

**Thermischer Schaltanlagenchutz
durch Hochspannungssicherungen
mit integriertem Temperatur-Begrenzer
unter Berücksichtigung der IEC 420 : 1990**

Dipl.-Ing Heinz Ulrich Haas
Leiter der Abteilung Forschung und Entwicklung
der SIBA Sicherungen-Bau GmbH, Lünen

SIBA Sicherungen-Bau GmbH
Borker Straße 20-22
D-44534 Lünen

April 1994

Einleitung

Typgeprüfte Hochspannungssicherungen (HH-Sicherungen) nach IEC 282-1 sind für den Schutz von Verteilertansformatoren vorgesehen, um unzulässige Kurzschlußströme zu begrenzen bzw. zu unterbrechen. Darüberhinaus können die Sicherungseinsätze Überlastströme 3polig ausschalten, wenn sie mittels ihres Schlagstiftes auf die Freiauslösung der Schaltanlage wirken. [1]

Dabei können sich Temperaturen von einigen 100°C entwickeln, welche von den hochtemperaturbeständigen Materialien der Sicherung schadlos aufgenommen werden. Werden die Sicherungen in gasisolierten oder enggekapselten luftisolierten Schaltanlagen eingesetzt, muß dieses hohe Temperaturniveau von den umhüllenden Kunststoffen der Sicherungsaufnahme bewältigt werden.

Bei der Typprüfung der Lastschalter-Sicherungs-Kombination nach IEC 420 unter Verwendung von Sicherungen mit relativ hohem Nennstrom und auch bei bekannt gewordenen Praxisfällen, können die entstehenden Temperaturen die zulässigen Anlagenwerte überschreiten. Alterung der Kunststoffe, Microcracks oder Verschlechterung der Kontaktierung innerhalb des Sicherungsbehälters können die Folge sein. [2]

Auf der Basis einer Vielzahl von Erwärmungsprüfungen mit Sicherungseinsätzen in Schaltanlagen verschiedener Hersteller wurde im Hause SIBA ein Auslösesystem entwickelt, welches bei unzulässigen Temperaturen - gleich welcher Ursache - eine Abschaltung des Fehlers einleitet.

HH-Sicherungen mit diesem integrierten Temperatur-Begrenzer reduzieren im wesentlichen Maße die sich entwickelnde Erwärmung durch Reaktion auf die Freiauslösung der Schaltanlage.

1. Wie entstehen hohe Temperaturen?

Schmelzsicherungen stellen gemäß ihrer Definition eine Querschnittschwächung des Leitungszweiges zum zu schützenden Verbraucher dar. Verglichen mit einem Mittelspannungskabel 35 mm² beträgt der Querschnitt der Schmelzleiter im Innern des Sicherungseinsatzes gerade einmal 1 mm². Demzufolge bewirkt der durch die Sicherung fließende Strom eine Temperaturerhöhung, welche wesentlich über den Temperaturwerten der anderen Bauteile und Leitungen im betroffenen Netz liegt.

Diese vergleichsweise hohen Temperaturen werden durch axiale Wärmeströmung an die Anschlüsse des Sicherungsunterteils und radial an die unmittelbare Umgebung des Sicherungseinsatzes abgegeben.

Die in der Normung vorgegebenen Höchstwerte der Temperatur werden sicherlich erst bei der Belastung eines Sicherungseinsatzes mit seinem Nennstrom und auch erst bei Nennstromwerten von Sicherungen, welche für

Transformatoren ab 1000 kVA vorgesehen sind, erreicht. Wird die Auswahl der Sicherungseinsätze gemäß VDE 0670 Teil 402 getroffen, erreicht der Betriebsstrom weniger als die Hälfte des Sicherungsnennstromes (*Bild 1*). Im üblichen Betrieb (50-150% Auslastung des Transformators 1000 kVA / 24 kV) sind Temperaturwerte bei einem Sicherungseinsatz 24 kV, 63 A in einer luftisolierten Schaltanlage von bis zu 50°C an den Kappen und 70°C am Isolierkörper des Sicherungseinsatzes zu messen. [3]

In enggekapselten gas- oder feststoffisolierten Schaltanlagen liegt das Temperaturniveau wegen der fehlenden Luftkonvektion und einer Quasi-Wärmedämmung durch die Schaltanlage wesentlich höher. So werden hier bis zu 80°C an den Kontaktkappen und 120°C am Isolierkörper erreicht. (*Bild 2*)

Von sehr großer Wichtigkeit sind bei diesen Erwärmungsversuchen die Verhältnisse am Sicherungsbehälter. Hier dürfen die maximalen Belastungstemperaturen der vom Schaltanlagenhersteller gewählten Kunststoffe nicht überschritten werden. Bei dem Beispiel der Sicherung für einen Transformator 1000 kVA bei 150%iger Belastung sind je nach Volumen des Sicherungseinbaus bis zu 70°C mittig am Kunststoff zu messen.

2. Sicherungseinsätze in Lastschalter-Sicherungs-Kombinationen

Weitaus höhere Temperaturen werden erreicht, wenn die Sicherungseinsätze, montiert in einer Lastschalter-Sicherungs-Kombination, einen Strom im Bereich zwischen ihrem minimalen Schmelzstrom und dem minimalen Ausschaltstrom zu unterbrechen haben. In diesem sogenannten verbotenen Bereich der Teilbereichsicherungen erreichen die gemessenen Werte sehr leicht die Nähe der Grenztemperatur der Sicherungskapselung der Schaltanlage.

Mit Erscheinen der IEC 420 und bereits durch das Bekanntwerden der britischen Vorschrift ASTA 22 hat man sich im Hause SIBA sehr intensiv mit den Temperaturverhältnissen in Lastschalter-Sicherungs-Kombinationen im Überlastbereich der Sicherungseinsätze beschäftigt. So wurden Schaltanlagen der namhaften Hersteller des deutschen und europäischen Marktes untersucht, um Grenzerwärmungen festzustellen. [4]

Eine erste Versuchsreihe zeigte das Maximum der bei Belastung entstehenden Temperaturen. In *Bild 3* wurde der Temperaturverlauf bei Belastung einer HH-Sicherung im Bereich vom 0,5fachen Nennstrom bis zum minimalen Ausschaltstrom dargestellt. Deutlich ist zu sehen, daß das Maximum der Erwärmung bei Belastung mit dem ca. 1,5fachen Sicherungsnennstrom (ca. 4facher Nennstrom des Transformators) beginnt und sich bis zu Schmelzzeiten von >15min. in gleicher Höhe hält.

Dabei wurden Temperaturen aufgenommen, welche bei wiederholter Belastung sicherlich zu Schäden in der Schalt-

anlage durch Alterung der Kunststoffe geführt hätten. Die gemessenen Werte differieren je nach Anlagentyp, jedoch schon eine länger anstehende Temperatur von 110°C kann die Versprödung der verwendeten Kunststoffe zur Folge haben.

Typische Höchstwerte der Temperaturen zeigt *Bild 4a*. In senkrechter Einbaulage erreichte die Sicherung an den Sicherungskappen 160°C, der Isolierkörper der Sicherung wurde bis zu 450°C warm, das Temperaturgefälle zum Sicherungsbehälter differiert je nach dessen Volumen. Die gemessenen Höchstwerte lagen bei 180°C.

Nach IEC 420 stellt Test-Duty 3 die für die Sicherung höchste thermische Belastung dar, indem die Sicherung mit einem Strom in Höhe des ca. 2-3fachen Nennstromes beaufschlagt wird. Diese Prüfung soll zeigen, daß die Lastschalter-Sicherungs-Kombination in der Lage ist, langandauernde Überströme einerseits thermisch zu überstehen, andererseits durch Schlagstiftauslösung unterhalb des minimalen Ausschaltstromes zu unterbrechen.

Auch hier wurden die gemessenen Temperaturen aus der Maximalwertermittlung bestätigt. Während die Materialien des Sicherungseinsatzes diese hohen Temperaturen problemlos bewältigen, können bei den Kunststoffen Alterungserscheinungen nicht ausgeschlossen werden.

3. Sicherungen die den Strom und die Temperatur begrenzen

Während den Prüfungen wurde sehr schnell deutlich, daß die Notwendigkeit zur Herabsetzung der Temperatur, während und nach der Ausschaltung, zum Schutz der Schaltanlage besteht.

Im Hause SIBA wurde die Hochspannungssicherung deshalb weiterentwickelt. Die Sicherung sollte jetzt nicht mehr allein als strombegrenzende Sicherung, sondern auch als temperaturbegrenzende Sicherung arbeiten. Durch Verwendung eines Schmelzaktivators wurde die für die Sicherungserwärmung verantwortliche Schmelztemperatur des Silberschmelzleiters von 960°C auf 230°C drastisch gesenkt. Nicht mehr das Unterbrechen der Schmelzleiter bewirkt jetzt die Abschaltung des schadhafte Verbrauchers, sondern über den Aktivator wird eine Schlagstiftauslösung eingeleitet, welche wiederum auf die 3-polige Freiauslösung der Schaltanlage wirkt.

Bauteile der Sicherung und der Schaltanlage bleiben dabei vergleichsweise kühl. An den Kappen wird noch etwa 80°C gemessen, das Sicherungsrohr bleibt mit 250°C wesentlich unter den Werten ohne die Temperaturbegrenzung. (*Bild 4b*)

Besonders vorteilhaft ist jetzt, daß die Temperatur des Sicherungsbehälters, gemessen an der Schaltanlage mit dem kleinsten Volumen, gerade einmal 100°C beträgt.

Ein Temperaturwert, welcher selbst bei häufiger Wiederholung die Gefahr einer Alterung der Kunststoffe vermindern wird.

Der Aktivator ist im Gehäuse des Sicherungsauslösers untergebracht. Wie *Bild 5* zeigt, benötigt dieser neu entwickelte Auslöser nicht mehr Volumen als ein herkömmlicher Auslöser. Genutzt wird der bislang freie Raum innerhalb der Druckfeder. Damit ist ein ausreichender Abstand zu der Wärmequelle - den Schmelzleitern - gegeben. Er verleiht dem System die notwendige Tragfähigkeit, um nicht bei einer kurzzeitigen Stromerhöhung sofort den Auslöser ansprechen zu lassen.

Der Leistungsteil des Sicherungseinsatzes bleibt durch die Verwendung des Temperaturbegrenzers unverändert. Der Schmelzleiteraufbau und dessen Anordnung entspricht dem typgeprüften und zertifizierten Konstruktionsstand. Ebenso wurde am Nebenschmelzleiter, der elektrischen Kontaktierung des Auslösers, keine Veränderung vorgenommen.

Die Funktion als Teilbereichsicherung ist damit gegeben. Bis zum Nennstrom und vom minimalen Ausschaltstrom bis zum Nennausschaltstrom entspricht die weiter entwickelte Sicherung in vollem Umfang der herkömmlichen Sicherung. Sie ist damit 100% kompatibel und kann bei Bedarf direkt gegen die herkömmliche Sicherung gleichen Nennstromes und gleicher Nennspannung ausgetauscht werden. Interne Zuordnungstabellen behalten ihre Gültigkeit in gleichen Maße wie Vorgaben aus VDE 0670 Teil 402.

4. Arbeitspunkte des Temperatur-Begrenzers

Der die neue Hochspannungssicherung charakterisierende Zeit/Strom-Verlauf ist in *Bild 6* dargestellt. Hier zeigt die Linie a-c die typische Zeit/Strom-Kennlinie einer Hochspannungs-/Teilbereichsicherung. Der Bereich b-c wird als Ausschaltbereich und a-b als verbotener Bereich bezeichnet, in dem die Sicherung nicht betrieben werden darf. Am Punkt b, also dem Übergang von der gestrichelt zur durchgezogen gezeichneten Linie, liegt der minimale Ausschaltstrom, am Punkt a der minimale Schmelzstrom.

Der Arbeitsbereich des Temperatur-Begrenzers liegt innerhalb der Fläche zwischen den Punkten a-d-e. Der exakte Arbeitspunkt kann bei unterschiedlichen Einbauverhältnissen, Umgebungstemperaturen und Schaltanlagentypen deutlich differieren. Es ist sogar denkbar und zulässig, daß eine Sicherungen bei ihrem Nennstrom ausschaltet, sofern die vorgegebenen Temperaturwerte überschritten werden.

Für die Schaltanlage bedeutet dies den größtmöglichen Schutz. Fehlauflösungen sind ausgeschlossen, schließlich besteht im Kennlinienfeld ausreichender Abstand zum Betriebsstrom des Transformators - selbst bei 150%iger Belastung (schraffierter Bereich).

Die Arbeitspunkte des Temperatur-Begrenzers liegen demnach in einem Bereich, in dem Temperaturerhöhungen länger als 10 min anstehen. Derartige Erhöhungen treten auf, wenn es zu Störungen in der Anlage kommt, wie:

- Windungsschlüsse im Transformator verursachen einen langandauernden Fehlerstrom.

- Der Transformator wird erheblich über seiner Leistungsgrenze betrieben.

- Es wird eine zu niedrige Zuordnung der Sicherung zum zugehörigen Transformator gewählt.

- Eine unzulässig hohe Temperatur z.B. durch Entladung oder mangelhafte Kontaktierung wird äußerlich an den Sicherungseinsatz herangebracht.

- Sicherungen schalten einen Fehlerstrom unterhalb des minimalen Ausschaltstromes.

- Die Stromtragfähigkeit der Sicherung wird reduziert, wenn infolge Gewittereinwirkung einzelne Schmelzleiter des Schmelzleitersystems auftrennen.

Bei der letztgenannten Störung tritt häufig die Situation ein, daß nur ein oder zwei Schmelzleiter auftrennen, die Sicherung aber z.B. mit insgesamt sechs Schmelzleitern ausgerüstet ist. Da aber üblicherweise die Sicherungseinsätze gemäß den Zuordnungstabellen ohnehin nur bis zu ihrem halben Nennstrom belastet werden, wird die entstehende Temperatur nicht ausreichen, die Temperaturbegrenzung zu aktivieren. Die Stromversorgung bleibt also gesichert. Erst wenn weitere Schmelzleiter aufschmelzen, es also zu unzulässig hohen Temperaturen kommt, wird die Temperatur-Begrenzung aktiv.

5. Zusammenfassung

Im Hause SIBA wurden die typgeprüften und zertifizierten HH-Sicherungen weiter entwickelt. Sie wurden mit einem integrierten Temperatur-Begrenzer ausgerüstet, um unzulässig hohe Temperaturen - gleich welcher Ursache - in gasisolierten oder enggekapselten luftisolierten Schaltanlagen zu vermeiden. Auf der Basis eines Schmelzaktivators wurden die Temperaturen am Gehäuse des Sicherungsbehälters von teilweise mehr als 160°C auf unter 80°C gesenkt.

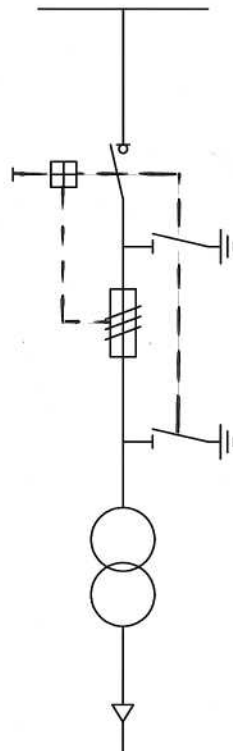
Dabei wurde besonder Wert auf die Stromversorgungssicherheit in Kundenanlagen gelegt. Nicht jeder kurzzeitige Überstrom führt direkt zu einem Ansprechen der Sicherung. Erst das Überschreiten zulässiger Grenzwerte aktiviert das Auslösesystem der neuen Sicherung und wirkt auf die Freiauslösung der Schaltanlage. Die Sicherungseinsätze sind voll kompatibel zu herkömmlichen Teilbereichsicherungen; alle Zuordnungstabellen behalten ihre Gültigkeit.

Damit hat sich der Arbeitsbereich der Sicherung in Verbindung mit einer Lastschalter-Sicherungs-Kombination ausgedehnt zu einem umfassenden **Schaltanlagen-Systemschutz**.

Literatur

- [1] IEC 282-1 : 1985
High voltage fuses Part 1: Current-limiting fuses
- [2] IEC 420 : 1990
High-voltage alternating current switch-fuse combinations
- [3] VDE 0670 Teil 402 : 1988
Wechselstromschaltgeräte für Spannungen über 1kV
- [4] ASTA 22 : 1979
Rules for the Short-Circuit Testing of High Voltage Combination Units

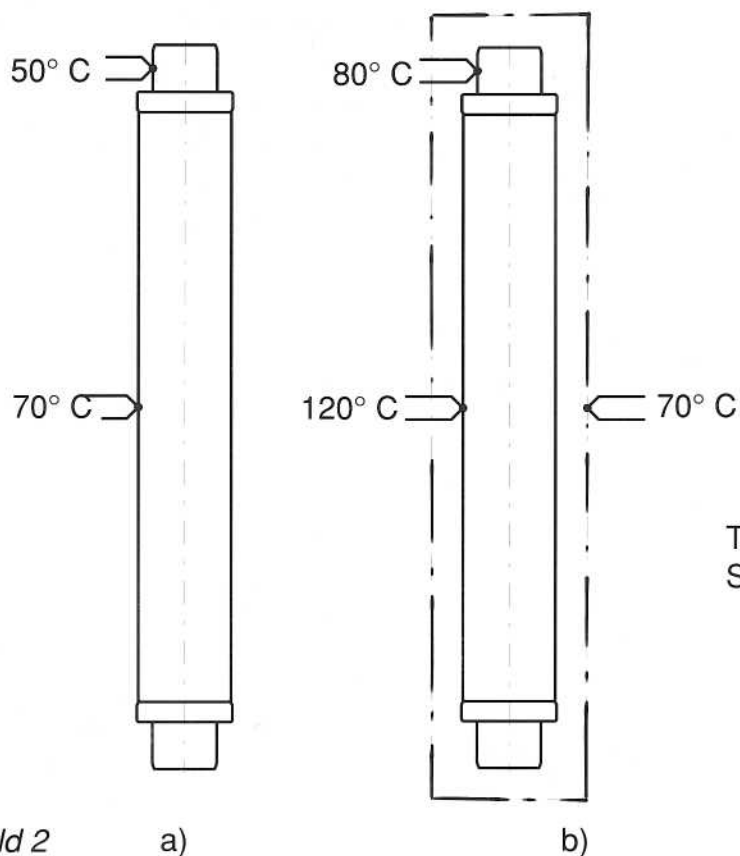
Zuordnung einer Hochspannungssicherung zum Netztransformator nach DIN VDE 0670
Teil 402



Hochspannungssicherung
24 kV 63A

Netztransformator
1000kVA 24/0,4kV 25A

Bild 1



Transformator 1000kVA 24 kV
Sicherungseinsatz 63A 24 kV

- a) luftisolierte Schaltanlage
- b) gekapselte Schaltanlage

Bild 2

a)

b)

Temperaturen am Sicherungseinsatz bei 50% Nennlast eines Transformators 1000kVA

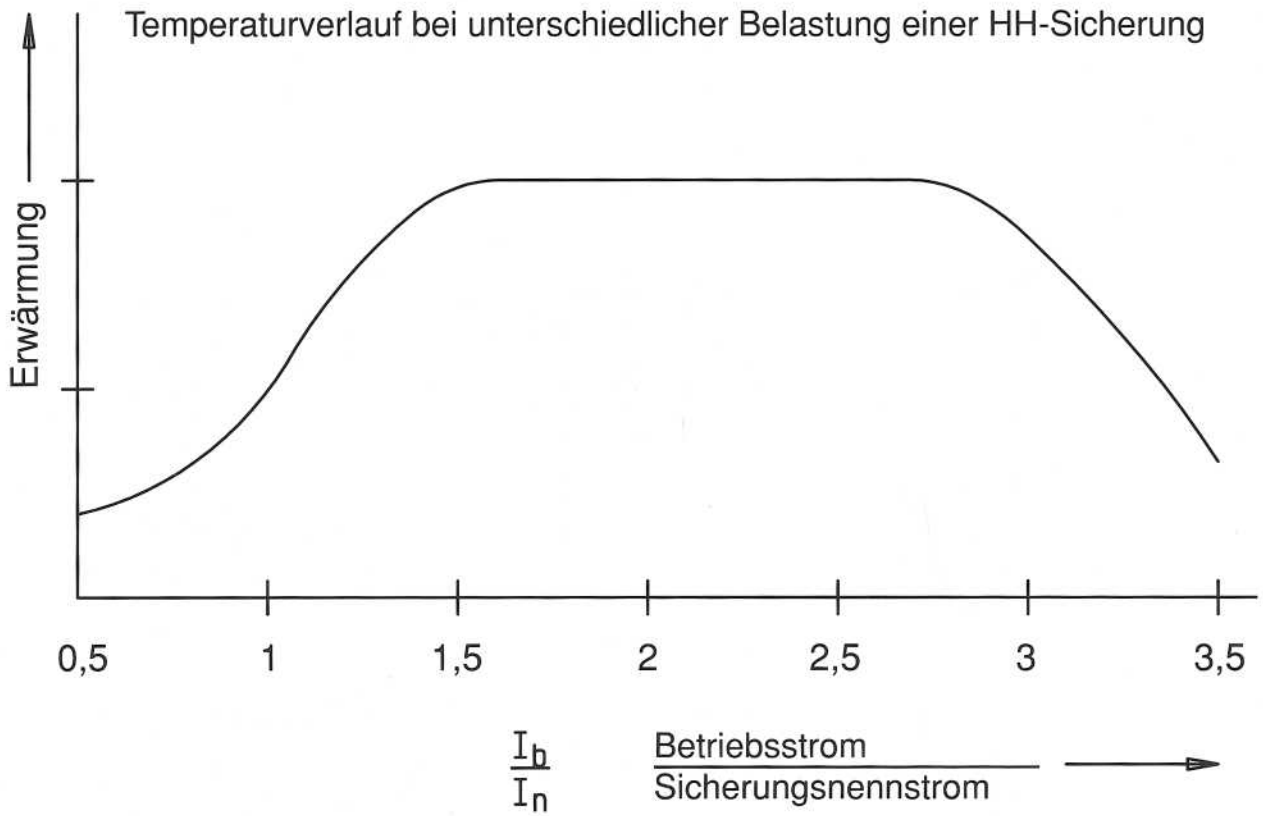


Bild 3

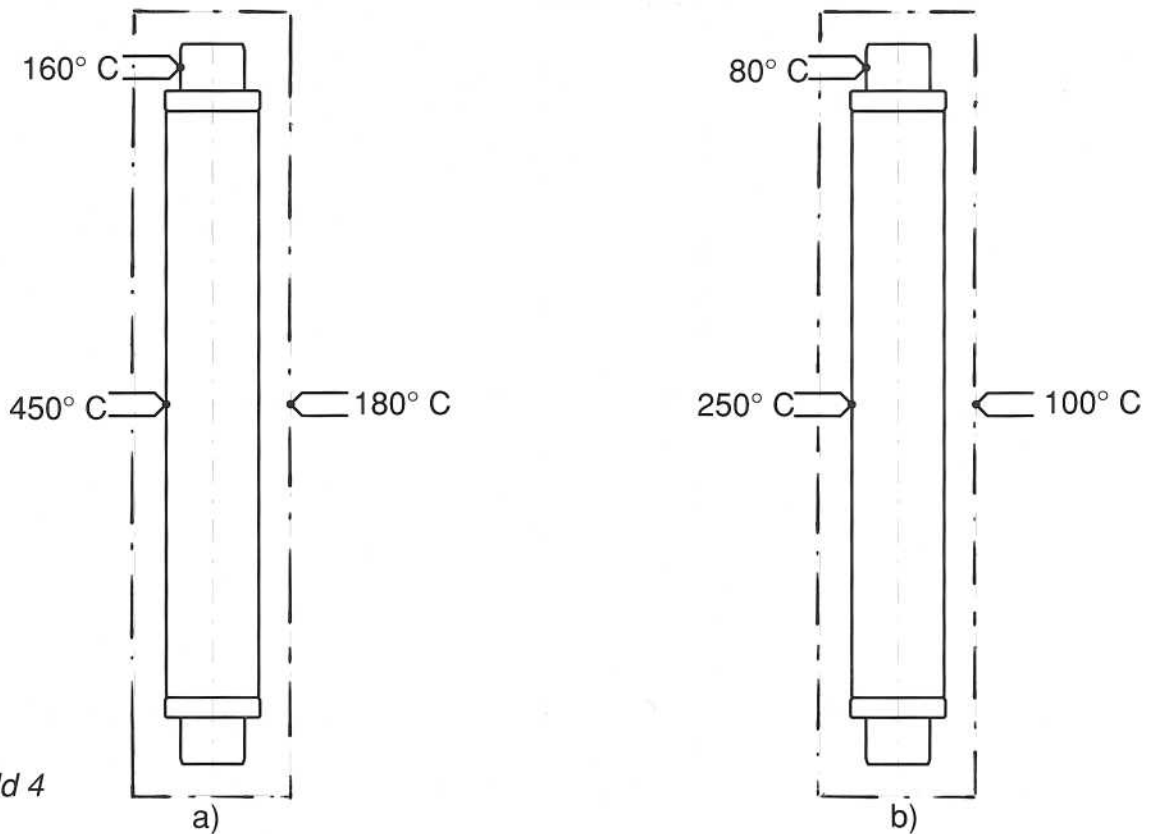


Bild 4

a) Temperaturwerte bei einer herkömmlichen HH-Sicherung 24kV 63A

b) Höchstwerte der Temperatur mit Schmelzaktivator

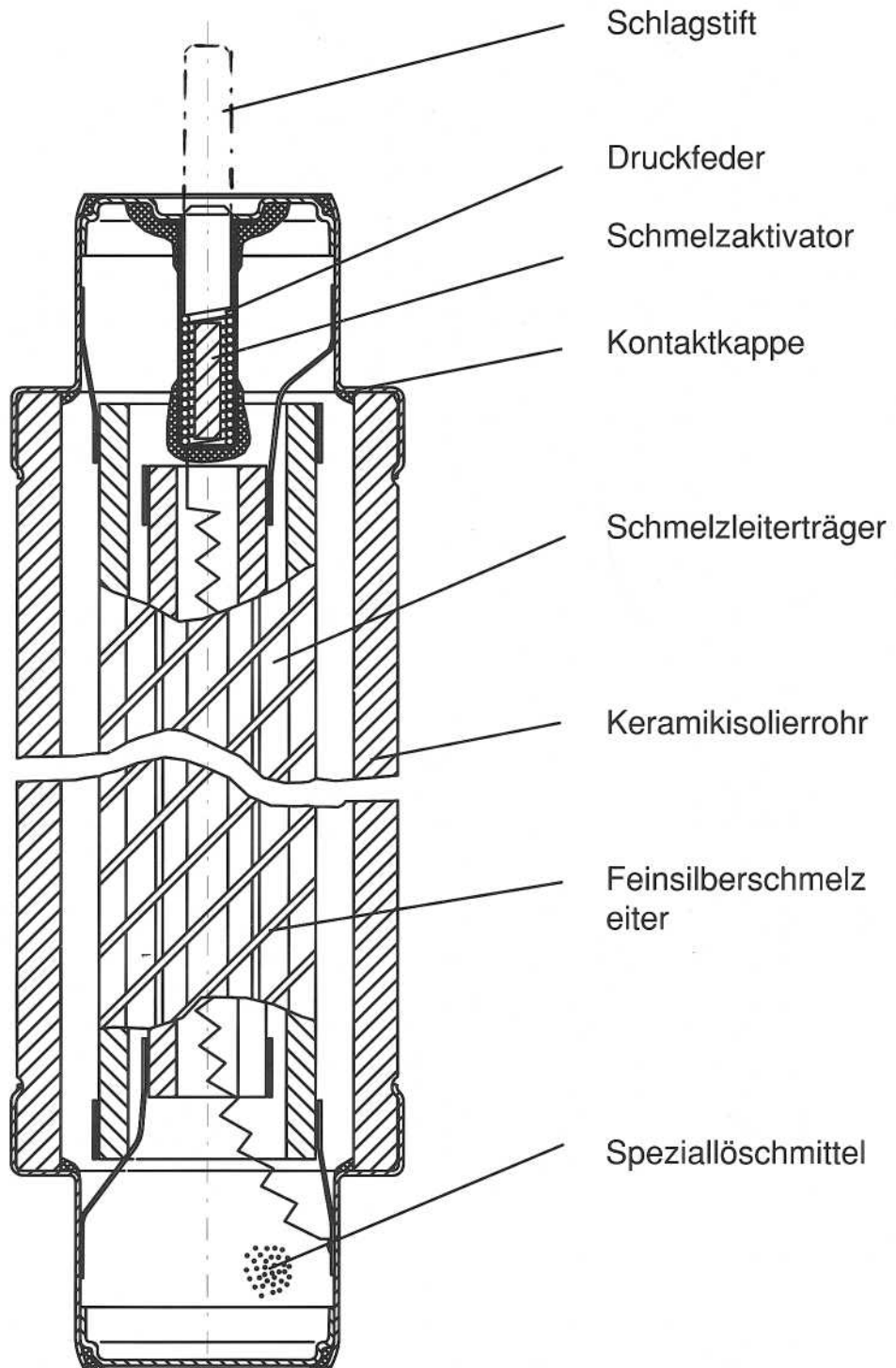


Bild 5

Strom - und temperaturbegrenzer Hochspannungs-Sicherungseinsatz

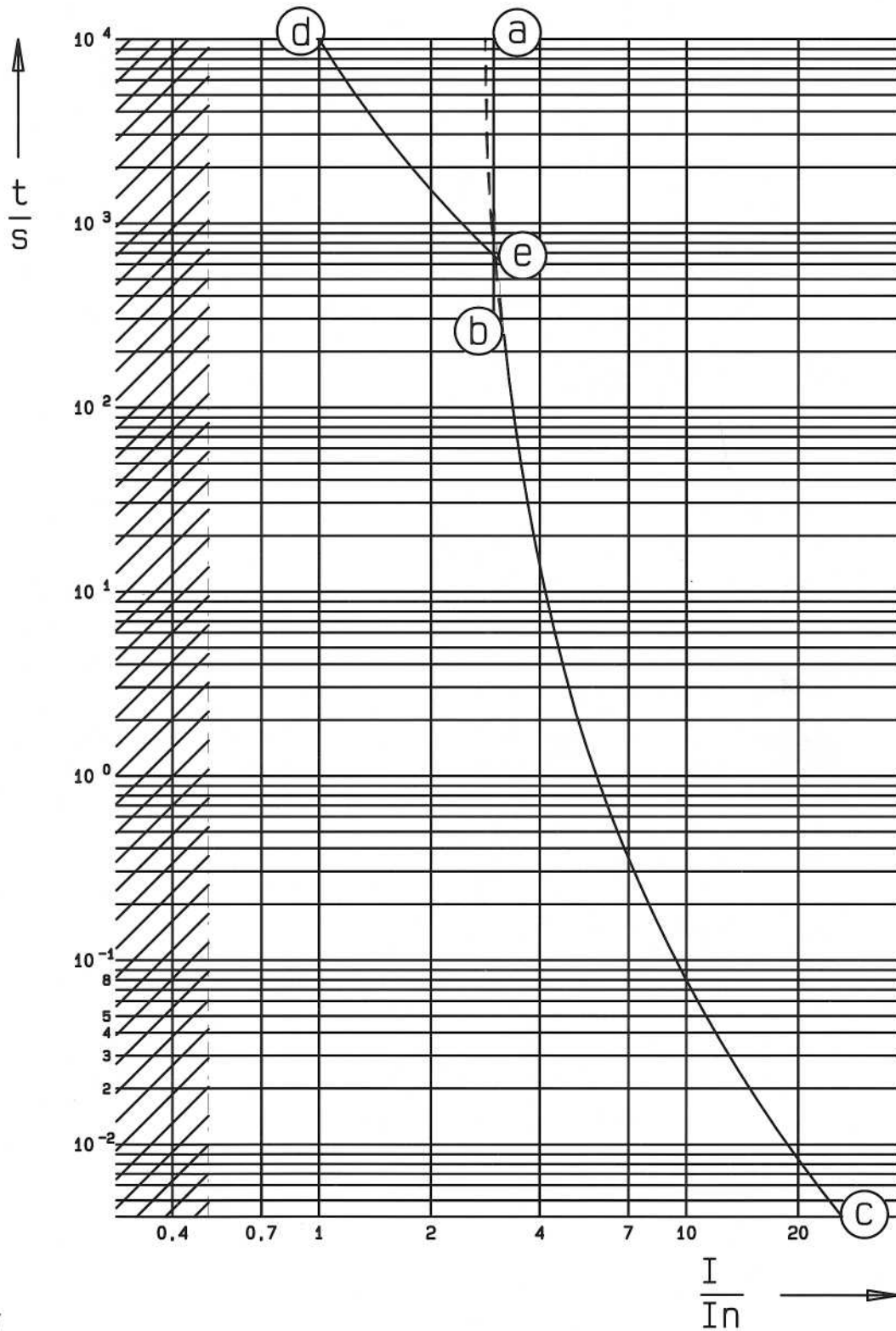


Bild 5

Zeit/Strom - Charakteristik einer temperaturbegrenzenden Hochspannungssicherung