Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 79 (1988)

Heft: 13

Artikel: Korrosionsverhalten elektrischer Kontaktwerkstoffe unter Industrie- und Schadgaseinflüssen

Autor: Gerber, T.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904050

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 14.07.2025

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

Korrosionsverhalten elektrischer Kontaktwerkstoffe unter Industrie- und Schadgaseinflüssen

Th. Gerber

Eine Arbeitsgruppe des CES hat zum Korrosionsverhalten von Kontaktwerkstoffen umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Der Autor bespricht das Versuchskonzept und die Ergebnisse von Auslagerungsversuchen mit verschiedenen Kontaktwerkstoffen. Das unter sog. natürlichen atmosphärischen Einflüssen (Industrie- und Stadtklima) ermittelte Langzeitverhalten wird mit dem Kurzzeitverhalten unter zeitraffenden Prüfbedingungen verglichen. Wichtigstes Kriterium zur Beurteilung des Korrosionsverhaltens ist der elektrische Kontaktwiderstand.

En se basant sur les recherches entreprises par un groupe de travail du CES, l'auteur décrit les principes d'essais d'exposition à des atmosphères corrosives de divers matériaux pour contacts électriques et les résultats obtenus. Il compare notamment le comportement de ces matériaux lors d'une exposition de longue durée sous conditions atmosphériques dites naturelles (climat industriel et climat urbain) à leur comportement lors d'une exposition de courte durée sous des conditions accélérées. Le critère d'appréciation majeur du comportement à l'égard de la corrosion est la résistance de contact électrique.

Adresse des Autors
Dr. phys. *Theodor Gerber*,
alt Sektionschef GD PTT,
Burgerstrasse 8, 3063 Ittigen.

1. Einleitung

Die Unterkommission «Korrosionseinfluss auf Kontakte» des Schweizerischen Elektrotechnischen Komitees (UK 50/KE des CES), eine schweizerische Arbeitsgemeinschaft, bestehend aus Vertretern der Fernmeldeindustrie sowie der Hauptabteilung Forschung und Entwicklung der Generaldirektion PTT, hat 1987 ein grossangelegtes Versuchsprogramm mit Werkstoffen für elektrische Kontakte abgeschlossen. Das Ziel der Untersuchungen bestand einerseits darin, das Verhalten dieser Werkstoffe unter sogenannt natürlichen klimatischen Einflüssen, anderseits 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. Es handelt sich um eine überarbeitete Fassung des in [5] bereits erschienenen Aufsatzes.

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. Bei diesen handelt es sich vor allem um licht- und elektronenmikroskopische Oberflächenuntersuchungen sowie photoelektronen-spektroskopische Abklärungen (XPS-Photoemissionsverfahren). Auf die Ergebnisse dieser Untersuchungen kann hier nicht eingegangen werden.

2. Versuchsprogramme und Datenverarbeitung

2.1 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 aus diesen Werkstoffen 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.

2.2 Langzeitauslagerungen

Diese Auslagerungen fanden an folgenden Örtlichkeiten statt:

- *Mannheim*, mit typischer Industrieatmosphäre, hauptsächlich Schadstoffen aus Chemiebetrieben; Jahresmittel: ≈ 1 ppb H_2S; ≈ 40 ppb SO_2, Winterspitzenwert >100 ppb SO_2; ≈ 16 ppb NO_2; ≈ 13 ppb NH_3. 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; Jahresmittel ≈ 35 ppb SO_2, Winterspitzenwert >250 ppb SO_2. Die Prüflinge waren in einem mit Ventilationsschlitzen versehenen Kasten 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 betrugen bis zu zwei Jahren. Probestäbchen wurden jedoch bereits nach drei, sechs und zwölf Monaten entnommen.

2.3 Kurzzeitauslagerungen

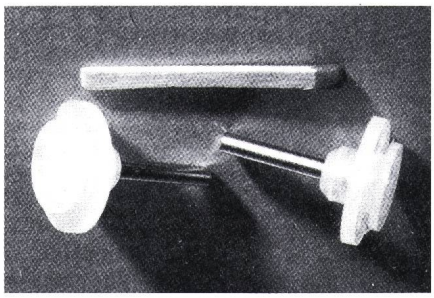
Bei diesen Schadgastests wurden folgende Verfahren angewendet:

Schwefeldioxid-Test in zwei Varianten: 1 ppm und 25 ppm SO_2, gemäss IEC 68-2-42; Prüfdauer: 4, 10 und 21 Tage.

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%), danach 1 Tag Schwefelwasserstoff, ebenfalls 10 000 ppm.



Figur 1 Stäbchenpaar für Auslagerungsversuche

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 ($CH_3COONa \cdot 3H_2O$) bedeckt sein, wodurch eine konstante relative Luftfeuchtigkeit von 75% gewährleistet wird. Die Temperatur soll 23±2 °C betragen [6].

2.4 Messbedingungen

Die Kontaktwiderstandsmessungen erfolgten nach der Vierdraht-Methode, also mittels Strom- und Spannungsmessung. 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 die sogenannte Verschiebungsmessung, nachdem eine Hin- und Hergleitbewegung der Stäbchen um ±⅛ mm stattgefunden hat. Die Kontaktkräfte liegen abgestuft im Bereich zwischen 0,1 N und 2,0 N, 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.

2.5 Datenverarbeitung und Auswerteverfahren

Aus den Langzeitauslagerungen ergaben sich rund 160 000, aus den Kurzzeitauslagerungen rund 70 000 Kontaktwiderstandsmesswerte. Die mittels EDV berechneten mathematisch-statistischen Daten und deren

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	

Tabelle Ia Werkstoffe für Massivstäbchen

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 beschichtete Stäbchen

Darstellung sind aus Figur 3 resp. der Legende ersichtlich. Zusätzlich wurden für alle Messreihen die Dezile (10%, 20%, ...100%-Werte) berechnet, da sie für den nachfolgend beschriebenen mathematischen Summenhäufigkeitstest benötigt werden. Diese Auswertung ermöglicht die quantitative Beurteilung des Unterschiedes von Kontaktwiderstands-Messreihen. Die bekannten für nichtparametrische Verteilungen prädestinierten Methoden erwiesen sich als dafür ungeeignet [5].

Massgebend sind die mittleren Abstände von im dekadisch-logarithmischen Massstab dargestellten Summenhäufigkeitskurven gemäss Figur 2. Der Summenhäufigkeitstest liefert eine Verhältniszahl Z; diese gibt an, um welchen Faktor sich die Widerstandswerte der entsprechenden Kollektive global unterscheiden. Z ist für die Kollektive A und B wie folgt definiert:

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

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

wobei a_n bzw. b_n die Dezilwerte von A und B sind. Das Vorzeichen (signum) von $Z_{a,b}$ entscheidet, ob global betrachtet, die Werte von A oder B grösser sind:

Falls $Z_{a,b} > 0$ bzw. sign $Z_{a,b} = +1$, so ist $A > B$

Falls $Z_{a,b} < 0$ bzw. sign $Z_{a,b} = -1$, so ist $A < B$

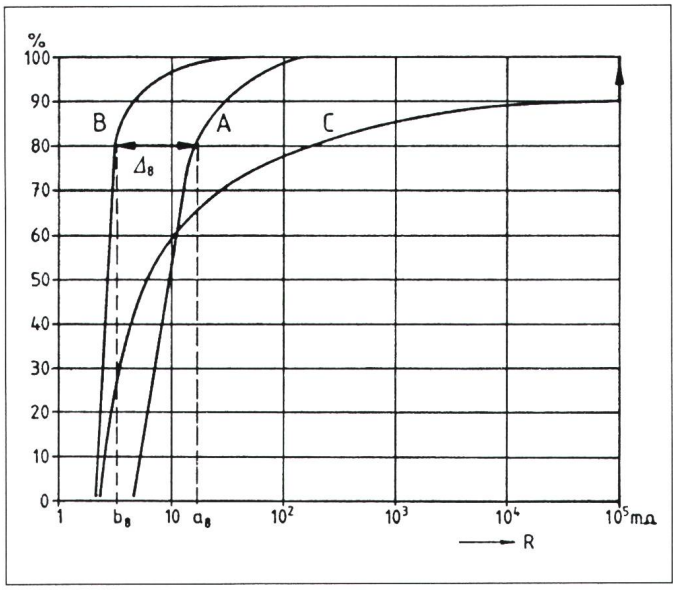
Folgende Übereinstimmungsgrade wurden festgelegt:

	$\lvert Z \rvert \leq 2$	sehr gute Übereinstimmung
$2 <$	$\lvert Z \rvert \leq 3{,}2$	gute Übereinstimmung
$3{,}2 <$	$\lvert Z \rvert \leq 5$	schwache Übereinstimmung
	$\lvert Z \rvert > 5$	keine Übereinstimmung

Für Figur 2 gilt beispielsweise:

$Z_{A,B} = +3{,}8$, 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.



Figur 2
Beispiel für drei Summenhäufigkeitskurven von unterschiedlicher Übereinstimmung
Vergoldete Stäbchen
Kurve *A*:
1 Jahr Langzeitauslagerung in Zürich
Kurve *B*:
10 Tage Kurzzeitauslagerung in Schwefeldioxid 1 ppm
Kurve *C*:
21 Tage Kurzzeitauslagerung in Schwefeldioxid 1 ppm

3. Ergebnisse der Langzeit- und Kurzzeitauslagerungen

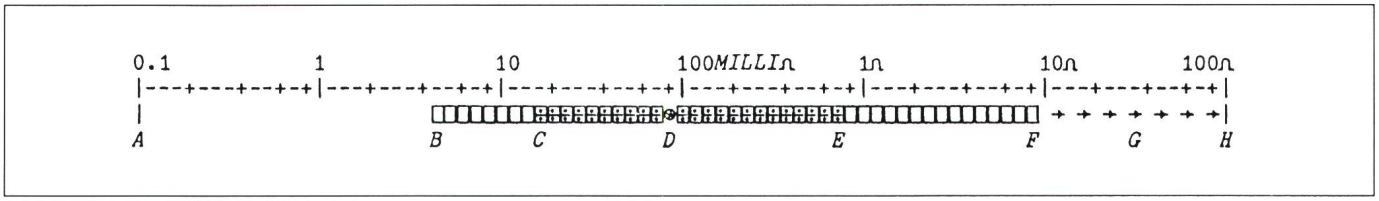
3.1 Kontaktwiderstände

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. Interessierende Ergebnisse sind durch Histogramme dargestellt. Aus Figur 3 und der zugehörigen Legende ist ersichtlich, welche statistischen Masszahlen veranschaulicht werden.

Die Histogramme der Figur 4 vermitteln die Resultate aus Mannheim 1 im Vergleich zu den Initialwerten und den Kurzzeitergebnissen. Das analoge gilt für Figur 5 mit Zürich als Langzeitauslagerungsort. Es sind nur jene Ergebnisse der Kurzzeitauslagerungen zusammengestellt, die die beste Übereinstimmung mit den Langzeitresultaten zeigen.

3.2 Kommentare zum Langzeitverhalten

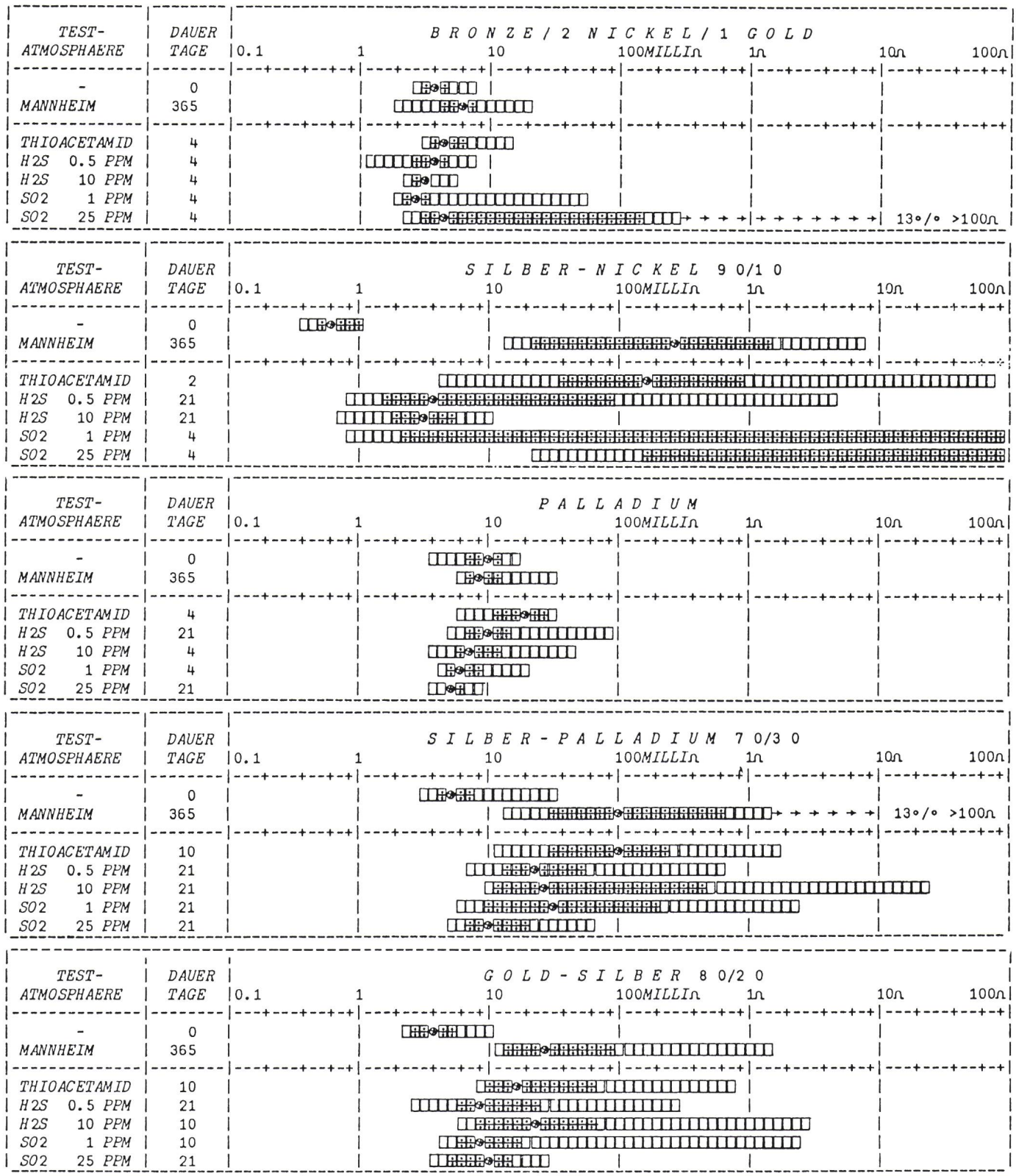
Vergoldete Kontakte: Nur unwesentliche Widerstandserhöhungen,



Figur 3 Histogrammdarstellung von statistischen Widerstandsdaten

A Untere Bereichsgrenze (0,1 m Ω)
B Minimalwert
C Q16-Quantil (16%-Wert)
D Median (Zentralwert)
E Q84-Quantil (84%-Wert)
F Submaximum (grösster Wert < 100 Ω)
G Hinweispfeile für Werte ≥ 100 Ω
H Obere Bereichsgrenze (100 Ω)

Massstab: Logarithmisch, annähernd unterteilt in die Stufen 1, 2, 4, 6, 8, 10 usw.



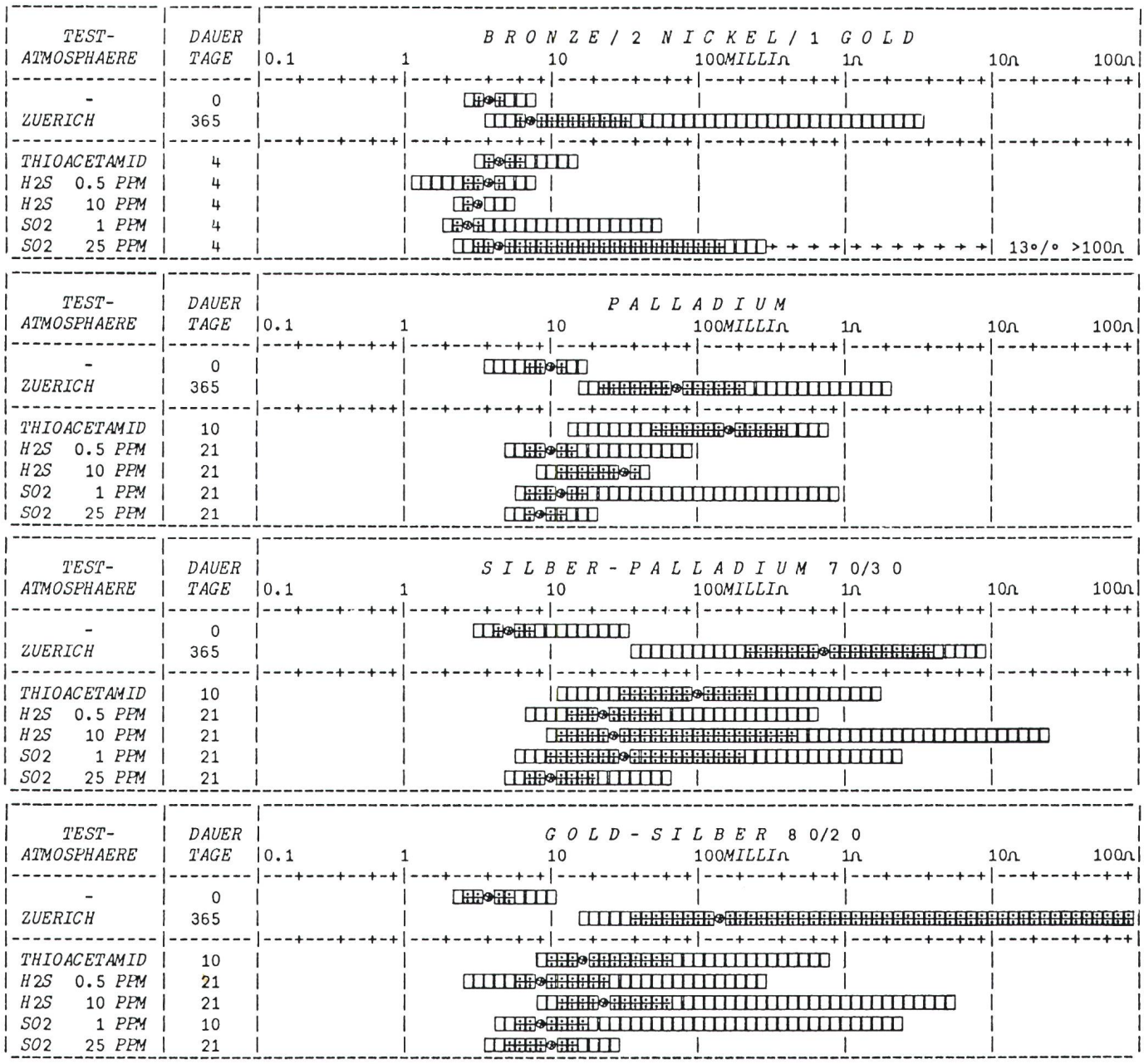
Figur 4 Histogramme der Ergebnisse von Mannheim 1 im Vergleich zu den besten Kurzzeitresultaten

falls Porenfreiheit besteht. Höhere Werte in Zürich sind auf Staubablagerung zurückzuführen.

Silber-, Silber/Nickel- und Silber/Palladium-Kontakte: Wesentliche Widerstandserhöhungen. Reinsilber verhält sich günstiger als seine Legierungen.

Palladium-Kontakte: Sehr gutes Verhalten in Mannheim, wesentlich schlechteres in Zürich (Staubablagerungen).

Gold/Silber-Kontakte: Etwas höhere Widerstandswerte als bei einwandfrei vergoldeten Kontakten (gilt besonders für Zürich).



Figur 5 Histogramme der Ergebnisse von Zürich im Vergleich zu den besten Kurzzeitresultaten

3.3 Kommentare zum Kurzzeitverhalten

Vergoldete Kontakte: Im allgemeinen nur unwesentliche Beeinflussung durch Schwefelwasserstoff- und Thioacetamid-Tests. Der Schwefeldioxid-Test wirkt jedoch sehr aggressiv, falls Vergoldungen nicht porenfrei sind (viele Werte > 100 Ω).

Silber-Kontakte: 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.

Palladium-Kontakte: Ähnliches Verhalten wie Silber/Palladium-Kontakte, jedoch Widerstandszunahme geringer.

Gold/Silber-Kontakte: Sie sind gegenüber Schwefelwasserstoff etwas empfindlicher als gegenüber Schwefeldioxid. Der Thioacetamid-Test wirkt ähnlich wie der 10-ppm-Schwefelwasserstoff-Test.

3.4 Übereinstimmung von Kurzzeit- und Langzeitresultaten

Als Mass für die Übereinstimmung von Kurzzeit- und Langzeitresultaten dient die Verhältniszahl *Z*. In Tabelle II sind diese Werte für alle Kurzzeitexpositionen zusammengestellt. Die besten Übereinstimmungen sind ***kursiv***

Kontaktwerkstoff	Langzeit-Auslagerung 1 Jahr	Schwefelwasserstoff 0,5 ppm 4	10	21	Schwefelwasserstoff 10 ppm 4	10	21	Schwefeldioxid 1 ppm 4	10	21	Schwefeldioxid 25 ppm 4	10	21	Gasburning 10	Thioacetamid 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	– 3	+11	– 3	+∞	+∞	+∞	– 3	– 2	– 3
	Zürich	– 5	– 5	– 4	– 5	– 5	– 5	– 5	– 4	+ 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	– 3	+10	– 3	– 3	+ 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

Tabelle II Ergebnisse der Summenhäufigkeitsuntersuchung: gerundete Werte der Verhältniszahlen Z
(Expositionszeiten, d.h. Anzahl Tage im Tabellenkopf vermerkt)

hervorgehoben. Es gelten folgende Konventionen:

- Falls $Z > 0$
  Kurzzeittest aggressiver als Langzeittest
- Falls $Z \geqq 100$
  Z-Wert symbolisch durch $+\infty$ dargestellt.

Gesamthaft gesehen fällt auf, dass in den weitaus meisten Fällen die am besten übereinstimmenden Kurzzeittests gegenüber den einjährigen Auslagerungen weniger aggressiv wirken. Ferner besteht im allgemeinen ein logischer Zusammenhang zwischen der Dauer der Kurzzeitauslagerung und den Verhältniszahlen, falls überhaupt ein Zeiteinfluss vorhanden ist. Ausnahmen bestätigen, dass nicht nur Kontaktwiderstände innerhalb von Kollektiven, sondern auch diese stark streuen können.

Tabelle III enthält Globalurteile über den Grad dieser Übereinstimmungen. Massgebendes Kriterium ist in erster Linie das während einer Kurzzeitauslagerung 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 den Zürcher Resultaten beruhen, ausser auf unterschiedlichen atmosphärischen Gegebenheiten, auf dem Staubeinfluss der Auslagerungsstelle in Zürich (Strassenkreuzung).

3.5 Beurteilung der 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 trival-gut übereinstimmend, 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: Im allgemeinen gute Übereinstimmung mit den Mannheimer-Ergebnissen bei Silber, Silber/Nickel, Silber/Palladium und bei Gold/Silber; trivial-gute Übereinstimmung bei Vergoldungen und Palladium. Im Vergleich zu Zürich zu schwach wirkend bei Gold/Silber und Silber/Palladium.

3.6 Reproduzierbarkeit

Stäbchenvergleiche: Verschiedene Kurzzeit- und Langzeitauslagerungen wurden als Doppelversuche durchge-

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] Kurzzeittest zu aggressiv [2] Kurzzeittest 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	

Tabelle III Übereinstimmung von Kurzzeit- und Langzeitauslagerungen

führt, was Vergleiche zwischen Stäbchenpaaren ermöglicht. Als Mass für den Übereinstimmungsgrad dient wiederum die Verhältniszahl Z. Für diese Abklärung geeignet sind Werkstoffe, die weder praktisch unverändert bleiben noch extrem stark korrodieren.

Langzeitauslagerungen in Mannheim 1 während 90...180 Tagen:

- Vergoldete Stäbchen (4µm Au): $Z = 1{,}1...1{,}5$
- Silber/Nickel-Stäbchen (90/10): $Z = 2{,}4...3{,}1$

Kurzzeitauslagerungen nach IEC, 4...21 Tage:

- Vergoldete Stäbchen (2µm Au) in SO_2-Tests $Z = 4{,}1...7{,}0$
- Gold/Silber-Stäbchen (80/20) in SO_2-Tests $Z = 1{,}1...2{,}6$
- Gold/Silber-Stäbchen (80/20) in H_2S-Tests $Z = 1{,}3...8{,}8$
- Gold/Nickel-Stäbchen (90/10) in SO_2-Tests $Z = 1{,}6...14$

Im allgemeinen bestehen bessere Übereinstimmungen zwischen Stäbchenpaaren, falls nur schwache Korrosion stattfindet.

Kammervergleiche: Die IEC-Kurzzeittests in drei verschieden konstruierten Klimaschränken ergeben folgende Verhältniszahlen (Mass für die Kammereinflüsse):

- Gold/Silber (80/20) in SO_2-Tests 1 ppm: $Z \leq 2...3$
- Gold/Silber (80/20) in SO_2-Tests 25 ppm: $Z \leq 2...3$
- Gold/Silber (80/20) in H_2S-Tests 0,5 ppm: $Z \geq 3$
- Gold/Silber (80/20) in H_2S-Tests 10 ppm: $Z \leq 2$

Die Kammereinflüsse treten hauptsächlich dann zutage, wenn die Kontaktwiderstände rasch ansteigen.

Die unterschiedliche Beschaffenheit und dementsprechend die unterschiedliche Reaktionsfähigkeit der Prüfobjekte wirken sich im allgemeinen stärker aus als die Kammerunterschiede. Es ist deshalb empfehlenswert, Korrosionstests unter Wiederholung durchzuführen.

4. 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 führt der ohne grossen Aufwand durchführbare Thioacetamid-Test zu mehrheitlich gut übereinstimmenden Ergebnissen.

Eine ganz andere, 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.

Literatur

[1] Verhalten elektrischer Kontaktwerkstoffe bei Kleinstspannungen in Industrieatmosphären. Band A: Allgemeines und Grundlagen. Band B: Langzeitauslagerungen. Anhang zu Band B: Urdaten der Kontaktwiderstände nach Langzeitauslagerung. Band C: Kurzzeitauslagerungen. Band D: Interpretationen und Vergleiche. Herausgegeben von der CES-Unterkommission «Korrosionseinfluss auf Kontakte» (CES UK50/KE). Bern, Gfeller AG, 1986/1987.

[2] *T.P. Gerber:* Test programme and evaluation of completed long-term and short-term corrosion tests. 13th International Conference on Electric Contacts 1986; Lausanne/Switzerland, 15...19 September 1986. Zürich, SEV, 1986; p. 366...370.

[3] *R. Müller, R. Wälchli, A. Kunzmann:* Influence of atmospheric corrosion on electrical contacts. 13th International Conference on Electric Contacts 1986; Lausanne/Switzerland, 15...19 September 1986. Zürich, SEV, 1986; p. 371...377.

[4] *T.P. Gerber:* An improved thioacetamide corrosion test. 13th International Conference on Electric Contacts 1986; Lausanne/Switzerland, 15...19, September 1986. Zürich, SEV, 1986; p. 378...382.

[5] *T. Gerber:* Korrosionsverhalten elektrischer Kontaktwerkstoffe. Techn. Mitt. PTT 65(1987)12, S. 546...559.

[6] *R. Fischer:* Prüfatmosphäre mit Thioacetamid zur Korrosionsprüfung elektrischer Kontaktwerkstoffe. Techn. Mitt. PTT 65(1987)12, S. 560...565.