

## Herausforderungen beim Einsatz von NH-Sicherungen (gG) in modernen Energieversorgungsnetzen

Sicherungen werden seit Jahrzehnten erfolgreich zum Schutz vor Überlast- und Kurzschlussströmen eingesetzt. Aufgrund steigender Anforderungen treten jedoch zunehmend Probleme, vor allem beim Einsatz bei erhöhten Umgebungs- und Sammelschienentemperaturen, auf. Aktuelle Untersuchungen an der TU Dresden beschäftigen sich daher mit der Definition von Kriterien für einen langzeitstabilen Betrieb von Sicherungen auch unter den erschwerten Einsatzbedingungen moderner Energieversorgungsnetze.

Ein vergleichsweise einfaches, kostengünstiges Konstruktionsprinzip in Kombination mit einer hohen Zuverlässigkeit machten Sicherungen in der Vergangenheit zu einen der wichtigsten Überstromschutzeinrichtungen. Für eine hohe Versorgungssicherheit, die besonders auch im Kontext der Energieende zu einem der zentralen energiepolitischen Ziele gehört, muss eine fehlerfreie Funktion der Sicherungen unter allen Betriebsbedingungen gewährleistet werden. Vor allem Niederspannung-Hochleistungs(NH)-Sicherungen sind in den Elektroenergienetzen aufgrund wirtschaftlicher Aspekte und steigender Strombelastung zunehmend höheren Anforderungen ausgesetzt, sodass sich das ursprüngliche Belastungsprofil der Sicherungen immer mehr ändert. Kostendruck und ein steigendes Bedürfnis nach Sicherheit führen zu immer kompakteren und zu immer stärker gekapselten Anlagen. Auch durch eine zunehmende Sekundäreinspeisung in Niederspannungsnetzen werden Verteilstationen zu Einspeisestationen mit gleichzeitig anhaltend hoher Strombelastung mehrerer Stromkreise. In Kombination mit dem Trend zu immer höheren zulässigen Grenztem-

peraturen von Betriebsmitteln führen diese Randbedingungen zu einer stetig steigenden thermischen Beanspruchung der Sicherungen. Da die Auslösecharakteristik der Sicherungen neben konstruktiven Kriterien maßgeblich von den vorherrschenden Umgebungsbedingungen beeinflusst wird, können Fehler in Form von Fehlabschaltungen oder Schaltversagen die Folge sein.

Das betrifft in besonderem Maß den Mechanismus der Überlastabschaltung. Ganzbereichssicherungen sind im Gegensatz zu Teilbereichssicherungen in der Lage, neben Kurzschlussströmen auch bereits durch Überlasten auftretende Ströme sicher zu unterbrechen. Dafür muss jedoch ein Aufschmelzen des Schmelzleiters bereits bei deutlich geringeren Temperaturen stattfinden. Um das zu erreichen, wird der temperaturabhängige Prozess der Interdiffusion genutzt. An der wärmsten Stelle des Schmelzleiters befindet sich dafür in der Regel ein legiertes Lot mit niedriger Schmelztemperatur. Dafür wird meist ein zinnhaltiges Weichlot eingesetzt, das mit steigender Temperatur zunehmend mit dem Schmelzleitermaterial reagiert. Wird die Schmelztemperatur des Lotes überschritten, erhöht sich die Reaktionsgeschwindigkeit der Interdiffusion zwischen Lot und Schmelzleiter stark. Durch die Interdiffusion werden verschiedene intermetallische Phasen und Mischkristallphasen aus Lot- und Schmelzleitermaterial gebildet, die deutlich schlechtere elektrische und mechanische Eigenschaften als die der Ausgangsmetalle besitzen. Gleichzeitig wird der Schmelzleiterquerschnitt kontinuierlich verringert. In der Folge erhöhen sich der elektrische Widerstand und die Stromdichte im entsprechenden Bereich. Ein Anstieg der Verlustleistung und der Temperatur sind die Folge, wodurch wiederum der Prozess der



Dipl.-Ing. *Christian Kühnel* (links), Dr.-Ing. *Stephan Schlegel* und Prof. Dr.-Ing. *Steffen Großmann* (rechts), alle Verfasser: Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik, TU Dresden



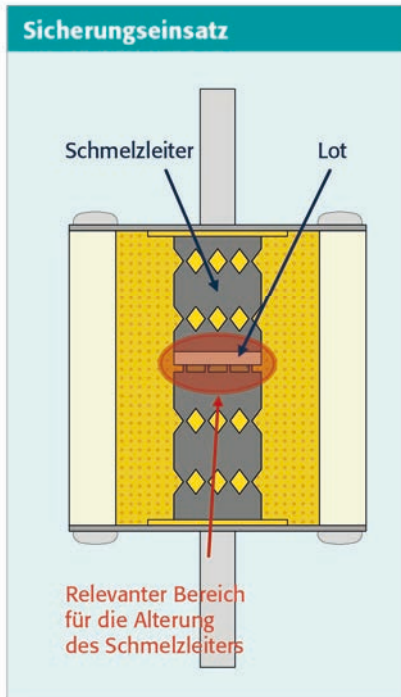


Bild 1: Sicherungseinsatz mit Schmelzleiter und Lot

Interdiffusion beschleunigt wird. Dies geht soweit, bis der Schmelzleiter im lotbeschichteten Bereich aufschmilzt und der Abschaltvorgang eingeleitet wird (Bild 1).

Infolge der steigenden thermischen Beanspruchung der Sicherung tritt zunehmend bereits im Normalbetrieb eine frühzeitige Alterung dieser auf. Für den Schmelzleiter sind hier vor allem die Alterung durch Interdiffusion im Lotauftragsbereich und die Oxidation des Lotauftrages selbst relevant [1]. Wie im vorigen Abschnitt beschrieben, ist die Interdiffusion zwar eine zwingend notwendige Reaktion für eine erfolgreiche Überlastabschaltung, durch erhöhte Betriebstemperaturen kann diese jedoch frühzeitig einsetzen und so zu Fehlabschaltungen der Sicherung führen. Vor allem ältere, noch im Einsatz befindliche Sicherungen mit cadmium- oder bleihaltigen Lotes, sind hiervon, aufgrund der geringeren Schmelztemperatur des Lotes und einer dadurch erhöhten Reaktionsgeschwindigkeit, besonders betroffen [1]. Infolge der ebenfalls thermisch aktivierten Oxidation des Lotes wachsen kontinuierlich Oxidschichten, die für das darunterliegende Lotdepot nicht schüt-

zend wirken. Abhängig von der Zeit und der Temperatur bildet sich eine stark fragmentierte Oberfläche. Dabei könnte das verbleibende Lotvolumen soweit reduziert werden, dass im Überlastfall ein erfolgreicher Schaltvorgang nicht mehr möglich ist. Die Oxidation des Lotes kann daher als eine Art Konkurrenzreaktion zur Interdiffusion betrachtet werden.

Für eine fehlerfreie Funktion durch das Vermeiden einer beschleunigten Alterung ist letztendlich die maximale Temperatur des Schmelzleiters und damit das thermische Verhalten der kompletten Sicherung ausschlaggebend. In früheren Untersuchungen an der TU Dresden wurde daher bereits das Erwärmungsverhalten von Sicherungen, angelehnt an praktische Einsatzbedingungen, näher untersucht [1]. Dazu wurden erste Erwärmungsversuche mit Sicherungseinsätzen in einem Niederspannungskabel-Verteilerschrank (NKVS) durchgeführt. Die Sicherungseinsätze waren in Sicherungslastschaltleisten eingesetzt und zusätzlich an den Seiten thermisch isoliert, um eine erhöhte thermische Beanspruchung, z. B. durch das Vorhandensein weiterer Kabel-

abgänge, nachzubilden. Die Temperatur der Sicherungseinsätze wurde am oberen Sicherungsmessers gemessen, abhängig vom Belastungsstrom und unterschiedlichen Sammelschientemperaturen.

Die in den Versuchen gemessenen Temperaturen offenbarten eine sehr hohe thermische Beanspruchung der Sicherungen (Bild 2). Ein dauerhafter Einsatz der Sicherungen wäre bei diesen Betriebsbedingungen nur durch ein signifikantes Reduzieren des zulässigen Bemessungsstromes möglich. Bei Annahme einer zulässigen Messertemperatur von 130 °C, wie sie für kurzzeitige Belastungen in [2] und [3] angegeben wird, wäre in diesem Beispiel, abhängig von der jeweiligen Sammelschientemperatur, lediglich ein maximaler Belastungsstrom von 55 % bis 78 % des Bemessungsstromes zulässig. Die Angabe dieser Messertemperatur beruht dabei auf Erfahrungswerten und stellt lediglich eine Empfehlung dar. Normativ fehlen bisher vor allem für Schalter-Sicherungseinheiten belastbare Kriterien wie Grenztemperaturen, die einen zuverlässigen Betrieb in der Einbausituation sichern.

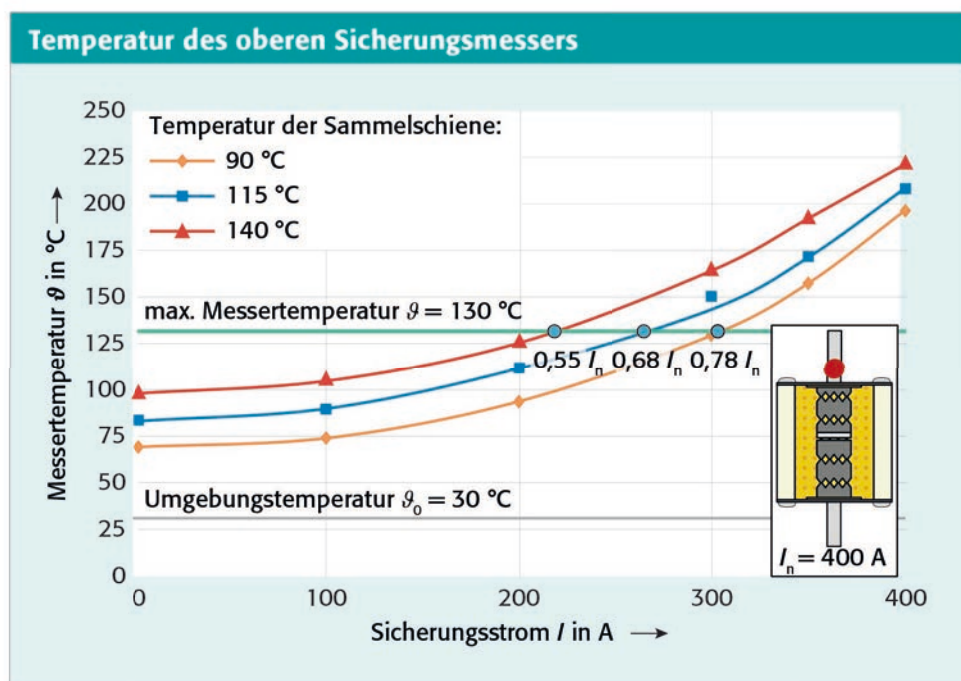


Bild 2: Temperatur des oberen Sicherungsmessers abhängig vom Belastungsstrom und unterschiedlichen Sammelschientemperaturen

An diesem Punkt setzen aktuelle Untersuchungen der TU Dresden mit Unterstützung des NH/HH-Recycling e. V. an. Ein Schwerpunkt sind hierbei die bereits erläuterten Alterungsmechanismen Interdiffusion und Oxidation, die an unterschiedlichen Sicherungsschmelzleitern für NH-Ganzbereichssicherungen untersucht werden. Ziel ist es hierbei, zum einen die physikalischen Ursachen für Fehlabschaltungen und Schaltversagen zu identifizieren und zum anderen materialabhängige Grenztemperaturen der Schmelzleiter zu definieren, die einen langzeitstabilen Betrieb auch bei erhöhter thermischer Beanspruchung ermöglichen. Erste Ergebnisse dieser Untersuchungen werden im September auf der diesjährigen 10. Icefa-Tagung in Dresden vorgestellt.

Ergänzend dazu wird zusätzlich das Erwärmungsverhalten von Si-

cherungseinsätzen, aufbauend auf den bisherigen Forschungsergebnissen untersucht und abgebildet. Hierbei ist vor allem der Temperaturgradient zwischen dem Sicherungsmesser und der maximalen Temperatur des Schmelzleiters von Interesse. Dieser Temperaturgradient ermöglicht es, den Schmelzleiterzustand abhängig von unterschiedlichen Betriebsbedingungen, z. B. in Prüfungen oder aber im Betrieb, zu beurteilen. In Kombination mit der Kenntnis über die ablaufenden Alterungsmechanismen ist es das Ziel, abhängig von der Schmelzleiter-Lot-Kombination eine physikalisch begründete maximale Messertemperatur zu bestimmen, die in praktischen Prüfungen ohne erheblichen Mehraufwand angewendet werden kann und einen zuverlässigen Einsatz der Sicherungen auch unter erschwerten Betriebsbedingungen ermöglicht.

## Schrifttum

- [1] Kühnel, C.: Untersuchungen zur Überlastabschaltung von Ganzbereichssicherungen bei erhöhter Sammelschienen- und Umgebungstemperatur. 22. Albert-Keil-Kontaktseminar, Karlsruhe, 2013
- [2] Bessei, H.: Sicherungshandbuch. Das Handbuch für Anwender von Niederspannungs- und Hochspannungssicherungen. Kerschenscheider Verlag, Lappendorf, 2011.
- [3] DIN CLC/TR 60269-5:2012: Niederspannungssicherungen – Teil 5: Leitfaden für die Anwendung von Niederspannungssicherungen

[christian.kuehnel@tu-dresden.de](mailto:christian.kuehnel@tu-dresden.de)

[www.tu-dresden.de/etieeh](http://www.tu-dresden.de/etieeh)

### 10. Internationale Konferenz über Schmelzsicherungen und deren Anwendungen

ICEFA – International Conference on Electric Fuses and their Applications vom 14. bis 16. September 2015 in Dresden

Die Themen der Fachbeiträge von Seite 18 bis 30 der netzpraxis 7-8/15 standen auf dem Tagungsprogramm der 10. Internationalen Konferenz über Schmelzsicherungen und deren Anwendungen (ICEFA). Die Autoren der Beiträge hielten in Dresden Vorträge über ihre jeweiligen Fachthemen im Rahmen des Kongresses.

Weitere Information im Internet unter [www.icefa2015.com](http://www.icefa2015.com)