Heraeus

WHITE PAPER

Silberkontaktwerkstoffe für Schleifringübertrager

Silberkontaktwerkstoffe für Schleifringübertrager

Bernd Gehlert, Dipl.-Ing. Elektrotechnik, Heraeus Deutschland GmbH & Co. KG



Seit 1981 Entwicklungsingenieur bei Heraeus, seit 1985 Entwicklungsprojektleiter für elektrische Schaltkontakte und seit 1995 Leiter des Kontaktlabors. Seit 2004 Mitglied im VDE-Fachausschuss "Kontaktverhalten und Schalten" der ETG-Q3 und ITG-9.5, seit 2007 stellvertretender Vorsitzender des Fachausschusses "Kontaktverhalten und Schalten". Vielzahl diverser Vorträge, Veröffentlichungen und Patente auf dem Gebiet der elektrischen Kontakttechnik.

INHALT

1 EINLEITUNG	3
2 EXPERIMENTELLES	4
2.1 WERKSTOFFAUSWAHL	4
2.2 VERSUCHSABLAUF	4
2.2.1 REIBVERSCHLEISS	4
2.2.2 KONTAKTWIDERSTAND UND KORROSION	4
3 ERGEBNISSE	6
3.1 REIBVERSCHLEISS	6
3.2 KONTAKTWIDERSTAND UND KORROSION	7
3.3 SCHLEIFRINGÜBERTRAGERTEST	9
4 ZUSAMMENFASSUNG	10
5 LITERATUR	11

KURZFASSUNG

Qualitativ hochwertige Schleifringübertrager werden in hohem Maße mit gold-basierten Kontaktsystemen aufgebaut. Der Kostendruck auf Übertragersysteme, z. B. in Windkraftanlagen, hat in den letzten Jahren stetig zugenommen. Einsparungspotentiale bestimmen die Wettbewerbsfähigkeit der Anbieter. Aufgrund des wesentlich niedrigeren Silberpreises gewinnen galvanische Silberoberflächen auf Schleifringkörpern sowie Silberlegierungen als Abgreiferkontakte an wirtschaftlicher Bedeutung und bieten in vielen Anwendungsbereichen eine sichere Lösung.

Typische Bauformen zur kontinuierlichen Stromübertragung sind zum Beispiel zylindrische Schleifringübertrager mit tangential anliegenden Schleifkontakten, bestehend aus einzelnen Federdrähten, Vieldrahtschleifern und sogenannten "Büschel-Bürsten". Hierbei werden mehrere dünne Federdrähte büschelartig zusammengefasst. Das elektrische Lastspektrum reicht von der Daten- bis zur Energieübertragung. Zur Übertragung hoher Ströme bis zu 250 A werden je nach Anwendung mehrere Schleifkontakte parallel auf einer Schleifbahn angeordnet.

Im Rahmen dieser Arbeit wird das Kontaktverhalten verschiedener Hartsilber-Oberflächen für Schleifringübertrager-Anwendungen vergleichend gegenübergestellt und mögliche Konstruktionen von Schleifkontakten beschrieben.

1 EINLEITUNG

In nahezu allen Bereichen hochwertiger Schleifringübertrager kommen Edelmetallkontaktwerkstoffe zum Einsatz. Dadurch wird Oxidation und Korrosion in den Kontaktzonen vermieden und eine zuverlässige Signal- und Laststromübertragung ermöglicht. **1**, **2**, **3**

Eine hohe Kontaktzuverlässigkeit gegenüber Kurzzeitunterbrechungen durch Abhebevorgänge wird mit der Aufteilung des zu übertragenden elektrischen Stromes auf möglichst viele Kontaktstellen ermöglicht. Laufgeräusche und Rauschspannungen gelten als Maß für die Anzahl der Stromunterbrechungen. Diese Größen können als Schleifkontakt-bezogene Nutzlebensdauer von Schleifringübertrager angesehen werden und nehmen mit dem Quadrat der Anzahl von parallel angeordneten, stromführenden Schleifkontaktpunkten ab

Konstruktive Lösungen bieten Vieldrahtschleifkontakte, die durch Mikropräzisions-Schweißen 5 hergestellt werden oder pinselförmige Büschel-Schleifkontakte mit einer Vielzahl gecrimpter Edelmetalldrähte aus federharten Silber-, Palladium oder Goldlegierungen, Bild 1a und b. Des Weiteren kommen auch Schleifkontakte aus walztechnisch hergestellten Manteldrähten, aus einzelnen Drähten oder gestanzten Federn zum Einsatz. Neben massiven Ausführungen werden zur Edelmetalleinsparung auch walzplattierte, selektiv galvanisch beschichtete oder schweißtechnisch hergestellte Lösungen verwendet 1. Nicht federharte Silberlegierungen mit guten Schleifkontakteigenschaften können auf entsprechende Trägerwerkstoffe aufgeschweißt werden [6].

Typische Kontaktpartner sind galvanisch beschichtete Unedelmetall-Ringe oder strukturierte Leiterplatten mit Hartsilber- oder Hartgold-Oberflächen. Aus wirtschaftlichen Gründen können die Schleifringe auch selektiv im Stirnkantenbereich beschichtet werden.



Bild 1: a) Geschweißter Vieldrahtschleifer, AgPd-Legierung, 2 x 10 Drähte, d = 76 μm, l = 3,5 mm
b) In Cu-Hülsen gecrimpter Büschel-Schleifkontakt, AgCu-Legierung, 14 Drähte, d = 0,25 mm, l = 55 mm

Da ein Test im tatsächlichen Schleifringübertrager-Betrieb aufgrund der großen Anzahl der zu untersuchenden Materialpaarungen nicht realisierbar ist, wurde zunächst eine Vorauswahl mit einem mechanischen Reibverschleißtest getroffen. Anschließend wurden mit ausgesuchten Silberoberflächen Untersuchungen an einer Modelltestanlage 2 durchgeführt, die Schleifringübertrager-Betriebsbedingungen möglichst exakt nachbildet.

2 EXPERIMENTELLES

2.1 WERKSTOFFAUSWAHL

Ziel dieser Arbeit ist die kontakttechnische Untersuchung verschleißbeständiger galvanischer Silberschichten für Schleifringübertrager. Entsprechend der Anwendung wurden 10 µm dicke Silberschichten mit Nickel-Zwischenschichten auf Messing untersucht.

Die untersuchten Heraeus Hartsilberschichten unterscheiden sich durch unterschiedliche glanzbildende und härtende Zusätze auf organischer Basis, Tabelle 1. Als Basis zur Untersuchung des Einflusses von passivierenden Oberflächenfinishs auf das Kontaktverhalten wurde die im Reibverschleißtest beständigste Hartsilber 3 Oberfläche gewählt.

Als Gegenkontaktwerkstoff wurde bei den Reibverschleißund Stromübertrager-Tests eine federharte Silber-Kupfer-Legierung (HV 160 – 190) verwendet.

Nr.	Ag – Beschichtung 10 µm
1	Standard-Silber
2	Standard-Silber mit erhöhtem Glanz-Zusatz
3	Hartsilber 1
4	Hartsilber 2
5	Hartsilber 3
6	Hartsilber 3 mit Nano-Dispersionszusatz
	Oberflächenfinish auf Hartsilber 3
7	Sn-haltiger Silberanlaufschutz
8	Elektrolytische Passivierung
9	Polymer-Passivierung

 Tabelle 1:
 Silberoberflächen auf Testplättchen für Reibverschleißuntersuchungen

2.2 VERSUCHSABLAUF

2.2.1 REIBVERSCHLEISS

Der Reibverschleiß hängt in komplexer Weise von einer Reihe von Parametern ab wie Härte, Materialkombination, Reibweg und Normalkraft sowie Geometrie und Oberflächenbeschaffenheit. Unter idealisierten Bedingungen wurden im Modellversuch Verschleißtests zur vergleichenden Bewertung der Silber-Kontaktschichtsysteme durchgeführt. Die Abbildung 2 zeigt das Schema einer einfachen Reibverschleißapparatur. Über einen Exzenter wird der Probenhalter mit Testplättchen gegenüber dem Gegenkontakt hin und her bewegt. Der Gegenkontakt/ Reibpartner (ein mit r = 1,5 mm gebogener Draht d = 0,8 mm) wird über einen Hebelarm gegen das Testplättchen gedrückt. Über eine Kraftmessdose werden die Reibkräfte bis zu 250 Reibzyklen gemessen. Die mittlere Reibgeschwindigkeit v = 5 mm/s, der Reibweg s = 5 mm und die Kontaktkraft FK = 150 cN wurden konstant gehalten.



Bild 2: Prinzip der Reibverschleißprüfung, 1 Kraftmessdose,
2 Testplättchenhalter, 3 Testplättchen, 4 Reibpartner,
5 Hebelarm mit Gewicht

2.2.2 KONTAKTWIDERSTAND UND KORROSION

Der Kontaktwiderstand wird mit getrennter Stromspannungs-Messung erfasst, damit Zuleitungswiderstände die Messung nicht beeinflussen . Um zu verhindern, dass die angelegte Spannung eventuell vorhandene Fremdschichten auf der Kontaktoberfläche durchschlägt, ist die Leerlaufspannung des Messkreises auf < 20 mV begrenzt, der Mess-Strom beträgt 10 mA . Die mechanischen Einflüsse wie Reibung und Schließimpuls wurden möglichst niedrig und konstant gehalten. Als Sondenkontakt wurde ein vergoldetes Messrädchen verwendet, das nach jedem Messpunkt um einige Winkelgrade weiter gedreht wurde, um Verschleppungen von Verunreinigungen zu vermeiden. Die statische Kontaktkraft (FK) wurde auf 10 cN eingestellt.

Zur Bewertung der Korrosionsbeständigkeit von Silberkontaktwerkstoffen eignen sich besonders schwefelhaltige Atmosphären. Die Proben wurden in strömender Gas-Atmosphäre mit 1 ppm Schwefel-Wasserstoff (H2S) bei T = 25° C und einer relativen Luftfeuchte von 75% ausgelagert 10.

2.2.3 Schleifringübertrager-Test

Die Untersuchungen der Kontakteigenschaften für Schleifringübertrager wurden an einer Modellapparatur 3, 7 ohne weiterer Befettung durchgeführt. Als Gegenkontakte wurden Büschel-Schleifer mit 14 Drähten, d = 0,25 mm, und einer wirksamen Federlänge von 30 mm aus einer Silber-Kupfer-Legierung eingesetzt. Geringer mechanischer Verschleiß erfordert eine möglichst niedrige Kontaktkraft. Ab einer Kontaktkraft von 0,5 cN pro Drahtabschnitt eines Büschel-Schleifkontakts verringert sich der Kontaktwiderstand nur noch geringfügig, Diagramm 1. Dementsprechend wird mit Büschel-Schleifkanten, bestehend aus 14 Drähten, mit einer Kontaktkraft von 10-12 cN eine ausreichende Kontaktsicherheit erreicht. In der Praxis sind Einflüsse durch Vibrationen und Schwingungen unterschiedlicher Konstruktionen und Anwendungen der Übertrager-Module zu berücksichtigen.



Diagramm 1: Kontaktwiderstand in Abhängigkeit der Kontaktkraft, Draht d = 0,25 mm AgCu-Leg. vs. galvanische Ag-Oberfläche

Bei den verwendeten Schleifringen d = 60 mm und einer Drehzahl von 150 Umdrehungen/min beträgt die Relativgeschwindigkeit 0,47 m/s. Der Laststrom bei 24 V DC, 4 A, ohmscher Last, wird über zwei Schleifer dem Schleifring auf getrennten Spuren zugeführt, Bild 3.

Ausfallkriterien sind überhöhter Spannungsabfall / Rauschen, verursacht durch Prellungen / Lichtbögen zwischen Schleifer und Schleifring oder Durchrieb der Schleifringoberfläche oder totaler Verschleiß der Schleiferdrähte. Nach max. 100 Mio. Umdrehungen wurden die Versuche beendet.



Bild 3: Prinzipskizze zur Untersuchungen der Kontakteigenschaften für Schleifringübertrager, 1 Schleifring, 2 Schleifkontakte



3 ERGEBNISSE

3.1 REIBVERSCHLEISS

In den folgenden Diagrammen und Abbildungen werden typische Reibkraftverläufe bzw. die Reibzahl f entsprechend dem Verhältnis aus Zug-Druckkraft zur Kontaktkraft und typische Verschleißspuren gegenübergestellt.

Die Standard-Silberoberflächen weisen bereits während der ersten Reibzyklen erhöhte Reibzahlen in der Größenordnung von f = 1,5 auf, Diagramm 2. Ursache dafür ist eine erhöhte Adhäsionsneigung der Reibpartner. Bei weiteren Reibzyklen führen verstärkte Verschleißmechanismen (z. B. kaltverfestigte Abriebpartikel aus mechanisch zerstörten Mikroverschweißungen) zum Reibzahlanstieg und anschließend zum raschen Schichtdurchrieb nach 150 – 200 Reibzyklen, Bild 4. Der Durchrieb der Silberschicht ist mit einem steilen Abfall der Reibzahl gekennzeichnet. Ein erhöhter Glanzzusatz im Silber-Elektrolyten hat bei diesem Test keinen Einfluss auf die mechanische Verschleißbeständigkeit.



Diagramm 2: Reibzahl vs. Reibzyklen, Standard-Silber



Bild 4: a) Reibspur auf Standard-Silber und b) Reibpartner nach 250 Reibzyklen

Im Vergleich der alternativen Silberoberflächen wird mit der Hartsilberschicht 3 ein gutes Gleitverhalten, verbunden mit niedrigen Reibzahlen während der ersten Reibzyklen, und geringster Verschleiß erreicht, Diagramm 3. Innerhalb der Reibspur sind keine ausgeprägten Verschleißerscheinungen oder Riefen erkennbar. Am Versuchsende nach 250 Zyklen ist die Schicht noch nicht durchgerieben, Bild 5. Im Schliff ist noch eine geschlossene Silberschicht erkennbar.



Diagramm 3: Reibzahl vs. Reibzyklen, Hartsilber 3



Bild 5: a) Reibspur auf Hartsilber 3 und b) Reibpartner, nach 250 Reibzyklen kein Schichtdurchrieb, siehe Schliff

Einen ähnlichen Reibzahlverlauf zeigt die Hartsilber 2 Schicht. Die Verschleißbeständigkeit ist jedoch geringer im Vergleich zu Hartsilber 3. Neben geringfügig höheren Reibwerten ist das Erscheinungsbild der Reibspur ausgeprägter.

Die Hartsilberschicht 1 zeigt bereits nach 250 Reibzyklen innerhalb der Reibspur Bereiche mit lokalem Durchrieb.

Der Dispersionszusatz mit harten Nanopartikeln im Hartsilber 3 zeigt keinen Einfluss auf die Verschleißbeständigkeit. Der Reibkraftverlauf sowie das Erscheinungsbild der Reibspur sind vergleichbar mit der Beschichtung ohne Zusatz.

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Reibverschleißtests gegenübergestellt. Höhere Verschleißbeständigkeit und günstigeres Gleitverhalten resultieren aus der zunehmenden Schichthärte. Die Bewertungen gering, mittel, gut und sehr gut entsprechen der Rangfolge der Reibkraftverläufe und Ausprägungen der Reibspuren.

Oberfläche	Härte HV 0,025	Verschleiß- beständigkeit
Standard-Silber	74 – 79	gering
Hartsilber 1	98	mittel
Hartsilber 2	132	gut
Hartsilber 3	160	sehr gut
Hartsilber 3 mit Nano- Dispersionszusatz	170	sehr gut

Tabelle 2: Bewertung der Reibverschleiß-Ergebnisse

Als Basis zur Untersuchung des Einflusses von Oberflächenfinishs auf das Kontaktverhalten wurde die verschleißbeständige Hartsilber 3 Oberfläche gewählt. Die elektrolytische Passivierung und der Sn-haltige Silberanlaufschutz zeigten im Test keinen Einfluss auf das Reibverschleißverhalten. Im Gegensatz dazu verhindert der Oberflächen-Schutzfilm der Polymer-Tauchlösung die Adhäsion zwischen den Reibpartnern. Es werden, wie an befetteten Oberflächen, Reibzahlen im Bereich von f = 0,1 – 0,15 gemessen, Diagramm 4. Das entspricht einer reinen Gleitreibung ohne Mikroverschweißungen der Reibpartner.

Innerhalb der Reibspur, Bild 6, sind im Vergleich zu vorangegangenen Versuchen nach 250 Reibzyklen keine Verschleißerscheinungen erkennbar.





Innerhalb der Reibspur, Bild 6, sind im Vergleich zu vorangegangenen Versuchen nach 250 Reibzyklen keine Verschleißerscheinungen erkennbar.



Bild 6: a) Reibspur auf Hartsilber 3 mit Polymer-Tauchlösung undb) Reibpartner nach 250 Reibzyklen

3.2 KONTAKTWIDERSTAND UND KORROSION

Der Kontaktwiderstand (RK) wird durch die unterschiedlichen Elektrolytzusätze beeinflusst. Mit steigender Härte (Tabelle 2) der Ag-Oberflächen erhöht sich der Kontaktwiderstand. An allen Ag-Oberflächen werden akzeptable RK-Werte < 3 mOhm bei einer Kontaktkraft von 10 cN gemessen, Tabelle 3.

Oberfläche	R _x [mOhm]
Standard-Silber	1,8
Hartsilber 1	1,8
Hartsilber 2	2
Hartsilber 3	2,1
Hartsilber 3 mit Nano-Dispersionszusatz	2,8

Tabelle 3: Kontaktwiderstand im Ausgangszustand, $F_{\kappa} = 10 \text{ cN}$

Die metallischen Oberflächenfinishs haben keinen nennenswerten Einfluss auf den Kontaktwiderstand. Im Gegensatz dazu werden deutlich höhere Kontaktwiderstandswerte bis zu 20 mOhm an der Probe mit dem Oberflächenfinish auf Polymerbasis gemessen, Diagramm 5.



Diagramm 5: Einfluss der Oberflächenfinishs auf den Kontaktwiderstand, $\label{eq:FK} \mathsf{FK} = 10 \ \mathsf{cN}$

Bereits nach 4-tägiger Auslagerung in strömender Schwefelwasserstoff-Atmosphäre (1 ppm H2S, 25 °C, 75% rel. Feuchte) ist an der Ag-Oberfläche ohne zusätzliche Behandlung eine blaue Korrosionsschicht entstanden, Bild 7a. Der Kontaktwiderstand steigt auf Werte > 100 mOhm an.

Der Sn-haltige Silberanlaufschutz hat keine zufriedenstellende Korrosions-Schutzwirkung, die Probenoberflächen weisen braun-blaue Deckschichten auf, Bild 7b. Ein Korrosionsschutz wird mit der galvanischen Nachbehandlung und Tauchlösung auf Polymerbasis erzielt. Nach 4-tägiger H2S-Auslagerung sind an den Oberflächen optisch keine flächigen Anlaufschichten erkennbar, Bild 7c und d.



Bild 7a – d: Oberflächenaufnahmen nach Korrosionsauslagerung:
4 d, 1 ppm H2S, 25°C, 75% rel. Feuchte,
a) ohne Finish, b) Sn-haltiger Silberanlaufschutz,
c) Elektrolytische Passivierung, d) Polymer-Tauchlösung

Analog dem optischen Erscheinungsbild gliedert sich auch das Ergebnis der Kontaktwiderstandsmessung. Sowohl an der unbehandelten Silberoberfläche als auch an der Oberfläche mit Sn-haltigem Silberanlaufschutz wurden RK-Werte > 100 mOhm gemessen. Die beste Korrosionsschutzwirkung wird mit der Nachbehandlung in einer Polymer-Tauchlösung erreicht. Der RK bleibt nach 4-tägiger H2S-Auslagerung im Vergleich zum Ausgangszustand nahezu unverändert bei Werten von 22 mOhm. An der Silberoberfläche mit elektrolytischer Passivierung wurde ein RK-Anstieg bis 28 mOhm gemessen, Diagramm 6.



Diagramm 6: Kontaktwiderstand: Korrosionsschutzwirkung der Oberflächenfinishs, FK = 10 cN

3.3 SCHLEIFRINGÜBERTRAGERTEST

Um eine Aussage über das Stromübertragungsverhalten während Relativbewegungen zu erhalten, wurde in Intervallen der Spannungsabfall zwischen den Schleiferdrähten und Schleifring oszillografisch aufgenommen.

Für diese Untersuchungen wurden Schleifringe mit dem Standard-Silber und Hartsilber 3 beschichtet. Als Basis zur Untersuchung des Einflusses der Oberflächenfinishs galvanische Nachbehandlung und Tauchlösung auf Polymerbasis wurde ebenfalls das Hartsilber 3 gewählt. Im Folgenden werden einige typische Spannungsverläufe in Abhängigkeit der Umdrehungen dargestellt.

In Diagramm 7 ist der Spannungsabfall zwischen den Schleifkontakten und den Schleifringoberflächen Standard-Silber und Hartsilber 3 in Abhängigkeit der Umdrehungen zusammengefasst. In Kombination mit der Hartsilberoberfläche wurde bis zum Versuchsende eine Stromübertragung ohne Prellvorgänge erreicht, was sich mit dem relativ konstanten Spannungsverlauf bis ca. 90 Mio. Umdrehungen bestätigt. Das Ansteigen des Spannungsabfalls bis zu 0,3 V ist durch erhöhten Verschleiß der Schleifringoberfläche am Lebensdauerende bedingt.





Dagegen wurde mit der Standard-Silberoberfläche eine geringere Lebensdauer erreicht. Bereits nach ca. 60 Mio. Umdrehungen wurde ein steiler Anstieg des Spannungsabfalls gemessen. Optisch ist an Laufspuren einzelner Schleiferdrähte ein Schichtdurchrieb auf der Ringoberfläche erkennbar. Dadurch bedingt entstand erhöhter Verschleiß an den Bürstenschleiferdrähten. Nach ca. 70 Mio. Umdrehungen sind einige Drähte des Büschelschleifers zu 100% verschlissen.

Mit den verschleißmindernden Passivierungs-Oberflächen auf den Schleifringen wurde bis zum Versuchsende ein relativ konstanter und geringer Spannungsabfall erzielt, Diagramm 8.



Diagramm 8: Spannungsverlauf während des Lebensdauerversuches mit der Schleifringoberfläche Hartsilber 3 mit elektrolytischer und Polymer-Passivierung

Die elektrolytische Nachbehandlung bewirkte bei den Schleifringtests, durch wesentlich niedrigere Kontaktkräfte im Vergleich zum Reibverschleißtest, ebenfalls eine Erhöhung der Lebensdauer.

Bei allen durchgeführten Tests wurden keine Kurzzeitunterbrechungen mit Lichtbogenbildung detektiert.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Unter Berücksichtigung einfacher Prozessführung und niedriger Kosten kann das Hartsilber 3 als geeignete Kontaktschicht für den Einsatz als Schleifkontakt-Oberfläche eingestuft werden. Die Nachbehandlung in einer Polymer-Tauchlösung sowie die elektrolytische Passivierung bieten eine zusätzliche Optimierungsmöglichkeit des Kontaktschichtsystems.

Als geeignete Kontaktpartner haben sich pinselförmige Büschel-Schleifkontakte aus einer federharten AgCu-Legierung für Stromübertrageranwendungen bewährt. Die geeignete Anzahl der Drähte liegt je nach Anwendung im Bereich zwischen 10 und 30 bei einer wirksamen Federlänge von 20 – 40 mm.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse für die untersuchten Silberoberflächen im Hinblick auf einen Einsatz als Schleifkontaktoberflächen unter Verwendung der Qualifikationsklassen "sehr gut", "gut", "zufriedenstellend" und "nicht zufriedenstellend" befindet sich in der Tabelle 4.

Bestimmende Faktoren für die Qualifikation waren:

- Mechanische Reibverschleißbeständigkeit
- Kontaktwiderstand
- Korrosionsbeständigkeit
- in Schwefelwasserstoff-Atmosphäre
- Schleifringübertragertest

Die Grenzen für die Qualifikationsklassen sind in der Tabellenunterschrift angegeben. Die Silberschicht und das Oberflächenfinish mit besonders guten Kontakteigenschaften für Anwendungen in Schleifringübertragern sind durch Markierungen hervorgehoben.

Oberfläche	Untersuchung				
	Härte	Verschleiß	Kontakt-	Korrosions-	Schleifring-
			widerstand	beständigkeit	übertragertest
Standard-Silber	+	+	+++	+	+++
Standard-Silber mit erhöhtem					
Glanz-Zusatz	+	+	+++	+	-
Hartsilber 1	++	+	+++	+	-
Hartsilber 2	+++	+++	+++	+	-
Hartsilber 3	+++	++++	+++	+	++++
Hartsilber 3 mit Nano-					
Dispersionszusatz	+++	++++	+++	+	-
Oberflächenfinish auf Hartsilber 3					
Sn-haltiger Silberanlaufschutz	_	0	+++	+	-
Elektrolytische Passivierung	_	0	+++	+++	++++
Polymer-Tauchlösung	_	++++	+	+++	++++

Tabelle 4: Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse

Bewertung Härte HV0,025:

- +++ hoch > 130
- ++ mittel 90 130
- + gering < 90
- nicht getestet
- Bewertung Kontaktwiderstand bei F_K = 10 cN: +++ gut < 5 mOhm ++ zufriedenstellend 5 – 50 mOhm
- + nicht zufriedenstellend > 50 mOhm
- nicht getestet

Bewertung Verschleiß, Korrosionsbeständigkeit, Stromübertragung:

0

kein Einfluss

nicht getestet

- ++++ sehr gut
- +++ gut

+

- ++ zufriedenstellend
 - nicht zufriedenstellend

5 QUELLENANGABEN

VDE-Fachbericht 69, Kontaktverhalten und Schalten, 22. Fachtagung Albert-Keil-Kontaktseminar in Karlsruhe 9. – 11. Oktober 2013, VDE-VERLAG, Berlin, Offenbach, 2013, S. 49 - 55.

- VDE-Fachbericht 69, Kontaktverhalten und Schalten, 22. Fachtagung Albert-Keil-Kontaktseminar in Karlsruhe 9. – 11. Oktober 2013, VDE-VERLAG, Berlin, Offenbach, 2013, S. 49 – 55.
- Paulsen, R.: Werkstoffe für elektrische Kontakte und ihre Anwendungen, TA-Esslingen 31010 / 71.626, Februar 2005
- Vinaricky, E.: Elektrische Kontakte, Werkstoffe und Anwendungen, Springer Verlag 2002, S. 389
- Schnabl, R.; Gehlert, B.: Lebensdauerprüfungen von Edelmetall-Schleifkontaktwerkstoffen für Gleichstrom-Kleinstmotoren, Feinwerktechnik & Messtechnik 92, 1984, S. 389 – 393
- North, K. R.: Characteristics of Slip ring Noise.
 3 rd Int. Res. Symp. On Elec. Con. Phen.,
 University of Maine, Orono, Maine, 1966, S. 325

- Gehlert, B.; Ungermann, H.: Mikroschleifkontakte, Feinwerktechnik & Messtechnik 94, 1986, S. 487 – 491
- Gehlert, B.; Paulsen, R.; Prunzel, I.; Weiland, R.; Baake, P.: Edelmetallhaltiges Kontaktstück auf einem Federträger mit rotationssymmetrischem Biegemoment, Offenlegungsschrift WO 2012/048839 A1
- Gehlert, B.: Lebensdaueruntersuchungen von Edelmetall-Kontaktwerkstoff-Kombinationen für Schleifringübertrager, 18. Albert-Keil-Kontakt-Seminar, Karlsruhe, VDE-Fachbericht 61, 2005, S. 95 – 100
- Gehlert, B.: Empfindliche Kontaktwiderstandsmessung, Test-Kompendium 2004, Publish-Industry Verlag GmbH München, S. 68 – 70
- Deutsche Norm, DIN IEC 512 Teil 2
- Deutsche Norm, DIN IEC 68-2-43, Prüfung Kd

Heraeus Deutschland GmbH & Co. KG

Heraeus Performance Products Heraeusstr. 12 – 14 63450 Hanau, Deutschland Telefon +49 6181.35-5855 Fax +49 6181.35-3120 electro-technology@heraeus.com www.heraeus-electro-technology.de