

# Herstelltechnologien für Kontaktwerkstoffe der Elektrotechnik

Carsten Böhme, Timo Mützel

## 1. Einleitung

Pulvermetallurgische Technologien sind zur Fertigung von elektrotechnischen Kontaktwerkstoffen unverzichtbar. Der folgende Beitrag konzentriert sich auf silberhaltige Kontaktwerkstoffe, die hauptsächlich in der Niederspannungstechnik für luftoffene Schaltgerätekonstruktionen eingesetzt werden. Der Niederspannungsbereich umfasst Wechselspannungen von 50 V bis 1000 V bzw. Gleichspannungen von 75 V bis 1500 V [1]. In den anderen Spannungsbereichen werden diese edelmetallhaltigen Kontaktwerkstoffe für Sonderanwendungen, z. B. in Automobilrelais in der Kleinspannung, in Vakuumschützen in der Mittelspannung oder in Lasttrennern in der Hochspannung genutzt. Nach einem exemplarischen Überblick zu elektrotechnischen Schaltgeräten und deren Aufgaben werden die resultierenden Anforderungen an die Werkstoffe für schaltende Kontakte abgeleitet. Teilchenverstärkte Verbundwerkstoffe auf der Basis von Silber erfüllen diese am besten, wobei sich in den einzelnen Anwendungsgebieten bestimmte Zusammensetzungen als besonders vorteilhaft erwiesen haben. Die möglichen und etablierten Fertigungsmethoden für die wichtigsten Werkstoffgruppen werden genannt und deren Vor- und Nachteile hinsichtlich Produktivität und Qualität aufgeführt.

## 2. Elektrifizierung

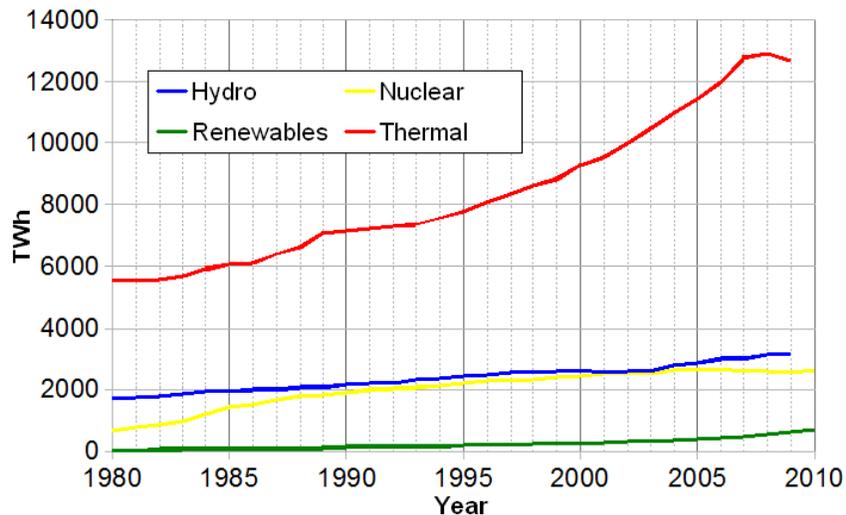


Bild 1: Weltweit erzeugte Strommengen [2]

Seit der breiteren Nutzung des elektrischen Stromes beginnend für Beleuchtungszwecke in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts steigt weltweit der Bedarf an elektrischer Energie. Verantwortlich dafür ist neben der weiter wachsenden Weltbevölkerung die ungebremst fortschreitende Elektrifizierung zur Arbeitserleichterung und zur Erhöhung des Lebensstandards (**Bild 1**).

Die einzelnen Segmente des Strommarktes nutzen bevorzugt verschiedene Spannungsebenen:

- Erzeugung: Mittel- und Niederspannung
- Verteilung: Hoch- und Mittelspannung
- Verbrauch: Niederspannung

Auf der Hoch- und Mittelspannungsebene verlangt die zunehmende Dezentralisierung der Stromerzeugung (Wind- und Solarparks), neben der Elektrifizierung von Entwicklungsländern, nach einer wachsenden Anzahl von Hoch- und Mittelspannungsanlagen.

Auf der Niederspannungsebene, also der Verbrauchsseite, findet die weitere Elektrifizierung in allen Bereichen statt. Beispielhaft seien hier erwähnt:

- Haustechnik Photovoltaik, Wärmepumpen, ..
- Haushaltsgeräte Geschirrspüler, Wäschetrockner, Induktionsherde,..
- Kommunikation Mediengeräte; WLAN, mobiles Internet
- Automobil X-by wire, Komfort, Sicherheit,...Hybrid,....
- Medizintechnik Diagnostik

Im gewerblichen Sektor sind die Trends der Elektrifizierung nicht für jedermann offensichtlich. Neben einer ungebremst zunehmenden Automatisierung ist das Thema effizienter und geregelter Antriebe nach wie vor ein Hauptthema. Die Nutzung von neuen digitalen Steuerungsmöglichkeiten in Verbindung mit Leistungselektronik erschließt fortwährend neue Effizienzpotenziale.

### **3. Schaltgeräte der Niederspannungstechnik**

Die Nutzung des elektrischen Stromes erfordert seine sichere Beherrschung. Viele Funktionen von elektrischen Geräten werden zwar heute elektronisch geregelt, aber Halbleiterschalter haben gegenüber elektromechanischen Schaltern den Nachteil, dass ein sicheres Abschalten durch die fehlende Luftstrecke im Versagensfall nicht immer gewährleistet werden kann und im geschlossenen Zustand hohe Verlustleistungen entstehen.

Daher sind elektromechanische Schaltgeräte weiterhin erforderlich um Stromkreise

- zu schließen,
- vorübergehend oder auch für längere Zeit Stromleitung zu gewährleisten,
- aus dem geschlossenen Zustand zuverlässig wieder zu öffnen und eine sichere Isolation herzustellen.

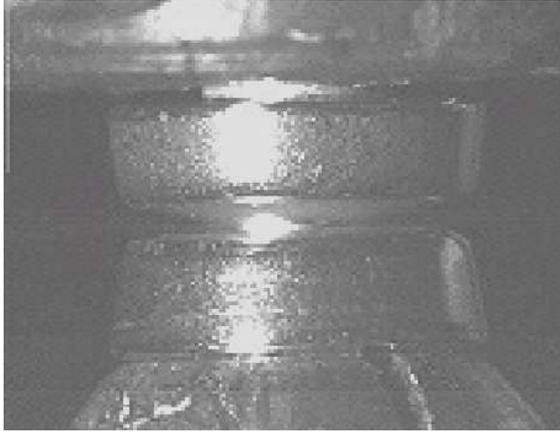
Die Hauptfunktionen, die elektrische Schalter und Kontakte damit übernehmen, sind das „Steuern und Regeln von Stromkreisen“ sowie insbesondere der „Schutz von Menschen und Anlagen“.

Folgende Geräteklassen von elektromechanischen Niederspannungsschaltgeräten werden unterschieden:

- Leistungsschalter
- Motorschutzschalter
- Schütze
- Trenner, Lasttrenner, Lastschalter
- Leitungsschutzschalter
- Fehlerstromschutzschalter
- Nockenschalter
- Miniatorschalter
- Relais

#### **4. Anforderungen an Kontaktwerkstoffe**

Typisch für elektromechanische Schaltgeräte ist das Schalten mit Lichtbogen. Neben der mechanischen Belastung durch die Gerätekonstruktion beim Einschalten sind durch den elektrischen Stromfluss verursachte Effekte wie Ohmsche Erwärmung und Lichtbogenbildung unvermeidbar. [3]



**Bild 2:** Ausschaltlichtbogen Relais (Automobilanwendung)

### **Einschalten**

Beim Schließen des Schalters kommt es in der Regel zu Prellsprüngen durch das Rückfedern der Kontakte bzw. des Antriebssystems. Hierbei entsteht ein Lichtbogen, der die Kontaktoberfläche anschmilzt. Der Schließvorgang nach dem letzten Prellsprung führt daher in der Regel zu einem zumindest leichten Verschweißen der Kontakte.

### **Stromführung**

Der elektrische Widerstand der geschlossenen Kontakt ist die Summe aus dem Engewiderstand, welcher aus der Zusammenführung der Strombahnen auf die wenigen Kontaktstellen resultiert, und dem Fremdschichtwiderstand, der eine Folge der unvermeidlichen Deckschichtbildung auf Metallen an Luft ist. Dies führt zu einer Jouleschen Erwärmung.

### **Ausschalten**

Beim Öffnen der Kontakte kommt es wiederum zur Lichtbogenzündung. Der Lichtbogen brennt bis Stromnull entweder auf den Kontakten (Nullpunktlöschung) oder er wird durch ein Magnetfeld in eine Löschkammer getrieben (strombegrenzendes Schalten).

Aus den Vorgängen in den einzelnen Schaltzuständen ergeben sich zum Teil widersprüchliche Anforderungen an den Kontaktwerkstoff:

- hoher Verschweißwiderstand (dynamisch und statisch)
- hohe Abbrandbeständigkeit (Lichtbogenabbrand)
- niedriger Kontaktwiderstand nach Lichtbogenbelastung
- gutes Lichtbogenlöschverhalten
- hohe Lichtbogenfußpunktbeweglichkeit

- hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit
- hohe Festigkeit

Die Verschleißneigung des eingesetzten Kontaktwerkstoffes hat direkte Auswirkungen auf die Schaltgerätekonstruktion durch die zu realisierende notwendige Öffnungskraft zum sicheren Auseinanderbrechen der Verschweißungen.

Die Abbrandbeständigkeit bestimmt die Lebensdauer des Schaltgerätes bzw. die Menge des erforderlichen Kontaktwerkstoffes. Weiterhin ist ein hoher Abbrand mit Verdampfen und Verspritzen von metallischem Material verbunden. Dies erfordert dann zusätzliche konstruktive Maßnahmen um die erforderliche Isolation sicherzustellen.

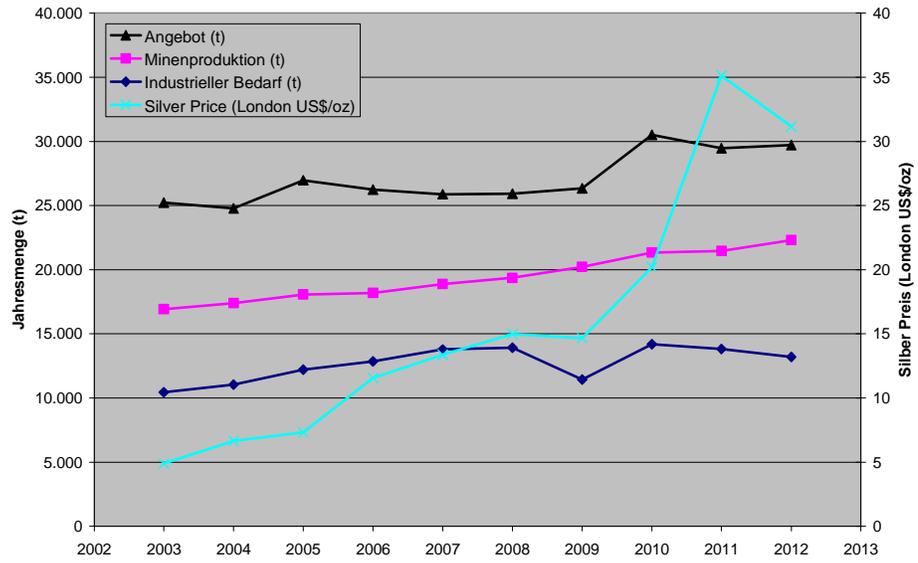
Ein geringer und vor allem stabiler Kontaktwiderstand und hohe Leitfähigkeit sind vorteilhaft, da dadurch die elektrischen Verluste gering sind und sich das Schaltgerät weniger erwärmt. Dadurch muss weniger Konstruktionsmaterial zur Wärmeabfuhr eingesetzt werden und auch preiswerteres, thermisch weniger stabiles Konstruktionsmaterial, wie z.B. bestimmte Kunststoffe können für Isolationszwecke verwendet werden. Des Weiteren lassen sich bei niedrigem Kontaktwiderstand die Haltekräfte im geschlossenen Zustand reduzieren.

Eine hohe Festigkeit auch bei höheren Temperaturen verhindert das Zerschneiden der Kontakte durch den mechanischen Schließimpuls und trägt wie die Abbrandfestigkeit zur Lebensdauer des Gerätes bei.

Die besten Kompromisse hinsichtlich dieser Forderungen lassen sich durch den Einsatz von silberbasierten teilchenverstärkten Verbundwerkstoffen erreichen. Die Silbermatrix ermöglicht durch ihre Oxidationsfreiheit auch in Anbetracht des in den letzten Jahren stark gestiegenen Silberpreises noch immer eine insgesamt wirtschaftlichere, weil luftoffene Gerätekonstruktion. Ein Ersatz durch unedle Metalle wie z. B. Kupfer würde ein deutlich aufwändigeres Schaltgerätedesign mit dem Einsatz von Schutzgas, Öl oder auch Vakuum erfordern. Da der Kontaktwerkstoff bei der optimalen Auslegung des Schaltgerätes eine entscheidende Rolle spielt, kann man mit gutem Recht sagen, dass die silberhaltigen Kontakte die wichtigsten Bestandteile elektromechanischer Schaltgeräte sind.

#### **4. Silber für Kontaktwerkstoffe**

Eine Übersicht zum Silbermarkt ist in **Bild 3** dargestellt. Der industrielle Bedarf entspricht im Mittel der letzten 10 Jahre ca. 50 % des Marktangebotes.



**Bild 3:** Silbermarktdaten aus World Silver Survey 2013 [4]

In einer Analyse der “Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials“ der EU Kommission [5] wird Silber aktuell als nicht kritisch bezüglich seines Versorgungsrisikos und auch der ökonomischen Bedeutung eingestuft. Die Reichweite der Silbervorräte werden jedoch auf nur noch 20 Jahre geschätzt [6]. Ein großer Anteil der primären Silberproduktion ist an die Bleigewinnung gekoppelt, wodurch die Verfügbarkeit von Minensilber bei rückläufiger Bleinachfrage sinken wird. Süd- und Mittelamerika sind für Silber die größten Produzenten mit einem Anteil von 17% für Peru und 15% für Mexiko. China trägt 13% der Förderung und Herstellung bei. In Deutschland wurde die primäre Silbergewinnung in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts eingestellt.

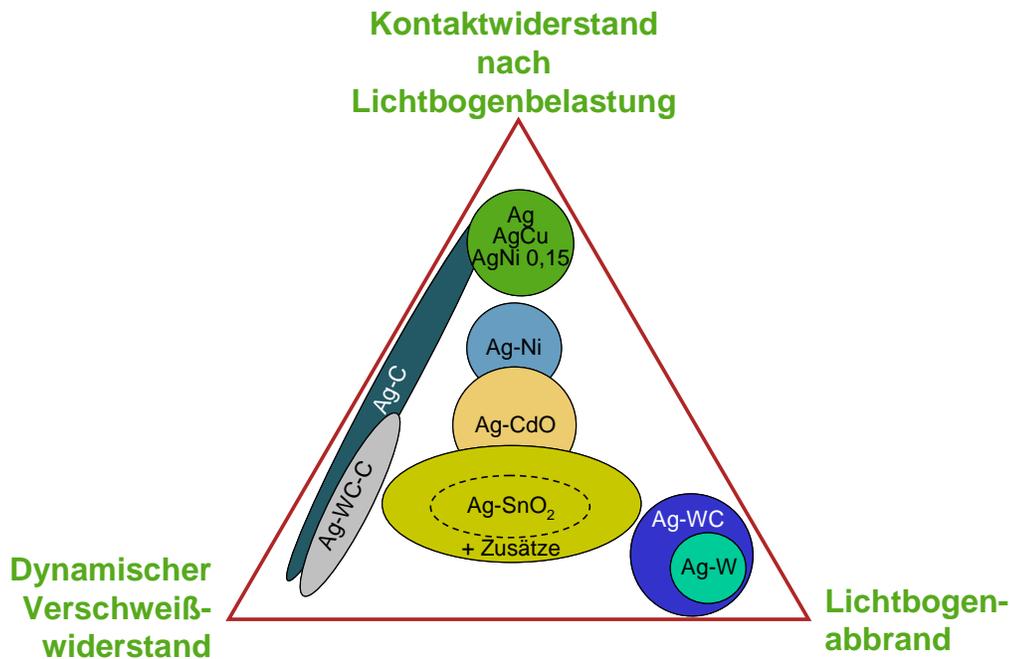
Neben der allgemeinen wirtschaftlichen Lage hat auch der Silberpreis Auswirkungen auf die Verwendung von Silber in der Technik. Silber als das preiswerteste Edelmetall ist für Niederspannungsschaltgeräte jedoch nur schwer ersetzbar. Es wird geschätzt, dass jährlich weltweit ca. 4.000 t, also ein gutes Drittel des industriellen Silberbedarfes, in Niederspannungsschaltgeräten verbaut werden. Durch den geringen Silbergehalt in elektrotechnischen Geräten ist eine Wiedergewinnung oft nicht wirtschaftlich. Man muss daher davon ausgehen, dass ein Großteil dieser Silbermenge unwiderruflich aus dem wirtschaftlichen Stoffkreislauf entzogen wird.

## **5. Einsatz silberhaltiger Kontaktwerkstoffe**

Nach dem 1. Weltkrieg ersetzte Silber das bis dahin verwendete Kupfer, welches durch seine Oxidation eine entsprechende Wartung von luftoffenen Konstruktionen erforderte, die aber nicht immer gewährleistet war. Sowohl der geringe Silberpreis zu dieser Zeit als auch die höhere Lebensdauer von Silberkontakten im Vergleich zu Kupfer, hervorgerufen durch das Wiederanhaften von lichtbogenverursachten Schmelzspritzern, trugen zur schnellen Verbreitung von Silber als Schaltkontakt bei. Nachteile des reinen Silbers waren:

- hohe Schweißneigung
- geringe Härte
- Materialwanderung bei Gleichstrom

Daher versuchte man die oben geforderten Eigenschaften des Silbers durch Zusätze zielgerichtet einzustellen. Dies hat zur Entwicklung der heutigen Kontaktwerkstoffe, mit jeweils ganz speziellen Eigenschaften geführt. So lassen sich die Stärken verschiedener Kontaktwerkstoffe gegenüber dynamischen Einschaltverschweißen, Lichtbogenabbrand und Kontaktwiderstand nach Lichtbogenbelastung wie folgt anordnen:

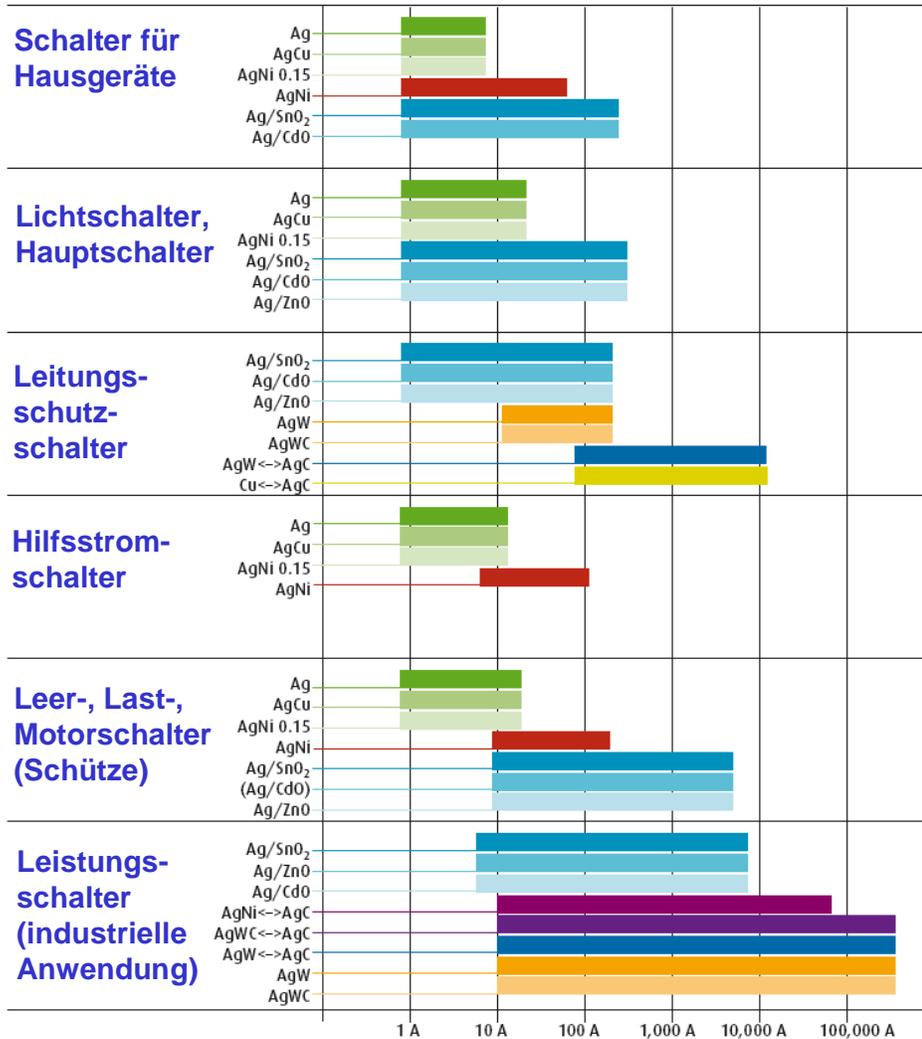


**Bild 4:** Eigenschaften verschiedener Kontaktwerkstoffe

Je nach Schaltgeräteart kann man diese Kontaktwerkstoffgruppen über typischen Schaltströmen wie in **Bild 5** darstellen.

Die Vielfalt der jeweils verwendeten Kontaktwerkstoffe für gleiche Anwendungsfälle resultiert aus der Abstimmung mit der jeweiligen Schaltgerätekonstruktion. Der als Kontakt verbaute Kontaktwerkstoff ist Teil eines Schaltsystems, dessen Komponenten sich gegenseitig beeinflussen. Die einzige Möglichkeit Kontaktwerkstoffe zu qualifizieren sind daher Schaltversuche im jeweiligen Gerät.

Weiterhin gibt es starke regionale Unterschiede bedingt durch lokale typische Gerätekonstruktionen, elektrotechnische Regelwerke oder auch politische Regulierungen. Die frühzeitigen Bestrebungen in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts in Deutschland kadmiumhaltige Kontaktwerkstoffe zu ersetzen, führten zu einem breiten Einsatz von AgNi im unteren und zur Einführung von Ag/SnO<sub>2</sub> im oberen Strombereich. Dies wurde durch langjährige Diskussionen um ein mögliches Kompletterbot durch die ROHS 2002/95/EG und WEEE 2002/96/EG im letzten Jahrzehnt weiter forciert. Am 20.6.2013 wurde CdO in die REACH-Kandidatenliste für gefährliche Stoffe aufgenommen.



**Bild 5:** Typische Kontaktwerkstoffe in Niederspannungsschaltgeräten

Bis auf Spezialanwendungen hat Ag/CdO in Europa keine Bedeutung mehr. In Asien findet allmählich eine ähnliche Entwicklung statt, während in Amerika momentan keine Abkehr vom Ag/CdO zu erkennen ist. Ag/CdO und Ag/ZnO werden im Folgenden wegen ihrer geringen Verbreitung nicht behandelt.

## 6. Silber-Verbundwerkstoffe

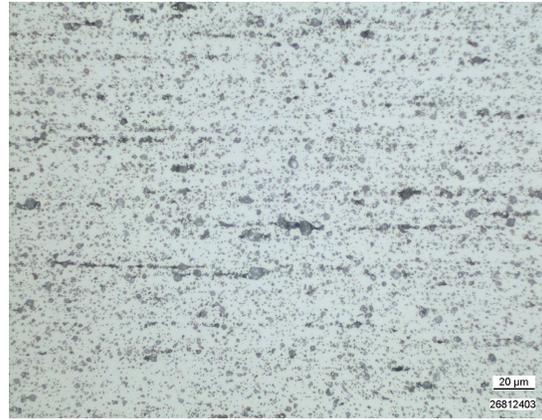
Von den anfänglichen Versuchen mit schmelzmetallurgischen Silberlegierungen hat lediglich Silber mit ca. 0,15 % Ni als so genanntes Feinkornsilber und etwas Hartsilber ( $\text{AgCu}_3$ ) seine technische Bedeutung im untersten Lastbereich behalten. Alle anderen Kontaktwerkstoffe sind Verbundwerkstoffe. Stofflich lassen sich die Verbundwerkstoffe nach der Art der Zweitphase wie folgt einteilen:

- Silber - Metall: AgNi10 - AgNi40, AgW30 - AgW80
- Silber - Metalloxide: Ag/SnO<sub>2</sub> 94/6-86/14, Ag/CdO 90/10 – 83/17,  
Ag/ZnO 92/8 – 90/10
- Silber - Grafit: AgC2 – AgC6
- Silber - Metallkarbid: AgWC30 – AgWC80

Typische Gefüge sind in **Bild 6** dargestellt.



Draht Ø 1,5mm längs: AgNi10



Ag/SnO<sub>2</sub> 88/12



Auflagen: AgC5



AgWC40

**Bild 6:** Gefüge typischer Kontaktwerkstoffe

### **AgNi**

AgNi Kontaktwerkstoffe stellen in Europa den größten Anteil der Niederspannungskontakte dar. Typische Zusammensetzungen für den unteren Strombereich sind:

- AgNi10 Hauptmenge in Europa
- AgNi15 selten – entweder 10 oder 20
- AgNi20 zunehmender Einsatz (Ag-Ersparnis)

Für Haupt- und Lichtbogenkontakte in Leistungsschaltern im oberen Strombereich werden Ni-Gehalte von 30 bzw. 40 % verwandt.

### **Ag/SnO<sub>2</sub>**

Silber-Zinnoxid-Kontaktwerkstoffe mit Gesamtoxidgehalten von bis zu ca. 14 M.-%. stellen in Europa die größte Menge an Silber-Metalloxid-Kontaktwerkstoffen. Eine ausführliche Übersicht zu dieser Werkstoffgruppe findet sich in [7]. Zur Verbesserung des Schaltverhaltens, wie Verschweiß- und Kontaktwiderstand, werden noch weitere Stoffe in geringen Mengen zugegeben. Typische Additive sind Wolfram-, Molybdän- oder auch Wismutverbindungen, welche im Laufe des Herstellungsprozesses je nach Prozessführung mit den anderen Komponenten verschiedene Phasen bilden.

### **AgC**

Die Mengen an Silber-Grafit sind im Vergleich zu den anderen beiden voran aufgeführten Kontaktwerkstoffgruppen relativ gering; da sie nur in sehr speziellen Schutzschaltern eingesetzt werden, welche unter allen Umständen öffnen müssen. Die eingesetzten Grafitgehalte von 3 bis 5 M.-% entsprechen 13 bis 20 Vol.-%. In Verbindung mit den eingesetzten Pulverteilchengrößen führt dies zu einem durchgängigen Grafitnetzwerk. Da es keine stoffschlüssige Grenzfläche zwischen Grafit und Silber gibt; ist die Zugfestigkeit des Kontaktwerkstoffes gering. Zusätzlich reagiert der oberflächennahe Grafit beim Schaltvorgang im Lichtbogen mit der Atmosphäre zu ausgasenden CO- und CN-Verbindungen und hinterlässt neben umgeschmolzenem Silber auf der Schaltoberfläche, welches mit dem Gegenkontakt verschweißt, eine grobporige Silberschicht, welche mit geringen Öffnungskräften getrennt werden kann. Der Abbrand ist im Vergleich zu allen anderen Kontaktwerkstoffen systembedingt hoch.

Der Geräteentwickler versucht daher, den besten Kompromiss zwischen Lebensdauer und Schaltsicherheit zu wählen. Variiert werden dazu neben dem Grafitgehalt auch die durch die Strangpresstechnik möglichen Ausführungsformen:

- Kontaktoberfläche entspricht der Strangpressrichtung  
→ Grafitzeilen parallel zur Schaltoberfläche (AgC parallel)
- Kontaktoberfläche quer zur Strangpressrichtung  
→ Grafitzeilen senkrecht zur Schaltoberfläche (AgC senkrecht)

Die hohe Verdichtung durch das Strangpressen wird bezüglich Abbrandfestigkeit geschätzt. Nur relativ selten wird AgC mit höchstem Grafitgehalt und paralleler Grafitzeilenorientierung eingesetzt. Standard ist die senkrechte Ausrichtung der Grafitzeilen zur Schaltoberfläche für größere Auflagen um den Abbrand zu minimieren. Die jeweiligen Einflüsse auf das Schaltverhalten sind in [8] und [9] dargestellt.

## **7. Herstellverfahren**

### **Einzelsintertechnik Ag/SnO<sub>2</sub>**

Alle oben genannten Werkstoffe lassen sich prinzipiell nach klassischer pulvermetallurgischer Methode Mischen – Pressen – Sintern herstellen. Vorteile sind:

- nahezu abfallfreie Fertigung
- schwer umformbare Werkstoffe darstellbar
- preiswerte Standardproduktionsausrüstungen
- Aufbau mehrschichtiger Werkstoffverbunde

Diese Methode wird heutzutage jedoch nur noch in geringem Umfang eingesetzt, da sie im Vergleich mit konkurrierenden Technologien, die folgenden Nachteile aufweist:

- teurere, sinteraktive Pulver erforderlich
- geringere Produktivität besonders bei kleinen Auflagen
- zusätzlicher Kalibrationsschritt notwendig

Vorteilhaft ist hier das Zweischichtpressen zur Erzeugung einer lötfähigen oxidfreien Auflagenunterseite.

### **Infiltration AgW, AgWC**

Diese speziell für Leistungsschalter entwickelten abbrandfesten Werkstoffe zeichnen sich durch den hohen Gehalt an härterer und hohtemperaturfester Zweitphase aus. Die niedrigsten typisch verwendeten Gehalte von 50 M.-% W bzw. 40 M.-% WC entsprechen 35 bzw. 31 Vol.-%. Diese Volumengehalte an W bzw. WC erlauben die Herstellung poröser Formkörper, welche aus speziell hergestellten Granulaten mit relativ niedrigem Pressdruck gepresst werden, und anschließend mit flüssigem Silber im Auflagetränkverfahren infiltriert werden. Prinzipiell ist auch das Festphasen- bzw. das Flüssigphasensintern möglich, welches jedoch kaum angewandt wird. Insgesamt überwiegen die Vorteile der Infiltrationstechnik gegenüber den anderen beiden Sinterverfahren:

- geringere Silberformkosten durch hohen Anteil von kostengünstigerem Infiltrationssilber
- geringe Presskräfte
- thermisch hohe Konditionierung für spätere Lichtbogenbelastung
- hohe Dichten

Eine exakte Prozessführung ist notwendig, da bei höheren W- bzw. WC-Gehalten eine nachträgliche Kalibrierung nicht möglich ist.

Zwar sind diese Werkstoffe direkt schweißbar; jedoch ist es wirtschaftlicher und prozesssicherer mit einem Lot zu arbeiten. Dieses kann durch ein kurzes An-schmelzen eines Lotplättchens auf die Auflagenunterseite im Durchlaufofen auf-gebracht werden.

### Strangpressen AgNi, Ag/SnO<sub>2</sub>, AgC

Für die duktileren Werkstoffe, also AgC, Ag-Metalloxid, AgNi hat sich in Euro-pa aus Produktivitäts- und Qualitätsgründen das Strangpressverfahren durchge-setzt (**Bild 7**):

- Mischen der Ausgangspulver
- kaltisostatisches Pressen von Strangpressbolzen
- Sintern der Bolzen
- Strangpressen zu Draht oder Profil
- Umformung der Strangpresshalbzeuge durch Ziehen oder Walzen
  - o Draht: Aufschweißdraht, -profile, Niete
  - o Profil: Aufschweißprofile, Auflagen



**Bild 7:** Herstellung von Strangpresshalbzeugen

Die Vorteile dieser Methode im Vergleich zu den anderen voran genannten Verfahren kann man wie folgt zusammenfassen:

- kostengünstigere Ausgangspulver
- hohe Produktivität
- 100% dichter Kontaktwerkstoff
- Herstellbarkeit von Halbzeugen

Als Nachteile stehen dem gegenüber:

- hoher Produktionsabfall
- teurere Produktionsanlagen (Strangpresse, Walzen)

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist die Nutzung der Strangpresstechnik auch für andersartig herstellbare Werkstoffe vorteilhaft (Auslastung), solange die Aufarbeitungskosten für die höheren Produktionsabfälle nicht überwiegen. Da die verarbeiteten Werkstoffe keine schmelzmetallurgischen Legierungen sind, ist eine Aufarbeitung des Produktionsabfalls über die Edelmetallscheidung notwendig.

Die zunehmende Automatisierung und Produktivitätssteigerung bei der Verarbeitung der Kontaktwerkstoffe verlangt immer mehr nach:

- hohen und konstanten Oberflächenqualitäten
- engeren Geometrie- und Festigkeitstoleranzen

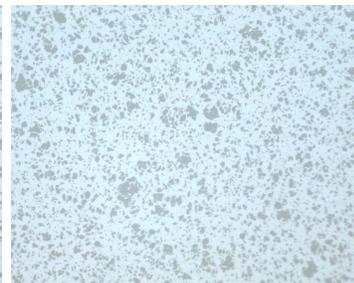
Letzteres erfordert eine zunehmend Einengung von Prozessparameterfenstern, beginnend mit den Rohstoffen, da die z. B. bei AgNi in der Umformung stattfindende Längung der Ni-Partikel und die mit ihr einhergehende Faserverstärkung durch die stark unterschiedlichen Festigkeiten und Rekristallisationstemperaturen der beiden Komponenten unvermeidbar ist. Nicht nur der Gesamtumformgrad, sondern auch die bei der Umformung herrschenden Temperaturen und die Art der Zwischenglühungen beeinflussen die weitere Gefügeausprägung bis zum fertigen Endprodukt.



Strangpressdraht Ø 5,0 mm  
Längsschliff



Draht Ø 1,0 mm  
Längsschliff



Draht Ø 1,0 mm  
Querschliff

**Bild 8:** AgNi20-Gefüge

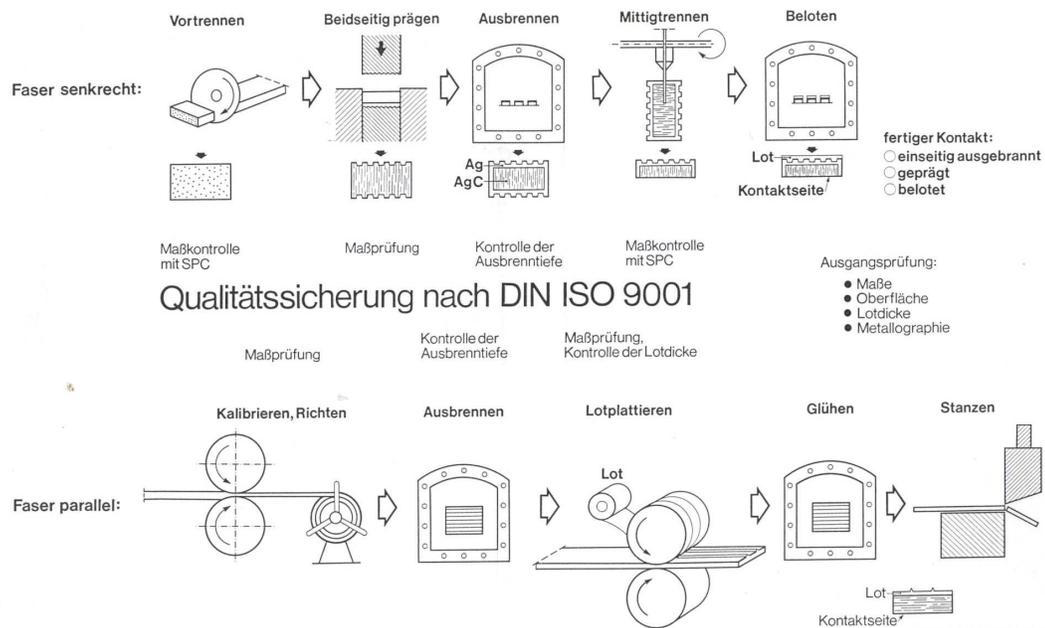
## Halbzeugverarbeitung

Die Weiterverarbeitung der Strangpresshalbzeuge erfolgt durch Drahtwalzen bzw. -ziehen für Drähte und durch Walzen für Profile, aus denen die späteren Auflagen gefertigt werden. Auf die Profilweiterverarbeitung wird wegen ihrer Besonderheiten eingegangen. Für die Drahtfertigung finden Standardverfahren Anwendung.

## AgC Auflagen

Generell kommt es durch das Strangpressen zu einer Vorzugsorientierung der in die Silbermatrix eingelagerten Komponenten in Pressrichtung. Genutzt wird dieser Effekt bei AgC für die bereits genannten beiden Ausführungsformen (**Bild 9**):

- C-Orientierung parallel und
- C-Orientierung senkrecht

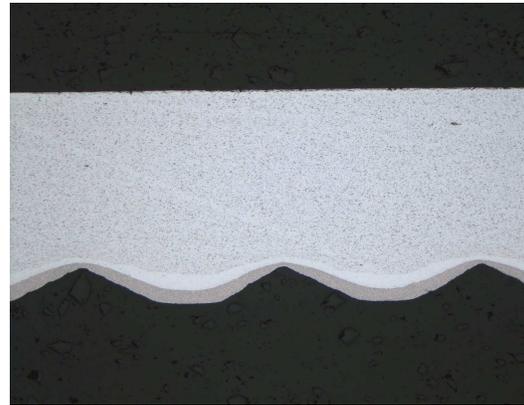


**Bild 9:** Arbeitsschritte zur Herstellung von AgC Auflagen

Durch eine kurze Glühbehandlung der Auflagen an Luft verbrennt der oberflächennahe Grafit und hinterlässt eine poröse Reinsilberschicht (**Bild 10**), die es erlaubt, eine Verbindung zum Kontaktträger durch Löten oder Widerstandsschweißen herzustellen.



Poröser ausgebrannter Randbereich



Profilquerschliff mit anplattiertem Lot

### **Bild 10: AgC Querschliffe**

#### **AgNi Auflagen**

Größere Auflagen erhalten zusätzlich eine Lotplattierung für eine wirtschaftliche Lötung.

#### **Ag/SnO<sub>2</sub> Auflagen**

Alle Ag/SnO<sub>2</sub> Kontaktauflagen sind mit einer hochsilberhaltigen Unterseite versehen (Ag bzw. AgNi<sub>0,15</sub>) auf der je nach Kundenwunsch auch schon das Lot anplattiert ist. Die Ag-Schicht beträgt ca. 15 % der Kontaktwerkstoffauflagendicke. Dieser Aufbau ermöglicht zum einen die wirtschaftliche und prozesssichere Verbindung auf den Kontaktträger mittels Löten (**Bild 11**), als auch Erhöhung der Lebensdauer; da sich diese Ag-Schicht mit den Resten des nahezu abgebrannten Kontaktwerkstoffes auflegt und somit ebenfalls genutzt werden kann. Weiterhin kann diese Schicht als Dehnungspuffer thermomechanische Spannungen aufnehmen und so entscheidend die Verbindungsfestigkeit unter Belastung erhöhen.



**Bild 11:** Aufgelötete Ag/SnO<sub>2</sub> Kontaktauflage mit Ag-Unterschicht auf Cu-Trägermaterial (Längsschliff)

Der Schichtverbund kann entweder über Heißwalzplattieren (**Bild 12**) oder Verbundstrangpressen erzeugt werden. Das Heißwalzplattieren hat im Gegensatz zum Verbundstrangpressen den Vorteil der besseren Schichtkontrolle.



**Bild 12:** Herstellung von Ag/SnO<sub>2</sub>-Profilen und -auflagen

### Innere Oxidation: Ag/SnO<sub>2</sub>/In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ag/ZnO, Ag/CdO

Für die Einlagerung einer Oxidkomponente in die Silbermatrix ist auch das Glühen von Silberlegierungen in sauerstoffhaltiger Atmosphäre möglich, bei dem die unedleren Legierungsbestandteile mit dem eindiffundierenden Sauerstoff feine Oxidausscheidungen in einer reinen Silbermatrix bilden. Für Ag/CdO war und ist es das am meisten genutzte Verfahren. Mit dem Übergang zu Ag/SnO<sub>2</sub> Kontaktwerkstoffen setzte sich in Europa die oben genannte pulvermetallurgische Fertigung durch, während in Asien die innere Oxidation (Ag/SnO<sub>2</sub>/In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) beibehalten wurde. Die jeweiligen Ag/SnO<sub>2</sub> Kontaktwerkstoffe unterscheiden sich erheblich (Kontaktwiderstand, Abbrandfestigkeit) und erfordern daher auch stark unterschiedliche Geräteauslegungen. Durch die geringe Verbreitung des Verfahrens in Europa sei es hier lediglich der Vollständigkeit halber genannt.

## 8. Zusammenfassung

Silberhaltige Kontaktwerkstoffe haben in der Niederspannungstechnik eine hohe Bedeutung. Die weitgehende Verdrängung von Ag/CdO in Europa führte zu einer starken Steigerung der Produktionsmengen von AgNi und zur Einführung verschiedener Ag/SnO<sub>2</sub>-Qualitäten. Diese beiden silberreichen duktilen Kontaktwerkstoffe wie auch das hochsilberhaltige AgC werden vorzugsweise stranggepresst. Schwer umformbare Werkstoffe wie AgW bzw. AgWC mit geringerem Silbergehalt werden auf Endmaß gepresst und mit flüssigem Silber infiltriert.

Ein stetig steigender Silberpreis als auch die unaufhörliche Leistungssteigerung der Schaltgeräte treibt die Weiterentwicklung der Kontaktwerkstoffe voran.

## Literatur

- [1] Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG
- [2] [www.eia.gov/countries/](http://www.eia.gov/countries/) vom 14. August 2013
- [3] Heringhaus, F.; Braumann, P.: Anwendung der naßchemischen Fälltechnik zur Herstellung neuartiger pulvermetallurgischer Kontaktwerkstoffe, Hager Symposium Pulvermetallurgie, 2002
- [4] [www.silverinstitute.org/site/supply-demand/](http://www.silverinstitute.org/site/supply-demand/) vom 8. August 2103
- [5] Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials“ der EU Kommission, Report 30.7.2010
- [6] „Ressourceneffizienz und ressourcenpolitische Aspekte des Systems Elektromobilität“ (OPTUM Projekt), Studie des Öko-Institut , Darmstadt, 28.2.10.2011
- [7] Kempf, B.; Braumann, P.; Böhme, C.; Fischer-Bühner, J.: Silber-Zinnoxid-Werkstoffe: Herstellverfahren und Eigenschaften, Metall, 61. Jahrgang, 6/2007
- [8] Mützel, T.; Braumann, P.; Niederreuther, R.: Development of Contact Material Solutions for Low-Voltage Circuit Breaker Applications (1), 25th International Conference on Electrical Contacts (ICEC) & 56th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, Charleston, USA, 2010
- [9] Mützel, T.; Niederreuther, R.: Development of Contact Material Solutions for Low-Voltage Circuit Breaker Applications (2), 57th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, Minneapolis, USA, 2011

**Dieser Vortrag wurde auf dem 32. Hager Symposium gehalten und im Tagungsband 29 des Hager Symposiums veröffentlicht.**