

# Neue Ergebnisse zur Interaktion von Kontaktwerkstoff, Schaltgerät und Last beim Übertemperaturverhalten von Schützen

Timo Mützel, Peter Braumann, Ralf Niederreuther  
Umicore AG & Co. KG, Hanau, Deutschland, [timo.muetzel@eu.umicore.com](mailto:timo.muetzel@eu.umicore.com)

## Kurzfassung

Die technischen Anforderungen an Kontaktwerkstoffe für Schützenanwendungen werden durch Trends in der Geräteentwicklung, wie z.B. Miniaturisierung und Edelmetalleinsparung, stark beeinflusst. Das Übertemperaturverhalten ist dabei von besonderer Bedeutung. Daher wurden Untersuchungen zum Einfluss der Kontaktkraft, der zu schaltenden Last und des Metalloxidgehaltes auf das Schalt- und Übertemperaturverhalten von Schützen durchgeführt.

Der Einfluss der Kontaktkraft auf das Schalt- und Übertemperaturverhalten wurde bei einer um 30% verringerten Kontaktkraft analysiert. Neben dem Prellverhalten und damit der elektrischen Lebensdauer wird insbesondere auch das Übertemperaturverhalten negativ beeinflusst. Bei einem 160 kW Schütz erhöhten sich unter AC-4 Last die Übertemperaturwerte um 15 K. Weiterhin wurde bei Experimenten mit Silberzinnoxidkontaktwerkstoffen der Gesamtmetalloxidgehalt zwischen 4 und 17 Masseprozent variiert. Der positive Einfluss eines hohen Gesamtmetalloxidgehalts auf das Abbrandverhalten konnte durch Modellschalter- und Schützversuche deutlich herausgearbeitet werden. Untersuchungen zum Übertemperaturverhalten bei unterschiedlichen Gebrauchs-kategorien zeigen, dass die jeweilige Schaltbedingung in besonderem Maße das sich ausbildende Schaltgefüge und damit auch den Kontaktwiderstand beeinflusst. Bei Untersuchungen an einem 30 kW Schütz unterschieden sich die Übertemperaturen bei AC-3 und AC-4 Last um bis zu 40 K.

## 1 Einleitung

Neben Miniaturisierung sind Energie- und Kosteneffizienz die treibenden Faktoren bei der Entwicklung moderner Geräte der elektrischen Energietechnik. Im Bereich der Schaltgeräte führt dies zu miniaturisierten Gerätedesigns mit verringerten Auflagenrößen und/oder Edelmetallgehalt. Weiterhin werden auch die Kontaktkräfte bei Verwendung kleinerer Antriebs-einheiten immer weiter herabgesetzt. Die genannten Designparameter beeinflussen das Schalt- und Übertemperaturverhalten von Schützen wesentlich und sollen daher näher untersucht werden.

Nach HOLM [1] setzt sich der Kontaktwiderstand aus drei wesentlichen Einzelbestandteilen zusammen. Dies sind Enge- und Dünnschichtwiderstand sowie der Widerstand des Basismaterials. Die wirksame Mikroberührungsfläche, welche den elektrischen Strom leitet, wird als a-spot bezeichnet. Die Größe und Zahl dieser tatsächlichen Punktkontakte nimmt mit steigender Kontaktkraft zu. Der Engewiderstand  $R_e$  welcher durch eine einzelne kreisförmige Engstelle mit Radius  $\alpha$  verursacht wird, lässt sich für metallisch blanke Punktkontakte aus der Kontaktkraft  $F$  und dem spezifischen elektrischen Widerstand  $\rho$  sowie der Härte  $H$  des Kontaktwerkstoffs berechnen:

$$R_e = \frac{\rho}{2\alpha} = \rho \sqrt{\frac{\pi \cdot H}{4 \cdot F}} \quad (1)$$

Aus Gleichung 1 wird der reziprok quadratische Zusammenhang zwischen Kontaktwiderstand und Kontaktkraft ersichtlich. Auf den Einfluss der Kontaktkraft auf das Übertemperatur- und Schaltverhalten von Schützen wird in Kapitel 2 ausführlich eingegangen. Bei bekannter Kontaktkraft kann die wirksame Berührungsfläche  $A$  rein metallischer Kontakte in guter Näherung nach folgender Gleichung abgeschätzt werden:

$$A = \alpha^2 \cdot \pi \approx \frac{F}{H} \quad (2)$$

Zur Herstellung kosteneffektiver Schaltgeräte werden vom Markt Silbermetalloxidkontaktwerkstoffe mit reduziertem Edelmetallanteil gefordert. Der Einfluss des Metalloxidgehalts auf die wirksame Kontaktfläche im Neuzustand soll bei konstanter Kontaktkraft am Beispiel von Ag/SnO<sub>2</sub> mit 12% bzw. 14% Gesamtmetalloxidgehalt aufgezeigt werden:

$$\frac{A_{86/14}}{A_{88/12}} = \frac{H_{88/12}}{H_{86/14}} \approx 75\% \quad (3)$$

Gleichung 3 zeigt den Einfluss des Metalloxidgehaltes auf die Härte des Kontaktwerkstoffs und damit der wirksamen Kontaktfläche auf. Die wirksame Kontaktfläche eines neuen, ungeschalteten Kontakts verringert sich somit um 25% bei einer Erhöhung des Gesamtmetalloxidgehalts um 2%. Auf den Einfluss des Metalloxidgehaltes auf das Schalt- und Übertemperaturverhalten wird in Kapitel 3 näher eingegangen.

## 2 Bedeutung der Kontaktkraft bezüglich Schalt- und Übertemperaturverhalten

Der Einsatz energieeffizienter Geräte mit möglichst geringer Energieaufnahme im Betrieb ist heute von besonderer Bedeutung in der Entwicklung [2]. Daher werden bei Industrieschützen großer Nennleistung Stromsparschaltungen zur Ansteuerung der Antriebsspulen verwendet, welche nach dem Einschalten über einen reduzierten Haltestrom den Energieverbrauch im eingeschalteten Zustand senken. Darüber hinaus wird durch optimierte Magnetkreise und verringerte Kontaktkräfte versucht die Leistungsaufnahme zu reduzieren. Selbst bistabile Schütze mit zwei Antriebsspulen, welche lediglich zum Öffnen und Schließen der Kontakte Energie benötigen, sind am Markt verfügbar.

Im Folgenden wurden elektrische Lebensdaueruntersuchungen entsprechend den in [3a] definierten Gebrauchskategorien AC-3 (Anlassen und Ausschalten während des Laufs von Drehstromasynchronmotoren) und AC-4 (Anlassen, Gegenstrombremsen, Reversieren und Tippen von Drehstromasynchronmotoren) an einem 160 kW Schütz mit 30% reduzierter Kontaktkraft durchgeführt. Die Verringerung der Kontaktkraft wurde durch modifizierte Kontaktkraftfedern realisiert. Als Kontaktmaterial wurde ein pulvermetallurgisch hergestelltes Silberzinnoxid mit einem Gesamttoxidgehalt von 12 Masseprozent eingesetzt (Wirkzusätze:  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  und  $\text{WO}_3$ ).

Zunächst wurde der Einfluss der reduzierten Kontaktkraft durch die modifizierte Kontaktkraftfeder auf das Prellverhalten näher untersucht. In Bild 1 sind die Summenkurven der Prellverläufe, wie in [4] beschrieben, bei verschiedenen Schaltspielzahlen (AC-4) dargestellt. Hierbei werden die drei Phasen eines Schützes (L1 - L3) jeweils unabhängig voneinander analysiert.

Die Prelldiagramme neuer Schütze (Schaltspielzahl  $n < 1000$ ) sind einander sehr ähnlich, aber beim auftretenden Primärprellen ( $t < 2$  ms) handelt es sich bei reduzierter Kontaktkraft häufig um einen zweiseitigen Prellvorgang. Zwischen ein- und zweiseitigen Prellvorgängen kann durch weitere

Analyse der Spannung unterschieden werden. Im Gegensatz hierzu handelt es sich bei dem Schütz mit 100% Kontaktkraft meist um einseitige Prellvorgänge. Weiterhin ist bei reduzierter Kontaktkraft eine Tendenz zu Spätprellern ( $4 \text{ ms} < t < 6 \text{ ms}$ ) in Phase L2 zu beobachten. Im Verlauf der Lebensdaueruntersuchungen werden diese Spätpreller immer ausgeprägter (Bild 1,  $n = 45.000$ ).

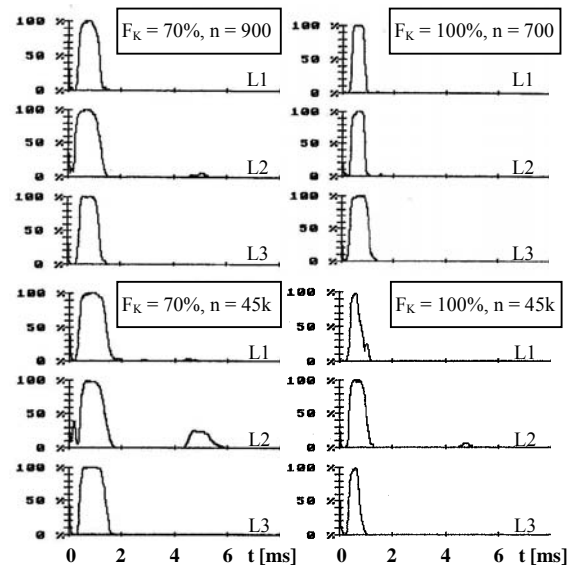


Bild 1 Vergleich der Prelldiagramme

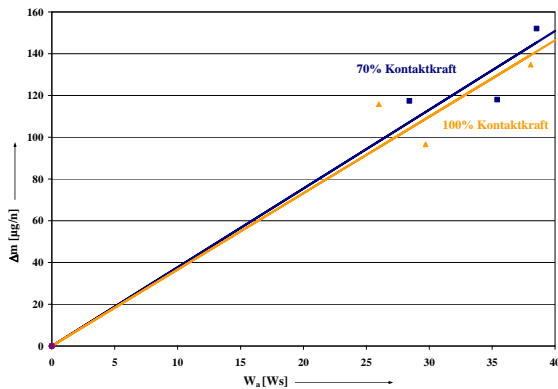
Die Berechnung der Ausschaltenergie  $W_a$  eines Schützes mit zwei Unterbrecherstellen erfolgt durch Multiplikation der doppelten Anoden-Kathodenfallspannung mit dem Integral des Leiterstromes vom Öffnen der Kontakte  $t_l$  bis zum Erreichen einer Lichtbogenspannung von 100 V:

$$W_a = 2 \cdot U_{AK} \int_{t_l}^{t_{100V}} i(t) dt \quad (4)$$

Nach Erreichen der Schwellspannung von 100 V kann von einer Kommutierung des Lichtbogens vom Kontaktmaterial in die Lichtbogenlöschkammer ausgegangen werden. Der Masseverlust  $\Delta m$  wird durch Wägung und Mittelwertbildung der Kontakte einer Phase ermittelt.

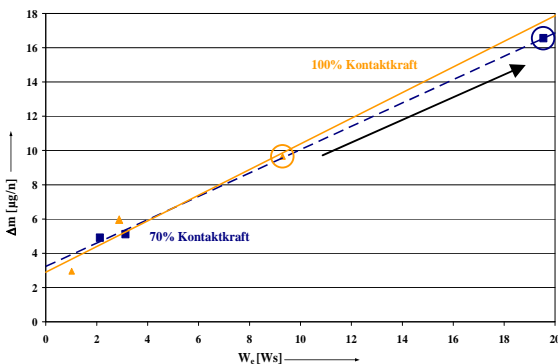
Die resultierende Ausschaltabbrandrate (Darstellung des Masseverlustes einer Kontaktbahn je Schaltung über der mittleren Ausschaltenergie) stellt das werkstoffspezifische Abbrandverhalten unter den Einsatzbedingungen des jeweiligen Schützes und der geschalteten Last dar. In den AC-4 Versuchen sind die Ausschaltenergien deutlich größer als die zugehörigen Einschaltenergien. Daher kann angenommen werden, dass der beobachtete Materialverlust ausschließlich

dem Ausschaltvorgang zugeordnet werden kann, weshalb die Abbrandwerte der einzelnen Phasen durch den Nullpunkt interpoliert wurden. Die Ausschaltabbrandrate unter AC-4 Last (siehe Bild 2) ist für beide Kontaktkräfte identisch. Weiterhin konnte kein Unterschied in den Ausschaltenergien bei unterschiedlicher Kontaktkraft festgestellt werden. Dieses Ergebnis zeigt sehr deutlich, dass die Kinematik des Ausschaltvorgangs lediglich in sehr geringem Maße von der Kontaktkraftfeder beeinflusst wird.



**Bild 2** Einfluss der Kontaktkraft auf Ausschaltabbrandraten (AC-4)

Neben den Untersuchungen zur Bestimmung des Ausschaltabbrandes bei AC-4 Last, wurden auch vergleichende Versuche bei AC-3 durchgeführt. Diese sollen den Einfluss der unterschiedlichen Kontaktkraft und den damit verbundenen Unterschieden im Prellverhalten beim Einschalten auf die Einschaltenergie und den Einschaltabbrand aufzeigen. Die Bestimmung der Abbrandrate erfolgte in diesem Fall nicht mittels einer Interpolation durch den Nullpunkt, da der Ausschaltvorgang einen nicht vernachlässigbaren Beitrag zum Gesamtabbrand liefert.

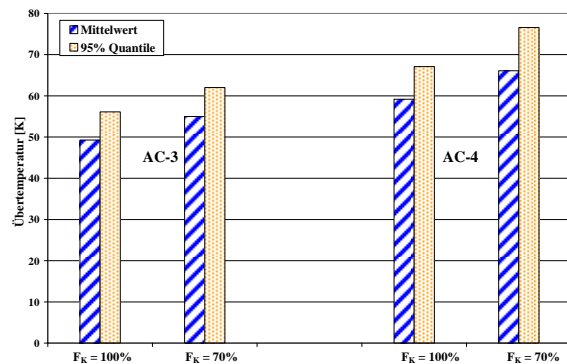


**Bild 3** Einfluss der Kontaktkraft auf Einschaltabbrandraten (AC-3)

Infolge optimierter Schutzkonstruktionen ist der absolute Einschaltabbrand wesentlich gesunken.

Untersuchungsergebnisse nach [5] zeigen, dass die Einschaltenergien durch optimiertes Prellverhalten teilweise noch deutlich unter den Ausschaltenergien liegen. Im untersuchten Gerät liegt die Ausschaltenergie für AC-3 bei  $W_a \approx 5$  Ws. In Bild 3 sind die Einschaltabbrandraten der beiden Varianten dargestellt. Die interpolierten Einschaltabbrandraten sind nahezu identisch, jedoch führen die hohen Einschaltenergien durch Spätpreller bei reduzierter Kontaktkraft zu Frühausfällen während der AC-3 Lebensdauerprüfung.

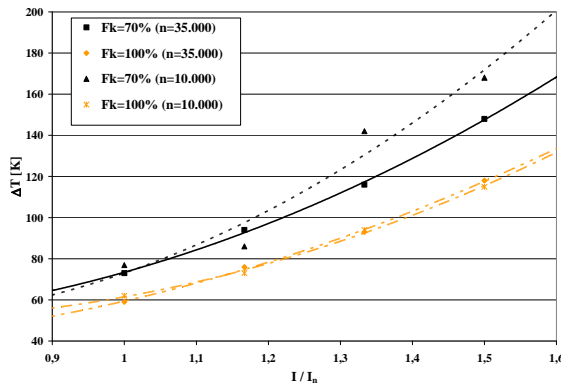
Im Zuge der elektrischen Lebensdaueruntersuchungen wurde bei verschiedenen Schaltspielzahlen das Über-temperaturverhalten bestimmt. Gemessen wurden die Temperaturanstiege  $\Delta T$  der Kontaktbrücken bei Nennstrom. Gemäß Gleichung 1 ist im Neuzustand bei einer Verringerung der Kontaktkraft um 30% mit einem Anstieg des Kontaktwiderstandes um 20% zu rechnen. In Bild 4 sind die Mittelwerte sowie die 95% Quantilen der Über-temperaturwerte während der Lebensdaueruntersuchungen für 100% und 70% Kontaktkraft dargestellt. Diese erhöhen sich bei reduzierter Kontaktkraft lediglich um ungefähr 10%. Auf den Einfluss der Last/Schaltbedingung auf das Über-temperaturverhalten wird in Kapitel 4 eingegangen.



**Bild 4** Über-temperaturverhalten in Abhängigkeit von der Kontaktkraft

Bei den durchgeführten Experimenten zum Über-temperaturverhalten wurde bei AC-4 der Einfluss erhöhter Dauerbetriebsströme bei reduzierter Kontaktkraft auf das Erwärmungsverhalten untersucht. Hierzu wurde der Erwärmungsstrom stufenweise von  $1 \cdot I_n$  auf  $1,5 \cdot I_n$  erhöht (Bild 5). Für die unterschiedlichen Kontaktkräfte bilden sich zwei Basistemperaturniveaus aus. Bei Nennstrom  $I_n$  sind 15 K höhere Maximalwerte (entspricht  $\sim 25\%$ ) der Über-temperatur für die reduzierte Kontaktkraft zu beobachten. Weiterhin ist bei höheren Stromstärken eine größere Streuung sowie eine leichte Tendenz zu einem stärkeren Anstieg der Temperatur und damit eine erhöhte Sensibilität gegenüber der Stromerhöhung zu beobachten.

Daher muss bei der Geräteentwicklung, insbesondere wenn die Kontaktkräfte bereits nahe den minimalen Anforderungen gewählt wurden, diesem Effekt besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.



**Bild 5** Übertemperaturverhalten in Abhängigkeit von Erwärmungsstrom und Kontaktkraft (AC-4)

### 3 Einfluss des Metalloxidgehaltes auf das Schaltverhalten

Eine Möglichkeit zur Edelmetalleinsparung in Schaltgeräten, insbesondere Schützen, ist der Einsatz von Kontaktwerkstoffen mit hohen Metalloxidgehalten. Für die nachfolgenden Untersuchungen zum Einfluss des Metalloxidgehaltes auf das Schaltverhalten wurde der Zinnoxidgehalt eines pulvermetallurgisch hergestellten  $Ag/SnO_2$  in einem Bereich von 4 bis 17 Masseprozent variiert.

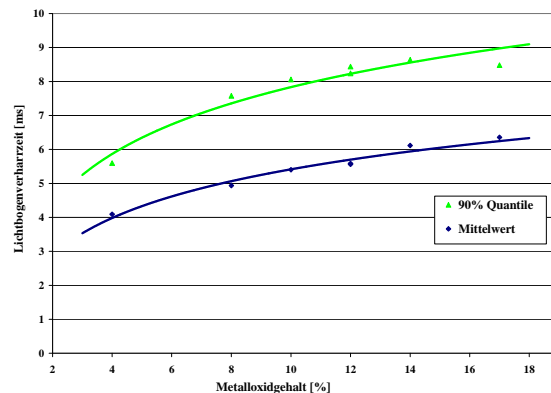
Der Einfluss des Zinnoxidgehaltes auf die Lebensdauer von Schützkontakten wurde bereits in [6] dargestellt. Diese Untersuchungen wurden jedoch mit Silberzinnoxidwerkstoffen durchgeführt, welche zusätzlich mit 2 Masseprozent  $Bi_2O_3$  als Wirkzusatz versehen waren. Die erzielten Ergebnisse hängen somit nicht nur vom Gesamtmetalloxidgehalt ab, sondern sind zusätzlich durch den Wirkzusatz beeinflusst.

In einem ersten Schritt soll der Einfluss des Metalloxidgehaltes auf das Abbrandverhalten, die Lichtbogenbeweglichkeit und den Kontaktwiderstand aufgezeigt werden. Hierzu wurden Experimente in einem Ausschaltmodellschalter durchgeführt. Der Aufbau des Modellschalters sowie die zugehörigen kinematischen Eigenschaften werden detailliert in [7] beschrieben. Die für die Versuche verwendeten Parameter sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Parameter	Wert
Spannung $U$	230 V
Strom (Spitzenwert) $i$	350 A
magnet. Blasfeld $B$	30 mT/kA
Öffnungsgeschwindigkeit $v$	0,4 m/s
Zahl der Schaltvorgänge $n$	1.000
Durchmesser $D$ der Kontakte	4,6 mm

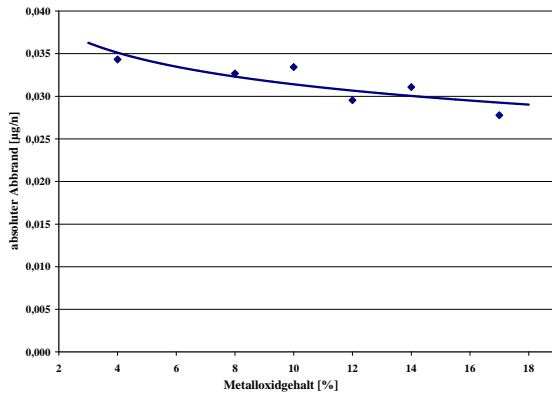
**Tabelle 1** Versuchsparameter

Durch das eigenerrigte magnetische Blasfeld kann der Ausschaltlichtbogen vom Kontaktmaterial auf Lichtbogenlaufbleche kommutieren. Bei diesem Vorgang lassen sich die Lichtbogenverharzeiten – also der Zeitraum den der Lichtbogen vom Öffnen der Kontakte bis zur Kommutierung benötigt – ermitteln. Die Bestimmung dieses Zeitraums erfolgt über eine Analyse der Lichtbogen Spannung. Ausgewertet wird der Zeitraum von der Zündung des Lichtbogens beim Öffnen der Kontakte bis zum Erreichen einer Bogenspannung von 60 V, bei der im verwendeten Modellschalter die Kommutierung auf die Lichtbogenlaufbleche stattfindet. Die Mittelwerte und 90% Quantilen dieser Zeiten sind in Bild 6 dargestellt. Mit steigendem Metalloxidgehalt steigt die Lichtbogenverharzeit an und somit nimmt die Lichtbogenbeweglichkeit ab.



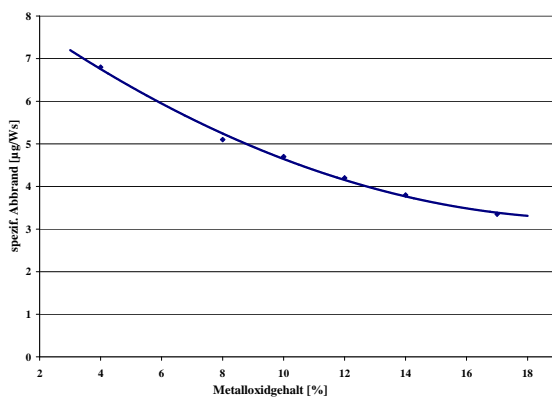
**Bild 6** Lichtbogenverharzeiten in Abhängigkeit vom Metalloxidgehalt

Mittels Wägung wurde der absolute Masseverlust der Kontaktwerkstoffe bestimmt. Die resultierenden Abbrandwerte je Schaltzyklus (Bild 7) zeigen eine deutliche Tendenz zu geringerem Abbrand mit steigendem Oxidgehalt auf. Lebensdauerexperimente zum Abbrandverhalten von  $Ag/SnO_2$  Kontaktwerkstoffen für Schützenanwendungen ( $I = 375$  A,  $\cos\varphi = 0,35$ ) zeigten vergleichbare Abbrandergebnisse auch bis zu einem Gesamttoxidgehalt von 20 Masseprozent [10].



**Bild 7** Absoluter Ausschaltabbrand in Abhängigkeit vom Metalloxidgehalt

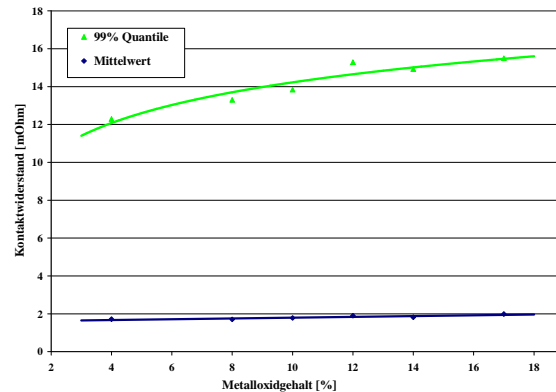
Eine bessere Lichtbogenbeweglichkeit und somit einhergehende kürzere Verharzeiten führen zu geringeren Ausschaltenergien, welche direkt im Kontaktwerkstoff umgesetzt werden. Daher müssen zum direkten Vergleich des Abbrandverhaltens die absoluten Masseverluste durch die im Werkstoff umgesetzten Energiewerte dividiert werden. Als Ergebnis erhält man den spezifischen Abbrandwert. Für Relaisanwendungen wurde die Abhängigkeit des spezifischen Abbrands vom Metalloxidgehalt bei deutlich geringeren Ausschaltenergien bereits in [8, 9] untersucht. Aufgrund der längeren Lichtbogenverharzeiten und den damit verbundenen höheren Ausschaltenergien, steigt unter den im Modellschalter eingestellten Schaltbedingungen bei Kontaktwerkstoffen mit hohem Metalloxidgehalt die im Werkstoff umgesetzte Ausschaltenergie deutlich an. Bereinigt man die absoluten Abbrandwerte aus Bild 7 um diesen Effekt und betrachtet den in Bild 8 dargestellten spezifischen Ausschaltabbrand, zeigen sich die Vorteile eines hohen Metalloxidgehaltes im Abbrandverhalten noch deutlicher.



**Bild 8** Spezifischer Ausschaltabbrand in Abhängigkeit vom Metalloxidgehalt

Die durchgeführten Versuche zeigen somit klar die Einsparpotentiale im Kontaktvolumen bei Verwendung von Werkstoffen mit hohem Metalloxidgehalt aufgrund des guten Abbrandverhaltens auf.

Ein Nachteil beim Einsatz von Kontaktwerkstoffen mit hohem Metalloxidgehalt liegt im Anstieg des Kontaktwiderstandes (Bild 9), welcher im Zusammenhang mit den Modellschalterversuchen ebenfalls erfasst wurde. Der damit verbundene Anstieg der Temperaturen im Gerät bei Nennlast kann insbesondere bei zu geringen Kontaktkräften zu kritischen Werten führen. Da dieser Anstieg jedoch stark unterproportional stattfindet ist er in einem Großteil der Anwendungen als unkritisch zu betrachten.



**Bild 9** Kontaktwiderstand in Abhängigkeit vom Metalloxidgehalt

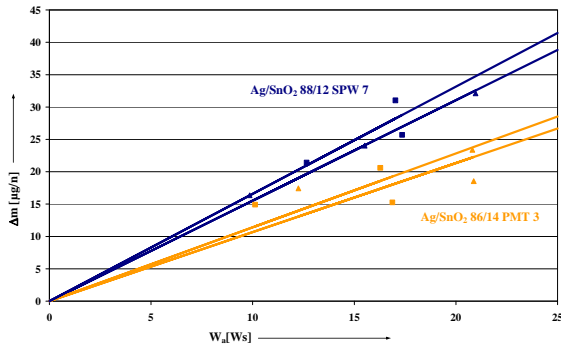
Da das Gerätedesign entscheidenden Einfluss auf das Schaltverhalten der Kontaktwerkstoffe hat, wurden als Ergänzung der Modellschalterversuche auch elektrische Lebensdauerversuche in einer Standardschützenanwendung durchgeführt. Die Versuchsparameter der Lebensdauerversuche sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Parameter	Wert
Spannung $U$	400 V
Strom $I$	324 A
Leistungsfaktor $\cos\phi$	1
Schaltfrequenz	250 1/h

**Tabelle 2** Versuchsparameter

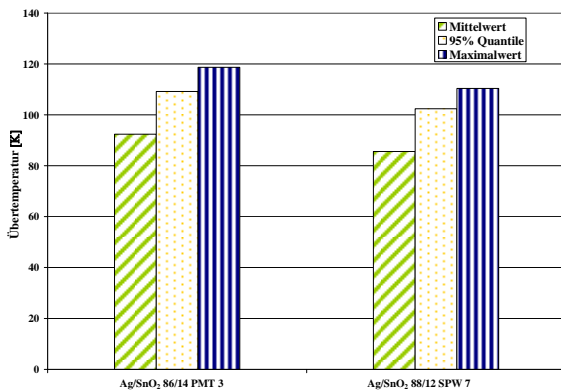
Aus diesen Lebensdauerversuchen lassen sich durch Auswertung der Ausschaltvorgänge und Wägung der Kontaktstücke entsprechende Abbrandraten (Bild 10) berechnen. Vergleicht man das Abbrandverhalten der beiden untersuchten Werkstoffe, so bleibt für den Kontaktwerkstoff Ag/SnO<sub>2</sub> 86/14 PMT3 eine um 30%

geringere Abbrandrate im Vergleich zu einem Material mit 12% Metalloxidgehalt festzuhalten. Hierdurch verlängert sich die elektrische Lebensdauer des Schützes entsprechend. Weiterführende Experimente haben gezeigt, dass diese Reduzierung der Abbrandrate im Wesentlichen vom Gesamtmetalloxidgehalt abhängt.



**Bild 10** Ausschaltabbrandraten von Ag/SnO<sub>2</sub> bei unterschiedlichem Metalloxidgehalt

Während der elektrischen Lebensdaueruntersuchungen wurden bei unterschiedlichen Schaltzahlen Übertemperaturmessungen an den Brückenkontakten unter Nennstrom ( $I_n = 100$  A), wie bereits in Kapitel 2 beschrieben, durchgeführt. Der Temperaturanstieg an den Brückenkontakten liegt üblicherweise im Bereich der zweifachen Klemmentemperatur. Durch eine entsprechende statistische Auswertung der Messergebnisse lassen sich die Unterschiede der Silberzinnoxidkontaktwerkstoffe mit 12% und 14% Gesamtmetalloxidgehalt darstellen (Bild 11).



**Bild 11** Übertemperaturverhalten (Brückenkontakte)

Bei einer Erhöhung des Metalloxidgehaltes um 2% beträgt der gemessene Temperaturanstieg an den Brückenkontakten unter der im Versuch eingesetzten Lastbedingung ungefähr 7 K. In diesem Fall konnte somit durch den Einsatz eines Ag/SnO<sub>2</sub> 86/14 PMT3

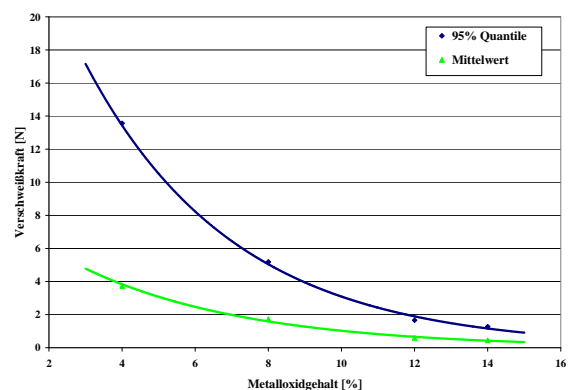
Kontaktwerkstoffes eine deutliche Verringerung im Abbrand und damit Erhöhung der elektrischen Lebensdauer bei einem gleichzeitigen moderaten Anstieg der Übertemperaturen erzielt werden.

Die Schweißneigung von Ag/SnO<sub>2</sub> (Wirkzusätze: CuO oder CuO + Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) mit einem Gesamtmetalloxidgehalt von 2% bis 8% wurde bereits in [11] untersucht. Für einen Strombereich von 100 A bis 400 A konnte gezeigt werden, dass bereits eine kleine Erhöhung des Metalloxidgehaltes deutliche Verbesserungen im Schweißverhalten hervorrufen kann. Für weiterführende Untersuchungen zum Einfluss des Metalloxidgehaltes auf den Einschaltabbrand und die Schweißneigung in Schützenanwendungen wurden Experimente mit einem Einschaltmodellschalter [4] durchgeführt. Der Metalloxidgehalt eines pulvermetallurgisch hergestellten Ag/SnO<sub>2</sub> wurde hierzu in einem Bereich von 2 bis 14 Masseprozent variiert.

Parameter	Wert
Spannung $U$	230 V (50 Hz)
Strom (Spitzenwert) $i$	700 A
Leistungsfaktor $\cos\varphi$	0,35±0,05
Kontaktkraft $F_K$	3,5 N
Schließgeschwindigkeit $v$	1 m/s
Zahl der Schaltvorgänge $n$	500
Durchmesser $D$ der Kontakte	4,0 mm

**Tabelle 3** Versuchsparameter des Einschaltmodellschalters

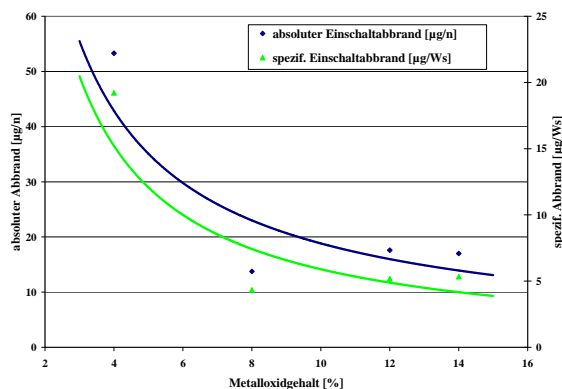
Die Verschweißkräfte von Silberzinnoxiden in Abhängigkeit vom Metalloxidgehalt, welche unter den in Tabelle 3 zusammengefassten Versuchsbedingungen erzielt wurden, sind in Bild 12 dargestellt.



**Bild 12** Verschweißkraft in Abhängigkeit vom Metalloxidgehalt

Ein reziprok exponentieller Zusammenhang zwischen Metalloxidgehalt und Schweißkraft konnte sowohl für die Mittelwerte als auch für die 95% Quantilen festgestellt werden. Die vorteilhaft niedrige Schweißneigung höherer Metalloxidgehalte erreicht ab 12% eine Sättigung. Weitere Verbesserungen sind nur durch die gezielte Verwendung entsprechender Wirkzusätze (z.B.  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) erreichbar [12].

Der Einschaltabbrand wird durch Wägung der Kontakte vor und nach dem Versuch bestimmt. Aufgrund des geringen Kontaktabstandes während des Prellvorgangs kondensiert der größte Teil des verdampften Kontaktmaterials wieder auf den Elektroden. Daher wird der Einschaltabbrand (Bild 13) durch das mechanische Erosionsverhalten der Werkstoffe beeinflusst [4]. Generell ist auch hier die Tendenz zu einem verbesserten Abbrandverhalten für Werkstoffe mit hohem Metalloxidgehalt deutlich zu erkennen. Aufgrund des nahezu konstanten Prellsprunges des Modellschalters sind die Einschaltenergien für alle untersuchten Werkstoffe identisch, weshalb auch der Verlauf des spezifischen Abbrandes über dem Metalloxidgehalt dem des absoluten Abbrandes gleicht.

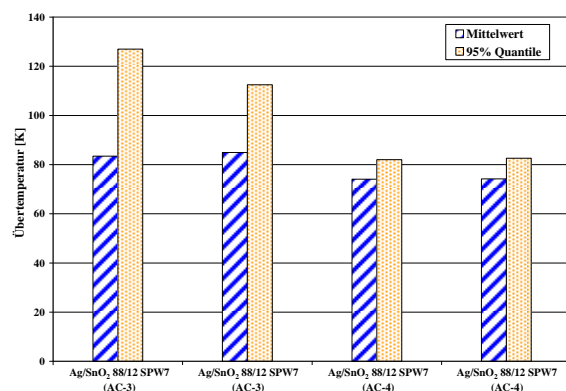


**Bild 13** Absoluter und spezifischer Einschaltabbrand in Abhängigkeit vom Metalloxidgehalt

## 4 Schaltbedingung und Übertemperaturverhalten

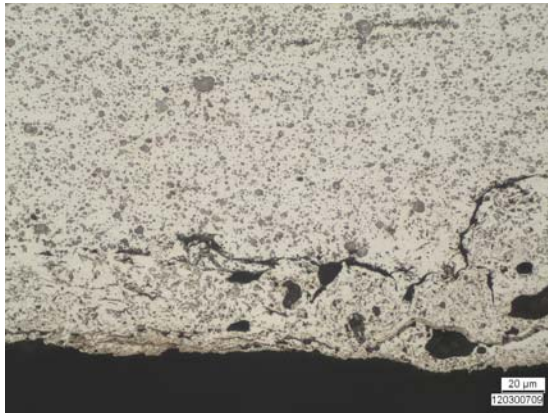
Weiterhin wurde der Einfluss des Schaltens unter verschiedenen Gebrauchskategorien von Schützen, AC-3 und AC-4, auf das Übertemperaturverhalten untersucht. Hierzu wurde ein 30 kW Standardschütz mit dem Kontaktwerkstoff Ag/SnO<sub>2</sub> 88/12 SPW7 verwendet. Der Temperaturanstieg auf den Brückenkontakten der Schütze wurde bei einem Erwärmungsstrom von  $I_n = 100$  A gemessen.

Während der elektrischen Lebensdaueruntersuchungen wird der Kontaktwerkstoff unter den verschiedenen Gebrauchskategorien beim Einschalten durch den Prelllichtbogen und beim Ausschalten durch den Ausschaltlichtbogen beansprucht. Die dabei eingebrachten Energien hängen von der jeweiligen Last (Strom, Spannung, Leistungsfaktor) der unterschiedlichen Gebrauchskategorien ab. Bei den AC-3 Versuchen wird der Kontaktwerkstoff wesentlich durch den Prelllichtbogen und dem Anlaufstrom beansprucht. Bei AC-4 hingegen dominiert der durch den energiereichen Ausschaltlichtbogen hervorgerufene Abbrand das Werkstoffverhalten. Bei den Versuchen wurden jeweils zwei Schütze bei einer Gebrauchskategorie geprüft und die jeweiligen Übertemperaturwerte für die Brückenkontakte bestimmt (Bild 14).



**Bild 14** Übertemperaturverhalten (Brückenkontakte)

Die Mittelwerte der Übertemperatur liegen in diesem Fall bei AC-3 Last 10 K über denen bei AC-4. Bei den 95% Quantilen ist die Differenz zwischen den Gebrauchskategorien sogar 40 K. Für Schütze größerer/kleinerer Nennleistung kann sich dieser Effekt bezüglich der übertemperaturkritischen Gebrauchskategorien umkehren (vgl. 160 kW Schütz aus Kapitel 2). Im Wesentlichen hängt dies vom Verhältnis zwischen Ein- und Ausschaltenergie sowie dem Gerätedesign ab. Am Ende der Lebensdaueruntersuchungen wurden Schliffe an den Kontaktauflagen durchgeführt (Bild 15). Die Aufnahmen zeigen eine geschlossene Oxiddeckschicht bei den Kontaktstücken nach AC-3 Last, welche die Ursache für den schlechteren Kontaktwiderstand und die höheren Temperaturanstiege darstellt. Im Gegensatz hierzu ist bei den Kontaktstücken nach AC-4 Last ein nahezu oxidfreies und silberreiches Schaltgefüge an der Kontaktfläche zu finden, welches im direkten Vergleich den besseren Übergangswiderstand ausbildet. Die stark unterschiedlichen Lichtbogensvorgänge erzeugen unterschiedliche Entmischungen und Schaltgefüge im Kontaktwerkstoff, wodurch sich auch das Übertemperaturverhalten bei verschiedenen Lasten stark unterscheidet.



**Bild 15** Gefüge von Schaltstücken am Ende der Lebensdaueruntersuchungen AC-3 (oben) und AC-4 (unten)

## 5 Zusammenfassung

Bei Betrachtungen zum Übertemperaturverhalten von Schützen ist die Interaktion von Gerät, Kontaktwerkstoff und Last von besonderer Bedeutung. Daher wurden experimentelle Untersuchungen zum Einfluss der Kontaktkraft, der geschalteten Last und des Metalloxidgehaltes auf das Schalt- und Übertemperaturverhalten von Schützen durchgeführt.

Eine Verringerung der Kontaktkräfte durch geänderte Kontaktkraftfedern beeinflusst die Kinematik und das Prellverhalten des Schützes. Daher waren bei den Versuchen unter AC-3 Last bei deutlich höheren Einschaltenergien auch sehr hohe absolute Werte für den Einschaltabbrand zu beobachten. Die Übertemperaturwerte stiegen bei einer um 30% verringerten Kontaktkraft sowohl bei AC-3 als auch bei AC-4 Last um 10% an. Kritische Übertemperaturwerte konnten insbesondere dann beobachtet werden, wenn das Gerät bei zu geringen Kontaktkräften mit hohen Nenn- oder zeitweisen Überströmen belastet wurde. Bei reduzierter Kontaktkraft sind eine größere

Streuung und eine erhöhte Sensibilität in den Übertemperaturwerten gegenüber Stromerhöhungen zu beobachten.

Am Beispiel von Modellschaltversuchen wurde der Einfluss des Metalloxidgehaltes von Ag/SnO<sub>2</sub> Kontaktwerkstoffen auf den Ein- und Ausschaltabbrand gezeigt. Diese grundlegenden Ergebnisse konnten durch Lebensdaueruntersuchungen an Schützen verifiziert werden. Silberzinnoxidkontaktwerkstoffe wie Ag/SnO<sub>2</sub> 86/14 PMT3 mit hohem Gesamtmetalloxidgehalt bieten durch niedrigere Abbrandraten Geräteherstellern Möglichkeiten zur Edelmetalleinsparung.

Durch den hohen Metalloxidgehalt lässt sich weiterhin auch die Schweißneigung von Ag/SnO<sub>2</sub> Kontaktwerkstoffen verringern. Diese Eigenschaft erreicht jedoch ab einem Gesamtmetalloxidgehalt von 12% eine Sättigung. Weitere Verbesserungen bezüglich der Schweißneigung können nur durch die Verwendung geeigneter Wirkzusätze erreicht werden.

Zur Beurteilung des Kontaktwiderstandes bzw. Übertemperaturverhaltens eines Gerätedesigns gilt es die Schaltbedingungen/Last besonders sorgfältig auszuwählen. Die während des Ein- und Ausschaltens im Kontaktwerkstoff durch Lichtbogeneinwirkung umgesetzten Energien beeinflussen in besonderem Maße das sich ausbildende Schaltgefüge und damit auch den Kontaktwiderstand. Bei den dargestellten Untersuchungen an einem 30 kW Schütz unterschieden sich die Übertemperaturen bei AC-3 und AC-4 Last um bis zu 40 K.

## 6 Literatur

- [1] Holm, R.: Electric Contacts: theory and application, Springer, Berlin/Heidelberg/New York, 2000
- [2] Schenk, E.: Absenken der Spulenleistung erhöht die Energieeffizienz, Markt&Technik, Nr. 28, S. 25-27, 2009
- [3] DIN EN 60947-4-1:2006-04: Niederspannungsschaltgeräte – Schütze und Motorstarter, VDE Verlag, 2006
- [4] Braumann, P.; Warwas, T.: Analyse des Einschaltvorganges von Motorschaltern für die Entwicklung von Kontaktwerkstoffen, 11. VDE Seminar Kontaktverhalten und Schalten, Karlsruhe, 1991
- [5] Berger, F.; Krätzschmar, A.; Anheuser, M.; Stammberger, H.: Schaltprinzipien der Niederspannungsschaltgerätekunde, 15. VDE Seminar Kontaktverhalten und Schalten, Karlsruhe, 1999



- [6] Hauner, F.; Jeannot, D.; McNeilly, K.: Advanced AgSnO<sub>2</sub> Contact Materials with High Total Oxide Content, 21<sup>st</sup> International Conference on Electrical Contacts (ICEC), Zürich, Schweiz, 2002
- [7] Braumann, P.: Auswirkungen von Verunreinigungen auf das Schaltverhalten von Kontakten der Energietechnik, 9. VDE Seminar Kontaktverhalten und Schalten, Karlsruhe, 1987
- [8] Braumann, P.; Koffler, A.: The Influence of Manufacturing Process, Metal Oxide Content, and Additives on the Switching Behaviour of Ag/SnO<sub>2</sub> in Relays, 50<sup>th</sup> IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, Seattle, WA, USA, 2004
- [9] Witter, G.; Chen, Z.: A Comparison of Silver Tin Indium Oxide Contact Materials Using A New Model Switch That Simulates Operation Of An Automotive Relay, 50<sup>th</sup> IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, Seattle, WA, USA, 2004
- [10] Yamasaki, H.; Oda, S.; Miyakawa, K.: Sintered Silver Tin Oxide Materials for Electrical Contacts, 10<sup>th</sup> International Conference on Electrical Contacts (ICEC), Budapest, Ungarn, 1980
- [11] Hetzmanseder, E.; Rieder, W.: The Influence of Bounce Parameters on the Make Erosion of Silver/Metal-Oxide Contact Materials, 39<sup>th</sup> IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, Pittsburgh, PA, USA, 1993
- [12] Behrens, V.; Honig, T.; Kraus, A.; Michal, R.: Schalteigenschaften von verschiedenen Silber/Zinnoxidwerkstoffen in Kfz-Relais, 14. VDE Seminar Kontaktverhalten und Schalten, Karlsruhe, 1997