen können die Kunststoffe erhitzen und karbonisieren. Durch hohe Temperaturen an der Fehlerstelle kann ein Teil des verkohlten Isoliermaterials verdampfen, die Umgebung der Fehlerstelle stark erhitzen und einen stabilen Fehlerlichtbogen zünden. Der verkohlte Pfad zwischen den elektrischen Leitern ermöglicht eine erneute Nachzündung des Lichtbogens nach dem Stromnulldurchgang und weitere Erhitzung bis zur Brandentstehung.



Bild 8: Lichtbogen über leitfähige Isolationsstrecke

Am Beispiel einer Engstelle in einer Leitung soll das Entstehen eines Brandes in Folge eines seriellen Fehlerlichtbogens beschrieben werden. Durch den Stromfluss entstehen an der Engstelle erhöhte Temperaturen. Diese Temperaturerhöhung führt beim heißen Kupfer zur Oxidation, was wiederum zu einer Widerstandserhöhung und noch höheren Temperaturen führt, bis hin zum Schmelzen des Kupfers. Es kommt zur Gasbildung, insbesondere im Stromscheitelpunkt. Dadurch entsteht zumindest kurzzeitig ein Luftspalt, bei dem es zur Lichtbogenbildung kommt. In der Schadstelle wird die Isolierung karbonisiert. Über diese Strecke kann ein stabiler Lichtbogen brennen und die dabei entstehenden Flammen können zum Brand führen (siehe Bild 9).



Bild 9: Brandentstehung durch serielle Lichtbögen

## 5. Konkrete Beispiele von Fehlersituationen mit seriellen Lichtbögen

Unter Laborbedingungen wurden Untersuchungen mit seriellen Lichtbögen mit unterschiedlichen Belastungen bei der in Europa üblichen Spannung von 230 V gegen Erde, sowie unter Verwendung des europaweit gebräuchlichsten Kabeltyps NYM-J durchgeführt. Für die Betrachtung und Darstellung der Bedingungen sind einige Begriffe zu definieren:

### a) Lichtbogen

Darunter versteht man eine leuchtende Entladung von Elektrizität über ein isolierendes Medium, welche zusätzlich eine teilweise Verdampfung der Elektroden bewirkt. In der Folge erzeugt dieser elektrische Lichtbogen ein breitbandiges Hochfrequenzrauschen.

### b) Lichtbogenstabilität

Verhältnis der Lichtbogendauer zur Beobachtungszeit über 100 ms. Durch die Nulldurchgänge der Wechselspannung ist die Lichtbogenstabilität immer kleiner als 100%.

### c) Glühen (Glühkontakt)

Eine Verbindung, die durch einen mangelhaften Kontakt im Stromfluss das Kontaktmaterial erhitzt und es zum Glühen bringt. Hierbei wird kein Hochfrequenzrauschen erzeugt und der Glühkontakt kann als eine serielle Impedanz betrachtet werden.

### d) Erste Flamme

Eine Flamme, die dauerhaft über 5 ms brennt

### e) Signifikante Flamme

Eine Flamme, die dauerhaft über 50 ms brennt

### f) Stabile Flamme

Eine Flamme, die dauerhaft über 500 ms brennt

### 5.1 Fehlersituation Bereich bis 3 A Lichtbogenstrom

Der erste Graph (Energie) veranschaulicht die Entwicklung der Energie über die Beobachtungszeit (siehe Bild 10). Es werden zwei Energiewerte dargestellt. Die schwarze Kurve stellt die totale Energie (gesamte elektrische Energie) dar, die an der Fehlerstelle hauptsächlich in Form von Hitze und Strahlung umgesetzt wird. Die rote Kurve repräsentiert die Lichtbogenenergie. Die Differenz zwischen der totalen Energie und der Lichtbogenenergie wird hauptsächlich durch das Glühen verursacht. Die Entwicklung des Energieanstiegs kann in zwei Phasen aufgeteilt werden.

In der ersten Phase, der „Verkohlungsphase“ (gelber Bereich), ist es nicht möglich einen stabilen Lichtbogen zu erzeugen, wenn die Fehlerstelle noch nicht verkohlt ist. Kurze Lichtbögen entstehen nur, wenn der Abstand zwischen den Leiterenden in der Fehlerstelle ausreichend klein ist, d. h. im Moment des Kontakts oder der Unterbrechung. Durch die niedrige Lichtbogenstabilität (unterster Graph), ist der Mittelwert der Leistung gering und die totale Energie steigt nur langsam an. Während der Verkohlungsphase kann das Kabelmuster nicht entzündet werden, jedoch findet eine stetige Verkohlung der PVC-Isolierung statt.

In der zweiten Phase, der „Zündphase“ (roter Bereich), ist die Fehlerstelle ausreichend verkohlt und die Lichtbogenstabilität steigt schnell auf 80% an. Der Lichtbogen wird sehr stabil und die Energie steigt schneller an, die Flammenbildung setzt ein (vorletzter Graph).

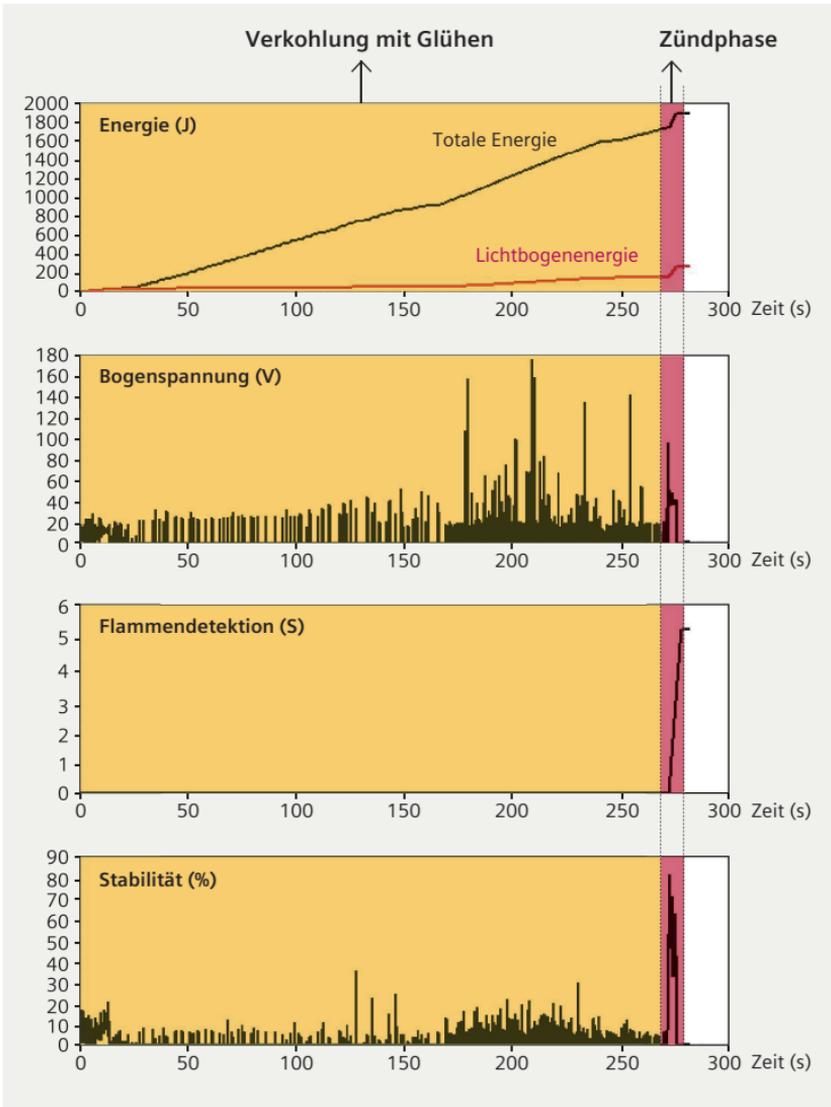


Bild 10: Entwicklung des Lichtbogens am Beispiel 2 A / 230 V

### 5.2 Fehlersituation Bereich von 3 A bis 10 A Lichtbogenstrom

Auch bei diesen höheren Lichtbogenströmen lassen sich die Graphen in Verkohlungs- und Zündphase unterteilen (siehe Bild 11). Auch hier ist in der ersten Zeit die Stabilität des Lichtbogens sehr gering, da die Fehlerstelle noch nicht verkohlt ist. Durch die niedrige Lichtbogenstabilität ist der Mittelwert der Leistung gering und die totale Energie steigt nur langsam an, ohne dass das Kabelmuster entzündet werden kann.

Nach deutlich kürzerer Zeit, im Vergleich zu geringeren Strömen, ist die Fehlerstelle ausreichend verkohlt und die Lichtbogenstabilität steigt schnell auf über 90% an. Der Lichtbogen wird sehr stabil und die Energie steigt schneller an. Nach einigen Sekunden kann die Isolierung der Hitze nicht mehr standhalten und eine Flamme entsteht.

Während des Tests liegt die Spannung des Lichtbogens bei sehr geringen Werten von etwa 15 V bis 30 V. Dies ist typisch für einen Lichtbogen bei Niederspannung, da ein serieller Lichtbogen nur entstehen kann wenn der Spalt zwischen den beiden Leitern oder Elektroden sehr klein ist.

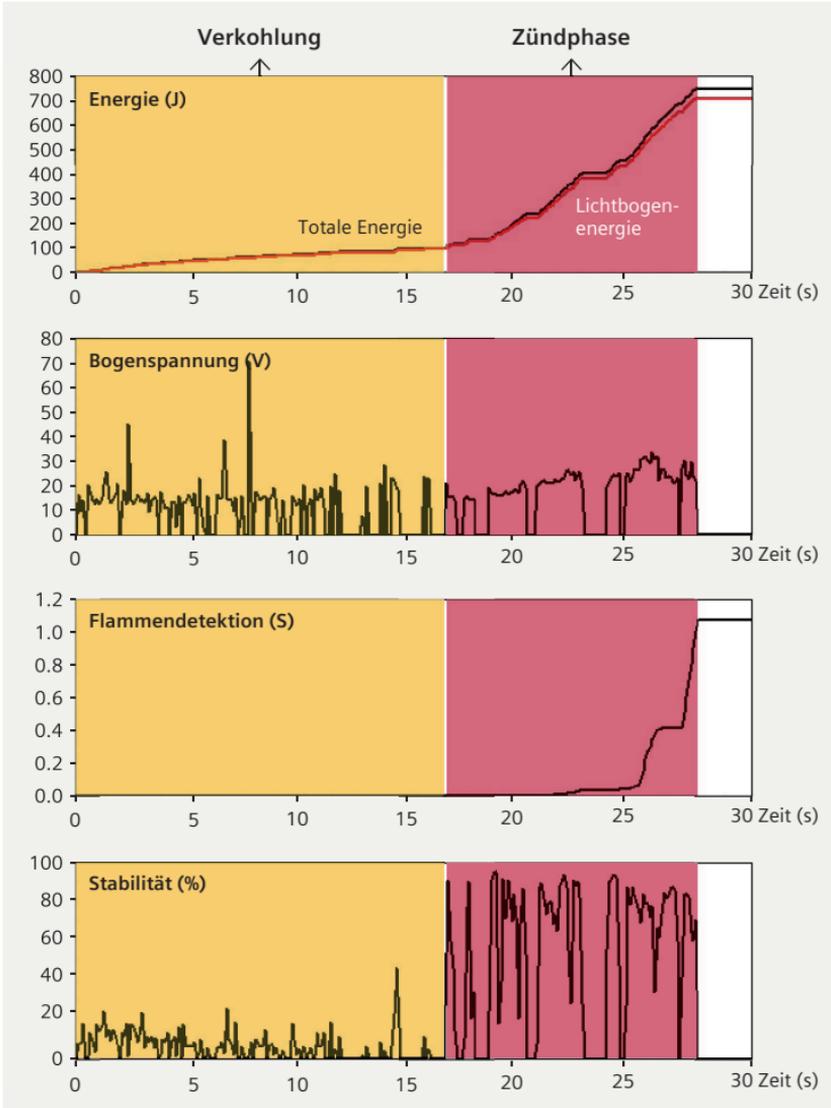


Bild 11: Entwicklung des Lichtbogens am Beispiel 5 A / 230 V

### 5.3 Fehlersituation über 10 A Lichtbogenstrom

In diesem Bereich ist die Leistung des Lichtbogens so groß, dass Flammen sehr schnell und ohne Verkohlung auftreten. Es zeigt sich, dass Lichtbögen mit hoher Leistung nicht für eine effektive Verkohlung der Fehlerstelle geeignet sind. Die Ursache dafür liegt am Verdampfen des verkohlten Materials, welches bereits entstanden ist und dadurch die Bildung eines brauchbaren Kohlenstoffpfads verhindert. Des Weiteren sind diese seriellen Lichtbögen mit hoher Leistung in der Lage, die beiden Kupferleiter wieder zusammen zu schweißen und so die Fehlerstelle zu „heilen“.

### 5.4 Einfluss des Laststroms auf Brandentstehung

Es wurden Untersuchungen bezüglich der Brandentstehung mit Lastströmen im Bereich von 1 A bis 32 A durchgeführt. Die nachstehenden Bilder zeigen jeweils Mittelwerte aus 100 Messungen.

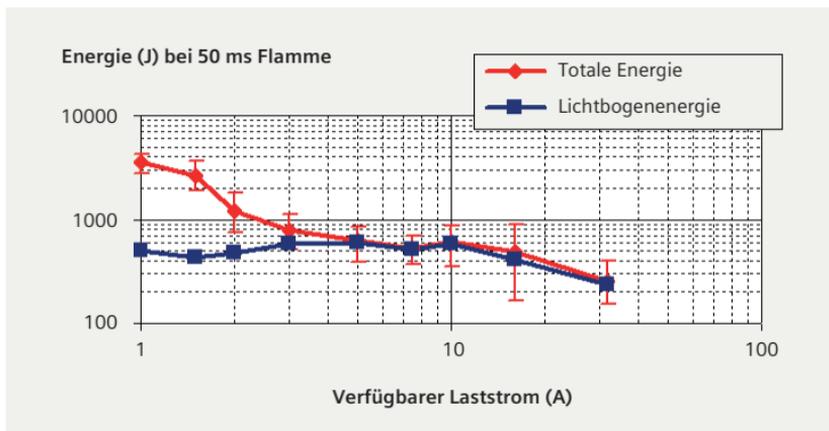


Bild 12: Energie bei der signifikanten Flamme in Abhängigkeit des Laststroms

### Flammenauftritt

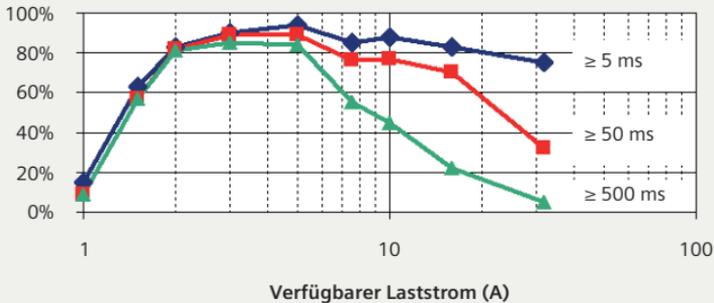


Bild 13: Auftritt der Flammen in Abhängigkeit des Laststroms

Im unteren Bereich (unter 3 A) ist die gesamte elektrische Energie, die an der Fehlerstelle hauptsächlich in Form von Hitze und Strahlung umgesetzt wird und für das Erscheinen der signifikanten Flamme aufgewendet werden muss, zwei- bis dreimal höher ist als die durch den Lichtbogen freigesetzte Energie. Diese Energiedifferenz wird durch Glühen verursacht. Unterhalb von 2 A hat selbst ein stabiler Lichtbogen kaum die nötige Leistung, um das Kabel zu entzünden, wodurch die Wahrscheinlichkeit einer Entzündung stark abnimmt.

Im mittleren Bereich (3 A bis 10 A) – die meisten im Haushalt üblichen Elektrogeräte fallen in diese Kategorie – ist die Wahrscheinlichkeit am größten, dass gefährliche Fehlerlichtbögen entstehen. Hier ist die Lichtbogenenergie fast genau so groß wie die gesamte elektrische Energie. Dies veranschaulicht die Dominanz des Lichtbogens gegenüber dem Glühen in diesem Bereich. Die Menge an Energie, die benötigt wird, um ein PVC-Kabel zu entzünden, ist scheinbar in diesem mittleren Strombereich vom Laststrom unabhängig und beträgt relativ konstant ca. 450 Joule. Das Auftreten von ersten und signifikanten Flammen liegt hier bei rund 80%.

Im oberen Bereich (über 10 A) ist die Leistung des Lichtbogens so groß, dass Flammen sehr schnell und ohne Verkohlungs auftreten. Deshalb entstehen signifikante und stabile Flammen immer seltener. Ein Grund dafür ist das Verdampfen des verkohlten Materials, so dass sich kein Kohlenstoffpfad bildet.

Die Wahrscheinlichkeit für stabile Flammen sinkt bis unter 5%. Auch die Stabilität von Lichtbögen sinkt bei höheren Lastströmen deutlich ab. Die niedrigere Lichtbogenstabilität reduziert die Leistung und lässt dadurch kaum zuverlässige Zündungen zustande kommen. Zudem können serielle Lichtbögen mit hoher Leistung die beiden Kupferteile unter Umständen wieder zusammenschmelzen und die Fehlerstelle „reparieren“. Auch wenn stabile Lichtbögen über 10 A selten sind, stellen die möglichen kurzen und heftigen Flammen eine ernsthafte Gefahr dar.

## 6. Fehlersituation mit parallelen Fehlerlichtbögen

### 6.1 Grundsätzliche Betrachtung

Im Gegensatz zu den seriellen Fehlerlichtbögen, für die es bisher kein Schutzgerät gibt, werden parallele Fehlerlichtbögen unter bestimmten Bedingungen von anderen Schutzgeräten wie Überstrom- und Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen erfasst (siehe Seite 16, Bild 6).

Bei der Abschaltung von parallelen Fehlerlichtbögen durch Überstrom-Schutzeinrichtungen sind die Anlagenbedingungen mit ihren Impedanzwerten zu beachten. Nachstehend wird untersucht, ob die Auslösebedingungen für die Überstrom-Schutzeinrichtungen (Leitungsschutzschalter und Sicherung) in allen Fällen ausreichen, um einen sicheren Brandschutz zu bieten.

Bild 14 zeigt den typischen Strom- und Spannungsverlauf eines parallelen Fehlerlichtbogens. Es zeigt sich, dass im Stromverlauf neben einem stabilen Lichtbogen durchaus lange Lücken ohne Stromfluss entstehen können, da nach dem Stromnulldurchgang der Lichtbogen nicht in allen Fällen erneut zündet. Dadurch kann das Auslösen der Überstrom-Schutzeinrichtung über den thermischen Schutz nicht sichergestellt werden. Auf Grund einer hohen Bogenspannung in Verbindung mit einer hohen Netzimpedanz kann der Scheitelwert des Stroms durchaus auch unterhalb des magnetischen Auslösestroms des Leitungsschutzschalters liegen.

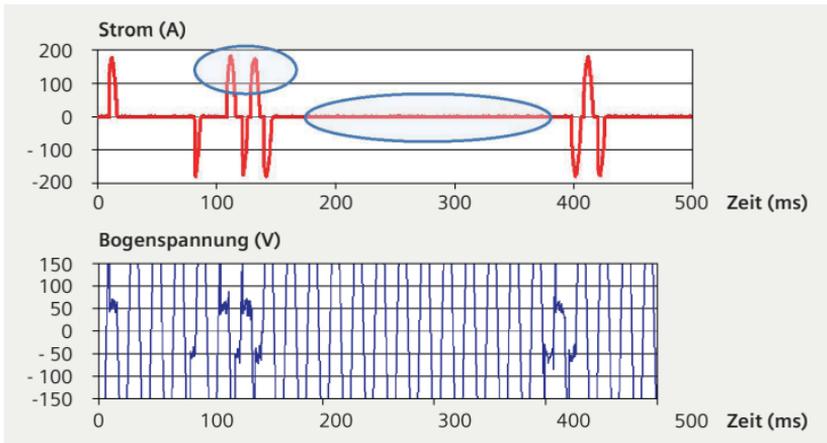


Bild 14: Strom- und Spannungsverlauf bei einem parallelen Fehlerlichtbogen

Bei den in diesen Fällen durchaus hohen Lichtbogenströmen, die auch über 100 A liegen können und Bogenspannungen im Bereich von 60 V ergeben sich Lichtbogenleistungen von mehreren kW (beispielsweise mit 100 A und 60 V wären dies 6 kW). Daraus resultieren hohe Leistungsdichten an der Schadstelle, die zu einer raschen Entzündung des Isolationswerkstoffs und damit zum Brand führen können, wenn die Abschaltung nicht innerhalb von Sekundenbruchteilen erfolgt.

### 6.2 Abschaltverhalten von Überstrom-Schutzeinrichtungen

Aus Messungen von prospektiven Kurzschlussströmen an Steckdosen in Bürogebäuden und Wohnungen ist bekannt, dass die Mehrheit der Stromwerte zwischen 150 A und 500 A liegt. Damit ist in den meisten Fällen die magnetische Schnellauslösung des Leitungsschutzschalters B16 gegeben (innerhalb 100 ms).

Tritt der Fehler nicht an der Steckdose, sondern innerhalb der Zuleitung zur Steckdose auf, verbessert sich die Situation auf Grund der dann niedrigeren Impedanz und dem dadurch höheren Kurzschlussstrom. Andererseits steigt die Impedanz bei Fehlern in einer Verlängerungsleitung an und der Kurzschlussstrom wird dadurch deutlich reduziert. Der Leitungsschutzschalter kann den gewünschten Schutz dann nicht mehr bieten.

In allen Fällen kann auch eine hohe Bogenspannung zur Reduzierung des Kurzschlussstroms führen und eine magnetische Schnellauslösung verhindern. Auch bei Sicherungen können die Abschaltzeiten unter kritischen Bedingungen für einen Brandschutz zu lange sein.

Grundsätzlich können Überstrom-Schutzeinrichtungen nur wirken, wenn die Stromflusszeit bei einer bestimmten Stromhöhe über der Auslösekennlinie der jeweiligen Überstrom-Schutzeinrichtung liegt.

Bild 15 zeigt die Auslösekennlinien von Leitungsschutzschaltern in den Charakteristiken B, C und D, sowie die Auslösekennlinie des Brandschutzschalters 5SM6 (AFD unit). Die Auslösezeiten von Brandschutzschaltern bieten im Bereich paralleler Fehlerlichtbögen in einigen Übergangsbereichen einen ergänzenden und verbesserten Schutz. Wie bereits erläutert schützen im Bereich serieller Fehlerlichtbögen ausschließlich Brandschutzschalter. Leitungsschutzschalter sind in diesen Fällen nicht geeignet.

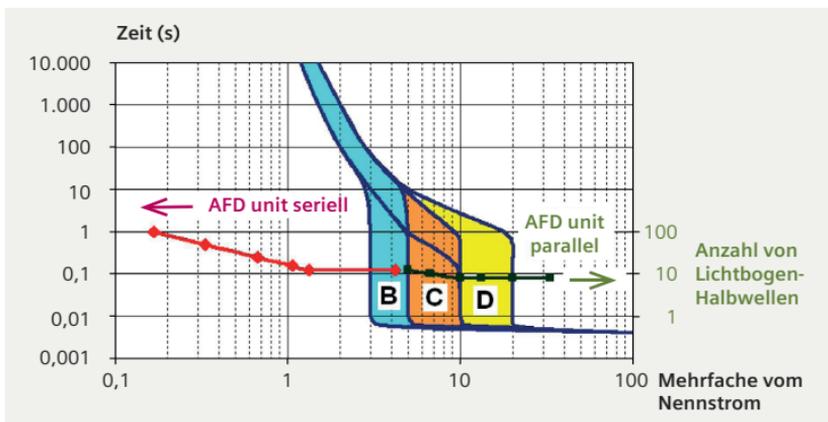


Bild 15: Schutz durch Leitungsschutzschalter

Bild 16 zeigt die Auslösekennlinien einer Sicherung gL sowie die Auslösekennlinie des Brandschutzschalters 5SM6 (AFD units). Auch hier zeigt sich, dass die Auslösezeiten von Brandschutzschaltern im Übergangsbereich bei parallelen Fehlerlichtbögen einen ergänzenden und verbesserten Schutz bieten. Aus diesem Grund schützt nur der Brandschutzschalter umfassend vor seriellen Fehlerlichtbögen.

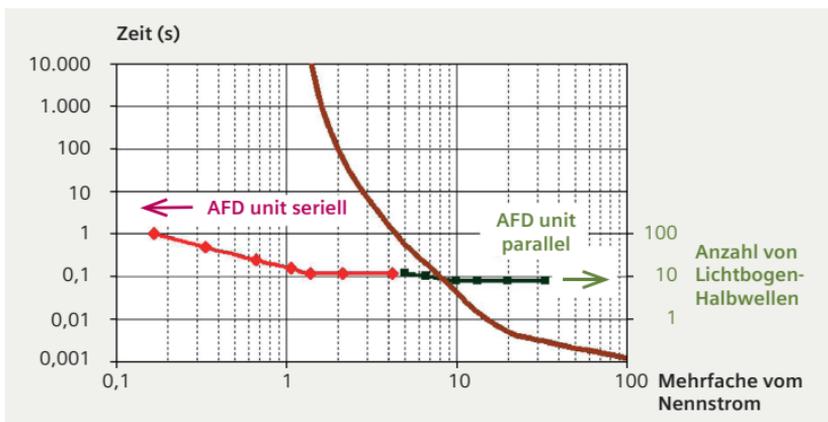


Bild 16: Schutz durch Sicherung

### 6.3 Bewertung

Die Bilder 15 und 16 zeigen, dass bei parallelen Fehlerlichtbögen in den meisten Fällen vorgelagerte Überstrom-Schutzeinrichtungen einen ausreichenden Schutz bieten werden. Trotzdem können die Brandschutzschalter in Übergangsbereichen unter besonderen Fehlerkonstellationen den Schutz vervollständigen.

Der primäre Nutzen des Brandschutzschalters liegt beim Schutz vor seriellen Fehlerlichtbögen. Hier sind die Ansprechzeiten von Leitungsschutzschaltern und Sicherungen, deren Hauptaufgabe der Leitungsschutz ist, so hoch, dass sie keinen Brandschutz leisten können.

## 7. Erkennung der Fehlerlichtbögen

### 7.1 Prinzipieller Aufbau des Brandschutzschalters 5SM6

Bild 17 zeigt den prinzipiellen Aufbau des Brandschutzschalters 5SM6. Zur Erfassung werden alle aktiven Leiter – hier der Außenleiter und der Neutralleiter – durch das Gerät geführt und geschaltet. Der Außenleiter wird durch zwei getrennte Sensoren geführt, wobei ein Stromsensor zur Erfassung der niederfrequenten (netzfrequenten) Signale und ein HF-Sensor zur Erfassung der hochfrequenten Signale dient. Eine Analogelektronik nimmt die Vorbereitung der Signale vor, die dann im Mikrocontroller verarbeitet werden.

Die HF-Leistung des Stroms wird im MHz-Bereich abgetastet und im Folgenden als RSSI (engl.: Received Signal Strength Indication) bezeichnet und repräsentiert die Leistung des Lichtbogens bei einer definierten Frequenz und Bandbreite. Wenn der Mikrocontroller die Kriterien für einen Fehlerlichtbogen als erfüllt erkannt hat, wird das Auslösesignal erzeugt und über einen Arbeitsstromauslöser der Schaltmechanismus angesteuert. Im Fall des Brandschutzschalters 5SM6 wird ein mechanisches Koppelglied, welches auf die Mechanik des angebauten LS- oder FI/LS-Schalters wirkt, betätigt. Es löst den angebauten Schutzschalter mit seinen Kontakten aus und trennt das Netz vom fehlerhaften Anlagenteil.

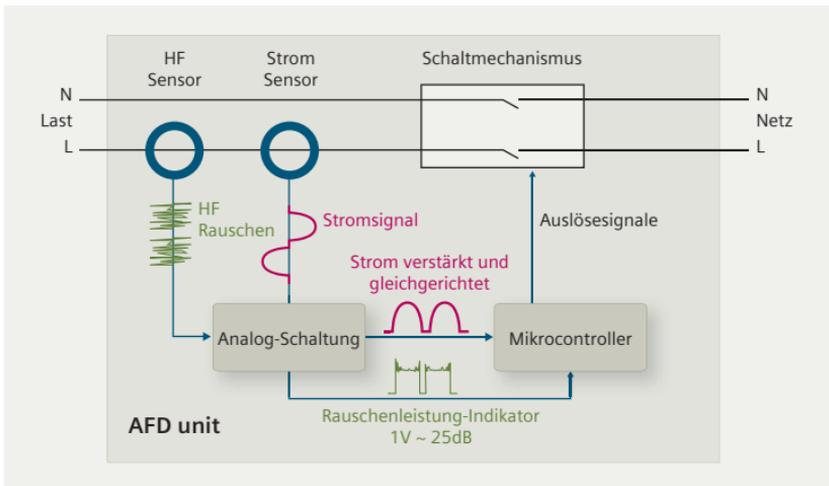


Bild 17: Prinzipieller Aufbau Brandschutzschalter 5SM6

## 7.2 Erfassung serieller Fehlerlichtbögen

Die Detektion von seriellen Fehlerlichtbögen beansprucht ca. 80% des gesamten Rechenaufwands des Mikrocontrollers. Die restlichen 20% werden für die Erfassung paralleler Lichtbögen benötigt.

Die Erkennung serieller Fehlerlichtbögen (siehe Bild 18) erfolgt über die Untersuchung des RSSI auf steile Flanken. Von der Ableitung  $dRSSI/dt$  wird ein Referenzsignal berechnet, das von  $|dRSSI/dt|$  „aufgeladen“ wird, wenn sich die Flanke im Bereich des Nulldurchgangs des Stroms  $I$  befindet. Damit ein Signal vom System als Lichtbogen interpretiert wird und folglich der Fehler-Integrator ansteigt, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein:

- Referenzsignal > Grenzwert  $G_4$  und
- RSSI erreicht mindestens die Schwelle  $G_2$

Sobald der Fehler-Integrator den Grenzwert  $G_5$  überschreitet, sendet der Mikrocontroller den Auslösebefehl an die Schaltungsvorrichtung.

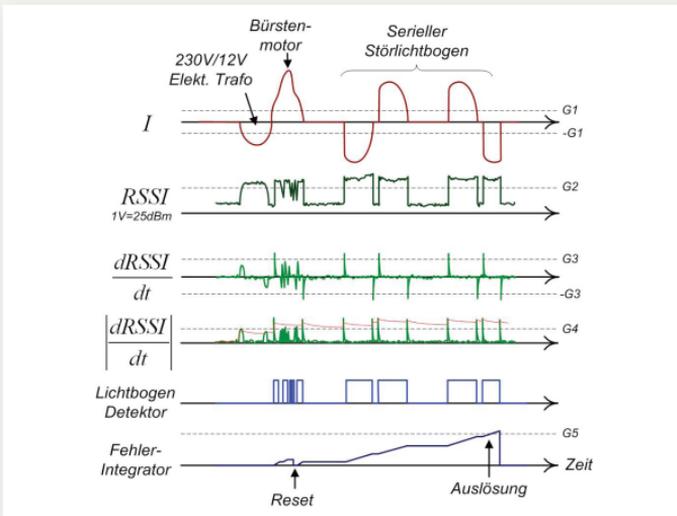


Bild 18: Signalverarbeitung zur Bewertung serieller Fehlerlichtbögen

Um unerwünschte Abschaltungen zu vermeiden, muss eine Unterscheidung zwischen Fehlerlichtbögen und Signalen von Verbrauchern, die im regulären Betrieb eine hohe Leistung an HF-Rauschen erzeugen, z. B. Bürstenmotoren oder elektronische Transformatoren, getroffen werden. Dies erfolgt dadurch, dass bestimmte „lichtbogen-untypische“ Ereignisse den Fehler-Integrator sofort auf Null zurücksetzen (Reset). Ein Merkmal für solch ein Ereignis ist z. B., dass RSSI Unterbrechungen im Signalverlauf aufweist.

### 7.3 Erfassung paralleler Fehlerlichtbögen

Aufgrund der unterschiedlichen Charakteristiken von seriellen und parallelen Fehlerlichtbögen werden diese auch auf unterschiedliche Weise analysiert. Eine Übersicht der Signalverarbeitung ist in Bild 19 dargestellt.

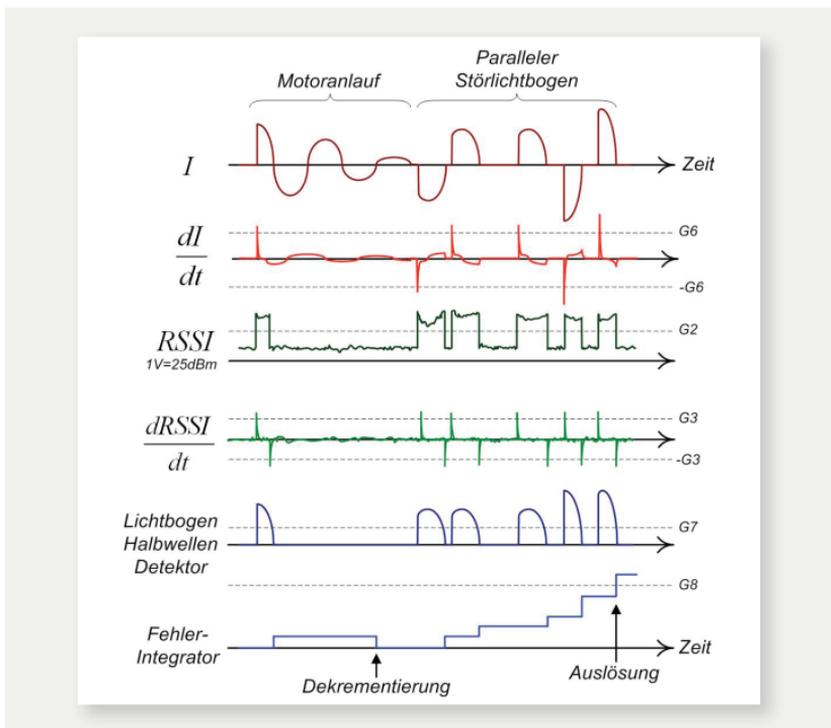


Bild 19: Signalverarbeitung zur Bewertung paralleler Fehlerlichtbögen

Dass der Rechenaufwand des Mikrocontrollers für die Erkennung von parallelen Fehlerlichtbögen im Vergleich zum gesamten Algorithmus relativ gering ist, liegt nicht daran, dass parallele Fehlerlichtbögen mit weniger Aufwand zu detektieren sind als serielle Fehlerlichtbögen. Der Grund ist vielmehr, dass einige Signalgrößen, die zur Detektion serieller Lichtbögen berechnet werden, auch für parallele Fehlerlichtbögen verwendet werden können.

Der Algorithmus für parallele Fehlerlichtbögen berechnet neben  $dRSSI/dt$  zusätzlich die Ableitung des Stroms  $dI/dt$ . Nur wenn der Betrag von  $dI/dt$  den Schwellwert  $G6$  überschreitet, ist die Funktion zur Parallel-Lichtbogen-Erkennung aktiv. Wenn zudem noch  $RSSI > \text{Grenze } G2$  ist, wird die Stromhalbwelle als Lichtbogenstrom interpretiert und der Fehler-Integrator wird um einen zum Lichtbogenstrom proportionalen Wert erhöht. Tritt für längere Zeit keine Lichtbogenstromhalbwelle mehr auf, wird der Fehler-Integrator folglich wieder dekrementiert.

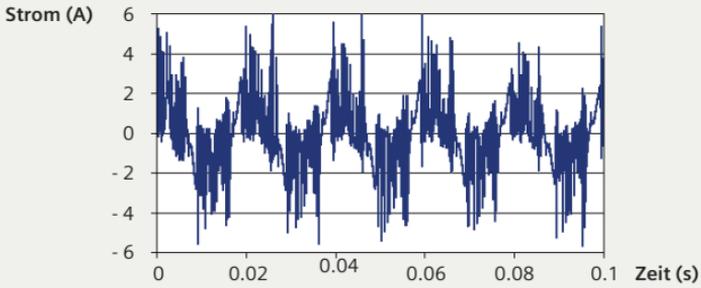
Folgen ausreichend viele Lichtbogenhalbwellen in einem bestimmten Zeitfenster aufeinander, erreicht der Fehler-Integrator die Schwelle  $G8$  und der Mikrocontroller sendet über das mechanische Koppelglied den Auslösebefehl an die angebaute Schaltungsvorrichtung (Leitungsschutzschalter oder FI/LS-Schalter).

### 7.4 Vermeidung unerwünschter Auslösungen

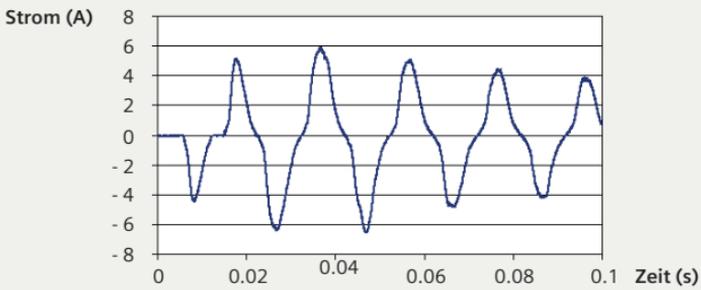
Neben einem zuverlässigen Schutz vor elektrisch gezündeten Bränden, ist es für die Akzeptanz eines Schutzgeräts unerlässlich, nur bei wirklichen Fehlern auszulösen. Dies bedeutet für den Brandschutzschalter, dass zuverlässig zwischen Fehlerlichtbögen, bei denen Abschaltung innerhalb definierter Grenzen gefordert ist und Betriebslichtbögen von elektrischen Verbrauchern, bei denen keine Abschaltung erfolgen darf, unterschieden werden muss.

Die Beispiele im Bild 20 zeigen einige elektrische Verbraucher mit hochfrequenten Anteilen im Strom, die insbesondere beim Bürstenfeuer einer Bohrmaschine sehr nahe an den Signalen eines Fehlerlichtbogens liegen.

### Netzteil



### Bohrmaschine



### Lichtdimmer

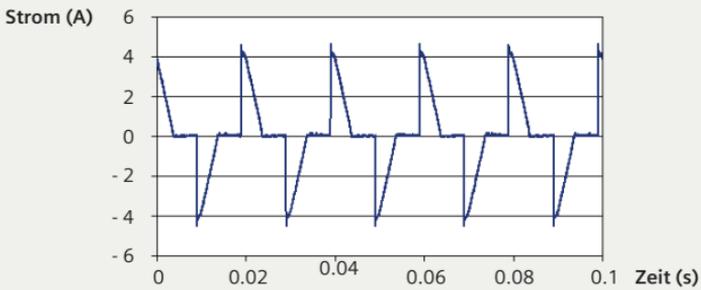


Bild 20: Beispiele für elektrische Verbraucher mit hochfrequenten Signalen

Weitere betriebsmäßige Störquellen sind z. B.

- Einschaltströme von Leuchtstofflampen
- Lichtbögen durch Thermostat-Kontakte, Lichtschalter, Gerätestecker

Bei all diesen betriebsmäßig erzeugten Signalen, aber auch bei Fehlerlichtbögen in einem benachbarten Stromkreis soll keine Auslösung des Brandschutzschalters erfolgen.

Um die Entscheidung, ob eine Abschaltung auf Grund eines Fehlerlichtbogens notwendig ist, zuverlässig zu treffen, werden eine Reihe von Einflussfaktoren berücksichtigt und mit bekannten Störsignalen verglichen (siehe Bild 21).

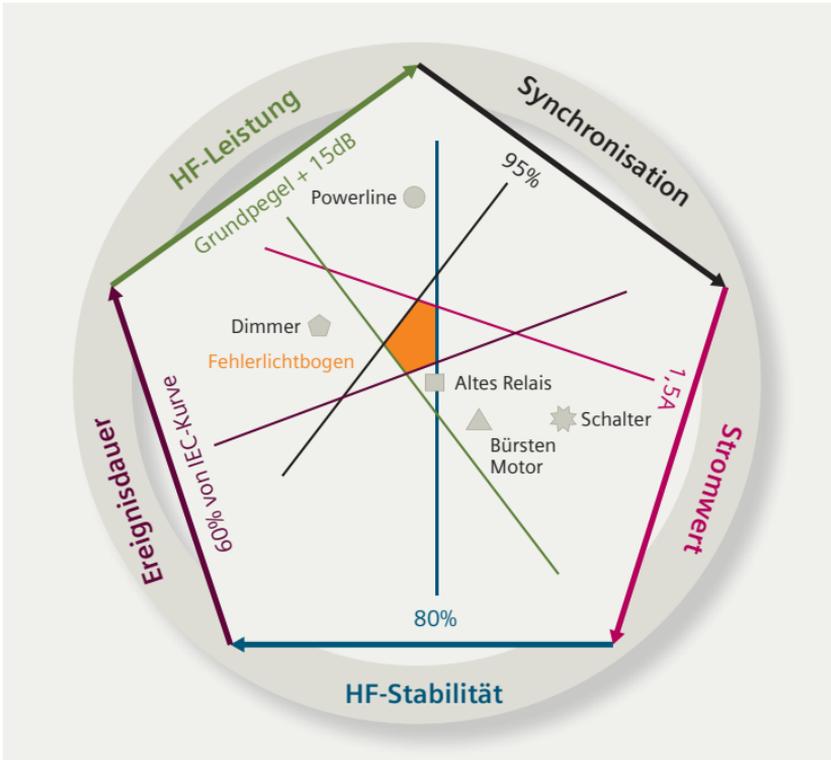


Bild 21: Einflussfaktoren zur Erkennung eines Fehlerlichtbogens

Ergibt die Auswertung der in Bild 21 genannten Einflussfaktoren im Mikrocontroller, dass das Signal nicht in das rote Feld „Fehlerlichtbogen“ fällt, wird die Entscheidung getroffen nicht abzuschalten. Es handelt sich dann um einen betriebsmäßigen Zustand eines elektrischen Verbrauchers.

Um die Zuverlässigkeit gegen unerwünschte Auslösungen zu erhöhen wurde auch das vorhandene Hochfrequenz-Grundrauschen in Installationsanlagen berücksichtigt. Um eine hohe Störfestigkeit zu erzielen erfolgt die Abtastung im MHz-Bereich, der einen optimalen Abstand zwischen dem Lichtbogenrauschen und dem Anlagen-Grundrauschen aufweist.

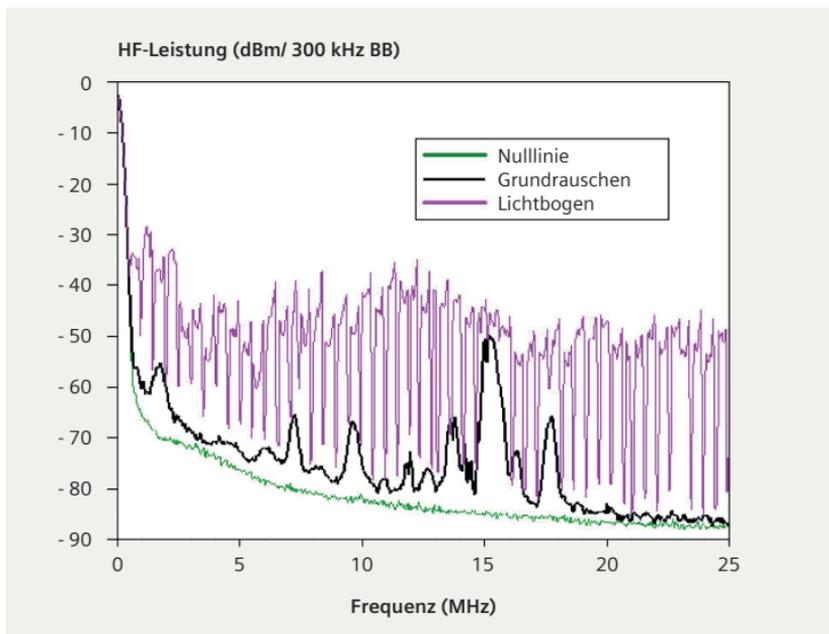


Bild 22: Hochfrequenzrauschen: Grundrauschen und Lichtbogen

Die beschriebenen Auswerteparameter und -kriterien basieren, neben den Erfahrungen mit dem AFCl in den USA, auf umfangreichen Laboruntersuchungen und Simulationen. In umfangreichen Feldversuchen wurde die Praxistauglichkeit bestätigt.

## 8. Normen und Anforderungen an Brandschutzschalter

### 8.1 Allgemeine Grundsätze

In der Norm DIN VDE 0100-100 sind Anwendungsbereich, Zweck und Grundsätze für das Errichten von Niederspannungsanlagen festgelegt. Darin wird im Abschnitt 131.3 „Schutz gegen thermische Auswirkungen“ gefordert, dass die elektrische Anlage so angeordnet sein muss, „dass von ihr keine Gefahr der Entzündung brennbaren Materials infolge hoher Temperatur oder eines Lichtbogens ausgeht.“

Hieraus lässt sich also ableiten, dass vor Gefahren geschützt werden muss, die durch Lichtbögen entstehen können. Bisher gab es für Stromkreise in Niederspannungsinstallationen kein geeignetes Schutzgerät. Dies hat sich durch den Brandschutzschalter geändert.

### 8.2 Produktnorm

Für Brandschutzschalter wurde die Produktnorm DIN EN 62606 (VDE 0665-10) erarbeitet. Der Brandschutzschalter 5SM6 ist nach dieser Norm entwickelt. In der Norm werden die üblichen Anforderungen und Prüfungen ähnlich wie für andere Schutzgeräte (Fehlerstrom- oder Leitungsschutzschalter) wie z. B. Schaltvermögen, Lebensdauer, Erwärmung und EMV beschrieben.

Um das Auslösen bei seriellen und parallelen Fehlerlichtbögen zu prüfen, werden spezielle Testvorrichtungen beschrieben. Unter den definierten Bedingungen werden dann auch die geforderten Abschaltzeiten geprüft.

Die Abschaltzeiten für kleine Lichtbogenströme (typisch für Lichtbögen) sind in Abhängigkeit der Höhe des Fehlerlichtbogenstromes definiert (siehe Tabelle 1)

Prüflichtbogenstrom	2,5 A	5 A	10 A	16 A	32 A
Maximale Abschaltzeit	1 s	0,5 s	0,25 s	0,15 s	0,12 s

Tabelle 1: Abschaltzeiten für serielle Fehlerlichtbögen

Die Auslösekennlinie des Brandschutzschalters für serielle Fehlerlichtbögen liegt bei den Werten von 2,5 A bis 32 A weit unterhalb der thermischen Auslösekennlinien von Leitungsschutzschaltern und Sicherungen (siehe Bilder 15 und 16). Durch diese niedrigen Ansprechwerte und kurzen Abschaltzeiten wird der Brandschutz realisiert.

Die Auslösekennlinie von parallelen und seriellen Fehlerlichtbögen sind in diesem Strombereich identisch.

Prüflichtbogenstrom	75 A	100 A	150 A	200 A	300 A	500 A
Maximale Anzahl von Halbwellen	12	10	8	8	8	8

Tabelle 2: Abschaltzeiten für parallele Fehlerlichtbögen

Bei hohen Lichtbogenströmen wurde als Auslösebedingung keine feste Auslösezeit, sondern eine Anzahl von Lichtbogen-Halbwellen definiert, die innerhalb von 0,5 s auftreten dürfen. Der Grund hierfür ist das oft sporadische Auftreten und instabile Verhalten des parallelen Fehlerlichtbogens bei hohen Strömen.

Wie in Kapitel 6.2 erläutert, können ab bestimmten Stromhöhen auch Sicherungen und Leitungsschutzschalter einen Schutz bei parallelen Fehlerlichtbögen bieten, wenn deren Abschaltbedingungen erfüllt sind.

Ergänzend wird die Überprüfung der korrekten Funktion durch spezielle Prüfungen des Auslöseverhaltens bei vorhandenem Fehlerlichtbogen und bei gleichzeitigem Betrieb von unterschiedlichen Betriebsmitteln durchgeführt. Bei Betrieb dieser Betriebsmittel darf aber andererseits keine Abschaltung erfolgen, solange kein Fehlerlichtbogen vorliegt.

## 8.3 Errichtungsbestimmungen

Insbesondere für Anlagen in denen eine erhöhte Brandgefahr besteht, sich Feuer leicht verbreiten kann, eine erhöhte Gefährdung für Personen besteht oder wertvolle Güter geschützt werden sollen, wurde die Notwendigkeit für den Einsatz von Brandschutzschaltern in der Normung erkannt. Deshalb wird in der neuen DIN VDE 0100-420/A1:2016.02 „Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-42: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen thermische Auswirkungen“ der Einsatz von Brandschutzschaltern (AFD units) empfohlen und für bestimmte Bereich mit erhöhter Brandgefahr sogar zur Pflicht (siehe Tabelle 3 und Tabelle 4).

Der Einbau des Brandschutzschalters muss dabei am Anfang des zu schützenden Stromkreises erfolgen. Dies wird künftig, nach Übernahme des entsprechenden europäischen Harmonisierungsdokuments (HD 60364-5-53), auch in DIN VDE 0100-530 „Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 530: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Schalt- und Steuergeräte“ für zu schützende ein- oder zweiphasige Wechselstrom-Endstromkreise bis 240 V gefordert.

Tabelle 3 zeigt Einsatzorte für die der Einbau von Brandschutzschaltern in einphasigen Endstromkreisen mit Betriebsstrom bis 16 A **verpflichtend gefordert** wird.

Vorgeschriebener Einsatz für	Beispiele
Schlaf- und Aufenthaltsräume von Heimen und Tageseinrichtungen für Kinder, behinderte und alte Menschen	Kindertagesstätten, Seniorenheime
Schlaf- und Aufenthaltsräume in barrierefreien Wohnungen nach DIN 18040-2	Barrierefreie Schlaf- und Aufenthaltsräume
Räume oder Orte mit Brandrisiko durch verarbeitete oder gelagerte Materialien	Scheunen, Betriebe für Holzbearbeitung, Papierfabriken
Räume oder Orte mit brennbaren Baustoffen	Holzhäuser
Räume oder Orte mit Gefährdungen für unersetzbare Güter	Nationaldenkmäler, Museen, öffentliche Gebäude, Bahnhöfe, Flughäfen, Labortorien, Rechenzentren

Tabelle 3: Einsatzbereiche in denen Brandschutzschalter in Deutschland vorgeschrieben sind

Tabelle 4 zeigt Einsatzbereiche für die der Einsatz von Brandschutzschaltern in inphasigen Endstromkreisen mit Betriebsstrom bis 16 A **empfohlen** wird.

Empfohlener Einsatz für	Beispiele
Schlafräume	Kinder-, Schlaf-, Hotelzimmer
Räume oder Orte mit Feuer verbreitenden Strukturen	Kamineffekt in Hochhäusern
Endstromkreise, die über Steckdosen Verbrauchsgeräte mit hoher Anschlussleistung versorgen	Waschmaschine, Trockner, Geschirrspüler

Tabelle 4: Einsatzbereiche in denen Brandschutzschalter in Deutschland empfohlen werden

Die Brandschutzschalter müssen dabei der Produktnorm DIN EN 62606 (VDE 0665-10) entsprechen.

Die Neufassung von DIN VDE 0100-420:2016-02 mit integrierter Ergänzung A1 gilt ab 01.02.2016 und ist für die sofortige Anwendung bei neuen elektrischen Anlagen, sowie bei Änderungen oder Erweiterungen vorhandener elektrischer Anlagen, vorgesehen. Mögliche Unsicherheiten für Planer und Errichter einer elektrischen Anlage können vermieden werden, wenn diese neue Norm sofort angewendet wird.

Für bereits vor dem 01.02.2016 in Planung oder in Bau befindliche elektrische Anlagen gilt eine Übergangsfrist bis zum 18.12.2017. Für elektrische Anlagen, die nach diesem Zeitpunkt in Betrieb genommen werden, gelten ausschließlich die Bestimmungen dieser DIN VDE 0100-420:2016-02.

In den internationalen (IEC 60364-4-42:2010+A1:2014) und europäischen Errichtungsbestimmungen (HD 60364-4-42:2011+A1:2015) wird der Einsatz von Brandschutzschaltern ausschließlich für die in Tabelle 5 genannten Bereiche empfohlen.

Empfohlener Einsatz für	Beispiele
Schlafräume	Kinder-, Schlaf-, Hotelzimmer
Räume oder Orte mit Feuer verbreitenden Strukturen	Kamineffekt in Hochhäusern
Räume oder Orte mit Brandrisiko durch verarbeitete oder gelagerte Materialien	Scheunen, Betriebe für Holzbearbeitung, Papierfabriken
Räume oder Orte mit brennbaren Baustoffen	Holzhäuser
Räume oder Orte mit Gefährdungen für unersetzbare Güter	Nationaldenkmäler, Museen, öffentliche Gebäude, Bahnhöfe, Flughäfen, Labortorien, Rechenzentren

Tabelle 5: Einsatzbereiche in denen Brandschutzschalter in Europa und IEC-Bereich empfohlen wird

## 9. Produktbeschreibung des Brandschutzschalters 5SM6

### 9.1 Produktausführungen

Der Brandschutzschalter 5SM6 wird in vier Gerätevarianten für zwei Anbaubreiten angeboten. Die Bemessungsspannung beträgt 230 V und der Bemessungsstrom 16 A und 40 A. Der Brandschutzschalter 5SM6 ist ein AFD-Block (5SM6 AFD unit), an den eine weitere Schutzeinrichtung wie ein LS-Schalter oder ein FI/LS-Schalter, angebaut werden muss. Diese Gerätekombination bildet dann das Schutzgerät AFD unit.

- **5SM6011-1 (I<sub>n</sub> bis 16 A), 5SM6 014-2 (I<sub>n</sub> bis 40 A)**  
Diese Brandschutzschalter sind für den Anbau eines kompakten Leitungsschutzschalter (1+N in 1 Teilungseinheit) 5SY60 oder 5SY30 vorgesehen.

#### Vorteil

**Kompakte Bauweise** in Gesamtbaubreite 2 TE bietet Vorteile bei der Nachrüstung



Bild 23: Brandschutzschalter 5SM6011-1 mit und ohne angebaute Leitungsschutzschalter 5SY60

- **5SM6021-1 ( $I_n$  bis 16 A), 5SM6 024-2 ( $I_n$  bis 40 A)**  
Diese Brandschutzschalter sind für den Anbau eines Leitungsschutzschalters (1+N in 2 Teilungseinheiten) der Baureihen 5SY und 5SL4 oder eines FI/LS-Schalters (1+N in 2 Teilungseinheiten) 5SU1 vorgesehen.

## Vorteil

Die Lösung mit FI/LS-Schalter bietet den **Komplettschutz** bestehend aus Überlast-, Kurzschluss-, Fehlerstrom- und Brandschutz und gewährleistet höchste Anlagenvfügbarkeit



Bild 24: Brandschutzschalter 5SM6021-1 mit und ohne angebaumtem FI/LS-Schalter 5SU1

## 9.2 Allgemeine Eigenschaften

### a) Zusammenbau

Der Brandschutzschalter 5SM6 kann einfach, zeitsparend und werkzeuglos mit der gewünschten Ausführung eines LS-Schalters oder FI/LS-Schalters vor Ort komplettiert und auf eine Hutschiene montiert werden. Es lassen sich die verschiedensten Ausführungen mit Bemessungsströmen bis 40 A, unterschiedlicher Überstromcharakteristik oder Schaltvermögen anbauen. Dies vereinfacht deutlich die Lagerhaltung. Sämtliche Applikationen sind realisierbar.

### b) Auslösung

Der Brandschutzschalter beinhaltet die Erfassung und Auswertung des Fehlerlichtbogens. Die Auslösung erfolgt über ein Arbeitstrom-Relais, das mechanisch über einen Koppelmechanismus den angebauten LS-Schalter oder FI/LS-Schalter auslöst. Dieser unterbricht den Stromkreis.

### c) Einspeisung

Die Einspeisung der Geräte erfolgt wie gewohnt von unten. Eine schnelle und sichere Stromversorgung kann zum Beispiel durch die Einspeisung über einen Sammelschienenverbund erreicht werden.

### d) Zusatzkomponenten

An den Brandschutzschalter 5SM6 lassen sich die bekannten Zusatzkomponenten der Schutz und Schaltgeräte ankoppeln wie beispielsweise Hilfsstrom- oder Fehlersignalschalter. Dadurch ist die Anbindung an ein übergeordnetes Leitsystem möglich und das Auslösen des Schalters kann an eine zentrale Warte gemeldet werden.

## 9.3 Besondere Eigenschaften

### a) Regelmäßiger Funktionselbsttest

Der Brandschutzschalter 5SM6 verfügt über einen internen Selbsttest, welcher in der Produktnorm gefordert wurde (schematische Darstellung siehe Bild 25).

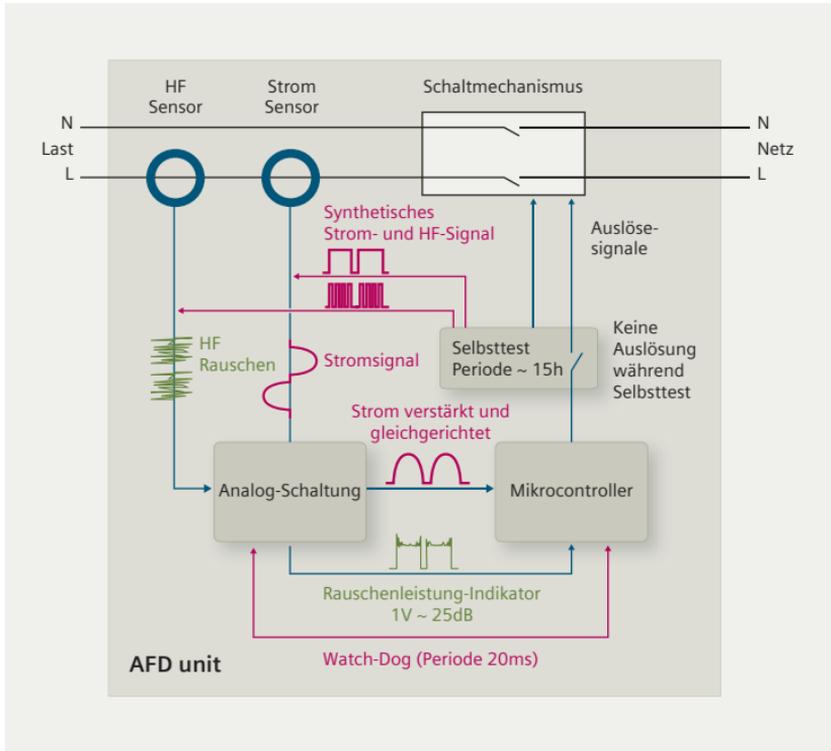


Bild 25: Schematische Darstellung des internen Selbsttests

Dieser Selbsttest wird alle 15 Stunden automatisch initiiert um die Analog-Elektronik und die Detektion-Algorithmen zu testen. Hierbei werden von der Software im Mikrocontroller synthetische HF- und Stromsignale generiert, die den Signalen eines Fehlerlichtbogens ähnlich sind. Diese werden hinter den Sensoren in den Erfassungspfad des System eingespeist und von Analog-Schaltung und Mikrocontroller ausgewertet. Daher muss nun auch der Auslösebefehl vom Mikro-

controller zwingend erzeugt werden. Während des Selbsttests wird für kurze Zeit (ms) der Auslösebefehl zum Auslöserelais unterbunden um eine reale Auslösung zu verhindern. Nach positivem Abschluss des Tests wird der Auslösepfad wieder freigegeben. Bei negativem Ergebnis des Tests erfolgt sofort die Auslösung des Geräts. Falls jedoch schon erste Anzeichen eines realen Fehlerlichtbogens erkennbar sind, oder falls ein überdurchschnittlich hoher Stromverbrauch im jeweiligen Endstromkreis vorliegt, wird der Selbsttest auf einen späteren Zeitpunkt verschoben. Zur Vervollständigung des Test-Konzepts wurde noch ein externer Watch-Dog implementiert, der alle 20 ms den Ablauf des Programms und die Integrität der Firmware überprüft.

#### **b) Manuell initiiertes Funktionstest**

Durch Betätigen der Test-/ Reset-Taste des Brandschutzschalters 5SM6 im normalen Betriebszustand (Leuchtanzeige in „rot“) kann zu jedem Zeitpunkt ein Funktionstest des Geräts durchgeführt werden. Der Brandschutzschalter mit dem angebauten LS-Schalter oder FI/LS-Schalter muss in AUS-Position gehen. Nach dem Einschalten muss die Leuchtanzeige wieder dauerhaft „rot“ leuchten.

#### **c) Reset-Taste**

Nach einem Auslösen und Wiedereinschalten des Brandschutzschalters zeigt die Leuchtanzeige der Test-/ Reset-Taste die Auslöseursache an. Durch Drücken der Test-/ Reset-Taste kann diese Anzeige zurückgesetzt werden.

#### *Anmerkung:*

Ein fehlgeschlagener regelmäßiger Funktionsselbsttest (Anzeige blinkt gelb – rot) kann nicht zurückgesetzt werden.

#### **d) Überspannungsschutz**

Treten auf Grund von Anlagenfehlern, z. B. Neutralleiterunterbrechung, Spannungserhöhungen zwischen Außenleiter und Neutralleiter auf, schaltet der Brandschutzschalter bei Spannungen über 275 V ab. Dadurch werden die angeschlossenen Verbraucher vor möglichen Überspannungsschäden geschützt.

#### **e) Betriebszustandsanzeige**

Über die auf der Frontseite liegende Leuchtdiode der Test-/ Reset-Taste wird der Betriebszustand des Gerätes angezeigt. Dadurch erhält der Anwender eine einfache und eindeutige Information über den Grund einer Auslösung (siehe Bild 26, Seite 48).

Fehleranzeige Brandschutzschalter 5SM6	
	Gerät funktionsbereit
	Serieller oder paralleler Fehlerlichtbogen erkannt
	Überspannung (>275 V)
	Selbsttest fehlgeschlagen
<input data-bbox="171 763 200 791" type="checkbox"/>	Keine Versorgungsspannung

Bild 26: Meldungen der Betriebszustandsanzeige

In allen Fällen, in denen die Anzeige des Brandschutzschalters keine Funktionsbereitschaft signalisiert wird empfohlen eine Elektrofachkraft zu informieren, die eine nähere Untersuchung zur Ursache der jeweiligen Meldung durchführen kann.

In Kapitel 10.2 werden detaillierte Hinweise für eine erste Fehleranalyse gegeben.

## 10. Ratgeber

### 10.1 Installation des Brandschutzschalters

Die Brandschutzschalter 5SM6 sind zum Schutz von Endstromkreisen, insbesondere für Licht und Steckdosen, vorgesehen. Um den gesamten Stromkreis zu schützen wird er am Beginn des Stromkreises (im Unterverteiler) eingebaut. Sinnvoll ist die direkte Zuordnung des Geräts zu einem einzelnen Endstromkreis.

#### **Daraus lassen sich die nachfolgenden Vorteile nutzen:**

- Die Anzahl fehlerhafter Verbraucher und Leitungsstücke ist eingegrenzt
- Die Ermittlung der Schadstelle wird vereinfacht
- Unerwünschte Auslösungen auf Grund von überlagerten Störeinflüssen sind reduziert

### 10.2 Vorgehen nach Auslösung des Brandschutzschalters

Wie unter 10.1 erläutert, bietet eine klare Zuordnung zu einzelnen Endstromkreisen Vorteile bei der Ermittlung eines Fehlerorts, da hier eine erste Eingrenzung möglich wird. Ausgehend von der Meldung der Betriebszustandsanzeige empfiehlt sich folgende Vorgehensweise zur Fehlersuche (siehe Tabelle 3, Seite 50).

Symbol	Bedeutung	Überprüfung / Ursache	Maßnahme(n)
	<p><b>Serieller oder paralleler Lichtbogen</b></p>	<p>a) Geruchstext: „Plastikgeruch?“ Ist verfärbter Kunststoff erkennbar (Steckdose, Schalter, Verbraucher)?</p> <p>b) Brandschutzschalter wieder einschalten. Bei erneuter Auslösung innerhalb kurzer Zeit</p> <p>c) Brandschutzschalter wieder einschalten → keine erneute Auslösung innerhalb kurzer Zeit: Hat eventuell ein Verbraucher einen schadhaften Schalter oder eine beschädigte Leitung oder sind Verfärbungen an/ in der Wand erkennbar (evtl. im Nachbarraum)?</p>	<p>a) Fehlerhaften Verbraucher vom Netz trennen → Ersatz oder zur Reparatur geben</p> <p>b) Alle Geräte abstecken und abschalten (Licht) und Brandschutzschalter erneut einschalten → <i>erneutes Auslösen</i>: Elektrofachkraft rufen → <i>kein Auslösen</i>: Nach und nach Verbraucher einschalten und einstecken bis Auslösung erfolgt → überprüfen, ob Gerät fehlerhaft (ggf. Elektrofachkraft)</p> <p>c) Verdächtigen Schalter bewusst betätigen und Reaktion des Brandschutzschalters abwarten → ggf. Reparatur durch Elektrofachkraft. <i>Bei schadhafter Leitung</i>: → Reparatur durch Elektrofachkraft. <i>Bei Verfärbungen</i>: Elektrofachkraft verständigen</p>

Symbol	Bedeutung	Überprüfung / Ursache	Maßnahme(n)
	<b>Über- spannung</b> > 275 V	Es lag eine länger an- dauernde Überspannung zwischen L und N vor.	Sollte der Fehler auch nach einmaligen Wieder- einschalten des Brand- schutzschalters erneut auftreten, sollte beim Netzbetreiber (EVU) nachgefragt werden, ob ein Fehler in der Ein- speisung bekannt ist. Falls ein solcher nicht vorliegt, ggf. Elektro- fachkraft zur Anlagen- überprüfung rufen.
	<b>Brand- schutz- schalter</b> nicht ein- satzbereit	Brandschutzschalter hat internen Fehler festgestellt	Elektrofachkraft zur Überprüfung/ Austausch des Brandschutzschalters rufen.
	<b>Keine Spannungs- versorgung</b>	a) Überprüfung ob allgemeine Spannungs- versorgung vorhanden ist oder  b) ein vor geschalte- tes Schutzorgan die Spannungsversorgung unterbrochen hat.	a) Abwarten, bis all- gemeine Spannungs- versorgung wieder vorhanden ist  b) Abschaltursache überprüfen (ggf. Elektro- fachkraft rufen) und nach Beseitigung der Ursache die Schutzeinrichtung wieder einschalten.

Tabelle 6: Betriebszustände und Handlungsempfehlungen

## 11. Anwendungsbeispiele

Brandschutzschalter sind am Beginn von Endstromkreisen einzusetzen. Um den gewünschten Schutz vor den Brandgefahren durch Lichtbögen zu erzielen werden im Fehlerfall Außen- und Neutral-Leiter vom Netz getrennt.

Über die in Kapitel 8.3 genannten Bereiche hinaus, in denen der Einsatz von Brandschutzschaltern entsprechend Errichtungsbestimmung gefordert oder empfohlen ist, können Brandschutzschalter den Schutz vor gefährlichen Auswirkungen von Fehlerlichtbögen auch in weiteren Anwendungsfällen deutlich erhöhen.

Nachstehend weitere Beispiele, in denen Endstromkreise, insbesondere für Steckdosen und Beleuchtung, durch Brandschutzschalter geschützt werden sollten:

- a) **Brandentstehung wird nicht oder zu spät erkannt und kann zu Lebensgefahr von Personen führen in:**
  - Schulen, Universitäten
  - Krankenhäusern
  - Kinos
  
- b) **Im Umfeld sind leicht brennbare Materialien eingesetzt:**
  - in Häusern mit ökologischen Baustoffen
  - bei Leichtbauweise und Holzverkleidungen
  - bei Dachausbauten
  
- c) **Im Umfeld sind leicht brennbare Materialien gelagert in:**
  - Tierställen
  - Schreinereien/ Bäckereien
  
- d) **Durch einen Brand können wertvolle Gebäude oder Gegenstände zu Schaden kommen in:**
  - Bibliotheken
  - denkmalgeschützten Gebäuden

Hinzu kommen generelle Risiken in älteren Elektroinstallationen, in denen die Wahrscheinlichkeit von losen Kontakten oder Schäden an der Isolierung besonders hoch ist.

## 12. Quellenangaben und Literaturhinweise

Bei der Erstellung dieser Brandschutz-Fibel wurden unter anderem folgende Quellen, Links und Veröffentlichungen verwendet und können auch für weitere Informationen genutzt werden:

- [www.ifs-ev.org/schadenverhuetzung/ursachstatistiken/brandursachenstatistik](http://www.ifs-ev.org/schadenverhuetzung/ursachstatistiken/brandursachenstatistik)
- GDV (Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e.V.):  
[www.gdv.de/Downloads/Schwerpunkte/GDV\\_Adventsbraende\\_in\\_Zahlen\\_2008-2009.pdf](http://www.gdv.de/Downloads/Schwerpunkte/GDV_Adventsbraende_in_Zahlen_2008-2009.pdf)  
[www.gdv.de/Presse/Archiv\\_der\\_Presseveranstaltungen/Presseveranstaltung\\_2001/Presseforum\\_Schaden\\_und\\_Unfall\\_2001/inhaltsseite12184.html](http://www.gdv.de/Presse/Archiv_der_Presseveranstaltungen/Presseveranstaltung_2001/Presseforum_Schaden_und_Unfall_2001/inhaltsseite12184.html)
- F. Berger, „Der Störlichtbogen – ein Überblick“, TU Ilmenau, VDE AKK-Seminar 2009
- vfdB Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (Arbeitsgruppe Brandschutzforschung)  
[www.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Elementbibliothek/Bibliothek\\_Feuerwehr/idf\\_dokumente/Kontextmen%c3%bc/Denschrift\\_BS-Forschung.pdf](http://www.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Elementbibliothek/Bibliothek_Feuerwehr/idf_dokumente/Kontextmen%c3%bc/Denschrift_BS-Forschung.pdf)
- VdS Schadenverhütung GmbH: [www.vds.de/de/](http://www.vds.de/de/)
- John J. Shea, „Glowing Contact Physics“, Eaton Corp., IEEE 2006
- JM Martel, „Serielle Störlichtbögen in Elektroinstallationen im Niederspannungsbereich“, Siemens AG, AKK-Seminar 2009
- M. Anheuser, JM. Martel, Störlichtbögen in der Haustechnik, HDT- Seminar, München Dez 2011
- JM. Martel, M. Anheuser, A. Hueber, F. Berger, F. Erhardt, „Schutz gegen parallele Störlichtbögen in Hauselektroinstallation“, VDE AKK-Seminar 2011
- IEC 23E/742/CDV: 2012-02: IEC 62606 Ed. 1.0: General requirements for Arc Fault Detection Devices (AFDD)
- DIN VDE 0100-100:2009-06: Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 1: Allgemeine Grundsätze, Bestimmungen allgemeiner Merkmale, Begriffe
- DIN VDE 0100-530:2011-06: Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 530: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Schalt- und Steuergeräte

## 13. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

<b>Seite 8</b>	Bild 1:	Brandursachen in Deutschland (2014)
<b>Seite 9</b>	Bild 2:	Mängelstatistik in elektrischen Anlagen (2008)
<b>Seite 10</b>	Bild 3:	Finnland: Brandstatistik 2006; Absolute Anzahl: 1.860 Brände
<b>Seite 11</b>	Bild 4:	Beobachtungen vor Eintritt eines elektrischen verursachten Brandes in den USA
<b>Seite 13</b>	Bild a:	Nägels oder Schraube
	Bild a:	zu feste Klammer
	Bild b:	zu enger Biegeradius
	Bild c:	gequetschte Leitung
	Bild g:	durch Krallenbefestigung beschädigte Leitung
<b>Seite 14</b>	Bild 5:	Arten von Fehlerlichtbögen
<b>Seite 16</b>	Bild 6:	Fehlerfälle und zum Brandschutz geeignete Schutzeinrichtungen
<b>Seite 17</b>	Bild 7:	Kontakt-Lichtbogen
<b>Seite 18</b>	Bild 8:	Lichtbogen über leitfähige Isolationsstrecke
	Bild 9:	Brandentstehung durch serielle Lichtbögen
<b>Seite 21</b>	Bild 10:	Entwicklung des Lichtbogens am Beispiel 2 A / 230 V
<b>Seite 23</b>	Bild 11:	Entwicklung des Lichtbogens am Beispiel 5 A / 230 V
<b>Seite 24</b>	Bild 12:	Energie bei einer signifikanten Flamme in Abhängigkeit des Laststroms
<b>Seite 25</b>	Bild 13:	Auftritt der Flammen in Abhängigkeit des Laststroms
<b>Seite 27</b>	Bild 14:	Strom- und Spannungsverlauf bei einem parallelen Fehlerlichtbogen
<b>Seite 29</b>	Bild 15:	Schutz durch Leitungsschutzschalter
	Bild 16:	Schutz durch Sicherung
<b>Seite 31</b>	Bild 17:	Prinzipieller Aufbau Brandschutzschalter 5SM6
<b>Seite 32</b>	Bild 18:	Signalverarbeitung zur Bewertung serieller Fehlerlichtbögen
<b>Seite 33</b>	Bild 19:	Signalverarbeitung zur Bewertung paralleler Fehlerlichtbögen
<b>Seite 35</b>	Bild 20:	Beispiele für elektrische Verbraucher mit hochfrequenten Signalen
<b>Seite 36</b>	Bild 21:	Einflussfaktoren zur Erkennung eines Fehlerlichtbogens

<b>Seite 37</b>	Bild 22:	Hochfrequenzrauschen: Grundrauschen und Lichtbogen
<b>Seite 38</b>	Tabelle 1:	Abschaltzeiten für serielle Fehlerlichtbögen
<b>Seite 39</b>	Tabelle 2:	Abschaltzeiten für parallele Fehlerlichtbögen
<b>Seite 40</b>	Tabelle 3:	Einsatzbereiche in denen der Brandschutzschalter in Deutschland vorgeschrieben sind
<b>Seite 41</b>	Tabelle 4:	Einsatzbereiche in denen der Brandschutzschalter in Deutschland empfohlen sind
<b>Seite 42</b>	Tabelle 5:	Einsatzbereiche in denen der Brandschutzschalter in Europa und IEC-Bereich empfohlen sind
<b>Seite 43</b>	Bild 23:	Brandschutzschalter 5SM6 011-2 mit und ohne angebautem Leitungsschutzschalter 5SY60
<b>Seite 44</b>	Bild 24:	Brandschutzschalter 5SM6 021-2 mit und ohne angebautem FI/LS-Schalter 5SU1
<b>Seite 46</b>	Bild 25:	Schematische Darstellung interner Selbsttest
<b>Seite 48</b>	Bild 26:	Meldungen der Betriebszustandsanzeige
<b>Seite 50</b>	Tabelle 6:	Betriebszustände und Handlungsempfehlungen

Herausgeber  
Siemens AG 2016

Energy Management  
Siemensstr. 10  
93055 Regensburg  
Deutschland

Bestell-Nr. EMLP-B10023-00-00DE  
Dispostelle 25601 • 1116 • 3.0  
Gedruckt in Deutschland

Änderungen vorbehalten.

Die Informationen in diesem Dokument enthalten allgemeine Beschreibungen der technischen Möglichkeiten, welche im Einzelfall nicht immer vorliegen. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind daher im Einzelfall bei Vertragsschluss festzulegen.

© Siemens AG 2016