

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 55 (1964)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Der elektrische Kontakt als Gegenstand der Forschung und eines internationalen Erfahrungsaustausches  
**Autor:** Keil, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916671>

### **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:** 23.02.2026

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

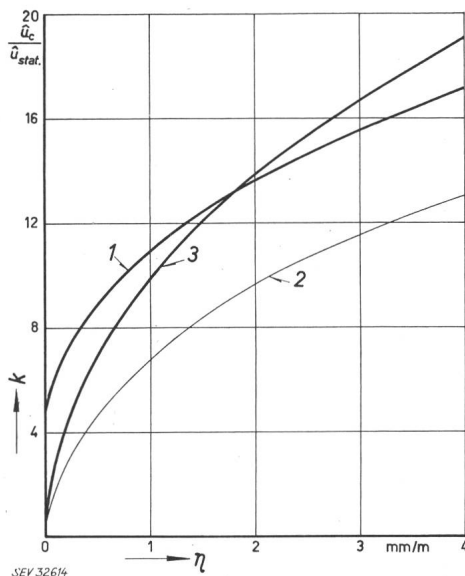


Fig. 13

Überspannungsfaktor  $k$  von Modelltransformatoren in Funktion des Luftspaltverhältnisses  $\eta$   
Kapazität  $C = 0,5 \mu\text{F}$

- 1 Dynamoblech IV, Kern 4;  $\hat{B}_m = 1,2 \text{ Vs/m}^2$   
2 Armco M-6W, Kern 6;  $\hat{B}_m = 1,5 \text{ Vs/m}^2$   
3 Kurve 2 (Kern 6) auf Kern 4 umgerechnet;  $\hat{B}_m = 1,5 \text{ Vs/m}^2$

Windungszahl, primär . . . . . 1330 Wdg.  
Eigenkapazität . . . . . 3100 pF  
Zusatzkapazität . . . . . 9300 pF

Überspannungsfaktor  $k_1$  aus Fig. 13, Kurve 1

Gesucht wird:

Überspannungsfaktor  $k_2$  des Transformators mit Zusatzkapazität.

Das Verhältnis der Überspannungsfaktoren ergibt sich aus der Proportionalitätsrelation:  $k_1/k_2 = 2,13$ . Zum Vergleich wird noch der Überspannungsfaktor für einen geschachtelten Kern ( $\eta = 0,025 \text{ mm/m}$ ) und für einen Kern aus Armco oriented M-6W bei  $\hat{B}_m = 1,5 \text{ Vs/m}^2$  angegeben. (Windungszahl 1065 Wdg.,  $k_1/k_2 = 1,7$ ). Die Resultate sind in Tab. III zusammengestellt.

Die letzte Kolonne in Tab. III stellt den von der FKH gemessenen Höchstwert  $k_2$  gemessen aus 20 Abschaltungen mit einem ölarmen Schalter dar. Der aus der Modellmessung bestimmte, theoretisch mögliche, d. h. der bei rückzündungsfreier Abschaltung des Leerlaufstromes im Scheitelwert zu erwartende Überspannungsfaktor  $k_2 = 3,6$  wird nicht erreicht, doch ist es durchaus möglich, dass bei genügend grosser Zahl von Abschaltungen dieser Wert auch bei einem technischen Schalter erreicht werden kann. Mit einem Kern

## Resultate des Beispiels

Tabelle III

Kernmaterial	$\hat{B}_m$ Vs/m <sup>2</sup>	$\eta$ mm/m	$k_1$ aus Fig. 13	$k_2$ (Trans- formator 4,3 MVA)	$k_2$ (ge- messen)
Dynamoblech IV	1,2	0,3 0,025	7,8 5,5	3,6 2,4	1,75
Armco oriented M-6W	1,5	0,3 0,025	5,8 1,4	3,4 0,8	

aus orientiertem Blech,  $\hat{B}_m = 1,5 \text{ Vs/m}^2$  und  $\eta = 0,3 \text{ mm/m}$ , liegt der mögliche Überspannungsfaktor mit  $k_2 = 3,4$  ebenfalls über dem in der Praxis oft angesetzten Höchstwert von 2,5.

Um den Transformator gegen Beschädigungen zu schützen, wurde die wirksame Eigenkapazität von 3100 pF auf 12 400 pF vergrössert. Infolge des Kapazitätsverhältnisses von 1:4 sind bei der reinen Eigenkapazität doppelt so hohe Überspannungsfaktoren zu erwarten. Nur ein Transformator in geschachtelter Bauart aus kornorientierten Blechen wird in diesem Fall, unabhängig vom Schalter, die Überspannung auf zulässige Werte begrenzen. Für einen Überspannungsfaktor von  $k = 2,5$  beträgt der zulässige totale Luftspalt im vorliegenden Beispiel 0,3 mm.

Ob die Umrechnung der Modellresultate auf Leistungstransformatoren zulässig ist, lässt sich aus dem Vergleich in Tab. III vermuten, sollte aber durch Messungen an verschiedenen Transformatoren noch bestätigt werden. Vor allem wäre der grosse Einfluss des Luftspaltes, d. h. der Einfluss des Schachtelns der Bleche noch experimentell zu beweisen.

## Literatur

- [1] K. Berger, R. Pichard: Die Berechnung der beim Abschalten leerlaufender Transformatoren, insbesondere mit Schnellschaltern entstehenden Überspannungen. Bull. SEV, Bd. 35, 1944.  
P. Baltensberger: Surtension lors du déclenchement de faible courants inductifs. CIGRE 116, 1950.  
A. W. Roth, H. R. Strickler: Etude de la réduction des surtensions résultant du déclenchement de transformateurs marchant à vide. CIGRE 129, 1954.  
P. Baltensberger: Form und Grösse der Überspannungen beim Schalten kleiner induktiver sowie kapazitiver Ströme in Hochspannungsnetzen. BBC-Mitt., Jg. 47, 1960.
- [2] K. Berger: Schaltüberspannungen und ihre Begrenzungsmöglichkeiten. Bull. SEV, Bd. 53, 1962.
- [3] A. Goldstein: Die Messung der Wechselstromhystereseschleife mit dem Oszillographen. BBC-Mitt., Jg. 32, 1945.
- [4] Millman und Taub: Pulse and Digital Circuits. Mc. Graw-Hill, 1956.
- [5] G. Weissenberger: Über die Flussverzögerung in ferromagnetischen Kreisen. Diss. ETH 1952.
- [6] K. Küpfmüller: Einführung in die theoretische Elektrotechnik.

## Adresse des Autors:

Bernhard Staub, dipl. Ingenieur ETH, Hochspannungslaboratorium der ETH, Gloriastrasse 35, Zürich 7/6.

## Der elektrische Kontakt als Gegenstand der Forschung und eines internationalen Erfahrungsaustausches

Von A. Keil, Schwäbisch Gmünd

621.3.066.6

## Einleitung

Es ist das grosse Verdienst von Ragnar Holm, die praktisch seit den Anfängen der Verwertung der Elektrizität für technische Zwecke bestehenden Probleme der möglichst verlustfreien Kontaktierung stromführender Bauelemente in ihrer Gesamtheit klar erkannt und zu einem eigenen Forschungsgebiet ausgebaut zu haben [1]. Entsprechend ent-

halten seine Arbeiten die Definitionen für die speziellen, in diesem Bereich beobachteten physikalischen Erscheinungen, und die aus ihnen entwickelten gesetzmässigen Beziehungen stellen das Fundament aller Kontaktforschung dar.

Die fortschreitende Entwicklung der Technik hat aber dann immer deutlicher gezeigt, dass die Problematik des elektrischen Kontaktes nicht einfach physikalisch ist. Es

gibt wohl wenig andere Gebiete, auf denen in der Praxis die physikalischen Grunderscheinungen mit chemischen, metallkundlichen und technologischen Fragen gleich eng und in unübersichtlicher Weise verknüpft sind. Somit ist es auch verständlich, dass diese ausserordentlich komplexe Aufgabe laufend weiter bearbeitet worden ist, und dass auch heute noch zahlreiche ungelöste Fragen bestehen. Da aber auf der anderen Seite eben diese Vielfalt der Probleme zu einer starken Zerstreuung der betreffenden Untersuchungen im Schrifttum geführt hat, ist wiederholt versucht worden, einen persönlichen Gedankenaustausch zwischen den verschiedenen Forschern durch Tagungen herbeizuführen.

Die erste derartige Veranstaltung fand am 16. Oktober 1952 in Zürich statt, und ein Teil der dort gehaltenen Vorträge ist seinerzeit im schweizerischen Schrifttum wiedergegeben worden. Es verging dann in Westeuropa eine relativ lange Zeit bis zu einer nächsten Tagung vom 5.—7. April 1961 in London, die an sich nur als regionale Veranstaltung ausgeschrieben worden war, jedoch eine erhebliche internationale Beteiligung zeigte. Auf der anderen Seite hatten sich in der Zwischenzeit eine Reihe von Zentren für die Kontaktforschung entwickelt, wie sich aus dem Studium der Fachliteratur ergab. Diese Tatsache bewiesen beispielsweise Tagungen vom 26.—28. November 1956 in Moskau [2] und vom 12.—14. September 1961 in Berlin-Adlershof [3], über die nachträglich Berichte erschienen, die einen Überblick über die bis dahin geleistete Arbeit geben. Die umfangreiche Tätigkeit des Mano-Laboratoriums in Sendai, Japan, ist hingegen nur in grossen Zügen bekannt [39], da die Veröffentlichungen meist nur in der Landessprache vorliegen. In den USA hatte sich schon seit geraumer Zeit das Committee B-4 der ASTM (Leitung *E. I. Shobert II*) zur Aufgabe gestellt, sämtliche an Kontaktfragen interessierten Wissenschaftler und Techniker der dortigen Industrie zu einem regelmässigen Erfahrungsaustausch zusammenzufassen. Weiterhin wurden an der Pennsylvania State University jährlich mehrtägige Seminare über Kontaktprobleme durchgeführt (Leitung *R. E. Armington*, wissenschaftliche Beratung *R. Holm*). Diese Reihe wird seit 1962 an der University of Maine fortgesetzt [4].

Bei den gleichen Veranstaltern entstand, angesichts der Parallelentwicklung in verschiedenen Ländern, der Gedanke einer Tagung im internationalen Rahmen, die dann vom 14.—16. November 1961 gleichfalls an der University of Maine stattfand [5]. Das günstige Echo auf dieses Symposium führte zu dem Entschluss, eine zweite derartige Tagung in absehbarer Zeit folgen zu lassen, und hierfür wurden Graz in Österreich und der 4.—6. Mai 1964 vorgesehen (organisatorische Leitung *P. Klaudy*).

Da seit Zürich somit über 11 Jahre vergangen sein werden, dass im deutschsprachigen Raum eine Veranstaltung mit internationaler Beteiligung stattgefunden hat, dürfte der Versuch erlaubt sein, rückblickend über diesen Zeitraum festzustellen, welche Probleme inzwischen besonders hervorgetreten sind, und wo derzeit die Schwerpunkte der Forschung liegen. Eine solche Zusammenstellung muss allerdings notwendig subjektive Züge aufweisen [6], sie bevorzugt daher im vorliegenden Fall das Gebiet der Abhebe- oder Unterbrecherkontakte und stellt bei diesen die rein werkstoffmässigen Erfahrungen in den Vordergrund.

## Typische Kontaktstörungen als Untersuchungsobjekte

Wenn im folgenden ein Überblick darüber gegeben werden soll, welche besonderen Erscheinungen in den letzten Jahren das Interesse auf sich gezogen haben, so ist es zweckmässig, das Gebiet der Schwachstrom- und das der Starkstrom-Technik getrennt zu betrachten. Eine gegenseitige Abgrenzung der Bereiche ist allerdings nicht einfach. Für den vorliegenden Fall sollen, aus Gründen der systematischen Zusammenfassung von Störungsquellen, als Schwachstromkontakte solche bezeichnet werden, bei denen die zwischen den Kontaktflächen entstehende elektrische Entladung in ihrer thermischen Wirkung nicht ausreicht, um Fremdschichten oder Fremdkörper nachhaltig zu zerstören. Die Kontaktkräfte sind bei ihnen ausserdem relativ niedrig, so dass sie eine reinigende Funktion nicht mit Sicherheit übernehmen können. Zu diesem Gebiet gehören ebenfalls die vollständig leistungslos schaltenden Kontakte und die Steckverbindungen. Für das Starkstromgebiet hingegen wird in diesem Zusammenhang als charakteristisch hervorgehoben, dass die Kontaktkräfte gross sind und die Lichtbogenansatztemperatur beim Schaltvorgang so hoch liegt, dass bei ihr nur noch Oxyde von Unedelmetallen beständig sind. In diesem Bereich wird ganz allgemein die Frage des Kontaktverschleisses zum primären technischen Problem.

### Beobachtete Effekte bei Schwachstromkontakten

Die Arbeiten aus dem Zeitraum von etwa 1940 bis 1960 sind dadurch gekennzeichnet, dass bei ihnen die Erscheinung der sog. «Fein-» bzw. «Grobwanderung» bei Gleichstromschaltern im Mittelpunkt des Interesses stand. Besonders der erste Effekt war nicht einfach zu deuten und bot der Aufstellung verschiedenster Theorien Raum. Es ist hier hauptsächlich das Verdienst der Mitarbeiter der Bell-Laboratorien [7], durch die Abgrenzung des Phänomens der «Kurzen Bögen», im Gegensatz zum normalen Plasmabogen, eine Klärung geschaffen zu haben. Weitere Untersuchungen wurden dann von *J. Riddlestone* [8] systematisch über zusammenhängende Bereiche der Selbstinduktion des Schaltkreises durchgeführt und von anderer Seite auf Legierungsreihen ausgedehnt [9; 10]. Obwohl die Erscheinungen bis zu kleinsten Induktivitäten noch nicht voll ausgedeutet sind [11], ist das praktische Interesse an solchen Untersuchungen zurückgegangen. Das hat mehrere Gründe: Zunächst lässt sich für eine Vielzahl von Fällen die geeignete Funkenlöschung angeben, die die Wanderungerscheinungen weitgehend unterdrückt. Sofern hierbei aus räumlichen Gründen, oder wegen des Preises, auf eine optimale Lösung verzichtet werden muss, sind eine Reihe relativ wanderungsbeständiger Legierungen bekannt, die wohl auch in Zukunft nur unwesentlich verbessert werden können. Und schliesslich hat in einer Reihe von Geräten, bei denen die Kontakte in ungünstigen Belastungsbereichen arbeiten mussten, der Transistor einen Ausweg geschaffen. Zu nennen sind hier als Beispiele: Zerhacker für Autoradios und Geräte für elektrische Weidezäune. Auch beim Zündunterbrecher für Verbrennungsmotoren bahnt sich möglicherweise eine ähnliche Entwicklung an, nach der zwar zunächst nicht völlig auf Kontakte verzichtet wird, diese aber die Lebensdauer des Fahrzeuges selbst erreichen dürften. Der Schwerpunkt der Kontaktuntersuchungen im Schwachstromgebiet hat sich daher insgesamt mehr in Richtung der chemisch

1. Durch die Vorbehandlung:	Ungeeignete Poliermittel, ungeeignete Entfettungsmittel, ungeeignete Pflegemittel, Passivierungsschichten
2. Bei ruhender Exposition der Kontaktflächen:	2.1 Kriechen von Silicon-Ölen 2.2 Bildung von Adsorptions-Schichten über die Gasphase 2.3 Chemische Reaktionen über die Gasphase
3. Beim Schaltvorgang ohne elektrische Belastung:	3.1 Oberflächenveränderung durch Reibschweissung («wedges») 3.2 Reibungs-Polymerisation von organischen Dämpfen («brown powder»)
4. Beim Schaltvorgang mit elektrischer Belastung:	4.1 Chemische Reaktionen bei Silber, Aufbau von Oxydschichten aus unedlen Legierungskomponenten 4.2 Teilweiser Abbau (Verkokung) adsorbierter organischer Schichten (nach <i>Gerber</i> [20]) 4.3 «Aktivierung» durch Kohlepartikel (nach <i>Germer</i> [4])

bedingten Grenzflächenerscheinungen verschoben, von denen Tabelle I einen Überblick gibt. Die dort aufgestellte Reihenfolge soll in der hier anschliessenden Besprechung beibehalten werden.

1. Der Einfluss der Vorbehandlung kann sich bei verschiedenen Werkstoffen recht unterschiedlich auswirken. Besonders weiche Metalle, wie Feinsilber oder Gold, sind gegenüber ungeeigneten Polierverfahren ausserordentlich empfindlich, da kleinste Fremdkörperteilchen, wie z. B. Bismehl, in ihre Oberfläche eingedrückt werden können. Kontaktniete aus solchen Metallen sollten daher durchweg ohne Polierzusatz, nur mit Wasser und einer Neutralseife nachbehandelt werden. Besonders schwer zu erfüllen ist diese Forderung allerdings bei kleinen Stanzteilen, bei denen es unumgänglich erscheint, den Stanzgrat durch eine intensive Nachbehandlung zu entfernen. Auch eine Verwendung von Poliersteinen kann hier schädlich sein. Da eine nachträgliche Entfernung solcher eingepprägter Fremdkörper durch eine Oberflächenbeizung zwar grundsätzlich möglich ist, aber stets mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet bleibt, ist in solchen Fällen u. U. sogar eine Abänderung der Konstruktion zu Gunsten gratfrei zu fertigender Teile anzuraten. Diese Einschränkungen bezüglich des Polierens lassen sich selbstverständlich für die Behandlung von Kontakten aus harten Metallen oder Legierungen nicht voll aufrecht erhalten, die Gefahr des Einprägens von Fremdkörpern ist bei ihnen dafür entsprechend weniger gross.

Von *H. L. Halstrøm* [12] ist ein andersartiges Beispiel beschrieben worden. Er stellte fest, dass Silbernieten, nach ihrer Vorbehandlung, in unterschiedlichem Masse zur Bildung von Silbersulfid («Anlaufen») neigten. Da in einem Falle eine Entfettung in heissem Trichloräthylen vorgenommen worden war, führte er diese Tatsache auf eine ursprüngliche Bildung von Silberchlorid auf der Kontaktfläche durch freie Salzsäure im Trichloräthylen zurück. Diese hauchdünne Schicht sollte dann reaktionsbereiter gegenüber Schwefeleinwirkung sein, als eine rein metallische Oberfläche. Obwohl sich diese Vermutung im reinen Laboratoriumsversuch nicht bestätigen liess, kommt *Halstrøm* zu der Folgerung, dass für Silberkontakte scharf wirkende Entfettungsmittel grundsätzlich zu vermeiden seien.

Ausserordentlich schwer ist die Frage in allgemeingültiger Form zu beantworten, inwieweit organische Substanzen als

Kontaktpflegemittel nützlich oder schädlich sind. Zweifellos hat sich bei relativ langsam bewegten Gleitkontakten in vielen Fällen eine Behandlung der Schleifbahn mit einem geeigneten Öl oder Fett als vorteilhaft erwiesen. Grösste Zurückhaltung ist jedoch bei Abhebekontakten zu empfehlen. Alle derartigen Filme können nämlich u. U. als Staubfänger wirken, so dass ein anfänglicher Erfolg später durch verstärkte Störungen aufgewogen wird. Die Frage der Pflegemittel für elektrisch belastete Kontakte soll unter Ziffer 4.2 nochmals erwähnt werden.

Schliesslich sind noch die sog. Passivierungsverfahren für Silberkontakte zu erwähnen. Es handelt sich dabei überwiegend um den Aufbau einer nichtleitenden Chromatschicht auf der Metalloberfläche. Für empfindliche Kontakte ist diese Vorbehandlung keinesfalls zulässig. Auch eine für das Auge bereits deutlich sichtbare Sulfidschicht erhöht nämlich den Übergangswiderstand noch nicht so stark, wie eine praktisch unsichtbare Chromatschicht. Anders liegen selbstverständlich die Dinge, wenn es sich nur darum handelt, Starkstrom-Schaltstücke, die mit hohen Kontaktkräften arbeiten, während einer unbestimmten Lagerzeit in einem für das Auge einwandfreien Zustand zu erhalten.

2.1 Manche Fette und Öle, besonders auf Silicon-Basis, neigen stark dazu, sich auf Oberflächen aller Art durch Kriechen auszubreiten. Da derartige Stoffe zu schweren Störungen Anlass geben können, ist ihre Verwendung möglichst einzuschränken. Diese Forderung erscheint zunächst trivial, wenn man aber bedenkt, welche Vielzahl von Konservierungs- und Pflegemitteln heute unter Phantasienamen im Gebrauch sind, ergeben sich auf diesem Gebiet nicht vorhersehbare Störungsquellen, die noch einer systematischen Aufklärung harren.

2.2 Auch über die Gasphase können organische Produkte zu Kontaktoberflächen gelangen, dort zunächst adsorbiert, bzw. durch Chemosorption gebunden werden und dann spontan polymerisieren. Diese Erscheinung wird bei den Metallen der Platingruppe besonders beobachtet, sie nimmt bei Legierungen mit anderen Metallen mit dem Platinmetall-Anteil ab. Kontaktstörungen sind durch Dämpfe aus ungeeigneten Isolierstoffen in der Praxis gelegentlich aufgetreten [6]. Auch Bodenbeläge und ihre Pflegemittel sind als Ursachen erkannt worden [13].



2.3 Die bekannteste Erscheinung unter den chemischen Reaktionen stellt das bereits erwähnte «Anlaufen» des Silbers durch schwefelhaltige Gase dar. Interessanterweise hat kürzlich *A. Hentsch* [3] in Laboratoriumsversuchen bei der Messung des Übergangswiderstandes sulfidierter Kontakte keinen Unterschied zwischen Feinsilber und einer Silber-Palladium-Legierung mit 30 %Pd feststellen können. Da auf der anderen Seite dieser Werkstoff sich wegen seiner guten Anlaufbeständigkeit in der Praxis aufs beste bewährt hat, stellt diese Untersuchung ein gutes Beispiel dafür dar, mit welcher Vorsicht Schlüsse aus Experimenten gezogen werden müssen, bei denen relativ hohe Konzentrationen der betreffenden Agentien verwendet wurden, um einen Effekt der «Zeitraffung» zu erreichen.

Im Falle des Wolframs als Kontaktwerkstoff hat sich sogar die Entstehung organischer, chemischer Verbindungen auf dem Weg über die Gasphase nachweisen lassen [14]. Als Ursache wurden die Weichmacher bestimmter Kunststoffe erkannt.

3.1 Abhebekontakte werden bei ihrer gegenseitigen Berührung meistens eine gewisse reibende Bewegung ausführen, die zur Reinigung der Kontaktfläche führt und darum erwünscht ist. Hiedurch entsteht allerdings manchmal auch ein störender metallischer Abrieb, der oft auch als Reibkorrosion bezeichnet wird, da feinste Metallpartikel relativ leicht oxydieren. In diesem Zusammenhang ist von *M. Cocks* [15], sowie von *M. Antler* [16] ein besonderer Effekt, allerdings bei Schleifkontakten (Stift gegen umlaufende Trommel), beschrieben worden. Er besteht in der Bildung von keilförmigen Materialanhäufungen (wedges) an der einen Seite der Berührungsfläche, die zum Abheben des Schleifstiftes führen. Feinste Partikel von Metallabrieb der Schleifbahn werden anscheinend untereinander verschweisst und bilden dann diese Materialanhäufungen. Der Effekt wird nur bei Werkstoffen beobachtet, die bei Kaltverformung eine Härtezunahme zeigen und kann eventuell auch zur Erklärung von Kontaktstörungen herangezogen werden.

3.2 Die Polymerisation von adsorbierten organischen Stoffen unter der Wirkung einer Friktion wurde in den Bell-Laboratorien ausführlich untersucht [17] und ist unter der Bezeichnung «brown powder»-Effekt bekannt geworden. Voraussetzung für die Entstehung dieses voluminösen, rot-braunen oder grau-schwarzen Staubes ist die bereits beschriebene Adsorption zunächst unsichtbarer organischer Schichten, hauptsächlich an den Metallen der Platingruppe. Durch gegenseitige Reibung der Kontaktflächen bei einem Schaltvorgang ohne elektrische Belastung polymerisieren dann diese adsorbierten Häute zu dem sichtbaren Produkt. Hinsichtlich der Neigung verschiedener organischer Stoffe zu solchen Reaktionen gibt Tabelle II einen ungefähren Anhalt. Die Frage einer grundsätzlichen Abhilfe gegen derartige Effekte ist nicht einfach zu beantworten. Gerade in den, zum Schutz gegen Umwelteinflüsse hermetisch verschlossenen («sealed») Geräten, die über lange Zeiträume wartungsfrei arbeiten müssen, ist eine besondere Sorgfalt im Aufbau und in der Auswahl der Werkstoffe notwendig. Sofern in solchen Fällen nicht der Einsatz wenig gefährdeter Metalle, wie Gold und Silber, ausreicht, muss die Verwendung von Kunststoff auf das, allerdings teure Material «Teflon» beschränkt bleiben, wenn nicht der mechanische Aufbau völlig auf Metall und Keramik abgestellt werden kann.

Katalytische Bildung von Polymerisationsprodukten an Palladium-Kontakten (nach Hermance und Egan [17])

Tabelle II

Katalytische Bildung	In Gegenwart von:
Keine	Methan, Aethan, Methylalkohol, Tetrachlorkohlenstoff
Gering	Butan, Aethylalkohol
Etwas	Pentan, Hexan usw., Azeton, Aldehyde, Ketone, Amine, Anilin, Phenol
Stark	Azetylen, Benzol, Toulol, Terpentin
Sehr stark	Acrolein, Styrol, Benzaldehyd

Die Ergebnisse lassen sich in erster Näherung wie folgt zusammenfassen. Der Effekt nimmt im allgemeinen mit steigender Kettenlänge der Moleküle zu; er ist bei zyklischen Verbindungen stärker ausgeprägt als bei gradkettigen. Doppelbindungen und Karbonsäurestoffbrücken erhöhen die Ausbeute an Polymerisationsprodukten.

4.1 Chemische Verbindungen, die beim Schaltvorgang mit elektrischer Belastung entstehen, sind überwiegend oxydischer Natur und beschränkten sich auf die Unedelmetalle. Nur in Einzelfällen sind auch auf Kontaktflächen aus Feinsilber Reaktionen nachgewiesen worden. So hat *F. E. Hawthorth* [18] die Entstehung von Silberoxyd und -nitrit unter den Bedingungen einer Glimmentladung festgestellt, und *Y. Aoyama* [19] konnte auf Relaiskontakten Silbernitrat identifizieren. Für die Erscheinung der Verschlackung von Kontaktflächen ist ganz allgemein der massgebende Faktor das Verhältnis der Lichtbogenansatztemperatur zur Zersetzung- bzw. Sublimationstemperatur der möglichen Oxyde. Im Schwachstromgebiet, nach der gegebenen Definition, liegt man unter dieser Grenze der selbstreinigenden Wirkung. Man wird also den Schwachstromkontakten im allgemeinen nur geringe Mengen an Unedelmetallen beimengen. So haben sich Werkstoffe auf Gold-, Platin- und Palladiumbasis mit etwa 3—5 % Nickel eingeführt. Bei Legierungen auf Silberbasis sind Kupferzusätze vorwiegend auf 3 % beschränkt. Nur in Sonderfällen, angepasst an ganz bestimmte Betriebsbedingungen, ist diese Grenze auf 10 % erhöht worden.

4.2 Die Entstehung von schlecht leitenden, teerartigen Deckschichten auf Kontakten durch teilweise Verkokung adsorbierter organischer Substanzen ist ausführlich von *T. H. Gerber* [20] untersucht worden. Besonders beachtenswert ist dabei die Tatsache, dass diese Störungen an dem gegenüber Kunststoffdämpfen nicht spezifisch empfindlichen Metall Silber auftraten. Es ist in diesem Zusammenhang aber auch nochmals auf die unter Ziffer 1 erwähnten Kontaktpflegemittel zurückzukommen. Sofern nämlich grundsätzlich ihr Einsatz für unter Last schaltende Abhebekontakte erwogen wird, ist die Voraussetzung, dass diese Produkte ihrer chemischen Zusammensetzung nach rückstandslos verbrennen können. Die Möglichkeiten, die in dieser Richtung liegen, sind aber im Augenblick noch nicht völlig abzusehen.

4.3 Schreitet der Prozess der teilweisen Verkokung soweit fort, dass sich auf der Kontaktoberfläche reine, also elektrisch leitende Kohlepartikel bilden, kann der Effekt der «Aktivierung» beobachtet werden. Hierunter versteht man nach *L. H. Germer* [4] die Tatsache, dass diese Partikel die

Entstehung sog. «Kathodenbögen» begünstigen, und dass durch sie eventuell auch die Lichtbogendauer verlängert werden kann. Der Verschleiss der Kontakte steigt dadurch u. U. bis um einen Faktor grösser als 100 an. Die Ursache der Erscheinung liegt also wiederum in den gleichen, adsorbierten organischen Schichten, wie bei den Ziffern 2.2, 3.2 und 4.2.

#### Forderungen für das Gebiet der Schwachstromkontakte

Versucht man aus dem gegebenen Überblick die dringenden Aufgaben herauszuschälen, so kommt man zu der Überzeugung, dass diese in der Vermeidung unkontrollierbarer Umwelteinflüsse liegen. Für einen elektrischen Kontakt besteht seine «Umwelt» allerdings u. U. aus seiner allerersten Nachbarschaft, sofern dies ungeeignete Kunststoffe enthält. Es genügt also durchaus nicht, durch Schaffung staubfreier, klimatisierter Räume mit gereinigter Luft, oder durch hermetische Kapselung einzelner Geräte, die Schalter abzuschirmen, sondern die für ihren Aufbau verwendeten Einzelteile verdienen selbst genaueste Beachtung. So können die für die Kunststoffe verwendeten Weichmacher sehr unterschiedliche Dampfdrucke haben. *H. Mauch* [21] hat beispielsweise eine Reihe derartiger Stoffe untersucht und festgestellt, dass «Aroclor» 100mal leichter verdampft als «Dinonylphthalat» und darum für derartige Zwecke vermieden werden sollte. Bei der Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Isolierstoffe und der stürmischen Entwicklung auf dem Kunststoffsektor, führt hier allerdings ein Versuch der Klassifizierung beinahe ins Uferlose. Aber auch die andere Seite des Problems, nämlich die Identifizierung von störenden Schichten auf Kontakten und die Ergründung ihrer Herkunft ist trotz vielfältigster Mittel [22] schwer zu lösen (siehe z. B. *S. W. Chaikin* [5]). Man hat daher seit geraumer Zeit Radikallösungen gesucht und nach diesen Gesichtspunkten einen Schutzgas-Kontakt («dry reed») entwickelt, bei dem die Schaltelemente in ein Glasröhrchen eingeschmolzen sind und durch ein äusseres Magnetfeld betätigt werden. Einen recht eingehenden Bericht über Erfahrungen mit derartigen Bauteilen in der Vermittlungstechnik hat kürzlich *E. Schlögl* [23] gegeben. Er kommt dabei aber noch zu keinem abschliessenden Urteil, welche Zukunftsaussichten diese, zwar verbesserte, aber immer noch elektro-mechanisch arbeitende Technik haben wird, da man zweifellos auf der anderen Seite mit dem weiteren Vordringen rein elektronischer Lösungen für derartige Schaltaufgaben rechnen muss.

Dass dem elektrischen Unterbrecherkontakt im Schwachstrombereich durch den Transistor eine wachsende «Konkurrenz» entsteht, ist weiter oben bei der Erscheinung der «Grob-» bzw. «Feinwanderung» bereits an Einzelbeispielen deutlich gemacht worden. Betrachtet man diesen Prozess aber näher, so bemerkt man, dass die Aufgabe der Kontaktierung stets erhalten bleibt, sie verschiebt sich voraussichtlich nur immer mehr zu den vollständig leistungslos schaltenden Bauelementen. Die elektronische Technik verwendet nämlich in grossem Umfange auswechselbare Baugruppen, die — meist auf «gedruckte Schaltungen» montiert — durch Steckverbindungen eingesetzt werden. Die Aufgabe, zweckmässige und völlig zuverlässige Steckkontakte zu entwickeln, ist also in dieser Technik vordringlich geworden [24; 25]. Da bei jedem Steckvorgang gleichzeitig eine grosse Anzahl von

Verbindungen hergestellt oder gelöst werden müssen, ist eine Voraussetzung, dass die Einschiebe- und Abziehkkräfte des einzelnen Steckers klein bleiben, gleichzeitig müssen aber die Verbindungen auch sicher und unempfindlich gegen Erschütterungen sein. Die Forderung nach niedrigen Übergangswiderständen macht auch hier die Verwendung von Edelmetallen zur Voraussetzung, allerdings genügen wegen der relativ geringen Schalthäufigkeit meist dünne Auflagen. In diesem Gebiet werden demnach galvanische Oberflächenveredelungsverfahren von immer grösserer Bedeutung. Aus diesem Grunde sollen hier derartige Probleme mit in den Kreis der Betrachtungen einbezogen werden.

#### Galvanische Überzüge in der Schwachstromtechnik

In den vergangenen Jahren bestand das Hauptinteresse an galvanisch veredelten Kontakten in der Radio- und Fernsehindustrie, also für Bauteile, bei denen der Preis eine entscheidende Rolle spielte. Entsprechend war auch für Wellenschalter, Tuner usw. Silber das meistverwendete Überzugsmetall. In vielen Fällen wurden die Oberflächen zwar noch durch Rhodium, Palladium oder Gold geschützt, wobei das dritte Metall zwar wesentlich weniger hart ist, sich aber viel besser weichlöten lässt. Diese Schutzschichten wurden aber wegen der damit verbundenen Kosten meist hauchdünn (wenige Zehntel  $\mu\text{m}$ ) gehalten. Das Vordringen der Technik der «gedruckten Schaltungen» machte dann, wie gesagt, die galvanischen Verfahren auch für solche Bauteile interessant, an die wesentlich höhere Anforderungen hinsichtlich ihrer Funktionssicherheit gestellt werden mussten. Entsprechend konnten auch dickere Schichten aus wesentlich preisintensiveren Metallen als Silber zugestanden werden. Gleichzeitig hatte aber auch eine Entwicklung eingesetzt, die schliesslich ermöglichte, bessere und härtere Überzüge, besonders aus Gold herzustellen. Gold hat also für Schwachstromkontakte eine wachsende Bedeutung erlangt, und es ist anzunehmen, dass diese Entwicklung auch in Zukunft anhalten wird. Ta-

Bewertung galvanischer Überzüge  
(nach Keil [26])

Tabelle III

	mangelhaft ← → sehr gut			
Allgemeine chemische Beständigkeit . . . . .			$\Delta$ $\circ$ $\times$ +	
Anlaufen durch Schwefel .	$\times$		$\Delta$ $\circ$ +	
Adsorption organischer Stoffe . . . . .	$\Delta$ $\circ$		+ $\times$	
Härte . . . . .	$\times$ → $\times$ + → +	$\Delta$ $\circ$		
Reibverschleiss . . . . .	$\times$	$\Delta$ +	$\circ$	
Rissfreiheit . . . . .	$\circ$	$\Delta$ +	$\times$	
Porosität . . . . .	$\circ$ $\Delta$ + $\times$	} > 2 $\mu\text{m}$		
Lötbarkeit . . . . .	$\circ$ $\Delta$		$\times$ +	
Übliche Schichtdicken:				
$\times$ Ag	0,5...10 $\mu\text{m}$			
+ Au	0,2...10 $\mu\text{m}$			
$\Delta$ Pd	0,5... 1 $\mu\text{m}$			
$\circ$ Rh	0,5... 1 $\mu\text{m}$			

belle III gibt in gedrängter Form einen Vergleich zwischen den Eigenschaften verschiedener Edelmetallüberzüge wieder [26]. Die moderne Entwicklung der Gold- und auch Silberniederschläge hinsichtlich ihrer Härte ist dabei durch Pfeile gekennzeichnet, wobei allerdings nicht vorauszusetzen ist, dass für jeden Verwendungszweck auch der härtere Niederschlag Vorteile bringt. Selbstverständlich haben sich auch auf diesem Gebiet ganz spezielle Probleme ergeben. Es seien hier die Effekte der «Whisker-Bildung» [27] (eine Erscheinung, die sich allerdings nicht nur auf galvanische Schichten beschränkt) und des Wanderns von Silbersulfid [28] (und in geringerem Masse auch von Kupfersulfid [29]) über Oberflächen aus anderen Metallen erwähnt, das besonders bei porösen galvanischen Überzügen Kontaktstörungen verursachen kann. Zweifellos ist auf dem gesamten Gebiet der Galvanotechnik der Edelmetalle die Entwicklung noch im Fluss. Auf der anderen Seite ist aber auch mit der weiteren Einführung von im Vakuum aufgedampften Edelmetallüberzügen für derartige Verwendungszwecke zu rechnen.

#### Beobachtete Effekte bei Starkstromkontakten

Versucht man die Störungsmöglichkeiten für Starkstromkontakte in ähnlicher Weise zusammenzustellen wie für das Schwachstromgebiet, so ergibt sich Tabelle IV, die im folgenden näher besprochen werden soll:

*Ursachen für die Entstehung von Kontaktstörungen im Starkstromgebiet*

Tabelle IV

1. Anstieg des Übergangswiderstandes:	Oxydation von Legierungsbestandteilen
2. Verschweissen der Kontakte:	2.1 Zu geringe Rückstellkräfte 2.2 Prellungen beim Schaltvorgang 2.3 Ungeeigneter Werkstoff
3. Ablösen des Kontaktbelages:	3.1 «Ablöten» durch unzureichende Wärmeabführung 3.2 Deformation durch mechanische Kräfte
4. Starker Abbrand:	Ungeeigneter Werkstoff
5. Festbrennen des Lichtbogens an einem Punkt:	Ungeeignete Formgebung, ungeeigneter Werkstoff

1. An sich stellt Feinsilber für Starkstromschalter immer noch das am meisten verwendete Material dar. Bei ihm ist die Frage der Erhöhung des Übergangswiderstandes bei längerer Betriebsdauer nicht aktuell. Um für bestimmte Fälle die Eigenschaften des Silbers zu verbessern, ist es jedoch notwendig, ihm Unedelmetalle zuzulegieren, oder aus Pulvermischungen von Silber und Unedelmetallen entsprechende Sinterwerkstoffe herzustellen. Unter der Einwirkung des Schaltlichtbogens werden sich nun auf der Kontaktfläche Oxyde bilden, und die Frage, wie die Lichtbogenansatztemperatur zur Zersetzungs- bzw. Sublimationstemperatur der betreffenden Oxyde liegt, tritt in den Vordergrund. So zerfällt bzw. sublimiert z. B. Cadmiumoxyd oberhalb 1000 °C, so dass eine Anreicherung auf der Kontaktfläche im allgemeinen nicht eintritt. Auf der anderen Seite verliert Silber

bei gleichzeitiger Gegenwart von Wolfram oder Molybdän seinen Charakter als Edelmetall und bildet Mischoxyde [30] (Wolframate, bzw. Molybdate). Es ist dies der Grund, weswegen z. B. Silber/Wolfram-Kontakte für Gleichstrombetrieb ungeeignet sind (Verschlackung der Anode). Auch im Wechselstrombetrieb finden sie in Deutschland wegen der strengen VDE-Vorschriften über zulässige Kontakterwärmung nicht die breite Anwendung, wie vergleichsweise in den USA. Die Erscheinung der Mischoxydbildung mit Silber wird übrigens auch bei den Karbiden und Boriden der verschiedensten Metalle beobachtet [31], die also in dieser Hinsicht keinen Vorteil gegenüber metallischem Wolfram oder Molybdän bieten. Nur Rhenium verhält sich als Zusatz zu Silber neutral.

2.1 Die aufgeführte Forderung nach ausreichenden Kontakt-Rückstellkräften ist selbstverständlich trivial und nur der Vollständigkeit halber erwähnt.

2.2 Die Bedeutung von Kontakt-Prellungen für das Verschweissen ist ausserordentlich gross. Man muss sich dabei vergegenwärtigen, dass der gleiche Effekt hier als unerwünschte Erscheinung auftritt, der auf der anderen Seite in der Maschinenbau-Technik die Verbindung von Metallteilen durch das Verfahren der Abbremschweissung ermöglicht. Wenn man bei der letzteren Schweissmethode absichtlich anstrebt, die zu verbindenden Metallflächen in dem Augenblick zusammenzubringen, in dem Teile ihrer Oberfläche durch den elektrischen Lichtbogen schmelzflüssig geworden sind, so ist diese Situation bei Kontakten durch unkontrollierte Prellvorgänge selbstverständlich möglichst zu vermeiden. Es gibt nämlich — mit Ausnahme des Werkstoffes Silber/Graphit — praktisch überhaupt kein Material, das sich nicht grundsätzlich zum Verschweissen bringen liesse, wenn die Strom-Spannungs-Bedingungen und der Zeitpunkt der Vereinigung der Flächen richtig gewählt werden. Die Aufgabe des Schaltgeräte-Konstrukteurs liegt also genau entgegengesetzt zu der des Schweissgeräte-Bauers.

2.3 Aus dem Vorstehenden ergibt sich, dass die Schweissneigung eines Werkstoffes zwar vermindert, aber mit einer Ausnahme praktisch nicht vollständig ausgeschaltet werden kann. So nimmt die Sicherheit gegen das Verschweissen vom Silber über Silber/Nickel, Silber/Cadmiumoxyd zum Silber/Wolfram (oder Wolframkarbid) bis zum vollständig schweiss-sicheren Silber/Graphit zu, aber dafür werden gewisse andere Nachteile eingetauscht. Beim Silber/Wolfram kann nämlich die unter Ziffer 1 erwähnte Temperaturerhöhung stören, und bei Silber/Graphit entsteht ein wesentlich höherer Abbrand, der die Einsatzmöglichkeiten dieses Werkstoffes stark einengt.

3.1 Das Ablösen aufgelöteter Kontaktbeläge (sofern die Lötung selbst einwandfrei war) von ihrem Träger wird im allgemeinen nur bei kurzzeitiger Überlastung beobachtet und stellt keine weiteren Probleme.

3.2 Bei Kontakten, die so stark belastet werden, dass ihre Oberfläche zum Anschmelzen kommt, treten bei der Wiederabkühlung Schrumpfspannungen auf, die ausserordentlich hoch sein können. Die Kontaktbeläge haben daher das Bestreben, sich schlüsselförmig (konkave Seite zum Lichtbogen) aufzuwölben [32]. Der Erscheinung kann nur durch konstruktive Massnahmen begegnet werden.

4. Sofern es sich um echte Legierungen als Kontaktwerkstoffe handelt, ist der Abbrand werkstoffseitig durch



das Herstellungsverfahren nicht wesentlich zu beeinflussen. Bei Sinterwerkstoffen hingegen geht der spezielle Fertigungsprozess stark in die Eigenschaften ein. Diese Frage soll weiter unten noch näher erörtert werden.

5. Der Effekt des erwünschten, möglichst gleichmässigen Lichtbogenwanderns über die zur Verfügung stehende Kontaktfläche ist sicher werkstoffabhängig, aber in seinen Einzelheiten noch nicht völlig abgeklärt [38]. Lötungen an einem Bauteil sollten stets ausserhalb der Reichweite des Lichtbogens liegen, da dieser sonst gern an ihnen festbrennt.

#### Folgerungen für das Gebiet der Starkstromkontakte

Im Gegensatz zur Schwachstromtechnik steht bei den Starkstromschaltern wohl eine grundsätzliche Ablösung des elektromechanischen Prinzips nicht zur Diskussion, obwohl sich auch hier der Transistor als zusätzliches Bauelement einführen dürfte (siehe z. B. *H.-J. Mau* [3]). Für die Beibehaltung der bisherigen Technik sprechen dabei preisliche Gründe, die relative Einfachheit und Robustheit der jetzigen Bauelemente und besonders ihre weitgehende Temperaturunempfindlichkeit. Forschungsaufgaben auf dem Gebiet der Starkstromkontakte gehen in vielen Fällen in die Richtung der Metallkunde, und zwar speziell der Pulvermetallurgie, da die verschiedenen Fertigungsverfahren bestimmte Qualitätsunterschiede mit sich bringen. Als typisches Beispiel sei hier eine Untersuchung über den Werkstoff Silber/Cadmiumoxyd erwähnt (*A. C. Snowdon* [5]). Man kann diesen nämlich einmal aus einer vorher über den Schmelzfluss erzeugten, echten Legierung durch das Verfahren der inneren Oxydation herstellen. Einen anderen Weg stellt das Mischen der betreffenden Pulver und anschliessende Pressen und Sintern dar. Es hat sich dabei ergeben, dass das Material nach dem ersten Verfahren hinsichtlich Abbrandfestigkeit überlegen ist, wogegen das Material nach dem zweiten Verfahren die lichtbogenlöschende Wirkung des Cadmiumoxyds besser zur Geltung bringt. Ein weiteres Beispiel (*H. G. Hirsbrunner* [4]) berichtet über Unterschiede im Abbrand an Werkstoffen aus Silber/Cadmiumoxyd, die beide auf dem Wege der inneren Oxydation dargestellt worden waren, von denen einer jedoch zusätzlich geringe Mengen eines Kornfeinierungsmittels enthielt.

Auch bei anderen Sinterwerkstoffen können sich Unterschiede im Fertigungsverfahren stark auf den Verschleiss auswirken. Faktoren, die hierbei eine Rolle spielen, sind Pulverkorngrösse, Kornform und Sinterverfahren. Betreffend das Sinterverfahren besteht nämlich die Möglichkeit, ausser dem normalen Sintern von gepressten Pulvermischungen, zunächst von der einen, höher schmelzenden Komponente (z. B. Wolfram) ein poröses Skelett herzustellen, und dieses dann mit der anderen, niedriger schmelzenden Komponente (z. B. Kupfer oder Silber), die sich im flüssigen Zustand befindet, zu tränken (einseignen). Welches Verfahren im Einzelfall gewählt wird, hängt von den Mengenteilen der Komponenten und den speziellen Erfahrungen der Hersteller ab. Es sind auch Versuche gemacht worden, eine besonders innige Vermischung der Komponenten dadurch zu erreichen, dass man diese zunächst gemeinsam als chemische Verbindungen aus einer Lösung fällt und dann reduziert (*K. Müller und R. Schmidt* [3]). Allgemein kann gesagt werden, dass über die Sintertechnik an sich umfangreiche Veröffentlichungen vorliegen (z. B. *H. Schreiner* und

*F. Wendler* [33]), die praktische Bewährung bei Vergleichsversuchen mit verschiedenen Produkten aber nur in Einzelfällen beschrieben worden ist. Es bestehen also in diesem Sektor für die Zukunft noch lohnende Forschungsaufgaben.

#### Sonstige Kontaktprobleme

Zum Abschluss sind noch einige besondere Probleme nachzutragen. Wenn in dem Abschnitt über Kontakte der Schwachstromtechnik auf den Chemismus und die Entstehungsmöglichkeiten von Fremdschichten ausführlich hingewiesen worden ist, so stellt sich auf der anderen Seite natürlich auch die Frage nach deren physikalischen Eigenschaften. Solche Schichten können, wenn sie genügend dünn sind, von Elektronen durchtunnelt werden (siehe z. B. *H. Meissner* [4]), sie können Halbleitereigenschaften besitzen und schliesslich unter der Wirkung eines elektrischen Feldes örtlich vollständig zusammenbrechen, was als Fritting bezeichnet wird. In der Nachrichtentechnik ist es üblich, diese Fritting durch bestimmte Massnahmen künstlich hervorzurufen. Über die dabei möglichen Verfahren ist kürzlich von *L. Borchert und K. L. Rau* [34] vergleichend berichtet worden. Auch bei Schleifkontakten ist dieser Vorgang von Bedeutung, wobei allerdings als neues Moment hinzukommt, dass durch die Bewegung der einen Kontaktfläche die Verweilzeiten der jeweiligen, in kontaktstehenden Flächenelemente klein sind, und sich der Frittvorgang nicht immer ausbilden kann [35].

Auf die Bedeutung von Schmiermitteln für langsam bewegte Schleifkontakte ist bereits kurz hingewiesen worden. Die allgemeinen Anforderungen, die an derartige Produkte zu stellen sind, hat *W. E. Campbell* [4] umrissen. Einen besonderen Akzent hat dieses Thema durch die Satellitenprogramme bekommen, da es sich hier darum handelt, eine gute Gleitfähigkeit auch im Höchstvakuum zu erhalten. Aufgedampfte Metallschichten mit Anteilen aus Molybdänsulfid oder Bleisulfid sind hierfür beschrieben worden (*W. E. Jamison* [4]). Allgemein kann man sagen, dass bei Schleifkontakten zu den Problemen, die sie mit den Abhebekontakten gemeinsam haben, selbstverständlich noch zahlreiche weitere Fragen hinzukommen [36; 37], die aber hier nicht mehr diskutiert werden sollen. Das Gleiche gilt für das Gebiet der Flüssigkeitskontakte (*P. Klaudy* [5]).

#### Zusammenfassung

Ausgehend von den verschiedensten Störeffekten, wie sie bei elektrischen Unterbrecherkontakten in der Praxis beobachtet werden, wird versucht, einen Überblick über den Stand der Forschung und ihre Entwicklungsrichtung auf diesem Spezialgebiet zu gewinnen. Auf dem Sektor der Schwachstromtechnik machen sich durch das Vordringen des Transistors Zeichen einer gewissen Verschiebung im Aufgabenbereich bemerkbar. Trotzdem behält selbstverständlich der klassische Abhebekontakt — besonders wenn man die ausserordentlichen Investitionen, die in der Nachrichtenübermittlungs-Technik in den vergangenen Jahren gemacht worden sind, betrachtet — seine Bedeutung auf weite Sicht. Kontaktstörungen durch Umwelteinflüsse, die zur Entstehung von Fremdschichten führen, dürften hier gegenwärtig das Hauptproblem darstellen. In der Starkstromtechnik ist eine Ablösung der bisherigen elektromechanischen Technik weniger zu erwarten. Zahlreiche Aufgaben



bieten sich hier, die Qualität der jeweiligen Legierungen und Sinterwerkstoffe den verschiedenen Anforderungen anzupassen. Die Gesamtschau beschränkt sich weitgehend auf den Blickwinkel, der sich von der reinen Werkstoffseite aus ergibt, und erwähnt Schleifkontakte nur beiläufig.

#### Literatur

- [1] *Holm, R.*: Electric Contacts Handbook. Springer-Verlag, Berlin 1958.
- [2] Elektrische Kontakte, Staatlicher Verlag für Energiewirtschaft Gosenergoizdat, Moskau 1958 (in russischer Sprache).
- [3] Kontaktwerkstoffe in der Elektrotechnik, Band II, Reihe A aus der Serie: Über wissenschaftliche Grundlagen der modernen Technik. Akademie-Verlag, Berlin 1962.
- [4] Electrical Contacts — 1962, Papers presented at the Engineering Seminar on Electrical Contacts, Juni 1962. The University of Maine, College of Technology, Orono/Maine, Mai 1963.
- [5] Proceedings of the International Research Symposium on Electric Contact Phenomena November 1961. The University of Maine, College of Technology, Orono/Maine.
- [6] *Keil, A.*: Werkstoffe für elektrische Kontakte. Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1960.
- [7] *Germer, L. H.* und *J. L. Smith*: Organic vapor and relay contacts. Bell Lab. Rec. 36(1958)4, S. 122...126.
- [8] *Riddlestone, J.*: The variation with current and inductance of metal transfer between Platinum contacts. Monographie Nr. 103, Juli 1954, und: The variation with current and inductance of metal transfer between contacts of Palladium and Silver. Monographie Nr. 22, Dezember 1957, Inst. of Electrical Engineers London.
- [9] *Keil, A.* und *C.-L. Meyer*: Die Feinwanderung an Kontakten aus Legierungen mit Überstruktur. Z. f. Metallkunde 44(1953)1, S. 22...26.
- [10] *Merl, W.*: Die Stoffwanderung an Kontakten aus Edelmetall-Legierungen und ihre Abhängigkeit von der thermischen Vorbehandlung. Metall 15(1961)7, S. 672...674.
- [11] *Llewellyn Jones, F., M. R. Hopkins* und *C. R. Jones*: Measurement of metal transfer in electrical contacts by the radioactive isotope method. British Journ. of appl. Physics 12(1961)9, S. 485...489.
- [12] *Halström, H. L.*: Some comments on the tarnishing of silver contacts. Teletechnik, Engl. Edition 4(1960)2, S. 29...39.
- [13] *Lipke, H.* und *W. Clement*: Untersuchungen über die Einwirkung einiger Werkstoffe der Amtsbautechnik auf silber- und palladiumhaltige Kontaktwerkstoffe. N. T. Z. 13(1960)9, S. 431...435.
- [14] *Keil, A.*: Eine spezifische Korrosionserscheinung an Wolfram-Kontakten. Werkstoff und Korrosion 3(1952)7, S. 263...265.
- [15] *Cocks, M.*: Interaction of sliding metal surfaces. Journ. appl. Physics 33(1962)7, S. 2152...2161.
- [16] *Antler, M.*: Metal transfer and the wedge forming mechanism. Journ. appl. Physics 34(1963)2, S. 438...339.
- [17] *Hermance, H. W.* und *T. F. Egan*: Organic deposits on precious metal contacts. Bell Syst. Techn. Journ. 37(1958)3, S. 739...766.
- [18] *Haworth, F. E.*: Electrode reactions in the glow discharge. Journ. appl. Physics 22(1951)5, S. 606...609.
- [19] *Aoyama, Y.*: Silbernitrat als Korrosionsprodukt. Naturwissenschaften 49(1962)10, S. 231...232.
- [20] *Gerber, Th.*: Isolierende kohlenstoffhaltige Deckschichten an Relaiskontakten. Techn. Mitt. PTT 37(1959)8, S. 283...303.
- [21] *Mauch, H.*: Bestimmung des Dampfdruckes von Weichmachungsmitteln und Isolierung von Weichmacherdämpfen aus der Luft. Techn. Mitt. PTT 38(1960)4, S. 143...148.
- [22] *Pfisterer, H.* und *E. Fuchs*: Identifizierung von Kontaktverunreinigungen mit elektronenoptischen Verfahren. Siemens Zeitschrift 34(1960)8, S. 484...488.
- [23] *Schlögl, E.*: Der Schutzrohrkontakt, seine Physik und Anwendung in der Vermittlungstechnik. Jahrbuch des elektrischen Fernmeldewesens 1962, S. 186...244, Verlag Georg Heidecker, Bad Windsheim, Mittelfr.
- [24] *Haas, F.* und *M. Bremberger*: Steckverbindungen in der Nachrichtentechnik. ETZ-B 14(1962)5, S. 124...128.
- [25] *Bernutz, J.* und *F. Beerbaum*: Vielpolige Steckverbindungen mit 2,54- bzw. 2,5 mm-Kontaktteilung für gedruckte Schaltungen. SEL-Nachrichten 9(1961)2, S. 87...93.
- [26] *Keil, A.*: Edelmetallüberzüge in der Elektrotechnik. Metalloberfläche 7(1963)2, S. 33...37.
- [27] *Keil, A.* und *C.-L. Meyer*: Über die Entstehung haarförmiger Kristalle auf metallischen Oberflächen. ETZ-B 14(1962)26, S. 697...700.
- [28] *Egan, T. F.* und *A. Mendizza*: Creeping silver sulfide. Journ. Electrochem. Soc. 107(1960)4, S. 353...354.
- [29] *Frant, M. S.*: Copper sulfide creep on porous electroplate. Journ. Electrochem. Soc. 107(1960)12, S. 1009...1011.
- [30] *Keil, A.* und *C.-L. Meyer*: Über die Bildung von isolierenden Deckschichten auf Kontakten aus Verbundmetallen. ETZ 73(1952)2, S. 31...34.
- [31] *Keil, A.*: Zundererscheinungen an Sinter-Werkstoffen auf Silber-Basis. Zeitschr. f. Metallkunde 47(1956)4, S. 243...246.
- [32] *Keil, A.* und *C.-L. Meyer*: Die mechanische Deformation von Kontaktstücken durch den Schaltlichtbogen. ETZ-B 12(1960)13, S. 309...311.
- [33] *Schreiner, H.* und *F. Wendler*: Die Theorien der Sinterung im Hinblick auf Effekte bei der pulvermetallurgischen Herstellung thermoelektrischer Werkstoffe. Zeitschr. f. Metallkunde 52(1961)4, S. 218...223.
- [34] *Borchert, L.* und *K. L. Rau*: Die verschiedenen Frittarten und die Grundlagen zu ihrer Beurteilung. NTZ 14(1961)11, S. 555...559. — Vergleichende Untersuchungen verschiedener Frittarten. NTZ 15(1962)3, S. 111...116.
- [35] *Freund, F.*: Beitrag zur physikalischen Erklärung der Stromleitung durch fremdschichtbedeckte Gleitkontakte. Dissertation, Graz 1961.
- [36] *Neukirchen, J.*: Untersuchungen an elektrischen Ruhe- und Gleitkontakten «Kohle-Eisen» und «Kohle-Kupfer». Aus dem Prüffeld der Ringsdorf-Werke, Bad Godesberg-Mehlem, Sonderheft 1960, S. 3...24.
- [37] *Binder, K.*: Beitrag zur Dynamik des Kontaktes Kohlebürste-Lamelle. ETZ-A 82(1961)2, S. 46...53.
- [38] *Rieder, W.*: Die Beurteilung der Kontaktwerkstoffe für elektrische Schaltgeräte. Bulletin des SEV 53(1962)17, S. 830...840.
- [39] Einen Einblick geben die Proceedings of International Conference on Electromagnetic Relays, 8.—11. Oktober 1963, Memorial Hall of Tohoku University, Sendai, Japan.

#### Adresse des Autors:

Dr. A. Keil, Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, Schwäbisch Gmünd (Deutschland).

## Behandlung und Wartung von dieselektrischen Notstromgruppen

Von W. Ebnöther, Winterthur

621.311.8

Die Betriebsbereitschaft einer Notstromgruppe ist in hohem Masse davon abhängig, mit welcher Zuverlässigkeit die Wartungsarbeiten ausgeführt werden. Nur durch regelmässig vorzunehmende Probeläufe, bei welchen die gesamte Anlage systematisch zu überprüfen ist, kann eine optimale Anlaufbereitschaft erreicht werden. Die Kontrollläufe dienen im weiteren dazu, den sog. Stillstandsschäden, wie der Korrosion im Innern des Dieselmotors usw., vorzubeugen.

Im folgenden sind einige Gedanken, welche als Richtlinien für die jeweils vorzunehmenden Beobachtungen und Kontrollen dienen können, aufgeführt.

Der Zusammenbruch der schweizerischen Elektrizitätsversorgung in der Nacht auf den 17. Januar 1963, wie auch die wiederholten, durch die Unbill der Witterung in manchen Gebieten der Schweiz verursachten Netunterbrüche, haben in augenfälliger Weise Wert und Notwendigkeit von Notstromanlagen veranschaulicht.

*Afin d'être constamment prêt à fonctionner, un groupe de secours Diesel-électrique exige un entretien impeccable et doit subir, à intervalles réguliers, des essais de fonctionnement, au cours desquels toute l'installation est systématiquement vérifiée. Ces mises en marche servent en outre à éviter des dégâts dus à de longues périodes d'arrêt, notamment une corrosion à l'intérieur du moteur Diesel.*

*L'auteur examine certains points, qui peuvent servir de directives pour les observations et les contrôles de ces groupes électrogènes.*

Der Besitzer einer automatischen Notstromgruppe, der dafür in der Regel eine nicht unerhebliche Kapitalinvestition aufgewendet hat, muss sich unbedingt darauf verlassen können, dass sein Aggregat bei den verhältnismässig wenigen Netzausfällen pro Jahr automatisch in Betrieb kommt und die Speisung seiner wichtigen Verbraucher mit elektrischer