

Dr.-Ing. Robert Zauter, Andreas Beschoner, Barbara Biegler, Dr.-Ing.
Dragoslav Vucic-Seele

BIEGBARKEIT VON BÄNDERN FÜR HOCH- STROM-STECKVERBINDER

Erschienen im Tagungsband

Anwenderkongress Steckverbinder 2022

Biegsamkeit von Bändern für Hochstrom-Steckverbinder

Dr.-Ing. Robert Zauter, Andreas Beschoner, Barbara Biegler, Dr.-Ing. Dragoslav Vucic-Seele, Wieland-Werke AG, Ulm, Deutschland

Kurzfassung

Die fortschreitende Elektrifizierung des Automobils und die sich rasant entwickelnde Elektromobilität führen zu einem erhöhten Bedarf an Hochstrom-Steckverbindern. Mit steigender Höhe der zu übertragenden Ströme steigen auch die Querschnitte der elektrischen Leitungen. Im gleichen Maße trifft dies auf die stromtragenden Querschnitte der Steckverbinder zu. Die dafür verwendeten Grundwerkstoffe sind hoch-leitfähige Kupferlegierungen in Bandform. Die Banddicken für Hochstrom-Steckverbinder liegen häufig zwischen 0.5 und 1.5 mm, was als mittlere Banddicken bezeichnet wird. Informationen zur Biegsamkeit stehen öffentlich für kleine Banddicken ($\leq 0,5$ mm) in Form von Datenblättern und in Internet-basierten Werkstoffauswahlprogrammen zur Verfügung. Für mittlere Banddicken ist dies noch nicht der Fall. Hier trifft die Halbzeugindustrie bislang individuelle Machbarkeitsaussagen. Diese Publikation beschreibt zum einen die Besonderheiten des Biegeverhaltens (90°) von Bändern mittlerer Banddicke und stellt zum anderen Biegsamkeitsdaten für ausgewählte Hochstrom-Werkstoffe im relevanten Dickenbereich vor.

1. Kupferwerkstoffe für Steckverbinder und ihre Eigenschaften

Für die Auswahl eines Kupferwerkstoffes für einen Steckverbinder sind die folgenden vier Eigenschaften des Grundmaterials von besonderer Wichtigkeit:

1. Die elektrische Leitfähigkeit
2. Die Festigkeit, insbesondere die Streckgrenze
3. Die Beständigkeit gegen thermische Relaxation
4. Das Umformvermögen

Bild 1 zeigt die Position üblicher Steckverbinderwerkstoffe in Form von Bändern in einem Leitfähigkeits-Festigkeits-Diagramm. Jede Legierung ist durch ein Kästchen gekennzeichnet. Ihre Lage im Diagramm ist gekennzeichnet durch ihre Leitfähigkeit (Höhe auf der Y-Achse) und einen gewissen Festigkeitsbereich. Alle Legierungen in ihren dargestellten Festigkeitsbereichen besitzen gleich großes Umformvermögen, charakterisiert durch die Biegsamkeit $r/t = 0.5$ bei 90° -Biegung senkrecht zur Walzrichtung und Standard-Biegebreite (Aussage der Textbox links unten im Diagramm). Ausnahmen sind die hochfesten Legierungen K57 und K58, die diese Bedingung nicht einhalten. Diese Legierungen werden vornehmlich in Anwendungen mit miniaturisierten Steckverbindern oder Federn eingesetzt (Handy, Tablets, Notebook...). Hier kommt es aufgrund der sehr schmalen Biegebreiten und niedrigen Banddicken in der Regel zu keinen Problemen.

Kupferlegierungen, die im Diagramm in roter Farbe dargestellt sind, besitzen eine hervorragende Beständigkeit gegen thermische Relaxation, also gegen das Nachlassen der Federkräfte eines Steckverbinders im Einsatz bei erhöhter Temperatur.

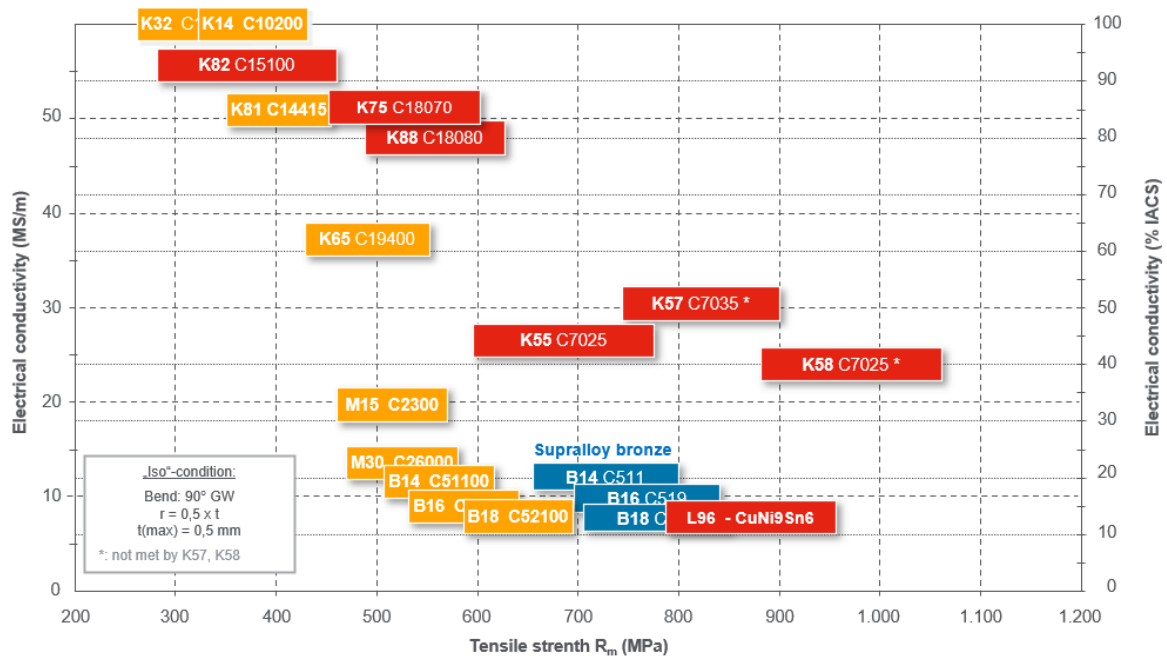


Bild 1: Leitfähigkeits-Festigkeits-Diagramm für Steckverbinder-Werkstoffe in Form von Bändern.

Hochstrom-Steckverbinder haben die Aufgabe, hohe Ströme zu übertragen. Dafür benötigen sie eine hohe elektrische Leitfähigkeit. Diese ist vor allem deswegen notwendig, um die Erwärmung durch den Stromdurchfluss so niedrig wie möglich zu halten. Dementsprechend befinden sich die für Hochstrom-Steckverbinder zur Anwendung kommenden Werkstoffe in der linken oberen Ecke des Diagramms. Für die Übertragung von Signalströmen dagegen ist eine moderate elektrische Leitfähigkeit ausreichend, wie sie beispielsweise die Phosphorbronzes aufweisen.

Gleichzeitig müssen Federkräfte aufgebracht werden, was eine gewisse Festigkeit des Werkstoffes erfordert.

In vielen Fällen ist die Betriebstemperatur dauerhaft erhöht, nicht zuletzt wegen der kaum vermeidbaren Stromerwärmung. Selbstverständlich dürfen auch dann die Federkräfte des Steckverbinders nicht, bzw. nur geringfügig nachlassen. Die Werkstoffeigenschaft, die für thermische Stabilität der Federkraftaufbringung sorgt, ist die Beständigkeit gegen thermische Relaxation.

Neben den funktionalen Eigenschaften ist zusätzlich ein hohes Umformvermögen des Grundwerkstoffes notwendig, um die Herstellung der Steckverbinder durch Umformprozesse wie Biegen, Prägen oder sogar Tiefziehvorgänge rissfrei zu überstehen. Die 90° - Biegebarkeit ist hierfür ein häufig verwendetes Kriterium, welches in Qualitätsprüfungen getestet und in den Werkszeugnissen dokumentiert wird.

2. Kupferwerkstoffe für Hochstrom-Steckverbinder

Um die Erwärmung durch den Stromdurchfluss zu begrenzen, weisen Hochstrom-Steckverbinder, neben der guten Leitfähigkeit des Kupferwerkstoffes, meist zusätzlich einen vergleichsweise hohen Querschnitt auf. Dafür werden sehr häufig Bänder in Banddicken von 0.5 bis 1.5

mm verwendet. Die im Folgenden diskutierten und in Tabelle 1 zusammengefassten Werkstoffe stehen in diesem Dickenbereich zur Verfügung.

a) Reinkupfer

Die beiden Reinkupfer K14 (Cu-PHC, C10300, sauerstofffrei) und K32 (Cu-ETP, C11000, sauerstoffhaltig) werden für nicht-federnde Komponenten, z.B. als dickwandiger Träger für dünnwandige Federn aus Hochleistungslegierungen, verwendet. Dabei unterliegen die Reinkupfer ebenfalls Biegeoperationen. **Bild 2a** zeigt schematisch eine solche Konstruktion.

Bei besonderen hohen Anforderungen an die Umformbarkeit sowie bei Anwendung von Schmelzschweißverfahren wird häufig das sauerstofffreie Reinkupfer K14 bevorzugt.

b) Mischkristallgehärtete Kupferlegierungen

K81 (CuSn0.15, C14415) ist die gebräuchlichste hoch-leitfähige Mischkristall-Legierung. Durch die Zulegierung von 0.15 % Zinn lassen sich höhere Festigkeiten im Werkstoff und somit höhere Federkräfte im Steckverbinder erreichen, als dies mit Reinkupfer möglich ist. Die Leitfähigkeit gegenüber Reinkupfer sinkt um ca. 12 %. Dieser Werkstoff wird häufig für Hochstrom-Steckverbinder verwendet, wenn keine Stromerwärmung zu erwarten ist.

c) Ausscheidungsgehärtete Kupferlegierungen

K75 (CuCrSiTi, C18070) ist ein in hohen Banddicken verfügbarer hoch-leitfähiger Federwerkstoff. Die Ausscheidungen führen zur Erreichung hoher Festigkeit und damit hoher Federkräfte. Zusätzlich sorgen sie für exzellente thermische Stabilität, also für exzellente Beständigkeit gegen thermische Spannungsrelaxation. Somit kann K75 auch bei erhöhten Betriebstemperaturen eingesetzt werden. Die Leitfähigkeit liegt bei 83 % IACS. Aus K75 werden häufig dickwandige Konstruktionen für Hochstrom-Steckverbinder realisiert. **Bild 2b** zeigt eine solche Konstruktion schematisch.

K55 (CuNi3SiMg, C70250) ist ebenfalls ein ausscheidungsgehärteter Hochleistungswerkstoff und hat seinen Schwerpunkt auf besonders hohe Federkraftaufbringung. Die Beständigkeit gegen thermische Relaxation ist ebenfalls exzellent. Dieser Werkstoff wird insbesondere dann für Hochstrom-Steckverbinder eingesetzt, wenn hohe Federkräfte (Normalkräfte) dringend erforderlich sind. Die elektrische Leitfähigkeit liegt üblicherweise bei 43 - 50 % IACS.

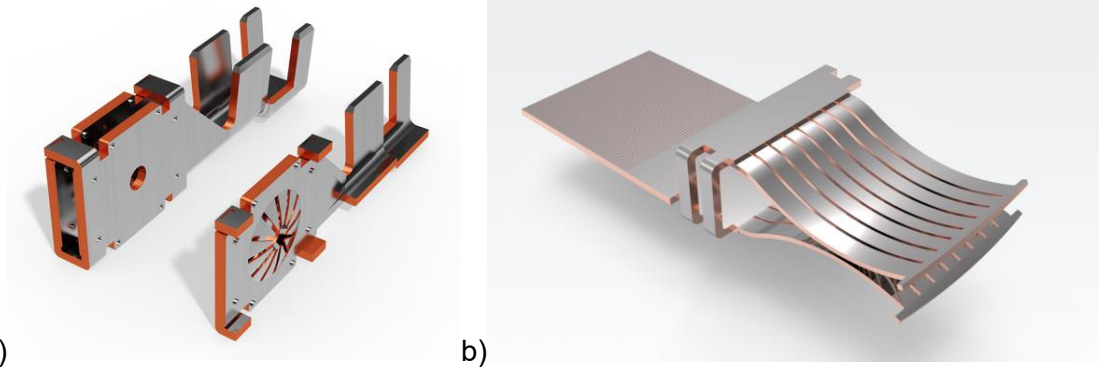


Bild 2: Schematische Darstellung zweier unterschiedlicher Konstruktionen von Hochstrom-Steckverbindern, a) Konstruktion aus zwei Werkstoffen, einem Träger aus Reinkupferband mit hoher Banddicke und einer Feder aus einem Hochleistungskupferwerkstoff mit dünner Banddicke, b) dickwandige, federnde Konstruktion aus einem einzigen ausscheidungsgehärteten Hochleistungswerkstoff. Beide Schemazeichnungen stellen auf dem Markt erhältliche Steckverbinder dar und wurden von den Herstellern freundlicherweise zur Veröffentlichung freigegeben.

Tabelle 1: Übliche Kupferwerkstoffe für Hochstrom-Steckverbinder, die in Banddicken > 0.5 mm eingesetzt werden.

Werkstoff Name	UNS-Nr.	Zusammensetzung	Typ	Besonderheit
K14	C10300	Cu-PHC	Reinkupfer, sauerstofffrei	Höchste Leitfähigkeit, exzellente Umformbarkeit
K32	C11000	Cu-ETP	Reinkupfer, sauerstoffhaltig	Höchste Leitfähigkeit
K81	C14415	CuSn0.15	Mischkristall, naturhart	Leicht erhöhte Festigkeit
K75	C18070	CuCrTiSi	Ausscheidungsgehärtet	Deutlich erhöhte Festigkeit, Exzellente Relaxationsbeständigkeit
K55	C70250	CuNi3SiMg	Ausscheidungsgehärtet	Sehr hohe Festigkeit Exzellente Relaxationsbeständigkeit

3. Banddickenbereiche

In Bezug auf die Biegebarkeit von Bandwerkstoffen unterscheidet die Kupferhalbzeugindustrie in drei Banddickenbereiche:

3.1 Dünne Banddicken, $t \leq 0.5$ mm

Für Banddicken < 0.5 mm liegen für alle Kupferbandwerkstoffe vollständige Biegedaten vor. Die Biegebarkeit wird mit dem kleinstmöglichen Verhältnis r/t (Biegeradius / Banddicke) angegeben, bei dem die Biegeaußenkante rissfrei ist. Die Biegebarkeiten sind in Datenblättern [1] und in internet-basierten Werkstoffauswahl-Programmen (z.B. dem Alloywizard der Wieland-

Werke AG [2]) publiziert. Die Datenblätter zeigen üblicherweise die Biegebarkeiten zu den Biege­winkeln 90° und 180° sowohl senkrecht (good way) als auch parallel (bad way) zur Walz­richtung in einer Biegung mit Standard-Biegebreite von 10 mm oder größer, siehe **Bild 3**. Ei­nige internet-basierten Werkstoff-Auswahlprogramme zeigen zusätzlich die Biegebarkeiten bei schmalere­n Breiten, welche gegenüber der Standardbreite verbessert sind, siehe **Bild 4**.

3.2 Mittlere Banddicken: $0.5 \text{ mm} < t \leq 1.5 \text{ mm}$

Die Biegebarkeitsaussagen verlieren ihre Gültigkeit bei Banddicken $> 0.5 \text{ mm}$. Die lokalen plastischen Dehnungen an der Biegeaußenkante nehmen mit zunehmender Banddicke zu und Rissbildung setzt bereits bei größeren r/t Werten ein. Biegebarkeitsdaten standen bislang nicht öffentlich zur Verfügung. Biegebarkeitszusagen werden von den Herstellern individuell auf Basis interner Machbarkeitsaussagen getroffen. Relevant sind die Biegedaten in diesem Dickenbereich vor allem für Werkstoffe für Hochstrom-Steckverbinder. Diese Publikation ver­öffentlicht zum ersten Male Biegebarkeitsaussagen für Bänder mit mittleren Banddicken.

3.3 Hohe Banddicken: $t > 1.5 \text{ mm}$

Banddicken $> 1.5 \text{ mm}$ werden gelegentlich auch für Steckverbinder verwendet. Der Fokus der Anwendungen hoher Banddicken liegt jedoch bei gestanzten Stromleitern (Busbars). Derartige Stromleiter werden üblicherweise mittels Schraubverbindung (nicht mittels Ste­cken) verbunden, so dass keine Anforderungen an Steckkräfte bestehen. Reinkupfer sind dann bevorzugte Werkstoffe. Anforderungen an Biegungen sind gering und werden üblicher­weise erfüllt.

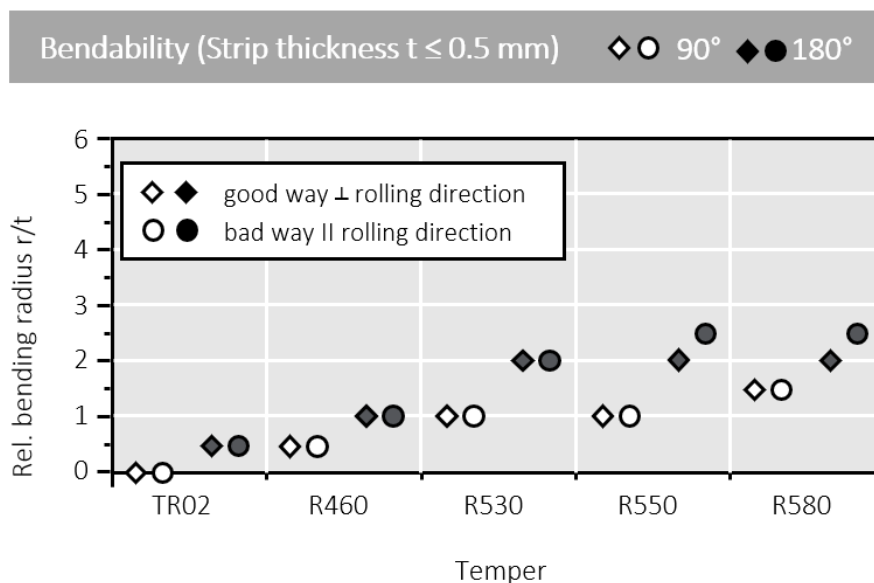


Bild 3: Darstellung der Biegebarkeit auf einem Datenblatt am Beispiel des Bandwerkstoffes K75 (CuCrSiTi, C18070), gültig für Banddicken $\leq 0.5 \text{ mm}$ [1].

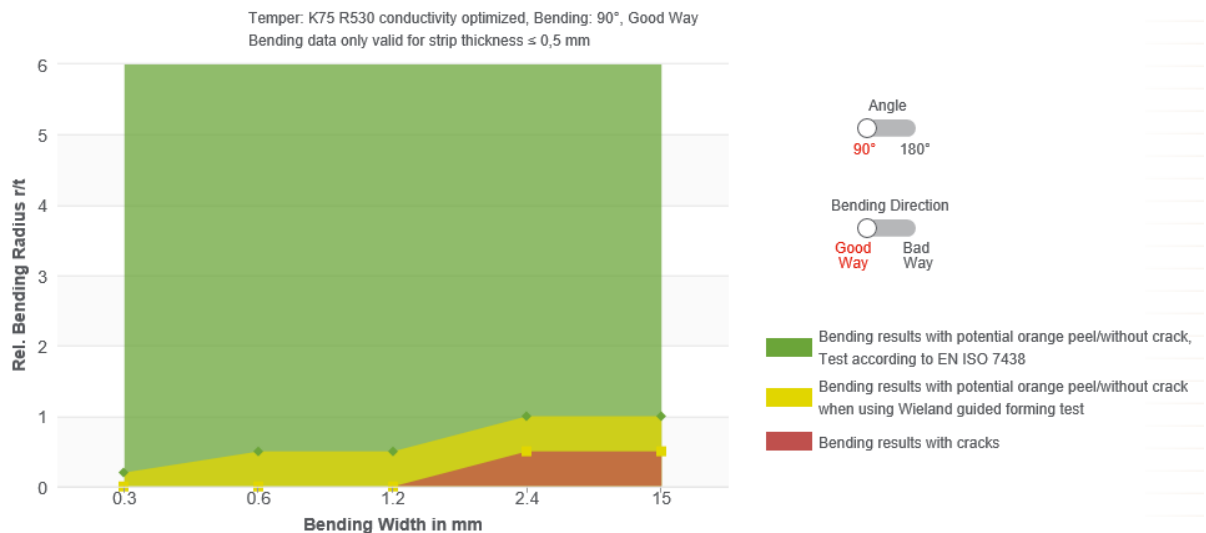


Bild 4: Darstellung der Biegebarkeit im Programm „Alloywizard“ am Beispiel des Bandwerkstoffes K75 (CuCrSiTi, C18070), gültig für Banddicken $\leq 0,5$ mm. Biegedaten werden für Biegeproben mit Standardbreite (15 mm) und geringere Biegebreiten ausgewiesen [2].

4. Biegeprüfung und Bewertung

4.1 Biegeprüfung gemäß DIN EN ISO 7438

Biegeprüfungen an Kupferbandwerkstoffen werden üblicherweise gemäß DIN EN ISO 7438 [3] durchgeführt. Die größte Verbreitung hat das Biegen ins V-Gesenk, in der Norm beschrieben als Verfahren mit „Biegevorrichtung mit einer V-förmigen Matrize und einem Biegestempel“. **Bild 5** zeigt schematisch diese Prüfung. Eine Biegeprüfung gilt als bestanden, wenn das Band die Prüfung mit einem vorgegebenen (spezifizierten) Biegeradius r rissfrei übersteht. Dabei ist r definiert als der innere Radius der gebogenen Probe nach der Biegung. Bei Biegeprüfungen an Band mit Dicke $t \leq 0,5$ mm ist diese Vorgehensweise meist unproblematisch und der Biegeradius r stimmt mit dem Radius am Stempel des Biegewerkzeuges überein. Die Länge der Biegeprobe beträgt 25 mm, die üblicherweise verwendete Breite der Biegeprobe beträgt 15 mm.

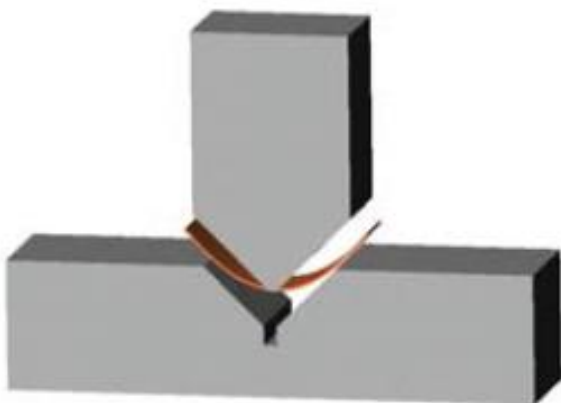


Bild 5: Biegeprüfung mittels „Biegevorrichtung mit einer V-förmigen Matrize und einem Biegestempel“, Schemabild.

4.2 Besonderheiten beim Biegen dicker und höherfester Bänder

Mit zunehmender Banddicke bei gleichzeitig hohen Festigkeiten des Grundwerkstoffes nimmt das Risiko des Auftretens mechanischer Instabilitäten während des Biegevorganges zu. Die Biegeprobe knickt während der Prüfung ein und der tatsächliche Radius r_{IST} an der Innenseite der Biegeprobe bildet sich deutlich kleiner aus als erwartet. Der spezifizierter Biegeradius r wird teilweise deutlich unterschritten. Die Biegeprüfung ist somit „schärfer“ als beabsichtigt. Die plastischen Dehnungen an der äußeren Biegekante sind höher als vorgesehen. Als Konsequenz treten dann Risse an der äußeren Biegekante auf, und die Prüfung wird unerwarteterweise nicht bestanden. **Bild 6a** zeigt einen solchen Fall. Betroffen sind Bänder mit Dicken $t > 0.5$ mm (teilweise auch schon darunter) und mit Festigkeiten oberhalb von ca. 500 MPa.

Durch eine Änderung des Umformpfades kann das Einknicken vermieden werden. Es wird ein Zwischenschritt eingeführt in Form einer Vorbiegung mit größerem Radius R_{VB} . Bewährt hat sich hier die Verwendung eines Biegewerkzeuges mit dem Vorbiegeradius R_{VB} bis zu $10 \times t$. Der zweite Schritt ist die Fertigbiegung mit dem spezifizierten Radius r , der nun sicher in der Biegeinnenkante erreicht wird. Die Biegeprüfung wird dann erwartungsgemäß bestanden, es treten keine Risse auf, siehe **Bild 6b**. Diese Vorgehensweise wurde anfangs im Bedarfsfalle mit Kunden abgesprochen. Mittlerweile ist sie Stand der Technik und wird immer dann angewendet, wenn das Risiko des Einknickens besteht.

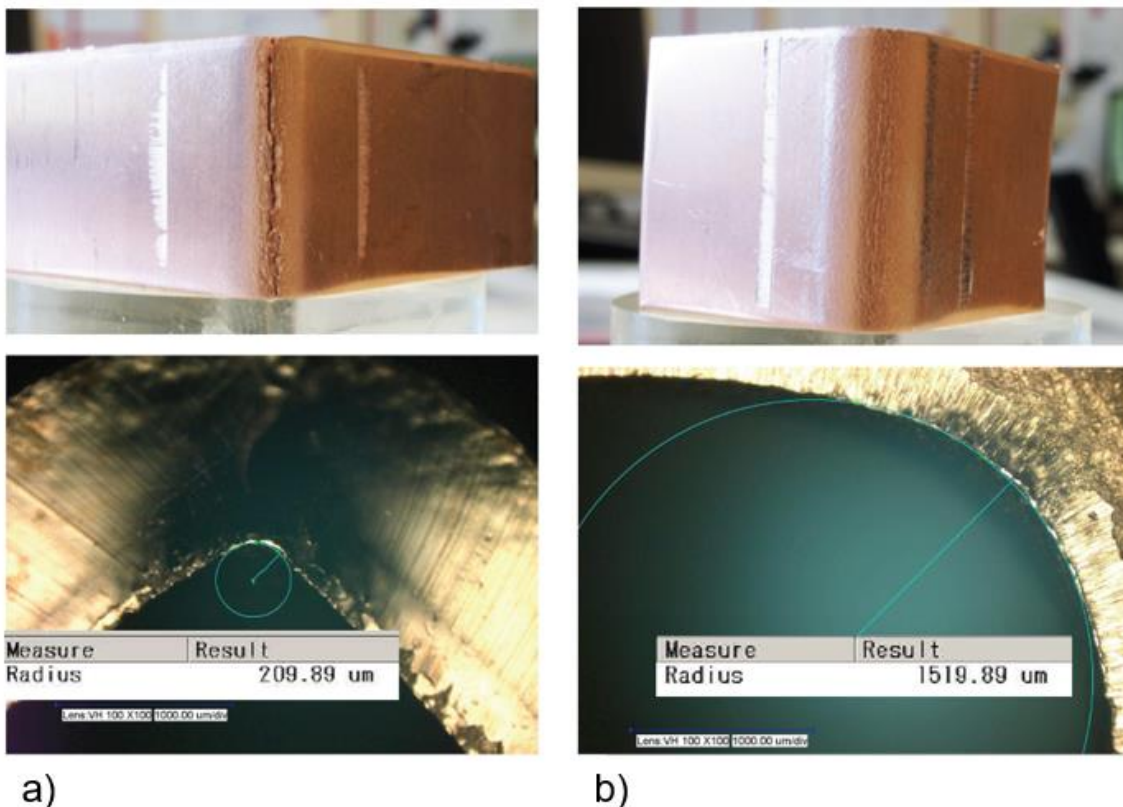


Bild 6: Biegeprüfung an Band aus K55 (CuNi3SiMg, C7025), Zustand R650, Banddicke 1.5 mm. Biegeanforderung ist 90° GW mit $r = 1.5$ mm.

- a) Einknicken bei Biegung mit Werkzeugradius $r = 1.5$ mm führt zu einem tatsächlichen Radius $r_{IST} = 0.2$ mm an der Innenseite und zu Rissen an der äußeren Biegekante.
- b) Biegung mit Vorbiegung und Fertigbiegung, wobei der Vorbiegeradius $R_{VB} = 3.0$ mm und der Fertigbiegeradius $r = 1.5$ mm beträgt. Ergebnis: Spezifizierter Radius $r = 1.5$ mm an der Innenseite der Biegeprobe wird eingehalten und die Prüfung wird bestanden.

4.3 Bewertung der Biegekante

Die Bewertung der Biegekante erfolgt üblicherweise über visuelle Begutachtung mit Hilfe eines Mikroskops mit 25-facher Vergrößerung und einem Bewertungsmaßstab ähnlich dem in ASTM B820 [4] vorgeschlagenem Maßstab, siehe **Bild 7**. Für die in dieser Studie erzeugten Biegebarkeitsdaten wurde folgende erweiterte Prüf- und Bewertungsmethodik angewendet:

- Bewertung der Biegekante unter dem Mikroskop mit 25-facher Vergrößerung
- Querschliff durch Biegekante herstellen und unter Mikroskop unter min. 100-facher Vergrößerung bewerten.
- Falls in beiden Prüfungen keine Risse gefunden werden, gilt die Biegeprüfung als bestanden.
- Zur Ermittlung des minimalen Biegeradius, welcher ohne Riss anwendbar ist, wird der Biegeradius r sukzessive reduziert.
- Im Falle des Einknickens: Wiederholung der Biegeprüfung mit einer Vorbiegung, wobei $R_{VB} > r$, und der Fertigbiegung mit dem Fertigbiegeradius r .






Bending Observations	Acceptance Criteria	Rank
	"Accepted," smooth, no orange peel, no cracks	1
	"Accepted," small orange peel, no cracks	2
	"Accepted," heavy orange peel, no cracks	3
	"Rejected," heavy orange peel, shallow cracks	4
	"Rejected," heavy orange peel, deep cracks	5

Bild 7: Bewertungsmaßstab aus ASTM B820 [4] für Biegekanten nach einem Biegeversuch. Noten (von oben nach unten): 1 = bestanden, glatte Oberfläche, keine Orangenhaut, keine Risse; 2 = bestanden, leichte Orangenhaut, keine Risse; 3 = bestanden, starke Orangenhaut, keine Risse; 4 = nicht bestanden, starke Orangenhaut, leichte Risse; 5 = nicht bestanden, starke Orangenhaut, starke Risse.

5. Biegeдатenermittlung im mittleren Banddickenbereich

5.1. Untersuchte Hochstromwerkstoffe, Festigkeitszustände und Banddicken

Ziel der vorliegenden Studie war es, der Öffentlichkeit Biegedaten von Kupferbandwerkstoffen im mittleren Banddickenbereich $0.5 \text{ mm} < t \leq 1.5 \text{ mm}$ zur Verfügung zu stellen. Relevant sind diese Biegedaten insbesondere für Kupferwerkstoffe, die für Hochstrom-Steckverbindern verwendet werden. Gegenstand der Untersuchung waren die in Kapitel 2 vorgestellten Werkstoffe in folgenden Banddicken und Festigkeitszuständen (auch Temper genannt), siehe Tabelle 2.

Tabelle 2: Verwendete Hochstromwerkstoffe, deren Festigkeitszustände (Temper) und Banddicken

Werkstoff	Temper	Banddicke
K14, Cu-PHC, C10300	R290, R360	Jeweils 0.8 und 1.2 mm
K32, Cu-ETP, C11000	R290, R360	Jeweils 0.8 und 1.2 mm
K81, CuSn0.15, C14415	R360, R420	Jeweils 0.8 und 1.2 mm
K75, CuCrSiTi, C18070	R460, R530	Jeweils 0.8 und 1.2 mm
K55, CuNi3SiMg, C70250	R620, R650	R620: 0.8 und 1.2 mm, R650: 0.8 mm

Für noch höherfeste Zustände des Werkstoffes K55 und für höhere Dicken als 1.2 mm aller Werkstoffe sind weiterhin individuelle Machbarkeitsaussagen zur Biegebarkeit notwendig.

5.2 Durchgeführte Biegeprüfungen

Es wurden Biegeprüfungen mit einem Biegewinkel von 90° durchgeführt in den Richtungen senkrecht (good way, GW) und parallel (bad way, BW) zur Walzrichtung. Neben der Standard-Biegebreite von 15 mm wurden reduzierte Biegebreiten in der Höhe zweimal, viermal und achtmal der Banddicke verwendet. Tabelle 3 listet die verwendeten Breiten auf. Um Nebeneffekte, wie beispielsweise eine raue Stanzkanten möglichst auszuschließen, wurden die Biegeproben mittels Wasserstrahlschneiden hergestellt.

Tabelle 3: verwendete Biegebreiten (t = Banddicke, b = Biegebreite)

Banddicke t	b = 2 x t **	b = 4 x t	b = 8 x t	Standardbreite b
0.8 mm	1.6 mm	3.2 mm	6.4 mm	15 mm
1.2 mm	2.4 mm	4.8 mm	9.6 mm	15 mm

** : Die Biegebreite 2 x t ist nicht Inhalt üblicher Qualitätsprüfungen.

6. Ergebnisse

Die Tabellen 4 und 5 zeigen die Ergebnisse der durchgeführten Biegeprüfungen in Form von r/t - Werten. Dargestellt sind die minimal erreichten r/t - Werte, bei denen die Prüfung rissfrei bestanden wurde, und zwar bei Standard-Biegebreite als auch bei reduzierten Biegebreiten. **Bild 8** zeigt die Ergebnisse für die Standardbiegebreite in graphischer Darstellung ähnlich der Darstellung in Datenblättern. Veränderungen der Biegebarkeit mit zunehmender Banddicken (t ≤ 0.5 mm, t = 0.8 mm und t = 1.2 mm) sind in dieser Darstellung leicht erkennbar.

Tabelle 4: Minimale r/t - Werte für 90° Biegungen bei Banddicke 0.8 mm

Werkstoff	Temper	Richtung	Breite 2 x t (1.6 mm)	Breite 4 x t (3.2 mm)	Breite 8 x t (6.4 mm)	Standardbreite 15 mm
K14	R290	GW	0	0	0	0
		BW	0	0	0	0
	R360	GW	0	0	0	0
		BW	0	0	0	0
K32	R290	GW	0	0	0	0
		BW	0	0	0.5	1.0
	R360	GW	0	0.25	0.75	1.0
		BW	0	0.5	1.5	2.0
K81	R360	GW	0	0	0	0
		BW	0	0	0	0
	R420	GW	0.5	1.0	1.0	1.0
		BW	0	0.75	1.0	1.0
K75	R460	GW	0.5	0.5	0.5	0.5
		BW	0.5	0.5	0.5	0.5
	R530	GW	0.75	1.0	1.0	1.0
		BW	0.75	1.0	1.0	1.0
K55	R620	GW	0.5	0.75	1.0	1.5
		BW	0	0.25	0.25	0.5
	R650	GW	0.5	0.75	1.25	1.5
		BW	0	0.25	0.25	0.5

Tabelle 5: Minimale r/t - Werte für 90° Biegungen bei Banddicke 1.2 mm

Werkstoff	Temper	Richtung	Breite 2 x t (2.4 mm)	Breite 4 x t (4.8 mm)	Breite 8 x t (9.6 mm)	Standardbreite 15 mm
K14	R290	GW	0	0	0	0
		BW	0	0	0	0
	R360	GW	0	0	0	0
		BW	0	0.5	0.5	0.5
K32	R290	GW	0	0.5	0.5	0.5
		BW	0	1.0	1.0	1.0
	R360	GW	1.0	1.0	1.0	1.0
		BW	2.0	2.0	2.0	2.0
K81	R360	GW	0	0	0	0.0
		BW	0	0.5	0.5	0.5
	R420	GW	0.5	1.0	1.0	1.0
		BW	0.25	1.5	1.5	1.5
K75	R460	GW	0.5	0.5	0.5	0.5
		BW	0.5	0.5	1.0	1.0
	R530	GW	1.25	1.25	1.25	1.5
		BW	0.75	1.0	1.75	2.0
K55	R620	GW	0.5	0.75	1.0	1.5
		BW	0.25	0.5	0.75	0.75

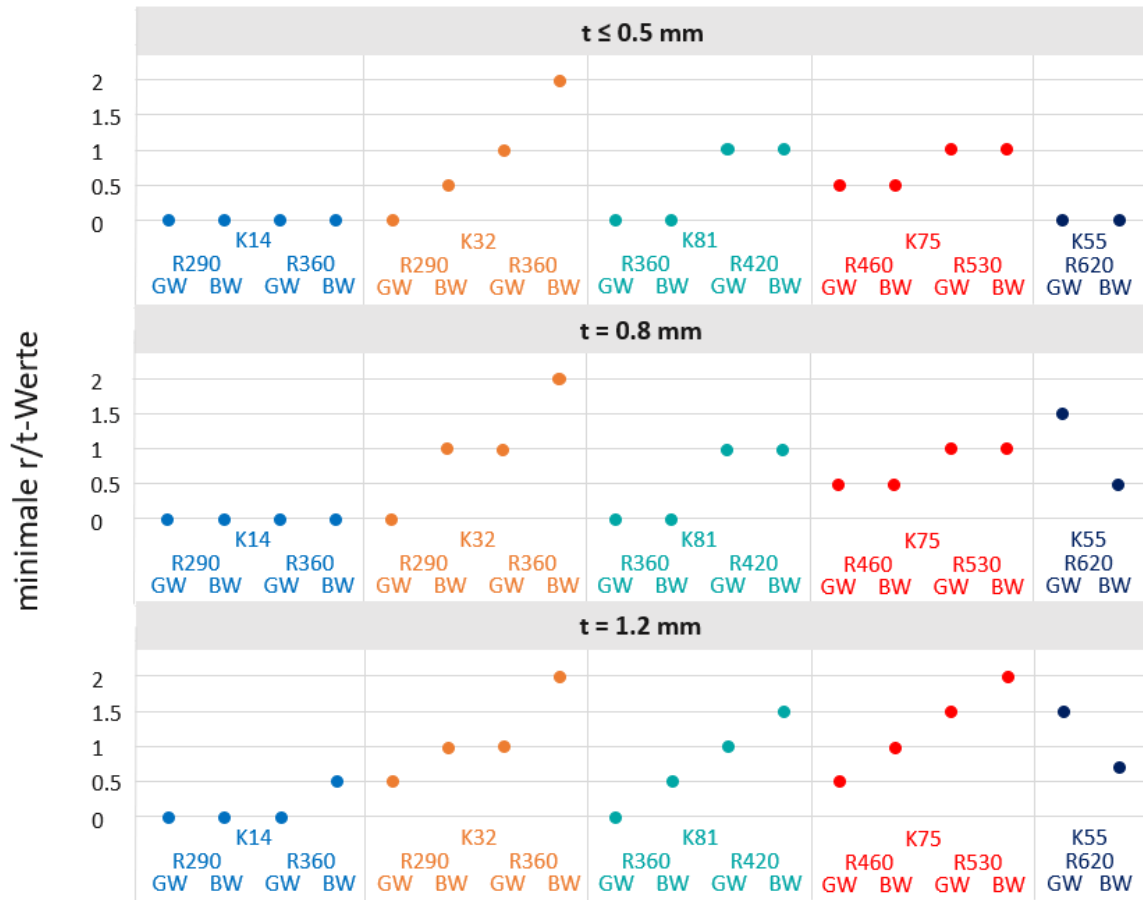


Bild 8: Biegebarkeiten von Band für Hochstrom-Steckverbinder in Form der minimalen, rissfrei erreichbaren r/t -Werte, dargestellt in Abhängigkeit der verschiedenen Hochstromwerkstoffe, deren Festigkeitszustände und der Biegerichtung, Standard-Biegebreite 15 mm.

7. Schlussbemerkung

Die öffentliche Verfügbarkeit von Biegebarkeitsdaten ist eine wichtige Hilfestellung für Konstrukteure und Design-Ingenieure in der Elektronikindustrie, insbesondere für die Auslegung von Steckverbindern. Die hier vorgestellten Biegebarkeiten von Bändern für Hochstrom-Steckverbinder im mittleren Banddickenbereich zwischen 0.5 und 1.5 mm beruhen auf systematischen internen Studien in statistisch relevantem Umfang und ersetzen die bislang notwendigen individuellen Machbarkeitsaussagen.

Literatur

- [1] Website der Wieland-Werke AG, www.wieland.com
- [2] www.wieland-alloywizard.com
- [3] DIN EN ISO 7438:2020, *Metallische Werkstoffe – Biegeversuch*, Deutsches Institut für Normung e.V., 2021.
- [4] ASTM B 820 – 18, *Standard Test Method for Bend Test for Determining the Formability of Copper and Copper Alloy Strip*, American Society for Testing and Material (ASTM), United States, 2018.