

# Kurzschlussschutz von MS-Verteiltransformatoren (1)

**TEILBEREICHS-HH-SICHERUNGEN** Dieser Beitrag befasst sich mit dem Kurzschlussschutz der 20kV/0,4kV- bzw. 10kV/0,4kV-Verteiltransformatoren durch Teilbereichs-HH-Sicherungen und macht dabei auf einige bei der Dimensionierung und Sicherungsauswahl zu berücksichtigende Merkmale aufmerksam.

Bei einem Projekt aus der Praxis fiel dem Sachverständigen bei der Prüfung auf, dass die dargestellte Verbindung – in dem ihm vorgelegten Plan – zwischen dem Körper des Transformators und der NSHV mit einem Leiterquerschnitt ausgeführt war, der nur dem Viertel des Außenleiterquerschnittes entsprach. Im **Bild 1** ist die Originaldarstellung aus dem Gesamtübersichtsplan enthalten, den der Errichter dem Sachverständigen zur Prüfung vorgelegt hat.

## Konsequenzen

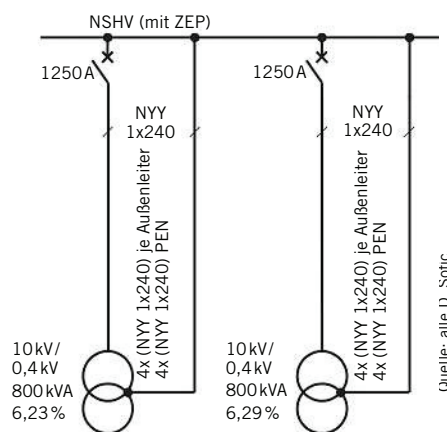
Der Sachverständige forderte in seinem Prüfbericht die Verstärkung der genannten Verbindung und empfahl hierfür einen Leiterquerschnitt, der mindestens dem halben Leiterquerschnitt des Außenleiters entsprechen sollte.

Bei der Überprüfung der Gegebenheiten vor Ort wurde die im **Bild 2** allpolige vereinfachte Schaltung festgestellt, wobei die genannte Verbindung violett dargestellt ist. Die Sternpunkte der Transformatoren waren in den Trafoszellen isoliert ausgeführt. Die PEN-Leiter (Sternpunktleiter) waren bis zur NSHV isoliert ausgeführt und in der NSHV mit der isoliert ausgeführten PEN-Schiene des Sammelschienensystems verbunden. Der Leiterquerschnitt des PEN-Leiters entsprach dem vollen Leiterquerschnitt des Außenleiters (wie im Bild 1 und Bild 2 dargestellt). Innerhalb der NSHV war außerdem eine ZEP-Brücke vorhanden.

Wie dem Bild 2 entnommen werden kann, sind die Transformatorkerne mit der PE-Schiene des Sammelschienensystems der NSHV über in Reihe bzw. parallel geschaltete Kabel verbunden. Für die Überprüfung der Kurzschlussfestigkeit der genannten Verbindung ist die Ermittlung der minimalen und maximalen Kurzschlussbelastungen bei ein-

poligen Fehlern in den Trafoszellen zwischen einem Außenleiter und dem Transformatorgehäuse erforderlich.

Ein solch möglicher Fehler ist im **Bild 3** präsentiert. Der Fehlerstrom besteht dabei aus den zwei Anteilen vom Transformator 1 und Transformator 2. Die bei diesem Fehler entwickelten Fehlerschleifen müssen von



**Bild 1:** Auszug aus dem Stromversorgungs-Übersichtsplan des Praxisprojektes



## AUF EINEN BLICK

**KURZSCHLUSSSCHUTZ** Dieser erste Teil verschafft zunächst einen allgemeinen Überblick über Kurzschlussschutz von 20kV/0,4kV- bzw. 10kV/0,4kV-Verteiltransformatoren

**TEILBEREICHS-HH-SICHERUNGEN** Es gibt eine Reihe von Merkmalen, nach denen die passende Teilbereichs-HH-Sicherung sorgfältig auszuwählen ist

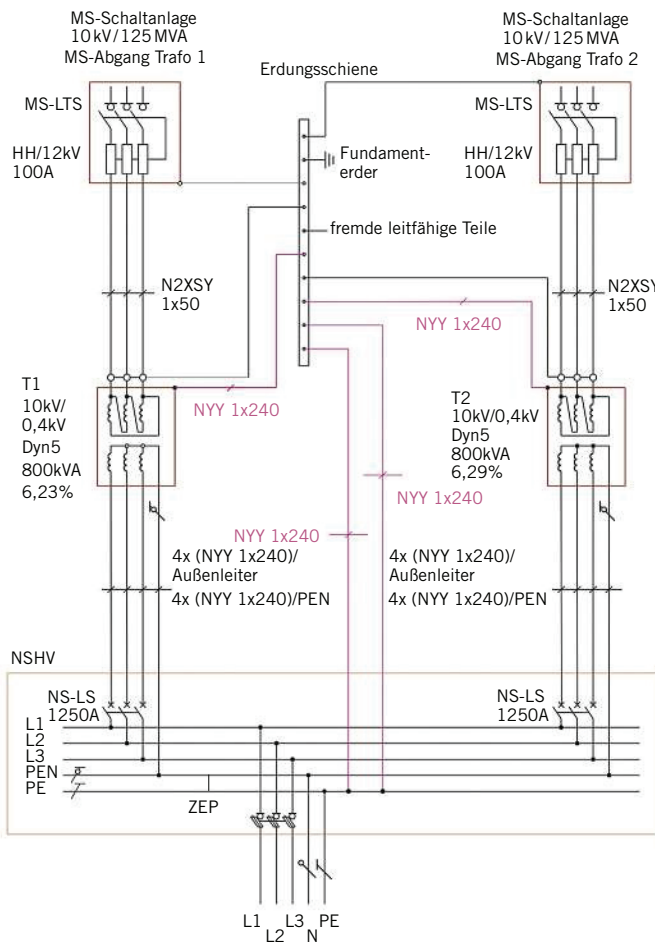
**BERECHNUNGEN** Der zweite Teil befasst sich dann u. a. mit Erdkurzschlussströmen bei niederohmiger Sternpunktterdung und den Selektivitätsverhältnissen zwischen Überstromschutzeinrichtungen

Hand – also ohne Software – mit hohem Verständnis für die dabei herrschenden physikalischen und mathematischen Zusammenhänge berechnet werden. Die gängigen Berechnungsprogramme können solche Fehlerschleifen nicht nachbilden.

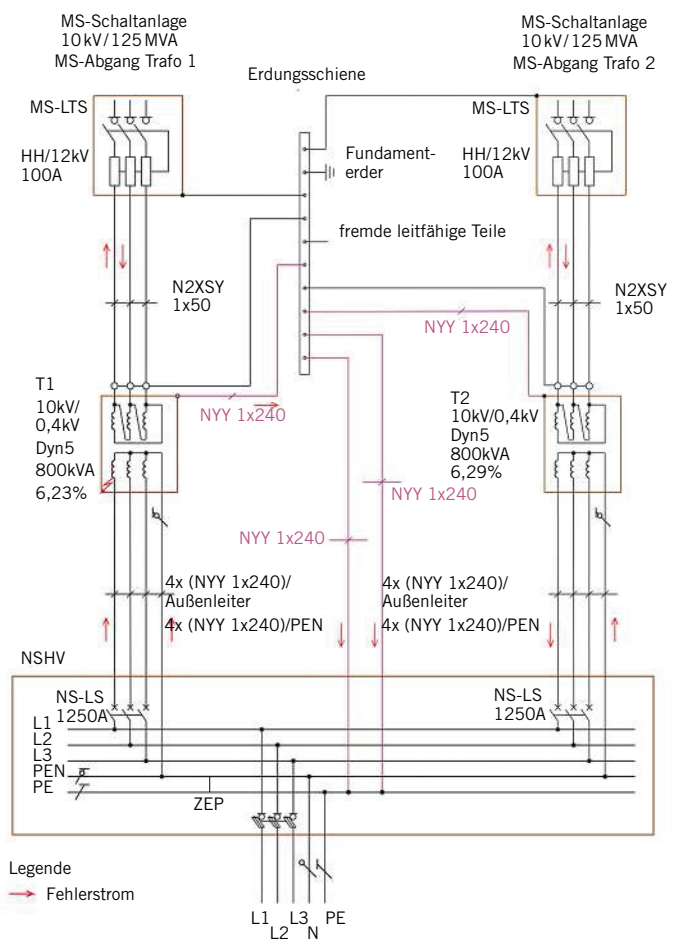
Ferner ist die Kenntnis über das Ansprech- bzw. Auslöseverhalten der HH-Sicherungen bei diesen Kurzschlussbelastungen ebenso erforderlich, weil der vom Transformator 1 stammende Anteil des Fehlerstromes von den HH-Sicherungen erfasst, als Fehler erkannt und abgeschaltet werden muss.

Die beiden Niederspannungstransformator-Einspeiseleistungsschalter (NS-LS aus den Bildern 2 und 3) können nur den vom Transformator 2 stammenden Anteil des Fehlerstromes detektieren und ausschalten.

Eine von Hand erstellte Kurzschlussstromberechnung ergab Kurzschlussbelastungen, die sich in dem sogenannten verbotenen Bereich der vorhandenen Teilbereichs-HH-Sicherungen befanden. Vor Ort waren nämlich gemäß VDE 0670-4 strombegrenzende Teilbereichs-HH-Sicherungen eingesetzt. Für die Kurzschlussstromberechnung und Beurteilung des Auslöseverhaltens der Teilbereichs-



**Bild 2:** Tatsächliche Ausführung des Praxisprojektes



**Bild 3:** Fehler am Transformator

HH-Sicherungen sind folgende Sicherungsdaten zu berücksichtigen: der Bemessungsstrom, die Bemessungsspannung, der Bemessungsausschaltstrom, die Leistungsabgabe, die Resistanz, das Schmelzintegral, das Ausschaltintegral, die Zeit-Strom-Kennlinie und die Durchlassstromkennlinie.

## Allgemeine Betrachtungen zum Kurzschlusschutz

Zunächst widmen wir uns dem Kurzschlusschutz von 20kV/0,4kV- bzw. 10kV/0,4kV-Verteiltransformatoren. Für deren Kurzschlusschutz gibt es zwei Lösungsmöglichkeiten: ohne und mit Kurzschlussstrombegrenzung. Wird der Kurzschlusschutz durch Hochspannungs-Hochleistungs-Sicherungen (HH-Sicherungen) zusammen mit Lastschaltern realisiert, spricht man vom Kurzschlusschutz mit Kurzschlussstrombegrenzung.

Um den Kurzschlusschutz ohne Kurzschlussstrombegrenzung handelt es sich

dann, wenn der Kurzschlusschutz durch MS-Leistungsschalter, Wandler und Schutzrelais realisiert wird.

### Kurzschlusschutz ohne Kurzschlussstrombegrenzung

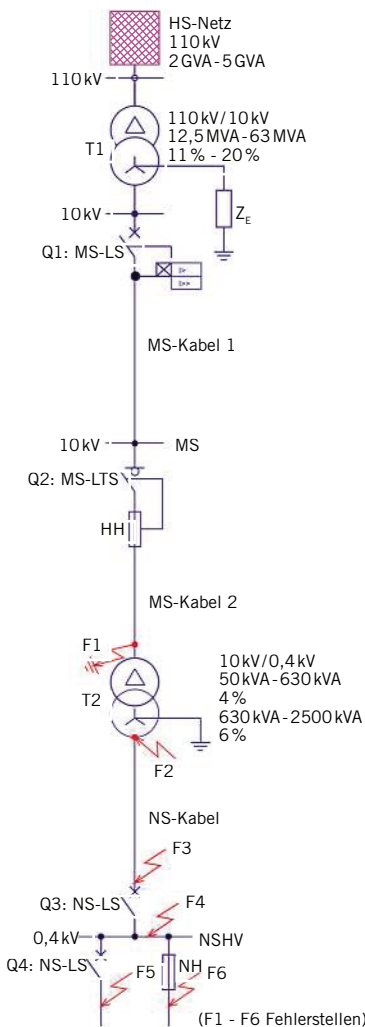
Beim Kurzschlusschutz ohne Kurzschlussstrombegrenzung werden im Kurzschlussfall alle, sich in der Kurzschlusschleife befindenden elektrischen Betriebsmittel (im Vergleich zum Kurzschlusschutz mit Kurzschlussstrombegrenzung), wesentlich größeren thermischen und dynamischen Beanspruchungen ausgesetzt. Bedingt durch die wesentlich längere Kurzschlussdauer bzw. Gesamtausschaltzeit (Ansprechzeit des Schutzrelais plus Kommandozeit des Schutzrelais plus Gesamtausschaltzeit des MS-Leistungsschalters) wird in der Kurzschlusschleife wesentlich mehr zerstörerische Kurzschlussstromenergie in Wärme umgesetzt. Somit wird der Verteiltransformator und alle in der Kurzschlusschleife befindlichen elektrischen Betriebsmittel thermisch massiv beansprucht. Der dabei auftretende große

Scheitelwert des Kurzschlussstromes belastet den Verteiltransformator und die elektrischen Betriebsmittel in der Kurzschlusschleife mechanisch sehr stark.

Ein MS-Leistungsschalter mit Wandler und Schutzrelais kann den Kurzschlussstrom erst nach mehreren Perioden abschalten, was bei Öltransformatoren äußerst kritisch sein kann. Eine Transformatorexplosion mit Platzen des Kessels und explosionsartigem Austritt des brennenden Öls kann damit kaum verhindert werden. Deswegen muss hierbei die Störlichtbogenfestigkeit der Trafostation sorgfältig betrachtet und festgelegt werden.

### Kurzschlusschutz mit Kurzschlussstrombegrenzung

Die Kurzschlussstrombegrenzung als Art des Transformator-Kurzschluss-Schutzes durch Teilbereichs-HH-Sicherungen zusammen mit dem Lastschalter wird im Grunde dann wirksam, wenn die Kurzschlussströme sehr hohe Werte annehmen – etwa im Bereich ab dem 20-fachen des Sicherungsbemessungsstroms. Im Bereich der Kurzschlussstrombe-



**Bild 4:** Geeignete Einstellung des Überstromauslösungssystems des NS-Transformator-Einspeiseleistungsschalters herausfinden

grenzung schaltet die Sicherung den Kurzschlussstrom bereits in der ersten Halbperiode aus. Dadurch wird verhindert, dass der Stoßkurzschlussstrom überhaupt erreicht wird. Die freigesetzte, zerstörerische elektrische Kurzschlussenergie wird also erheblich reduziert. Die Sicherungen verhindern bei Öltransformatoren wegen ihrer kurzschlussstrombegrenzenden Fähigkeit Kesselschädigungen und Ölaustritt. Somit ist dieser kurzschlussstrombegrenzende Effekt das wertvollste Attribut der Sicherung, mit dem die Sicherung alle anderen Überstromschutzrichtungen übertrifft.

Nach der DIN VDE 0670-4 gibt es Vielbereichs-, Teilbereichs- und Ganzbereichs-HH-Sicherungen. In der Regel verwendet man in Deutschland bereits seit Jahrzehnten aus Kostengründen ausschließlich Teilbereichs-HH-Sicherungen zum Kurzschlusschutz von Verteiltransformatoren. Sie werden mit

Lastschaltern kombiniert. Die Teilbereichs-HH-Sicherungen sind allerdings nur für den Kurzschluss- nicht für den Überlastschutz des Transformators geeignet.

Der Überlastschutz eines Transformators kann z.B. durch geeignete Einstellung des Überstromauslösungssystems des NS-Transformator-Einspeiseleistungsschalters (Q3 NS-LS im **Bild 4** bzw. NS-LS im Bild 2) sichergestellt werden.

## Zu berücksichtigende Merkmale

Kommen wir nun zur Dimensionierung und Auswahl des geeigneten Teilbereichs-HH-Sicherungseinsatzes für den Transformator-kurzschlusschutz. Hierfür sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

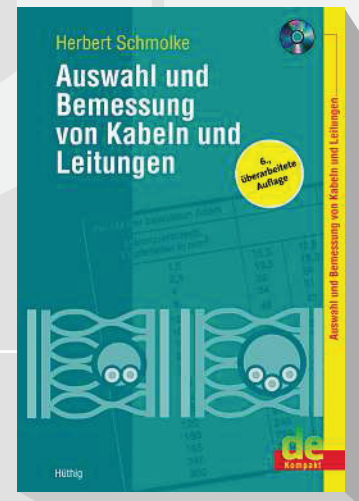
- Bemessungs- bzw. Betriebsspannung des Transformators
- Bemessungsscheinleistung des Transformators
- relative Bemessungskurzschlussspannung des Transformators
- Bemessungskurzschlussverluste des Transformators
- Bemessungseerlaufverluste des Transformators
- zulässige Überlast des Transformators – einschließlich dauernd existierender Oberschwingungen
- Ausgleichsvorgang beim Einschalten des Transformators
- Erfassung der Erdkurzschlussströme bei niederohmiger Sternpunktterdung
- die zulässige Leistungsabgabe bei Einbau der Sicherung in einem Behälter
- Selektivitätsverhältnisse zu vor- bzw. untergeordneten Überstromschutzrichtungen
- Zusammenspiel zwischen den Sicherungen und dem Lastschalter.

## Ausgleichsvorgang beim Einschalten des Transformators

Das Einschalten eines Transformators entspricht der Zustandsänderung einer Induktivität mit Eisenkern und ruft einen transienten Effekt hervor. Es handelt sich um den Einschaltstoßstrom (rush current, Rushstrom) mit beachtlicher Stromstärke, der den Transformatorschutz anregen kann, aber nicht anregen bzw. auslösen soll.

Dieser Rushstrom ist die Konsequenz des magnetischen Remanenzflusses im Transformator kern. Seine Intensität variiert. Im ungünstigsten Fall erreicht sie die Größe des Kurzschlussstromes und im besten Fall tre-

## Der Kabel-durchblick



Herbert Schmolke

### Auswahl und Bemessung von Kabeln und Leitungen

6. überarb. Auflage 2015. 136 Seiten. Softcover, mit CD-ROM. € 19,50. ISBN 978-3-8101-0402-1

Dieses kompakte Buch enthält eine fach- und normengerechte Anleitung zur Auswahl von Kabeln und Leitungen und deren Berechnung. **In der Neubearbeitung sind alle Änderungen der Normen, Vorschriften und Richtlinien sorgfältig eingearbeitet.** Plus CD-ROM für die Kabel- und Leitungsberechnung.

### Schwerpunkte bei der Auswahl von Kabeln und Leitungen:

- Schutz vor Überstrom nach DIN VDE 0100-430,
- besondere Beanspruchungen,
- Kabel mit besonderen Eigenschaften sowie
- Besonderheiten bei der Planung.



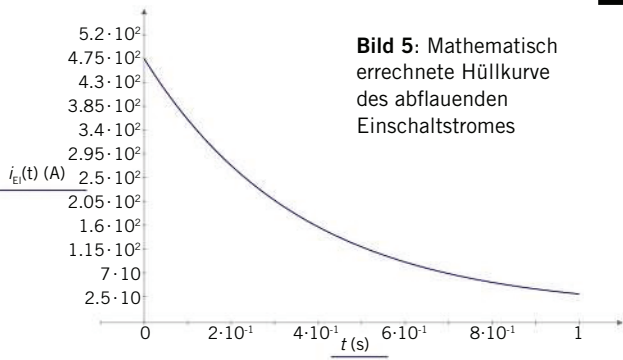
erfolgsmedien für experten  
Hühthig GmbH  
Im Weiher 10 | D-69121 Heidelberg  
Tel.: +49 (0) 800 2183-333

### Ihre Bestellmöglichkeiten

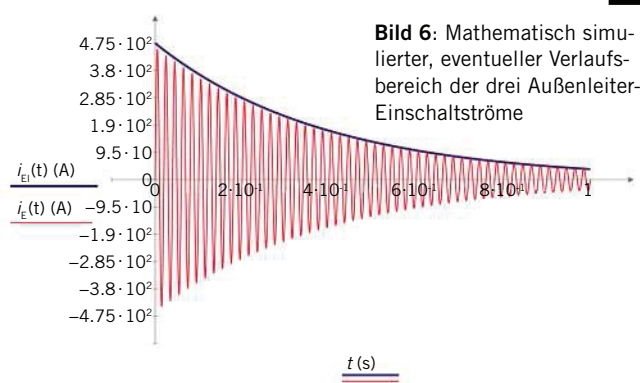
Fax:  
+49 (0) 89 2183-7620  
E-Mail:  
buchservice@huehthig.de  
www.elektro.net/shop



Hier  
Ihr Fachbuch  
direkt online  
bestellen!



**Bild 5:** Mathematisch errechnete Hüllkurve des abflauenden Einschaltstromes

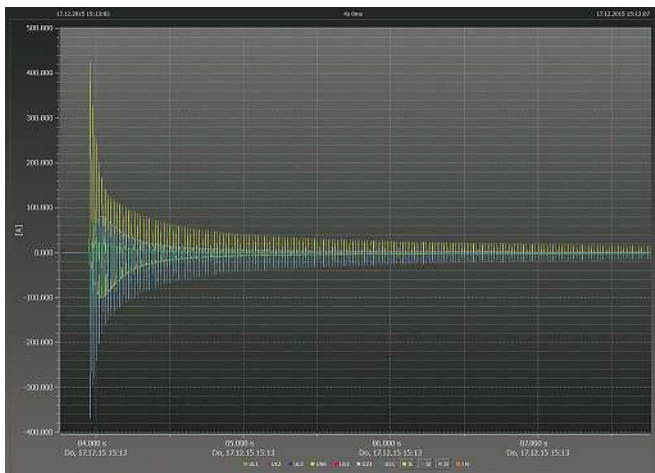


**Bild 6:** Mathematisch simulierter, eventueller Verlaufsbereich der drei Außenleiter-Einschaltströme

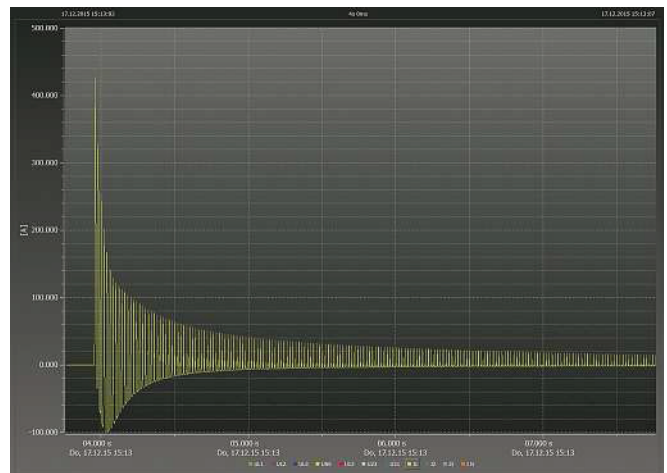
ten keine Rushströme auf. Der Rushstrom hängt ab vom Einschaltwinkel, der Transformatorgröße, der Transformatorbauart, dem Wert des Remanenzflusses im Transformator kern und der Sättigungseigenschaft des Transformator kerns. Besonders hohe Werte des Rushstromes treten beim Zuschalten des Transformators im Nulldurchgang der Netzspannungs-Sinusschwingung auf.

Die Sicherung muss dem Rushstrom des Transformators widerstehen können, sie darf also nicht ansprechen. Dies ist ein wichtiges Kriterium für die Auswahl der Sicherung. Gemäß DIN VDE 0670-402 kann für die praktische Anwendung ein Wert des Rushstromes von 10- bis 12-fachem des Transformator bemessungsstromes für die Dauer von 100 Millisekunden angenommen werden.

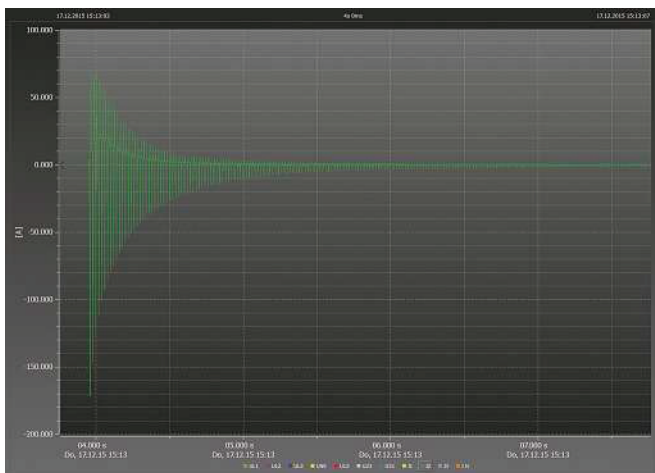
Planer und Errichter können vom Hersteller des Transformators den Wert des Quotienten vom Rush- und Bemessungsstrom des Transformators sowie die Halbwertszeit des Rushstromes erfragen. Aus diesen Daten lässt sich mathematisch die Hüllkurve des abklingenden Rushstromes nachbilden. Ebenso kann der Planer das Joule-Integral der Wärmewirkung des Rushstromes schät-



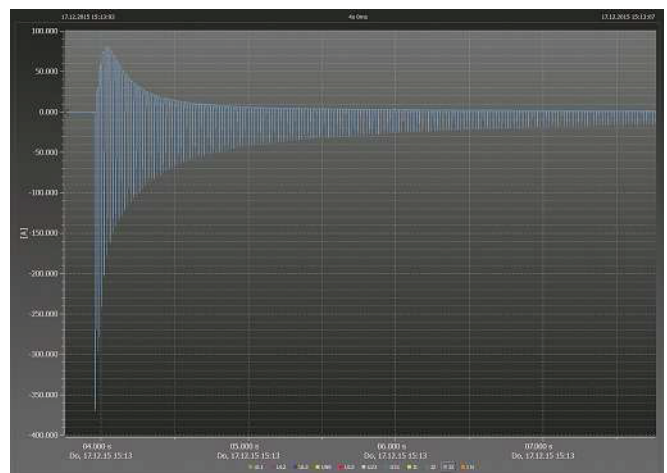
**Bild 7:** Physikalischer Ausgleichvorgang beim Einschalten eines unbelasteten 1600-kVA-Transformators – Außenleiterströme  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I_3$



**Bild 8:** Physikalischer Ausgleichvorgang beim Einschalten eines unbelasteten 1600-kVA-Transformators – Außenleiterstrom  $I_1$



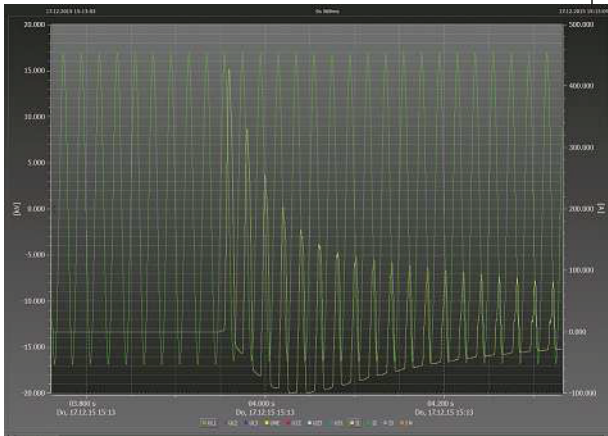
**Bild 9:** Physikalischer Ausgleichvorgang beim Einschalten eines unbelasteten 1600-kVA-Transformators – Außenleiterstrom  $I_2$



**Bild 10:** Physikalischer Ausgleichvorgang beim Einschalten eines unbelasteten 1600-kVA-Transformators – Außenleiterstrom  $I_3$



# Qualität verbindet



**Bild 11:** Physikalischer Ausgleichsvorgang beim Einschalten eines unbelasteten 1 600-kVA-Transformators – Strangspannung  $U_{L1}$  und Außenleiterstrom  $I_1$

zen und mit dem Schmelz-Integral der Sicherung vergleichen. Damit der Rushstrom die Sicherung nicht auslöst, muss das Schmelz-Integral der Sicherung größer als das Joule-Integral der Wärmewirkung des Rushstromes sein.

In der Praxis geht man davon aus, dass der Rushstrom die Sicherung nicht anspricht, wenn der maximale Rushstrom gegenüber dem 12-fachen des Transformatorbemessungsstromes einen Sicherheitsabstand von mindestens –20% zur Sicherungs-Zeit-Strom-Kennlinie beim Zeitwert von 100ms aufweist.

Es ist charakteristisch, dass der netzfrequenten Komponente des Rushstromes in der Regel ein Oberschwingungsanteil der zweiten Ordnung aber auch der weiteren Ordnungen überlagert ist. Die Wärmewirkung des Rushstromes des Transformators ist für die Auswahl des kleinsten Bemessungsstromes des Sicherungseinsatzes wichtig.

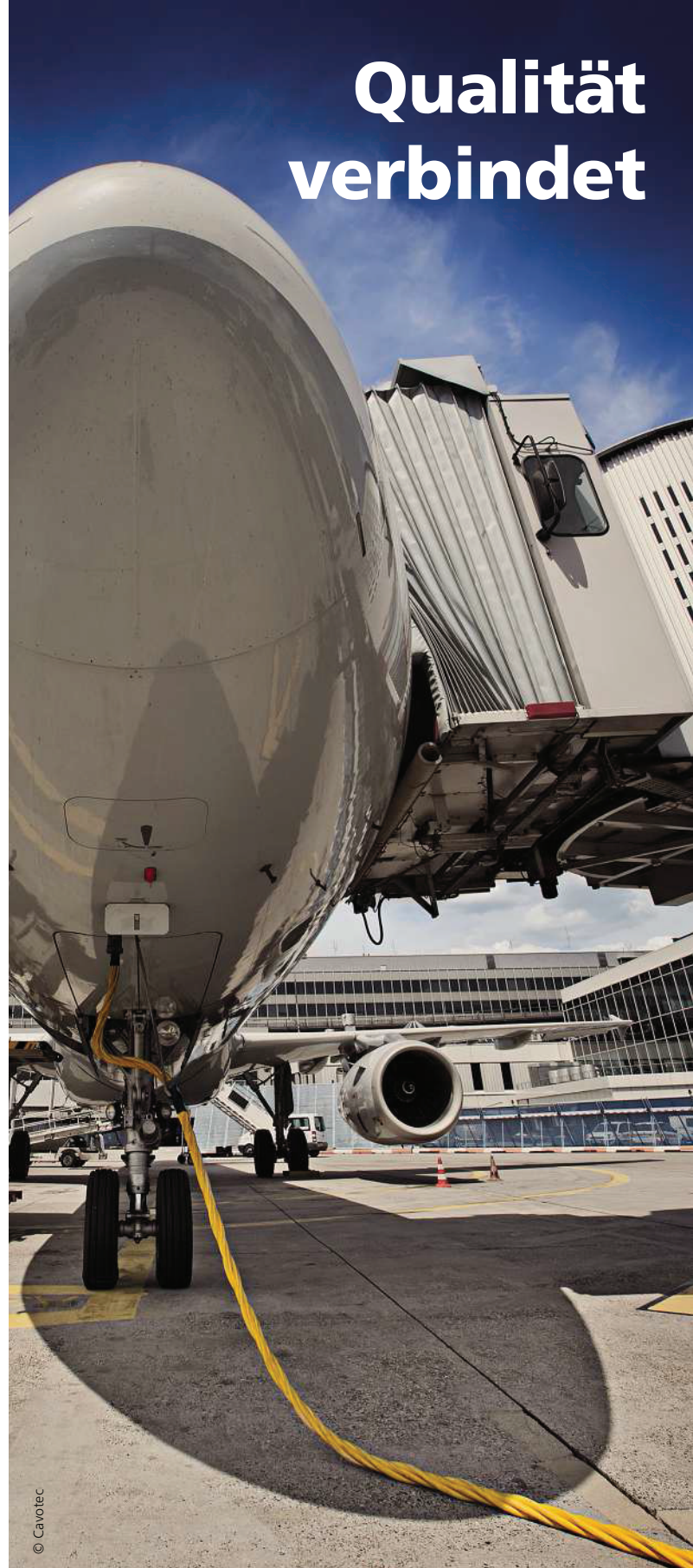
Im **Bild 5** ist die mathematisch errechnete Hüllkurve des abflauenden Einschaltstromes eines 1 600kVA/6%/20kV/0,4kV-Verteiltransformators generiert, die mit einem Netzanalysator nachgewiesen werden kann. Im **Bild 6** ist der mathematisch simulierte, eventuelle Verlaufsbebereich der drei Phaseinschaltströme mit der Hüllkurve des abflauenden Einschaltstromes eines 1600kVA/6%/20kV/0,4kV-Verteiltransformators generiert.

Die Oszillogramme 1 bis 5 (**Bilder 7 bis 11**) repräsentieren einen aufgetretenen wahren physikalischen Ausgleichsvorgang beim Einschalten eines unbelasteten 1 600kVA/6%/20kV/0,4kV-Verteiltransformators. Sie wurden mit dem Netzanalysator PQ-Box 200 (Hersteller A-Eberle Nürnberg) aufgezeichnet.

(Fortsetzung folgt)

## AUTOR

**Dragan Sofic**  
EAB GmbH Rhein Main, Dietzenbach



© Cavotec

■ Rund um die Welt sind robuste Leitungen die Lebensadern für Flugzeuge am Boden. Cavotec Fladung vertraut bei seinen Flugzeugversorgungssystemen auf die 400-Hertz-Leitung von Helukabel. Mehr unter: [www.helukabel.de/cavotec](http://www.helukabel.de/cavotec)