

Aktiver Störlichtbogenschutz in NS-Schaltanlagen

R. Cater, Lennestadt

Die Entstehung von Störlichtbögen in Niederspannungs-Schaltanlagen ist letztlich nicht zu verhindern. Durch aktive Schutzmaßnahmen und der damit einhergehenden kurzen Lichtbogenbrenndauer lassen sich die Auswirkungen jedoch erheblich reduzieren.

1 Einleitung

Stabile Stromnetze sorgen in Deutschland für eine hohe Versorgungssicherheit. So ist die kontinuierliche Verfügbarkeit elektrischer Energie hierzulande nahezu zur Selbstverständlichkeit geworden und Millionen von Verbrauchern und Unternehmen sind heutzutage darauf angewiesen.

Was ein Stromausfall bedeutet, ließ sich erst unlängst durch die Schäden als Folge des Orkans Kyrill wieder feststellen. In solchen Situationen können ganze Leitsysteme in Unternehmen ausfallen, Rechner abrupt abschalten, Daten verloren gehen sowie Maschinen und Geräte plötzlich still stehen. Betroffen davon sind IT-intensive Bereiche wie Banken und Versicherungen, Krankenhäuser mit sensiblen medizintechnischen Geräten sowie Produktsbetriebe, wo Maschinen 24 Stunden am Tag laufen müssen. Das Hochfahren der Rechner und Programme, das Rekonstruieren oder erneute Eingeben von Daten dauert oft Stunden, wenn nicht gar Tage und verursacht enorme Kosten.

Ein Stromausfall mit den geschilderten Folgen muss nicht immer durch den Ausfall der Stromversorgung verursacht sein. Die Verfügbarkeit elektrischer Energie wird daneben wesentlich auch und in hohem Maße durch die Sicherheit der elektrischen Energieverteilungspunkte gewährleistet. Niederspannungs-Schaltanlagen als Haupt- und Gebäudeverteiler kommt hierbei jeweils eine zentrale Bedeutung zu.

Das Auftreten eines Störlichtbogens in solchen Schaltanlagen gefährdet die Sicherheit der Stromversorgung und kann je nach Schadensbild (Bild 1) auch zu mehrtägigen Betriebsunterbrechungen führen.

2 Entstehung von Störlichtbögen

Niederspannungs-Schaltanlagen nach DIN EN 60439-1 „Typgeprüfte Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen“ gewährleisten

dem Betreiber ein hohes Maß an Sicherheit der elektrischen Energieverteilung. Dennoch kann es z. B. durch äußere Einflüsse wie Feuchtigkeit (Kondenswasserbildung), Fremdbelag (Verschmutzung) und transienten Überspannungen zur Zündung eines Störlichtbogens kommen. Ebenso ist nicht auszuschließen, dass über die lange Lebensdauer einer Schaltanlage die Alterung von Isoliermaterialien, z. B. bei Schaltgeräten in Folge von thermischen Überlastungen, Ursache für einen Störlichtbogen sein können. Letztlich sind auch lockere Verbindungen, lose Metallteile oder sogar liegengeliebenes Werkzeug in Schaltanlagen für die Entstehung eines Störlichtbogens verantwortlich.

Insbesondere die weiter voranschreitende kompakte Bauweise der Schaltgeräte und die damit einhergehende höhere Packungsdichte in den Schaltanlagen „begünstigt“ die zuvor genannten Fehlerursachen. Die Wahrscheinlichkeit eines Auftretens von Störlichtbögen nimmt somit eher zu, wobei die Auswirkungen im Schadensfall gravierend sein können aufgrund der physikalischen Effekte und Wirkungsmechanismen eines Lichtbogens.

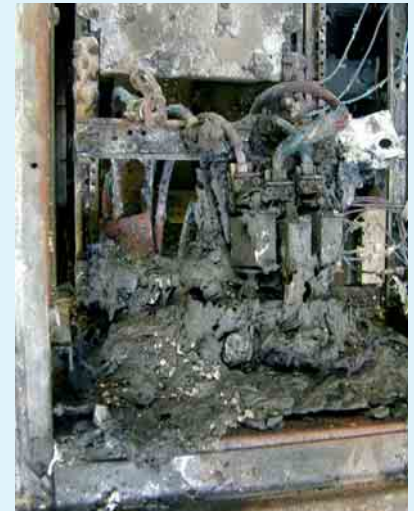
3 Lichtbogenwirkung in einer geschlossenen Schaltanlage

Der Ablauf eines Störlichtbogens kann in drei Phasen eingeteilt werden, die in kurzer zeitlicher Abfolge (Millisekunden) auftreten (Bild 2).

Direkt nach der Zündung des Lichtbogens ent-

steht durch die vom Plasma ausgehende Strahlung ein greller **Lichtblitz**. Die umgebende Luft wird auf 10000 bis 20000 K schlagartig aufgeheizt (Bild 3).

In dieser **ersten Phase** steigt der Druck im betroffenen Innenraum erheblich an. Bei Höchstwerten, die einen Druck von 15 bis 25 t/m²

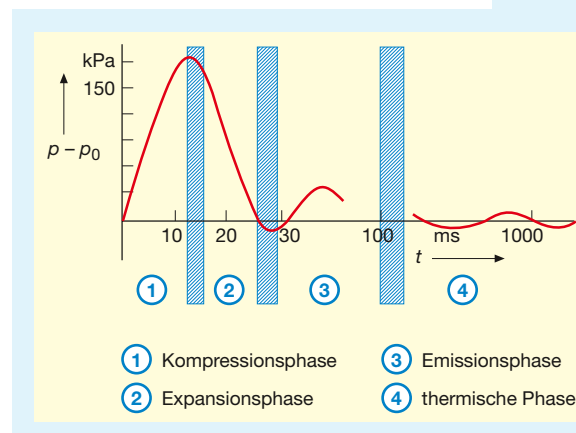


1 Lichtbogenschaden



3 Lichtbogenprüfung

Foto: IPH



- 1 Kompressionsphase
- 2 Expansionsphase
- 3 Emissionsphase
- 4 thermische Phase

2 Zeitverlauf eines Störlichtbogens

Autor

Dipl.-Ing. Rudolf Cater ist Mitarbeiter der Fa. Gustav Hensel, Lennestadt.

ausmachen, können nicht ausreichend befestigte Teile einer Schaltanlage (Seitenwände, Türen, Deckel oder in Türen eingebaute Geräte) weggeschleudert werden und damit zu einer Personengefährdung führen (Bild 4). Der rasante Druckanstieg in den ersten 15 ms wird von einem explosionsartigen Knall begleitet.

In der danach beginnenden **zweiten Phase** wird die aufgeheizte Luft aus der Schaltanlage abgeleitet. Der Druck im betroffenen Schaltanlagenbereich fällt ab.

Nach ca. 100 ms schließt sich die **thermische Phase** an, bei der der Lichtbogen unmittelbar auf die ihn umgebenden festen Materialien (Metalle und Kunststoff) wirkt. In dieser Phase, die bis zum Abschalten des Störlichtbogens andauert, wird im Fußpunkt des Lichtbogens das Kupfer der Sammelschienen verdampft, schlägt sich an den kälteren Oberflächen der Umgebung nieder und brennt dort ein. In die Stahlblechhülle einer Schaltanlage

können aufgrund der hohen Temperaturen große Löcher gebrannt werden (Bild 5). Das den Lichtbogen umgebende Kunststoffmaterial von Schaltgeräten, Sammelschienenträgern oder die Isolation von Kupferleitern kann sich entzünden und brennend abtropfen.

Insgesamt entstehen durch die Verbrennungsrückstände und den Metallablagerungen leitende Oberflächen, die das Isolationsniveau der Schaltanlage im Inneren deutlich reduzieren.

Charakteristisch für den Störlichtbogen ist weiterhin, dass er von seinem Entstehungspunkt, z. B. auf einer Sammelschiene, mit hoher Geschwindigkeit (ca. 3 bis 4 m in 100 ms) in Energieflussrichtung weiterläuft, getrieben durch das den Leiter umgebende starke Magnetfeld.

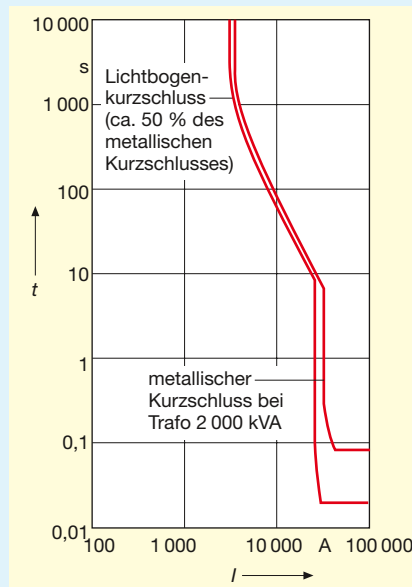
Hierdurch wird auch verständlich, warum der Teil der Schaltanlage mit dem größten Schadensbild mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht identisch ist mit der Stelle, an dem der Stör-



4 Verbeulte Türen



5 Lichtbogenschaden



6 Abschaltkennlinie eines ACB mit unbeeinflussten und Lichtbogenkurzschlussstrom



7 Schutzziele

lichtbogen gezündet wurde. Der größte Schaden tritt dort ein, wo der Störlichtbogen bedingt durch entsprechende Barrieren – wie Sammelschienenhalter oder Feldtrennungen – an einer Weiterverbreitung gehindert wird.

Von Bedeutung ist auch, dass der Störlichtbogen erheblich impedanzbehaftet ist und somit der mögliche unbeeinflusste Kurzschlussstrom an der Einbaustelle der Schaltanlage nur selten zum Fließen kommt. Erfahrungsgemäß reduziert sich dieser Wert auf bis zu 50 % und führt damit zu unzulässig langen Abschaltzeiten der Kurzschlussselektoreinrichtungen in der Einspeisung der Schaltanlage oder in den Abgangsstromkreisen (Bild 6).

So ist vorstellbar, dass es ohne geeignete Schutzvorkehrungen zu Personenschäden durch Verbrennungen oder auch größeren Schäden an der Schaltanlage kommen kann. Bedingt durch den Austausch von einigen Schaltfeldern oder schlimmstenfalls der kompletten Schaltanlage kann es zu tagelangem Produktionsstillstand kommen.

Aus diesem Grund wird immer häufiger die Forderung nach störlichtbogensicheren Niederspannungs-Schaltanlagen gestellt.

4 Schutzziele der Störlichtbogensicherheit

4.1 Passiver Schutz

Im Beiblatt 2 zur DIN EN 60439-1, Ausgabe Oktober 1997, und dem Entwurf des Beiblatts 2 vom März 2001 „Verfahren für die Prüfung unter Störlichtbogenbedingungen“ ist der Personenschutz und der Anlagenschutz als Schutzziel für Niederspannungs-Schaltanlagen definiert (Bild 7). Anhand festgelegter Anforderungen werden Schaltanlagensysteme geprüft, um festzustellen, ob die Kriterien für den Personenschutz und/oder Anlagenschutz erfüllt werden.

Die fünf Kriterien für den **Personenschutz** lauten:

- Türen und Abdeckungen dürfen sich nicht öffnen
- Teile der Schaltgerätekombination dürfen nicht wegfliegen
- Es dürfen keine Löcher in die Außenhülle der Schaltgerätekombination eingebrannt werden
- Stoffindikatoren, die im Abstand vor der Schaltanlage aufgebaut werden, dürfen sich nicht entzünden
- Erdverbindungen, insbesondere der Schutzleiterstromkreis in der Schaltanlage, müssen erhalten bleiben.

Für den **Anlagenschutz** sind folgende Kriterien festgelegt:

- Der Störlichtbogen bleibt begrenzt und in den angrenzenden Bereichen erfolgen keine Neuentzündungen
- Nach Störungsbeseitigung bzw. nach Abtrennen oder Ausbau der betroffenen

Funktionseinheiten ist ein Notbetrieb der Schaltgerätekombination möglich.

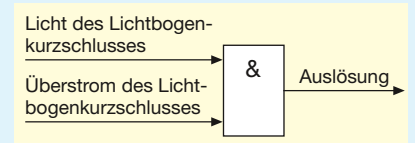
Die Prüfdauer ist auf mindestens 100 ms festgelegt, kann aber auch bis zu 300 ms oder darüber hinaus je nach Kundenanforderung ausgedehnt werden. Die Prüfung ist keine Typenprüfung im Sinne der DIN EN 60439-1, sondern unterliegt immer einer besonderen Vereinbarung zwischen dem Hersteller der Schaltgerätekombination und dem Betreiber der Anlage.

Insbesondere durch konstruktive Maßnahmen innerhalb des Schaltanlagensystems können die zuvor genannten Prüfanforderungen und die Einhaltung der Kriterien erfüllt werden. So wird z. B. durch verstärkte Zuhaltungen im Scharnier- und Verschlussystem der Türen dafür gesorgt, dass diese bei entstehendem Druckanstieg nicht aufliegen. Einbaugeräte in den Türen werden durch zusätzliche Schraubbefestigungen gesichert. Druckentlastungskappen sorgen dafür, dass der Überdruck gezielt aus den Schaltfeldern abgeleitet wird und damit Seitenwände, Rückwände und Flanschplatten druckentlastet werden.

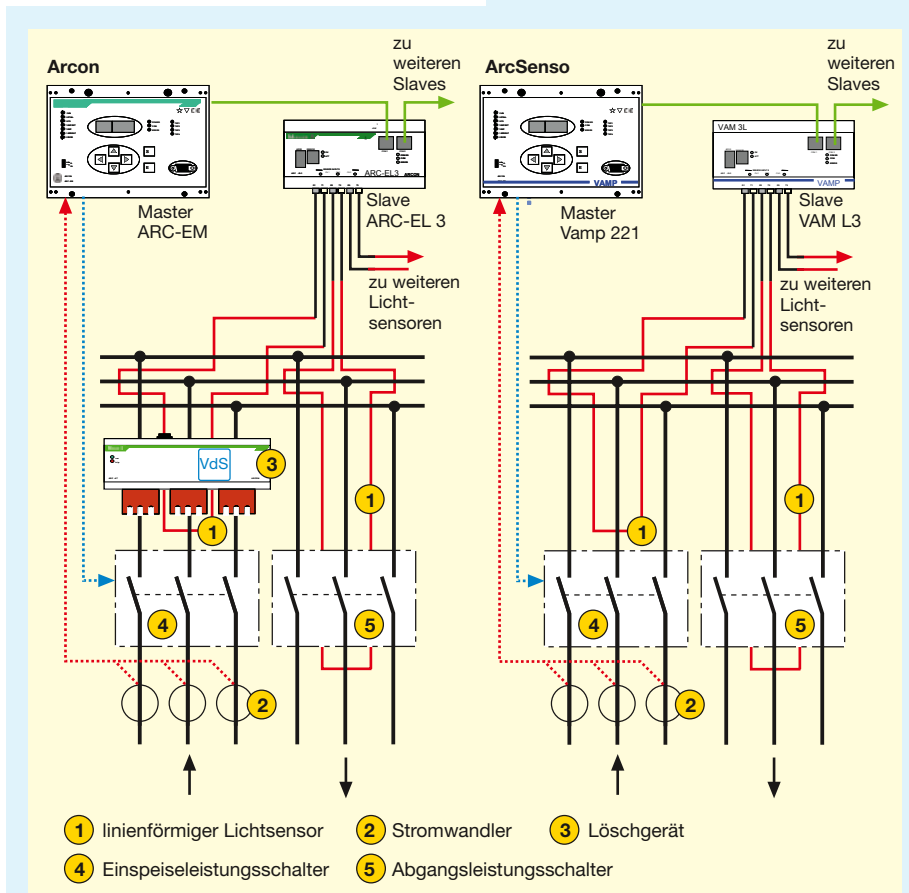
Isolierte Sammelschienen und Sammelschiendurchführungen verhindern die Wanderung des Lichtbogens. Sammelschienenbarrieren und Feldtrennwände sorgen dafür, dass der Störlichtbogen nicht in ein benachbartes Schrankfeld gelangt. Innere Unterteilungen



8 Lichtbogenerfassung



9 UND-Verknüpfung von Überstrom und Licht des Störlichtbogens



10 Funktionsschemata beider Systeme



⑩ Lichtbogenlöschgerät

der Schrankfelder gewähren einen verbesserten Schutz gegen Hereinfallen von losen Metallteilen oder Werkzeug bei Arbeiten von in der Nähe unter Spannung stehender Bereiche, z. B. beim Anschluss von Steuerleitungen oder Reserveabgängen. Insgesamt handelt es sich hierbei um Maßnahmen, die einen **passiven Störlichtbogenschutz** darstellen.

Der Störlichtbogen wird zwar in seiner Ausbreitung behindert und damit die Auswirkungen bezüglich des Personenschutzes und innerhalb der Schaltanlage begrenzt, es verbleiben jedoch je nach Wirkungsdauer erhebliche Schäden, da der Störlichtbogen hier in der Regel erst durch eine Schutzeinrichtung in der Einspeisung zum Verlöschen gebracht

wird. Wie bereits zuvor dargestellt, hängt die Zeitdauer ausschließlich von der Höhe des Störlichtbogenstromes ab.

Wenn letztlich die Entstehung des Störlichtbogens nicht gänzlich verhindert werden kann, so lautet die Zielsetzung zur Erhöhung des Personen- und Anlagenschutzes, den Lichtbogen so schnell wie möglich zum Verlöschen zu bringen. Dies kann durch aktive Störlichtbogensicherheit erreicht werden.

4.2 Aktiver Schutz

Zur Realisierung eines aktiven Störlichtbogenschutzes in Niederspannungs-Schaltanlagen ist es notwendig, zusätzliche Komponenten in die Schaltanlage einzubauen, die in der Lage

sind, einen entstehenden Störlichtbogen zu registrieren, ihn zweifelsfrei als Schadensereignis zu erkennen und anschließend durch aktive Maßnahmen sehr schnell zum Verlöschen zu bringen.

Das Niederspannungs-Schaltanlagen-System SAS 5000 der Fa. Hensel bietet beispielsweise mit ArcSenso und Arcon zwei aktive, geprüfte Systeme an, deren Funktion und Wirkungsweise nachstehend beschrieben ist.

Funktionsweise. Entsprechend den zuvor beschriebenen Wirkungsphasen nach der Entstehung des Störlichtbogens ist es wichtig und gleichzeitig verhältnismäßig leicht, den Störlichtbogen optisch zu erkennen. Hierzu wird in jedem Schrankfeld ein Lichtwellenleiter parallel zu den Haupt- und Verteilsammelschienen verlegt sowie im Bereich der Verschienenung der Einspeiseschalter als auch im Anschlussbereich der Abgangsstromkreise (Bild 8).

Stromwandler in den Einspeisungen erfassen den Überstrom beim Lichtbogenkurzschluss. Nur wenn beide Informationen vorhanden sind, erfolgt der Befehl, aktiv den Störlichtbogen zu begrenzen (Bild 9).

Bei mehreren Sammelschienenabschnitten, die durch Kuppelschalter voneinander getrennt sind, sind separate Auswertemodule notwendig, um eine selektive Abschaltung zu gewährleisten. Nur der betroffene Sammelschienenabschnitt soll – falls hier ein Störlichtbogen auftritt – so schnell wie möglich vom Netz getrennt werden, während die übrigen Sammelschienenabschnitte weiter in Betrieb bleiben.

Bei dem System ArcSenso (Bild 10) wird nach Auswertung der zuvor beschriebenen zweifelsfreien Störlichtbogenerkennung über das entsprechende Modul ein Befehl auf den Arbeits-

stromauslöser des speisenden Leistungsschalters gegeben, der dann unverzüglich, ausschließlich bestimmt durch seine Ausschaltzeit in maximal 30 ms, dem Störlichtbogen die Energie entzieht und ihn damit zum Verlöschen bringt. Gleichzeitig wird die Schaltanlage vom Netz getrennt und damit der Kurzschlussstrom unterbrochen.

Durch die schnelle Erfassung des Störlichtbogens und die zuvor beschriebene Art der Abschaltung werden Schäden in der Schaltanlage minimiert. Bei richtigem passiven Schutz kann nach Beseitigung des Fehlers – ggf. Austausch von Geräten und Reinigung des Schalt-

feldes – nach der Isolationsmessung die Anlage wieder in Betrieb genommen werden.

Beim System Arcon (Bild 10) wird – nach Auswertung der analogen Sensorsignale – die Information, dass ein Störlichtbogen in der Schaltanlage aufgetreten ist, innerhalb 1 ms an ein Lichtbogenlöschgerät (Bild 11) weitergeleitet. Dieses Gerät ist unmittelbar hinter dem Einspeiseschalter des jeweiligen Sammelschienenabschnittes leicht erreichbar angeordnet.

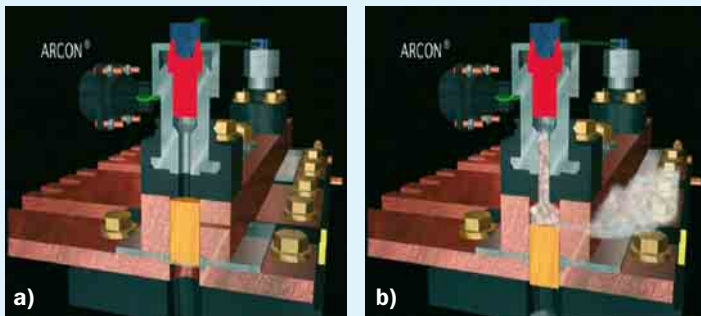
In weniger als 1 ms erzeugt es einen 3-phasi- gen Kurzschluss und nimmt damit dem

Störlichtbogen seine Energie. Die schnelle Reaktion wird durch einen pyrotechnischen Antrieb – wie er aus dem Fahrzeug-Airbag bekannt ist – erreicht: Ein Kupferbolzen durchschlägt eine Isolierplatte und stellt damit den elektrischen Kurzschluss her (Bilder 12a und b).

Der Lichtbogen verlöscht nach 2 ms, ohne dass in der Schaltanlage ein nennenswerter Schaden aufgetreten ist (Bild 13).

Nach Beheben des Fehlers ist die Schaltanlage wieder zuschaltbereit. Parallel zu dem Löscherät wird der einspeisende Leistungsschalter über einen Abschaltbefehl auf dem Arbeitsstromauslöser ausgeschaltet. Damit wird der betroffene Sammelschienenabschnitt nach ca. 30 ms freigeschaltet.

Das Löscherät muss danach ausgetauscht werden. Die Lichtwellenleiter werden durch die kurze Wirkungsdauer des Störlichtbogens nicht beeinträchtigt und bleiben in Funktion. Das gesamte Erkennungssystem überprüft sich selbst und meldet sofort, wenn ein Fehler in der Elektronik oder im Bussystem auftritt.

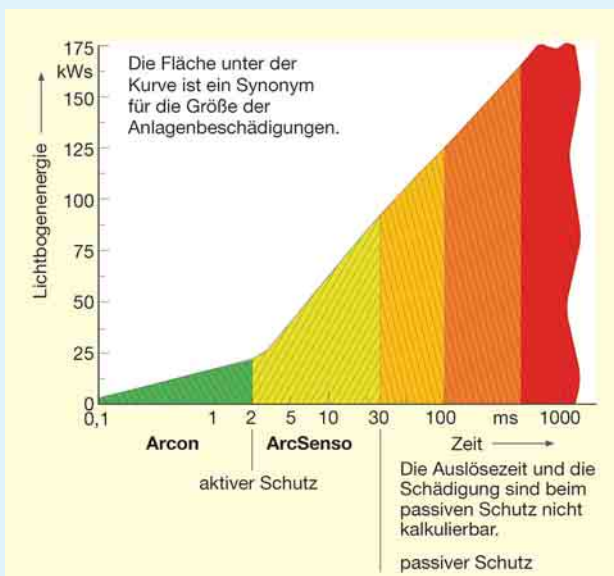


12 Pyrotechnischer Antrieb

- a) Bolzen ruht in der Führung
- b) Bolzen hat die Isolierung durchdrungen, es ist ein Kurzschluss hergestellt



13 Schadensbild – 440 V, 100 kA unbeeinflusster Kurzschlussstrom mit Löschung durch Löscherät



14 Energieumsatz

Fotos: Hensel

5 Zusammenfassung

Die Entstehung von Störlichtbögen in Niederspannungs-Schaltanlagen ist aus den dargestellten Gründen letztlich nicht zu verhindern. Die Erfüllung der Kriterien, wie sie im Beiblatt 2 der DIN EN 60439-1 für den Personen- und Anlagenschutz beschrieben sind, gewährleisten dem Betreiber der Schaltanlage einen Störlichtbogenschutz, der je nach definiertem Bereich dennoch zu erheblichen Schäden in einer Schaltanlage führen kann.

Nur durch aktive Schutzmaßnahmen und der damit einhergehenden kurzen Lichtbogenbrenndauer lassen sich die Auswirkungen auf ein Mindestmaß reduzieren (Bild 14). Die Systeme ArcSenso und Arcon für Niederspannungs-Schaltanlagen bieten dem Betreiber unter den Aspekten Sicherheit und Wirtschaftlichkeit die Chance einer Risikoabwägung hinsichtlich eines Stromausfalls.

Mit einer Lichtbogenlöscherzeit von 2 ms ist das System Arcon als aktives Störlichtbogenschutzsystem die beste Lösung im Hinblick auf eine hohe Verfügbarkeit der elektrischen Energie. Nach Beseitigung des Fehlers kann die Schaltanlage innerhalb kürzester Zeit wieder zugeschaltet werden, während es bei rein passivem Schutz unter Umständen Tage dauern kann, bis die Schaltanlage wieder funktionsfähig ist.

Damit liefert das System einen aktiven Beitrag zur Sicherung der kontinuierlichen Stromversorgung und darüber hinaus Vorteile beim Versicherungsschutz, da das System durch den VdS zertifiziert ist.