



Überblick über die Funktion und Anwendung von Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen (AFDD) in Niederspannungsanlagen gemäß den in Österreich geltenden anerkannten Regeln der Technik

Ersatz für –
Zuständig OVE/TSK IS23E – Schutzschalter
ICS 13.260; 29.020; 29.100; 29.120; 29.120.50; 29.130; 91.140.50

Inhalt	Seite
1 Ausgangssituation	2
2 Grundlagen	2
2.1 Einleitung	2
2.2 Arten von Lichtbögen	2
2.3 Ursachen für elektrisch gezündete Brände	2
2.4 Lichtbogen-Fehlersituationen	3
3 Funktionsweise von Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen (AFDD)	4
3.1 Charakteristische Eigenschaften eines Fehlerlichtbogens	4
3.2 Prinzipieller Aufbau	4
3.3 Vermeidung unerwünschter Auslösungen und Maskierung der Schutzfunktion	4
3.4 Grenzwerte der Betriebskriterien gemäß OVE EN 62606	5
3.5 Prüffunktion	5
3.6 Überspannungen	5
3.7 Bedienbarkeit, Trennfunktion, Netzsysteme	5
3.8 Einsatzbedingungen	5
3.9 Bauformen	6
4 Anwendung von Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen	6
4.1 Schutz gegen die Auswirkungen von Fehlerlichtbögen	6
4.2 Installationsbeispiel	7
Literaturhinweise	8

1 Ausgangssituation

Diese Fachinformation wurde mit dem Ziel zusammengestellt, dem Praktiker die grundlegende Funktion und die charakteristischen Eigenschaften von Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen AFDD (en: Arc Fault Detection Device) gemäß der Produktnorm OVE EN 62606 näher zu bringen, sowie einen Überblick für die Anwendung gemäß den anerkannten Regeln der Technik, insbesondere der OVE E 8101 zu geben.

Gemäß dem österreichischen Elektrotechnikgesetz 1992 – ETG 1992 sind elektrische Anlagen und Betriebsmittel so zu errichten, herzustellen, instand zu halten und zu betreiben, dass ihre Betriebssicherheit, die Sicherheit von Personen und Sachen, sowie der ungestörte und sichere Betrieb anderer in ihrem Gefährdungs- und Störungsbereich liegender Anlagen gewährleistet ist.

Dazu zählt auch der Schutz vor elektrisch gezündeten Bränden durch Lichtbögen. Laut der Brandschadenstatistik der österreichischen Brandverhütungsstellen 2021 war die Zündquelle „Elektrische Energie“ mit 1 313 Bränden eine der häufigsten Brandursachen mit einer Schadenssumme von über 90 Millionen Euro.

2 Grundlagen

2.1 Einleitung

Brände, die durch elektrische Anlagen verursacht werden, können ihren Ursprung in Fehlerlichtbögen haben. Parallele und serielle Lichtbögen entstehen durch fehlerhafte Isolierung aktiver Leiter oder durch lose elektrische Verbindungen.

Bei einem seriellen Lichtbogen ist kein Ableitstrom zur Erde vorhanden, daher können Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD) diese Fehler nicht erkennen. Zudem reduziert die Impedanz des seriellen Lichtbogens den Laststrom, wodurch der Strom unter dem Auslösegrenzwert von Leitungsschutzschaltern oder Sicherungen bleibt.

Im Fall eines parallelen Lichtbogens zwischen zwei Außenleitern oder Außenleiter und Neutralleiter ist der Strom durch die Impedanz der Installation und durch den Lichtbogen selbst begrenzt. Deshalb kann der resultierende Strom unter dem Auslösegrenzwert von Leitungsschutzschaltern, Leistungsschaltern oder Sicherungen liegen.

Für die Verminderung des Brandrisikos durch einen Lichtbogen in Folge eines Fehlerstroms zur Erde wird ein Fehlerstromschutzschalter (RCCB) als wirksam angesehen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass der Effektivwert eines vom Fehlerlichtbogen verursachten Erdschlussstroms nicht auf die Bemessungsfrequenz von 50/60 Hz begrenzt ist, sondern ein viel höheres Frequenzspektrum enthalten kann, welches von Fehlerstromschutzschaltern unter Umständen nicht erkannt wird.

2.2 Arten von Lichtbögen

Ein Lichtbogen ist eine elektrische Entladung zwischen zwei Elektroden, die bei entsprechender Spannung und Stromdichte durch Ionisation entsteht. Aufgrund der Gasentladung bildet sich ein Plasma, in dem die Teilchen zumindest teilweise ionisiert sind und dadurch kontinuierlich Strom fließen kann.

Man unterscheidet zwischen **betriebsbedingten Lichtbögen** (zB Schaltlichtbögen, Bürstenfeuer einer Bohrmaschine) und Fehler- bzw. Störlichtbögen.

Der Begriff **Störlichtbogen** („arc flash“) beschreibt üblicherweise Fehler in Anlagen größerer Leistung (zB Kurzschluss in Industrie-Schaltanlagen), welche explosionsartig auftreten und unmittelbare Auswirkungen auf die Einrichtungen hervorrufen. Bei hohen Anforderungen an die Verfügbarkeit kommen Störlichtbogen-Schutzsysteme zum Einsatz, welche die Lichtleistung des Lichtbogens und den Anstieg des Stromes erkennen, den Lichtbogen innerhalb von 5 ms löschen und die elektrische Anlage von der Versorgung trennen um größeren Schaden zu vermeiden.

Unter **Fehlerlichtbögen** beschreibt man hingegen Fehler geringerer Leistung (zB in Folge von beschädigter Isolation in Hausinstallationen, aber auch in Betriebsmitteln), welche unter Umständen auch lange unerkannt bleiben. Die damit einhergehenden thermischen Auswirkungen können zu elektrisch gezündeten Bränden führen. Für diese Art von Lichtbögen ist der AFDD konzipiert.

2.3 Ursachen für elektrisch gezündete Brände

Durch mechanische, thermische oder chemische Alterung von Isoliermaterial oder durch Kontaminierung mit Schmutz oder Feuchtigkeit können Entladungen zwischen elektrischen Leitern entstehen, welche zur Erhitzung und Verkohlung von Kunststoff führen. In weiterer Folge kann daraus ein stabiler Fehlerlichtbogen entstehen, welcher einen Brand verursacht.

Nachstehend finden sich einige häufig erkannte Fehlerquellen in der elektrischen Installation oder an den daran angeschlossenen elektrischen Betriebsmitteln:

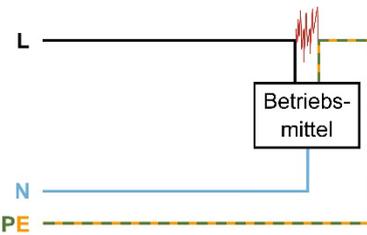
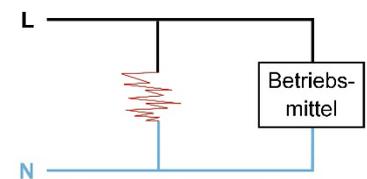
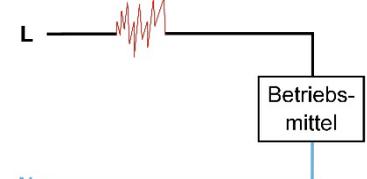
- beschädigte Isolierungen von Kabel bzw. Leitungen, zB durch Nägel, Schrauben, Bohrungen oder Nagetierverschleiß;
- gequetschte oder abgeknickte Kabel bzw. Leitungen, zB durch Aderbrüchen bei zu engem Biegeradius oder durch Quetschen von Kabeln beim Schließen von Türen oder Fenstern;
- hoher Kontaktübergangswiderstand durch schlechte Kontaktierung, zB lose Kontaktstellen in Steckdosen oder bei Schraubverbindungen;
- nicht sachgerecht ausgeführte Kabel-/Leitungsverlegung, zB durch Krallenbefestigung beschädigte Kabel bzw. Leitungen in Steckdosen oder Schaltern;
- Schädigung/Alterung der Isolation durch Umwelteinflüsse wie UV-Strahlen, Temperatur, oder leitende Verschmutzung zwischen aktiven Leitern;
- Beschädigte Elektrogeräte.

2.4 Lichtbogen-Fehlersituationen

Der AFDD erweitert das aus Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) und Überstrom-Schutzeinrichtung (OCPD) bestehende Schutzkonzept und schließt die bisher vorhandene Schutzlücke, insbesondere bei seriellen Fehlerlichtbögen.

Tabelle 1 verdeutlicht die Fehlersituationen und die Funktion von Schutzschaltgeräten.

Tabelle 1 – Darstellung der Fehlersituationen und der Funktion von Schutzschaltgeräten

Fehlerlichtbogen	Anmerkung	Schutzfunktion
<p>Fehlerlichtbogen gegen Erde (Phase gegen Schutzleiter)</p> 	<p>Fehlerlichtbogen, bei dem der Strom vom aktiven Leiter gegen Erde fließt.</p> <p>In diesem Fall kann auch RCD mit Bemessungsfehlerstrom $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$ die Anforderungen an den Brandschutz erfüllen.</p>	<p>RCD OCPD^a AFDD</p>
<p>Paralleler Fehlerlichtbogen (Phase gegen Neutraleiter/Phase gegen Phase)</p> 	<p>Fehlerlichtbogen, bei dem der Lichtbogenstrom zwischen aktiven Leitern parallel zur Last des Stromkreises fließt.</p> <p>Leitungsschutzschalter (OCPD) können hier nur bedingt schützen, abhängig von der Impedanz des Fehlerkreises und dem daraus folgenden Überstrom.</p>	<p>OCPD^a AFDD</p>
<p>Serieller Fehlerlichtbogen (kleine Unterbrechung der Phase oder des Neutraleiters)</p> 	<p>Fehlerlichtbogen, bei dem der Strom durch die Last(en) eines Verbraucherstromkreises fließt, der mit einer AFDD geschützt ist.</p> <p>Weder OCPD noch RCD können diese Art von Fehlerlichtbogen erkennen.</p>	<p>AFDD</p>

^a Schutz abhängig von der Impedanz des Fehlerkreises

Für das Auslösen des AFDD ist es grundsätzlich unerheblich, ob die Fehlstelle in der elektrischen Anlage, der Anschlussleitung eines Betriebsmittels oder in einem, mit Netzspannung betriebenen, elektrischen Gerät vorliegt.

3 Funktionsweise von Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen (AFDD)

3.1 Charakteristische Eigenschaften eines Fehlerlichtbogens

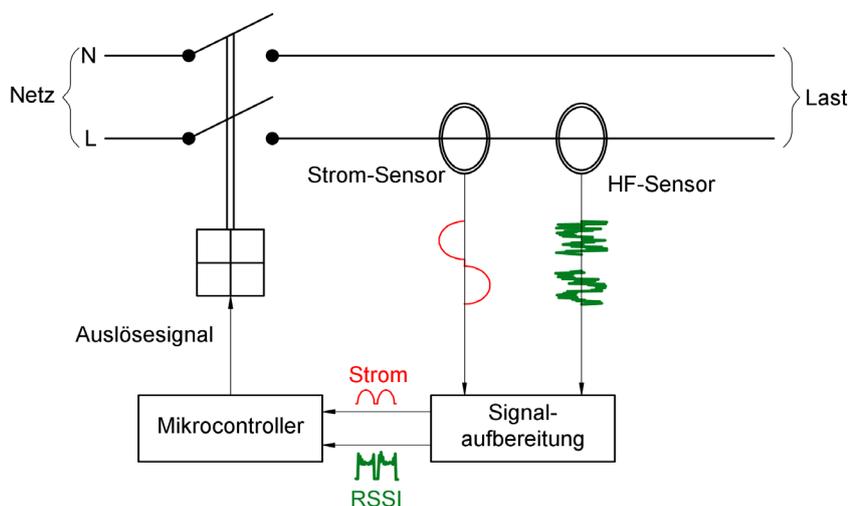
Fehlerlichtbögen weisen charakteristische Merkmale auf wie

- hochfrequentes Rauschen und
- Zusammenbruch des Lichtbogenstroms nahe dem Nulldurchgang der treibenden Spannung.

Zur Detektierung eines Fehlerlichtbogens wird daher Spannungs- und Stromverlauf über die Zeit gemessen und mittels digitaler Signalverarbeitung bewertet.

3.2 Prinzipieller Aufbau

Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtung (AFDD).



Es bedeutet:

RSSI (Received Signal Strength Indication) Entspricht der Leistung des Lichtbogens bei einer definierten Frequenz und Bandbreite

Bild 1 – Aufbau einer Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtung

Der Strom wird über zwei getrennte Sensoren permanent erfasst, verstärkt, aufbereitet und in einem Mikrocontroller ausgewertet. Wenn die Kriterien für einen Fehlerlichtbogen erfüllt sind, löst der Schalter aus.

3.3 Vermeidung unerwünschter Auslösungen und Maskierung der Schutzfunktion

Bei betriebsbedingten Lichtbögen wie zB dem Bürstenfeuer einer Bohrmaschine oder beim Einschaltvorgang einer Leuchtstofflampe darf keine Auslösung der Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtung (AFDD) erfolgen. Dazu werden spezielle Algorithmen verwendet, die durch Vergleich mit vorgespeicherten Signalmustern zwischen Fehlerlichtbögen und sogenannten Betriebslichtbögen unterschieden werden.

Es muss gewährleistet sein, dass Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen (AFDD) zuverlässig auslösen, auch wenn andere betriebsbedingte Lichtbögen die Signatur des Fehlerlichtbogens überlagern. Dies wird bei den Typenprüfungen nach OVE EN 62606 mit sogenannten „Maskierungstests“ überprüft.

Da die Signatur eines Lichtbogens mit zunehmender Entfernung gedämpft wird, ist die Kabel-/Leitungslänge des zu schützenden Stromkreises zu beachten.

3.4 Grenzwerte der Betriebskriterien gemäß OVE EN 62606

Die Brandgefahr hängt von der Höhe und Dauer des Lichtbogenstroms ab und wurde in OVE EN 62606 wie folgt limitiert (siehe Tabelle 2 und Tabelle 3):

Tabelle 2 – Grenzwerte von AFDD bei niedrigen Lichtbogenströmen bis 63 A (Serielle Lichtbögen)

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

Tabelle 3 – Grenzwerte von AFDD bei hohen Lichtbogenströmen über 63 A (Parallele Lichtbögen)

Prüflichtbogenstrom ^a (Effektivwerte)	75 A	100 A	150 A	200 A	300 A	500 A
N ^b	12	10	8	8	8	8
<p>^a Dieser Prüfstrom ist der unbeeinflusste Strom vor der Lichtbogenbildung im Prüfkreis.</p> <p>^b N ist die Anzahl der Halbperioden bei Bemessungsfrequenz.</p>						

3.5 Prüffunktion

Bei einer Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtung (AFDD) muss eine von Hand oder automatisch ausgelöste Prüffunktion, oder beide, vorgesehen sein, mit welcher der Lichtbogenerfassungskreis geprüft wird.

- Prüfung bei der händisch betätigbaren Prüftaste: Der AFDD muss auslösen.
- Prüfung bei der automatischen Prüffunktion: Prüfung bei jedem Einschalten und in Intervallen von mindestens einmal täglich, wobei der AFDD nicht abschalten muss, außer bei Vorliegen eines Fehlers.

Neben der händischen bzw. automatischen Prüfung bestehen derzeit keine Vorgaben für eine periodische Funktionsprüfung durch externe Prüfgeräte. Handelsübliche Installationsprüfgeräte erfüllen diese Testfunktion derzeit nicht.

3.6 Überspannungen

Bei der Unterbrechung des Neutralleiters in einer Drehstromanlage kann eine Außenleiter-Neutralleiter Überspannung auftreten mit einem Höchstwert entsprechend der Spannung zwischen den Außenleitern. Die daraus folgende außergewöhnliche Erwärmung von Lasten kann einen Brand verursachen. AFDD können entsprechende Vorrichtungen enthalten, die zB bei $U > 270$ V abschalten.

3.7 Bedienbarkeit, Trennfunktion, Netzsysteme

Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen (AFDD) gemäß OVE EN 62606 dürfen von elektrotechnischen Laien (BA1) betätigt werden und erfordern keine Instandhaltung. Sie erfüllen in der Ausschaltstellung die Anforderungen für sichere Trennung. AFDD sind für den Einsatz in TN-, TT- und IT-Systemen geeignet.

3.8 Einsatzbedingungen

Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen gemäß OVE EN 62606 sind für die Verwendung in einer Umgebung mit Verschmutzungsgrad 2 vorgesehen, d.h. normalerweise tritt keine leitfähige Verschmutzung auf, gelegentlich muss jedoch mit vorübergehender Leitfähigkeit durch Betauung gerechnet werden. Es gelten Normalbedingungen für Temperatur und Umgebung entsprechend Tabelle 4. Für den Einbau an Orten mit rauerer Umgebungsbedingungen können zusätzliche Anforderungen notwendig sein.

Tabelle 4 – Normbedingungen für den Betrieb

Einflussgröße	Normbereich der Anwendung	Bezugswert	Prüfabweichungen^f
Umgebungstemperatur ^{a, g}	-5 °C bis +40 °C ^b	20 °C	±5 °C
Höhenlage	Nicht über 2 000 m		
Relative Feuchte (Höchstwert bei 40 °C)	50 % ^c		
Äußeres Magnetfeld	Nicht über dem 5-fachen Erdmagnetfeld in jeder Richtung	Erdmagnetfeld	d
Lage	Wie vom Hersteller angegeben, mit einer Abweichung von 2° in jeder Richtung ^e	Wie vom Hersteller angegeben	2° in jeder Richtung
Frequenz	Bezugswert ±5 % ^f	Bemessungswert	±2 %
Verzerrung der Sinusform	Nicht über 5 %	Null	5 %

^a Der Höchstwert der mittleren Tagestemperatur beträgt +35 °C.

^b Nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Anwender sind Werte außerhalb des Bereichs zulässig, wo härtere klimatische Bedingungen herrschen.

^c Höhere Werte der relativen Feuchte sind bei niedrigen Temperaturen zulässig (zB 90 % bei 20 °C).

^d Wenn eine AFDD in der Nähe eines starken Magnetfelds eingebaut ist, können zusätzliche Anforderungen notwendig sein.

^e Die Einrichtung muss befestigt werden, ohne dass Verformungen auftreten, die seine Funktion beeinträchtigen.

^f Die angegebenen Abweichungen gelten, wenn in den entsprechenden Prüfungen nichts anderes festgelegt ist.

^g Höchstgrenzen von -20 °C und +60 °C sind während Lagerung und Transport zulässig und sollten bei der Konstruktion der Einrichtung berücksichtigt werden.

3.9 Bauformen

Bei Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen (AFDD) wird zwischen folgenden Bauformen unterschieden:

- a) Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtung (AFDD) bestehend aus AFD-Einheit und Ausschaltvorrichtung, welche keinen Überstrom- oder Fehlerstromschutz beinhaltet; der Anschluss erfolgt in Reihe mit geeigneten Schutzeinrichtungen.
- b) Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtung (AFDD) bestehend aus einer AFD-Einheit integriert in ein Schutzschaltgerät das einer oder mehreren der folgenden Normen OVE EN 60898-1, OVE EN 61008-1, OVE EN 61009-1 oder OVE EN 62423 entspricht.
- c) Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtung (AFDD), bestehend aus einer AFD-Einheit und einer angegebenen Schutzeinrichtung (zB Leitungsschutzschalter, Fehlerstromschutzschalter), die vor Ort zusammenzubauen sind.

4 Anwendung von Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen

4.1 Schutz gegen die Auswirkungen von Fehlerlichtbögen

Gemäß OVE E 8101, Unterabschnitt 421.7 sind für Hausinstallationen und ähnliche Anwendungen besondere Maßnahmen zum Schutz gegen die Auswirkungen von Lichtbögen in einzelnen Endstromkreisen wie folgt zu berücksichtigen:

- a) Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen (AFDD) sind zu installieren in Wechselstromkreisen mit einem Nennstrom nicht größer als 16 A in:

- Schlafräumen von Heimen für behinderte oder alte Menschen (zB Senioren- oder Pensionistenheimen) oder Schlafräumen von Kindergärten;
 - Räumen oder Orten mit einem Brandrisiko durch verarbeitete oder gelagerte Materialien, zB BE2 gemäß OVE E 8101 Teil 5-51.
- b) Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen (AFDD) werden empfohlen in Wechselstromkreisen mit einem Nennstrom nicht größer als 16 A in:
- Schlafräumen in Wohngebäuden (insbesondere bei Nutzung durch in ihrer Mobilität dauerhaft eingeschränkten Personen infolge körperlicher oder geistiger Behinderung)
 - Räumen oder Orten mit Gefährdung unersetzbarer Güter.

Wenn Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen (AFDD) verwendet werden, müssen diese den Anforderungen von OVE EN 62606 entsprechen und am Anfang des zu schützenden Stromkreises installiert werden.

Es sind die Installationshinweise des Herstellers zu beachten (zB maximale Leitungslänge).

Der Einsatz einer Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtung (AFDD) schließt die Notwendigkeit weiterer Maßnahmen gemäß OVE E 8101 Teil 4-42 nicht aus.

4.2 Installationsbeispiel

Bild 2 zeigt ein Installationsbeispiel für Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen (AFDD).

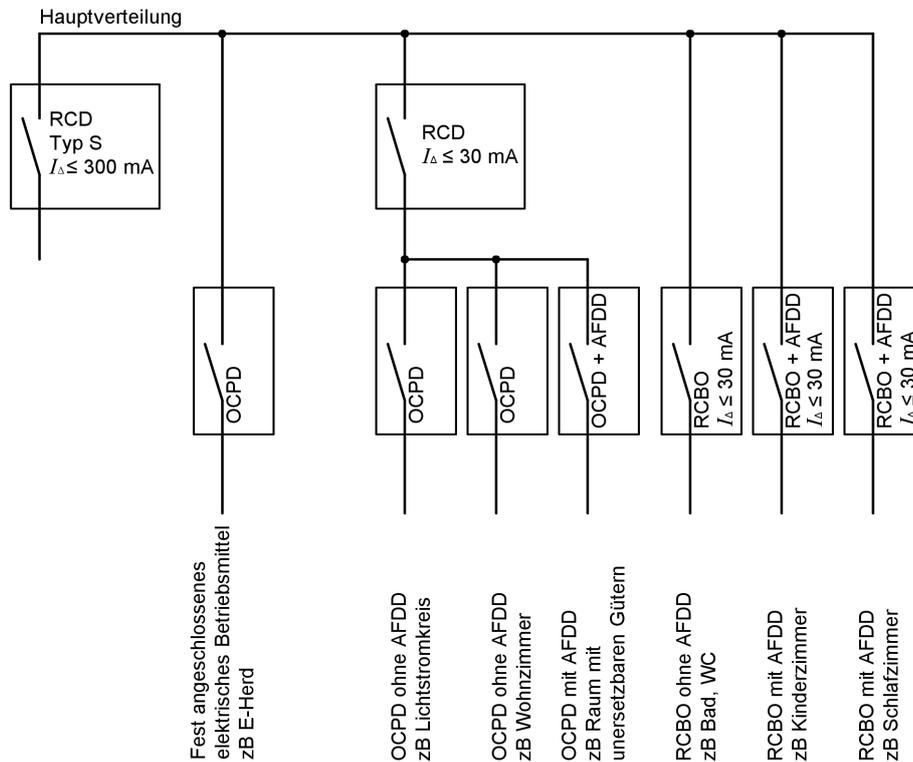


Bild 2 – Installationsbeispiel für Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen (AFDD)

Literaturhinweise

OVE E 8101, *Elektrische Niederspannungsanlagen*

OVE EN 60898-1, *Leitungsschutzschalter für Hausinstallationen und ähnliche Zwecke – Teil 1: Leitungsschutzschalter für Wechselstrom (AC)*

OVE EN 62606, *Allgemeine Anforderungen an Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen*

OVE EN 61008-1, *Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter mit eingebautem Überstromschutz (RCCBs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

OVE EN 61009-1, *Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter ohne eingebauten Überstromschutz (RCBOs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

OVE EN 62423, *Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter Typ F und Typ B mit und ohne eingebautem Überstromschutz für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen*

BGBI. Nr. 106/1993, *Elektrotechnikgesetz 1992 – ETG 1992*

Links

<https://brandverhuetung-oesterreich.at/brandstatistik/> Brandschadenstatistik der österreichischen Brandverhütungsstellen 2021

Medieninhaber und Hersteller:

OVE Österreichischer Verband für
Elektrotechnik

Copyright © OVE – 2023. Alle Rechte vorbehalten!

Im Falle eines Nachdruckes darf der Inhalt
nur wortgetreu und ohne Auslassung oder
Zusatz wiedergegeben werden.

OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik
Eschenbachgasse 9 | A-1010 Wien

Tel.: +43 1 587 63 73

Internet: <http://www.ove.at>

Webshop: www.ove.at/webshop