

Korrosionsverhalten elektrischer Kontaktwerkstoffe = Comportament à l'égard de la corrosion de matériaux pour contacts électriques

Autor(en): **Gerber, Theodor**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **65 (1987)**

Heft 12

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-874838>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Korrosionsverhalten elektrischer Kontaktwerkstoffe

Comportement à l'égard de la corrosion de matériaux pour contacts électriques

Theodor GERBER, Ittigen¹

Zusammenfassung. Der Autor bespricht das Versuchskonzept und die Ergebnisse von Auslagerungsversuchen mit verschiedenen Kontaktwerkstoffen. Das unter sogenannten natürlichen atmosphärischen Einflüssen (Industrie- und Stadtklima) ermittelte Langzeitverhalten wird mit dem Kurzzeitverhalten unter zeitraffenden Prüfbedingungen verglichen. Versuchsobjekte sind kleine Prüfstäbchen. Wichtigstes Kriterium zur Beurteilung des Korrosionsverhaltens ist der elektrische Kontaktwiderstand zwischen gleichartigen Stäbchenpaaren. Es handelt sich um Untersuchungen, die eine schweizerische Arbeitsgemeinschaft unter Mitwirkung der PTT-Forschungsstelle durchführte.

Résumé. L'auteur décrit selon quels principes les essais d'exposition à des atmosphères corrosives de divers matériaux pour contacts électriques ont été conçus et les résultats obtenus. On a notamment comparé le comportement de ces matériaux lors d'une exposition de longue durée à des influences atmosphériques dites naturelles (climat industriel et climat urbain) à leur comportement lors d'une exposition de courte durée sous des conditions d'essai. Les échantillons examinés sont de petites tiges d'essai. Le critère d'appréciation majeur du comportement à l'égard de la corrosion est la résistance de contact électrique entre des paires de tiges de même nature. Il s'agit d'essais entrepris par une communauté de travail suisse avec la coopération des services de la Division principale de la recherche et du développement des PTT.

Resistenza alla corrosione di materiali elettrici di contatto

Riassunto. L'autore illustra l'esperimento e i risultati ottenuti con svariati materiali di contatto sottoposti alle prove. Vengono confrontati gli effetti di un'esposizione prolungata agli influssi atmosferici cosiddetti naturali (clima industriale e urbano) con quelli d'una breve esposizione in un'atmosfera artificiale concentrata. Per gli esperimenti si utilizzano delle sbarrette. Per giudicare l'effetto della corrosione, ci si basa principalmente sulla resistenza elettrica di contatto tra coppie di sbarrette identiche. Gli esperimenti vengono effettuati da una società svizzera in collaborazione con l'ufficio di ricerca delle PTT.

1 Einleitung

Eine schweizerische Arbeitsgemeinschaft, bestehend aus Vertretern der Fernmeldeindustrie sowie der Hauptabteilung Forschung und Entwicklung der Generaldirektion PTT, schloss in diesem Jahr ein grossangelegtes Versuchsprogramm mit Werkstoffen für elektrische Kontakte ab. Es handelt sich um die Unterkommission «Korrosionseinfluss auf Kontakte» des Schweizerischen Elektrotechnischen Komitees (UK50/KE des CES). Das Ziel der Untersuchungen bestand einerseits darin, das Verhalten dieser Werkstoffe unter sogenannten natürlichen klimatischen Einflüssen, andererseits die Eignung zeitraffender Testmethoden abzuklären.

Die Resultate liegen in fünf Berichtsbänden vor [1]. Zudem wurde an der 13. Internationalen Tagung über elektrische Kontakte, die 1986 in Lausanne stattfand, in drei Kurzvorträgen über die Ergebnisse orientiert [2, 3, 4].

Die vorliegende Veröffentlichung vermittelt eine Zusammenfassung der Versuchsprogramme, Auswerteverfahren und Resultate. Besondere Berücksichtigung finden die Ergebnisse, die mit dem PTT-genormten Thioacetamid-Test erhalten wurden, da nun erstmalig direkte Vergleiche mit anderen Prüfverfahren möglich sind.

Als Mass für das Korrosionsverhalten dient der elektrische Kontaktwiderstand. Umfassende mathematisch-statistische Auswertungen der Widerstandsmessungen bilden den zentralen Kern, um den sich weitere Untersuchungen gruppieren.

1 Introduction

Une communauté de travail suisse, composée de représentants de l'industrie des télécommunications et de membres de la Division principale de la recherche et du développement de la Direction générale des PTT a mené à terme cette année un programme d'essai à grande échelle avec des matériaux utilisés pour la confection de contacts électriques. Il s'agit de la sous-commission «influence de la corrosion sur les contacts» du Comité électrotechnique suisse (UK 50/KE du CES). Par ces essais, on visait, d'une part, à déterminer le comportement à l'égard de la corrosion de ces matériaux sous des conditions climatiques dites naturelles et, d'autre part, à mettre en lumière l'appropriation des méthodes de test en mode accéléré.

Les résultats sont récapitulés dans cinq cahiers [1]. Ils ont en outre fait l'objet en 1986 d'une information donnée lors du 13e Congrès international sur les contacts électriques à Lausanne, sous la forme de trois exposés succincts [2, 3, 4].

Le présent article récapitule les programmes d'essai, les méthodes d'analyse et les résultats. Il a été plus particulièrement tenu compte des résultats obtenus à l'aide du test normalisé des PTT au thioacétamide, étant donné qu'il est maintenant possible de le comparer directement avec d'autres méthodes d'essai.

La résistance de contact électrique est la mesure qui a servi à apprécier le comportement à l'égard de la corro-

¹ Dr. phys. Th. Gerber, alt Sektionschef der Generaldirektion PTT, Mitglied der CES-Unterkommission «Korrosionseinfluss auf Kontakte»

¹ Th. Gerber, Dr sc. phys., ancien chef de section à la Direction générale des PTT, membre de la sous-commission du CES «Influence de la corrosion sur les contacts».

Es sind dies vor allem licht- und elektronenmikroskopische Oberflächenuntersuchungen sowie photoelektronen-spektroskopische Abklärungen (XPS-Photoemissionsverfahren). Auf die Ergebnisse dieser Untersuchungen kann hier nicht eingegangen werden.

2 Versuchsprogramm

21 Kontaktwerkstoffe und Versuchsobjekte

Insgesamt wurden 34 Kontaktwerkstoffe in das Versuchsprogramm aufgenommen. Sie unterscheiden sich im Grundmetall, in den galvanisch aufgetragenen Zwischen- und Oberflächenschichten und, falls es homogene Werkstoffe sind, in der Metall- oder Legierungsart. In den *Tabellen Ia und Ib* sind diese Werkstoffe aufgeführt.

Versuchsobjekte sind daraus gefertigte zylindrische Stäbchen von 3 mm Durchmesser und 20 mm Länge. Sie wurden paarweise einesteils in sogenannten Langzeit-, andernteils in Kurzzeitversuchen eingesetzt. *Figur 1* zeigt ein solches Stäbchenpaar.

22 Langzeitauslagerungen

Die Auslagerungen fanden an folgenden Örtlichkeiten statt:

- *Mannheim*, mit typischer Industrielatmosphäre (hauptsächlich Schadstoffe aus Chemiebetrieben). Zwei verschiedene Auslagerungsbedingungen:
Mannheim 1 mit forcierter Luftumwälzung
Mannheim 2 mit natürlicher Konvektion
Die Prüflinge befanden sich in einem Messwagen des Deutschen Bundesamtes für Umweltschutz
- *Zürich*, mit typischem Stadtklima. Die Prüflinge waren in einem mit Ventilationsschlitzen versehenen Kasten

sion. Des analyses complètes des mesures de résistance au moyen de la statistique mathématique ont constitué l'élément central sur lequel les autres examens se sont appuyés. Parmi ceux-ci, on peut surtout citer les examens de surface à l'aide du microscope optique, du microscope électronique et de la spectroscopie photoélectronique par rayons X (XPS = x-ray photoelectron spectroscopy). Les résultats de ces essais ne peuvent être abordés dans ce qui suit.

2 Programme d'essai

21 Matériaux pour contacts et échantillons

Le programme d'essai a porté sur 34 matériaux pour contacts en tout. Ils se différenciaient par le métal de base, les couches de surface et intermédiaires apportées par galvanoplastie et, lorsqu'il s'agissait de matériaux homogènes, par le type de métal ou d'alliage. Ces matériaux sont récapitulés dans les *tableaux Ia et Ib*.

Les échantillons sont de petites tiges cylindriques de 3 mm de diamètre et de 20 mm de longueur. Elles ont été examinées par paires, tant au cours des essais de longue durée que des essais de courte durée. La *figure 1* montre une telle paire de tiges.

22 Expositions de longue durée

Les expositions ont eu lieu dans les localités suivantes:

- *Mannheim*, qui se caractérise par une atmosphère industrielle typique (polluants émanant principalement des entreprises chimiques). On distinguait deux conditions d'exposition:
à Mannheim 1, avec une circulation d'air forcée
à Mannheim 2, avec une convection naturelle.
Les échantillons se trouvaient dans une voiture de mesure de l'Office fédéral allemand de la protection de l'environnement.

Tabelle Ia. Werkstoffe für beschichtete Stäbchen

Grundmetall	Zwischenschicht	Oberflächenschicht	in den Langzeittests	in den Kurzzeittests	in beiden Tests
Bronze	Nickel 2 µm	Gold 0.5...8 µm	0.5, 1, 2, 4, 8 µm Gold	1 und 2 µm Gold	x x
Messing	Nickel 2 µm	Gold 1...2 µm	1 und 2 µm Gold	1 µm Gold	x
Bronze	Kupfer 3 µm	Gold 1...8 µm	1, 2, 4, 8 µm Gold	1 µm Gold	x
Messing	Kupfer 3 µm	Gold 1...2 µm	1 und 2 µm Gold	nicht getestet	
Bronze	—	Gold 4...16 µm	4, 8, 16 µm Gold	nicht getestet	
Bronze	Nickel 2 µm	Palladium 2 µm	nicht getestet	getestet	
Messing	Kupfer 5 µm	Zinn 4...16 µm	4, 8, 16 µm Zinn	Gasburning: 8 µm Zinn	(x)

Tabelle Ib. Werkstoffe für Massivstäbchen

Werkstoff	Bezeichnung	Legierungsanteile	in den Langzeittests	in den Kurzzeittests	in beiden Tests
Bronze	Cu Sn7	—	getestet	nicht getestet	
Messing	Cu Zn40 Pb3	—	getestet	nicht getestet	
Silber	Ag 1000	—	getestet	getestet	x
Palladium	Pd	—	getestet	getestet	x
Silber/Nickel	Ag/Ni	90/10	getestet	getestet	x
Silber/Kupfer	Ag/Cu	97/3	getestet	nicht getestet	
Silber/Palladium	Ag/Pd	50/50, 70/30	getestet	nur 70/30	x
Gold/Nickel	Au/Ni	90/10, 95/5	nicht getestet	getestet	
Gold/Silber	Au/Ag	80/20	getestet	getestet	x
Gold/Silber/Kupfer	Au/Ag/Cu	70/20/10	getestet	nicht getestet	

Tableau Ia. Matériaux pour tiges revêtues de couches

Métal de base	Couche intermédiaire	Couche extérieure	Dans les tests de longue durée	Dans les tests de courte durée	Dans les tests
Bronze	Nickel 2 µm	Or 0.5... 8 µm	0.5, 1, 2, 4, 8 µm Or	1 et 2 µm Or	x x
Laiton	Nickel 2 µm	Or 1...2 µm	1 et 2 µm Or	1 µm Or	x
Bronze	Cuivre 3 µm	Or 1...8 µm	1, 2, 4, 8 µm Or	1 µm Or	x
Laiton	Cuivre 3 µm	Or 1...2 µm	1 et 2 µm Or	Pas testé	
Bronze	—	Or 4...16 µm	4, 8, 16 µm Or	Pas testé	
Bronze	Nickel 2 µm	Palladium 2 µm	Pas testé	Testé	
Laiton	Cuivre 5 µm	étain 4...16 µm	4, 8, 16 µm étain	Gasburning: 8 µm étain	(x)

Tableau Ib. Matériaux pour tiges massives

Matériel	Désignation	Parts d'alliage	Dans les tests de longue durée	Dans les tests de courte durée	Dans les deux tests
Bronze	Cu Sn7	—	Testé	Pas testé	
Laiton	Cu Zn40 Pb3	—	Testé	Pas testé	
Argent	Ag 1000	—	Testé	Testé	x
Palladium	Pd	—	Testé	Testé	x
Argent / Nickel	Ag/Ni	90/10	Testé	Testé	x
Argent / Cuivre	Ag/Cu	97/3	Testé	Pas testé	
Argent / Palladium	Ag/Pd	50/50, 70/30	Testé	Seulement 70/30	x
Or / Nickel	Au/Ni	90/10, 95/5	Pas testé	Testé	
Or / Argent	Au/Ag	80/20	Testé	Testé	x
Or / Argent / Cuivre	Au/Ag/Cu	70/20/10	Testé	Pas testé	

untergebracht, etwa 5 m über einer stark befahrenen Strassenkreuzung.

- *Emmenbrücke*, in der Halle «Rayonspinnerei» einer Kunstfaserfabrik. Charakteristisch sind hohe Schwefelwasserstoff- und Schwefelkohlenstoffgehalte sowie grosse relative Luftfeuchtigkeit. Die unter diesen extremen Verhältnissen erhaltenen Resultate werden hier nicht berücksichtigt.

Die Auslagerungszeiten betragen bis zu zwei Jahren. Probestäbchen wurden jedoch bereits nach drei, sechs und zwölf Monaten entnommen.

23 Kurzeitauslagerungen

Bei diesen Schadgastests wurden folgende Verfahren angewendet:

- *Schwefeldioxid-Test* in zwei Varianten: 1 ppm¹ und 25 ppm SO₂, gemäss IEC 68-2-42; Prüfdauer: 4, 10 und 21 Tage

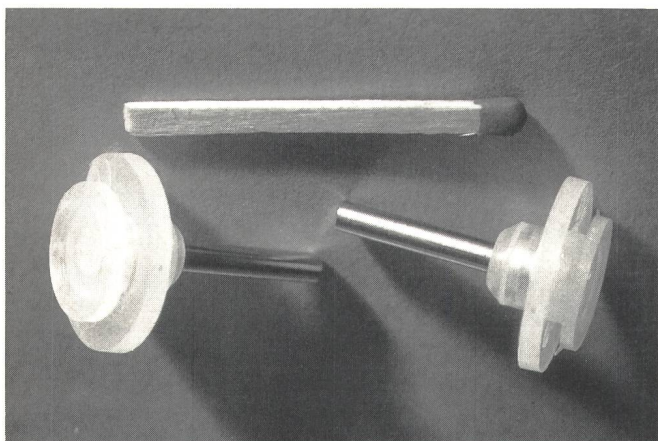


Fig. 1 Stäbchenpaar für Auslagerungsversuche – Paire de tiges pour essais d'exposition

- *Zurich*, caractérisé par un climat urbain typique. Les échantillons étaient logés dans une boîte pourvue de fentes de ventilation, à 5 m environ au-dessus d'une croisée de routes à forte circulation.
- *Emmenbrücke*, dans la halle de tissage de rayonne d'une fabrique de fibres textiles artificielles. Ce milieu se distinguait par une haute teneur en acide sulfhydrique (hydrogène sulfuré) et en sulfure de carbone ainsi que par une humidité relative élevée. Il n'est pas tenu compte ici des résultats obtenus sous ces conditions d'essai extrêmes.

Les durées d'exposition se sont étendues jusqu'à deux ans. Les échantillons ont cependant déjà été prélevés après trois, six et douze mois.

23 Expositions de courte durée

Les procédés d'exposition à des gaz nocifs suivants ont été utilisés:

- *Test à l'anhydride sulfureux* en deux variantes: 1 p.p.m.¹ et 25 p.p.m. SO₂, selon CEI 68-2-42; durée de l'essai: 4, 10 et 21 jours
- *Test à l'acide sulfhydrique*, également en deux variantes: 0,5 p.p.m. et 10 p.p.m., selon CEI 62-2-43, durée de l'essai: 4, 10 et 21 jours
- *Test «gasburning»*, environ 25 p.p.m. d'anhydride sulfureux additionné d'oxydes d'azote, selon la spécification caduque CEI 68-2.42, édition 1976; durée de l'essai: 10 jours
- *Test VG*, une méthode d'essai peu connue selon une norme de République fédérale d'Allemagne: un jour d'exposition à l'anhydride sulfureux 10 000 p.p.m. (1 %), suivi d'une exposition d'un jour à l'acide sulfhydrique, également 10 000 p.p.m.

¹ p.p.m. = parts par million; 1 p.p.m. = 10⁻⁴ %

- *Schwefelwasserstoff-Test*, ebenfalls in zwei Varianten: 0,5 ppm und 10 ppm, gemäss IEC 62-2-43; Prüfdauer: 4, 10 und 21 Tage
- *Gasburning-Test*, etwa 25 ppm Schwefeldioxid plus Stickoxide, gemäss zurückgezogener IEC-Spezifikation 68-2-42, Ausgabe 1976; Prüfdauer: 10 Tage
- *VG-Test*, ein nicht allgemein bekanntes Prüfverfahren nach einer bundesdeutschen Norm: 1 Tag Schwefeldioxid 10 000 ppm (1 %), gefolgt von 1 Tag Schwefelwasserstoff, ebenfalls 10 000 ppm
- *Thioacetamid-Test* gemäss PTT-Norm: 3...4 ppm Schwefelwasserstoff plus Spuren von Schwefeldioxid. Prüfdauer: 2, 4 und 10 Tage.

Als Prüfkammer dient ein Exsikkator von etwa 10 l Inhalt. Auf eine sich darin befindliche Petrischale werden 0,2...0,4 g Thioacetamid (CH_3CSNH_2) gestreut. Der Gefässboden muss mit einer gesättigten Natriumacetatlösung ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) bedeckt sein, wodurch eine konstante relative Luftfeuchtigkeit von 75 % gewährleistet wird. Die Temperatur soll $23 \pm 2^\circ\text{C}$ betragen. Eine ausführliche Beschreibung zur Herstellung der Thioacetamid-Prüfatmosphäre einschliesslich der zu beachtenden Vorsichtsmassnahmen findet sich im Beitrag von *R. Fischer* [5].

24 Messbedingungen und Messapparaturen

Die Kontaktwiderstandsmessungen erfolgten nach der Vierdraht-Methode. Zusammengehörende Stäbchenpaare werden dabei kreuzweise mit definierter Kraft aufeinandergedrückt. Eine erste Messung wird jeweils unmittelbar nach prell- und verschiebungsfreier Berührung durchgeführt; sie wird als Punktmessung bezeichnet. Anschliessend folgt, nachdem eine Hin- und Hergleitbewegung der Stäbchen um $\pm 1/8$ mm stattgefunden hat, die sogenannte Verschiebungsmessung. Die Kontaktkräfte liegen abgestuft im Bereich zwischen 0,1 N (10 Gramm) und 2,0 N (200 Gramm) mit Schwerpunkt bei 0,25 N.

Unter jeweils gleichen Bedingungen werden je Stäbchenpaar 40 derartige Doppelmessungen an immer neuen Berührungsstellen durchgeführt. Messspannung und -strom entsprechen den IEC-Empfehlungen: Maximal 20 mV und maximal 50 mA; Frequenz: 1 kHz bei den Langzeit-, 10 kHz bei den Kurzzeitmessungen.

Als Messapparatur diente bei den Langzeitversuchen ein modifizierter Härteprüfer (Prüfstäbchen an Stelle des Diamanten); bei den später durchgeführten Kurzzeitversuchen stand eine computergesteuerte Einrichtung zur Verfügung (Messautomat der *Standard Telephon & Radio AG*, Zürich).

3 Datenverarbeitung und Auswerteverfahren

31 Datenumfang und Computereinsatz

Aus den Langzeitauslagerungen ergaben sich rund 160 000 Kontaktwiderstandsmessungen, aus den Kurz-

- *Test au thioacétamide*, selon la norme PTT: 3...4 p.p.m. d'anhydride sulfureux et traces d'acide sulfhydrique. Durée de l'essai: 2, 4 et 10 jours.

L'enceinte d'essai était un dessiccateur d'environ 10 litres de contenu. On y avait logé une cuvette de Pétri contenant 0,2...0,4 g de thioacétamide (CH_3CSNH_2). Le fond du cristalliseur doit être recouvert d'une solution saturée d'acétate de sodium ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), cependant qu'une humidité relative constante de 75 % doit régner dans l'enceinte. La température doit être de $23 \pm 2^\circ\text{C}$. Une description précise de la création d'une atmosphère de test au thioacétamide ainsi que des mesures de précaution à prendre à cet effet se trouve dans l'article de *R. Fischer* [5].

24 Conditions d'essai et appareils de mesure

Les mesures de résistance de contact ont été faites selon la méthode à quatre fils. Les paires de tiges appariées sont pressées l'une contre l'autre à angle droit avec une force définie. Une première mesure est faite immédiatement après le premier contact exempt de rebondissement et de frottement; on parle d'une mesure ponctuelle. La deuxième mesure, dite avec glissement, est ensuite faite après un mouvement de va-et-vient des tiges de $\pm 1/8$ mm. Les forces de contact sont également échelonnées entre 0,1 N (10 grammes) et 2,0 N (200 grammes), l'accent étant mis sur la force de 0,25 N.

Toutes les conditions étant par ailleurs égales, on soumet chaque paire de tiges à 40 mesures doubles de ce type à des points de contact toujours nouveaux. La tension et le courant de mesure correspondent aux spécifications CEI: 20 mV au maximum et 50 mA au maximum; fréquence: 1 kHz pour les mesures de longue durée et 10 kHz pour les mesures de courte durée.

Lors des essais de longue durée, on a utilisé en tant qu'instrument de mesure un appareil à mesurer la dureté modifié (tige d'essai au lieu de diamant); pour les essais de courte durée réalisés ultérieurement, on s'est servi d'un équipement commandé par ordinateur (automate de mesure de *Standard Téléphone et Radio SA*, Zurich).

3 Traitement des données et méthodes d'analyse

31 Volume des données et emploi de l'ordinateur

Les essais d'exposition de longue durée ont nécessité environ 160 000 mesures de résistances de contact et les essais d'exposition de courte durée près de 70 000. Les programmes d'ordinateur de saisie et de gestion des données pour l'analyse par statistique mathématique et pour l'affichage des résultats ont été établis à la Division principale de la recherche et du développement en langage APL¹.

¹ ppm = parts per million; 1 ppm = 10^{-4} %

¹ APL = langage de programmation (a programming language, IBM/Iverson)

zeitauslagerungen rund 70 000. Die Computerprogramme für die Datenerfassung und -verwaltung, für die mathematisch-statistischen Auswertungen und die Präsentation der Ergebnisse wurden in der Hauptabteilung Forschung und Versuche in APL¹ erstellt.

32 Mathematisch-statistische Auswertungen

Im allgemeinen sind Messwerte von elektrischen Kontaktwiderständen nicht normalverteilt. Deshalb wurden an Stelle des arithmetischen Mittelwerts \bar{x} und der Standardabweichung s folgende, für nichtparametrische Verteilungen geeignete Masszahlen berechnet: Median (Zentralwert) \tilde{x} an Stelle von \bar{x} sowie die Quantile Q16 und Q84, das heisst die 15,87%- und 84,13%-Werte; diese sind im Fall einer Normalverteilung identisch mit $\bar{x} - s$ beziehungsweise $\bar{x} + s$. Weitere Daten sind die Minimal- und Maximalwerte sowie eine nicht konventionelle Grösse, als Submaximum bezeichnet. Es ist dies der grösste gemessene Wert, der kleiner als 100 Ω (obere Bereichsgrenze der Messeinrichtung) ist. Das Submaximum findet Anwendung bei den Histogrammdarstellungen der Resultate (siehe 42).

33 Problematik des Vergleichs von Kontaktwiderstandskollektiven

Die bekannten mathematisch-statistischen Methoden zur Beurteilung des Unterschiedes von Messreihen versagen bei der Anwendung auf Kontaktwiderstände, die wie im vorliegenden Fall aus Langzeit- und Kurzzeittests hervorgehen. Dies gilt sowohl für den Mediantest, den Chiquadrat-Test und den eigentlich für nichtparametrische Verteilungen besonders prädestinierten Smirnov-Test samt seinen Varianten. *Figur 2* veranschaulicht diese Tatsache. Dargestellt sind Summenhäufigkeitskurven der Kontaktwiderstände von vergoldeten, wie folgt exponierten Stäbchen:

- Kurve A: 1 Jahr Langzeitauslagerung in Zürich
- Kurve B: 10 Tage Kurzeitauslagerung in Schwefeldioxid 1 ppm
- Kurve C: 21 Tage Kurzeitauslagerung in Schwefeldioxid 1 ppm.

Alle erwähnten statistischen Methoden beurteilen die Ergebnisse wie folgt:

- A und B beziehungsweise die entsprechenden Widerstandskollektive unterscheiden sich eindeutig
- A und C stimmen, je nach vorgegebener statistischer Sicherheit, mehr oder weniger gut überein.

Die Beurteilung durch erfahrene «Kontaktfachleute» lautet aber anders:

- A und B stimmen einigermaßen akzeptabel überein
- A und C unterscheiden sich wesentlich (objektive Beurteilung: s. Schluss von 35).

Es war deshalb notwendig, für die Vergleiche der Langzeit- und Kurzzeitresultate den nachfolgend beschriebenen Summenhäufigkeitstest zu entwickeln.

32 Analyses au moyen de la statistique mathématique

En général, les valeurs de mesure de résistance de contacts électriques n'obéissent pas à une loi de distribution normale. C'est pourquoi on a remplacé le calcul de la valeur moyenne arithmétique \bar{x} et de la déviation standard par une méthode convenant à des grandeurs n'obéissant pas à une distribution paramétrique: médiane (valeur centrale d'une série) \tilde{x} à la place de \bar{x} ainsi que les quantiles Q16 et Q84, ce qui signifie les valeurs 15,87 % et 84,13 %. Dans le cas d'une distribution normale, celles-ci sont identiques avec $\bar{x} - s$ et $\bar{x} + s$. D'autres données sont les valeurs minimales et maximales ainsi qu'une grandeur non conventionnelle, appelée sub-maximum. Il s'agit ici de la plus grande valeur mesurée plus petite que 100 Ω (limite supérieure du dispositif de mesure). Le sub-maximum est appliqué lors de la représentation des résultats par histogrammes (voir 42).

33 Problématique de la comparaison de collectifs de résistances de contact

Les méthodes connues de la statistique mathématique permettant d'apprécier la différence entre des séries de mesure ne peuvent être appliquées aux résistances de contact, lorsqu'elles proviennent comme dans le cas présent d'essais de longue durée et d'essais de courte durée. Cela s'applique aussi bien au test de la médiane, au test en χ^2 et au test de Smirnov et à ses variantes apparemment prédestinés à l'appréciation de distributions non paramétriques. La *figure 2* illustre ce fait. On a représenté des courbes des fréquences cumulées des résistances de contact de tiges dorées exposées à une atmosphère corrosive dans les conditions suivantes:

- Courbe A: 1 année d'exposition de longue durée à Zurich
- Courbe B: 10 jours d'exposition de courte durée à l'anhydride sulfureux 1 p.p.m.
- Courbe C: 21 jours d'exposition de courte durée à l'anhydride sulfureux 1 p.p.m.

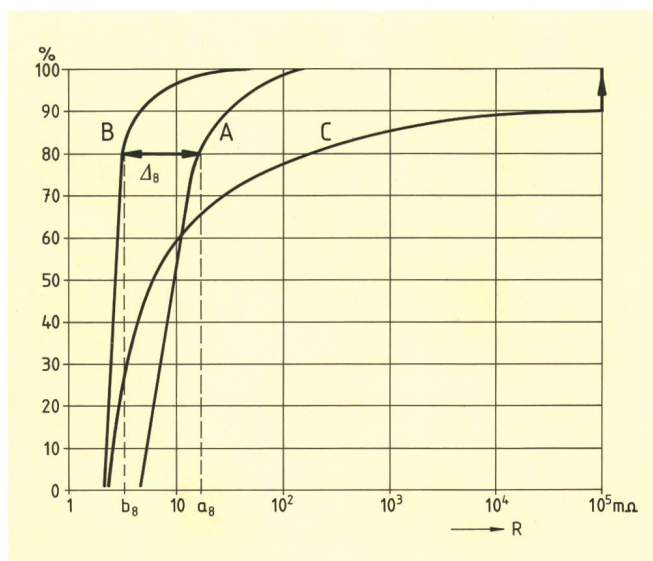


Fig. 2
Beispiel für drei Summenhäufigkeitskurven von unterschiedlicher Übereinstimmung – Exemple de trois courbes de fréquences cumulées de concordance différente

¹ APL = a programming language (IBM/Iverson)

34 Summenhäufigkeitstest

Dieser objektive Vergleichstest beruht auf folgender Überlegung: Massgebend für den Übereinstimmungsgrad zweier Widerstandskollektive ist der mittlere Abstand $\bar{\Delta}$ ihrer im logarithmischen Massstab dargestellten Summenhäufigkeitskurven. Gemäss Figur 2 beträgt $\bar{\Delta}_{a,b}$ aufgrund der Dezilwerte (das heisst der 10%, 20...100%-Werte) a_n und b_n :

$$\bar{\Delta}_{a,b} = \frac{1}{10} \sum_{n=1}^{10} |\log a_n - \log b_n| \quad (1)$$

Wie postuliert, ist somit ebenfalls

$$\bar{\Delta}_{a,b} = \frac{1}{10} \sum_{n=1}^{10} |\Delta_n| \quad (2)$$

mit $\Delta_n = \log a_n - \log b_n$

Aussagekräftiger als der mittlere Abstand $\bar{\Delta}$ ist folgender Ausdruck:

$$F_{a,b} = 10^{\bar{\Delta}_{a,b}} \quad (3)$$

Er sagt aus, um welches Vielfache sich die Dezile, und damit angenähert auch die Widerstandswerte zweier Kollektive, im Mittel unterscheiden.

Zur Feststellung, ob global betrachtet die Werte von A grösser oder kleiner als diejenigen von B sind, wird das Vorzeichen (signum) der folgenden Summe herangezogen:

$$S_{a,b} = \sum_{n=1}^{10} \Delta_n \quad (4)$$

Falls $S_{a,b} > 0$ bzw. $\text{sign } S_{a,b} = +1$, so ist $\bar{A} > \bar{B}$ }
 Falls $S_{a,b} < 0$ bzw. $\text{sign } S_{a,b} = -1$, so ist $\bar{A} < \bar{B}$ } \quad (5)

Die Bezeichnungen \bar{A} und \bar{B} deuten an, dass nicht Einzelwerte, sondern Kollektive miteinander verglichen werden.

Die Werte F und S bzw. $\text{sign } S$ definieren zusammen eindeutig die Korrelationsbeziehung zwischen \bar{A} und \bar{B} . Sie lassen sich zur *Verhältniszahl* Z zusammenfassen:

$$Z_{a,b} = (\text{sign } S_{a,b}) \cdot F_{a,b} \quad (6)$$

oder explizite ausgedrückt:

$$Z_{a,b} = (\text{sign } \sum_{n=1}^{10} \Delta_n) \cdot 10^{0,1 \sum_{n=1}^{10} |\Delta_n|} \quad (7)$$

Der mittlere Abstand $\bar{\Delta}_{a,b}$ kann selbstverständlich genauer durch numerische Integration der zwischen den Kurven A und B liegenden Fläche berechnet werden. Mit den Dezilwerten erhält man jedoch genügend genaue Werte. Zudem kann mit direkt aus Summenhäufigkeitskurven herausgelesenen Δ_n -Werten gerechnet werden.

Toutes les méthodes statistiques évoquées ont conduit à l'appréciation des résultats suivante:

- A et B, en d'autres termes les collectifs de résistance correspondants, se différencient nettement
- A et C concordent plus ou moins bien, selon la sécurité statistique choisie.

L'appréciation donnée par des spécialistes expérimentés en matière de contacts est cependant différente:

- A et B concordent d'une manière à peu près acceptable
- A et C diffèrent sensiblement (appréciation objective, voir à la fin du point 35).

Il a été de ce fait nécessaire de développer le test de fréquences cumulées décrit ci-après pour comparer les essais de longue durée aux essais de courte durée.

34 Test de fréquences cumulées

Ce test de comparaison objectif repose sur le principe suivant: est déterminant pour le degré de correspondance entre deux collectifs de résistances l'écart moyen $\bar{\Delta}$ des courbes de fréquences cumulées représentés selon leur échelle logarithmique. D'après la figure 2, $\bar{\Delta}_{a,b}$ donne, en raison des valeurs des déciles, (c'est-à-dire des valeurs 10 %, 20 %, ... 100 %) a_n et b_n :

$$\bar{\Delta}_{a,b} = \frac{1}{10} \sum_{n=1}^{10} |\log a_n - \log b_n| \quad (1)$$

Comme postulé, on a également

$$\bar{\Delta}_{a,b} = \frac{1}{10} \sum_{n=1}^{10} |\Delta_n| \quad (2)$$

avec $\Delta_n = \log a_n - \log b_n$

L'expression suivante est encore plus révélatrice que l'écart moyen $\bar{\Delta}$:

$$F_{a,b} = 10^{\bar{\Delta}_{a,b}} \quad (3)$$

Il indique de quel facteur les déciles et par approximation les valeurs des résistances de deux collectifs diffèrent en moyenne.

Pour constater si, vu globalement, les valeurs de A sont plus grandes ou plus petites que celles de B, on utilise le signe préliminaire (signum) de la somme suivante:

$$S_{a,b} = \sum_{n=1}^{10} \Delta_n \quad (4)$$

Si $S_{a,b} > 0$ resp. $\text{sign } S_{a,b} = +1$, on a $\bar{A} > \bar{B}$ }
 Si $S_{a,b} < 0$ resp. $\text{sign } S_{a,b} = -1$, on a $\bar{A} < \bar{B}$ } \quad (5)

Les désignations \bar{A} et \bar{B} signifient que l'on ne compare pas des valeurs discrètes mais des collectifs.

Les valeurs F et S ou $\text{sign } S$ définissent ensemble clairement la corrélation entre \bar{A} et \bar{B} . Elles peuvent être réunies en un *facteur* Z:

$$Z_{a,b} = (\text{sign } S_{a,b}) \cdot F_{a,b} \quad (6)$$

35 Quantifizierung der Übereinstimmungsgrade

Für den Vergleich von Langzeit- und Kurzzeitresultaten sind vier Kategorien von Übereinstimmungsgraden festgelegt worden. Sie sind aufgrund der Z-Werte wie folgt definiert:

- $|Z| \leq 2$ sehr gute Übereinstimmung
- $2 < |Z| \leq 3,2$ gute Übereinstimmung
- $3,2 < |Z| \leq 5$ schwache Übereinstimmung
- $|Z| > 5$ keine Übereinstimmung

Der Wert 3,2 ist das geometrische Mittel aus den beiden Grenzwerten 2 und 5.

Zur Veranschaulichung sind in *Figur 3* idealisierte Bereiche von Summenhäufigkeitskurven dargestellt, die diesen Übereinstimmungsgraden entsprechen.

Zurückkommend auf *Figur 2*, ergibt sich folgendes:

- $Z_{A,B} = +3,8$ d. h. schwache Übereinstimmung, A-Werte global grösser als B-Werte
- $Z_{A,C} = -8,5$ d. h. keine Übereinstimmung, A-Werte global kleiner als C-Werte.

4 Ergebnisse der Auslagerungsversuche

41 Vorbemerkungen

Um den Rahmen dieser Publikation nicht zu sprengen, muss auf die Wiedergabe von Resultaten, die nicht primär für Elektronik und Nachrichtentechnik von Interesse sind, verzichtet werden. Dies betrifft in erster Linie Resultate, die mit unedlen Werkstoffen, mit grossen Kontaktkräften und unter sehr aggressiven atmosphärischen Bedingungen erhalten wurden. Folgende Versuchsparameter finden Berücksichtigung:

- *Kontaktwerkstoffe*: Vergoldete Kontaktstücke, Edelmetalle (Silber, Palladium), Edelmetall-Legierungen (Gold/Silber, Silber/Nickel, Silber/Palladium)
- *Kontaktbeanspruchungen*: Verschiebungsmessungen bei Kontaktkräften von 0,25 N (25 Gramm); Ausnahme: 0,1 N bei Gold/Silber-Kontakten

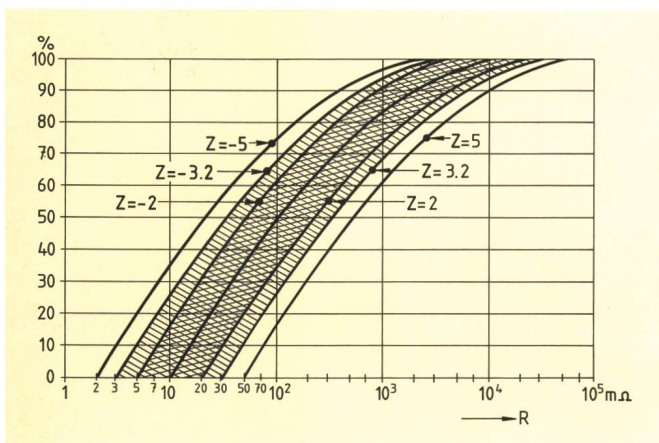


Fig. 3
Idealisierte Bereiche der Übereinstimmungsgrade von Summenhäufigkeitskurven - Zones idéalisées de concordance des courbes de fréquences cumulées

ou, exprimées explicitement:

$$Z_{a,b} = (\text{sign} \sum_{n=1}^{10} \Delta_n) \cdot 10^{0,1 \sum_{n=1}^{10} |\Delta_n|} \quad (7)$$

L'écart moyen $\bar{\Delta}_{a,b}$ peut bien entendu être calculé de manière plus précise par l'intégration numérique de la surface située entre les courbes A et B. Cependant, on obtient des valeurs suffisamment précises avec les valeurs de déciles. On peut en outre calculer directement avec les valeurs Δ_n prélevées directement des courbes de fréquences cumulées.

35 Quantification des degrés de concordance

Pour comparer les résultats des essais de longue durée à ceux des essais de courte durée, on a fixé quatre catégories de degrés de concordance. Elles ont été définies en fonction des valeurs du coefficient Z:

- $|Z| \leq 2$ Très bonne concordance
- $2 < |Z| \leq 3,2$ Bonne concordance
- $3,2 < |Z| \leq 5$ Faible concordance
- $|Z| > 5$ Pas de concordance

La valeur 3,2 est la moyenne géométrique des deux limites 2 et 5.

A titre d'illustration, on a représenté à la *figure 3* des secteurs idéalisés de courbes de fréquences cumulées, qui correspondent à ces degrés de concordance.

Si l'on revient à la *figure 2*, on obtient ce qui suit:

- $Z_{A,B} = +3,8$ c'est-à-dire faible concordance, les valeurs A étant globalement supérieures aux valeurs B
- $Z_{A,C} = -8,5$ c'est-à-dire pas de concordance, les valeurs A étant globalement inférieures aux valeurs C

4 Résultat des essais d'exposition

41 Remarques préliminaires

Pour ne pas dépasser le cadre de la présente publication, on a dû renoncer à publier les résultats qui ne présentaient pas un intérêt primaire pour l'électronique et la technique des télécommunications. Cela se rapporte en premier lieu aux résultats d'essais portant sur des matériaux peu nobles, de grandes forces de contact et sous atmosphère agressive. Les paramètres d'essai suivants ont été pris en considération:

- *Matériaux pour contacts*: éléments de contact dorés, métaux nobles (argent, palladium), alliages de métaux nobles (or/argent, argent/nickel, argent/palladium)
- *Contraintes appliquées au contact*: mesures avec glissement pour des forces de contact de 0,25 N (25 grammes); exception: 0,1 N pour les contacts or/argent
- *Expositions de longue durée*: types d'exposition Mannheim 1 et Zurich (le premier est typique pour un climat industriel, le second pour un climat urbain). Durée d'exposition: 1 an (été et hiver pris en compte)
- *Expositions de courte durée*: tests CEI à l'acide sulfhydrique et à l'anhydride sulfureux, test «gasburing», test PTT au thioacétamide.

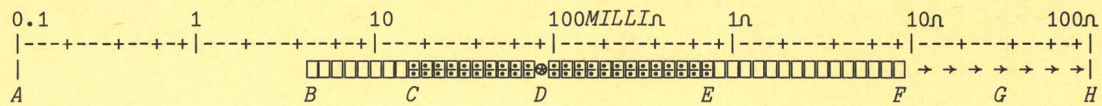


Fig. 4
Histogrammendarstellung von statistischen Widerstandsdaten – Représentation sous forme d'histogramme des valeurs de résistance

A Untere Bereichsgrenze (0,1 m Ω) – Limite inférieure de la zone (0,1 m Ω)
 B Minimalwert – Valeur minimale
 C Q16-Quantil (16 %-Wert) – Quantile Q 16 (valeur 16 %)
 D Median (Zentralwert) – Médiane (valeur centrale)
 E Q84-Quantil (84 %-Wert) – Quantile Q84 (valeur 84%)
 F Submaximum (grösster Wert < 100 Ω) – Sous-maximum (valeur la plus grande < 100 Ω)
 G Hinweispfeile für Werte ≥ 100 Ω – Flèches indiquant les valeurs ≥ 100 Ω
 H Obere Bereichsgrenze (100 Ω) – Limite supérieur de la zone (100 Ω)
 Massstab: Logarithmisch, annähernd unterteilt in die Stufen 1, 2, 4, 6, 8, 10 usw.
 Echelle: Répartie de manière logarithmique approximative dans les niveaux 1, 2, 4, 6, 8 10, etc.

- *Langzeitauslagerungen:* Auslagerungsorte Mannheim 1 und Zürich (je typisch für Industrie- und Stadtklima). Auslagerungsdauer: 1 Jahr (Sommer und Winter berücksichtigt)
- *Kurzzeitauslagerungen:* IEC-Schwefelwasserstoff- und Schwefeldioxid-Tests, Gasburning-Test, PTT-Thioacetamid-Test.

42 Ergebnisse der Kontaktwiderstandsmessungen

Auf zahlenmässige Wiedergabe dieser Resultate muss, ebenfalls aus Platzgründen, verzichtet werden. Interessierende Ergebnisse sind durch Histogramme dargestellt. Aus *Figur 4* und der zugehörigen Legende ist ersichtlich, welche statistischen Masszahlen veranschaulicht werden.

Die Histogramme der *Figur 5* vermitteln die Resultate aus Mannheim 1 im Vergleich zu den Initialwerten und den Kurzzeitergebnissen. Das Analoge gilt für *Figur 6* mit Zürich als Langzeitauslagerungsort. Es sind nur jene Ergebnisse der Kurzzeitauslagerungen zusammengestellt, die die beste Übereinstimmung mit den Langzeitergebnissen zeigen; die entsprechenden Expositionszeiten sind in der zweiten Histogrammspalte vermerkt.

43 Kommentare zum Langzeitverhalten

- *Vergoldete Kontakte:* Nur unwesentliche Widerstandserhöhungen, falls Porenfreiheit besteht. Höhere Werte in Zürich sind auf Staubablagerung zurückzuführen.
- *Gold/Silber-Kontakte:* Etwas höhere Widerstandswerte als bei den einwandfrei vergoldeten Kontakten (gilt besonders für Zürich).
- *Silber-, Silber/Nickel- und Silber/Palladium-Kontakte:* Wesentliche Widerstandserhöhungen. Reinsilber verhält sich günstiger als seine Legierungen.
- *Palladiumkontakte:* Sehr gutes Verhalten in Mannheim, wesentlich schlechteres in Zürich (Staubablagerungen).

44 Kommentare zum Kurzzeitverhalten

- *Vergoldete Kontakte:* Im allgemeinen nur unwesentliche Beeinflussung durch Schwefelwasserstoff- und Thioacetamid-Tests. Der Schwefeldioxid-Test wirkt

42 Résultat des mesures de résistances de contact

Pour des raisons de place, il a également fallu renoncer à publier ces résultats en chiffres. Des histogrammes illustrent cependant les résultats intéressants dans ce contexte. En consultant la *figure 4* et sa légende, on voit quelles valeurs statistiques ont été mises en évidence.

Les histogrammes de la *figure 5* mettent en lumière les résultats de Mannheim 1 en comparaison avec les valeurs initiales et les résultats des tests de courte durée. La même remarque s'applique à la *figure 6*, Zurich étant le lieu d'exposition de longue durée. Seuls les résultats des expositions de courte durée correspondant le mieux avec les résultats des expositions de longue durée ont été récapitulés; les durées d'exposition correspondantes ressortent de la deuxième colonne de l'histogramme.

43 Commentaires concernant le comportement de longue durée

- *Contacts dorés:* seulement des augmentations de résistance insignifiantes, en cas d'absence de pores. Les valeurs plus élevées de Zurich sont imputables à des dépôts de poussière.
- *Contacts or/argent:* valeurs de résistance légèrement plus élevées que pour les contacts parfaitement dorés (s'applique en particulier à Zurich).
- *Contacts en argent, argent/nickel et argent/palladium:* augmentations de résistance sensibles. L'argent pur se comporte de manière plus favorable que ses alliages.
- *Contacts au palladium:* très bon comportement à Mannheim, sensiblement plus mauvais à Zurich (dépôts de poussière).

44 Commentaires concernant le comportement de courte durée

- *Contacts dorés:* en général influence seulement insignifiante due aux tests à l'anhydride sulfureux et aux tests au thioacétamide. Le test à l'anhydride sulfureux est cependant très agressif si les dorures ne sont pas exemptes de pores (beaucoup de valeurs > 100 Ω).

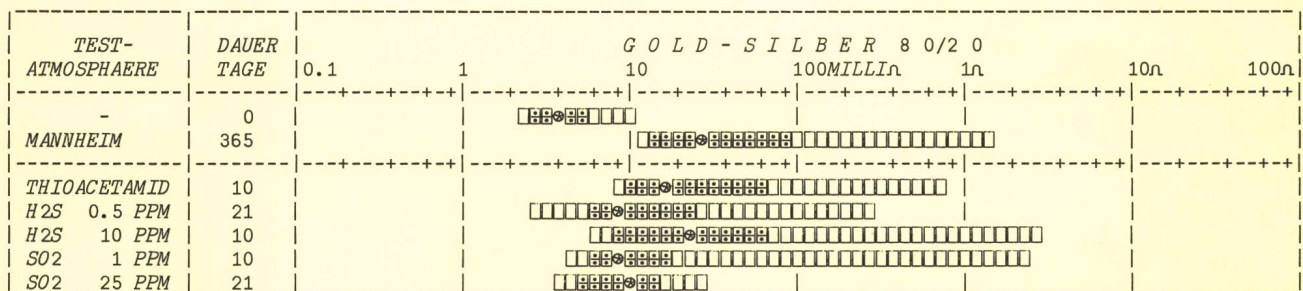
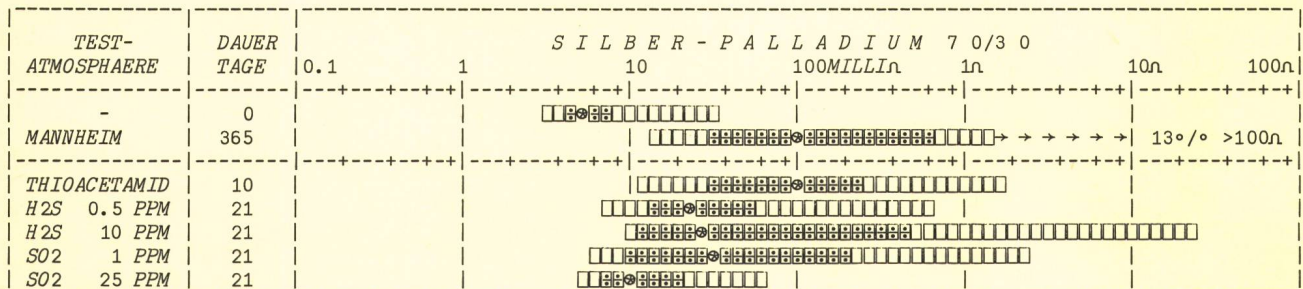
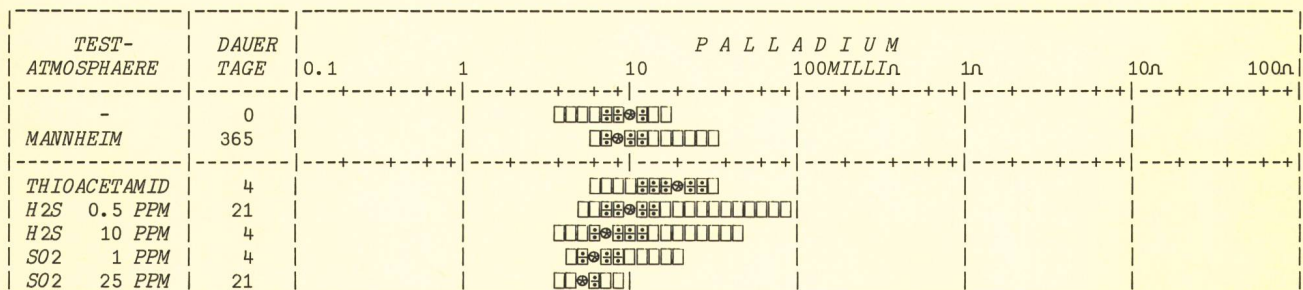
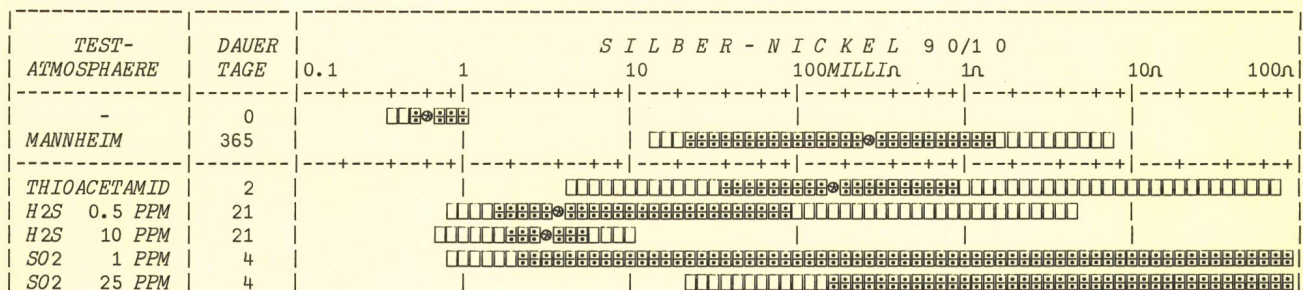
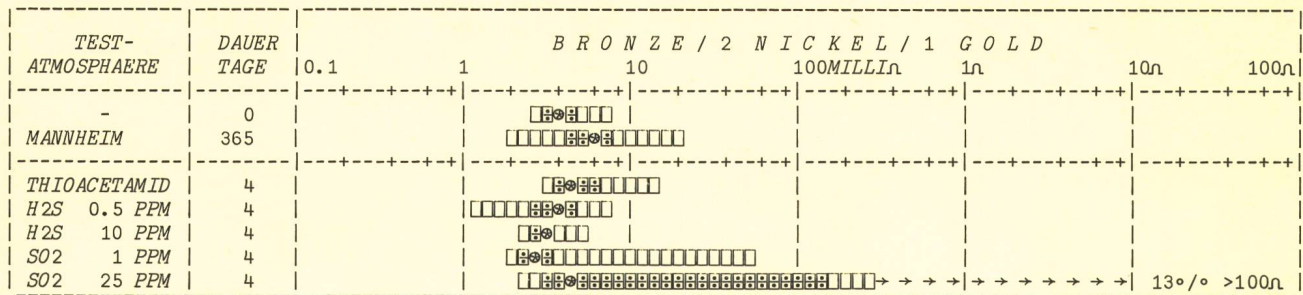


Fig. 5
 Histogramme der Ergebnisse von Mannheim 1 im Vergleich zu den besten Kurzzeitresultaten – Histogrammes des résultats de Mannheim 1 comparativement aux meilleurs résultats des durées d'exposition courtes

jedoch sehr aggressiv, falls Vergoldungen nicht porrenfrei sind (viele Werte > 100 Ω).

– Gold/Silber-Kontakte: Sie sind gegenüber Schwefelwasserstoff etwas empfindlicher als gegenüber

– Contacts or/argent: ils sont quelque peu plus sensibles à l'acide sulfhydrique qu'à l'anhydride sulfureux. Le test au thioacétamide exerce une influence comparable à celle du test à 10 p.p.m. d'acide sulfhydrique.

Schwefeldioxid. Der Thioacetamid-Test wirkt ähnlich wie der 10-ppm-Schwefelwasserstoff-Test.

- **Silberkontakte:** Erwartungsgemäss gutes Verhalten in Schwefeldioxid-Atmosphäre, weniger gutes unter Schwefelwasserstoff-Einwirkung.
- **Silber/Nickel-Kontakte:** Widerstandszunahme gering unter Schwefelwasserstoff-Einfluss, sehr gross bei den Schwefeldioxid-Tests (50 %...100 % aller Werte > 100 Ω), mässig beim Thioacetamid-Test.
- **Silber/Palladium-Kontakte:** Durch Schwefelwasserstoff- und Schwefeldioxid-Tests nur mässig beeinflusst. Der Thioacetamid-Test wirkt etwas aggressiver.
- **Palladiumkontakte:** Ähnliches Verhalten wie Silber/Palladium-Kontakte, jedoch Widerstandszunahme geringer.

- **Contacts en argent:** comme on s'y attendait, bon comportement en atmosphère d'anhydride sulfureux, moins bon résultat sous atmosphère d'acide sulfhydrique.
- **Contacts argent/nickel:** augmentation de la résistance plus faible sous atmosphère d'acide sulfhydrique, très importante lors des tests à l'anhydride sulfureux (50 %...100 % de toutes les valeurs > 100 Ω), valeur moyenne pour le test au thioacétamide.
- **Contacts argent/palladium:** les tests à l'acide sulfhydrique et à l'anhydride sulfureux n'ont exercé que peu d'influence. Le test au thioacétamide s'est révélé quelque peu plus agressif.
- **Contacts au palladium:** comportement comparable à celui des contacts argent/palladium, mais compte tenu d'une augmentation plus faible de la résistance.

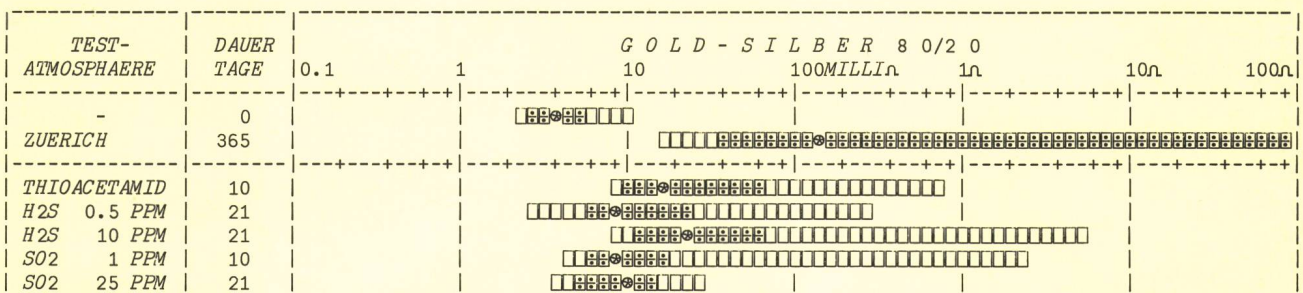
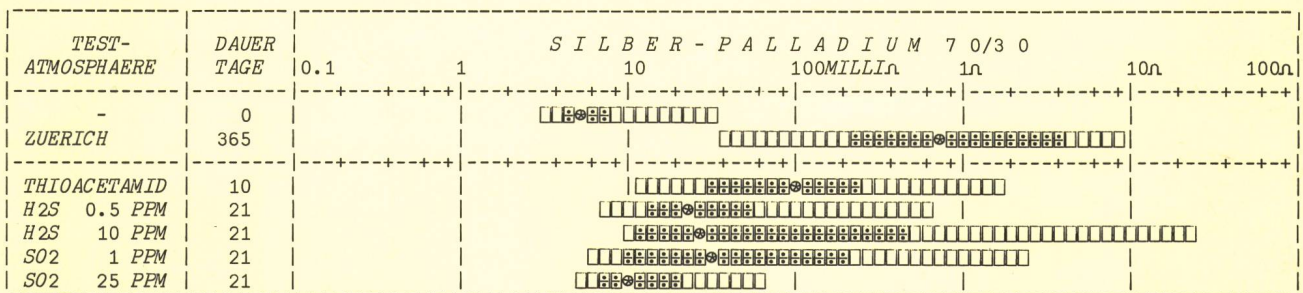
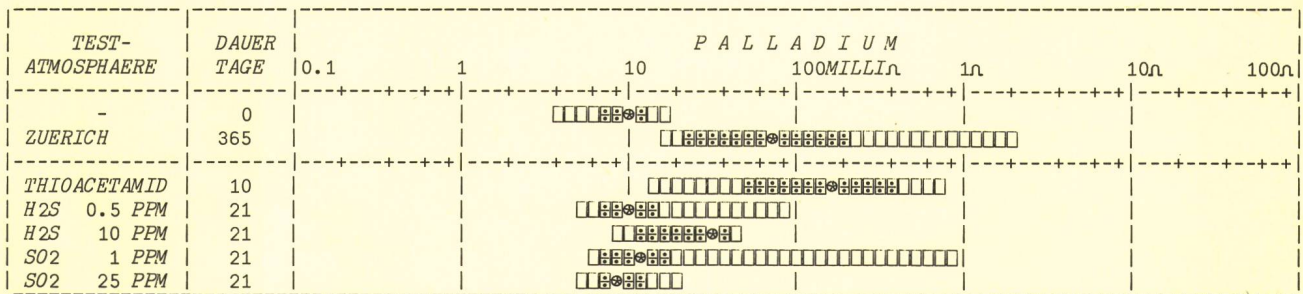
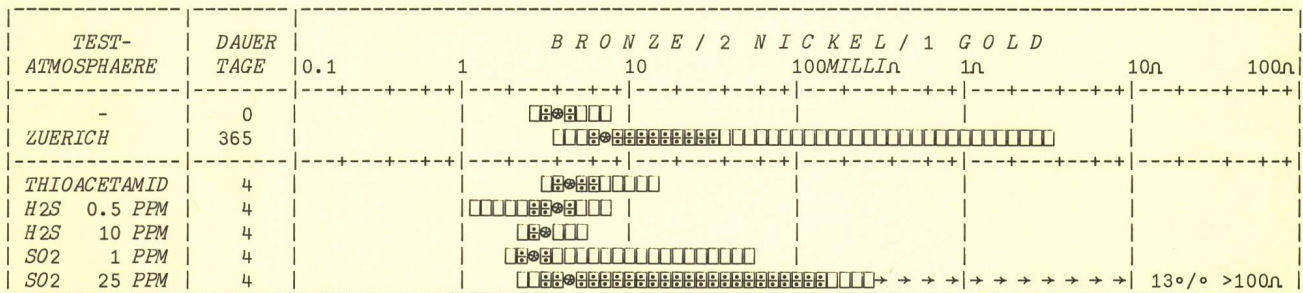


Fig. 6 Histogramme der Ergebnisse von Zürich im Vergleich zu den besten Kurzzeitresultaten – Histogrammes des résultats de Zurich comparativement aux meilleurs résultats des durées d'exposition courtes

Tabelle II. Ergebnisse des Summenhäufigkeitstests: gerundete Werte der Verhältniszahlen Z (Expositionszeiten im Tabellenkopf vermerkt)

Kontaktwerkstoff	Langzeit-Auslagerung 1 Jahr	Schwefelwasserstoff 0,5 ppm			Schwefelwasserstoff 10 ppm			Schwefeldioxid 1 ppm			Schwefeldioxid 25 ppm			Gas-burning 10	Thioacetamid		
		4	10	21	4	10	21	4	10	21	4	10	21		2	4	10
1 µm Gold 2 µm Nickel Bronze	Mannheim 1	- 2	- 2	- 2	- 2	- 3	- 2	- 2	+ 80	+ 18	+ 10	+ ∞	+ ∞	+ ∞	- 2	- 1	- 1
	Zürich	- 8	- 9	- 9	- 9	- 13	- 9	- 8	+ 20	+ 5	+ 3	+ ∞	+ ∞	+ ∞	- 7	- 5	- 5
2 µm Gold 2 µm Nickel Bronze	Mannheim 1	- 3	- 3	- 3	- 3	- 3	- 3	- 3	+ 11	- 3	+ ∞	+ ∞	+ ∞	+ ∞	- 3	- 2	- 3
	Zürich	- 5	- 5	- 4	- 5	- 5	- 5	- 5	+ 8	- 5	+ ∞	+ ∞	+ ∞	+ ∞	- 4	- 4	- 4
1 µm Gold 3 µm Kupfer Bronze	Mannheim 1	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 3	- 3	- 3	- 2	- 2	+ ∞	- 2	+ 3	+ 7
	Zürich	- 1	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 3	- 2	- 2	+ ∞	- 2	+ 3	+ 7
1 µm Gold 2 µm Nickel Messing	Mannheim 1	- 3	- 5	- 3	- 3	- 5	- 4	- 3	- 4	+ 9	- 4	- 3	- 4	+ 85	- 2	- 3	- 3
	Zürich	- 3	- 4	- 3	- 3	- 4	- 3	- 3	+ 10	- 3	- 3	+ 4	+ 4	+ ∞	- 2	- 2	- 2
Gold/Silber 80/20	Mannheim 1	- 8	- 4	- 4	- 2	- 2	- 2	- 8	- 3	- 4	- 7	- 6	- 5	- 5	- 5	- 2	- 2
	Zürich	- ∞	- 80	- 70	- 50	- 25	- 25	- ∞	- 60	- 75	- ∞	- ∞	- 95	- ∞	- 90	- 45	- 30
Silber 1000	Mannheim 1	- 6	- 2	- 2	- 4	- 3	- 1	- 11	- 9	- 8	- 7	- 9	- 10	+ ∞	- 5	+ 1	+ 3
	Zürich	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Silber/Nickel 90/10	Mannheim 1	- ∞	- ∞	- 20	- ∞	- ∞	- 85	+ 45	+ ∞	+ ∞	+ 70	+ ∞	+ ∞	+ ∞	+ 2	+ 8	+ ∞
	Zürich	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Silber/ Palladium 70/30	Mannheim 1	- 25	- 25	- 12	- 20	- 11	- 4	- 30	- 50	- 7	- 50	- 50	- 30	+ 7	- 7	- 6	- 3
	Zürich	- 80	- 80	- 40	- 75	- 40	- 14	- ∞	- ∞	- 25	- ∞	- ∞	- ∞	+ 2	- 25	- 20	- 11
Palladium	Mannheim 1	- 2	- 1	+ 1	- 1	+ 2	+ 2	- 1	- 1	+ 2	- 2	- 1	- 1	+ 3	+ 3	+ 2	+ 15
	Zürich	- 15	- 14	- 8	- 10	- 5	- 4	- 13	- 12	- 5	- 16	- 11	- 9	- 9	- 3	- 5	+ 2

5 Übereinstimmung von Kurzzeit- und Langzeitresultaten

51 Numerische Ergebnisse des Summenhäufigkeitstests

Als Mass für die Übereinstimmung von Kurzzeit- und Langzeitresultaten dient die Verhältniszahl Z (s. Ziffer 34). In *Tabelle II* sind diese Werte für alle Kurzzeitexpositionen zusammengestellt. Die besten Übereinstimmungen sind drucktechnisch hervorgehoben. Es gelten folgende Konventionen:

- Falls $Z > 0$ Kurzzeittest aggressiver als Langzeit-test
- Falls $Z < 0$ Kurzzeittest weniger aggressiv als Langzeittest
- Falls $|Z| \leq 5$ Sehr gute bis schwache Übereinstimmung
- Falls $|Z| > 5$ Keine Übereinstimmung
- Falls $Z \geq 100$ Z-Wert symbolisch durch $+ \infty$ dargestellt
- Falls $Z \leq -100$ Z-Wert symbolisch durch $- \infty$ dargestellt

Gesamthaft gesehen fällt auf, dass in den weitaus meisten Fällen die Kurzzeittests gegenüber den einjährigen Auslagerungen weniger aggressiv wirken. Ferner besteht im allgemeinen ein logischer Zusammenhang zwischen der Dauer der Kurzzeitauslagerung (Auslagerungszeiten in Tagen im Tabellenkopf vermerkt) und den Verhältniszahlen, falls überhaupt ein Zeiteinfluss vor-

5 Concordance entre les résultats des tests de courte durée et des tests de longue durée

51 Résultats numériques des tests de fréquences cumulées

Le facteur Z exprime la mesure de concordance entre les résultats des tests de courte durée et des tests de longue durée (voir point 34). Ces valeurs sont récapitulées au *tableau II* pour toutes les expositions de courte durée. Les meilleures concordances sont mises en évidence par un procédé typographique. Les conventions suivantes sont applicables:

- Si $Z > 0$ Test de courte durée plus agressif que test de longue durée
- Si $Z < 0$ Test de courte durée moins agressif que test de longue durée
- Si $|Z| \leq 5$ Concordance très bonne à faible
- Si $|Z| > 5$ Pas de concordance
- Si $Z \geq 100$ Valeur Z représentée symboliquement par $+ \infty$
- Si $Z \leq -100$ Valeur Z représentée symboliquement par $- \infty$

Dans l'ensemble, on s'aperçoit que les tests de courte durée sont dans la majeure partie des cas moins agressifs que les expositions d'une année. Par ailleurs, il existe en général un rapport logique entre la durée de l'exposition de courte durée (temps d'exposition en jours noté sur l'en-tête du tableau) et les facteurs, dans la mesure où la durée d'exposition joue un rôle. Des exceptions confirment que ce ne sont pas seulement les

Tableau II. Résultats des tests de fréquence cumulée: Valeurs arrondies du facteur Z (Temps d'exposition mentionnés dans l'entête du tableau)

Matériel de contact	Exposition de longue durée 1 an	Acide sulfhydrique 0,5 ppm			Acide sulfhydrique 10 ppm			Anhydride sulfureux 1 ppm			Anhydride sulfureux 25 ppm			Gas-burning 10	Thioacétamide		
		4	10	21	4	10	21	4	10	21	4	10	21		2	4	10
1 µm Or 2 µm Nickel Bronze	Mannheim 1	- 2	- 2	- 2	- 2	- 3	- 2	- 2	+ 80	+ 18	+ 10	+ ∞	+ ∞	+ ∞	- 2	- 1	- 1
	Zurich	- 8	- 9	- 9	- 9	- 13	- 9	- 8	+ 20	+ 5	+ 3	+ ∞	+ ∞	+ ∞	- 7	- 5	- 5
2 µm Or 2 µm Nickel Bronze	Mannheim 1	- 3	- 3	- 3	- 3	- 3	- 3	- 3	+ 11	- 3	+ ∞	+ ∞	+ ∞	+ ∞	- 3	- 2	- 3
	Zurich	- 5	- 5	- 4	- 5	- 5	- 5	- 5	+ 8	- 4	- 5	+ ∞	+ ∞	+ ∞	- 4	- 4	- 4
1 µm Or 3 µm Cuivre Bronze	Mannheim 1	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 3	- 3	- 3	- 2	- 2	+ ∞	- 2	+ 3	+ 7
	Zurich	- 1	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 3	- 2	- 2	+ ∞	- 2	+ 3	+ 7
1 µm Or 2 µm Nickel Laiton	Mannheim 1	- 3	- 5	- 3	- 3	- 5	- 4	- 3	- 4	+ 9	- 4	- 3	- 4	+ 85	- 2	- 3	- 3
	Zurich	- 3	- 4	- 3	- 3	- 4	- 3	- 3	+ 10	- 3	- 3	+ 4	- 3	+ 4	- 2	- 2	- 2
Or/Argent 80/20	Mannheim 1	- 8	- 4	- 4	- 2	- 2	- 2	- 8	- 3	- 4	- 7	- 6	- 5	- 5	- 5	- 2	- 2
	Zurich	- ∞	- 80	- 70	- 50	- 25	- 25	- ∞	- 60	- 75	- ∞	- ∞	- 95	- ∞	- 90	- 45	- 30
Argent 1000	Mannheim 1	- 6	- 2	- 2	- 4	- 3	- 1	- 11	- 9	- 8	- 7	- 9	- 10	+ ∞	- 5	+ 1	+ 3
	Zurich	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Argent/ Nickel 90/10	Mannheim 1	- ∞	- ∞	- 20	- ∞	- ∞	- 85	+ 45	+ ∞	+ ∞	+ 70	+ ∞	+ ∞	+ ∞	+ 2	+ 8	+ ∞
	Zurich	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Argent/ Palladium 70/30	Mannheim 1	- 25	- 25	- 12	- 20	- 11	- 4	- 30	- 50	- 7	- 50	- 50	- 30	+ 7	- 7	- 6	- 3
	Zurich	- 80	- 80	- 40	- 75	- 40	- 14	- ∞	- ∞	- 25	- ∞	- ∞	- ∞	+ 2	- 25	- 20	- 11
Palladium	Mannheim 1	- 2	- 1	+ 1	- 1	+ 2	+ 2	- 1	- 1	+ 2	- 2	- 1	- 1	+ 3	+ 3	+ 2	+ 15
	Zurich	- 15	- 14	- 8	- 10	- 5	- 4	- 13	- 12	- 5	- 16	- 11	- 9	- 9	- 3	- 5	+ 2

handen ist. Ausnahmen bestätigen, dass nicht nur Kontaktwiderstände innerhalb von Kollektiven, sondern auch diese stark streuen können.

52 Qualitative Beurteilung der Übereinstimmung zwischen Kurzzeit- und Langzeittests

Table III enthält Globalurteile über den Grad dieser Übereinstimmungen. Massgebendes Kriterium ist in erster Linie das während einer Kurzeitauslagerung festgestellte beste Resultat.

Der Ausdruck «trivial-gut» bedeutet, dass eine gute Übereinstimmung deshalb zustande kommt, weil sowohl während der Kurzzeit- als auch der Langzeitexposition keine oder nur eine unbedeutende Widerstandserhöhung stattfindet.

Die zum Teil auffällig grossen Unterschiede zwischen den Mannheimer und Zürcher Resultaten beruhen, ausser auf unterschiedlichen atmosphärischen Gegebenheiten, auf dem bereits erwähnten Staubeinfluss der Auslagerungsstelle in Zürich (Strassenkreuzung).

53 Beurteilung der einzelnen Kurzzeittests

Schwefelwasserstoff-Testverfahren: Allgemein gut übereinstimmend mit den Ergebnissen von Mannheim, ausgenommen bei Silber/Nickel und Silber/Palladium; eher unbefriedigend im Vergleich zu Zürich.

Schwefeldioxid-Testverfahren: Bei Vergoldungen und nur kurzen Expositionszeiten trivial-gut übereinstim-

resistenzen de contact au sein de collectifs qui peuvent être l'objet d'une forte dispersion, mais aussi ces derniers.

52 Appréciation qualitative de la concordance entre les essais de courte durée et de longue durée

Le tableau III donne une appréciation globale de ces degrés de concordance. Le critère déterminant est en premier lieu le meilleur résultat observé durant une exposition de courte durée.

L'expression «manifestement bon» signifie qu'une bonne concordance est due au fait qu'une augmentation de résistance cruelle ou insignifiante est observée aussi bien durant les tests de courte durée que pendant l'exposition de longue durée.

Les différences parfois manifestes entre les résultats de Mannheim et ceux de Zurich sont imputables, d'une part, aux différences des conditions atmosphériques et, d'autre part, à l'influence de la poussière déjà évoquée du lieu d'exposition de Zurich (croisée de routes).

53 Appréciation individuelle des tests de courte durée

Méthode de test à l'acide sulfhydrique: Résultats correspondant en général bien avec ceux de Mannheim, à l'exception des contacts argent/nickel et argent/palladium; plutôt peu satisfaisants en comparaison avec Zurich.

Tabelle III. Übereinstimmung von Kurzzeit- und Langzeitauslagerungen

Kontaktwerkstoff	Langzeit-Auslagerung (1 Jahr)	Schwefelwasserstoff-Test	Schwefeldioxid-Test	Gasburning-Test	Thioacetamid-Test	Bemerkungen
Vergoldungen (alle 4 Varianten)	Mannheim 1 Zürich	trivial-gut trivial-gut bis schlecht	gut bis befriedigend ³ gut bis befriedigend ³	sehr schlecht ¹ sehr schlecht ¹	trivial-gut trivial-gut bis befriedigend	¹ Kurzeittest zu aggressiv ² Kurzeittest zu schwach ³ gilt allgemein nur für kurze Auslagerungszeiten ⁴ Kontaktwiderstände gleichwohl kleinbleibend
Gold/Silber 80/20	Mannheim 1 Zürich	gut bis befriedigend sehr schlecht ²	befriedigend ² sehr schlecht ²	schlecht ² sehr schlecht ²	sehr gut sehr schlecht ²	
Silber 1000	Mannheim 1 Zürich	gut —	schlecht ^{2,4} —	sehr schlecht ¹ —	sehr gut —	
Silber/Nickel 90/10	Mannheim 1 Zürich	sehr schlecht ² —	sehr schlecht ¹ —	sehr schlecht ¹ —	sehr gut ³ —	
Silber/Palladium 70/30	Mannheim 1 Zürich	sehr schlecht ² sehr schlecht ²	sehr schlecht ² sehr schlecht ²	schlecht ¹ sehr gut	befriedigend sehr schlecht ²	
Palladium	Mannheim 1 Zürich	trivial-gut sehr schlecht ²	trivial-gut sehr schlecht ²	gut sehr schlecht ²	sehr gut sehr gut	

mend, bei längeren Zeiten teilweise zu aggressiv wirkend; sehr aggressiv bei Silber/Nickel. Allgemein zu schwache Wirkung bei den übrigen Werkstoffen.

Gasburning-Testverfahren: Keine Übereinstimmung bei Vergoldungen, Silber und Silber/Nickel, da zu aggressiv. Bei Gold/Silber, Silber/Palladium und Palladium teilweise vergleichbare Resultate.

Thioacetamid-Testverfahren

Die Ergebnisse dieses besonders interessierenden Verfahrens werden etwas ausführlicher besprochen:

- Bei *vergoldeten Kontakten* ergeben sich im Vergleich zu den Langzeitauslagerungen trivial-gute Ergebnisse
- Bei *Gold/Silber-Kontakten* bestehen im Vergleich zu Mannheim mindestens so gute Übereinstimmungen wie bei den übrigen Kurzeittests. In bezug auf Zürich versagen aber alle diese Tests, weil zu schwach wirkend; der Thioacetamid-Test steht immerhin im zweitbesten Rang

Méthode de test à l'anhydride sulfureux: correspondance du type manifestation bon pour les contacts dorés et les temps d'exposition brefs; influence parfois agressive pour les longues durées d'exposition, très agressive pour les contacts argent/nickel. En général, trop faible effet pour les autres matériaux.

Méthode de test «gasburning»: pas de concordance pour les contacts dorés, les contacts d'argent et les contacts argent/nickel, parce que trop agressive. Pour les combinaisons or/argent, argent/palladium et palladium, résultats en partie comparables.

Méthode de test au thioacétamide: Les résultats de ce procédé particulièrement intéressant sont décrits ci-après plus en détail:

- Pour les *contacts dorés*, on a observé des résultats manifestation bons par rapport aux expositions de longue durée.
- Pour les *contacts or/argent*, la concordance est au moins aussi bonne que pour les autres tests de courte

Tableau III. Concordance des résultats pour les expositions de courte et de longue durée

Matériel de contact	Exposition de longue durée (1 an)	Test à l'acide sulfurique	Test à l'anhydride sulfureux	Test au «Gasburning»	Test au thioacétamide	Remarques
Dorures (les 4 variantes)	Mannheim 1 Zurich	Manifestement bon Manifestement bon à mauvais	Bon à satisfaisant ³ Bon à satisfaisant ³	Très mauvais ¹ Très mauvais ¹	Manifestement bon Manifestement bon à satisfaisant	¹ Test de courte durée trop agressif ² Test de courte durée trop faible ³ N'est valable d'une façon générale que pour les courtes durées d'exposition ⁴ Les résistances de contact restent tout de même faibles
Or/Argent 80/20	Mannheim 1 Zurich	Bon à satisfaisant Très mauvais ²	Satisfaisant ² Très mauvais ²	Mauvais ² Très mauvais ²	Très bon Très mauvais ²	
Argent 1000	Mannheim 1 Zurich	Bon —	Mauvais ^{2,4} —	Très mauvais ¹ —	Très bon —	
Argent/Nickel 90/10	Mannheim 1 Zurich	Très mauvais ² —	Très mauvais ¹ —	Très mauvais ¹ —	Très bon ³ —	
Argent/Palladium 70/30	Mannheim 1 Zurich	Très mauvais ² Très mauvais ²	Très mauvais ² Très mauvais ²	Mauvais ¹ Très bon	Satisfaisant Très mauvais ²	
Palladium	Mannheim 1 Zurich	Manifestement bon Très mauvais ²	Manifestement bon Très mauvais ²	Bon Très mauvais ²	Très bon Très bon	

- Bei *Silberkontakten* entstehen trivial-gute Resultate (ähnlich wie bei den Schwefelwasserstoff-Tests)
- *Silber/Nickel-Kontakte* erreichen durch den Thioacetamid-Test ähnlich grosse Kontaktwiderstände wie in Mannheim. Die Schwefelwasserstoff-Tests wirken selbst nach 21 Tagen zu schwach, die Schwefeldioxid-Tests bereits nach vier Tagen zu aggressiv. Daraus kann geschlossen werden, dass beim Thioacetamid-Test in Spuren vorhandenes Schwefeldioxid das praxisnahe Korrosionsverhalten bestimmt
- Auch bei *Silber/Palladium-Kontakten* ist die Übereinstimmung mit Mannheim gut, schlecht jedoch mit Zürich, da zu schwach wirkend. Das Thioacetamid-Resultat ist immerhin besser als die Ergebnisse der übrigen Kurzzeittests
- Bei *Palladiumkontakten* bestehen für alle Kurzzeittests, der Thioacetamid-Test eingeschlossen, trivial-gute Übereinstimmungen. In Zürich steigen die Kontaktwiderstände innerhalb eines Jahres stark an; nur durch den Thioacetamid-Test entstehen vergleichbar hohe Werte.

6 Schlussfolgerungen

Eine globale Beurteilung der Übereinstimmungsgrade von Kurzzeit- und Langzeitergebnissen führt zur Erkenntnis, dass keiner der genormten Einkomponenten-Schadgastests (Schwefelwasserstoff- und Schwefeldioxid-Tests nach IEC) nur widerspruchsfreie und richtige Ergebnisse liefert. Dasselbe gilt auch für den Gasburning-Test. Demgegenüber stimmen die Thioacetamid-Resultate mehrheitlich gut mit den Langzeitergebnissen überein. Dies trifft besonders bei Palladium, Silber/Palladium und Silber/Nickel zu. *Der Thioacetamid-Test ist somit ein einfaches und billiges Verfahren, das in vielen Fällen ebenso brauchbare, oftmals sogar bessere Ergebnisse liefert als aufwendigere Prüfverfahren.*

Eine ganz andere, aber ebenso wichtige Erkenntnis ist, dass es nach wie vor den Werkstoffspezialisten braucht, der aufgrund seiner Materialkenntnisse und unter Berücksichtigung von Testergebnissen befähigt ist, Kontaktwerkstoffe auszuwählen, die den spezifischen Bedingungen genügen.

Bibliographie

- [1] *CES UK50/KE*, «Korrosionseinfluss auf Kontakte». Verhalten elektrischer Kontaktwerkstoffe bei Kleinstspannungen in Industriatmosphären. Band A: Allgemeines und Grundlagen. Band B: Langzeitauslagerungen. Anhang zu Band B: Urdaten der Kontaktwiderstände nach Langzeitauslagerung. Band C: Kurzeitauslagerungen. Band D: Interpretationen und Vergleiche. Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, Zürich.
- [2] *Gerber Th. P.* Test Programme und Evaluation of Completed Long-Term and Short-Term Corrosion Tests. Konferenz-Tagungsband: 13th International Conference on Electric Contacts 1986, Lausanne, Switzerland, 15.–19. September 1986. Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, Zürich, S. 366.
- [3] *Müller R., Wälchli R. und Kunzmann A.* Influence of Atmospheric Corrosion on Electrical Contacts. Konferenz-Tagungsband: 13th International Conference on Electric Contacts 1986, Lausanne, Switzerland, 15.–19. September 1986. Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, Zürich, S. 371.

durée, en comparaison avec Mannheim. Par rapport à Zurich, tous ces tests sont inapplicables parce que trop peu efficaces; le test au thioacétamide est toutefois au deuxième rang.

- Pour les *contacts d'argent*, on observe des résultats manifestement bons (comparables à ceux que donne le test à l'acide sulfhydrique).
- Les *contacts argent/nickel* donnent lors du test au thioacétamide des résultantes de contacts pratiquement aussi grandes qu'à Mannheim. Les tests à l'acide sulfhydrique agissent trop faiblement, même après 21 jours, les tests à l'anhydride sulfureux sont en revanche trop agressifs après quatre jours déjà. On peut en conclure que lors du test au thioacétamide les traces d'anhydride sulfureux se traduisent par un comportement à l'égard de la corrosion proche de la pratique.
- Aussi pour les *contacts argent/palladium*, la concordance avec Mannheim est bonne, mais en revanche mauvaise avec Zurich, car l'effet de ce procédé est trop faible. Le résultat du test au thioacétamide est cependant meilleur que les résultats des autres tests de courte durée.
- Pour les *contacts au palladium*, on observe pour tous les tests de courte durée des concordances manifestement bonnes, test au thioacétamide compris. A Zurich, les résistances de contact augmentent fortement en l'espace d'une année; seul le test au thioacétamide donne des valeurs comparativement aussi élevées.

6 Conclusions

Une appréciation globale des degrés de concordance entre les résultats des tests de courte durée et des tests de longue durée fait apparaître qu'aucun des tests normalisés à base d'un seul gaz nocif (tests à l'acide sulfhydrique et à l'anhydride sulfureux selon CEI) ne donne que des résultats corrects et exempts de contradictions. La même remarque s'applique au test «gasburning». En revanche, la plupart des résultats des tests au thioacétamide correspondent bien avec les résultats des expositions de longue durée. Tel est en particulier le cas pour le palladium, ainsi que les combinaisons argent/palladium et argent/nickel. *Il appert donc que le test au thioacétamide est un procédé simple et peu coûteux donnant dans de nombreux cas des résultats aussi bons, sinon meilleurs, que des méthodes d'essai plus compliquées.*

On s'est en outre aperçu d'un autre fait, différent sans doute mais non moins important: comme jusqu'ici, l'avis d'un spécialiste capable de choisir des matériaux pour contacts répondant aux conditions spécifiques en se fondant sur son expérience et sur les résultats des tests demeure indispensable.

- [4] *Gerber Th. P.* An Improved Thioacetamide Corrosion Test. Konferenz-Tagungsband: 13th International Conference on Electric Contacts 1986, Lausanne, Switzerland, 15.–19. September 1986. Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, Zürich, S. 378.
- [5] *Fischer R.* Prüfatmosphäre mit Thioacetamid zur Korrosionsprüfung elektrischer Kontaktwerkstoffe. Techn. Mitt. PTT, Bern, 65 (1987) S. 560.