

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Band:	67 (1976)
Heft:	24
Artikel:	Eigenschaften von Sinterkontaktwerkstoffen aus Silber-Graphit für die Energietechnik
Autor:	Haufe, W. / Schreiner, H.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-915246

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Eigenschaften von Sinterkontaktwerkstoffen aus Silber-Graphit für die Energietechnik

Von W. Haufe und H. Schreiner

621.315.56

Es werden Messergebnisse über Schweisskraft, Abbrand und Kontaktwiderstand der für die Energietechnik wichtigen AgC-Kontaktwerkstoffe mit C-Massengehalten von 0...5 % mitgeteilt. Zwischen den technologischen und physikalischen Eigenschaften bestehen Zusammenhänge. Schweisskraft und Abbrand hängen z.B. sehr stark von der Dichte (Porosität) und der Festigkeit des Kontaktwerkstoffes ab. Die Schweisskraft nimmt mit zunehmendem C-Massengehalt stark ab. Der Volumenabbrand zeigt bei 2 Massen-% C ein Minimum. Dies ist für den Einsatz von AgC-Kontaktwerkstoffen in der Energietechnik von besonderem Interesse, da neben einer Silbereinsparung gleichzeitig eine wesentlich kleinere Schweisskraft gegenüber Rein-Ag erzielt wird. Beim Kontaktwiderstand R_{K1} wurde nach dem Einschalten der Kontaktstücke mit zunehmendem C-Massengehalt eine ansteigende Tendenz festgestellt. Dagegen zeigt der Kontaktwiderstand R_{K2} nach dem Ausschalten der Kontaktstücke von 0...1 % C-Massengehalt einen sehr starken Abfall. Beim Kontaktwerkstoff AgC₅ sind der R_{K1} - und der R_{K2} -Wert praktisch gleich gross.

Les résultats de mesures concernant la force de soudage, l'usure par brûlure et la résistance de passage de matières de contact en AgC, avec teneur en C de 0...5 % masse, sont communiqués. Des relations existent entre les propriétés technologiques et les propriétés physiques. La force de soudage et l'usure par brûlure, par exemple, dépendent fortement de la densité (porosité) et de la solidité de la matière de contact. La force de soudage diminue beaucoup quand la teneur en C augmente. Le volume brûlé atteint un minimum pour 2 % de C. Ceci est particulièrement intéressant pour l'emploi de matières de contact en AgC dans la technique des courants forts, car on économise ainsi de l'argent, et la force de soudage est nettement moins grande que dans le cas d'argent pur. Lors d'une augmentation de la teneur en C, la résistance de passage R_{K1} , à la fermeture du contact, a tendance à augmenter. La résistance de passage R_{K2} , au déclenchement, diminue par contre très fortement quand la teneur en C passe de 0...1 %. Pour le contact en AgC₅, les valeurs de R_{K1} et R_{K2} sont pratiquement les mêmes.

1. Einleitung

Sinterkontaktwerkstoffe aus Silber-Graphit (AgC) haben in den letzten Jahren für die Anwendung als Kontaktstücke in Schaltgeräten der Energietechnik immer stärker an Bedeutung gewonnen. Die dafür in Frage kommenden Kontaktwerkstoffe besitzen Graphit-Massengehalte von 1...5 % und zeichnen sich durch eine kleine Schweisskraft und einen kleinen Kontaktwiderstand aus. Wegen der genannten günstigen Eigenschaften erstreckt sich der Einsatz dieser Kontaktwerkstoffe hauptsächlich auf Fehlerspannungs-, Fehlerstrom- und Leitungsschutzschalter usw., d.h. auf Schaltgeräte, bei denen nach Erteilung des Aus-Befehls mit der zur Verfügung stehenden Rückstellkraft auch im Kurzschlussfall ein sicheres Trennen der Kontaktstücke erfolgen muss, um den Personen- und Anlagenschutz zu gewährleisten.

In der vorliegenden Arbeit werden Schweisskraft-, Abbrand- und Kontaktwiderstandswerte von Sinterkontaktwerkstoffen aus AgC mit C-Massengehalten von 0...5 % mitgeteilt. Die Messungen wurden mit einem Prüfschalter unter Prüfbedingungen durchgeführt, die den Schaltbedingungen der Niederspannungsschaltgeräte der Energietechnik angepasst wurden.

2. Einige in der Literatur beschriebene Untersuchungsergebnisse

In der Literatur werden von Sinterkontaktwerkstoffen aus AgC neben grundsätzlichen Aussagen eine Reihe von Untersuchungsergebnissen angegeben und diskutiert, die sich jedoch meist nur auf ein oder zwei C-Gehalte beziehen und bei denen teilweise eine Vergleichsmöglichkeit zu den Eigenschaftswerten von Rein-Ag fehlt. Ein Vergleich der Messwerte verschiedener Autoren ist wegen der unterschiedlichen angewandten Prüfverfahren und Prüfbedingungen nur begrenzt möglich.

A. Keil und W. Merl [1]¹⁾ stellten fest, dass durch Beimischen von 1...5 % C zu Ag das Verschweissen im Vergleich zu Rein-Ag unter Wirkung hoher Schaltströme völlig ausbleibt, dass jedoch dieser Vorteil durch einen erhöhten Kontaktabbrand wieder aufgehoben wird. Abbrandwerte von un-

terschiedlich vor- und nachgepressten sowie zweimal gesinterten und nachgepressten Kontaktstücken mit C-Gehalten von 2...10 % werden angegeben.

Die Beurteilung der Schaltversuche geschah einmal durch Bestimmung des Materialverlustes infolge des Abbrandes nach jeweils 1200, 3000 bzw. 5000 Schaltungen unter Last (220 V, 20 A, 50 Hz, 1 mH, Einschaltdauer 0,7 s, Schaltfrequenz 10/min) sowie durch mikroskopische Untersuchung der Kontaktflächen. Die maximale Schaltzahl betrug 75 000. Die Abbrandwerte steigen in einem Fall von 3,3 µg pro Schaltung bei 2 % C auf 27 µg pro Schaltung bei 5 % C und 270 µg bei 10 % C an. Die Tendenz des starken Anstieges mit zunehmendem C-Gehalt zeigt sich auch bei den anderen untersuchten Kontaktwerkstoffqualitäten. Es wird darauf hingewiesen, dass sich eine Abnahme der Abbrandrate ergibt, je feiner der verwendete Graphit ist. Zusammenfassend wird gesagt, dass eine Verdopplung des C-Gehaltes die Abbrandrate auf den 10- bis 12-fachen Wert erhöht. Zwischen der Abbrandrate und den physikalischen Eigenschaften wie Dichte, elektrische Leitfähigkeit und Härte konnte kein unmittelbarer Zusammenhang festgestellt werden. Dagegen wurde gefunden, dass durch zweimaliges Sintern die Lebensdauer der Kontaktstücke um 100 bis 120 % verlängert werden kann, ohne dass dadurch die Schweissfestigkeit merklich beeinträchtigt wird.

Von G. Blum [2] wurden der Kontaktwiderstand, der Abbrand und die Schweissneigung von Sinterkontaktwerkstoffen aus AgC₃²⁾ in den Härtezuständen weich und hart sowie von geschmolzenem und gesintertem Rein-Ag gemessen. Der Kontaktwiderstand wurde durch Messung des Spannungsabfalles direkt an den Kontaktstücken bestimmt. Die Messwerte wurden zu Beginn der Lebensdauerprüfung sowie nach je 100 000 durchgeföhrten Schaltungen, und zwar an der Einschalt- und an der Ausschaltstelle festgestellt. Die Kontaktkraft betrug 20 N und der Prüfstrom 15 A. Die Werte des Kontaktwiderstandes waren an der Einschaltstelle um mehr als 50 % niedriger als an der Ausschaltstelle und wurden daher nicht erfasst.

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

²⁾ Der Index bezeichnet den prozentualen C-Massengehalt m_c .

Nach $5 \cdot 10^5$ Schaltungen lagen die Spannungsabfälle von geschmolzenem und gesintertem Rein-Ag bei 6 mV bzw. 4,2 mV und die von AgC_3 weich und AgC_3 hart bei 3,9 mV bzw. 3,7 mV und damit gegenüber den Werten von Rein-Ag merklich niedriger.

Die angegebenen Abbrandwerte wurden bei 220 V, 50 Hz, 15 A, $\cos \varphi = 1$, 20 N Kontaktkraft und einer Schalthäufigkeit von 3800/h gemessen. Die nach Schaltzahlen von 10^5 bis $5 \cdot 10^5$ für geschmolzenes und gesintertes Rein-Ag erhaltenen Abbrandwerte sind praktisch gleich gross. Der Sinterwerkstoff aus AgC_3 weich zeigte in diesem Schaltzahlbereich Abbrandwerte, die gegenüber den Werten von Rein-Ag bis zum Faktor 3 grösser waren. Gegenüber AgC_3 weich lagen die Abbrandwerte für AgC_3 hart nochmals bis zum Faktor 1,5 höher. Die als weich bezeichneten Werkstoffe wurden vor der Prüfung einer Glühbehandlung bei 800 °C unterworfen.

Bei der Untersuchung des Schweissverhaltens der AgC_3 -Kontaktwerkstoffe wurden keine Verschweissungen festgestellt. Sie werden daher als absolut schweißsicher bewertet.

Von A. Kleinle [3] werden Verschweisshäufigkeiten von Einschaltkontakteilen aus Rein-Ag, AgC_3 und AgC_1 unter den Prüfbedingungen $U = 220$ V, Einschaltspitzenstrom $I_S = 400$ A (Kondensatorenentladung), mittlere Bogendauer $t_B = 0,2$ ms, Kontaktkraft $F_K = 1,5$ N und Schaltzahlen von 0 bis 200, 200 bis 400, 400 bis 600 sowie 600 bis 800 mitgeteilt. Bei den AgC-Kontaktwerkstoffen tritt die grösste Verschweisshäufigkeit von 0 bis 200 Schaltungen auf. Rein-Ag zeigte eine Verschweisshäufigkeit von 89%, AgC_1 von 71% und AgC_3 von 12%. Für AgC_3 wird in den übrigen Schaltzahlbereichen die Verschweisshäufigkeit mit 0% angegeben.

H. Schreiner [4] betrachtet die geringe Schweissneigung als eine der hervorstechendsten Eigenschaften der AgC-Verbundwerkstoffe. Durch den Einbau von Graphit in das Silber-Grundmetall wird die Festigkeit gebildeter Schweissbrücken stark herabgesetzt. Es wurde das Schweissverhalten geschlossener Kontaktstücke untersucht. Die Kontaktkraft betrug 1 N und der Prüfstrom 1500 A (50 Hz, 4 Perioden). Die Maximalwerte der Schweisskraft liegen für Rein-Ag bei 60 N, für AgC_5 bei 1 N und für AgC_{10} bei 0,3 N.

AgC-Kontaktwerkstoffe besitzen einen kleinen Kontaktwiderstand. Dies wird damit begründet, dass bereits bei kleinen Kontaktlasten wegen der geringen Härte und den hervor-

ragenden Gleiteigenschaften des Graphits leicht metallische Berührungsflächen gebildet werden. Auch beim Schalten hoher Ströme bilden sich keine den Kontaktwiderstand erhöhenden Schichten aus. Die Oxide des Kohlenstoffes sind Gase und reichern sich an der Kontaktoboberfläche nicht an.

A. Erk und H. Westhoff [5] geben die Schweissfestigkeiten und die Schweissgrenzstromstärken von Rein-Ag und AgC_2 an. Die experimentellen Untersuchungen wurden an geschlossenen Kontaktstücken bei einer Kontaktkraft von 100 N und Stromscheitelwerten bis 15 kA durchgeführt. Gegenüber der Schweissfestigkeit von Rein-Ag mit 160 N/mm² ist die von AgC_2 mit 20 N/mm² um den Faktor 8 niedriger. Für Rein-Ag wurde eine Schweissgrenzstromstärke von 5,8 kA und für AgC_2 eine von 5,7 kA ermittelt.

Von A. Erk und K.H. Schröder [6] werden Ausschaltabbrandwerte für verschiedene Kontaktwerkstoffe, darunter für Rein-Ag und AgC_5 bei Lichtbogenströmen von 5...10 kA und Blasfeldinduktionen von $30 \cdot 10^{-3}$ bis $100 \cdot 10^{-3}$ T mitgeteilt. Für AgC_5 wird gegenüber Rein-Ag bei einer Blasfeldinduktion von $30 \cdot 10^{-3}$ T ein um den Faktor 2 und bei $60 \cdot 10^{-3}$ T ein um den Faktor 5 grösserer Abbrandwert angegeben. Über den Einfluss des C-Gehaltes auf den Abbrandwert werden keine Angaben gemacht.

H. Spengler [7] untersuchte das Abbrandverhalten von Rein-Ag, $\text{AgC}_{0,5}$ und AgC_5 unter den Schaltbedingungen 200 V, 50 Hz, mittlerer Lichtbogenstrom 5,5 A, Ohmsche Last, Einschaltgeschwindigkeit 10 cm/s, Kontaktkraft 1 N, Ausschaltgeschwindigkeit 20 cm/s, Schaltzahl $3 \cdot 10^5$ Schaltungen, Schalthäufigkeit 18 Schaltungen/min. Als Volumenabbrandwerte wurden für Rein-Ag 3,4 mm³, für die Kontaktwerkstoffe $\text{AgC}_{0,5}$ 4,7 mm³ und AgC_5 9,5 mm³ gefunden. Mit zunehmendem C-Gehalt wurde ein deutlicher Anstieg der Abbrandwerte beobachtet.

3. Untersuchte Kontaktwerkstoffe

3.1 Ausgangsstoffe und Herstellungsbedingungen der Kontaktstücke

Zur pulvermetallurgischen Herstellung der Rein-Ag und der AgC-Kontaktstücke mit C-Massengehalten von 1...5% wurden thermisch granulierte, gut fliessfähige Ausgangspulver verwendet. Der Pressdruck betrug 200 MN/m², um kantenfeste Presskörper zu erhalten. Die Sinterung erfolgte bei 820 °C, 1 h unter Wasserstoffatmosphäre. Zur Erzielung einer kleinen Porosität wurden die gesinterten Kontaktstücke bei einem Druck von 800 MN/m² kaltnachgepresst.

3.2 Porosität der Kontaktstücke

Fig. 1 zeigt die Abhängigkeit der Porosität der untersuchten Kontaktstücke vom C-Massengehalt. Die gesinterten Kontaktstücke aus Rein-Ag besitzen eine mittlere Porosität von 1,14%. Wird dem Ag 1 Massen-% C zugesetzt, verringert sich die Porosität der Kontaktstücke auf 0,2%. Bei weiterer Erhöhung des C-Massengehaltes nimmt die Porosität wieder zu. Für das Porositätsminimum kann folgende Erklärung gegeben werden: Durch den zwischen den Ag-Pulverteilchen eingelagerten Graphit wird beim Nachpressen gegenüber Rein-Ag die innere Reibung des Sinterkörpers verringert. Bei Graphitzusätzen > 1 Massen-% wird jedoch die Schmierwirkung des Graphits so gross, dass beim Abbau des Nachpressdruckes der Sinterkörper immer mehr «auffedert», und somit die Porosität wieder grösser wird.

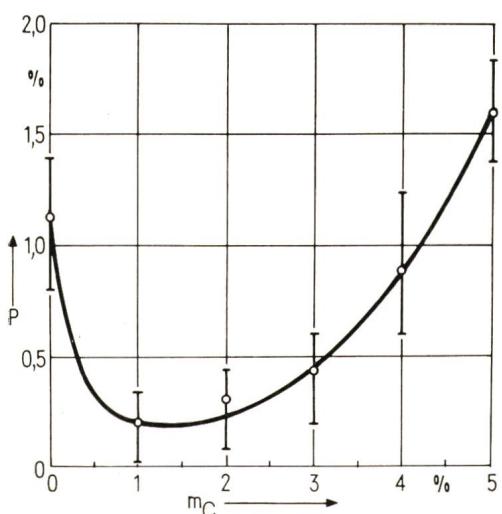


Fig. 1 Porosität P der untersuchten Kontaktwerkstoffe in Abhängigkeit vom C-Massengehalt m_C

3.3 Härte der Kontaktstücke

In Fig. 2 ist der Verlauf der Brinell-Härte der untersuchten Kontaktstücke in Abhängigkeit vom C-Massengehalt in zwei Härtezuständen dargestellt. Ein Vergleich der Kurven gibt Aufschluss über die Härtesteigerung der Kontaktstücke durch den Umformvorgang beim Nachpressen. Der nichtlineare Verlauf der Kurve 1 im Bereich zwischen Rein-Ag und AgC₁ ist auf die vergleichsweise höhere Porosität der Kontaktstücke aus Rein-Ag zurückzuführen. Bei den Kontaktstücken mit C-Massengehalten von 1...5% fällt die Härte linear ab.

Nach der Glühbehandlung der Kontaktstücke ergibt sich insgesamt gesehen gegenüber dem Nachpresszustand ein flacherer Kurvenverlauf der Härte (Kurve 2). Der Härtewert von Rein-Ag liegt deutlich unter dem Wert von AgC₁. Dies bedeutet, dass durch das Glühen bei Rein-Ag grössere innere Spannungen abgebaut werden. Mit zunehmendem C-Gehalt nähern sich die Kurven 1 und 2 immer mehr an, d.h., die zunehmende Porosität im Nachpresszustand und die im Inneren der Kontaktstücke kleiner werdenden Spannungen setzen die Härte herab.

4. Messung von Schweisskraft, Abbrand und Kontaktwiderstand

4.1 Prüfschalter

Eine Prüfung von Kontaktwerkstoffen im Schaltgerät ist aufwendig und zeitraubend. Eine wirtschaftliche Messung der technologischen Eigenschaften wird mit einem Prüfschalter erreicht, der die Einstellung anwendungsbezogener Prüfbedingungen gestattet. Ein Vergleich der Eigenschaftswerte verschiedener Kontaktwerkstoffe kann nur unter konstanten festgelegten Prüfbedingungen erfolgen. Zur Messung der Schweisskraft, des Abbrandes und des Kontaktwiderstandes hat sich die in [8; 9] beschriebene Prüfeinrichtung bewährt. Vom konstruktiven Aufbau her besteht dieser Prüfschalter aus folgenden vier Hauptbestandteilen: der Kontaktstückanordnung, der Schalteinheit für den Einschaltvorgang, derjenigen für den Ausschaltvorgang und dem motorischen Antriebssystem. Das Gerät ermöglicht die Einstellung der Prüfbedingungen in weitem Bereich und ist auf kurze Umrüstzeiten ausgelegt.

Der Einschaltvorgang wird durch Entregen eines Haltemagneten eingeleitet. Die Kontaktkraftfeder beschleunigt das bewegliche Schaltglied bis zum Zusammentreffen der Kontaktstücke. Die Schliessgeschwindigkeit und die Prellbedingungen können über die Federkonstante und die bewegte Masse eingestellt werden. Im feststehenden Schaltglied ist ein Piezo-Kraftmesselement eingebaut, das zur Schweisskraftmessung dient. Der Ausschaltvorgang wird durch ein zweites Feder-Masse-Magnet-System ausgeführt. Das motorische Antriebssystem bringt das bewegliche Schaltglied in die entsprechenden Ruhelagen. Alle Schaltfunktionen und Messvorgänge sind automatisiert.

Der Bewegungsablauf des beweglichen Schaltgliedes wird beim Ein- und Ausschaltvorgang mit Hilfe einer photoelektrischen Messeinrichtung erfasst. Der zeitliche Verlauf des Prüfstromes und der Lichtbogenspannung wird mit einem Zweistrahloszillographen registriert. Die Messung des Kontaktwiderstandes erfolgt nach der Strom-Spannungsabfall-Methode. Zur Ermittlung der Summenhäufigkeit der Schweisskraft- und Kontaktwiderstandswerte [10] wird eine EDV-Anlage eingesetzt; die Summenhäufigkeitskurve wird von einem Plotter aufgezeichnet.

4.2 Prüfbedingungen

Beim Einschalten von Niederspannungsschaltgeräten der Energietechnik erfolgt das Schliessen der Kontaktstücke meist unter Prellen. Durch die auftretenden Prell-Lichtbögen können die Kontaktstücke verschweissen. Die zum Zerreissen der Schweissbrücke erforderliche Zugkraft ist als Schweisskraft definiert.

Der Materialverlust der Kontaktstücke durch den Einschalt- und Ausschaltlichtbogen wird als Abbrand bezeichnet. Der Abbrandwert hängt von den Werkstoffkonstanten, der Stromgrösse und der Lichtbogenbrenndauer [11] ab und wird als Volumenverlust, bezogen auf eine bestimmte Schaltzahl, angegeben. Die Brenndauer des Ausschaltlichtbogens auf den Kontaktstücken kann durch ein magnetisches Blasfeld verkürzt werden. Die durch den Ausschaltlichtbogen hervorgerufenen Veränderungen der Kontaktflächen haben eine Rückwirkung auf die Schweisskraft [12].

Die Erwärmung der stromführenden Kontaktstücke im Schaltgerät wird durch die Grösse des Kontaktwiderstandes bestimmt.

Für die Messung der technologischen Eigenschaften der untersuchten AgC-Werkstoffe sind die Prüfbedingungen im Anhang zusammengestellt. Beim Prüfschalter besteht ein Schaltspiel aus dem Schliessen der Kontaktstücke unter Einschaltstrombelastung, dem Zerreissen der eventuell gebildeten Schweissbrücke, dem erneuten Schliessen der Kontaktstücke und dem Öffnen der Kontaktstücke unter Ausschaltstrombelastung. Die Ein- und Ausschaltung erfolgt bei den angegebenen Prüfströmen synchron zur Prüfspannung. Bezüglich des Prüfstromes liegt der Einschaltaugenblick bei $\alpha_{E1} = 0^\circ$, der Ausschaltaugenblick bei $\alpha_{A1} = 80^\circ$. Dabei wird die Polarität des Prüfstromes nach jedem Schaltspiel umgekehrt.

5. Messergebnisse

Von Rein-Ag und den AgC-Kontaktwerkstoffen mit C-Massengehalten von 1...5% wurden mit dem Prüfschalter die Schweisskraft F_s , der Volumenabbrand ΔV_{500} und die Kon-

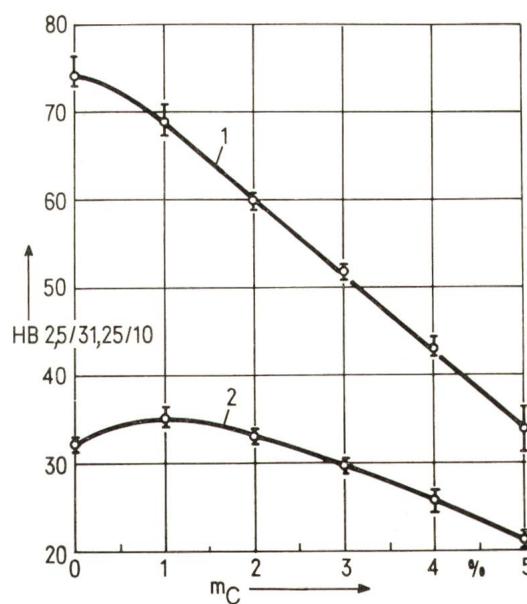


Fig. 2 Verlauf der Brinell-Härte HB 2,5/31,25/10 der untersuchten Kontaktwerkstoffe in Abhängigkeit vom C-Massengehalt m_c
1 Kontaktstücke im Nachpresszustand
2 Kontaktstücke weich geglüht (700 °C, 1 h, H₂)

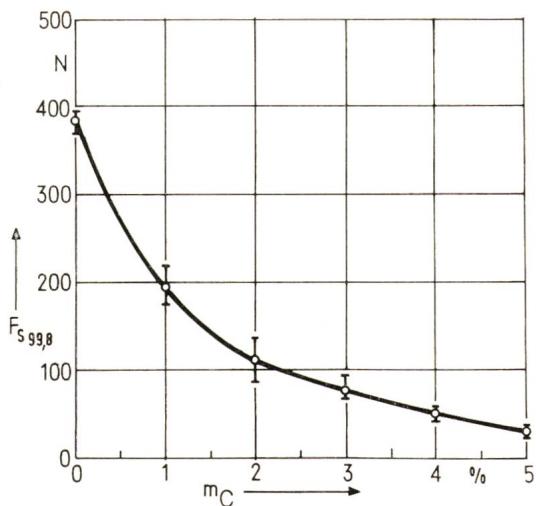


Fig. 3 $F_{99,8}$ -Wert der Schweißkraft der untersuchten Kontaktwerkstoffe in Abhängigkeit vom C-Massengehalt m_C

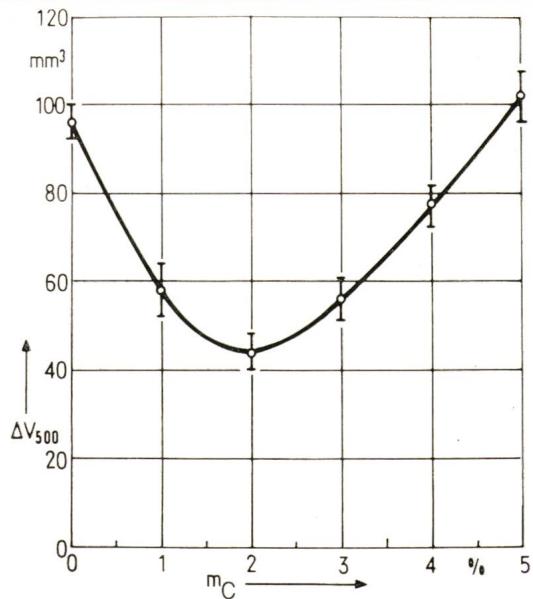


Fig. 4 Volumenabbrandwert ΔV_{500} der untersuchten Kontaktwerkstoffe in Abhängigkeit vom C-Massengehalt m_C

taktwiderstände R_{K1} und R_{K2} über zwei und teilweise über drei Messreihen ermittelt.

5.1 Schweißkraft

Wegen der statistischen Verteilung der Schweißkraftwerte kommt dem Maximalwert eine besondere Bedeutung zu, da die einwandfreie Funktion eines Schaltgerätes nur dann gewährleistet ist, wenn der Maximalwert der Schweißkraft von der im Schaltgerät zur Verfügung stehenden Rückstellkraft überwunden werden kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Prüfschalter die Schweißkraft als einkomponentige Zugkraft gemessen wird, während die Rückstellkraft in Schaltgeräten Zug-, Biege- und Scherkomponenten besitzt. Bei einer Schaltzahl von $n_s = 500$ wird der grösste gemessene Schweißkraftwert als $F_{99,8}$ -Wert bezeichnet. Dieser Wert ist in Fig. 3 von den untersuchten Kontaktwerkstoffen in Abhängigkeit vom C-Massengehalt aufgetragen. Der $F_{99,8}$ -Wert von Rein-Ag liegt bei 385 N. Mit steigendem C-Massengehalt ergibt sich ein stetiger Abfall der Kurve. Der $F_{99,8}$ -Wert von AgC_5 beträgt 30 N und liegt damit gegenüber Rein-Ag um den Faktor 13 niedriger.

5.2 Volumenabbrand

Der Volumenabbrandwert wird aus dem Massenverlust pro Prüfkontaktstück, der durch Wägung vor und nach einer Versuchsreihe bestimmt wird, und der Dichte des Kontaktwerkstoffs ermittelt. Bei einer Schaltzahl von $n_s = 500$ wird der Volumenabbrandwert mit ΔV_{500} bezeichnet. Die Abhängigkeit des Volumenabbrandwertes vom C-Massengehalt der untersuchten Kontaktwerkstoffe zeigt Fig. 4. Unter den angegebenen Prüfbedingungen beträgt der mittlere ΔV_{500} -Wert für gesintertes Rein-Ag 96 mm^3 . Mit zunehmendem C-Massengehalt verkleinert sich der Abbrandwert, bis etwa bei 2 % ein Abbrandminimum mit $\Delta V_{500} = 44 \text{ } mm^3$ auftritt. Mit weiter steigendem C-Massengehalt nimmt der Abbrand wieder grössere Werte an und erreicht bei 4,7 % den Abbrandwert von Rein-Ag. Der ansteigende Verlauf der Kurve mit zunehmen-

dem C-Massengehalt oberhalb von 2 % steht in Übereinstimmung mit den Angaben in [1].

In der aufgeföhrten Literatur sind im Strombereich um $I = 1 \text{ kA}$ keine Abbrandwerte angegeben. Die am nächsten liegenden Messungen beziehen sich auf 400 A [3] bzw. 1,5 kA [4]. Die von einigen Verfassern angegebenen Abbrandwerte von AgC-Kontaktwerkstoffen sind alle grösser als der jeweilige Wert von Rein-Ag. Bisher konnten keine Literaturhinweise auf ein Abbrandminimum bei einem C-Massengehalt von 2 % gefunden werden. Dieser Effekt des kleineren Abbrandwertes von AgC_2 gegenüber Rein-Ag ist für die Anwendung von AgC_2 -Kontaktstücken in der Energietechnik von besonderem Interesse, da eine erhebliche Einsparung von Silber ermöglicht und gleichzeitig eine wesentliche Herabsetzung der Schweißkraft gegenüber Rein-Ag erzielt wird.

Die Abbrandwerte von AgC-Kontaktwerkstoffen werden nach den Erfahrungen, die bei Einsatz verschiedener Qualitäten in Schaltgeräten gemacht wurden, durch die Dichte bzw. die Porosität und die Festigkeit beeinflusst. Mit abnehmender Porosität und zunehmender Festigkeit nimmt der Abbrand kleinere Werte an. Darüber hinaus sind die Abbrandwerte vom Gefüge der AgC-Kontaktwerkstoffe abhängig. Das Gefüge wiederum hängt von der Herstellungstechnologie und von den Herstellungsschritten ab (C-Teilchengröße, Verteilung usw.).

Im Grundmetall Rein-Ag sind im allgemeinen nennenswerte Gasmengen gelöst. Bei Lichtbogeneinwirkung auf die Kontaktflächen werden bei der Wechselwirkung mit der umgebenden Atmosphäre weitere Gasmengen vom Kontaktwerkstoff aufgenommen. Bei den nachfolgenden Lichtbogenbelastungen der Kontaktflächen kommt es bei Rein-Ag aufgrund momentaner Gasexpansionen zu einem starken Verspritzen von Kontaktwerkstoff und damit zu einer Erhöhung des Abbrandes. Außerdem wird beim Zusammentreffen der prellend schliessenden Kontaktstücke aus den durch die Prell-Lichtbögen geschmolzenen Bereichen Kontaktwerkstoff verspritzt. Obwohl der Lichtbogen auf AgC-Kontaktstücken schlechter

läuft als auf Rein-Ag-Kontaktstücken, ist der Anteil der eingewirbelten Gase und der verspritzten Kontaktwerkstoffanteile beträchtlich kleiner als bei Rein-Ag. Diese Wirkungen lassen sich beim Prüfschalter in der Nähe der Kontaktstücke durch die Grösse der schmelzflüssig verspritzten Kontaktwerkstoffanteile feststellen und belegen.

5.3 Kontaktwiderstand R_{K1} und R_{K2}

Der Kontaktwiderstand ist bei ein- und ausschaltenden Kontaktstücken, vor allem wenn Lichtbogenbildung auftritt, ebenso wie die Schweisskraft eine statistische Messgrösse. Die unter den angegebenen Prüfbedingungen gemessenen $(R_{K1})_{99,8}$ - und $(R_{K2})_{99,8}$ -Werte sind in Fig. 5 in Abhängigkeit vom C-Massengehalt dargestellt. Die Kurve der $(R_{K1})_{99,8}$ -Werte, die nach dem Einschaltvorgang gemessen wurden, zeigt mit zunehmendem C-Massengehalt eine ansteigende Tendenz, da gleichzeitig die C-Konzentration der Kontaktstelle bzw. der gebildeten Schweissbrücke ansteigt. Die Messung der $(R_{K2})_{99,8}$ -Werte wurde nach der Lichtbogenbelastung der Kontaktflächen beim Ausschaltvorgang durchgeführt. Wie aus der Darstellung in Fig. 5 zu entnehmen ist, sind die $(R_{K2})_{99,8}$ -Werte der AgC-Kontaktwerkstoffe wesentlich kleiner als der Wert von Rein-Ag. Den steilsten Abfall zeigt die Kurve 2 zwischen Rein-Ag und AgC₁. Die $(R_{K2})_{99,8}$ -Werte der Kontaktwerkstoffe AgC₁ bis AgC₅ liegen praktisch im gleichen Widerstandsbereich.

Der durch den Ausschaltlichtbogen verdampfte Kontaktwerkstoff schlägt sich in Form von Bedampfungsschichten auf den Kontaktflächen nieder. Diese Schichten besitzen relativ grosse Oxidanteile, die kontaktwiderstandserhöhend wirken. Obwohl Silberoxid bei Temperaturen oberhalb von 200 °C zerfällt, können sich bei abkühlendem Silber unterhalb von 300 °C Silberoxidschichten auf den Kontaktflächen bilden

[13], wodurch der höhere Kontaktwiderstand von Rein-Ag gegenüber den AgC-Kontaktwerkstoffen erklärt werden kann. Bei den C-haltigen Kontaktwerkstoffen entstehen unter Lichtbogeneinwirkung aus der Wirkkomponente Graphit die gasförmigen Oxide CO bzw. CO₂, die während des Schaltvorganges als Schutzgas wirken. Dadurch kann der Sauerstoff der Luft erst auf die Kontaktflächen einwirken, nachdem diese bereits abgekühlt sind. Andererseits sind Wechselwirkungen zwischen Ag₂O und C unter Bildung von CO₂ möglich. Graphit hat demnach bei den auftretenden Temperaturen eine reduzierende Wirkung auf die Kontaktflächen. Der steile Abfall der $(R_{K2})_{99,8}$ -Werte im Bereich 0...1 Gew.-% C (Fig. 6) deutet darauf hin, dass diese Effekte bereits bei kleinen C-Gehalten auftreten. Bei dem Kontaktwerkstoff AgC₅ sind der $(R_{K1})_{99,8}$ -Wert und der $(R_{K2})_{99,8}$ -Wert nahezu gleich gross.

Anhang: Prüfbedingungen bei der Schweisskraft-, Abbrand- und Kontaktwiderstandsmessung

Abmessungen der Kontaktstücke

Querschnittsfläche parallel zur Kontaktfläche	quadratisch
Kantenlänge	$a = 10 \text{ mm}$
Kontaktfläche des feststehenden und beweglichen Kontaktstückes	ballig, $r_B = 80 \text{ mm}$

Mechanische Prüfbedingungen: Schweisskraft-Abbrand

Schliessgeschwindigkeit der Kontaktstücke	$v_{S1} = 1 \text{ m/s}$
Kontaktkraft	$F_K = 60 \text{ N}$
Preldauer der ersten drei Prellsprünge	$t_P = 5 \text{ ms}$
Trenngeschwindigkeit der Kontaktstücke bei der Schweisskraftmessung	$v_{T1} = 7,4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
Trenngeschwindigkeit der Kontaktstücke beim Ausschaltvorgang	$v_{T2} = 0,8 \text{ m/s}$
Trennabstand	$a_T = 10 \text{ mm}$

Elektrische Prüfbedingungen: Schweisskraft-Abbrand

Prüfspannung	$U = 220 \text{ V}, 50 \text{ Hz}$
Strom	sinusförmig
Einschaltstrom	$I_E = 1000 \text{ A}$
Ausschaltstrom	$I_A = 1000 \text{ A}$
Leistungsfaktor	$\cos \varphi = 0,4$

Schaltspiel 1

Einschaltaugenblick	$\alpha_{E1} = 0^\circ$ (max. 0,1 ms nach Stromnulldurchgang)
Ausschaltaugenblick	$\alpha_{A1} = 80^\circ (\pm 0,1 \text{ ms})$

Schaltspiel 2

Einschaltaugenblick	$\alpha_{E2} = 180^\circ$ (max. 0,1 ms nach Stromnulldurchgang)
Ausschaltaugenblick	$\alpha_{A2} = 260^\circ (\pm 0,1 \text{ ms})$

Schaltspiel 3 = Schaltspiel 1 usw.

Induktion pro 100 A Prüfstrom in der Mitte der parallelen Stromzuführungen bei geschlossenen Kontaktstücken	$B = 50 \cdot 10^{-6} \text{ T/A}$
Schaltzahl	$n_s = 500$

Prüfbedingungen bei der Kontaktwiderstandsmessung

Schliessgeschwindigkeit der Kontaktstücke bei der Messung von R_{K1}	$v_{S2} = 7,4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
Treibende Spannung	$U_{Tr} = 5 \text{ V}$
Meßstrom	$I_M = 10 \text{ A}$
Messfolge nach Einschaltvorgang	R_{K1}
Messfolge nach Ausschaltvorgang	R_{K2}

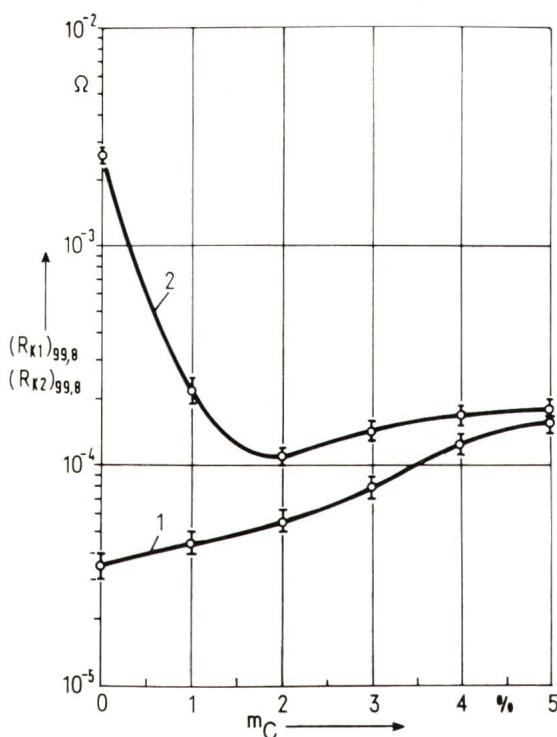


Fig. 5 $(R_{K1})_{99,8}$ - und $(R_{K2})_{99,8}$ -Werte des Kontaktwiderstandes der untersuchten Kontaktwerkstoffe in Abhängigkeit vom C-Massen gehalt m_C

Kurve 1: $(R_{K1})_{99,8}$ Kurve 2: $(R_{K2})_{99,8}$

Literatur

- [1] A. Keil und W. Merl: Über das Schweiß- und Abbrandverhalten von Unterbrecherkontakte aus Silber-Graphit. Metall 12(1958)7, S. 619...822.
- [2] G. Blum: Gesinterte Kontaktwerkstoffe. Elektric 13(1959)6, S. 201...206.
- [3] A. Kleine: Untersuchungen des Verschweissverhaltens von elektrischen Kontakten aus Silber und Silberlegierungen. Metall 15(1961)7, S. 666...671.
- [4] H. Schreiner: Pulvermetallurgie elektrischer Kontakte. Berlin/Göttingen/Heidelberg, Springer-Verlag, 1964.
- [5] A. Erm und H. Westhoff: Über das Verschweissen geschlossener Starkstromkontakte bei hohen Wechselströmen. ETZ-A 85(1964)8, S. 231...238.
- [6] A. Erm und K.-H. Schröder: Über den Materialverlust homogener und heterogener Kontaktwerkstoff für Schaltgeräte mit magnetischer Lichtbogenbeblasung. ETZ-A 89(1968)16, S. 373...377.
- [7] H. Spengler: Spezifischer Abbrand von Kontaktwerkstoffen. Metall 23(1968)6, S. 581...582.
- [8] H. Schreiner und W. Haufe: Messung der Schweißkraft, des Abbrandes und des Kontaktwiderstandes mit einem Prüfschalter zur Beurteilung von Kontaktwerkstoffen für die Energietechnik. Zeitschrift für Werkstofftechnik 7(1976)10, S. 381...389.
- [9] H. Schreiner und W. Haufe: The properties of P/M electrical contact materials. Internat. J. Powder Metallurgy and Powder Technology 12(1976)3, p. 219...228.
- [10] B. G. Koepke und R. I. George: A study of welding of medium energy electrical contacts. Proceeding of the sixth International Conference on Electrical Contact Phenomena, Chicago 1972, p. 15...24.
- [11] G. A. Farral: Arcing phenomena at electrical contacts. Proceedings of the Holm Seminar on Electrical Contact Phenomena, Chicago 1969; p. 119...144.
- [12] R. Kosowsky und P. G. Slade: Effect of arcing on the microstructure and morphology of Ag-CdO-Contacts. Proceedings of the sixth International Conference on Electrical Contact Phenomena, Chicago 1972, p. 117...127.
- [13] A. Keil und W. Merl: Über die Materialwanderung an elektrischen Unterbrecherkontakten. Zeitschrift für Metallkunde 48(1957)1, S. 16...24.

Adresse der Autoren

W. Haufe und Prof. Dr. H. Schreiner, Siemens AG, Zentrale Fertigungsaufgaben, Fertigungstechnische Entwicklung, Katzwangerstrasse 150, D-8500 Nürnberg.

Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

Sitzungen des CE 13, SC 13A und SC 13B, vom 20. bis 25. September 1976 in Warschau

CE 13, Appareils de mesure

An der Sitzung vom 25. September 1976 unter dem Vorsitz von C. A. Pannier (F) wurden die verschiedenen Tätigkeitsberichte ohne Diskussion entgegengenommen. Das CE 13 musste sich eine neue Benennung geben, weil jene des SC 13B zurzeit breiter ist als jene des übergeordneten CE 13. Ein zweckmässiger und selektiver Vorschlag des Vorsitzenden unterlag dabei dem zu breiten «Mesurages Electriques», der unberechtigterweise auch Geräte wie Messwandler einschliesst.

Haupttraktandum war jedoch die Wahl eines neuen Vorsitzenden für das SC 13A. Auf Vorschlag des Schweizerischen Nationalkomitees wurde Dr. sc. techn. A. Spälti ohne Gegenstimme gewählt.

W. Luder

sehr im Fluss befindet, dürfte dieses Ziel erst zu einem späteren Zeitpunkt sinnvoll erscheinen. Vorerst wird die GT 7 im Nachfolgedokument sich, wie bis anhin, mit den messtechnischen Spezifikationen sowie mit den Einflussgrössen und Prüfkriterien befassen.

Bei der Diskussion über den Inhalt des von der GT 6 erarbeiteten umfangreichen Dokumentes 13A(*Secrétariat*)256, Matériel et Laboratoires d'Etalonnage des Compteurs, drang mehrheitlich die Meinung durch, dass dieses vornehmlich die grundsätzlichen Punkte behandeln soll und Detailangaben über Komponenten höchstens in einem Appendix aufzuführen sind. Von besonderer Bedeutung ist der Begriff der Messunsicherheit, und man hat erkannt, dass die Grösse dieser Messunsicherheit und die Zählerfehltoleranzen in Zusammenhang stehen. Die Arbeitsgruppe wird das Dokument im Sinne der erhaltenen Kommentare überarbeiten; das Fernziel ist die Erstellung eines «Rapport de la CEI».

Die GT 8, Co-ordination of rates Values (Zähler/Stromwandler), hat sich konstituiert. Das Sekretariat ist von Schweden übernommen worden. Die Schweiz ist in der GT vertreten. Die Arbeiten sollen in engem Kontakt mit dem CE 38 durchgeführt werden.

Auf Anregung von Ungarn soll die CEI-Publikation 338, Télécouptage pour Consommation et Puissance moyenne, überarbeitet werden. Der Antrag wurde entgegengenommen; konkrete Aufträge wurden jedoch nicht erteilt.

Die nächste Sitzung des SC 13A soll im Frühjahr 1978 stattfinden; der Ort ist noch nicht bekannt.

A. Spälti

SC 13B, Equipement de mesure électrique

Unter dem Vorsitz von Dr. D. W. Braudaway (USA) nahmen an der Sitzung vom 20. bis 22. September 1976 28 Delegierte aus 13 Ländern teil. Am meisten Zeit benötigte die Diskussion über das Dokument 13B(*Secrétariat*)247, Norme pour les Transducteurs électriques de mesure convertissant les grandeurs alternatives en grandeurs continues. Auch dieser zweite Entwurf lehnt sich weitgehend an die Festlegungen der CEI-Publikation 51(1973) (anzeigende Messgeräte) an. Leider sind dabei jene Probleme, die sich bei Messumformern zusätzlich oder anders stellen, nicht genügend berücksichtigt worden. Deshalb haben viele Nationalkomitees – auch das schweizerische – Bemerkungen eingereicht.

Die schweizerische Eingabe wies beispielsweise darauf hin, dass unter den Einflussgrössen die sog. Common-Mode-Spannungen ignoriert wurden. Um die Herausgabe der ersten CEI-Publikation nicht zu verzögern, wird zunächst nur ein Hinweis eingefügt. Ergänzende konkretere Festlegungen können später in einem separaten Dokument folgen.

SC 13A, Compteurs

Unter der Leitung von Dr. Albach (D) als président intérimaire nahmen 43 Delegierte aus 19 Ländern an der Sitzung des SC 13A teil, welche vom 23. bis 25. September 1976 in Warschau stattfand. Das OIML war durch einen Beobachter vertreten; ferner war ein Mitglied des Bureau Central anwesend. Behandelt wurde folgendes:

Das von der GT 7 erarbeitete Dokument 13A(*Secrétariat*)255, Compteurs statiques de la classe 0,2 – Specifications métrologiques, wurde eingehend diskutiert. Die im Dokument erstmals vorgeschlagene identische Bezeichnung des Lastbereiches wie bei Stromwandlern und damit der Wegfall des beim Ferrariszählern üblichen Begriffs «Basisstrom» wurde gutgeheissen. Ferner wurde gewünscht, dass das Nachfolgedokument auch statische Zähler der Klasse 0,5 enthalten soll, und es wurde anerkannt, dass Fehlertoleranzen und Einflussgrössen verschieden sein können gegenüber denjenigen, wie sie bei Ferrariszählern zur Anwendung gelangen (CEI-Publication 521). Insbesondere wurde der schweizerische Antrag angenommen, dass bei dieser hohen Präzisionsklasse auch die Luftfeuchtigkeit zu beachten ist. Belgien hat darauf aufmerksam gemacht, dass der durch die Impulswertanpassung bedingte unregelmässige Impulsabstand besondere Instruktionen für die Prüfung solcher Zähler erfordert. Verschiedene Länder wiesen darauf hin, dass statische Zähler durch hochfrequente Spannungen oder Felder beeinflusst werden können und dass dieser Effekt zu limitieren sei. Man hat sich geeinigt, möglichst die gleichen Kriterien anzuwenden wie bei statischen Netzschatzrelais (SC 41B). Bezüglich der äusseren Form des Dokumentes wurde gewünscht, dass dieses zu einer «Norme de la CEI» ausgebaut werden soll, was bedeutet, dass auch Definitionen, mechanische und elektrische Anforderungen zu spezifizieren sind. Nachdem sich aber die Technologie statischer Zähler noch