

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 44 (1966)

Heft: 8

Artikel: Umgebungsbedingte Einflüsse auf Schwachstromkontakte = Influences du milieu ambiant sur les contacts pour courant faible

Autor: Gerber, Theodor

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874581>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 31.03.2025

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

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von den Schweizerischen Post-, Telephon- und Telegraphen-Betrieben - Publié par l'entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses - Pubblicato dall'Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Theodor GERBER, Bern

537.311.4:620.19

Umgebungsbedingte Einflüsse auf Schwachstromkontakte¹ Influences du milieu ambiant sur les contacts pour courant faible¹

Zusammenfassung. Die vorliegende Veröffentlichung befasst sich mit umgebungsbedingten Einflüssen, die störend auf Schwachstrom-Relaiskontakte einwirken. Sie betreffen Einflüsse durch Staub, ungeeignete Kontaktpflege, Einflüsse der freien Atmosphäre und von organischen Dämpfen sowie von Siliconen. Einige Hinweise über festgestellte kontaktschädigende Einflüsse in unseren Amts- und Hauszentralen ergänzen die Ausführungen.

Résumé. On expose ici les influences du milieu ambiant qui ont un effet nuisible sur les contacts de relais pour courant faible. Il s'agit des influences dues à la poussière, de l'entretien défectueux des contacts, des effets de l'atmosphère libre, des vapeurs organiques et des silicones. Quelques indications sur des influences nuisibles aux contacts constatées dans les centraux officiels et domestiques complètent l'exposé.

Riassunto. Influssi ambientali sui contatti a corrente debole. L'articolo ha per soggetto gli influssi nocivi dipendenti dall'ambiente in cui il relè lavora, esercitati sui contatti a corrente debole. Si tratta in particolare della polvere, della cura dei contatti inadeguata, delle azioni dell'aria, di vapori organici, come pure di siliconi. Alcune indicazioni sulle cause di deteriorazione dei contatti rilevate nelle nostre centrali ufficiali e d'abbonati completano la trattazione.

1. Einleitung

Vorgänge an elektrischen Schwachstromkontakten, die durch äussere Einflüsse verursacht werden und die zu empfindlichen Kontaktstörungen führen können, sind in den letzten Jahren vermehrt in den Blickpunkt des Interesses gerückt. Diese Tatsache lässt sich hauptsächlich auf die Verwendung von Kunststoffen zurückführen, die kontaktschädigende Nebenwirkungen auslösen können, sowie auf die zunehmende Verseuchung der freien Atmosphäre durch Industrieabgase und Staub. Massnahmen zum Schutz vor diesen Einflüssen müssen vielerorts bereits getroffen werden. Zugleich ergeben sich neue Forderungen für die Wartung derart gefährdeter Kontakte, indem zweckmässige Reinigungsverfahren und geeignete Kontaktschutzmittel anzuwenden sind.

¹ Erweiterte Fassung des Referates «Aktuelle Probleme um elektrische Kontakte», gehalten am 28. Oktober 1964 anlässlich der Konferenz der Chefs der Betriebsabteilungen.

1. Introduction

Ces dernières années, l'intérêt s'est spécialement concentré sur les influences qu'exercent des causes extérieures sur les contacts pour courant faible, dont il peut résulter des dérangements importants. Cela doit principalement être attribué à l'emploi de matières plastiques qui peuvent déclencher des actions secondaires endommageant les contacts, ainsi qu'à la pollution toujours plus grande de l'atmosphère libre par les émanations de gaz industriels et la poussière. Des mesures de protection contre ces influences doivent déjà être prises en maints endroits. Simultanément, de nouvelles exigences s'imposent à la maintenance des contacts ainsi exposés au danger: des procédés de nettoyage judicieux et des produits de protection des contacts doivent être employés.

¹ Texte revu et complété de l'exposé «Aktuelle Probleme um elektrische Kontakte» présenté le 28 octobre 1964 à la conférence des chefs des divisions d'exploitation.

Das Interesse, das diesen Problemen entgegengebracht wird, zeigt sich auch an internationalen Tagungen, die den elektrischen Kontakt zum Thema haben. In den letzten Jahren fanden derartige Tagungen statt an der University of Maine/USA [1], an der Tohoku University in Sendai/Japan [2] sowie im Jahre 1964 an der Technischen Hochschule in Graz/Österreich. Bei diesem letzten Anlass wurde in ungefähr 50 Vorträgen, die nun veröffentlicht sind, umfassend über Grundlagenforschungen, neuere Kontaktwerkstoffe sowie Forschungen an Schalt-, Gleit- und Dauerkontakten berichtet [3]. Die eingangs erwähnten Einflüsse kamen dabei immer wieder zur Sprache. In der vorliegenden Arbeit sind die an der Grazer Tagung gewonnenen neuen Erkenntnisse berücksichtigt.

2. Einflüsse durch Staub und Kontaktpflege

Staubeinflüsse

Da Staub zur Hauptsache aus nichtleitenden Partikeln aller Art besteht (Fäserchen, organische Schüppchen, Härchen, Sand- und Kohlekörnchen usw.), erhöht er den Übergangswiderstand oder bewirkt sogar vollständigen Kontaktunterbruch. Im allgemeinen können nur Partikel störend wirken, die grösser als etwa $50 \mu\text{m}$ sind. Kleinere Teilchen sind ziemlich harmlos, falls sie nicht etwa agglomerieren. Übrigens spielt auch die Luftfeuchtigkeit eine Rolle. Bei zunehmender Feuchtigkeit nehmen staubbedingte Kontaktstörungen ab. Die Staubbildung, sicherlich aber die Staubaufwirbelung, ist in trockener Luft grösser als in befeuchteter. Man nimmt zudem an, dass die Luftfeuchtigkeit einen direkten Einfluss auf das Verhalten und die Eigenschaften eines bereits vorhandenen Staubes ausübt.

Die Staubempfindlichkeit hängt von vielen Faktoren ab. Darunter fallen die spezifischen Eigenschaften des Kontaktmetalls, sodann die Oberflächenform der Kontakte, die Kontaktlast, die Kontaktbewegung sowie die räumliche Lage der Kontakte. Doppelkontakte werden unter Staubeinfluss 10- bis 100mal weniger beeinträchtigt als Einfachkontakte. Ebenfalls günstiger verhalten sich Kontakte, die unter elektrischer Belastung schalten («Lastschalter»), die also nicht nur stromlos schliessen und öffnen («Trenner») [4]. Entsprechend gefährdet sind Kontakte, die nur kleine Ströme und Spannungen schalten, da hierbei die Selbstreinigung durch das Verbrennen von Staubteilchen nicht mehr gewährleistet ist.

Schliesslich ist die Staubanfälligkeit abhängig von der Rauigkeit der Kontaktoberfläche. Man hat festgestellt, dass Staubeinflüsse auf die Hälfte reduziert werden, wenn elektrische Kontakte nicht eine sehr gut geglättete, sondern eine leicht raue Oberfläche aufweisen. Die Rauigkeit muss dabei etwa halb so gross sein wie die Partikelgrösse [5]. Es wäre somit fehl am Platze, etwa durch verbesserte Fabrikationsmethoden immer feinere und glattere Kontaktflächen anstreben zu wollen.

L'intérêt que suscitent ces problèmes se fait aussi jour aux réunions internationales qui ont pour objet le contact électrique. Ces dernières années, des réunions de ce genre se sont tenues à l'University of Maine/USA [1], à la Tohoku University à Sendai/Japon [2] et, en 1964, à la Technische Hochschule à Graz/Autriche. A cette dernière conférence furent présentés quelque 50 exposés, actuellement publiés et portant sur des recherches fondamentales, qui traitèrent du nouveau matériel de fabrication des contacts ainsi que des recherches entreprises au sujet des contacts de commutation, des contacts glissants et des contacts permanents [3]. Les influences mentionnées au début revenaient sans cesse en discussion. Le présent article tient compte des nouvelles connaissances acquises à la réunion de Graz.

2. Influences dues à la poussière et à l'entretien des contacts

Influences dues à la poussière

La poussière se composant principalement de particules de toute sorte non conductrices (fibrilles, petits déchets organiques, petits poils, grains de sable et de charbon, etc.), elle augmente la résistance de passage ou provoque même l'interruption complète des contacts. En général, les particules ne peuvent causer de dérangements que si elles sont plus grandes que $50 \mu\text{m}$. Les particules plus petites sont inoffensives, à moins qu'elles ne soient agglomérées. Au reste, l'humidité de l'air joue aussi un rôle. Lorsque l'humidité augmente, les dérangements de contacts dus à la poussière diminuent. La formation de poussière, mais à coup sûr les tourbillons de poussière sont plus grands dans l'air sec que dans l'air humide. De plus, on admet que l'humidité de l'air exerce une influence directe sur le comportement et les propriétés de la poussière déjà existante.

La sensibilité à la poussière dépend de nombreux facteurs: les propriétés spécifiques du métal des contacts, puis la forme des surfaces des contacts, la charge des contacts, le mouvement des contacts ainsi que la position locale des contacts. Les contacts doubles sont soumis à l'influence de la poussière 10 à 100 fois moins que les contacts simples. Les contacts qui commutent sous une charge électrique («rupteur») se comportent également de façon plus favorable [4] que les contacts qui ferment et ouvrent sans courant («sectionneur»). En conséquence, sont exposés aux dérangements les contacts qui ne commutent que de faibles courants et tensions, le nettoyage spontané n'étant plus assuré par la combustion des particules de poussière.

Enfin, la sensibilité à la poussière dépend de la rugosité de la surface des contacts. On a constaté que les influences de la poussière sont réduites de moitié lorsque les contacts électriques n'ont pas une surface parfaitement lisse, mais légèrement rugueuse. La rugosité doit être à peu près la moitié de la grandeur des particules [5].

Mechanische Reinigungsverfahren

Relaiskontakte, die aus weichen Werkstoffen bestehen (z. B. Feinsilber, Silber/Gold, Platin), sind gegenüber ungeeigneten mechanischen Reinigungsverfahren besonders empfindlich. Staubpartikel und Fremdkörper, zum Beispiel aus ungeeigneten Polier- und Reinigungsmitteln, werden dabei leicht eingepresst.

In unseren Zentralen werden teilweise immer noch ungeeignete mechanische Reinigungsverfahren angewendet [6]. Darunter fallen unter anderem die Verfahren, bei denen Filz- und Gummischeiben benutzt werden. Dass im Anschluss daran ganze Relaisgestelle ausgeblasen oder abgesaugt werden müssen, beweist eindeutig die Gefährlichkeit dieser Reinigungsverfahren. Die Reinigung von Silberkontakten mit Gummischeiben und dergleichen ist zudem verwerflich, da sich wegen des wahrscheinlichen Schwefelgehaltes des Gummis auf den Kontakten Silbersulfidschichten bilden können. Gemäss den neuen Weisungen über das Reinigen von Relaiskontakten in Amts- und Hauszentralen² sind keine derartig ungeeigneten Methoden mehr gestattet. Geeignete Hilfsmittel für die Kontaktreinigung müssen entweder hart genug sein, um festhaftende Ablagerungen oder Fremdschichten zu entfernen (z. B. Kontaktreiniger), oder weich und adsorbierend, um wie ein Staublappen Fremdkörper von der Kontaktoberfläche aufzunehmen (z. B. Hirschleder).

Allzu häufiges oder vorsorgliches Reinigen kann für Relaiskontakte nachteilig sein. Besonders verwerflich ist unvollständiges, flüchtiges Reinigen. Versuche an im Betrieb stehenden Relais zeigen, dass einwandfrei schaltende Kontakte unbrauchbar werden, wenn die metallischen Berührungsstellen verändert werden. Dies kann bereits durch geringste gegenseitige Lageveränderungen der Kontakte oder durch Verschiebungen von feinen pulverförmigen Abbrandprodukten geschehen.

Entfetten

Rigoroses Entfetten verbessert die Kontaktgabe nicht etwa, sondern verschlechtert sie. Dies gilt auf alle Fälle für Relaiskontakte, die nicht unter Schutzgas stehen, sondern die in freier Atmosphäre arbeiten. Ultraschallreinigung und scharf wirkende Entfettungsmittel berauben die Kontakte ihrer meistens fettartigen, schützenden Schichten. Es bleibt eine reaktionsbereite Oberfläche zurück, auf der sich irgendwelche durch die Umgebungsatmosphäre bedingte Oberflächenschichten aufbauen können [7]. Erhöhte und schwankende Kontaktübergangswiderstände (Störgeräusche!) sind die Folge davon.

Falls aus irgend einem Grund, beispielsweise bei der Fabrikation, eine vollständige Entfettung von Kontakten vorgenommen wird, so muss anschliessend eine wirklich nur hauchdünne, unsichtbare Schicht

² Rundschreiben Nr. 333.91.1 vom 13.11.1965 der Fernmeldedienste GD PTT sowie zugehörige Anleitung Nr. 704.31/X. 65 – Ausgabe 3.

Ce serait donc un non-sens de vouloir obtenir des surfaces de contact toujours plus fines et plus lisses en améliorant les méthodes de fabrication.

Procédés de nettoyage mécanique

Les contacts de relais en matériau tendre (par exemple argent fin, argent/or, platine) sont particulièrement sensibles aux procédés de nettoyage non appropriés. Les particules de poussière et les corps étrangers, provenant par exemple de produits de polissage et de nettoyage inadéquats, sont aisément incrustés. Dans nos centraux, on applique encore partiellement des procédés de nettoyage non appropriés [6], parmi lesquels on trouve, entre autres choses, ceux qui utilisent des rondelles en feutre et en caoutchouc. Le fait qu'il faut ensuite nettoyer des bâtis entiers de relais à la soufflerie ou à l'aspirateur prouve nettement le danger de ces procédés de nettoyage. En outre, le nettoyage des contacts en argent à l'aide de rondelles en caoutchouc doit être rejeté du fait que, par suite de la teneur en soufre probable du caoutchouc, des couches de sulfure d'argent peuvent se former sur les contacts. Selon la nouvelle instruction pour le nettoyage des contacts de relais dans les centraux officiels et domestiques², aucune méthode aussi inadéquate n'est plus admise. Les accessoires idoines pour le nettoyage des contacts seront ou suffisamment durs pour enlever les dépôts ou les couches étrangères tenaces (par exemple le nettoyeur de contacts) ou alors tendres et adsorbantes pour recueillir comme un torchon à poussière les corps étrangers de la surface des contacts (par exemple peau de daim).

Un nettoyage trop fréquent ou préventif peut être préjudiciable aux contacts des relais. Un nettoyage incomplet et superficiel sera en particulier rejeté. Des essais sur des relais en service montrent que des contacts commutant à la perfection sont rendus inutilisables lorsque les points de contact métalliques sont modifiés. Les plus faibles changements de position réciproque des contacts ou des déplacements de fins produits pulvérulents de combustion peuvent déjà provoquer ce résultat.

Dégraissage

Un dégraissage minutieux n'améliore pas la qualité de contact, mais la rend plus mauvaise. Cela s'applique dans tous les cas aux contacts de relais qui ne se trouvent pas sous du gaz protecteur, mais qui fonctionnent en atmosphère libre. Un nettoyage ultrasonique et les produits de dégraissage extrêmement actifs dépouillent les contacts de leurs couches protectrices généralement graisseuses. Il demeure une surface prête à réagir, sur laquelle des couches superficielles quelconques, dépendantes de l'atmosphère ambiante, peuvent se développer [7]. Des résistances de passage de contact élevées et variables (bruits perturbateurs) en sont la conséquence.

² Lettre-circulaire N° 333.91.1 du 13.11.1965 des services des télécommunications de la DG des PTT et Instruction N° 704.31/X. 65 – édition 3.

eines geeigneten Kontaktpflegemittels aufgebracht werden, damit keine schädlichen Folgen eintreten.

Ölen und Fetten

Es mag paradox erscheinen, dass dünne Schichten von geeigneten Ölen den Kontaktwiderstand nicht erhöhen, sondern erniedrigen und stabilisieren. Wohl wäre der reinmetallische Kontakt mit seinem durch keine anderen Einflüsse gestörten Engewiderstand das Ideal, doch lässt sich dieser Idealzustand in der Wirklichkeit nicht erreichen. Selbst die edelsten Edelmetalle laufen an, wobei oxydische Deckschichten entstehen [8]. Monomolekulare oder nur wenig dickere Fremdschichten bewirken einen nachweisbaren Zusatzwiderstand zum Engewiderstand. Er ist aber äusserst gering, da die Elektronen solch dünne Schichten infolge des wellenmechanischen Tunneleffektes durchsetzen. Dieser Zusatzwiderstand ist unabhängig vom Chemismus der Fremdschichten.

Auf Relaiskontakten kann sogar die Bildung von dickeren Fremdschichten ohne besondere Massnahmen (etwa hermetisch abgeschlossene, unter Schutzgas stehende Kontakte) nicht verhindert werden. So sind zum Beispiel Silberkontakte normalerweise immer mit Fremdschichten überzogen, die im Sinne dieser Ausführungen als dick bezeichnet werden müssen. Noch dickere Schichten entstehen, wenn man Kontakte sogar nur schon mit *sauberen* Fingern überstreicht. In dicken Fremdschichten von mehr als $10 \cdot 10^{-6}$ mm tritt bei Stromfluss ein wesentlicher Spannungsabfall ein, der durch die Leitfähigkeit des Schichtmaterials bedingt wird. Man hat deshalb alles Interesse, durch gezielte Kontaktpflege nur geeignete, chemisch stabile Schutzschichten entstehen zu lassen. Günstig sind dünne Epilamenschichten, bei denen polare Moleküle senkrecht nebeneinander auf der Kontaktoberfläche stehen, äussere Einflüsse fernhaltend. Sie bleiben auch zwischen geschlossenen Kontakten bestehen und erhöhen, falls sie bis auf eine Dicke von etwa 10^{-6} mm weggequetscht werden, den Kontaktwiderstand nicht wesentlich [9; 10].

Die bewusst aufgebrauchten Schichten müssen aber noch aus einem anderen Grund möglichst dünn sein. Bei ihrer Zersetzung, die durch die Schaltfunken bewirkt wird, entstehen, falls es sich beispielsweise um Mineralöle handelt, feste kohlenstoffhaltige Abbauprodukte. Diese lagern sich natürlich auf den Kontaktoberflächen ab und können deshalb den Kontaktwiderstand beträchtlich erhöhen. Mit zuviel Öl erreicht man somit gerade das Gegenteil von dem, was beabsichtigt war. Zudem wirkt eine zu dicke Ölschicht als gefährlicher Staubfänger.

Kontaktreinigungs- und Kontaktschutzmittel

Bei der Auswahl und der Anwendung von Kontaktpflegemitteln für Schwachstrom-Relaiskontakte ist Vorsicht nötig. Ungeprüfte Mittel sollen grundsätzlich nicht verwendet werden. Viele der auf dem Markt angebotenen Produkte sind wohl für Schleifkontakte geeignet, nicht aber für Abhebe- und Dauerkontakte.

Lorsque, pour un motif quelconque, par exemple lors de la fabrication, les contacts sont complètement dégraissés, il faut ensuite appliquer une très fine couche invisible d'un produit d'entretien des contacts approprié pour qu'il n'en résulte aucune conséquence nuisible.

Huilage et graissage

Il peut paraître paradoxal que de minces couches d'huile adéquate n'augmentent pas la résistance de contact, mais la réduisent et la stabilisent. Le contact purement métallique avec sa résistance de passage perturbée par aucune autre influence serait l'idéal, mais cet état idéal ne peut être obtenu en réalité. Même les métaux nobles les plus purs se ternissent, des couches de recouvrement se produisant par oxydation [8]. Des couches étrangères monomoléculaires ou à peine un peu plus épaisses provoquent une résistance additionnelle. Mais elle est extrêmement petite, vu que les électrons traversent ces couches si minces par suite de l'effet de tunnel de la mécanique ondulatoire. Cette résistance additionnelle est indépendante du chimisme des couches étrangères.

La formation de couches étrangères plus épaisses ne peut même pas être entravée sur les contacts de relais sans mesures spéciales (par exemple contacts enfermés hermétiquement, se trouvant sous un gaz protecteur). Les contacts en argent, par exemple, sont normalement toujours recouverts de couches étrangères qui doivent être désignées d'épaisseur d'après ces explications. Des couches encore plus épaisses se produisent lorsqu'on passe déjà simplement ses doigts *propres* sur les contacts. Dans les couches étrangères de plus de $10 \cdot 10^{-6}$ mm d'épaisseur se produit au passage du courant une chute de tension importante qui est conditionnée par la conductibilité du matériel composant la couche. C'est pourquoi on a tout intérêt, par un entretien dirigé des contacts, à ne donner naissance qu'à des couches protectrices chimiquement stables. Les fines couches épilam sont propices: les molécules polaires se tiennent verticalement les unes à côté des autres sur la surface de contact en éliminant les influences extérieures. Elles subsistent même entre les contacts fermés et n'augmentent pas sensiblement la résistance de contact lorsqu'elles sont écrasées jusqu'à une épaisseur de 10^{-6} mm environ [9, 10].

Mais les couches appliquées sciemment doivent être aussi minces que possible encore pour un autre motif. Lorsqu'elles sont décomposées par les étincelles de commutation, il en résulte des produits carbonés solides s'il s'agit, par exemple, des couches d'huiles minérales. Ces produits se déposent naturellement sur les surfaces des contacts et peuvent, en conséquence, augmenter considérablement la résistance de contact. En utilisant beaucoup d'huile, on obtient ainsi exactement le résultat contraire à celui qu'on envisageait. En outre, une couche d'huile trop épaisse devient un «ramasse-poussière» dangereux.

Es gibt Mittel, die hier direkt schädlich wirken. Aber auch Schleifkontakte können durch gewisse Produkte verdorben werden, wobei die Erhöhung der Geräuschspannung noch das kleinste Übel ist [11]. Derartig ungeeignete Mittel sind in unseren Zentralen schon verwendet worden [6].

Viele Kontaktreinigungsmittel enthalten chlorierte Kohlenwasserstoffe, die an und für sich eine gute reinigende (entfettende!) Wirkung ausüben. Solche Mittel sind bisher bei uns abgelehnt worden, nicht nur deswegen, weil sie gesundheitsschädlich wirken, sondern hauptsächlich darum, weil sie sich unter Lichteinfluss zersetzen, wobei korrosiv wirkende Salzsäure (HCl) entsteht [12]. Dabei ist nicht etwa die Zersetzung im Schaltfunken kritisch – es können dabei nur geringste, nicht schädliche Mengen von Salzsäure entstehen – sondern die Zersetzung in der Vorratsflasche. Neuerdings gibt es nun beständigere chlorierte oder, allgemeiner gesagt, stabilisierte halogenierte Kontaktreinigungsmittel, so dass vielleicht die Vorschriften gelockert werden können. Bis auf weiteres ist aber nur das halogenfreie PTT-Kontaktreinigungsmittel zugelassen. Es ist auf der Basis von Vaselineöl zusammengesetzt und besitzt neben anderen guten Eigenschaften auch jene, dass es niedrigviskose Silicone, das heisst Siliconöle, aufzulösen vermag. Diese Eigenschaft ist besonders erwünscht, wie aus dem Kapitel über Einflüsse von Siliconen noch ersichtlich sein wird. Laboratoriums- und Betriebsversuche beweisen eindeutig, dass dieses Reinigungsmittel bei richtiger Anwendung (nur hauchdünn aufgetragen) die Kontaktgabe nachhaltig verbessert und eine vorbeugende Wirkung ausübt.

3. Einflüsse der freien Atmosphäre

Die zunehmende Verseuchung der Atmosphäre durch industrielle Abgase usw. führt im Ausland vermehrt zu Kontaktstörungen. So ist etwa in gewissen Industriegebieten von Japan der Schwefelwasserstoffgehalt der Luft teilweise so gross, dass der Betrieb der Crossbar-Zentralen ernstlich gefährdet ist. Die verwendeten Silber/Gold- und Silber/Palladium-Kontakte bedecken sich mit derart dicken Anlaufschichten, dass Kontaktübergangswiderstände bis in die Grössenordnung von $M\Omega$ entstehen [13]. In vielen Laboratorien werden deshalb grossangelegte Versuche durchgeführt, um die schädlichen Einflüsse der Atmosphäre zu studieren und um Kontaktwerkstoffe zu finden, die gegenüber diesen Einflüssen möglichst immun sind.

Reinsilberkontakte sind bekanntlich gegenüber Schwefelwasserstoff (H_2S) besonders empfindlich; das Anlaufen des Silbers in Gegenwart von schwefelhaltigen Gasen ist eine alltägliche Erscheinung. Ausser der schwefelhaltigen Atmosphäre greift auch gasförmiger Schwefel, der beispielsweise von Gummi abgegeben wird, die Silberkontakte an. Es sind Fälle bekannt, in denen Gummidichtungen, die zum Staubschutz von Relais dienen sollten, aus dem er-

Produit de nettoyage et de protection des contacts

La prudence est de rigueur lors du choix et de l'emploi de produits d'entretien des contacts de relais pour courant faible. Des produits non essayés ne doivent en principe pas être utilisés. Nombre de produits offerts sur le marché conviennent aux contacts glissants, mais non aux contacts de relais et permanents. Il y a des produits qui ont un effet directement nuisible. Même les contacts glissants peuvent être endommagés par certains produits, l'augmentation de la tension de bruit étant encore le moindre des maux [11]. Des produits aussi impropres ont déjà été employés dans les centraux téléphoniques [6].

De nombreux produits de nettoyage des contacts contiennent des hydrocarbures chlorés qui nettoient bien (dégraissent). Mais, jusqu'ici, nous avons refusé ces produits, non seulement parce qu'ils sont nuisibles à la santé, mais surtout parce qu'ils se décomposent sous l'effet de la lumière, en donnant naissance à de l'acide chlorhydrique corrosif (HCl) [12]. Ce n'est certes pas la décomposition dans l'étincelle de commutation qui est critique – il ne peut en effet se produire que de minimes quantités inoffensives d'acide chlorhydrique – mais la décomposition dans la bouteille à provision. Depuis peu, il existe des produits chlorés de nettoyage des contacts plus stables ou, dit d'une façon plus générale, halogénés stabilisés, de sorte que les prescriptions pourront peut-être être assouplies. Mais, jusqu'à nouvel avis, seul le produit de nettoyage des contacts PTT non halogéné est admis. Il est à base d'huile de vaseline et possède, en plus d'autres bonnes propriétés, aussi celle de pouvoir dissoudre les silicones à faible viscosité, c'est-à-dire les huiles de silicone. Cette propriété est spécialement désirée, ainsi que le chapitre sur les influences de silicones le fait encore ressortir. Des essais en laboratoire et dans l'exploitation prouvent clairement que ce produit de nettoyage, appliqué correctement (étendu en très fine pellicule), améliore de façon durable la qualité des contacts et exerce un effet préventif.

3. Influences de l'atmosphère libre

La pollution croissante de l'atmosphère par des gaz industriels, etc., provoque à l'étranger toujours plus de dérangements de contacts. Par exemple, dans certaines régions industrielles du Japon, la teneur en hydrogène sulfuré de l'air est partiellement si grande que l'exploitation des centraux crossbars est sérieusement mise en danger. Les contacts argent-or et argent-palladium employés se couvrent de couches de dépôt si épaisses que les résistances de passage sont de l'ordre de plusieurs $M\Omega$ [13]. C'est pourquoi de nombreux laboratoires effectuent des essais en grand pour étudier les influences nuisibles de l'atmosphère et pour trouver des matières de contact aussi insensibles que possible à ces influences.

On sait que les contacts en argent pur sont particulièrement sensibles à l'hydrogène sulfuré (H_2S);

wähnten Grund die Kontakte schädigten. Ein nicht alltägliches Beispiel für die Existenz und die Wirkung von Schwefelwasserstoff wurde neulich in zwei Hauszentralen entdeckt. Ein Kunststoff-Bodenbelag, das heisst sein schwefelhaltiges Pigment, war die Ursache. Die Schwefelwasserstoffbildung war derart stark, dass sich die Bronze- und Silberteile der Zentralen mit einer dicken Sulfidschicht überzogen. Der Bodenbelag musste ausgewechselt werden. Glücklicherweise handelt es sich um Einzelfälle, die auch nur als solche zu werten sind [14].

Der Einfluss von schwefelwasserstoffhaltiger Luft auf Silberkontakte ist unter anderem von *Hentsch* untersucht worden [15]. In *Figur 1* ist ein diesbezügliches Ergebnis veranschaulicht. Bei diesem Versuch lagerten die Kontakte in einer Atmosphäre, die $2 \cdot 10^{-6}$ Teile Schwefelwasserstoff enthielt. Die Temperatur betrug 20°C , die relative Luftfeuchtigkeit 40%. Die Kontaktlast war mit 20 g durchaus im Rahmen dessen, was bei Relaiskontakten üblich ist. Wie aus der *Figur* zu ersehen ist, erstreckte sich die Widerstandszunahme innerhalb von 20 Tagen über 3 Dekaden.

Silbersulfid (Ag_2S), das bei der Einwirkung von Schwefelwasserstoff auf Silber entsteht, ist ein schlechter elektrischer Leiter; sein spezifischer Widerstand beträgt mehr als 1000 Ωcm . Trotzdem sind dünne sulfidische Anlaufschichten auf Relaiskontakten, falls es sich um *arbeitende, elektrisch belastete Kontakte* handelt, ziemlich harmlos. Unter der Wirkung des Schaltlichtbogens zersetzt sich nämlich das Silbersulfid, da es oberhalb 300°C nicht mehr beständig ist. Es ist zudem weicher als Silber. Silbersulfidschichten werden deshalb bei der Kontaktbetätigung leicht durchstossen, so dass der Stromübertritt über sulfidfreie Stellen erfolgen kann [16]. Vor-

c'est un phénomène courant que l'argent se ternit en présence de gaz sulfureux. Outre l'atmosphère sulfureuse, le soufre gazeux, qui est émis par exemple par le caoutchouc, attaque les contacts en argent. On connaît des cas où des joints en caoutchouc qui auraient dû protéger des relais de la poussière les ont endommagés pour le motif susindiqué. Un exemple assez peu connu de l'existence et de l'action de l'hydrogène sulfuré a été découvert récemment dans deux centraux domestiques. Un revêtement de plancher en matière plastique, c'est-à-dire son pigment sulfureux, en était la cause. La formation d'hydrogène sulfuré était si forte que les parties en bronze et en argent des centraux se recouvraient d'une épaisse couche de sulfure. Le revêtement du plancher a dû être remplacé. Il ne s'est agi heureusement que de cas isolés qui ne doivent être appréciés que comme tels [14].

L'influence de l'air contenant de l'hydrogène sulfuré sur les contacts en argent a été en particulier étudiée par *Hentsch* [15]. La *figure 1* reproduit un résultat y relatif. Pour cet essai, les contacts se trouvaient dans une atmosphère qui contenait $2 \cdot 10^{-6}$ parties d'hydrogène sulfuré. La température était de 20°C , l'humidité relative de l'air de 40%. La charge de contact de 20 g était absolument dans les limites de ce qui est usuel pour les contacts de relais. La *figure* montre que la résistance avait progressé de plus de 3 décades en l'espace de 20 jours.

Le *sulfure d'argent* (Ag_2S), qui s'obtient par l'action de l'hydrogène sulfuré sur l'argent, est un mauvais conducteur électrique; sa résistance spécifique est supérieure à 1000 Ωcm . Malgré cela, de fines couches de dépôt sulfuré sur les contacts de relais sont assez inoffensives lorsqu'il s'agit de *contacts chargés électriquement en travail*. Sous l'effet de l'arc électrique de connexion, le sulfure d'argent se décompose, étant donné qu'il n'est plus stable au-dessus de 300°C . Il est en outre plus tendre que l'argent. Les couches de sulfure sont, par conséquent, facilement perforées lors du fonctionnement des contacts, de sorte que le courant passe par les endroits libres de sulfure [16]. Mais il faut faire des réserves pour les contacts en argent *glissants*. Pour ces contacts de sélecteurs, on a constaté que l'usure des contacts peut être très grande par suite de sulfonation; la dureté insuffisante de l'argent en est l'une des causes [17].

Une autre combinaison chimique qu'on peut obtenir sur les contacts en argent est le *nitrate d'argent* (AgNO_3). Il se forme sous l'influence de décharges électriques (arcs électriques de connexion), l'azote de l'air étant oxydé. Les dérangements de contacts à attribuer au nitrate d'argent affectent le plus fréquemment les relais soigneusement encapuchonnés, dont les contacts ne se trouvent pas dans du gaz de protection [18]. C'est pourquoi les essais réalisés avec des relais hermétiquement enfermés dans de petits boîtiers peuvent aboutir à des résultats faussés.

Pour être complet, il faut encore mentionner l'influence de l'*ozone* (O_3) sur les contacts en argent, déjà

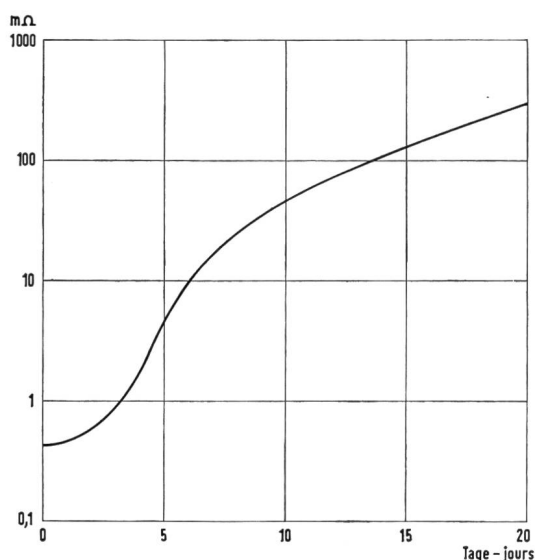


Fig. 1

Verlauf des Übergangswiderstandes bei Silberkontakten in schwefelwasserstoffhaltiger Atmosphäre (nach *Hentsch* [15])

Courbe de la résistance de passage pour des contacts en argent dans une atmosphère contenant de l'hydrogène sulfuré (selon *Hentsch* [15])

behalte müssen jedoch bei *gleitenden* Silberkontakten angebracht werden. Man hat bei derartigen Kontakten an Wählern festgestellt, dass der Kontaktverschleiss wegen der Sulfidierung sehr gross werden kann; allerdings ist dabei auch die ungenügende Härte des Silbers mitschuldig [17].

Eine andere chemische Verbindung, die auf Silberkontakten entstehen kann, ist *Silbernitrat* (AgNO_3). Dieses kann sich unter dem Einfluss von elektrischen Entladungen bilden (Schaltlichtbögen), wobei der Stickstoff der Luft oxydiert wird. Kontaktstörungen, die auf Silbernitrat zurückzuführen sind, treten am ehesten bei dicht gekapselten Relais auf, deren Kontakte nicht unter Schutzgas stehen [18]. Versuche mit luftdicht in kleine Behälter eingeschlossenen Relais können deshalb zu falschen Ergebnissen führen.

Der Vollständigkeit halber sei noch die schon bei Raumtemperatur mögliche Einwirkung von *Ozon* (O_3) auf Silberkontakte erwähnt. Dabei entsteht Silberoxid (Ag_2O), das den sehr hohen spezifischen Widerstand von $5 \cdot 10^7 \Omega\text{cm}$ aufweist. Es zersetzt sich aber bereits oberhalb 170°C . Deshalb, und weil es weich ist und sich mechanisch sehr leicht entfernen lässt, führt es kaum zu Kontaktstörungen. Immerhin kann Ozon, dessen Bildung im Schaltlichtbogen grundsätzlich möglich ist, noch über weitere chemische Reaktionen auf Kontaktmetalle einwirken. Es gibt überhaupt eine ganze Reihe von unerwünschten Oxydations- und Korrosionsprozessen; Untersuchungen, die in Japan durchgeführt wurden, haben diesbezüglich neue Erkenntnisse geliefert [19].

Ausser diesen Einflüssen, die am Beispiel der Silberkontakte etwas eingehender erläutert wurden, übt bereits die normale, reine Atmosphäre verschiedene Wirkungen aus. In erster Linie ist die Oxydationswirkung des *Luftsauerstoffs* zu erwähnen. Der bei den kleinen gegenseitigen Bewegungen der Kontakte entstehende Abrieb oxydiert wegen seiner Feinheit verhältnismässig leicht. Dieser Vorgang wird als Reiboxydation oder allgemeiner als Reibkorrosion bezeichnet. Die entstehenden pulverförmigen Oxide sind sehr schlechte elektrische Leiter; falls sie zwischen die Kontakte gelangen, erhöhen sie den Übergangswiderstand.

Weniger bekannt ist, dass der Sauerstoff die *Feinwanderung* an elektrisch belasteten Kontakten beeinflusst. So kehrt sich bei Platinkontakten die Wanderungsrichtung bei Abwesenheit des Sauerstoffs um [20].

Schliesslich sei noch auf die bekannte Tatsache hingewiesen, dass die *Luftfeuchtigkeit* einen wesentlichen Einfluss auf die Kontaktgabe ausübt. Nicht umsonst hat man aus Erfahrung gelernt, dass in den Telephonzentralen eine relative Luftfeuchtigkeit von 40...70% angestrebt werden muss. Bei zu kleiner Feuchtigkeit nehmen die Kontaktwiderstände und vor allem die Störgeräusche zu. Gegebenenfalls müssen die Frittströme erhöht werden [21]. Die Art und Weise wie die Luftfeuchtigkeit wirkt, ist nicht restlos geklärt. Sicher ist, dass ausser dem bereits

möglich zu la température ambiante. On obtient l'oxyde d'argent (Ag_2O) qui a la résistance spécifique très élevée de $5 \cdot 10^7 \Omega\text{cm}$. Il se décompose déjà au-dessus de 170°C . C'est pourquoi, et du fait qu'il est tendre et très facile à enlever mécaniquement, il ne provoque pour ainsi dire pas de dérangements de contacts. L'ozone, dont la formation est en principe possible dans les arcs électriques de connexion, peut néanmoins encore agir par d'autres réactions chimiques sur les métaux des contacts. Il se produit toute une série de processus d'oxydation et de corrosion indésirables; des études entreprises au Japon ont apporté de nouvelles connaissances à ce sujet [19].

Outre ces influences qui ont été expliquées un peu plus en détail à l'aide de l'exemple des contacts en argent, l'atmosphère normale pure exerce déjà différentes actions. En premier lieu, il faut citer l'effet d'oxydation de l'*oxygène de l'air*. La limaille résultant des faibles mouvements opposés des contacts s'oxyde assez facilement du fait de sa finesse. Ce phénomène est désigné par oxydation due au frottement ou d'une façon plus générale par corrosion due au frottement. Les oxydes pulvérulents en résultant sont de très mauvais conducteurs électriques; lorsqu'ils parviennent à se placer entre les contacts, ils augmentent la résistance de passage.

Ce qu'on sait beaucoup moins, c'est que l'oxygène influence la faible *migration* sur les contacts chargés électriquement. Ainsi, l'absence d'oxygène inverse le sens de migration sur les contacts en platine [20].

Enfin, rappelons encore le fait connu que l'*humidité de l'air* exerce une influence considérable sur la qualité des contacts. L'expérience nous a appris qu'on devait arriver à une humidité relative de l'air de 40...70% dans les centraux téléphoniques. Lorsque l'humidité est trop faible, les résistances de contacts et surtout les bruits perturbateurs augmentent. Le cas échéant, les courants de mouillage doivent être élevés [21]. La façon dont l'humidité de l'air agit n'est pas absolument tirée au clair. Il est certain que, en plus de l'influence favorable sur la diminution de poussière déjà citée plus haut, d'autres facteurs exercent aussi leur influence. Ainsi, pour les contacts en argent qui travaillaient dans des conditions électriques déterminées, on a constaté que les courants limites, pour lesquels il ne se produisait pas encore d'arcs électriques de connexion, devenaient plus grands au fur et à mesure que la teneur en vapeur d'eau de l'air augmentait [22].

4. Influences de vapeurs organiques

Evaporation et adsorption de vapeurs organiques

Les premières observations systématiques permettant de déterminer que des vapeurs organiques peuvent endommager les contacts électriques remontent à l'année 1945. Au cours des 20 ans qui se sont écoulés depuis lors, les phénomènes qui en découlent ont été très activement étudiés, les recherches entreprises principalement dans les laboratoires Bell (USA) fournissant des connaissances essentielles.

früher erwähnten günstigen Einfluss auf die Staubverminderung noch weitere Faktoren mitwirken. So wurde bei Silberkontakten, die unter bestimmten elektrischen Bedingungen arbeiteten, festgestellt, dass die Grenzströme, bei denen gerade noch keine Schaltlichtbögen entstehen, mit steigendem Wasserdampfgehalt der Luft grösser werden [22].

4. Einflüsse von organischen Dämpfen

Evaporation und Adsorption von organischen Dämpfen

Die ersten systematischen Beobachtungen, wonach organische Dämpfe schädlich auf elektrische Kontakte einwirken können, gehen auf das Jahr 1945 zurück. In den seither verflossenen 20 Jahren sind die damit verbundenen Phänomene sehr intensiv erforscht worden, wobei hauptsächlich die in den Bell-Laboratorien (USA) durchgeführten Untersuchungen wesentliche Erkenntnisse lieferten.

Die im Zusammenhang mit Kontaktproblemen interessierenden Atmosphärien stammen meistens aus Kunststoffen, die in der näheren oder weiteren Umgebung von Kontakten vorhanden sind. In Betracht fallen hauptsächlich Isolierstoffe an Relais, Relaiskapselungen und Drahtisolationen. Paradoxerweise sind zuerst Fälle bekannt geworden, bei denen Kontakte von *gekapselten* Relais versagten, obschon man bezweckte, durch die Kapselung schädliche Einflüsse abzuhalten. In der Folge zeigte sich, dass es die zum Schutz der Kontakte angebrachten Kunststoffgehäuse waren, die organische Dämpfe evaporierten.

Die in unseren Zentralen verwendeten Relais sowie die Drähte mit Polyvinylchlorid-Isolation (PVC)

Les parties constitutives de l'atmosphère qui présentent un intérêt en corrélation avec les problèmes de contacts proviennent généralement de matières plastiques qui se trouvent aux environs immédiats ou plus éloignés de contacts. Les matières isolantes des relais, les étuis des relais et les isolations de fil entrent principalement en considération. Paradoxalement, on a d'abord connu les cas où les contacts de relais *protégés par des boîtiers* avaient des défaillances, bien qu'on s'astreignît à écarter les influences nuisibles en les plaçant dans des boîtiers. Par la suite, il se révéla que les boîtiers en matière plastique, utilisés pour protéger les contacts, dégageaient les vapeurs organiques.

Les relais employés dans les centraux téléphoniques et les fils à isolation en chlorure de polyvinyle (CPV) dégagent des vapeurs organiques, ce que prouvent les essais décrits ci-après. La *figure 2* montre la photographie d'une disposition d'essai où quelques bobines de relais ont été placées dans un tube de verre étroit où elles s'échauffaient par le passage du courant.

La température des bobines a passé de 30° C au début à 60° C. Malgré une ventilation artificielle très faible (0,1 l par heure), des matières organiques solides et incolores se condensaient au bout de quelque temps aux parois de verre froides. Elles sont reconnaissables à la figure 2 sous forme de dépôts clairs. Entrent en considération comme matériaux d'évaporation: noyau de fer traité à l'huile, isolation à la laque du fil de bobinage (invraisemblable), corps de bobines, papier isolant, soie traitée à l'huile.

Des quantités observables de substances organiques volatiles sont éliminées de façon analogue des fils

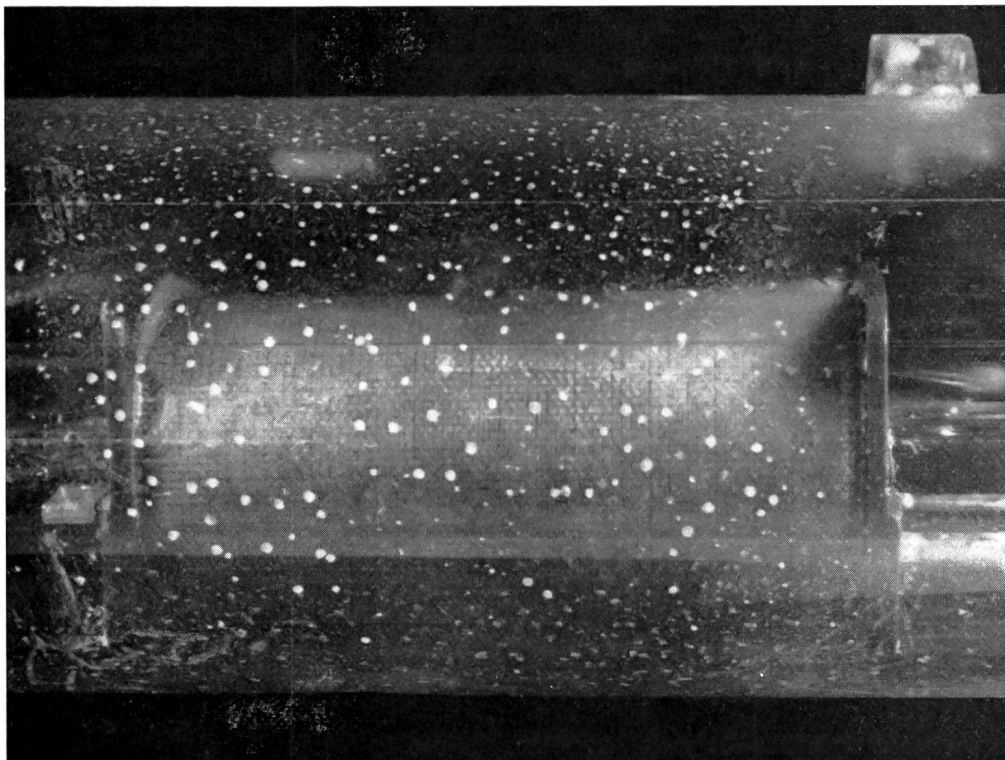
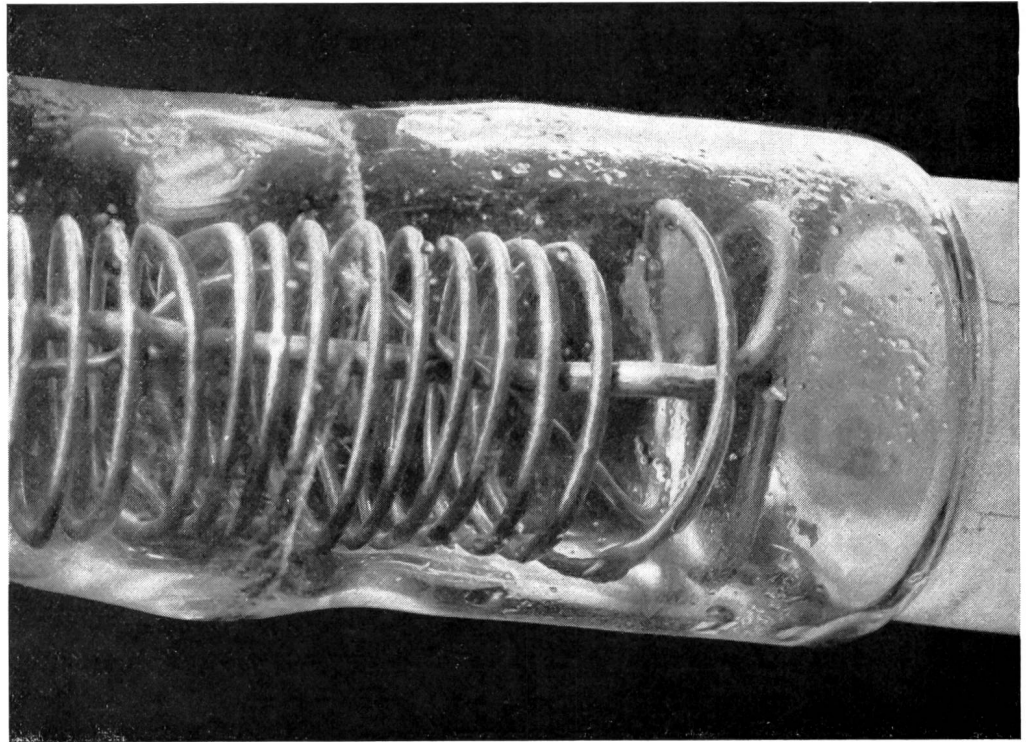


Fig. 2
Kondensationsprodukt aus
einer Relaispule
Produit de condensation
d'une bobine de relais

Fig. 3

Kondensationsprodukt aus
Drähten mit Polyvinylisolation

Produit de condensation
de fils à isolation de polyvinyle



geben organische Dämpfe ab. Dies wird durch die nachfolgend beschriebenen Versuche bewiesen. *Figur 2* zeigt die photographische Aufnahme einer Versuchsanordnung, bei der einige Relaispulen in enge Glasröhren gegeben wurden. Die Spulen wurden elektrisch erwärmt, indem sie selbst als Heizkörper dienten. Die Spulentemperatur wurde von anfänglich 30° C auf 60° C gesteigert. Trotz allerdings nur schwacher künstlicher Belüftung (0,1 l in der Stunde) kondensierten nach einiger Zeit an den kalten Glaswandungen feste, farblose organische Stoffe. Sie sind in *Figur 2* als helle Niederschläge zu erkennen. Als ausdünstende Materialien kommen in Frage: ölbehandelter Eisenkern, Lackisolation des Wicklungsdrahtes (unwahrscheinlich), Spulenkörper, Isolierpapier, Ölseide.

Beachtliche Mengen von flüchtigen organischen Substanzen lassen sich auf analoge Weise auch aus PVC-isolierten Drähten austreiben. In *Figur 3* sind derartige, wiederum an der Glaswandung kondensierte Tröpfchen erkennbar. Ein ansehnlicher Flüssigkeitstropfen ist unten rechts zusammengelaufen. Es handelt sich um eine hellgelbe, ölige Substanz.

Bei beiden Versuchen wurde die durch die Glasröhren getriebene Luft in Gefäße geleitet, in denen elektrisch belastete Relaiskontakte arbeiteten. Es kam zu keinen Kontaktstörungen. Die schwache Lüftererneuerung hat sich offenbar günstig ausgewirkt.

Man kennt heute viele organische Dämpfe, die kontaktschädigend wirken; die spezifisch gefährdeten Kontaktmetalle sind ebenfalls bekannt [23, 24, 25]. Trotzdem ist es teilweise schwierig, diese Erkenntnisse restlos in die Praxis umzusetzen. Sorgfältige Werkstoffauswahl ist unumgänglich geworden. Dies gilt

isoliert au CPV. A la *figure 3*, on reconnaît à nouveau des gouttelettes condensées à la paroi de verre. Une goutte de liquide de belle grandeur s'est formée en bas à droite. Il s'agit d'une substance huileuse de couleur jaune clair.

Pour les deux essais, l'air insufflé à travers les tubes de verre était conduit dans des récipients où travaillaient des contacts chargés électriquement. Il ne se produisit aucun dérangement de contact. Le faible renouvellement d'air a certainement eu un effet favorable.

On connaît actuellement un grand nombre de vapeurs organiques qui nuisent aux contacts; les métaux des contacts spécifiquement exposés au danger sont également connus [23, 24, 25]. Malgré cela, il est partiellement difficile de mettre intégralement en pratique ces connaissances. Un choix minutieux des matériaux est devenu indispensable. Cela s'applique aussi au choix de la peinture et des revêtements de plancher dans les centraux. C'est pourquoi le nouveau «cahier des charges pour l'exploitation et la construction de centraux téléphoniques»³ prescrit que, pour peindre les parois et les plafonds, il ne faut employer que de la dispersion (c'est-à-dire aucune peinture contenant des dissolvants organiques) et, pour recouvrir les planchers, que de l'inlaid (pas de revêtements en CPV). Seule l'eau de savon est autorisée pour le nettoyage des planchers⁴. Enfin, les influences nuisibles de vapeurs organiques peuvent être évitées dans une large mesure par une ventilation suffisante d'appareils et d'installations exposés au danger.

³ Edition provisoire 1965, PTT N° 704.70

⁴ Circulaire concernant le matériel de nettoyage P N° 3, T N° 731 du 12 février 1964

auch für die Wahl der Anstrichfarben und Fussbodenbeläge in Zentralen. Das neue «Betriebliche und bauliche Pflichtenheft für Telephonzentralen»³ schreibt deshalb vor, dass für Wand- und Deckenanstriche nur Dispersionsfarben (d. h. keine Farben, die organische Lösungsmittel enthalten) und als Bodenbelag nur Inlaid (keine PVC-Beläge) verwendet werden dürfen. Für die Reinigung der Böden ist nur Seifenwasser gestattet⁴. Schliesslich lassen sich durch ausreichende Ventilation von gefährdeten Geräten und Anlagen schädliche Einflüsse von organischen Dämpfen weitgehend vermeiden.

Damit derartige Dämpfe auf elektrische Kontakte einwirken können, müssen sie vorerst an den Kontaktoberflächen adsorbiert werden. Dieser Vorgang findet bei einigen Edelmetallen besonders leicht statt, indem sie durch die sogenannte Chemosorption Moleküle anlagern. Dabei entstehen Adsorptionsschichten, deren Dicke ein Mehrfaches der Moleküldurchmesser beträgt. Diese Schichten können zu den verschiedenartigsten Reaktionen Anlass geben, indem auf den Kontaktoberflächen chemische Verbindungen aufgebaut, umgebaut oder auch abgebaut werden.

Aufbau von chemischen Verbindungen

Bei Wolframkontakten hat man gefunden, dass gewisse organische Dämpfe, u. a. auch Dämpfe von Weichmachern (zum Beispiel Diphenyl- und Dibutylphtalat), *direkte chemische Reaktionen* mit dem Metall eingehen. Es handelt sich somit um Korrosionsvorgänge. Sie verlaufen besonders rasch bei erhöhter Temperatur und grösserem Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Die entstehenden Schichten sind elektrisch isolierend [26].

Ein anderes Phänomen ist die *spontane Polymerisation* von adsorbierten Stoffen, ohne dass irgendwelche mechanische oder elektrische Vorgänge mitbeteiligt sind. Dabei findet eine Zusammenlagerung der adsorbierten Moleküle zu neuen, meist ölähnlichen Substanzen statt. Besonders gut verlaufen diese Reaktionen bei den Metallen der Platingruppe, das heisst bei Platin, Iridium und Palladium. Auch auf Gold können derartige Polymerisate entstehen, wobei jedoch die Bildung sehr viel langsamer abläuft. Zu spontaner Polymerisation bereit sind sowohl Dämpfe von reinen Kohlenwasserstoffen als auch Ausdünstungen aus Papier- und Drahtisolationen sowie aus Bodenbelägen und Bodenpflegemitteln [27].

Eine weitere Variante ist die *Polymerisation durch Friktion*. Dabei werden adsorbierte organische Substanzen unter der Wirkung der Kontaktreibung zu isolierenden pulverförmigen Substanzen aufgearbeitet, ohne dass dabei die Kontakte elektrisch schalten. Berüchtigt geworden ist das «brown powder» der Bell-Laboratorien. Es lieferte den schlagendsten Beweis für die Existenz der Polymerisation durch Friktion. Dieser Vorgang findet wiederum am stärk-

Pour que ces vapeurs puissent agir sur les contacts électriques, elles doivent être adsorbées à la surface des contacts. Ce processus s'accomplit très facilement sur quelques métaux nobles qui accumulent les molécules par l'adsorption chimique. Il en résulte des couches d'adsorption dont l'épaisseur est un multiple des diamètres des molécules. Ces couches peuvent donner lieu aux réactions les plus diverses, des combinaisons chimiques étant produites, transformées ou détruites sur les surfaces des contacts.

Formation de combinaisons chimiques

Pour les contacts en tungstène, on a trouvé que certaines vapeurs organiques, entre autres choses aussi des vapeurs de plastifiants (par exemple diphenylphtalate et dibutylphtalate) provoquent des *réactions chimiques directes* avec le métal. Il s'agit donc de phénomènes corrosifs qui se développent très rapidement à température élevée et dans une grande humidité de l'air. Les couches en résultant sont des isolants électriques [26].

Un autre phénomène est la *polymérisation spontanée* de produits adsorbés, sans que des processus mécaniques ou électriques quelconques interviennent. Les molécules adsorbées s'associent pour former de nouvelles substances généralement oléides. Ces réactions se produisent particulièrement bien sur les métaux du groupe platine, c'est-à-dire sur le platine, l'iridium et le palladium. Des polymères peuvent aussi se constituer sur l'or, la formation étant toutefois beaucoup plus lente. Les vapeurs d'hydrocarbures purs et les évaporations d'isolations de papier et de fil ainsi que de revêtements de plancher et de produits d'entretien des planchers ont tendance à se polymériser spontanément [27].

Une autre variante est la *polymérisation par friction*. Les substances organiques adsorbées sont transformées en substances vérolentes isolantes sous l'effet du fonctionnement des contacts, sans que les contacts commutent électriquement. Le «brown powder» des laboratoires Bell connaît une bien mauvaise renommée. Il a fourni la preuve la plus éclatante de l'existence de la polymérisation par friction. Ce phénomène est de nouveau le plus actif sur les métaux au platine; les contacts en or et en argent sont à peine mis en danger. La série des produits organiques à même de produire des réactions comprend les hydrocarbures aliphatiques et aromatiques ainsi que leurs dérivés (aldéhydes, cétones, amines, phénols). Le benzène, le toluène, la térébenthine, le styrolène et les substances analogues sont particulièrement dangereux [23]. Le rendement des produits de polymérisation augmente généralement lorsque la longueur de la chaîne des molécules s'accroît et est plus grand pour les hydrocarbures aromatiques que pour les hydrocarbures aliphatiques. En outre, il dépend de la concentration des vapeurs organiques.

La *figure 4* illustre la polymérisation par friction en présence de vapeur de benzène. Il s'agit de résultats obtenus avec des contacts en palladium dans les labo-

³ Prov. Ausgabe 1965, PTT Nr. 704.70

⁴ Kreisschreiben betr. Reinigungsmaterial P Nr. 3., T Nr. 731, vom 12. Februar 1964

sten bei den Platinmetallen statt; Gold- und Silberkontakte sind kaum gefährdet. Die Reihe der reaktionsbereiten organischen Stoffe umfasst aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe sowie ihre Derivate (Aldehyde, Ketone, Amine, Phenole). Besonders gefährlich sind Benzol, Toluol, Terpentin, Styrol und ähnliche Substanzen [23]. Die Ausbeute an Polymerisationsprodukten nimmt im allgemeinen bei steigender Kettenlänge der Moleküle zu und ist bei aromatischen Kohlenwasserstoffen grösser als bei aliphatischen. Sie ist zudem abhängig von der Konzentration der organischen Dämpfe.

Figur 4 veranschaulicht die Friktionspolymerisation in Gegenwart von Benzoldampf. Es handelt sich um Ergebnisse, die in den Bell-Laboratorien mit Palladiumkontakten erhalten wurden. Die Kontaktlast betrug 30 g, die Zahl der Reibbewegungen $4 \cdot 10^6$ bei einer Frequenz von 6 Hin- und Herbewegungen in der Sekunde. Schon bei der geringen Benzolkonzentration von 10 mg/m^3 Luft ($= 10 \text{ ppm}$, siehe Fig. 4) begann eine deutliche Pulverbildung. Chemische Analysen ergaben, dass das Material aus vielfältigen, amorphen, hochmolekularen organischen Verbindungen besteht. Aromatische Ringe polymerisierten zusammen mit Alken- und Carbonylgruppen zu langen Kettenmolekülen unter gleichzeitigem Einbau von Sauerstoff.

Das Problem der Reibungspolymerisation ist nach wie vor bei hermetisch abgeschlossenen Relais aktuell, da sich trotz bester Auswahl der Kunststoff-Relaisbestandteile organische Ausdünstungen nicht immer völlig vermeiden lassen. Es sind deshalb Versuche unternommen worden, um Inhibitoren zu finden, die die Friktionspolymerisation unterbinden oder wenigstens hemmen. In der Tat hat man gewisse organometallische Verbindungen gefunden, die inhibierend wirken. So erwies sich in Laboratoriumsversuchen Bleitetraäthyl als sehr wirksam, gefolgt von weiteren ähnlichen Verbindungen, wie Quecksilberdimethyl und Zinntetraäthyl. Sie erwirken eine starke Verminderung des organischen Anteils der bei der Friktionspolymerisation anfallenden Produkte. Unter dem Einfluss von Bleitetraäthyl beträgt der organische Anteil nur etwa noch 1% gegenüber 90% ohne Inhibitor [28]. Es scheint somit möglich, durch Zugabe eines geeigneten organischen Dampfes eine «Anti-atmosphäre» zu erzeugen, die die schädliche Wirkung der durch Kunststoffdämpfe verseuchten «Originalatmosphäre» wenigstens teilweise aufhebt.

Abbau von chemischen Verbindungen

Dem Vorgang der Polymerisation adsorbierter organischer Substanzen steht ihr Abbau gegenüber. Auch dieser Vorgang kann sich sehr ungünstig auswirken, indem er zur sogenannten *Aktivierung* der Kontakte führt. Dabei lagern sich Kohlenstoff oder Verkockungsprodukte auf den Kontaktflächen ab. Diese Ablagerungen beeinflussen in ungünstiger Weise die beim Schalten von elektrisch belasteten Kontakten ablaufenden Vorgänge, indem die sogenannten Ka-

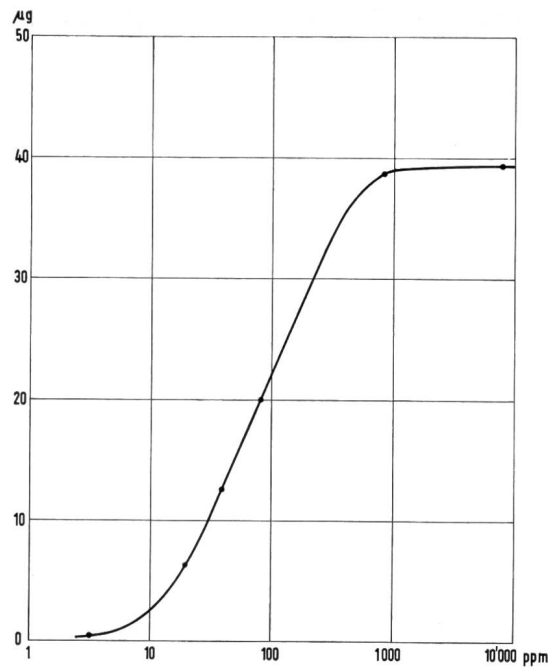


Fig. 4

Friktionspolymerisation an Palladiumkontakten in Abhängigkeit von der Benzoldampf-Konzentration in ppm ($1 \text{ ppm} = 1 \text{ cm}^3 \text{ je m}^3$) (nach Hermance und Egan [23])

Polymérisation par friction sur des contacts en palladium, en fonction de la concentration de vapeur de benzène en ppm ($1 \text{ ppm} = 1 \text{ cm}^3 \text{ par m}^3$) (selon Hermance et Egan [23])

ratoires Bell. La charge des contacts était de 30 g, le nombre des mouvements de friction de $4 \cdot 10^6$ pour une périodicité de six mouvements de va-et-vient par seconde. Une nette formation pulvérulente commençait déjà sous une faible concentration de benzène de 10 mg/m^3 d'air ($= 10 \text{ ppm}$, voir figure 4). Des analyses chimiques ont révélé que le matériel se compose de nombreuses combinaisons organiques, amorphes, à poids moléculaire élevé. Des anneaux aromatiques polymérisaient en commun avec des groupes d'alcène et de carbonyle en de longues chaînes de molécules, en se combinant simultanément avec de l'oxygène.

Le problème de la polymérisation par friction est toujours actuel pour les relais enfermés hermétiquement, étant donné que, malgré le choix le meilleur des éléments de relais en matière plastique, des évaporations organiques ne peuvent pas toujours être complètement évitées. C'est pourquoi on a entrepris des essais pour trouver des inhibiteurs qui suppriment ou tout au moins entravent la polymérisation par friction. En fait, on a trouvé des combinaisons organométalliques qui sont inhibitrices. Ainsi, des essais en laboratoire ont révélé que le tétraéthyle de plomb était très efficace et qu'il était suivi d'autres combinaisons analogues, telles que le mercure-diméthyle et le tétraéthyle stanneux. Ces combinaisons provoquent une forte diminution de la partie organique des produits s'agglomérant lors de la polymérisation par friction. Sous l'influence du tétraéthyle de plomb, la partie organique n'est plus que de 1% contre 90% sans inhibiteur [28]. Il semble donc possible, par

thodenbögen entstehen. Dabei wird der Verschleiss, d. h. der Kontaktabbrand, bis zu 100mal grösser als bei nicht aktivierten Kontakten. Ferner steigt der Kontaktwiderstand wegen der schlechten elektrischen Leitfähigkeit der abgelagerten Substanzen stark an. Er kann Werte von einigen 100 Ω bis zu einigen M Ω erreichen.

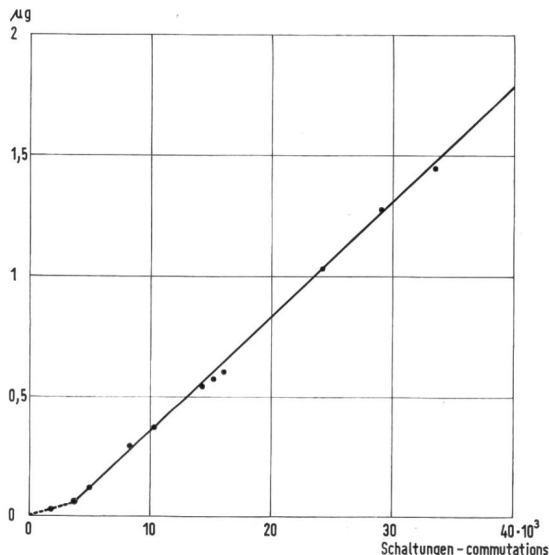


Fig. 5

Bildung von Kohlenstoff beim Abbau von Benzoldampf durch elektrisch beanspruchte Kontakte (nach Germer und Smith [29])
Formation de carbone lors de la dissolution de vapeur benzénique par les contacts chargés électriquement (d'après Germer et Smith [29])

Die Aktivierung elektrischer Kontakte ist ebenfalls durch die Bell-Laboratorien sehr gut erforscht worden (z. B. [29]). Figur 5 veranschaulicht die Bildung von Kohlenstoff⁵ auf Platinkontakten, die in benzolhaltiger Atmosphäre arbeiten. Die Kohlenstoffproduktion ist weitgehend unabhängig vom Partialdruck des Benzols; es genügt, dass Benzolmoleküle an der Kontaktfläche adsorbiert sind und durch den Schaltlichtbogen zersetzt werden. Hingegen sind die Schaltgeschwindigkeit und die Lichtbogenenergie von Bedeutung. Aus Figur 5 ist ersichtlich, dass die Kohlenstoffbildung nach eingetzter Aktivierung (gestrichelte Linie) proportional mit der Zahl der Kontaktbetätigungen zunimmt.

Da vorgängig der Zersetzung eine Adsorption von Dämpfen stattfinden muss, sind es im wesentlichen die gleichen organischen Substanzen, die sowohl zu Reibungspolymerisaten als auch zu kohlenstoffhaltigen Ablagerungen führen. Dasselbe gilt für die Kontaktwerkstoffe, das heisst es werden vor allem die Platinmetalle aktiviert. Doch auch die übrigen

⁵ Gemäss den Untersuchungen der Bell-Laboratorien handelt es sich um ein schwarzes Pulver, das auf 15 C-Atome höchstens 2 H-Atome enthält und deshalb noch als Kohlenstoff bezeichnet wird.

adjonction d'une vapeur organique adéquate, de créer une «anti-atmosphère» qui élimine tout au moins partiellement l'effet nuisible de l'«atmosphère originale» polluée par des vapeurs de matières plastiques.

Décomposition de combinaisons chimiques

Par opposition à la polymérisation de substances organiques, il faut considérer également leur décomposition. Ce phénomène peut aussi avoir un effet très défavorable, en provoquant un processus dit d'activation des contacts. Du carbone ou des produits de cokéfaction se déposent sur les surfaces des contacts. Ces dépôts influencent défavorablement les processus se déroulant lors de la commutation des contacts chargés électriquement, en donnant naissance à ce qu'on appelle des arcs cathodiques. L'usure, c'est-à-dire les modifications des contacts par l'arc électrique, est jusqu'à 100 fois plus grande que pour les contacts non activés. En outre, la résistance de contact augmente fortement du fait de la mauvaise conductibilité électrique des substances déposées. Elle peut atteindre des valeurs allant de quelques 100 Ω à quelques M Ω .

L'activation de contacts électriques a également été très bien étudiée par les laboratoires Bell (par exemple [29]). La figure 5 montre la formation de carbone⁵ sur des contacts en platine qui travaillent dans une atmosphère benzénique. La production de carbone est largement indépendante de la pression partielle du benzène; il suffit que des molécules de benzène soient adsorbées à la surface des contacts et qu'elles soient détruites par l'arc électrique de commutation. En revanche, la vitesse de connexion et l'énergie de l'arc électrique sont importantes. La figure 5 fait ressortir que, l'activation commencée (ligne pointillée), la formation de carbone augmente proportionnellement au nombre des opérations de contact.

Etant donné que, préalablement à la décomposition, une adsorption de vapeurs doit avoir lieu, ce sont essentiellement les mêmes substances organiques qui provoquent la polymérisation par friction et aussi les dépôts carbonés. Il en est de même des matériaux de fabrication des contacts, c'est-à-dire que les métaux à base de platine sont surtout activés. Mais les autres métaux nobles, par exemple l'argent employé fréquemment comme matériel de fabrication des contacts, sont aussi exposés au danger.

Les études qui ont été entreprises en Europe ont contribué à approfondir les connaissances et à compléter la liste des matériaux exposés au danger et des substances organiques dangereuses [24, 25, 30]. Quelques analyses ont, en outre, démontré que la décomposition de substances organiques ne donne pas nécessairement toujours du carbone, mais que des produits intermédiaires fuligineux et mauvais conducteurs peuvent provenir des processus de cracking ou

⁵ Selon les analyses des laboratoires Bell, il s'agit d'une poudre noire qui contient au maximum 2 atomes H sur 15 atomes C et est, par conséquent, encore désignée par carbone.

Edelmetalle, wie das vielfach als Kontaktwerkstoff verwendete Silber, sind gefährdet.

Untersuchungen, die in Europa durchgeführt wurden, haben mitgeholfen, die Erkenntnisse zu vertiefen und die Liste der gefährdeten Werkstoffe und der gefährlichen organischen Substanzen zu vervollständigen [24, 25, 30]. Eigene Untersuchungen zeigten zudem, dass der Abbau von organischen Substanzen keineswegs immer bis zum Kohlenstoff führen muss, sondern dass durch Krack- und Verkokungsprozesse schlecht leitende, russartige Zwischenprodukte entstehen können. Dies ergibt sich aus dem Wasserstoffgehalt dieser Substanzen [31]. Neuere Laboratoriumsversuche bewiesen im besonderen, dass die Evaporationen, die von den in unseren Zentralen verwendeten Relais abgegeben werden, auf den Kontakten adsorbiert und in der Folge abgebaut werden. Bei diesen Versuchen waren einzelne vollständig ausgerüstete Relais in verhältnismässig grosse, luftdicht abgeschlossene Behälter eingebaut (Behältervolumen etwa 10 l). In Parallelversuchen wurde verhindert, dass die abgegebenen Dämpfe zur Wirkung kommen konnten, indem Aktivkohle (30 g, auf 50 cm² verteilt) in die Behälter gegeben wurde. Diese ist imstande, organische Dämpfe, auch wenn sie nur in kleinen Konzentrationen vorhanden sind, vollständig zu adsorbieren [32]. Die restlichen, betriebsähnlichen Bedingungen, unter denen die Versuchsrelais beziehungsweise ihre Kontakte arbeiteten, waren:

Quellenspannung: 48 V =
Kontaktstrom: 48 mA induktiv
Strombegrenzung und Induktivität: 1000 Ω-Relaispule
Kadenz: Kontakte 20 s offen, 20 s geschlossen.
Die Relais waren mit Silberkontakten bestückt.

de cokéfaction. Cela résulte de la teneur en hydrogène de ces substances [31]. De récents essais en laboratoire ont en particulier prouvé que les évaporations qu'émettent les relais employés dans les centraux téléphoniques sont adsorbées sur les contacts et ensuite désintégrées. Pour ces essais, différents relais complètement équipés ont été installés dans d'assez grands récipients hermétiquement fermés (volume des récipients environ 10 l). Dans des essais exécutés en parallèle, on a empêché les vapeurs émises d'agir en ajoutant dans les récipients du charbon activé (30 g répartis sur 50 cm²). Ce charbon est à même d'adsorber complètement les vapeurs organiques, même si elles n'existent qu'en faibles concentrations [32]. Les autres conditions analogues à celles de l'exploitation, dans lesquelles les relais d'essai ou plutôt leurs contacts travaillaient, étaient:

Tension de source: 48 V =,
Courant de contact: 48 mA inductif,
Limitation de courant et inductance: bobine de relais de 1000 ohms,
Cadence: contacts ouverts 20 s, fermés 20 s,
Matière des contacts: argent.

La figure 6 met en contraste l'aspect de ces contacts après 10⁶ commutations. La paire de contacts de gauche sur l'image provient d'un récipient sans charbon activé, la paire de contacts de droite d'un récipient avec charbon activé. Les dépôts noirs nettement reconnaissables sur les contacts de gauche prouvent indubitablement l'évaporation réalisée et la décomposition en carbone ou tout au moins en substances fuligineuses. Ici aussi, la migration de matériel est plus importante que pour la paire de contacts de droite.

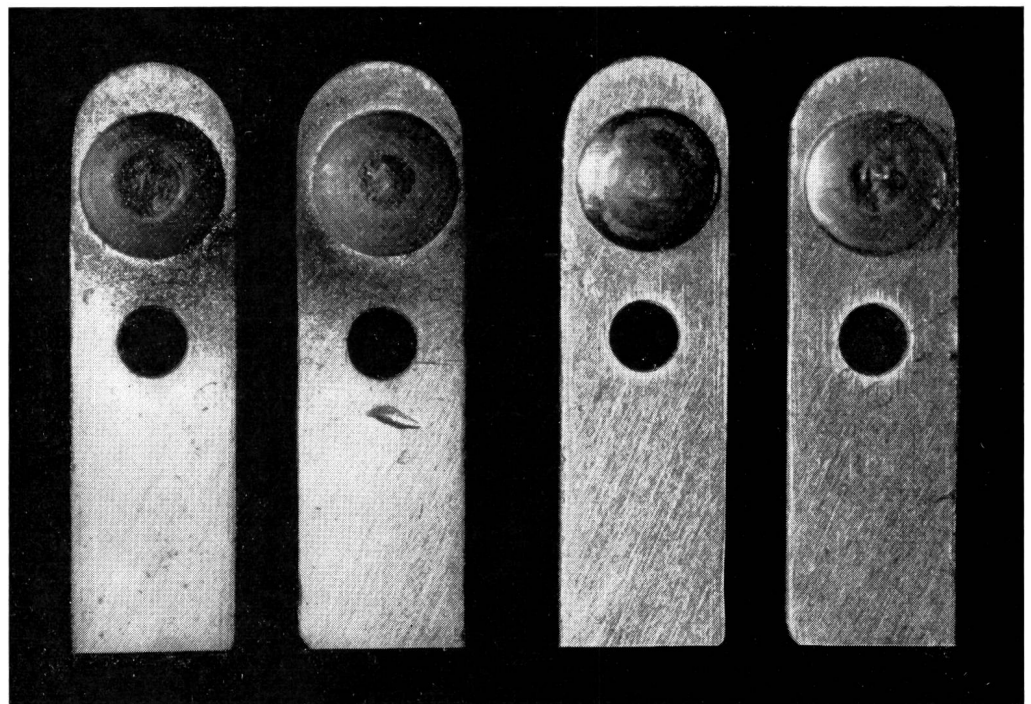


Fig. 6

Silberkontakte nach 10⁶ Schaltungen. Kontaktpaar links aus Versuch ohne Aktivkohle, Kontaktpaar rechts aus Versuch mit Aktivkohle

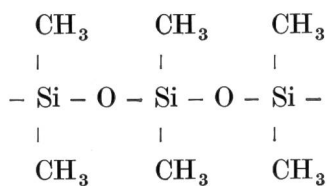
Contacts en argent après 10⁶ commutations. Paire de contacts de gauche de l'essai sans charbon activé, paire de contacts de droite de l'essai avec charbon activé

Figur 6 zeigt in Gegenüberstellung das Aussehen dieser Kontakte nach 10^6 Schaltungen. Das Kontaktpaar links im Bild stammt aus einem Behälter ohne, das Kontaktpaar rechts aus einem solchen mit Aktivkohle. Die deutlich erkennbaren schwarzen Ablagerungen bei den Kontakten links beweisen eindeutig die stattgefundenen Evaporisation und den Abbau zu Kohlenstoff oder zumindest zu russartigen Substanzen. Auch ist hier die Materialwanderung grösser als beim Kontaktpaar rechts.

5. Einflüsse von Siliconen

Seit bald 10 Jahren weiss man, dass Silicone, das heisst eigentlich die daraus in den Schaltlichtbögen entstehenden Umwandlungsprodukte, elektrische Kontakte bis zur Unbrauchbarkeit beeinflussen können [31, 33]. Bekanntgewordene Siliconeinflüsse, die sich teilweise sehr unangenehm bemerkbar machten, traten vorerst in Frankreich und Deutschland, später in der Schweiz und neuerdings in Schweden auf [34]. Vermutlich sind aber anfänglich nicht alle Siliconeinflüsse als solche erkannt worden. Beispiele dafür sind Bakelitteile, denen man kontaktschädigende Evaporationen zuschrieb; dies muss heute eigentlich verwundern, werden doch Bakelitprodukte in der Schwachstromtechnik seit Jahrzehnten in enormen Mengen verwendet, ohne dass schwerwiegende, schädliche Einflüsse auf elektrische Kontakte festgestellt wurden. Erst neuere Untersuchungen zeigten, dass nicht unbedingt die Bakelitteile selbst, sondern die in Spuren auf ihrer Oberfläche vorhandenen siliconhaltigen Formtrennmittel die Kontaktstörungen verursachen. (Formtrennmittel werden bekanntlich verwendet, um das leichte Lösen der Pressteile von den Pressformen zu ermöglichen.)

Silicone (Organosiloxane) sind chemische Verbindungen, deren Gerüst aus Silicium- und Sauerstoffatomen besteht, wobei die verbleibenden Valenzen der Siliciumatome durch Kohlenwasserstoffreste abgesättigt sind. Die hier interessierenden Siliconöle sind linearpolymere Verbindungen gemäss folgender Strukturformel (Beispiel für Methylsilicone):



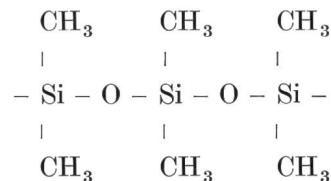
Bei Siliconkautschuken und -harzen sind die Ketten mehr oder weniger ringförmig vernetzt.

Die grosse Beliebtheit und die zunehmende Verwendung von Siliconen beruht auf einer Mehrzahl von günstigen Eigenschaften. Silicone sind wärmebeständig, wasserabweisend, nicht korrosiv wirkend, beständig gegen viele chemische Substanzen. Sie können als Öle, Pasten, Lacke, Kautschuke und Harze hergestellt werden. Die Öle sind farblose, neutrale, geruchfreie Flüssigkeiten. Die niedrigviskosen Typen lösen sich in den bekannten Lösungsmitteln.

5. Influences de silicones

Depuis bien 10 ans, on sait que les silicones, c'est-à-dire plus spécialement les produits de transformation en résultant dans les arcs électriques de connexion, peuvent influencer les contacts électriques jusqu'à les rendre inutilisables [31, 33]. Les influences de silicones annoncées, qui se faisaient remarquer partiellement de façon très désagréable, apparurent d'abord en France et en Allemagne, plus tard en Suisse et plus récemment en Suède [34]. Mais les influences de silicones n'ont probablement pas été reconnues comme telles au début. Des exemples en sont donnés par les parties en bakélite auxquelles on attribue des évaporations endommageant les contacts; cela surprend réellement aujourd'hui, car les produits en bakélite sont employés en quantités énormes dans la technique des courants faibles depuis des décennies, sans que des influences sérieusement nuisibles sur les contacts électriques aient été constatées. De récentes analyses ont démontré que les éléments en bakélite ne provoquent pas absolument eux-mêmes les dérangements de contact, mais les produits facilitant le démoulage peuvent contenir des silicones, dont il reste des traces sur la surface des parties en bakélite.

Les silicones (organosiloxanes) sont des combinaisons chimiques, dont les atomes de silicium et d'oxygène forment le support, les valences restantes des atomes de silicium étant saturées par des résidus de carbure d'hydrogène. Les huiles de silicones qui nous intéressent ici sont des combinaisons polymères linéaires répondant à la formule de structure suivante (exemple pour les silicones méthyliques):



Pour les caoutchoucs et les résines de silicones, les chaînes sont plus ou moins maillées en forme d'anneaux.

La grande vogue et l'emploi croissant des silicones reposent sur un nombre assez important de propriétés favorables. Les silicones résistent à la chaleur, sont hydrofuges, ne provoquent pas de corrosion et résistent à de nombreuses substances chimiques. Elles peuvent être produites sous la forme d'huiles, de pâtes, de laques, de caoutchoucs et de résines. Les huiles sont des liquides incolores, neutres, inodores. Les types les moins visqueux sont solubles dans les dissolvants.

Outre leur fonction facilitant le démoulage, les silicones sont très employés en technique. Mais elles sont aussi devenues indispensables comme pommade de base des produits cosmétiques (crème pour les mains, produits de beauté pour le visage, produits d'entretien des cheveux) ainsi que pour les produits d'entretien des automobiles, etc.

Ausser als Formtrennmittel werden Silicone in der Technik noch vielerorts verwendet. Aber auch als Salbengrundlage für kosmetische Pasten (Hand-, Gesichts- und Haarpflegemittel) sowie für Auto-pflegemittel usw. sind sie unentbehrlich geworden.

Hauchdünne Schichten von Siliconölen beeinträchtigen auf ruhenden Kontakten die Kontaktgabe grundsätzlich ebensowenig wie Schichten von irgendwelchen anderen Ölen. Dies ändert sich erst unter der thermischen Wirkung der Schaltlichtbögen. Dabei werden die Silicone unter dem Einfluss des Luftsauerstoffs oxydativ abgebaut. Die Oxydation setzt vorerst an den Kohlenwasserstoffresten ein, z. B. bei den CH_3 -Gruppen, wobei sich Kohlenwasserstoffderivate bilden. Diese dürften jedoch, da es sich um flüchtige Produkte handelt, kaum einen Einfluss auf die Kontakte ausüben. Durch die oxydative Abspaltung der Kohlenwasserstoffreste entstehen aber zugleich neue Siloxanbindungen (>Si-O-Si<) und Aethylenbrücken ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$), die zur Bildung von teilweise vernetzten Siliconen führen [35]. Diese haben dann nicht mehr den Charakter von Ölen, sondern von Siliconkautschuken und -harzen. Die Schädlichkeit derartiger Beläge auf Relaiskontakten braucht wohl nicht besonders betont zu werden.

Bei weitergehender thermischer Beanspruchung, etwa oberhalb 400°C , wird die Zersetzungstemperatur der Silicone erreicht. Als stabiles Endprodukt fällt dabei Siliciumdioxid (SiO_2) an. Dieser Stoff ist ein ausgezeichnetes elektrisches Isoliermaterial (Quarz!). Der spezifische Widerstand wurde an dünnen Schichten zu $10^{16}\ \Omega\text{cm}$ bestimmt [36].

Siliciumdioxidschichten entstehen nicht nur auf Abhebekontakten, sondern auch auf elektrisch beanspruchten *Schleifkontakten*. Man hat daselbst festgestellt, dass sie bis zu Kontaktlasten von 500 g nicht zerstört werden und dass ihre Frittung erst mit Spannungen von etwa 10 kV gelingt [17].

Siliconöle besitzen eine kleine Oberflächenspannung. Sie haben deshalb das Bestreben, sich auszubreiten, das heisst zu kriechen. Siliconschichten erneuern sich deshalb auf Kontakten wieder, falls sie durch Reinigung entfernt oder durch die Schaltfunken zersetzt worden sind. Dies hat zur Folge, dass isolierende Siliciumdioxidschichten noch nach sehr langer Zeit immer wieder nachgebildet werden können, vorausgesetzt, dass in der Nähe der Kontakte ein Siliconvorrat vorhanden ist. Er kann zum Beispiel aus den bereits erwähnten Siliconschichten bestehen, die den Formpresstücken anhaften.

Wenn Silicone auf elektrischen Kontakten bereits zu Siliciumdioxid abgebaut sind, so hilft kein herkömmliches Kontaktreinigungsmittel mehr. Es bleibt dann nichts anderes übrig, als die harte Siliciumdioxidschicht mechanisch zu zerstören, die Bruchstücke abzutragen sowie zusätzlich dafür zu sorgen, dass nicht neues Siliconöl nachkriechen kann. Von einer Sanierung siliconverseuchter Kontakte kann also nur gesprochen werden, wenn sowohl die harte isolierende Schicht als auch ein allfälliger Silicon-

Des couches très fines d'huiles de silicones sur les contacts de repos n'influencent pas plus la qualité du contact que n'importe quelles autres huiles. Cela ne se modifie que sous l'effet thermique des arcs électriques de commutation. Les silicones sont alors décomposées par oxydation sous l'influence de l'oxygène de l'air. L'oxydation s'attaque d'abord aux résidus de carbure d'hydrogène, par exemple pour les groupes CH_3 , en donnant naissance à des dérivés de carbure d'hydrogène. Etant donné qu'il s'agit de produits volatils, ces dérivés n'exerceront presque pas d'influence sur les contacts. Mais l'élimination par oxydation des résidus de carbure d'hydrogène donne en même temps naissance à de nouvelles liaisons de siloxanes (>Si-O-Si<) et à des ponts d'éthylène ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$) qui provoquent la formation de silicones partiellement maillées [35]. Ces silicones n'ont plus alors le caractère d'huiles, mais de caoutchoucs et de résines de silicones. Il n'est pas nécessaire d'insister spécialement sur l'effet nuisible des revêtements de ce genre sur les contacts de relais.

En poursuivant la charge thermique jusqu'à un peu plus de 400 degrés centésimaux, on atteint la température de dissolution des silicones. La silice (SiO_2) est le produit final stable. Cette matière est un excellent isolant électrique (quartz). La résistance spécifique a été déterminée sur de fines couches à $10^{16}\ \Omega\text{cm}$ [36].

Les couches de silice ne prennent pas seulement naissance sur les contacts de relais, mais aussi sur les *contacts glissants* chargés électriquement. On a constaté qu'elles n'étaient pas détruites jusqu'à des charges de contact de 500 grammes et que leur mouillage ne s'obtient qu'avec des tensions d'environ 10 kV [17].

Les huiles de silicones ont une faible tension superficielle. C'est pourquoi elles ont tendance à se propager, c'est-à-dire à progresser. Par conséquent, les couches de silicones se renouvellent sur les contacts lorsqu'elles ont été enlevées par nettoyage ou détruites par les étincelles de commutation. Cela a pour conséquence que les couches de silice isolantes peuvent se reformer après un temps très long, s'il existe une provision de silicone à proximité des contacts. Elle peut, par exemple, consister en couches de silicones, dont il a déjà été question, qui adhèrent aux pièces moulées.

Lorsque les silicones se sont déjà transformés en silice sur les contacts électriques, aucun produit de nettoyage des contacts usuel n'est plus d'aucun secours. Il ne reste rien d'autre à faire que de détruire mécaniquement la couche de silice dure, d'enlever les fragments et de veiller ensuite à ce que de la nouvelle huile de silicone ne puisse réapparaître. On ne peut parler d'une lutte menée efficacement contre la souillure des contacts par la silicone que lorsqu'on a éliminé la couche isolante dure et une provision éventuelle de silicone. Il y a du reste des substances spécifiquement agissantes qui peuvent empêcher la réapparition de silicones, en formant en quelque sorte une barrière.

vorrat entfernt sind. Es gibt übrigens spezifisch wirkende Substanzen, die das Nachkriechen von Siliconen verhindern können, indem sie gewissermassen eine Barriere errichten.

Der direkte Nachweis von Siliconen oder deren Umwandlungsprodukte ist auf Kontakten und Relaisbestandteilen der sehr geringen Substanzmengen wegen nicht leicht möglich. Meistens können Siliconeinflüsse nur indirekt bewiesen werden. Wenn bei Lupenbetrachtung auf Kontakten, die grosse Übergangswiderstände aufweisen, keine schwarzen, kohlenstoffhaltigen Ablagerungen oder keine anderen pulverförmigen Substanzen vorgefunden werden, und wenn auch Staub, Kontaktabbrand oder falsche Kontaktpflege ausser Betracht fallen, so muss auf die Anwesenheit von Siliconen geschlossen werden [34].

In unseren Zentralen sind Kontakte, deren Versagen auf Siliconeinflüsse zurückgeführt werden muss, mit Erfolg restauriert worden. Ferner sind bei der Relaisfabrikation Massnahmen getroffen worden, durch die solche Einflüsse verunmöglicht werden. Die Silicongefahr darf also von dieser Seite her als gebannt betrachtet werden. Demgegenüber besteht aber die latente Gefahr, dass siliconhaltige Produkte unbewusst in Zentralen eingeschleppt werden. Viele Salben, Pasten, Hand- und Gesichtscrèmen enthalten Silicone, so dass durch das Zentralenpersonal ungewollte Übertragungen auf Kontakte und Relais vorgenommen werden können. Es gibt ausländische Fernmeldefabriken, die aus diesem Grunde der Belegschaft unentgeltlich siliconfreie Hautcrèmen abgeben, nur damit nicht unkontrollierte, möglicherweise siliconhaltige Salben verwendet werden.

6. Schlussfolgerungen

Die vorliegenden Ausführungen über schädliche äussere Einflüsse auf Relaiskontakte lassen sich, unter Betonung der für die Praxis wichtigen Erkenntnisse, wie folgt zusammenfassen:

Bei der *Kontaktpflege* dürfen keine unzumutbaren mechanischen Reinigungsverfahren und keine ungeprüften Kontaktreinigungs- und Kontaktschutzmittel angewendet werden. Unmotiviert Reinigungsaktionen können sich schädlich auswirken. Das PTT-Kontaktreinigungsmittel bewährt sich bei richtiger Anwendung, auch in jenen Fällen, in denen eine vorbeugende Behandlung von silicongefährdeten Kontakten angezeigt ist.

Bisher sind in unseren Zentralen keine ernsthaften Kontaktstörungen aufgetreten, die auf *schädliche Einflüsse der freien Atmosphäre* zurückzuführen sind. Gleichwohl muss diesem Problem vorausschauend die nötige Beachtung geschenkt werden.

Dasselbe gilt im Hinblick auf die kontaktschädigenden Einflüsse, die durch *evaporierende Kunststoffe* ausgeübt werden. In Amts- und Hauszentralen sind erwiesenermassen Bauteile und Materialien vorhanden, wie Relais, PVC-isolierte Drähte, Bodenbeläge usw., die organische Dämpfe abgeben. Diese können

Il est difficilement possible de fournir la preuve directe de la présence de silicones ou de leurs produits de transformation, du fait des quantités de substances très faibles. On ne peut généralement prouver les influences des silicones qu'indirectement. Si, lorsqu'on observe à la loupe des contacts qui présentent de grandes résistances de passage, on ne trouve pas de dépôts noirs carbonés ni d'autres substances pulvérulentes, et si on ne prend pas non plus en considération la poussière, l'usure des contacts par la combustion ou le mauvais entretien des contacts, on doit conclure à la présence de silicones [34].

Dans les centraux téléphoniques, les contacts dont la défaillance doit être attribuée aux influences des silicones ont été restaurés avec succès. En outre, lors de la fabrication des relais, on a pris des mesures qui annihilent ces influences. Le danger que constituent les silicones peut être considéré comme écarté de ce côté-là. En revanche, il existe le danger latent que des produits à base de silicones soient inconsciemment véhiculés dans les centraux. De nombreuses pommades, pâtes, crèmes pour les soins des mains et du visage contiennent des silicones, de sorte que le personnel des centraux peut involontairement laisser des dépôts sur les contacts et les relais. A l'étranger, des fabriques d'appareils téléphoniques remettent gratuitement à leur personnel des crèmes pour les soins de la peau qui ne contiennent pas de silicones, uniquement pour que des pommades non contrôlées et pouvant peut-être contenir des silicones ne soient pas utilisées.

6. Conclusion

En relevant spécialement les connaissances importantes pour la pratique, on peut résumer ainsi qu'il suit les explications qui précèdent au sujet des influences extérieures nuisibles sur les contacts de relais:

Pour *entretenir les contacts*, on ne doit pas employer des procédés de nettoyage mécaniques irrationnels, ni utiliser des produits de nettoyage et de protection des contacts non contrôlés. Des campagnes de nettoyage non motivées peuvent avoir des effets nuisibles. Le produit de nettoyage des contacts PTT est excellent lorsqu'il est appliqué correctement, même dans les cas où il est indiqué de traiter préventivement les contacts exposés au danger des silicones.

Jusqu'à présent, nos centraux téléphoniques n'ont pas connu de dérangements de contacts sérieux qui doivent être attribués aux *influences nuisibles de l'atmosphère libre*. Il faut néanmoins, par mesure de précaution, vouer l'attention nécessaire à ce problème.

Il en va de même des influences nuisibles aux contacts qu'exercent les *matières plastiques s'évaporant*. Dans les centraux officiels et domestiques, il existe évidemment des pièces détachées et des matériaux, tels que relais, fils isolés au chlorure polyvinylique, revêtements de plancher, etc., qui dégagent des vapeurs organiques. Ces dernières peuvent provoquer

zur schädlichen Aktivierung von Kontakten führen. Durch geeignete Wahl der zu verwendenden Kunststoffe sowie durch ausreichende Belüftung von gefährdeten Geräten und Anlagen lässt sich diese Gefahr bannen.

Als gefährliche Fremdschichtbildner sind *Silicone* erkannt worden. Sie können zum Beispiel von Kunststoff-Presssteilen stammen, falls beim Pressen ein siliconhaltiges Formtrennmittel verwendet wurde. Es besteht aber auch die Gefahr, dass sie auf dem Umweg über kosmetische Produkte in Fabrikations-säle und Telephonzentralen eingeschleppt werden. Die auf den Kontakten entstehenden Schichten isolieren ausserordentlich gut. Gereinigte Kontakte werden wieder störanfällig, wenn Siliconöle nachkriechen können. Es muss deshalb alles unternommen werden, um Silicone von Relaiskontakten von allem Anfang an fernzuhalten.

l'activation nuisible des contacts. Le choix approprié des matières plastiques à employer et l'aération suffisante d'appareils et d'installations exposés écartent ce danger.

Les *silicones* ont été reconnues comme de dangereux formateurs de couches étrangères. Elles peuvent, par exemple, provenir de parties moulées en matière plastique, lorsqu'un produit facilitant le démoulage à base de silicone a été utilisé. Mais il existe aussi le danger qu'elles soient indirectement véhiculées dans les salles de fabrication et les centraux téléphoniques par l'entremise de produits cosmétiques. Les couches se formant sur les contacts isolent extraordinairement bien. Les contacts nettoyés deviennent à nouveau sensibles aux dérangements lorsque des huiles de silicone peuvent se répandre. C'est pourquoi il faut tout mettre en œuvre pour éloigner dès le début les silicones des contacts de relais.

Bibliographie

- [1] Proceedings of the International Research Symposium on Electric Contact Phenomena, November 1961. The University of Maine, College of Technology, Orono/Maine.
- [2] Proceedings of International Conference on Electromagnetic Relays, October 1963. Memorial Hall of Tohoku University, Sendai, Japan.
- [3] Vorträge, 2. Internationale Tagung über elektrische Kontakte. Graz, Österreich, Mai 1964. Herausgegeben von P. Klaudy.
- [4] Keefer, H. J. Dust on relay contacts. Bell Lab. Record **35** (1957), p. 25.
- [5] Williamson, J. B. P., Greenwood, J. A. and Harris, J. The influence of dust particles on the contacts of solids. Proceedings of the Royal Society of London, Series A **237** (1956), p. 560.
- [6] Interner Bericht Nr. 6404 vom 18. 9. 1964 der Telephon- und Telegraphenabteilung GD PTT.
- [7] Halström, H. L. Some comments on the tarnishing of silver contacts. Teletechnik, Engl. Edition **IV** (1960), No. 2, p. 29.
- [8] Raub, E. Anlaufvorgänge bei Edelmetallen und ihre Vermeidung. Passivierende Filme und Deckschichten, herausgegeben von H. Fischer, K. Hauffe und W. Wiederholt. Springer-Verlag, 1956, S. 289.
- [9] Kappler, E., Rüdhardt, E., Schläfer, R. Kontaktwiderstand in Abhängigkeit von der Kontaktlast. Zeitschr. f. angew. Physik **2** (1950), H. 8, S. 22.
- [10] Abbott, W. H. and Ogden, H. R. Electrical contact materials in low current technology. Battelle Technical Review **14** (1965), No. 3, p. 17.
- [11] Interner Bericht Nr. 34.043 vom 20. 8. 1962 der Abteilung Forschung und Versuche, GD PTT.
- [12] Interner Bericht Nr. 12.1534 vom 4. 9. 1958 der Abteilung Forschung und Versuche, GD PTT.
- [13] Mano, K. Some investigations of electrical contact in Japan. Siehe [3], S. 123.
- [14] Interner Bericht Nr. 12.2111 vom 3. 5. 1965 der Abteilung Forschung und Versuche, GD PTT.
- [15] Hentsch, A. Untersuchungen über den Widerstand von sulfidierten Kontakten aus Silber und Silberlegierungen. Electric, 1962, H. 7, S. 234.
- [16] Holm, R. Electrical Contacts Handbook. Springer-Verlag, 3rd Edition, 1958.
- [17] Schlögl, E. Der unedle Schleifkontakt bei Schrittschaltwerken. Siehe [3], S. 228.
- [18] Aoyama, Y. Silberniträt als Korrosionsprodukt auf Kontakten. Naturwissenschaften **49** (1962), 2. Mai-H., S. 231.
- [19] Yamamoto, M. and Juamoto, S. Some severe corrosion phenomena on enclosed small switches. Siehe [2], S. 75.
- [20] Holm, E. und Holm, R. Die Stoffwanderung in Abhebekontakten aus Silber und Platin. Zeitschr. f. angew. Physik **6** (1954), H. 8, S. 352.
- [21] Langer, M. Geräusche in den Verbindungen der Fernsprechämter und ihre Beseitigung, Carl Marhold, Halle/Saale, 1948.
- [22] Keil, A. Werkstoffe für elektrische Kontakte. Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1960, S. 260.
- [23] Hermance, F. E. and Egan, T. F. Organic deposits on precious metal contacts. Bell Syst. Techn. Journ. **37** (1958), p. 739.
- [24] Tlamsa, J. und Nuszberger, J. Über die Wirkung organischer Dämpfe auf Kontaktwerkstoffe in der Fernmeldetechnik. Nachrichtentechnik **13** (1963), H. 7, S. 272.
- [25] Lipke, H. und Clement, W. Untersuchungen über die Einwirkung einiger Werkstoffe der Amtsbautechnik auf silber- und palladiumhaltige Kontaktwerkstoffe. NTZ 1960, H. 9, S. 431.
- [26] Keil, A. Eine spezifische Korrosionserscheinung an Wolframkontakten. Werkstoffe und Korrosion **3** (1952), S. 263.
- [27] Chaikin, S. W. Mechanics of electrical-contact failure caused by surface contamination. Electro-Technology **68** (1961), No. 2, p. 70.
- [28] Chaikin, S. W. Inhibition of frictional polymer formation on rubbing contacts. Siehe [2], S. 78.
- [29] Germer, L. H. and Smith, J. L. Activation of electrical contacts by organic vapors. Bell Syst. Techn. Journ. **36** (1957), p. 769.
- [30] Dietrich, I. und Honrath-Barkhausen, M. Zur Bildung widerstandserhöhender Beläge organischen Ursprungs auf elektrischen Kontakten. Zeitschr. für angew. Physik **11** (1959), H. 10, S. 399.
- [31] Gerber, Th. Isolierende kohlenstoffhaltige Deckschichten an Relaiskontakten. Techn. Mitt. PTT **37** (1959), Nr. 8, S. 283.
- [32] Mauch, H. Bestimmung des Dampfdruckes von Weichmachungsmitteln und Isolierung von Weichmacherdämpfen aus der Luft. Techn. Mitt. PTT **38** (1960), Nr. 4, S. 143.
- [33] Keil, A. Der elektrische Kontakt als Gegenstand der Forschung und eines internationalen Erfahrungsaustausches. Bull. SEV **55** (1964), Nr. 2, S. 51.
- [34] Interner Bericht Nr. 11.496 vom 10. 9. 1964 der Abteilung Forschung und Versuche, GD PTT.
- [35] Noll, W. Über Zusammenhänge zwischen Konstitution, Eigenschaften und Anwendungen von Siliconen. Chimia **16** (1962), H. 8, S. 245.
- [36] Atalla, M. M., Tannenbaum, E., Scheibner, E. J. Stabilisation of silicon surfaces by thermally grown oxides. Bell Syst. Techn. Journ. **38** (1959), p. 749.