

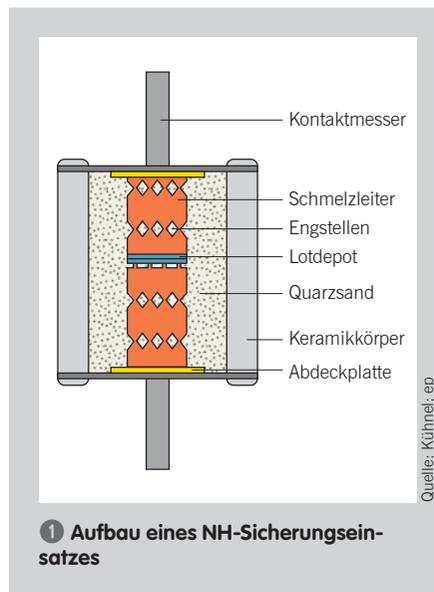
Erkenntnisse zur Einbaulage von Sicherungen belegt

Einbaulage beeinflusst nicht den sicheren Betrieb von NH-Sicherungen

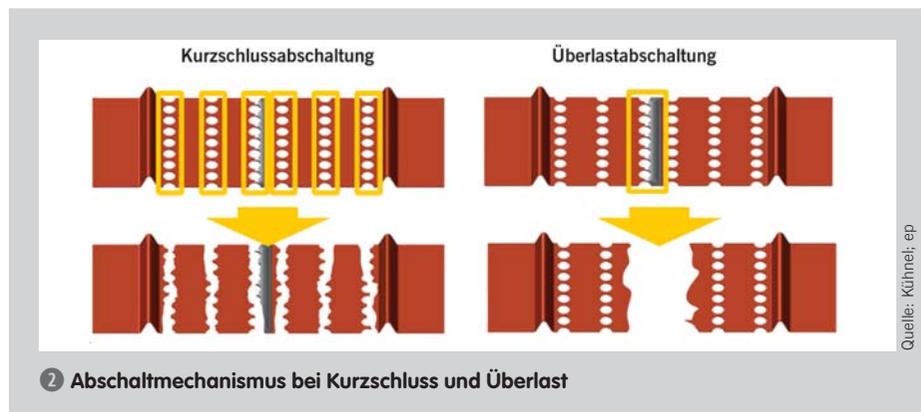
In der Ausgabe ep 03/2018 erschien der Beitrag „Auf die richtige Einbaulage kommt es an“ [1]. Der Autor kommt zu dem Ergebnis, dass die Einbaulage entscheidend für das Abschaltverhalten von NH-Sicherungen ist. Aktuelle Untersuchungen im Rahmen eines laufenden Forschungsprojekts belegen, dass die Abschaltzeiten horizontal, vertikal, oder auf dem Kopf betriebener Sicherungen mit einem Einfluss kleiner 10 % variieren, was dem maximalen Toleranzband einer Serienfertigung entspricht.

NH-Sicherungen finden ihren Einsatz seit über 100 Jahren in der Elektrotechnik. Dabei haben sich Aufbau und Eigenschaften in allen Bereichen bewährt. Sicherungen werden in geeigneten Leisten und Unterteilen eingesetzt und schützen Betriebsmittel zuverlässig vor Fehlerströmen wie Kurzschlüssen oder Überlasten. Sowohl in Wechselstrom- als auch Gleichstromkreisen schützen sie so zuverlässig vor Schäden an Leitungen und Geräten, ebenso vor Unfällen mit Menschen und Tieren. Fehlerströme werden dabei emissionsfrei und unabhängig von der Einbaulage geschaltet.

Durch unterschiedliche Schmelzleiterkonstruktionen, angepasst an den jeweiligen Anwendungsfall, wird dabei ein sehr umfassendes Einsatzgebiet ermöglicht. Hierbei gibt es spezielle Ausführungen von Sicherungen, die nur Kurzschlussströme (Teilbereichssicherungen) und Sicherungen, die sowohl



Überlastströme als auch Kurzschlussströme abschalten können (Ganzbereichssicherungen) [2]. Letztere Typen besitzen einen speziell konstruierten Schmelzleiter, der beide Funktionen in sich vereint. Besonders in Niederspannungsnetzen sind Ganzbereichssicherungen weit verbreitet.



Einbaulage der Sicherung

Im Folgenden seien einige Anwendungen gezeigt, die die Vielzahl unterschiedlicher Einsatzgebiete mit verschiedensten Einbaulagen verdeutlichen. Die häufigste Anwendung ist in Energieverteilnetzen. Hier werden die Sicherungen in Lastschaltleisten, Sicherungsleisten oder Lasttrennschaltern in senk-rechter Einbaulage eingesetzt. Während typischerweise Sicherungen in Leserichtung der Beschriftung eingesetzt werden, ist nicht auszuschließen, dass sie unachtsam auch in umgekehrter Richtung montiert werden. In Industrieanlagen oder öffentlichen Gebäuden wie Krankenhäusern und Flughäfen kommen oft Geräte zum Einsatz, die waagrecht angeordnet sind. In der Automobilindustrie hingegen sind Verteilschiensysteme verbreitet, die in den Fertigungshallen an der Decke montiert sind und die Stromversorgung der jeweiligen Maschinen und Fertigungseinrichtungen sicherstellen. Die eingesetzten Sicherungen sind über Kopf angeordnet und versehen auch hier zuverlässig ihren Dienst, sowohl im Überlast- als auch im Kurzschlussbereich.

Diese Vielfalt unterschiedlicher Anwendungsfälle wird dabei durch die zuverlässige Funktion von Sicherungen, unabhängig von ihrer Lage ermöglicht. Im Gegensatz zu Schaltgeräten, die mit Luft als Löschgas arbeiten und deren Einbaulage aufgrund der ausbläsenden Schaltgase vorgegeben ist, ist eine Einschränkung der Einbaulage bei Sicherungen nicht erforderlich. Unabhängig von der Richtung ihrer Montage liegen ihre Ausschaltzeiten innerhalb eines von der Norm vorgegebenem zeitlichen Streubandes.

Funktionsprinzip bei Kurzschluss und Überlast

Innerhalb der Sicherung wird das Unterbrechen des Fehlerstromes abhängig vom Bemessungsstrom von einem oder mehreren

Autoren

Dipl.-Ing. Christian Kühnel und Dr.-Ing. Stephan Schlegel sind Mitarbeiter am Lehrstuhl für Hochspannungs- und Hochstromtechnik an der Technischen Universität Dresden.

Dipl.-Ing. (FH) Arnd Schüppenhauer ist Sachverständiger und Inhaber eines Ingenieurbüros, Wiesbaden-Nordstadt.

Dipl.-Ing. Ulrich Haas war Leiter der Forschung und Entwicklung von Sicherungseinbauten bei SIBA, Lünen. Dr.-Ing. Herbert Bessei ist Inhaber eines Consulting-Büros, Bad Kreuznach.

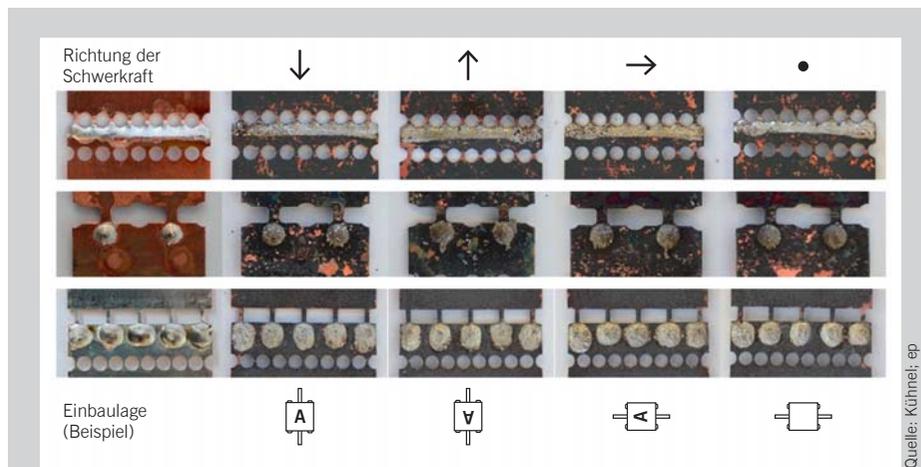
Dipl.-Ing. Volker Seefeld ist Vorstandsvorsitzender des NH/HH-Recycling e. V., Stamsried.

Schmelzleitern ausgeführt. Diese sind zwischen zwei Kontaktmessern montiert und befinden sich in einem Keramikgehäuse, das mit Quarzsand gefüllt ist (Bild 1).

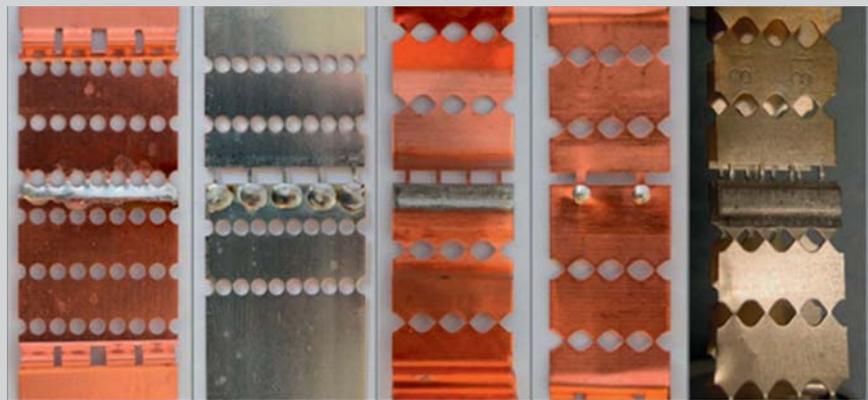
Entlang des Schmelzleiters befinden sich Reihen mit definiert verringertem Querschnitt, die als Engstellen bezeichnet werden. Im Kurzschlussfall erwärmen sich diese adiabatisch und schmelzen nahezu gleichzeitig auf (Bild 2). Es zünden mehrere Lichtbögen in Reihe, die durch die Schmelzwärme des umgebenden Quarzsandes intensiv gekühlt werden, bis die Lichtbogenspannung die Netzspannung überschreitet und der Strom unterbrochen wird. In der Regel erfolgt der Schaltvorgang bereits vor Erreichen des Stoßkurzschlussstromes. Diese effektive strombegrenzende Wirkung ist eine der wichtigsten Eigenschaften der Sicherung.

Um bei anhaltender Überlast ein Ausschalten auch bei geringeren Fehlerströmen zu ermöglichen, befindet sich zusätzlich an der wärmsten Stelle des Schmelzleiters, meist in der Schmelzleitermitte, ein Material mit geringerer Schmelztemperatur. Meist werden zinnhaltige Weichlote eingesetzt (Bild 1). Im Fehlerfall schmilzt dieses Lot und reagiert mit dem Schmelzleiter. Durch die temperaturabhängige Interdiffusion bilden sich neue Legierungen mit meist geringerer elektrischer Leitfähigkeit. Gleichzeitig wird auch ein Teil des Schmelzleiters im flüssigen Lot gelöst. Beide Mechanismen führen dazu, dass der Schmelzleiterquerschnitt zunehmend verringert wird und sich der elektrische Widerstand sowie die Verlustleistung und damit auch die Temperatur erhöhen. Mit höherer Temperatur beschleunigen sich diese Prozesse kontinuierlich, bis der Schmelzleiter in diesem Bereich vollständig geschmolzen ist und ein Lichtbogen zündet (Bild 2). Dieser brennt zunächst in Richtung der Kontaktmesser, bis er in einem natürlichen Stromnulldurchgang selbstständig erlischt und die intensive Kühlung durch die Schmelzwärme des Quarzsandes ein erneutes Zünden verhindert [3], [4].

Für einen erfolgreichen Schaltvorgang ist es wichtig, dass die physikalischen Prozesse bis zum Schmelzen des Schmelzleiters ausreichend schnell ablaufen, um die Sicherung und benachbarte Teile thermisch nicht zu überlasten und die Normvorgaben des Kennlinienverlaufs einzuhalten. Dafür ist ein genügend großer Konzentrationsgradient zwischen Schmelzleiter und Lot notwendig, der durch ein optimal abgestimmtes Lotvolumen an einer definierten Position des Schmelzleiters erreicht wird. Eine direkte Positionierung des Lotes auf der Engstelle ist dabei nicht not-



3 Formstabilität unterschiedlicher Lotdepots nach mehrmaligem Schmelzen und Erstarren, abhängig von der Lage des Lotdepots/der Einbaulage der Sicherung



4 Beispiele unterschiedlicher Engstellen- und Lotgeometrien

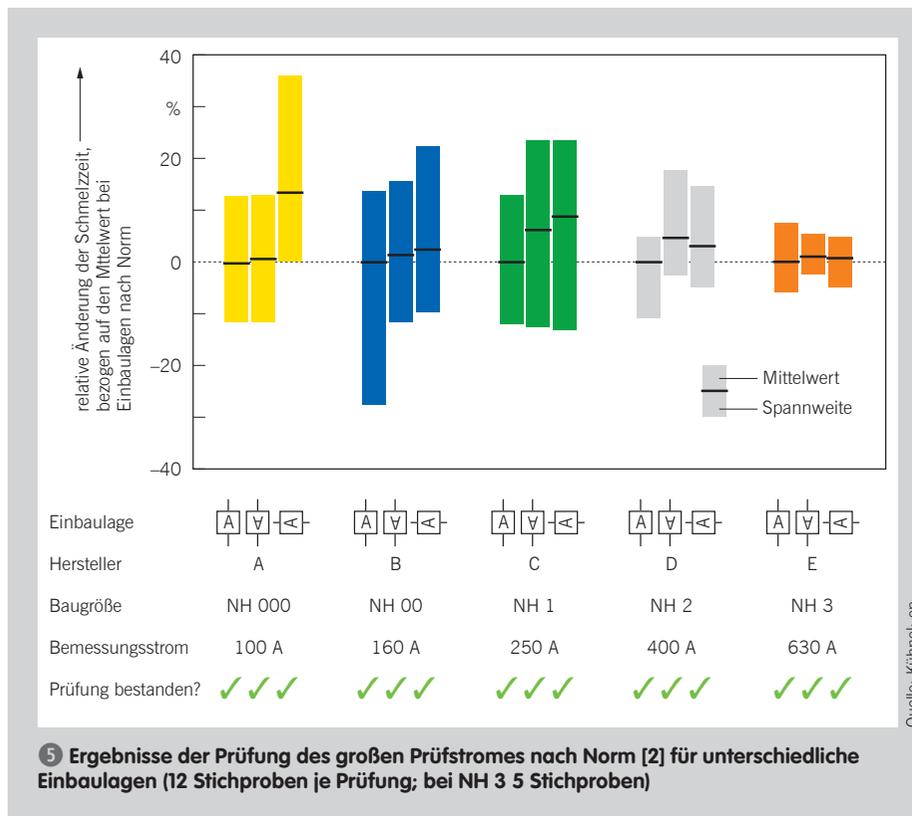
wendig und kann sich tendenziell sogar nachteilig auswirken [5]. Eine Bewegung des Lotes im flüssigen Zustand wird zusätzlich durch eine Oxidhaut auf der Lotoberfläche behindert. Deren Wachstumsgeschwindigkeit erhöht sich bei höheren Temperaturen und verbessert die Formstabilität des Lotdepots. So wird ein erfolgreicher Abschaltvorgang unabhängig von der Lage des Lotes und damit der Einbaulage des Sicherungseinsatzes erreicht.

Die Formstabilität des Lotdepots im flüssigen Zustand konnte auch in aktuellen Untersuchungen im Rahmen eines laufenden Forschungsprojekts anschaulich gezeigt werden. Hierbei wurden in einem real nicht vorkommenden Worst-Case-Szenario Sicherungseinsätze von unterschiedlichen Herstellern in allen theoretisch möglichen Einbaulagen für zehn Tage bei einer Temperatur von 250 °C im Wärmeschrank gelagert, sodass sich alle Lote im flüssigen Zustand befanden. Zusätzlich wurde täglich einmal auf Umgebungstemperatur abgekühlt, um ein Aufbrechen vorhandener Oxidschichten zu begünstigen. Nach Abschluss der

Versuche wurden die Sicherungseinsätze demontiert und die Lotdepots begutachtet. Bei keinem der untersuchten Sicherungseinsätze konnten dabei zerflossene oder in ihrer Form und Position signifikant veränderte Lotdepots festgestellt werden (Bild 3).

Präzise Fertigung für eine zuverlässige Funktion

Um die Normvorgaben des Kennlinienverlaufs in der Praxis zu erfüllen, ist eine hohe Präzision bei der Fertigung von Sicherungen notwendig. Vor allem die Ausstattungen des Schmelzleiters stehen hier besonders im Fokus. Schließlich kann schon eine geringe Abweichung eines Zehntelmillimeters in der Stegbreite im Engstellenbereich den Kennlinienverlauf maßgeblich verändern. Je nach Art der Engstellen lässt sich ein trägeres oder flinkeres Ansprechen der Sicherung realisieren. Die Hersteller verwenden z. B. runde, rautenförmige oder eckige Ausstattungen (Bild 4). Dies geschieht, um eigenen Interpretationen von kurzschlussflinkem oder



5 Ergebnisse der Prüfung des großen Prüfstromes nach Norm [2] für unterschiedliche Einbaulagen (12 Stichproben je Prüfung; bei NH 3 5 Stichproben)

überlastträgem Verhalten zu folgen. Das Optimum liegt dann in niedrigen Werten der Erwärmung und der Leistungsabgabe im Normalbetrieb und einem definierten Abschaltverhalten bei Überströmen.

Bei der Art des Lotdepots auf dem Schmelzleiter findet man bei den Herstellern sehr unterschiedliche Techniken, die ein hohes Maß eigenen Know-hows widerspiegeln (Bild 4). Allen Varianten ist gemein, dass großer Wert auf die richtige Positionierung des Lotes und ein konstantes Lotvolumen gelegt wird. Das Lot wird in den Verarbeitungsmaschinen dafür vollautomatisch aufgetragen, wodurch eine gleichbleibende Menge und konstante Positionierung des Werkstoffs sichergestellt wird. Heute gefertigte Sicherungseinsätze erreichen durch diese automatische Verarbeitung des Schmelzleiters und des Lotes in Verbindung mit den hohen Qualitätsanforderungen der Hersteller an den Aufbau der Sicherung eine zuverlässige und gleichbleibende Schutzfunktion innerhalb der Normvorgaben.

Allerdings erfolgt der Abschaltvorgang nicht digital. Da die Funktion der Schmelzsicherung auf Erwärmungsvorgängen basiert, hat die Umgebung unmittelbare Einwirkung auf die Ausschaltzeit. Einflüsse wie eine zusätzliche Erwärmung durch benachbarte Bauteile, eine behinderte Wärmeabgabe bei Betrieb in verschiedenen Sicherungsschalt-

geräten oder eine zusätzliche Kühlung durch Konvektion müssen bei der Auswahl des Bemessungsstroms der Sicherung berücksichtigt werden.

Sicheres Schalten in jeder Einbaulage

Um mögliche Unsicherheiten bei Anwendern hinsichtlich der Einbaulage von NH-Sicherungen zu vermeiden, wurde neben den vorstehenden Ausführungen zusätzlich das Ausschaltverhalten von NH-Sicherungen (gG) unterschiedlicher Baugrößen abhängig von der Einbaulage praktisch untersucht. Entsprechend den normativen Vorgaben [2] wurden dabei Sicherungseinsätze mit dem großen Prüfstrom $I_f = 1,6 \cdot I_n$ (Bemessungsstrom (Nennstrom) der Schutzeinrichtung) geprüft. Für eine erfolgreiche Prüfung muss dieser innerhalb der sogenannten konventionellen Prüfdauer sicher und zuverlässig durch die Sicherung unterbrochen werden.

Die in der Prüfung gemessenen Ausschaltzeiten erfüllen dabei für alle Baugrößen und in jeder Einbaulage die normativen Anforderungen für den Überlastbereich (Bild 5). Vorhandene Unterschiede zwischen vertikaler und horizontaler Einbaulage sind vor allem auf eine veränderte Wärmeabgabe der Sicherungen an die Umgebung zurückzuführen.

Ein sicherer und zuverlässiger Ausschaltvorgang innerhalb der zulässigen Kennlinien-toleranz ist jedoch bei allen Prüflingen zu jeder Zeit gewährleistet.

Fazit

Zusammenfassend kann damit herausgestellt werden, dass sowohl für die grundlegenden physikalischen Wirkmechanismen der Überlastabschaltung als auch für die Anwendung unter praktischen Betriebsbedingungen die zuverlässige Funktion von Sicherungen unabhängig von der Lage des Lotes und damit der Einbaulage der Sicherung ist. Bei korrekter Auswahl durch die Elektrofachkraft schützt die Sicherung zuverlässig vor den Auswirkungen aller Fehlerströme, beginnend bei geringen Überlastströmen bis zu Kurzschlussströmen in Höhe des Bemessungsausschaltstroms in jeder Einbaulage.

Literatur

- [1] Holfeld, A.: Auf die richtige Einbaulage kommt es an – Funktion des Überlastschutzes von NH-Sicherungen und Probleme, Elektropraktiker, Berlin 72 (2018) 3, S. 212–216.
- [2] DIN EN 60269-1 (VDE 0636-1):2015-05 Niederspannungssicherungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen.
- [3] Johann, H.: Elektrische Schmelzsicherungen für Niederspannung. Vorgänge, Eigenschaften, technischer Einsatz. Springer, 1982.
- [4] Bessei, H.: Sicherungshandbuch – Das Handbuch für Anwender von Niederspannungs- und Hochspannungssicherungen, Kerscheneiner Verlag, 2011.
- [5] Klepp, G.: Über das Abschmelzverhalten von Sicherungsschmelzleitern im Überlastbereich, Dissertaion, Braunschweig 1982.

ep TIPP

Lesen Sie auch den Fachbeitrag „Auf die richtige Einbaulage kommt es an – Funktion des Überlastschutzes von NH-Sicherungen und Probleme“ von Dipl.-Ing. Andreas Holfeld in ep 03/2018 auf den Seiten 212–216.

© 2018
Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigungen auf Datenträgern jeglicher Art sind verboten.

HUSS-MEDIEN GmbH
Am Friedrichshain 22, 10407 Berlin
Tel.: 030 42151-378
Fax: 030 42151-251
Internet: www.elektropraktiker.de