

# Nachhaltigkeit bei der Werkstoffentwicklung und Werkstoffherstellung

Hojda, R.; Köhler, M.; Riepe, U.; Hecker, S. (1)

*Knapper werdende Ressourcen belasten zunehmend den wirtschaftlichen Erfolg im privaten und industriellen Bereich. Betroffen sind Energieversorgung und Grundstoffe gleichermaßen. Der Hintergrund: Metallpreissteigerungen im dreistelligen Prozentbereich haben bei den Herstellern von Halbzeugen aus Kupferlegierungen dafür gesorgt, dass sich das Verhältnis zwischen Wertschöpfung und Metallwert in den letzten Jahren von einem ausgewogenen Zustand hin zu einem Faktor von eins zu drei entwickelt hat.*

Standen in der Vergangenheit die mechanischen und technologischen Eigenschaften bei der Werkstoffauswahl im Vordergrund, so hat inzwischen der Metallwert deutlich an Bedeutung gewonnen. Auswirkungen hat dies auch auf die Werkstoffentwicklung und Herstellung: Fragestellungen nach einer guten Recyclierbarkeit von neuen Legierungen und Verbundwerkstoffen beschäftigen die Entwickler ebenso wie der Ansatz, über höherfeste Legierungen eine geringere Wandstärke, sprich einen ressourcenschonenderen Materialeinsatz zu realisieren. Im Folgenden werden die Aspekte „gute Recyclierbarkeit“ und „reduzierter Materialeinsatz“ an zwei Entwicklungsbeispielen dezidiert dargestellt: Zum einen handelt es sich bei diesen beschriebenen Werkstoffen um eine neue Legierung mit hoher Leitfähigkeit, die auch in verzinneter Form uneingeschränkt recycelbar ist, zum anderen um eine hochfeste Bronze, die neben einer einfachen Rückführung in den Wertstoffkreislauf vor allem ein hohes Potential im Bereich der Miniaturisierung und dem ressourcenschonenden Materialeinsatz bietet.

## Entwicklungsbeispiel 1

An Verbindungselemente in der Elektrotechnik und Elektronik wer-

den eine Vielzahl von Anforderungen gestellt. Neben einer ausreichenden mechanischen Festigkeit stellen die elektrische Leitfähigkeit und die Korrosionsbeständigkeit wichtige Kriterien für die sichere Funktion der Bauteile über die Lebensdauer des Gesamtsystems

dar. Oftmals kommt es dabei zu einer Überschneidung von Eigenschaftsanforderungen, die sich im Grundsatz gegeneinander ausschließen, wie beispielsweise die Kombination einer guten Leitfähigkeit mit hoher Korro-

sionsbeständigkeit. Verbessern Legierungselemente im Kupfer, wie Nickel und Chrom, einerseits die Korrosionsbeständigkeit, so verringern sie andererseits die Leitfähigkeit erheblich (siehe Bild1).

Einen bereits vielfältig praktizierten Lösungsansatz stellen Verbundwerkstoffe dar, in erster Linie Oberflächenbeschichtungen auf Basis von reinem Zinn auf Kupferwerkstoffen. Die in der Vergangenheit typischen Zinn-Blei-Verbindungen sind wegen der seit dem 1. Juli 2006 gültigen RoHS-Richtlinie nicht mehr im Verkehr (bis auf wenige Ausnahmen). Die Integration der Funktionsschicht Reinzinn in den Wertstoffkreislauf wird im Folgenden ausführlich behandelt.

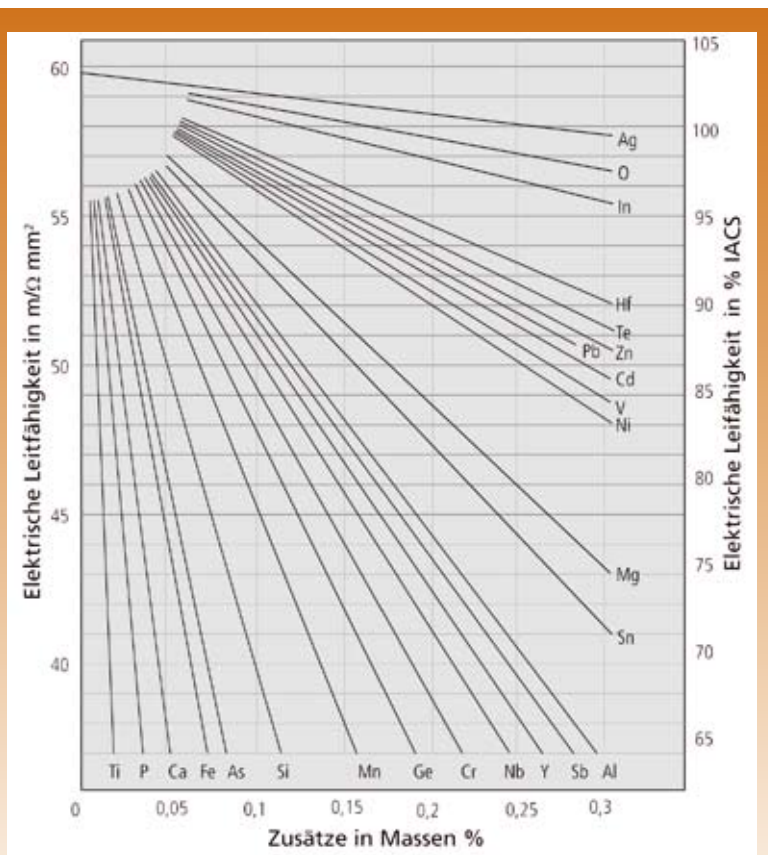
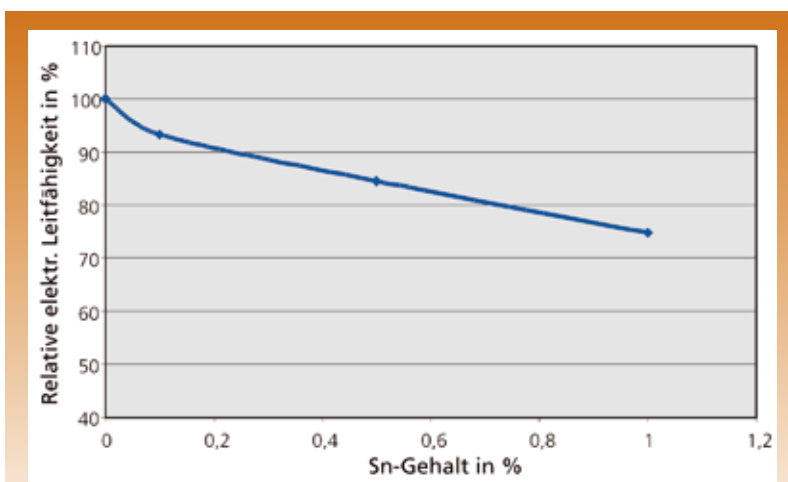


Bild 1: Einfluss von Legierungselementen auf die elektr. Leitfähigkeit von Kupfer



**Bild 2: Einfluss des Sn-Gehaltes auf die Leitfähigkeit von CuFe2P**

Bei dem Design von Steckverbindern, gleich welcher Art, treten bei der Werkstoffauswahl zunächst die physikalischen Kenngrößen wie elektrische Leitfähigkeit, E-Modul, thermische Relaxation und das Verarbeitungsvermögen, also die Umform- und Biegebarkeit sowie das Schweißverhalten, in den Vordergrund. Fragen in Bezug auf den Oberflächenschutz – sei es ein partieller oder ein vollflächiger – stehen zusammen mit der prinzipiellen Verfügbarkeit der Werkstoffe sowie deren Preise an zweiter Stelle. Die Betrachtung der Recycelbarkeit von Produktion-/Stanz-Abfällen erfährt allerdings in vielen Fällen nicht die Aufmerksamkeit, die ihr aus ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten zukommen sollte. Dazu ein Beispiel:

Bei der Herstellung von großflächigen Leadframes aus feuerverzinneten CuFe2P (C19400) für ABS- und ESP-Systeme fallen in der Herstellung der Stanzgitter rund 50 bis 70 % Schrott an. Diese Schrotte können nicht direkt recycelt werden (Rückführung in den Schmelzprozess), sondern müssen aufwändig verhüttet und elektrochemisch getrennt werden. Die Rückführung in den Wertstoff-/Produktions-Kreislauf erfolgt demnach als Kathode. Dieser Vorgang ist sehr energieintensiv und damit gegenüber dem direkten Einschmelzen der Schrotte sehr teuer. Üblicherweise wird ein 0,4 mm dickes Band beidseitig mit 3 µm Zinn beschichtet. Beim direkten Recycling

würde auf Basis dieser Schrotte eine mit rd. 1,5 % Zinn verunreinigte CuFe2P Legierung entstehen. Dies hat starke Auswirkungen auf das Verfestigungsverhalten und die elektrische Leitfähigkeit, welche bereits ab Gehalten oberhalb von 0,3 % Zinn drastisch abfällt (siehe Bild 2). Daraus ergibt sich der Wunsch nach einer alternativen, neuen Legierung,

die vergleichbare Eigenschaften wie CuFe2P aufweist, aber auch im verzinneten Zustand problemlos recycelt werden kann. Reine CuSn-Legierungen wie beispielsweise CuSn 0,15 haben zweifellos das Potential, als Alternative herangezogen zu werden. Beschichtet mit Zinn können die Schrotte dem Wertstoffkreislauf direkt zugeführt werden (siehe Tabelle 1). Ferner entsprechen die mechanischen und technologischen Eigenschaften denen von CuFe2P relativ gut. Deutliche Schwächen treten allerdings beim Erweichungsverhalten und der Relaxationsbeständigkeit auf (siehe Tabellen 2 und 3).

Anders sieht dies bei der neu entwickelten Legierung BB05xi aus. Durch die gezielte Abstimmung der Legierungselemente Zinn, Nickel und Phosphor erreicht dieser Werkstoff sowohl zu CuFe2P vergleichbare mechanische und technologische Eigenschaften als auch das für die jeweilige Weiterverarbeitung und Endanwendung erforderliche Eigenschaftsprofil im Bereich des Erweichungsverhaltens und der Relaxation – dem Kriechen des Bau-

	BB01 C14410/15	SB02 C19400	BB05xi
Cu	Rest	Rest	Rest
Sn	0,12	-	0,2 - 0,8
Zn	< 0,10	0,13	< 0,05
Fe	< 0,02	2,4	< 0,02
Ni	< 0,02	-	0,1 - 0,6
P	< 0,015	0,03	0,008-0,05

**Tabelle 1: Vergleich der chemischen Zusammensetzung von div. Bronzen**

	BB01	SB02	BB05xi
Elektrische Leitfähigkeit weich % IACS	> 83	63	> 62
Thermische Leitfähigkeit W/mK	360	260	250
Wärme-Ausdehnungs- koeffizient Rt-100°C	17,7x10 <sup>-6</sup>	17,7x10 <sup>-6</sup>	17,7x10 <sup>-6</sup>
Elastizitätsmodul GPa	128	123	126

**Tabelle 2: Vergleich der technologischen Eigenschaften von div. Bronzen**

Bandabmessung 0,3 mm	BB01	SB02	BB05xi
Rm MPa	450	450	425
Rp0,2 MPa	410	420	380
A50 %	4	9	6
HV	130	145	125
Erweichungstemperatur °C (1 h)	300	350	350
Biegebarkeit 180° GW R/S	1	0	0,5
Biegebarkeit 180° BW R/S	1	1	0,5

**Tabelle 3: Vergleich der technologischen Eigenschaften von div. Bronzen**

teils unter Spannung bei erhöhter Temperatur (siehe Bild 3).

Bei dem Einsatz von BB05xi in verzinnter Form bildet sich die Legierungsschicht zwischen Grundwerkstoff und Zinnaufgabe bei einer thermisch belasteten Weiterverarbeitung in einer zu CuFe2P gut vergleichbaren Größenordnung aus. Eine Anpassung der Fertigungsanlagen ist bei der Umstellung auf diesen neuen Verbundwerkstoff somit nicht erforderlich (Bild 4). Darüber hinaus zeichnet diese neue Legierung in besonderer Weise die direkte Rückführbarkeit verzinnter Schrotte aus den einzelnen Stufen der Wertschöpfungskette aus. Auch der Vergleich der Metallwerte von BB05xi und CuFe2P rechtfertigt nicht die Differenz der Aufwendungen zwischen indirektem und direktem Recycling von Produktions- und Stanzschrotten, welche branchenüblich bei 20 bis 25 % des Metallwertes liegen – ein Faktor, dem speziell bei steigenden und hohen Rohstoffpreisen eine überaus hohe Bedeutung zukommt. So können die Verhüttungskosten bei einem Schrottanteil von zum Beispiel 70 % schnell die Höhe der Fabrikationskosten erreichen und damit die Wirtschaftlichkeit in Frage stellen.

Der alternative Einsatz einer verzinnten Phosphor-Bronze stellt somit sowohl unter ökonomischen als auch ökologischen Gesichtspunkten (der zusätzliche Einsatz von Strom und Säure zur elektrolytischen Aufbereitung der Schrotte kann entfallen) eine sinnvolle Alternative zu verzinnnten Kupfer-Eisen-Legierungen dar.

### Entwicklungsbeispiel 2

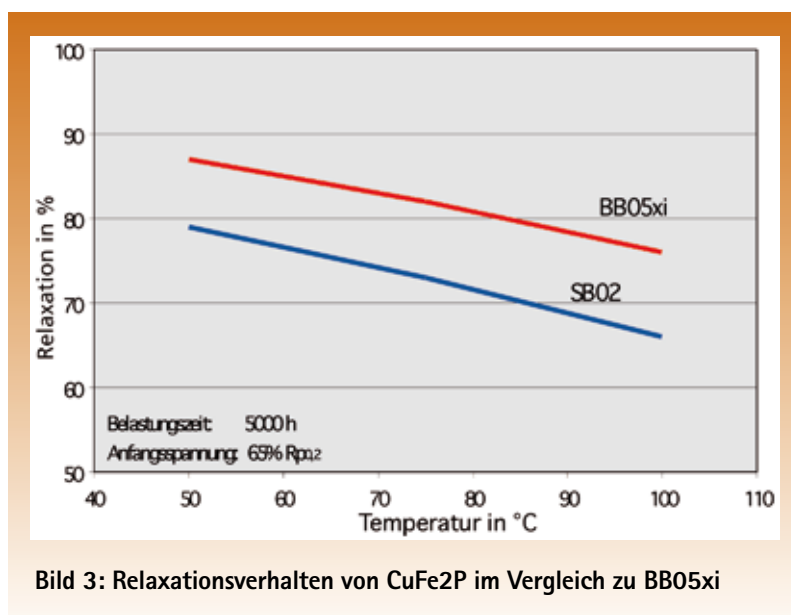
Kupfer-Zinn-Legierungen werden für Stecker und Bauelemente in der Elektronik und Elektrotechnik eingesetzt, da sie gute bis sehr gute Federeigenschaften, eine gute elektrische und thermische Belastbarkeit und geringe Spannungsrelaxation sowie eine herausragende Biegebarkeit und Lötbarkeit aufweisen. Üblicherweise wird dieser Legierungsgruppe etwas Phosphor zur Desoxidation zulegiert, deshalb werden sie auch als „Phosphorbronzen“ bezeichnet. Die Eigenschaften dieser Legierungsgruppe werden vorrangig vom Zinn und Phosphorgehalt und in zweiter Linie vom Zusatz weiterer Legierungselemente bestimmt. Durch eine abgestimmte Verarbeitung können sie einem breiten Anwen-

dungsgebiet angepasst werden. Daraus resultiert auch die große Zahl der industriellen Einsatzbereiche, welche von hochwertigen Steckverbindern und Stecksockeln für Elektronikbaugruppen bis zur Anwendung als stromführende Relaisfeder reichen.

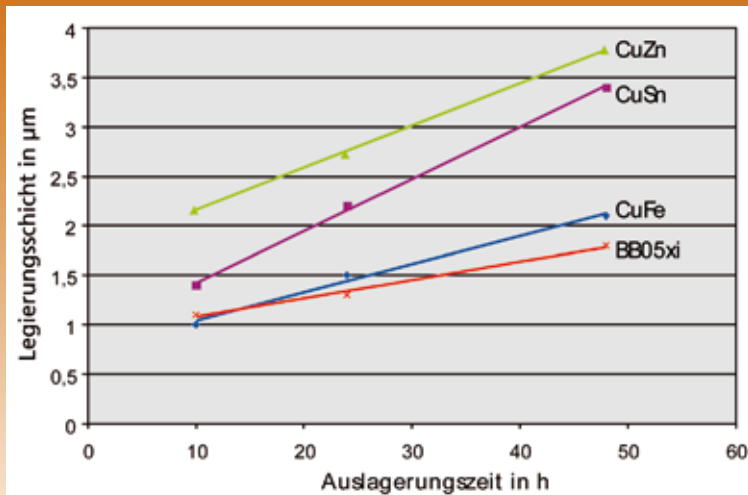
Für eine effizientere Werkstoffauswahl in der Familie der Phosphorbronzen wurde in der Vergangenheit in der Regel ein „Downgrading“ vorgenommen. Oder anders ausgedrückt: Es musste eine niedriger legierte Phosphorbronze in ihren technologischen Eigenschaften so abgestimmt werden, dass die Feder- und Verarbeitungseigenschaften der höher legierten Ursprungsvariante entsprachen. Allerdings gab es Grenzen, die beachtet werden mussten:

Zinn- und Phosphorgehalt beeinflussen maßgeblich das Verfestigungsverhalten und die Duktilität der Phosphorbronzen. Als mittelbare Folgeerscheinung ergibt sich, dass die erreichbare Biegebarkeit deutlich vom Zinngehalt abhängt. Bild 5 zeigt den positiven Einfluss steigender Zinngehalte auf das Biegebarkeitsverhalten bei konstant gehaltenem Festigkeitsniveau. Vor diesem Hintergrund war es nur konsequent, eine höher legierte Phosphorbronze zu entwickeln.

Unterstützt wird dies auch durch die Forderung nach einer Miniaturisierung der Steckverbinder, denn eine Reduktion der Querschnitte führt bei konstanter Auslenkung des Federele-



**Bild 3: Relaxationsverhalten von CuFe2P im Vergleich zu BB05xi**



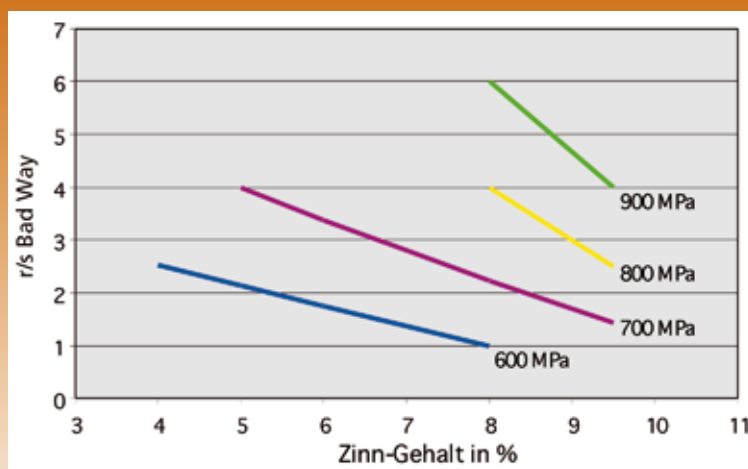
**Bild 4: Wachstum der Legierungsschicht bei 180 °C nach dem Feuerverzinnen**

menten zu einem Abfall der Kontaktkraft. Für eine definierte unveränderte Kraft muss das Federelement also umkonstruiert werden – die Designspannung steigt entsprechend an. Eine Lösung stellt hier die neu entwickelte Legierung BB95, eine 10%ige Phosphorbronze dar:

Im Vergleich zu einer 8%igen Zinnbronze weist BB95 bei einem Streckgrenzeniveau von  $R_{p0,2} > 720$  MPa eine Verbesserung der Biegsbarkeit in BW 90° R/S um den Faktor 2 auf. Verfestigt werden kann BB95 je nach Anwendung auf ein Streckgrenzeniveau  $R_{p0,2}$  von 800 MPa oder in der höchstfesten Form auf  $> 950$  MPa.

Der Unterschied in der elektrischen Leitfähigkeit zwischen BB95 und einer 8%igen Zinnbronze beträgt ca. 1 % IACS, d. h. der leitfähigkeits-senkende Einfluss von Sn ist auf diesem Niveau des Legierungselementgehaltes zu vernachlässigen.

Für den Temperzustand SH (Spring Hard) zeigt BB95 ein Erweichungsverhalten wie eine 8 %ige Phosphorbronze – ein signifikanter Festigkeitsabfall tritt erst bei rund 280 °C auf. Zudem ist das Relaxationsverhalten des neuen Werkstoffes mit  $< 20$  % bei einer Temperatur von 100 °C und für einen Prüfzeitraum von 10.000 h mit der oben genannten Referenzle-



**Bild 5: Biegsbarkeit als Funktion der Festigkeit für diverse Phosphor-Bronzen**

gierung gut vergleichbar (identischer Belastungsgrad vorausgesetzt). Übertragen auf die oben genannte Kontaktkraft erscheint bei dem Einsatz von BB95 eine Verringerung der Materialstärke und die damit einhergehende Materialeinsparung von rund 20 % im Bereich des Möglichen zu liegen.

### Zusammenfassung

Stark steigende Rohstoffkosten – allen voran die Entwicklung des Kupferpreises – haben das Verhältnis von Veredelungstiefe zu Metallwert bei der Halbzeugherstellung aus Kupferlegierungen drastisch verändert. Einsparungen im Bereich des Recyclings und des Materialeinsatzes wirken sich bei einer ganzheitlichen Betrachtung des Wertstoffkreislaufes stärker aus als die Summe der Veredelungsaufwendungen.

An dem Beispiel der niedrig legierten Kupfer-Werkstoffe wird der Einfluss einer vorausschauenden Werkstoff- und Verbundwerkstoff-Auswahl dargestellt. Die Kombination einer neu entwickelten, niedrig legierten Phosphor-Bronze mit Zinn-Beschichtung stellt sich hier sowohl unter ökologischen als auch unter ökonomischen Gesichtspunkten als sinnvolle Alternative zu verzinneten Kupfer-Eisen-Legierungen dar – und dies bei einem vergleichbaren Eigenschaftsprofil.

Dem Ansatz, über einen höherfesten Werkstoff einen Mehrwert für den Kunden im Bereich des Materialeinsatzes zu generieren, wird mit der Neuentwicklung einer 10%igen Phosphorbronze Rechnung getragen. Diese weist bei vergleichbarem Eigenschaftsprofil zu einer 8%igen Kupfer-Zinn-Legierung ein verbessertes Biegsbarkeitsverhalten auf. Weiter erlaubt der neue Werkstoff ein ressourcensparendes Design, da er ein höheres Spannungsniveau zulässt. Eine Materialeinsparung von 20 % erscheint realisierbar.

(1) Ralf Hojda, Dr. Michael Köhler, Udo Riepe, Silke Hecker, Diehl Metall Sundwiger Messingwerk