

SIEMENS



SENTRON

Brandschutzschalter 5SM6

Technik-Fibel

Answers for infrastructure and cities.

Vorwort

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 einen neuen Schutzschalter zur Erfassung von Fehlerlichtbögen geschlossen: dem Brandschutzschalter 5SM6 (AFDD). Diese Brandschutzschalter 5SM6 erfassen Fehlerlichtbögen, wie sie bei seriellen Schädstellen 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.

INHALT

1	Einführung	04
2	Brandstatistiken und Brandursachen	04
3	Schutzeinrichtungen	10
3.1	Fehlerlichtbögen und eingeführte Schutzeinrichtungen	10
3.2	Das erweiterte Schutzkonzept	12
4	Zünd- und Brennbedingungen des Lichtbogens	13
5	Konkrete Beispiele von Fehlersituationen mit seriellen Lichtbögen	15
5.1	Fehlersituation Bereich bis 3 A Lichtbogenstrom	15
5.2	Fehlersituation Bereich von 3 A bis 10 A Lichtbogenstrom	18
5.3	Fehlersituation über 10 A Lichtbogenstrom	20
5.4	Einfluss des Laststroms auf Brandentstehung	20
6	Fehlersituation mit parallelen Fehlerlichtbögen	22
6.1	Grundsätzliche Betrachtung	22
6.2.	Abschaltverhalten von Überstrom-Schutzeinrichtungen	23
6.3	Bewertung	25
7	Erkennung der Fehlerlichtbögen	26
7.1	Prinzipieller Aufbau des Brandschutzschalters 5SM6	26
7.2	Erfassung serieller Fehlerlichtbögen	27
7.3	Erfassung paralleler Fehlerlichtbögen	28
7.4	Vermeidung unerwünschter Auslösungen	29

8	Normen und Anforderungen an Brandschutzschalter	33
8.1	Allgemeine Grundsätze	33
8.2	Produktnorm	33
8.3	Errichtungsbestimmungen	34
9	Produktbeschreibung des Brandschutzschalters 5SM6	35
9.1	Produktausführungen	35
9.2	Allgemeine Eigenschaften	37
9.3	Besondere Eigenschaften	37
10	Ratgeber	39
10.1	Installation des Brandschutzschalters	39
10.2	Vorgehen nach Auslösung des Brandschutzschalters	39
11	Anwendungsbeispiele	42
12	Ausblick	43
13	Quellen- und Literaturhinweise	44
	Abbildungs- und Tabellen Verzeichnis	45

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 erheblichen 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. 600.000 Brandschäden registriert. Dadurch entstehen Schäden in Höhe von rund 6 Milliarden Euro. Noch schwerer wiegen die ca. 60.000 Verletzten, davon ca. 6000 Schwerverletzte und die 600 Toten, von denen etwa 75% 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. 30 %. 2010 lag dieser Anteil beispielsweise bei 34 % (siehe Bild 1). 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.

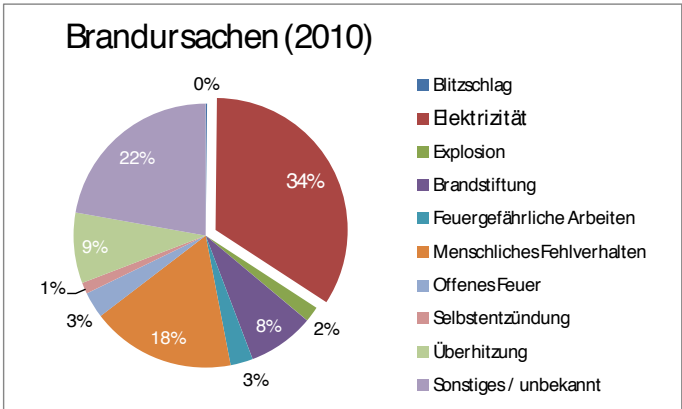


Bild 1 : Brandursachen in Deutschland 2010

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%:

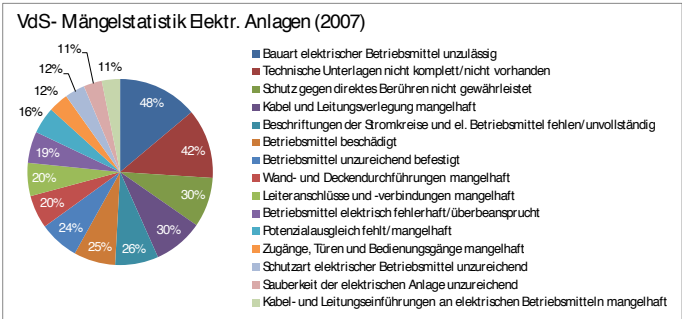


Bild 2: Mängelstatistik in elektrischen Anlagen (2007)

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. Einige Beispiele zur Brandstatistik zeigen die Bilder 3 bis 5. Hier können auch die festgestellten Mängel wie Nagetierfraß, lose Verbindungen, Alterung oder Beschädigung mit Feuchtigkeit zur Brandentstehung durch Fehlerlichtbögen führen.

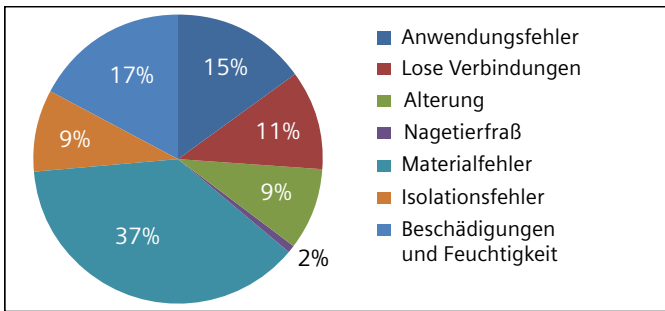


Bild 3: Dänemark: Brandstatistik 2005; Absolute Anzahl: 16.551 Brände

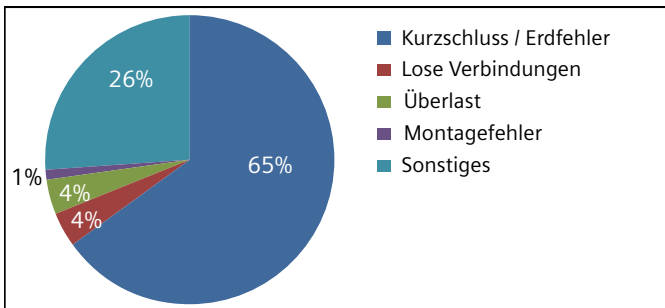


Bild 4: Finnland: Brandstatistik 2006; Absolute Anzahl: 1.860 Brände

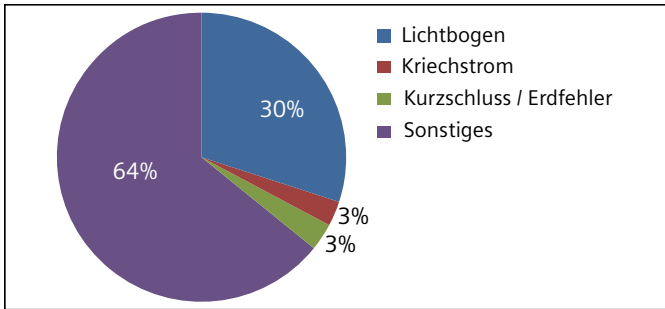


Bild 5: Norwegen: Brandstatistik 2002 – 2006; Absolute Anzahl: 9.200 Brände

Aus den USA liegt eine weitere Untersuchung vor (siehe Bild 6), 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.

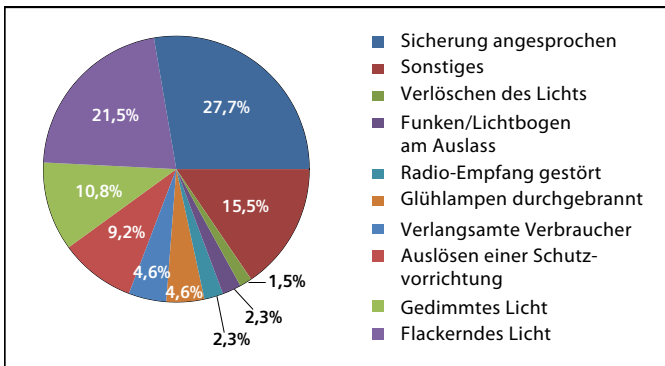


Bild 6: Beobachtungen vor Eintritt eines elektrischen verursachten Brandes in den USA

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



Bild 7: Nagel oder Schraube

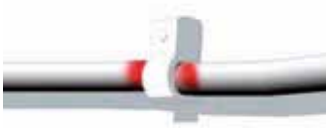


Bild 8: Zu feste Klammer

- b) Bei Leitungen mit zu engem Biegeradius besteht die Gefahr von Kabelbrüchen.



Bild 9: zu enger Biegeradius

- 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.

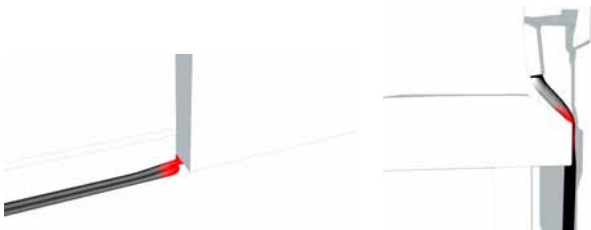
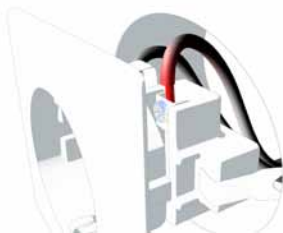


Bild 10: gequetschte Leitung

- d) Schädigung / Alterung der Isolation durch Umwelteinflüsse wie UV-Strahlen, Temperatur, Feuchte, Gase
f) Nagetierfraß
g) Lose Verbindung, z.B. durch zu geringes Drehmoment



- h) Durch Krallenbefestigung beschädigte Leiter

Die Zahlen aus den Brandstatistiken, die beobachteten Mängel und die daraus resultierenden Effekte begründen die Notwendigkeit, ein geeignetes Schutzschaltgerät 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 (s. Bild 11). Die unterschiedlichen Fehlerfälle in Bezug auf die Funktionsweise der eingeführten Schutzeinrichtungen (Fehlerstrom-Schutzeinrichtung, Überstrom-Schutzeinrichtung) sollen hier betrachtet werden.

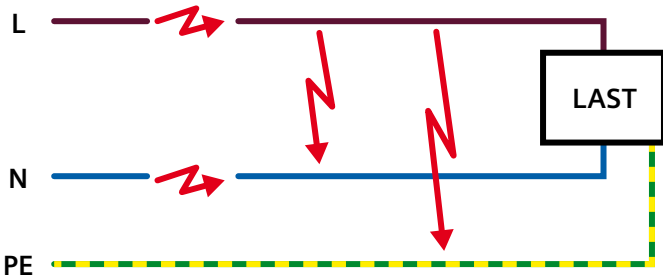


Bild 11: Arten von Fehlerlichtbögen

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“ nach DIN VDE 0100-482) 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 auch Abschnitt 6).

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

Schutzeinrichtungen zur Erfassung von Fehlerlichtbögen (AFCI: Arc Fault Circuit Interrupters nach UL 1699) sind, wie bereits erwähnt, seit mehreren Jahren in den USA eingeführt und für Endstromkreise in Wohngebäuden gefordert. In anderen Ländern, u.a auch in Deutschland, werden diese Schutzeinrichtungen normativ als AFDD (Arc Fault Detection Device) bezeichnet.

Der Siemens 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 12 zeigt die Situation für die einzelnen Fehlerfälle für Schutzeinrichtungen nach UL-Standards (z.B. USA) und nach IEC- bzw. EN-Standards (z.B. Deutschland).




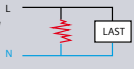


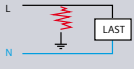


Fehlerfall	Schutz nach IEC-Standard	Schutz nach UL-Standard
Seriell 		
Parallel Außenleiter-Neutral/ Außen- -Außenleiter 		
Parallel Außen-Schutzleiter 		

Bild 12: Fehlerfälle und zum Brandschutz geeignete Schutzeinrichtungen

- MCB: Miniature Circuit Breaker = Leitungsschutzschalter;
- RCD: Residual Current Device = Fehlerstrom-Schutzeinrichtung
- AFDD: Arc Fault Detection Device = Brandschutzschalter
- AFCI: Arc Fault Circuit Interrupter = Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtung (USA)

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

4. Zünd- und Brennbedingungen des Lichtbogens

An Fehlerstellen, die in Bewegung sind oder eine geringe Leitfähigkeit aufweisen, können sogenannte „Kontakt-Lichtbögen“ (siehe Bild 13) 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.

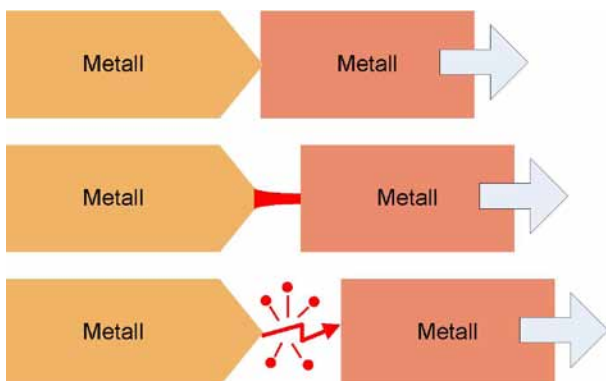


Bild 13: Kontakt-Lichtbogen

Ist die Isolation zwischen zwei Leitern beschädigt, können sich über eine leitfähige Isolationsstrecke parallele Fehlerlichtbögen auch ohne direkten Metallkontakt bilden (siehe Bild 14).

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.

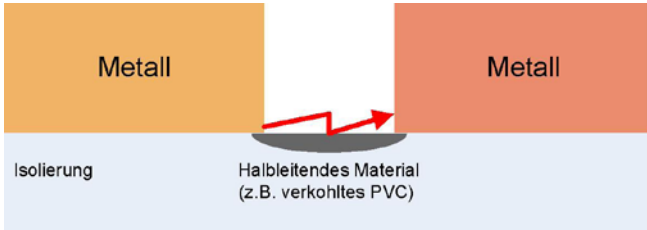


Bild 14: Lichtbogen über leitfähige Isolationsstrecke

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 15).

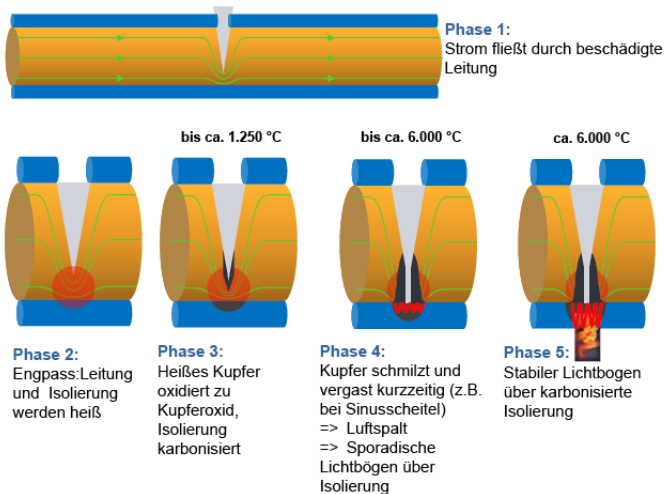


Bild 15: Brandentstehung durch serielle Lichtbögen

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 16). 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 Energieanstieges 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).

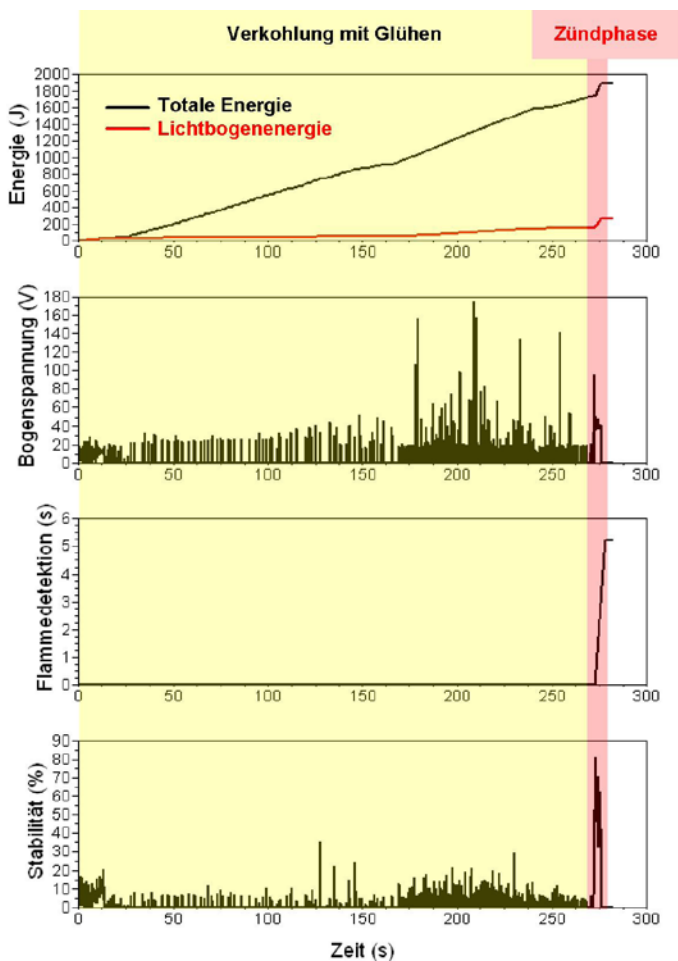


Bild 16: Entwicklung des Lichtbogens am Beispiel 2 A / 230 V

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 17). 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.

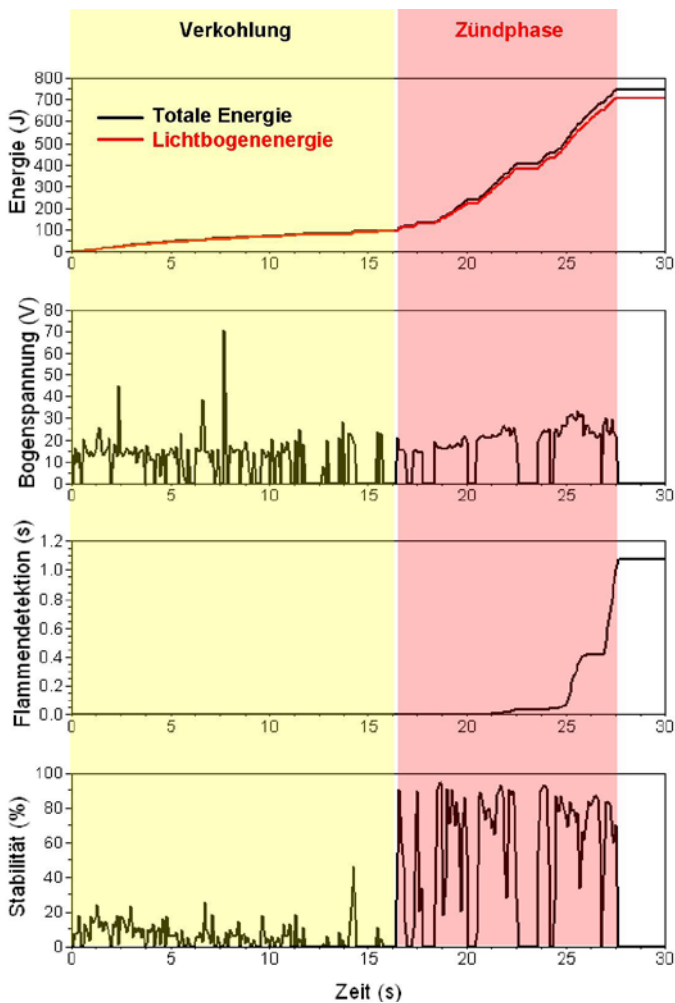


Bild 17: Entwicklung des Lichtbogens am Beispiel 5 A / 230 V

5.3 Fehlersituation über 10 A Lichtbogenstrom

In diesem Bereich ist die Leistung des Lichtbogens so groß, dass Flammen sehr schnell und ohne Verkohlungen 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 Kohlenstoffpfades 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.

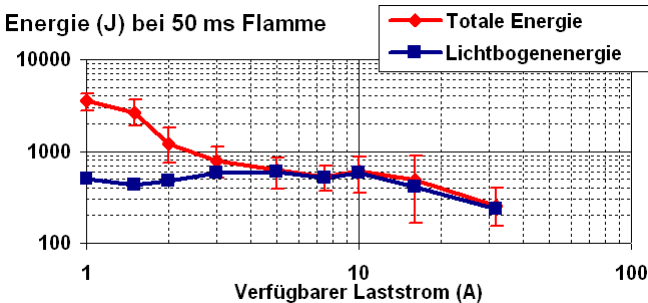


Bild 18: Energie bei der signifikanten Flamme in Abhängigkeit des Laststroms

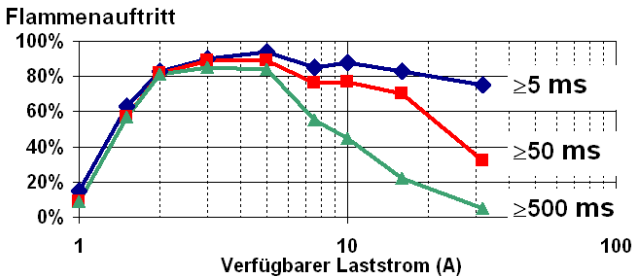


Bild 19: Auftritt der Flammen in Abhängigkeit des Laststroms

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 als die durch den Lichtbogen freigesetzte Energie. Diese Energiedifferenz ist 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 Verkohlungen auftreten. Deshalb entstehen signifikante und stabile Flammen immer seltener. Ein Grund dafür ist das Verdampfen des verkohlten Materials, sodass 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 Schutzschaltgerät gibt, werden parallele Fehlerlichtbögen unter bestimmten Bedingungen von anderen Schutzschaltgeräten wie Überstrom- und Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen erfasst (siehe Abschnitt 3 mit Bild 12).

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 20 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 Überstromschutzeinrichtung über den thermischen Schutz nicht sichergestellt werden.

Auf Grund einer hohen Bogenspannung in Verbindung mit einer hohen Netzimpedanz kann der Scheitelwert des Stromes durchaus auch unterhalb des magnetischen Auslösestromes des Leitungsschutzschalters liegen.

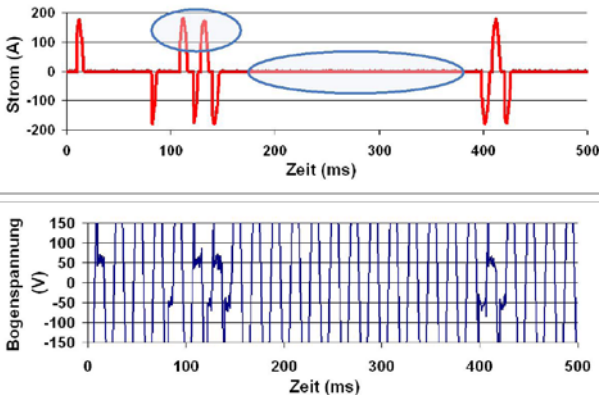


Bild 20: Strom- und Spannungsverlauf bei einem parallelen Fehlerlichtbogen

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 Isolationswerkstoffes 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 B 16 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.

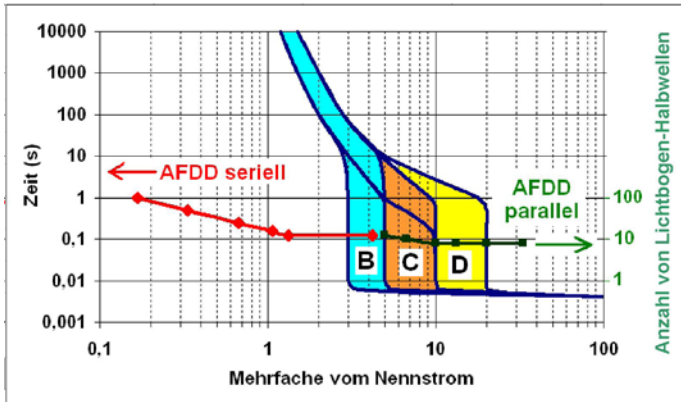
In allen Fällen kann auch eine hohe Bogenspannung zur Reduzierung des Kurzschlussstromes führen und eine magnetische Schnellauslösung verhindern.

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 21 zeigt die Auslösekennlinien von Leitungsschutzschaltern in den Charakteristiken B, C und D, sowie die Auslösekennlinie des Brandschutzschalters 5SM6 (AFDD). Die Auslösezeiten von Brandschutzschaltern bieten im Bereich paralleler Fehlerlichtbögen in einigen Übergangsbereichen einen ergänzenden und verbesserten Schutz.

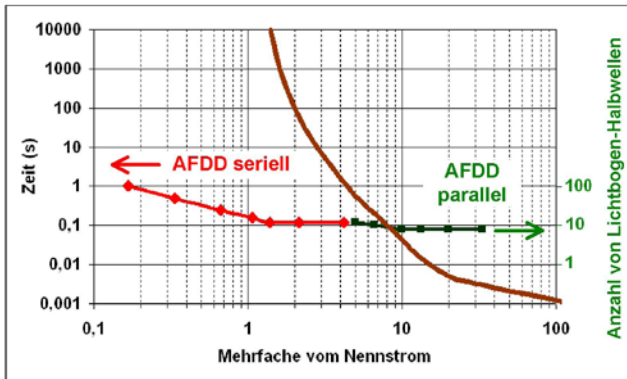
Wie bereits erläutert schützen im Bereich serieller Fehlerlichtbögen ausschließlich Brandschutzschalter. Leitungsschutzschalter sind in diesen Fällen nicht geeignet.



→ n-facher Nennstrom (AFDD mit $I_n = 16A$)

Bild 21: Schutz durch Leitungsschutzschalter

Bild 22 zeigt die Auslösekennlinien einer Sicherung gL sowie die Auslösekennlinie des Brandschutzschalters 5SM6 (AFDD). Auch hier zeigt sich, dass die Auslösezeiten von Brandschutzschaltern im Übergangsbereich bei parallelen Fehlerlichtbögen einen ergänzenden und verbesserten Schutz bieten. Auch hier zeigt sich, dass bei seriellen Fehlerlichtbögen ausschließlich die Brandschutzschalter wirksam schützen können.



→ n-facher Nennstrom (AFDD mit $I_n = 16A$)

Bild 22: Schutz durch Sicherung

6.3 Bewertung

Die Bilder 21 und 22 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 vervollkommen.

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

7. Erkennung der Fehlerlichtbögen

7.1 Prinzipieller Aufbau des Brandschutzschalter 5SM6

Bild 23 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 Bereich von 22 bis 24 MHz 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 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.

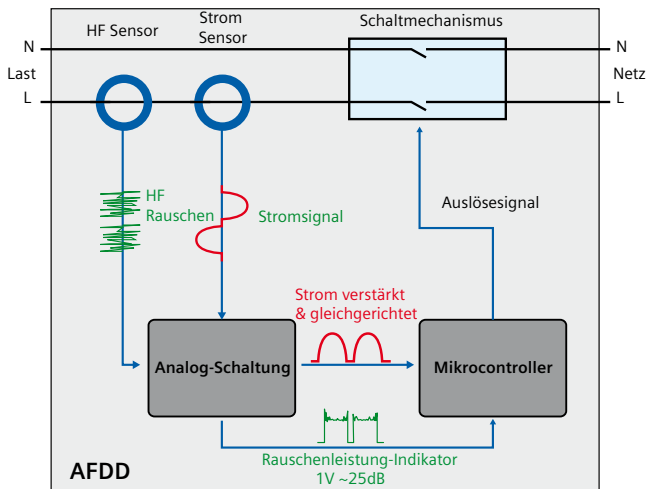


Bild 23: Prinzipieller Aufbau Brandschutzschalter 5SM6

7.2 Erfassung serieller Fehlerlichtbögen

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

Die Erkennung serieller Fehlerlichtbögen (siehe Bild 24) 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 G4 und
- RSSI erreicht mindestens die Schwelle G2.

Sobald der Fehler-Integrator den Grenzwert G5 überschreitet, sendet der Mikrocontroller den Auslösebefehl an die Schaltungsvorrichtung.

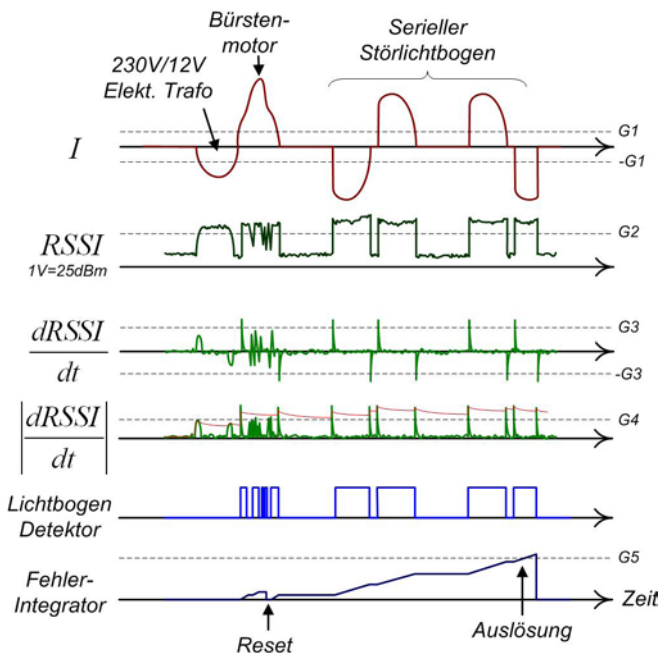


Bild 24: Signalverarbeitung zur Bewertung serieller Fehlerlichtbögen

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 25 dargestellt.

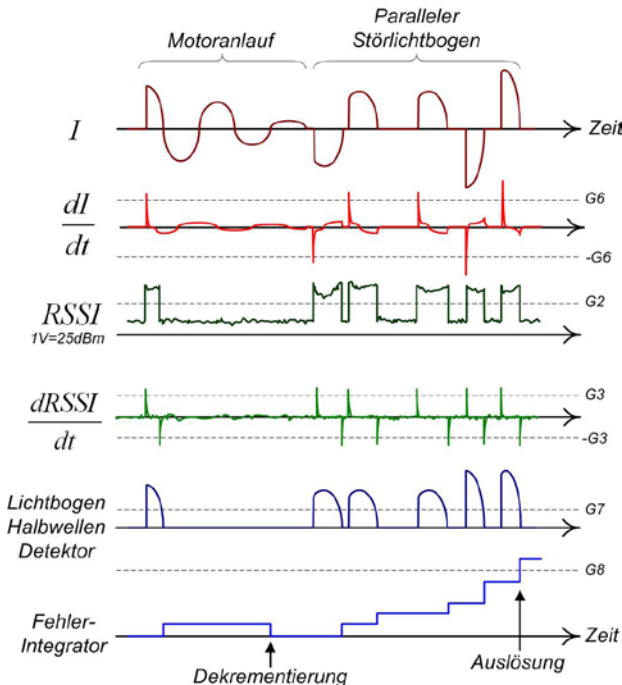


Bild 25: Signalverarbeitung zur Bewertung paralleler Fehlerlichtbögen

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 Lichtbogenhalbwelle 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 Schaltvorrichtung (Leitungsschutzschalter oder FI/LS-Schalter).

7.4 Vermeidung unerwünschter Auslösungen

Neben einem zuverlässigen Schutz vor elektrisch gezündeten Bränden, ist es für die Akzeptanz eines Schutzschaltgerätes 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 26 zeigen einige elektrische Verbraucher mit hochfrequenten Anteilen im Strom, die insbesondere beim Bürstenfeuer einer Bohrmaschine sehr nahe an den Signalen eines Fehlerlichtbogens liegen.

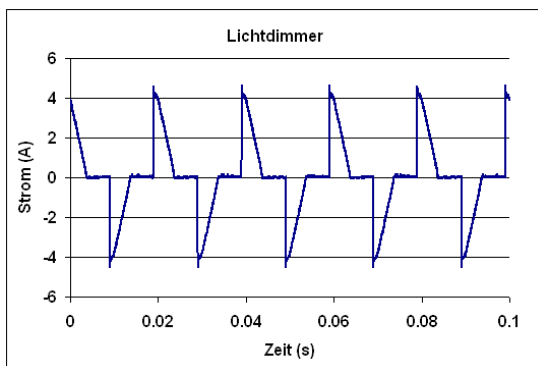
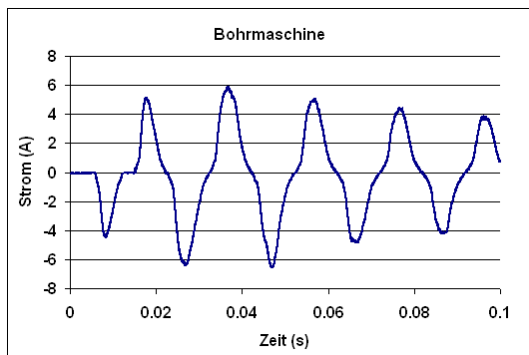
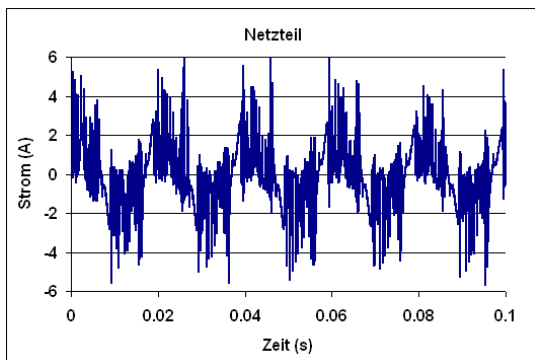


Bild 26: Beispiele für elektrische Verbraucher mit hochfrequenten Signalen

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 27).

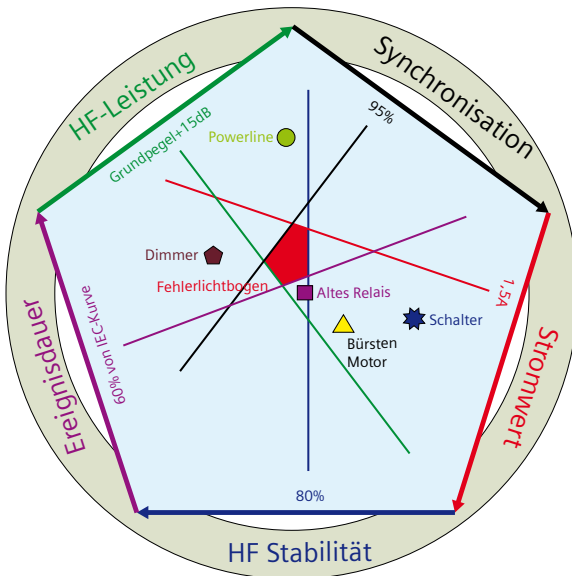


Bild 27: Einflussfaktoren zur Erkennung eines Fehlerlichtbogens

Ergibt die Auswertung der in Bild 27 genannten Einflussfaktoren im Mikrokontroller, 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.

Bild 28 zeigt hohe Werte dieses Grundrauschens im Frequenzbereich von 15 bis 18 MHz. Deshalb wird im Brandschutzschalter 5SM6 der Bereich von 22 bis 24 MHz abgetastet.

Dieser Frequenzbereich zeigt besonders wenige Störungen und besitzt einen großen Pegelunterschied zwischen Grundrauschen und Lichtbogenrauschen.

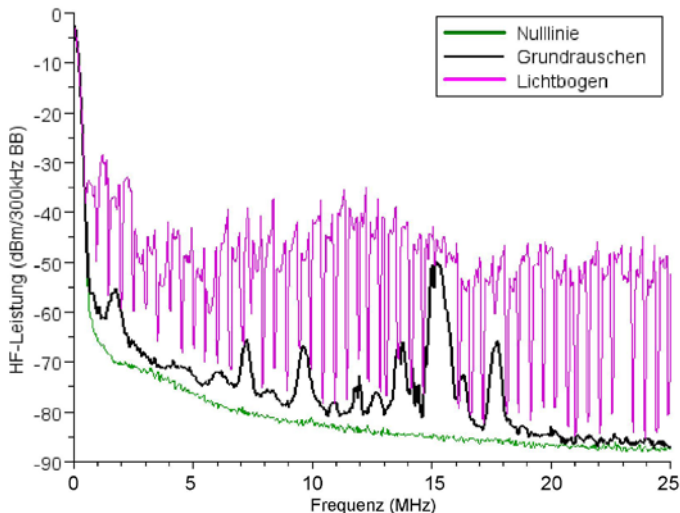


Bild 28: Hochfrequenzrauschen: Grundrauschen und Lichtbogen

Die beschriebenen Auswerteparameter und -kriterien basieren, neben den Erfahrungen mit den AFCI in 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 Schutzschaltgerät. Dies hat sich durch den Brandschutzschalter geändert.

8.2 Produktnorm

Die für Brandschutzschalter gültige Produktnorm wird DIN EN 62606 (VDE 0665-10) werden. Der Brandschutzschalter 5SM6 ist nach dieser Norm entwickelt. In der Norm werden die üblichen Anforderungen und Prüfungen ähnlich wie für andere Schutzschaltgeräte (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 21 und 22). 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 im Abschnitt 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

In den für die Errichtung von elektrischen Anlagen vorgesehenen Bestimmungen ist die Forderung nach Einsatz der Brandschutzschalter bisher nicht gefordert. Allerdings sind sie in der Norm DIN VDE 0100-530 „Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 530: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Schalt- und Steuergeräte“ im Abschnitt 532.7 „Einrichtungen zur Lichtbogenerkennung und -abschaltung (AFDD)“ benannt mit dem Hinweis, dass detaillierte Anforderungen für Einrichtungen zur Lichtbogenerkennung in Endstromkreisen zum jetzigen Zeitpunkt in Beratung sind.

Auch in der Norm DIN VDE 0100-420 „Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-42: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen thermische Auswirkungen“ wird die Forderung nach Einrichtungen zur Lichtbogenerkennung und –abschaltung (AFDD) als „in Vorbereitung“ aufgenommen.

Voraussetzung, um weitergehende Forderungen in diese Bestimmungen aufzunehmen, ist die in 8.1 beschriebene gültige Produktnorm.

Die weitergehenden Forderungen sollen in internationale Errichtungsbestimmungen aufgenommen werden. Für die IEC 60364-4-42, Ed3 (internationale Norm zur nationalen DIN VDE 0100-420) soll der Schutz vorzugsweise für Endstromkreise in Schlaf- und Kinderzimmern und überall dort wo brennbare Baustrukturen bestehen, gefordert werden. Für weitere Bereiche mit erhöhter Brandgefahr soll der Einsatz von Brandschutzschaltern empfohlen werden.

Auch in IEC 60364-5-53 (internationale Norm zur nationalen DIN VDE 0100-530) sollen Auswahlkriterien für den Einsatz von AFDD aufgenommen werden.

Die Festlegungen in diesen internationalen Standards werden nachfolgend in die oben genannten DIN VDE 0100 Bestimmungen übernommen.

9. Produktbeschreibung des Brandschutzschalter 5SM6

9.1 Produktausführungen

Der Brandschutzschalter 5SM6 wird in zwei Gerätevarianten für zwei Anbaubreiten angeboten. Die Bemessungsspannung beträgt 230V und der Bemessungsstrom 16 A .

Der Brandschutzschalter 5SM6 ist ein AFD-Block (AFD unit) an den eine weitere Schutzeinrichtung, ein LS-Schalter oder ein FI/LS-Schalter, angebaut werden muss. Diese Gerätekombination bildet dann das Schutzschaltgerät AFDD.

5SM6 011-1

Der Brandschutzschalter 5SM6 011-1 ist für den Anbau eines kompakten Leitungsschutzschalters (1+N in 1 Teilungseinheit) 5SY60 mit Bemessungsströmen bis max. 16 A vorgesehen.

Vorteil:

Kompakte Bauweise in Gesamtbaubreite 2 TE bietet Vorteile bei der Nachrüstung



Bild 29: Brandschutzschalter 5SM6 011-1 mit und ohne angebautem Leitungsschutzschalter 5SY60

5SM6 021-1

Der Brandschutzschalter 5SM6 021-1 ist für den Anbau eines Leitungsschutzschalters (1+N in 2 Teilungseinheiten) der Baureihe 5SY oder eines FI/LS-Schalters (1+N in 2 Teilungseinheiten) 5SU1, jeweils mit Bemessungsströmen bis max. 16 A, vorgesehen.

Vorteil:

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



Bild 30: Brandschutzschalter 5SM6 021-1 mit und ohne angebautem FI/LS-Schalter 5SU1 oder Leitungsschutzschalter 5SY6

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 16 A, unterschiedlicher Überstromcharakteristik oder Schaltvermögen anbauen. Dies vereinfacht deutlich die Lagerhaltung.

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 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 vielfältige Zusatzkomponenten 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 Funktionstest

Der Brandschutzschalter 5SM6 verfügt über einen internen Selbsttest (schematische Darstellung siehe Bild 31).

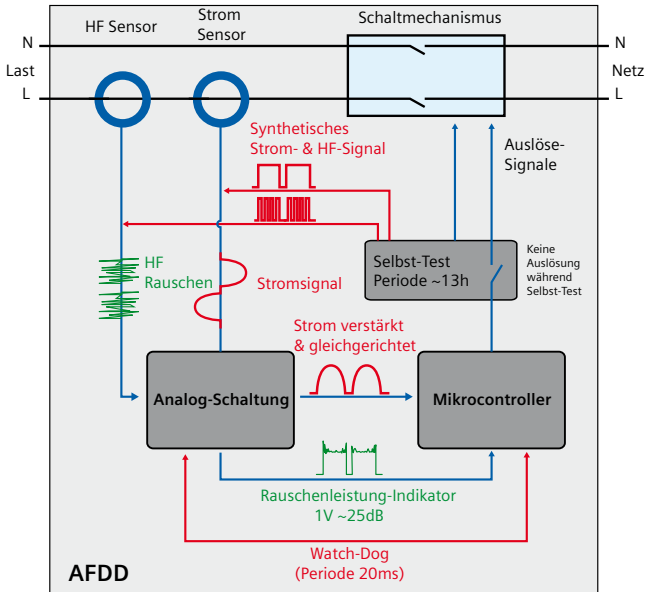


Bild 31: Schematische Darstellung interner Selbsttest

Dieser Selbsttest wird alle 13h 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 Microcontroller ausgewertet.

Daher muss nun auch der Auslösebefehl vom Mikrocontroller 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 20ms den Ablauf des Programms und die Integrität der Firmware überprüft.

b) Überspannungsschutz:

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

c) Betriebszustandsanzeige:

Über die auf der Frontseite liegende Leuchtdiode wird der Betriebszustand des Gerätes angezeigt. Dadurch erhält der Anwender eine einfache und eindeutige Information über den Grund einer Auslösung (siehe Bild 32).



















			AFD unit einsatzbereit, in Funktion
			Auslösung: Serieller Störlichtbogen
			Auslösung: Paralleler Störlichtbogen
			Auslösung: Überspannung > 275V
			AFD unit nicht einsatzbereit
			Keine Spannungsversorgung

Bild 32: Meldungen der Betriebszustandsanzeige

Bei den mit *) gekennzeichneten Fällen wird empfohlen eine Elektrofachkraft zu informieren, die eine nähere Untersuchung zur Ursache der jeweiligen Meldung durchführen kann. Im Abschnitt 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 Gerätes 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 Fehlerortes, da hier eine erste Eingrenzung möglich wird.

Ausgehend von der Meldung der Betriebszustandsanzeige empfiehlt sich folgende Vorgehensweise zur Fehlersuche (siehe Tabelle 3).






Symbol	Bedeutung	Überprüfung / Ursache	Maßnahme(n)
	Serieller Lichtbogen	<p>a) - Geruchstest: „Plastikgeruch“? - Ist verfärbter Kunststoff erkennbar (Steckdose, Schalter, Verbraucher)?</p> <p>b) Brandschutzschalter wieder einschalten. Bei erneuter Auslösung innerhalb kurzer Zeit</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 → erneutes Auslösen: Elektrofachkraft rufen → kein Auslösen: Nach und nach Verbraucher einschalten und einstecken bis Auslösung erfolgt → überprüfen, ob Gerät fehlerhaft (ggf. Elektrofachkraft)</p>
	Paralleler Lichtbogen	<p>c) Brandschutzschalter wieder einschalten → keine erneute Auslösung innerhalb kurzer Zeit: Hat eventuell ein Verbraucher einen schadhafte Schalter oder eine beschädigte Leitung oder sind Verfärbungen an / in der Wand erkennbar (evtl. im Nachbarraum)?</p>	<p>c) Verdächtigen Schalter bewusst betätigen und Reaktion des Brandschutzschalters abwarten → ggf. Reparatur durch Elektrofachkraft.</p> <p>Bei schadhafte Leitung → Reparatur durch Elektrofachkraft.</p> <p>Bei Verfärbungen: Elektrofachkraft verständigen</p> <p>Ergibt das Vorgehen a) bis c) kein Ergebnis, wird empfohlen, die Isolationswiderstände der Anlage / Verbraucher durch eine Elektrofachkraft überprüfen zu lassen.</p>
	Überspannung > 275 V	<p>Es lag eine länger andauernde Überspannung zwischen L und N vor.</p>	<p>Sollte der Fehler auch nach einmaligen Wiedereinschalten des Brandschutzschalters erneut auftreten, sollte beim Netzbetreiber (EVU) nachgefragt werden, ob ein Fehler in der Einspeisung bekannt ist. Falls ein solcher nicht vorliegt, ggf. Elektrofachkraft zur Anlagenüberprüfung rufen.</p>
	Brandschutzschalter nicht einsatzbereit	<p>Brandschutzschalter hat internen Fehler festgestellt.</p>	<p>Elektrofachkraft zur Überprüfung / Austausch des Brandschutzschalters rufen.</p>
	Keine Spannungsversorgung	<p>a) Überprüfung ob allgemeine Spannungsversorgung vorhanden ist oder b) ein vor geschaltetes Schutzorgan die Spannungsversorgung unterbrochen hat.</p>	<p>a) Abwarten, bis allgemeine Spannungsversorgung wieder vorhanden ist</p> <p>b) Abschaltursache überprüfen (ggf. Elektrofachkraft rufen) und nach Beseitigung der Ursache die Schutzeinrichtung wieder einschalten.</p>

Tabelle 3: Betriebszustände und Handlungsempfehlungen

11. Anwendungsbeispiele

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

Die im Abschnitt 8.1 beschriebene generelle Forderung, den Schutz vor gefährlichen Auswirkungen von Fehlerlichtbögen zu realisieren, ist insbesondere für Orte erforderlich, an denen eine erhöhte Gefahr besteht.

Nachstehend einige konkrete 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
 - Schlafräumen, Kinderzimmern
 - Seniorenwohnheimen
 - Kindergärten
 - Schulen, Universitäten
 - Krankenhäusern
 - Kinos
- b) Im Umfeld sind leicht brennbare Materialien eingesetzt
 - in Häusern mit Holz oder ökologischen Baustoffen
 - bei Leichtbauweise und Holzverkleidungen
 - bei Dachausbauten
- c) Im Umfeld sind leicht brennbare Materialien gelagert in
 - Tierställen / Scheunen
 - Schreinereien / Bäckereien
 - feuergefährdeten Betriebsstätten
- d) Durch einen Brand können wertvolle Gebäude oder Gegenstände zu Schaden kommen in
 - Bibliotheken
 - Museen
 - 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. Ausblick

Mit den Brandschutzschaltern 5SM6 (AFDD) findet ein neues Schutzschaltgerät Einzug in die Elektroinstallation, welches zur Reduzierung von elektrisch gezündeten Bränden einen wirksamen Beitrag liefert.

Mit den ersten Geräten zum Schutz von einphasigen Endstromkreisen mit Nennströmen bis 16 A ist ein Einstieg geschaffen. Ausführungen für Endstromkreise mit höheren Nennströmen und Drehstromanwendungen werden folgen. Auch der Lichtbogenschutz in Gleichstromanwendungen, wie Photovoltaik-Anlagen, wird künftig notwendig werden.

Mit der Forderung in den Errichtungsbestimmungen, diese Brandschutzschalter 5SM6 (AFDD) in bestimmten Installationsanlagen einzusetzen, ist in den nächsten Jahren zu rechnen.

13. 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:

GDV(Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e.V.):
www.gdv.de/Downloads/Schwerpunkte/GDV_Adventsbraende_in_Zahlen_2008-2009.pdf
www.gdv.de/Presse/Archiv_der_Presseveranstaltungen/Presseveranstaltungen_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/Denkschrift_BS-Forschung.pdf

VdS Schadenverhütung GmbH: 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

Abbildungs- und Tabellen Verzeichnis

- Seite 5, Bild 1: Brandursachen in Deutschland 2010
- Seite 5, Bild 2: Mängelstatistik in elektrischen Anlagen (2007)
- Seite 6, Bild 3: Dänemark: Brandstatistik 2005;
Absolute Anzahl: 16.551 Brände
- Seite 6, Bild 4: Finnland: Brandstatistik 2006; Absolute Anzahl: 1.860 Brände
- Seite 7, Bild 5: Norwegen: Brandstatistik 2002 - 2006;
Absolute Anzahl: 9.200 Brände
- Seite 7, Bild 6: Beobachtungen vor Eintritt eines elektrischen
verursachten Brandes in den USA
- Seite 8, Bild 7: Nagel oder Schraube
- Seite 8, Bild 8: zu feste Klammer
- Seite 8, Bild 9: zu enger Biegeradius
- Seite 9, Bild 10: gequetschte Leitung
- Seite 10, Bild 11: Arten von Fehlerlichtbögen
- Seite 12, Bild 12: Fehlerfälle und zum Brandschutz
geeignete Schutzeinrichtungen
- Seite 13, Bild 13: Kontakt-Lichtbogen
- Seite 14, Bild 14: Lichtbogen über leitfähige Isolationsstrecke
- Seite 14, Bild 15: Brandentstehung durch serielle Lichtbögen
- Seite 17, Bild 16: Entwicklung des Lichtbogens am Beispiel 2 A / 230 V
- Seite 19, Bild 17: Entwicklung des Lichtbogens am Beispiel 5 A / 230 V
- Seite 20, Bild 18: Energie bei einer signifikanten Flamme
in Abhängigkeit des Laststroms
- Seite 20, Bild 19: Auftritt der Flammen in Abhängigkeit des Laststroms
- Seite 22, Bild 20: Strom- und Spannungsverlauf bei einem
parallelen Fehlerlichtbogen
- Seite 24, Bild 21: Schutz durch Leitungsschutzschalter
- Seite 25, Bild 22: Schutz durch Sicherung
- Seite 26, Bild 23: Prinzipieller Aufbau Brandschutzschalter 5SM6
- Seite 27, Bild 24: Signalverarbeitung zur Bewertung serieller Fehlerlichtbögen
- Seite 28, Bild 25: Signalverarbeitung zur Bewertung paralleler Fehlerlichtbögen
- Seite 30, Bild 26: Beispiele für elektrische Verbraucher
mit hochfrequenten Signalen
- Seite 31, Bild 27: Einflussfaktoren zur Erkennung eines Fehlerlichtbogens
- Seite 32, Bild 28: Hochfrequenzrauschen: Grundrauschen und Lichtbogen
- Seite 33, Tabelle 1: Abschaltzeiten für serielle Fehlerlichtbögen
- Seite 34, Tabelle 2: Abschaltzeiten für parallele Fehlerlichtbögen

- Seite 36, Bild 29: Brandschutzschalter 5SM6 011-1 mit und ohne angebaurem Leitungsschutzschalter 5SY60
- Seite 36, Bild 30: Brandschutzschalter 5SM6 021-1 mit und ohne angebaurem FI/LS-Schalter 5SU1 oder Leitungsschutzschalter 5SY6
- Seite 38, Bild 31: Schematische Darstellung interner Selbsttest
- Seite 39, Bild 32: Meldungen der Betriebszustandsanzeige
- Seite 41, Tabelle 3: Betriebszustände und Handlungsempfehlungen



Siemens AG
Sektor Infrastructure & Cities
Low and Medium Voltage Division
Low Voltage & Products
Postfach 10 09 53
93009 Regensburg
Deutschland

Bestell-Nr. E10003-E38-2B-G0121
Dispostelle 25601 • 1212 • 8.0
Gedruckt in Deutschland

Änderungen vorbehalten.

Die Informationen in dieser Broschüre enthalten lediglich allgemeine Beschreibungen bzw. Leistungsmerkmale, welche im konkreten Anwendungsfall nicht immer in der beschriebenen Form zutreffen bzw. sich durch Weiterentwicklung der Produkte ändern können. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann verbindlich, wenn sie bei Vertragsabschluss ausdrücklich vereinbart werden.

Alle Rechte vorbehalten.

Alle Erzeugnisbezeichnungen können Marken oder Erzeugnisnamen der Siemens AG oder anderer, zuliefernder Unternehmen sein, deren Benutzung durch Dritte für deren Zwecke die Rechte der Inhaber verletzen kann.

© Siemens AG 2012