

Herstellung und Eigenschaften von Fahrdrähten – Innovation und Installationsempfehlungen

Dr.-Ing. Frank Pupke
nkt cables GmbH, Köln

1 Einleitung

Zunehmend werden in den hochindustrialisierten Ländern Europas und Asiens Hochgeschwindigkeitsstrecken installiert, um den gestiegenen Anforderungen bezüglich Reisezeit und Verkehrsaufkommen gerecht zu werden. Für die hierfür entwickelten Oberleitungskettenwerke ist die zuverlässige Stromübertragung von höchster Bedeutung.

Die durch den Anhub des Fahrdrahtes beim Stromabnehmerdurchgang erzeugte Welle breitet sich mit einer von der Dichte ρ und der Zugspannung σ des Fahrdrahtes abhängigen Geschwindigkeit c aus [1, 2]:

$$c = \sqrt{\sigma / \rho}$$

Um unzulässige Resonanzen – verbunden mit hohen Amplituden der Fahrdrahtschwingung – und damit Kontaktverlust zu vermeiden, darf die Zuggeschwindigkeit maximal 70 % der Wellenausbreitungsgeschwindigkeit c betragen [1]. Dies lässt sich bei den in Frage kommenden Kupferwerkstoffen, die alle etwa die gleiche Dichte von $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ haben, nur durch eine Erhöhung der Zugspannung erreichen. Bei Einhaltung der geforderten Sicherheitsvor-

schriften entsprechend der EN 50119 [1] sind hier Grenzen gesetzt, die sich für Zuggeschwindigkeiten bis zu 350 ... 400 km/h durch die Verwendung hochfester Kupferlegierungen für die Fahrdrähte einhalten lassen. Die höchsten Festigkeitswerte bei guter elektrischer Leitfähigkeit lassen sich heute mit CuMg-Legierungen erreichen.

Zu Beginn der Errichtung von Hochgeschwindigkeitsstrecken in Europa seit Mitte der 1990er Jahre, bei denen hochfeste Fahrdrähte aus CuSn- und CuMg-Legierungen Verwendung fanden, wurde eine verstärkte Lichtbogenbildung beobachtet, deren Ursache sich als Feinwelligkeit herausstellte. Zu dieser Zeit gab es keine konkreten Anforderungen an Fahrdrähte bezüglich der Feinwelligkeit. Um das Problem für zukünftige Projekte zu lösen, wurde durch nkt cables intensiv nach Verbesserungspotenzialen gesucht. Dabei wurde zum einen der gesamte Herstellprozess analysiert sowie zum anderen nach Verbesserungen bei der Installation gesucht. Auf beiden Gebieten wurden erhebliche Fortschritte gemacht, so dass nunmehr eine ausgereifte Herstelltechnologie und detaillierte Installationshinweise vorliegen.

2 Herstellung von Fahrdrähten und deren Materialeigenschaften

Kupferlegierungs-Fahrdrähte werden aus den Rohstoffen Kupferkathoden (Cu) und

den Legierungselementen Silber (Ag), Magnesium (Mg) und Zinn (Sn) hergestellt. Im ersten Schritt erfolgt das Schmelzen und Gießen (Abb. 1) sowie gegebenenfalls das Walzen des Vordrahtes auf kontinuierlichen Stranggießanlagen in mehreren parallel angeordneten Strängen oder auf Gießwalzdrahtanlagen. Dieses Ausgangsmaterial wird dann in verschiedenen Ziehstufen zunächst über runde Querschnitte und schließlich über definierte Profilquerschnitte bis zum vorgesehenen Fahrdrachtprofil kaltumgeformt. Bei der Kaltumformung wird das Material durch mikrostrukturelle Veränderungen verfestigt. Speziell bei den CuMg-Legierungen erreicht man im Vergleich zu reinem Kupfer oder auch anderen Cu-Legierungen eine sehr hohe Verfestigung, unterstützt durch die Mischkristallbildung mit großem Unterschied

der Atomradien von Cu und Mg. Als vorteilhaft für die Anwendung in Fahrdrähten für Höchstgeschwindigkeitsstrecken erweist sich, dass die elektrische Leitfähigkeit der CuMg-Legierungen selbst bei den geforderten hohen Festigkeiten gegenüber reinem Kupfer nicht stark vermindert wird [3]. Diese Verminderung kann bei Bedarf durch höhere Tragseilquerschnitte und Verstärkungsleitungen ausgeglichen werden.

Sowohl bei der Fertigung als auch bei der Montage muss der Fahrdracht technologisch bedingt mit verschiedenen Radien gebogen werden. Als elastische Deformation wird eine Materialdeformation bezeichnet, die sich nach Beenden der Krafteinwirkung vollständig zurückbildet. Dies wird in der Mechanik mit dem Hooke'schen Gesetz beschrieben. Bildet sich die



Abb. 1: Stranggussanlage für CuMg-Legierungen bei nkt cables in Hettstedt

Materialdeformation nach Weglassen der Krafteinwirkung nicht vollständig zurück, spricht man von plastischer Verformung. Wie die folgende Rechnung am Beispiel eines CuMg0,5-Fahrdrahtes mit 120 mm² Querschnitt (RiM 120) zeigt, wird der elastische Bereich in den Randfasern des Fahrdrahtprofils sowohl bei Fertigung als auch bei Montage überschritten:

Hookesches Gesetz: $\sigma = E \varepsilon$
 Dehnung der Randfasern: $\varepsilon = d/D$
 Biegedurchmesser: $D = d E/\sigma$
 Beginn der plastischen Dehnung bei $\sigma = R_{p0,2}$ (Streckgrenze)

Beispiel CuMg0,5 AC 120:

$d = 13,2$ mm Drahtdurchmesser
 $E = 120$ kN/mm² Elastizitätsmodul
 $R_{p0,2} \approx 0,85 R_m = 0,85 \times 490$ N/mm²
 Elastizitätsgrenze

Daraus folgt der Minstdurchmesser einer Biegung ohne plastische Verformung:

$$D_{\min} = d E / R_{p0,2} = 3803 \text{ mm}$$

Das heißt, sowohl beim mehrfachen Umschlingen des gezogenen Fahrdrahtes um die Ziehscheibe der Ziehmaschine, beim Aufwickeln auf die Fahrdraht-Trommel als auch beim mehrfachen Umlenken und Aufbiegen des Materials während der Montage erfolgt zwangsläufig eine plastische Biegung.

Als Schlussfolgerungen lassen sich aus dieser Betrachtung ableiten [3]:

- Die plastische Verformung durch Biegen lässt sich im praktikablen Bereich bei Fertigung und Installation nicht vermeiden.
- Große Radien für Trommeln und Umlenkeinheiten sind anzustreben.
- Gleichmäßige Zugspannungen beim Auf- und Abwickeln des Materials sind extrem wichtig.



Abb. 2: Ermittlung des Spaltmaßes von Versuchsmaterial RiM 120 auf einer Kabelumwickelanlage bei nkt cables in Köln

- Die plastische Verformung des Fahrdrabtes beim Aufwickeln in der Fertigung und beim Abwickeln während der Montage muss kontrolliert und gleichmäßig erfolgen.

3 Vermeidung von Feinwelligkeit

Nachdem die Entwicklung von speziellen CuMg-Fahrdrabten für Höchstgeschwindigkeitsanforderungen bei nkt cables (vormals F&G) 1994 gelungen war, wurde in den Folgejahren kontinuierlich an der Weiterentwicklung der Werkstoffe und der Herstelltechnologie gearbeitet. Zielrichtungen waren:

- a) Verbesserung der Installationseigenschaften sowie
- b) Verbesserung der Eigenschaftskombi-

- nation Festigkeit/elektrische Leitfähigkeit und
- c) hohe thermische Stabilität gegen Rekristallisation der hart gezogenen Profil-Fahrdrabte.

Die Verbesserung der Installationseigenschaften konnte durch enge Tolerierung der Legierungsbestandteile sowie eine durchgängige Prozessoptimierung erreicht werden. Dazu gehören u. a. kontinuierlich im Herstellprozess arbeitende Messvorrichtungen für den Nachweis von Materialdefekten und für die Wellenfreiheit des gezogenen Fahrdrabtes in der Ziehmaschine. Letzteres wurde durch die Entwicklung eines geeigneten lasergestützten Messverfahrens erreicht. Die Kontrolle des hergestellten Fahrdrabtprofils entsprechend den vorgegebenen

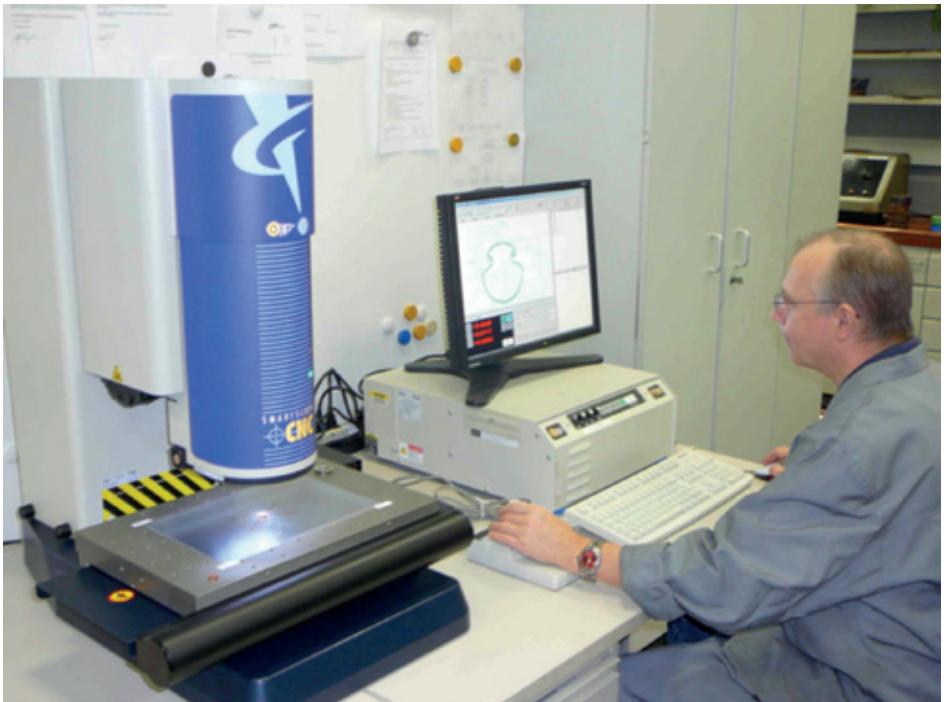


Abb. 3: Kontrolle des hergestellten Fahrdrabtprofils entsprechend den vorgegebenen Maß- und Winkeltoleranzen mittels elektronischer Bildverarbeitung im Profilprojektor

nen Maß- und Winkeltoleranzen erfolgt mittels elektronischer Bildverarbeitung in einem Profilprojektor (Abb. 3). Zum Nachweis der Installationseigenschaften der CuMg-Fahrdrähte hat nkt cables ein eigenes Oberleitungsversuchsfeld für eine Anlage Re330 mit Originalbauteilen der Deutschen Bahn (DB) montiert (Abb. 4). Des Weiteren konnte in Versuchen die Ausbildung von Feinwelligkeiten beim Abwickeln der Fahrdrähte von der Trommel auf einer Kabelumwickelanlage bei nkt cables mit definierten Zugspannungen überprüft werden (Abb. 2). Unter Nutzung dieser Möglichkeiten wurde der Herstellprozess so optimiert, dass Feinwelligkeiten mit einem Spaltmaß $\leq 0,1$ mm auf einer Messlänge von 1 m bei ordnungsgemäßer Montage der hoch-

festen Fahrdrähte sicher erreicht werden [3].

Eine Verringerung montagebedingter Feinwelligkeit der Fahrdrähte wird durch die Anwendung eines für diesen Zweck gemeinsam von nkt cables und Siemens entwickelten Rollenrichtgerätes während der Montage erreicht. Dieses Verfahren wurde patentiert (Abb. 5). Auch können hiermit Unzulänglichkeiten bei der Montagetechnik teilweise ausgeglichen werden (Abb. 6).

Das Messverfahren und die Prüfmittel für die Feinwelligkeit wurden an dem im nkt cables-Versuchsfeld mit 27 kN abgespannten Fahrdraht EN 50149 – AC-120 – CuMg0,5 verifiziert [6]. Diese Erkenntnisse fanden Eingang in die überarbeitete Fahrdraht-Norm EN 50149:2012.



Abb. 4: Ermittlung des Spaltmaßes von Versuchsmaterial RIM 120 im nkt cables-Oberleitungsversuchsfeld (Re330 mit Originalbauteilen der DB) in Hettstedt



Abb. 5: Rollenrichttechnik im Einsatz im Projekt Madrid – Segovia (Spanien)

4 Neuentwicklung von Fahrdrähten

4.1 CuMg – Valcond

CuMg – Valcond* erfüllt alle Anforderungen der EN 50149 für CuMg0,2- bzw. CuMg0,5-Fahrdrähte. Darüber hinaus ist es durch die Beherrschung und Optimierung der gesamten Prozesskette von den

Rohstoffen Kupferkathode und Magnesium bis zum fertigen Fahrdraht gelungen, eine deutlich höhere Leitfähigkeit für beide Werkstoffe zu erreichen, was zu einer signifikanten Senkung von Energieverlusten bei gleichem Materialverbrauch führt (Tab. 1). Die Werkstoffe CuMg0,2 und CuMg0,5 haben von allen heute verwen-

Technische Daten	Querschnitt 120 mm ²	CuMg 0,5		CuMg 0,2	
		Standard	Valcond	Standard	Valcond
Zugfestigkeit Rm	N/mm ²	490	490	430	450
Elektrische Leitfähigkeit bei 20 °C	MS/m	≥36,0	≥40,6	≥44,6	≥46,4
Elektrische Leitfähigkeit bei 20 °C	% IACS ¹⁾	≥62	≥70	≥77	≥80

Tab. 1: Vergleich elektrischer und mechanischer Kennwerte für verschiedene Fahrdrähtlegierungen
⁽¹⁾ International Annealed Copper Standard = Leitfähigkeit von weich geglühtem Kupfer 58 MS/m)

Sperrpausenoptimierung Nachtragsmanagement Baustellenkosten Rahmenplan
 Einsatzzeiten **Bauablaufplan** A 3.9 Gleisbaustellen SiGe-Plan
 Weichenbaustellen Schichtplanung Kostenermittlung Machbarkeitsstudien
 Logistik-Koordinator Fahrzeugpool Fahrplan Wagenberechnung Abstellgleise
Betriebsablaufplan Zugfahrten Fahrzeugbedarf Tarifbahnhof
 Zeit-Weg-Linie Exportschnittstellen CO₂-Emissionen Trassenbestellung
 Grafik standardisiert Vollständigkeitskontrolle grafische Darstellung schnell
 Sakra-Schichten **Variantenvergleich** Sipo-Schichten **Verbundvergabe**
 Personaleinsatzplanung Prävention digital Baufortschritt
 E-Mail-Projektaustausch AWS-Vorhaltung Auswertungen

Anlage 3.9
 übersichtlich
 Planungstool

SOG[®]



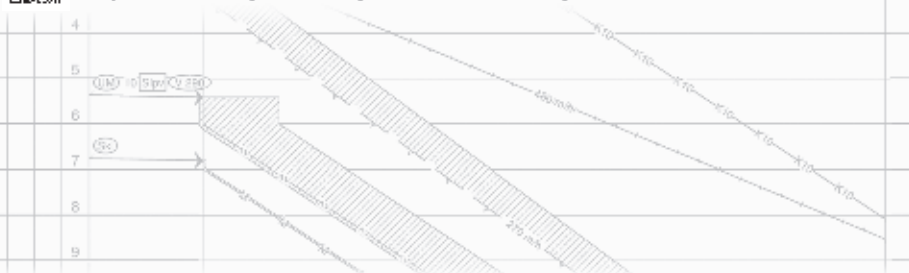
Störschallvisualisierung Monitoring
 eindeutig Warngerabstandsberechnung PDF-Export
 nachvollziehbar Baustellensicherung

Soll-Ist-Vergleich **Sicherungsplan**
 Planungsansätze redundanzfrei elektronische Datenaufnahme
 Nachtragsabwehr Kostenkontrolle Nachtragsbegründung

Baustellendokumentation



Störungsursachen Qualitätssicherung
 Projektarchivierung Ortsbezug Lieferantenbewertung



<http://www.ivembh.de/sog>



- Fahrwegtechnologie
- Systemforschung
- Betriebswissenschaft
- Personen- und Güterverkehr
- Softwareprodukte
- Softwareentwicklung
- Anwenderschulungen
- Risikoanalysen/Gutachten

Ingenieurgesellschaft für Verkehrs- und Eisenbahnwesen mbH Internet: www.ivembh.de Tel.: (05 11) 89 76 68 - 10



Abb. 6: Unzulängliche Montagetechnik – Biegung des Fahrdrahtes entgegen der natürlichen Trommelkrümmung im Projekt Beijing – Tianjin (China), Kompensation durch Rollenrichtgerät (nkt)

deten Kupfer- und Kupferlegierungswerkstoffen für Bahnleitmaterial den niedrigsten Temperaturkoeffizienten der elektrischen Leitfähigkeit.

CuMg-Legierungen als Werkstoffe für Fahrdrähte haben die kleinste Verschleißrate sowie den höchsten Halbhauptpunkt im Vergleich zu anderen Werkstoffen und damit die beste Nachhaltigkeit einer Investition in Ersatzmaterial oder auf Neubaustrecken für hohe Geschwindigkeiten. Darüber hinaus ist CuMg_{0,2} – Valcond der ideale Ersatzwerkstoff für CuCd in bestehenden Anlagen.

4.2 Valthermo

Mit Valthermo* ist nkt cables die Entwicklung einer Produktreihe gelungen, die den Ersatz des durch steigende Edelmetallpreise immer teurer werdenden

Werkstoffes CuAg_{0,1} durch einen kostengünstigeren neu entwickelten Werkstoff ermöglicht. Es wurde eine spezielle Kupferlegierung entwickelt, die insbesondere die gleiche thermische Stabilität gegen Rekrystallisation (Erweichung der hartgezogenen Drähte bei Erwärmung) wie der bekannte Werkstoff CuAg_{0,1} (Abb. 9) aufweist.

Ziele der Entwicklung waren:

- thermische Stabilität gegen Rekrystallisation wie Kupfer-Silber (CuAg_{0,1}) → Halbhauptpunkt $\geq 300^\circ\text{C}$ ohne Verwendung von Silber,
- gleiche elektrische Leitfähigkeit wie Kupfer und CuAg_{0,1},
- gleiche Zugfestigkeit wie hochfestes CuAg_{0,1},
- Verschleißseigenschaften, mindestens so gut wie bei CuAg_{0,1},

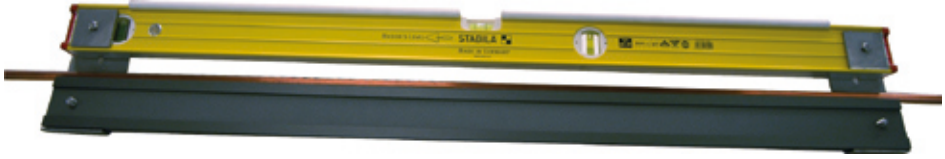


Abb. 7: nkt cables-Messgerät für Feinwelligkeit

- niedrige Kriechrate, analog CuAg0,1,
- Kosteneinsparung gegenüber CuAg0,1-Fahrdrähten,
- Unabhängigkeit von Silberpreissteigerungen (Abb. 8),
- volle Kompatibilität Valthermo zu CuAg0,1.

Verschleißuntersuchungen auf einem Prüfstand der Firma Elektrokohle Hoffmann zeigten einen geringeren Verschleiß von Valthermo-Fahrdraht im Vergleich zu CuAg0,1. Bei steigenden Anforderungen an die Energieübertragungskapazität von Fahrleitungen ist auch die Substitution

von Fahrdrähten und Tragseilen aus Kupfer (Cu-ETP) durch den neuen Werkstoff zu empfehlen. Die zulässige Dauertemperatur von 80 °C für Cu-ETP kann auf mindestens 100 °C erhöht werden, ohne mit Entfestigungsproblemen rechnen zu müssen (s. Kennwerte in EN 50119 für CuAg0,1).

Erste Versuchsinstallationen von Valthermo-Fahrdrähten sind in Pilotprojekten bei verschiedenen Bahnen bereits erfolgt. Die Installationseigenschaften entsprechen denen von Cu-ETP- und CuAg0,1-Fahrdrähten.

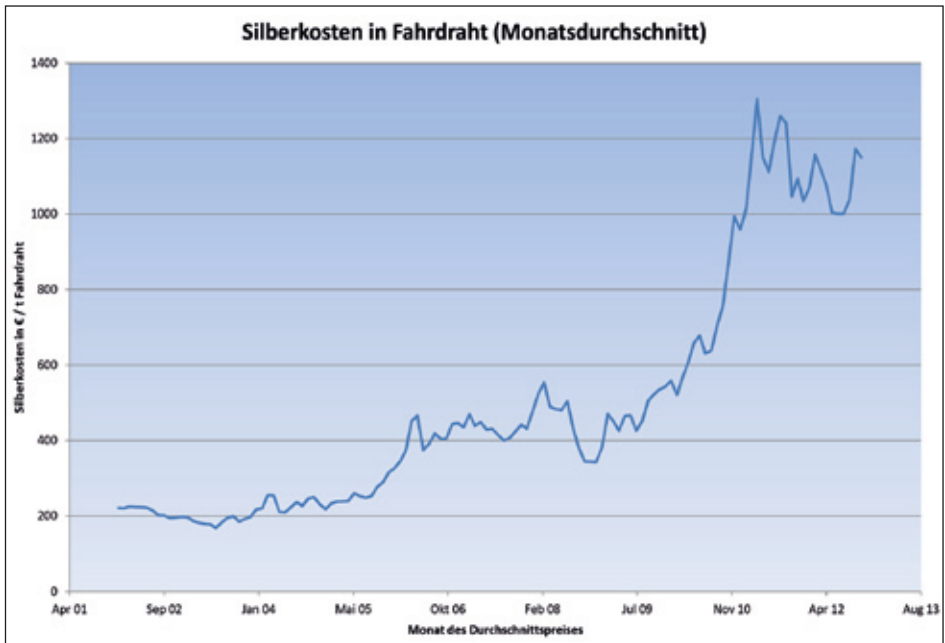


Abb. 8: Silberpreisentwicklung

Fahrdrahtquerschnitt	EN 50149:2012 CuAg0,1 hochfest	Mindestzugfestigkeit für neues Produkt CuAg0,1 hochfest 400+
A in mm ²	Rm in N/mm ²	Rm in N/mm ²
100	375	410
120	360	405
150	360	400

Tab. 2: Vergleich der Zugfestigkeiten CuAg0,1 (hochfest) zu CuAg0,1 (hochfest 400+)

4.3 CuAg0,1 400+

Durch Entwicklung und Einsatz spezieller Verarbeitungstechnologien ist es möglich, CuAg0,1-Fahrdrähte mit einer um ca. 10% erhöhten Festigkeit gegenüber den in der EN 50149 für hochfeste CuAg0,1-Fahrdrähte angegebenen Mindestzugfestigkeiten herzustellen (Tab. 2). Durch die 10%-ige Erhöhung der Zugfestigkeit und damit auch der Härte ist eine Verbesserung des Verschleißverhaltens zu erwarten.

Bei Betrachtung der Lebensdauer ist der Mindestrestquerschnitt entscheidend, bei

dem aus Sicherheitsgründen ein Fahrdrahtwechsel erforderlich wird. Häufig wird dieser mit 80% des Nennquerschnitts vorgegeben. Bei Ersatz des herkömmlichen hochfesten CuAg0,1-Fahrdrahtes durch den neuen Typ hochfest 400+ könnten also bis zu weitere 8% vom Nennquerschnitt ohne Verringerung des Sicherheitsfaktors abgefahren werden, bis die maximal zulässige Zugspannung nach EN 50119 erreicht bzw. auch an singulären Stellen nicht überschritten wird. Dies ist umso wichtiger, wenn man berücksichtigt, dass der Verschleiß häufig

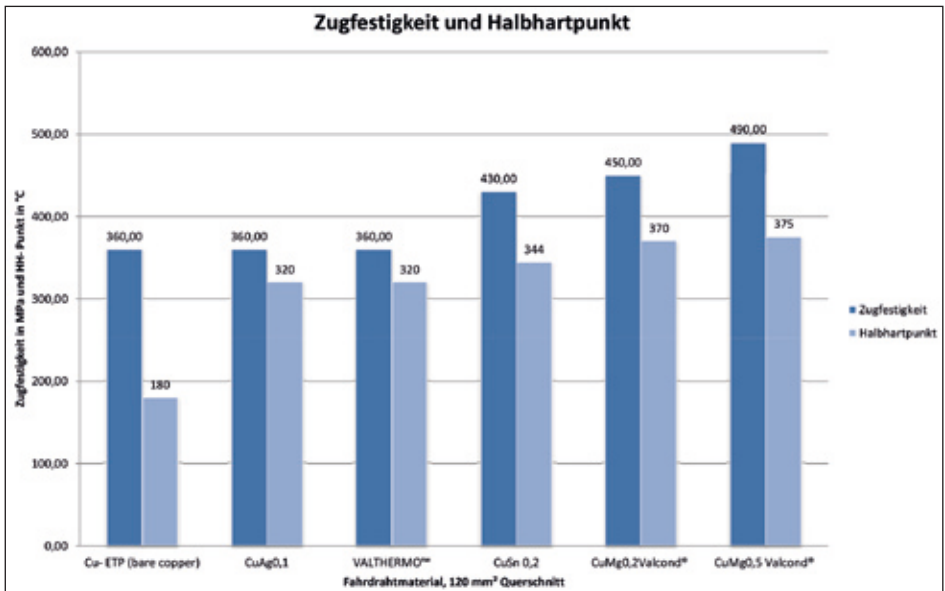


Abb. 9: Vergleich von Zugfestigkeit und Halbhärtungspunkt (Rekristallisationstemperatur) verschiedener Fahrdrahtwerkstoffe (Fahrdraht-Querschnitt 120 mm²)

Alle Abb.: nkt cables

Wirbelstrom-Prüfgeräte und -Systeme

raisine

WPG D340 mit EloRail-Software

Manuelle 4-Kanal-Wirbelstromprüfung zur Detektion von Schädigungen an Schienen in Gleisen und Weichen



EC-Track-Scan -

Automatisiertes Wirbelstrom-Prüfsystem in Schleif- und Fräszügen zur Detektion, Bewertung und Dokumentation von Schädigungen in Schienen



Wir sind vertreten auf:



8. Fachtagung
ZfP im Eisenbahnwesen
ZfP an Schienenfahrzeug- und
Fahrbahnkomponenten

- Freigegebene Prüfmittel der DB Netz AG -

Rohmann GmbH • Carl-Benz-Str. 23 • 67227 Frankenthal • GERMANY
Tel. +49(0)62 33-3789-0 • www.rohmann.de • E-Mail: info@rohmann.de

an „bevorzugten“ Stellen (harte Punkte) beschleunigt stattfindet. Dies bedeutet in solchen Fällen, dass der elektrische Gesamtwiderstand des Fahrdrahtes oft noch relativ niedrig ist, da einzelne stärker verschlissene Stellen diesen nur unwesentlich erhöhen. Damit erhöhen sich auch die elektrischen Verluste und die hiermit verbundenen Kosten nur geringfügig. Die elektrische Leitfähigkeit der neuen Fahrdrähte liegt wie bei den bisherigen CuAg0,1-Fahrdrähten bei mindestens 97% IACS. Eine Berechnung für das ganze Kettenwerk muss zeigen, wo die technisch vertretbaren Verschleißgrenzen im konkreten Fall liegen. Hilfreich ist für diese Betrachtung auch die hohe thermische Stabilität der Legierung CuAg0,1, wodurch bei höheren Stromdichten und somit höheren Fahrdrahttemperaturen (permanent bis 100 °C entsprechend EN 50119) keine wesentliche Entfestigung oder extremes Kriechen zu befürchten sind. Die Re-

kristallisationstemperatur – Halbhärtungspunkt – liegt bei 320 °C.

5 Fahrdrahtverlegung – Installationsempfehlungen aus Materialsicht

Bei nkt cables wurden auf Basis der Materialeigenschaften sowie der Erfahrungen auf verschiedenen Baustellen Installationsempfehlungen ausgearbeitet, die im Folgenden auszugsweise angeführt werden sollen [4]:

- Trommeln aufrecht stellen (nicht auf den Flansch legen).
- Bei Holztrommeln die Muttern der Spannschrauben vor der Verlegung nachziehen.
- Krampen zur Befestigung des Fahrdraht (FD)-Anfangs am Außenflansch nicht lösen, auf guten Sitz achten und gegebenenfalls nachhämmern.
- Den FD unter Zug halten, wenn die Krampen am FD-Ende am Innenflansch

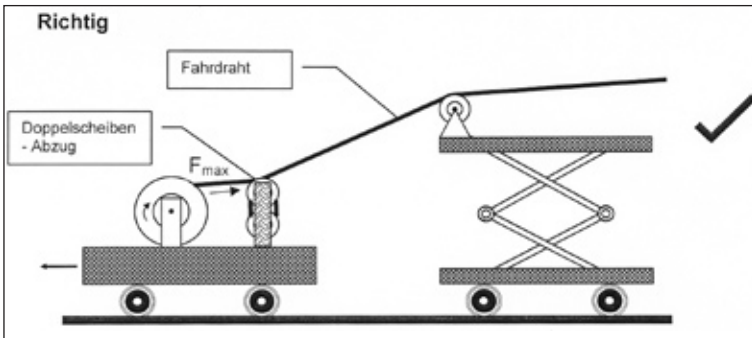


Abb. 10: Richtige Installation

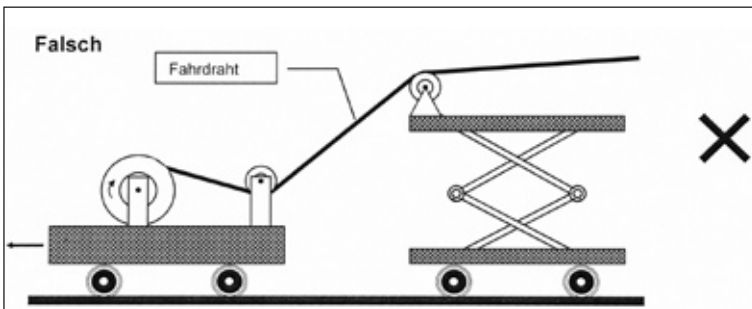


Abb. 11: Falsche Installation

der Trommel gelöst werden. Damit wird das Aufspringen und Lockern der äußeren FD-Lage vermieden.

- Unkontrolliertes Biegen vermeiden.
- Plastisches Verdrehen vermeiden – Drehmoment unter 50 Nm.
- Konstante Zugkraft auf den FD während der Verlegung im vorgegebenen Bereich ausüben. Fortlaufendes und kontrolliertes Bremsen der Trommel während der Verlegung. Toleranz der Zugkraft F_{\max} : $< 0,5 \text{ kN}$ (Abb. 10).
- Benutzung von Umlenkrollen für das Abwickeln des FD mit einem Mindestdurchmesser von 0,8 m oder mehrere kleinere Umlenkrollen in einem Bogen mit einem Biegedurchmesser von mindestens 0,8 m.
- Der FD sollte nicht um mehr als 20° durch eine Umlenkrolle/-bogen umgelenkt werden.
- Vermeidung von Schwingungen des abgewickelten FD.
- Das Verlegepersonal darf auf keinen Fall auf dem verlegten FD laufen – dies verursacht Knicke!
- Keinen Sicherheitsgurt am FD anbringen.
- Vorsichtiges Starten und Bremsen des Installationszugs und der Trommel zur Vermeidung von:
 - hohen Beschleunigungen (plastische Biegung, Knicke auf dem FD),
 - Leerlauf der FD-Trommel – verursacht Wellen in dem verlegten FD.
- Ziehen des FD gemäß Abb. 10, um die Originalbiegerichtung des FD auf der Trommel beizubehalten. Ein Biegen des FD in die andere Richtung ist nicht zulässig und führt zu Wellen und Knicken (Abb. 6, 11).
- Die anzuwendenden Zugkräfte während der Verlegung hängen ab von Material, Trommelstabilität und Montageausrüstung. Allgemeine Empfehlung für die Zugkraft F_{\max} direkt von der Trommel bzw. zwischen Trommel und Doppelscheibenabzug (Abb. 10):

Sicher Schalten !

Zuverlässiges EINSchalten ist wichtig, aber das zuverlässige AUSschalten ist lebenswichtig!



Isolationsüberwachungsgeräte, ISOMETER® überwachen die "lebenswichtigen" Steuerstromkreise der Mastschalter.

- Sicherstellung der Netzverfügbarkeit
- Schutz vor Fehlsteuerungen
- Sichere Schaltung der Oberleitung bei Fehlern, Wartung oder im Katastrophenfall
- Gewährleistung des sicheren Fahrbetriebes
- Vorbeugende Instandhaltung

Weitere Informationen erhalten Sie unter **www.bender.de**

- Holztrommeln: $1\text{ kN} < F_{\text{max}} < 5\text{ kN}$,
- Stahltrommeln: $1\text{ kN} < F_{\text{max}} < 8\text{ kN}$.

Dies sollte in jedem Fall mit dem FD-Lieferanten vor dem Vertragsabschluss geklärt werden.

Falls ein Doppelscheibenabzug (Spill, Friktionswinde) benutzt wird, kann die Zugkraft im Fahrdraht in die Oberleitung bis zur endgültigen Abspannkraft erhöht werden, weil diese Kraft von der Trommel entkoppelt ist. Die Toleranz von 0,5 kN sowohl für die Zugkraft F_{max} auf die Trommel als auch in die Oberleitung muss eingehalten werden. Die Qualität der Umlenkeinrichtungen ist bei Anwendung hoher Verlegekräfte besonders wichtig, da unkontrollierte plastische Biegung und jegliche plastische Torsion vermieden werden müssen. Sollte sich ein Zurückwickeln kleinerer Teillängen (einige Meter) des FD während der Installation erforderlich machen, so ist darauf zu achten, dass das Aufwickeln des FD auf die Trommel unter Zugspannung Lage an Lage erfolgt und die oben angegebene Maximalkraft F_{max} auch dabei nicht überschritten wird.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Mit dem aktuellen Entwicklungsstand der Herstellertechnologie ist es möglich, Fahrdrähte aus Kupfer und Kupferlegierungen mit einem Feinwelligkeitsniveau von $\leq 0,1\text{ mm}$ unter kontinuierlicher Inline-Prozesskontrolle verlässlich herzustellen. Durch die Berücksichtigung der mechanischen Materialeigenschaften bei der Konstruktion von Installationstechnik können installationsbedingte Fehler, die zu Knicken und Feinwelligkeit im Fahrdraht führen können, vermieden werden. Die speziell für die Handhabung von Fahrdrähten bei der Verlegung erarbeiteten Installationshinweise sollten unbedingt beachtet werden.

Für die Weiterentwicklung der hochfesten Fahrdrähte und die reproduzierbare Messung der Feinwelligkeit nach der Installation wurden Messmethoden mit zugehöriger Messtechnik entwickelt. Diese Erkenntnisse fanden auch Eingang in die 2012 überarbeitete Fahrdrahtnorm EN 50149. nkt cables bietet ein Messgerät für den Einsatz auf der Baustelle an, welches inzwischen vielfach eingesetzt wird (Abb. 7).

In der überarbeiteten Fahrdraht-Norm EN 50149:2012 wird ausdrücklich die Möglichkeit der Nutzung anderer Kupferlegierungen erwähnt. Dies macht die Weiterentwicklung hin zu maßgeschneiderten Lösungen möglich. Insbesondere die Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit bei geforderter Zugfestigkeit und hoher thermischer Stabilität sind solche Lösungen, die inzwischen mit den Produktreihen Valcond und Valthermo zur Verfügung stehen. Damit können die steigenden Anforderungen an die Energieübertragungskapazität umweltfreundlich und wirtschaftlicher erfüllt werden.

* Valcond und Valthermo sind eingetragene Markenzeichen.

Quellen

- [1] DIN EN 50119:2010-05
- [2] Kiessling, F.; Puschmann, R.; Schmieder, A.: Fahrleitungen elektrischer Bahnen: Planung, Berechnung, Ausführung, Betrieb, B.G. Teubner Stuttgart, Leipzig 1998
- [3] Rux, M.; Schmieder, A.; Zweig, B.W: Bahnenergieversorgungskonzepte für den Brenner-Basistunnel (BBT), eb 105 (2007) Heft 4-5
- [4] Pupke, F.: nkt cables-Installationshinweise für hochfeste Fahrdrähte, internes Dokument
- [5] EN 50149:2012
- [6] Protokoll „Messvorschrift zur Bestimmung der Feinwelligkeit“ nkt cables, Siemens, Deutsche Bahn vom 14.04.2008