

Qualitätskriterien für Fahrdrähte und die Montageprozesse

Die gestiegenen Forderungen an die Qualität, Zuverlässigkeit, Betriebssicherheit und Verfügbarkeit von Oberleitungen, insbesondere für Hochgeschwindigkeits- und Hochleistungstrecken, veränderten die Planungsparameter und in der Folge die Anforderungen an die Qualität von Fahrdrähten, an die Technologien für die Montage und die Instandhaltungsstrategien.

► Bei Fahrdrähten aus hochfesten Materialien haben Herstellung und Montage wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Stromübertragung zwischen Oberleitung und Stromabnehmer. Das Verhalten von Fahrdrähten wurde an der Technischen Universität Wien hinsichtlich der bleibenden plastischen Verformungen, der Mikrowelligkeit und des Kriechverhaltens untersucht und daraus wurden Empfehlungen für die Installation des Fahrdrahtes mit innovativen, leistungsfähigen Oberleitungs-Installationsmaschinen abgeleitet.

Zur Ergänzung werden die „thermische“ Stabilität (Rekristallisation) und das Verschleißverhalten betrachtet.

1. EINFÜHRUNG

Die Eisenbahnen erhöhen im Personenverkehr die Betriebsgeschwindigkeit bis auf 350 km/h, um die Marktanteile im Wettbewerb zwi-

schen Flugzeug, Auto und Bahn durch kurze Reisezeiten und Qualität abzusichern bzw. anzuheben.

Oberleitungen (Fahrdrähte) sind ein wesentlicher Bauteil der Traktionsstromversorgung für den elektrischen Betrieb und damit der Eisenbahn-Infrastruktur. Da die Oberleitungen nicht redundant ausgeführt werden können, ist deren Verfügbarkeit besonders wichtig.

Hohe Fahrgeschwindigkeiten erfordern vor allem eine Erhöhung der Fahrdräht- und Tragseil-Zugkraft. Oberleitungssysteme sind hierfür mit Fahrdräht-Zugkräften von etwa 25 kN bis 35 kN realisiert. Die Einhaltung der geforderten Sicherheitsgrenzen für die Fahrdräht-Zugbeanspruchung u.a. nach [1]

erfordert für Zuggeschwindigkeiten bis zu 350 ... 400 km/h die Verwendung „hochfester“ Kupferlegierungen für die Fahrdrähte. Bei den ab Mitte 1990 errichteten Hochgeschwindigkeitsstrecken hat man an Stelle der Fahrdrähtmaterialien Cu-ETP und CuAg nunmehr CuSn- und CuMg-Legierungen eingesetzt. In der Folge wurde u.a. eine verstärkte Lichtbogenbildung, die ursächlich auf eine Mikrowelligkeit an der Fahrdräht-Schleiffläche zurückzuführen war, beobachtet. Mikrowelligkeiten wurden als bleibende plastische Verformungen des Fahrdrahtes mit geringen Amplituden und Wellenlängen erkannt, die aus der Materialwahl, dem Herstellungsprozess und dem Montageprozess stammen können. Bei diesen hochfesten Fahrdrähtwerkstoffen müssen auch die Folgewirkungen aus Verbiegungen, Verdrehungen – also bleibende plastische Verformungen – zuverlässig vermieden werden.

Bereits bei Geschwindigkeiten über 160 km/h können Schleifstücke des Stromabnehmers den Mikrowelligkeiten am Fahrdräht nicht immer folgen. Für Mikrowelligkeit ist in [2] der Grenzwert definiert.

2. ANALYSEN, FOLGERUNGEN, ENTWICKLUNGEN, REAKTIONEN

Um das Problem grundsätzlich zu lösen, wurde von Herstellern und Bahnunternehmen intensiv nach Verbesserungspotenzialen in der Oberleitungstechnologie gesucht. Es wurde der Herstellungsprozess von Fahrdrähten analysiert und es wurden hohe Qualitätsstandards durch die Entwicklung maschineller Installationsverfahren vorge schlagen und erreicht.

Bei konventionellen („händischen“) Mon-



Dipl.-Ing. Manfred Irsigler
bis 1999 Leiter des Geschäftsbereichs Energie bei den ÖBB; bis 2004 Technischer Vorstand bei der Salzburg AG; seit 1993 Lehraufträge an den Technischen Universitäten Wien und Graz
manfred.irsigler@telering.at

tagemethoden zur Herstellung der Oberleitungen wird mit einfachen Geräten, entsprechendem Personaleinsatz, großem Zeitaufwand und langen Sperrzeiten gearbeitet. Die Fahrdrähte werden mit geringen, nicht konstanten Zugkräften verlegt. Sie sind zwischen Fahrdräht-Speichertrommel und Montagepunkt nicht kontrolliert geführt, sodass unzulässige Verformungen und Verdrehungen sowie auch eine nicht normenkonforme „Mikrowelligkeit“ verbleiben. Beim fahrdynamischen Zusammenwirken von Oberleitung und Stromabnehmern könnten dadurch unzulässige Kontaktkräfte entstehen. Zur Vermeidung dieser Probleme werden nach dieser händischen Montagesequenz Zeitfenster für die Reckung (irreversible Dehnung) mit z.B. 72 Stunden eingeplant, bevor mit der definitiven Montage der Oberleitungskomponenten begonnen werden kann. Nachregulierungen an den Komponenten bis zur endgültigen Betriebsbereitschaft der Oberleitung sind vorzusehen.

Für die gestiegenen Anforderungen an die Qualität, Zuverlässigkeit, Funktionalität, Betriebssicherheit und im Hinblick auf LCC der Oberleitungen wurden die Qualitätskriterien für Fahrdrähte und Oberleitungssysteme präziser gefasst, die Neubaurichtlinien und Instandhaltungsstrategien angepasst und „mechanisierte Montageverfahren“ (maschinenunterstützte, weitgehend automatisierte Montage in „Fließbandtechnik“) eingeführt.

Parallel dazu wurden insbesondere die Werkstoffe für Fahrdrähte und die Fertigungsprozesse für die neuen Anforderungen optimiert.

Die „mechanisierten Montageverfahren“ waren nunmehr insbesondere auf die höheren Fahrdrabt-Nennzugkrafte und auf die Einhaltung der engen Toleranzen abzustimmen bzw. zu optimieren. Die Maschinentechologie muss zuverlässig Beschädigungen, Verbiegungen, Verdrehungen sowie die „Mikrowelligkeit“ am Fahrdrabt während des Arbeitsprozesses vermeiden.

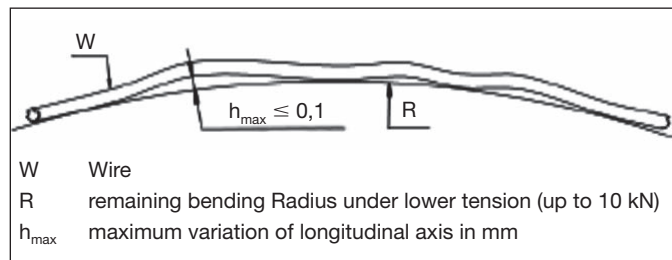


BILD 1:
Mikrowelligkeit
EN 50149

3. DYNAMISCHES VERHALTEN DER OBERLEITUNG

Die im Fahrbetrieb durch die Wechselwirkung zwischen Oberleitung und Stromabnehmer auftretenden fahrdynamischen Kontaktkräfte (Anpresskräfte), müssen eine unterbrechungsfreie und störungsfreie Stromabnahme bei allen Betriebszuständen sicherstellen.

Das fahrdynamische Verhalten hängt von den Oberleitungs- und Stromabnehmerereigenschaften und von den Betriebsbedingungen ab. Die hauptsächlich zu beachtenden Betriebsbedingungen sind die Zuggeschwindigkeit, das Oberleitungs- und das Stromabnehmerdesign sowie die Anzahl, der Abstand und die Position der Stromabnehmer im Zugverband.

In der [3] werden insbesondere die funktionalen Anforderungen für eine unterbrechungsfreie Stromabnahme vorgegeben, wie Grenzwerte für die fahrdynamischen Kontaktkräfte (Zielgrößen der mittleren Kontaktkraft in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit).

Die durch den Anhub des Fahrdrabtes beim Stromabnehmerdurchgang erzeugte Welle breitet sich mit einer von der Dichte (Masse) ρ und der Zugspannung (Zugkraft) σ des Fahrdrabtes abhängigen Wellenausbreitungsgeschwindigkeit c aus. Für eine qualitätsgerechte Stromübertragung darf die Befahrgeschwindigkeit maximal 70% der Wellenausbreitungsgeschwindigkeit betragen [1].

$$c = \sqrt{\sigma / \rho} \quad V_{\max} = < 0,7 \times c$$

In Tabelle 1 sind 3 Beispiele für die maximalen Zuggeschwindigkeiten V_{\max} von Oberleitungssystemen bei verschiedenen Fahrdrabt-Nennzugkraften, Fahrdrabtmaterialien und Querschnitten gezeigt.

Für eine Zulassung von Stromabnehmern im Oberleitungsnetz des Bahnunternehmens/Infrastrukturbetreibers ist ein Nachweis der Qualität des Zusammenwirkens Stromabnehmer – Oberleitung erforderlich.

In den Normen [4] und [5] sind die Simulationsverfahren und die Messungen zum Nachweis der Qualität der Stromabnahme

(Wechselwirkung zwischen Oberleitung und Stromabnehmer) festgelegt.

Das fahrdynamische Verhalten im Zusammenwirken Stromabnehmer und Oberleitung kann durch Simulationen entsprechend [5] und/oder durch Messungen mit einem validierten Kontaktkraftmesssystem gemäß [4] mit der höchstzulässigen Systemgeschwindigkeit der Oberleitungsausfuhrung nachgewiesen werden.

Die Qualität der Stromabnahme wird entweder über den Kontaktkraftverlauf oder durch die Anzahl der Kontaktkraftunterbrechungen pro Zeiteinheit beurteilt.

Die statische Ruhelage der Oberleitung wird entweder berührungslos (Lasermessverfahren) oder mit minimaler Anpresskraft des Messstromabnehmers gemessen.

4. NEUES PHÄNOMEN – FAHRDRABT-MIKROWELLIGKEIT

Als Mikrowelligkeit werden Deformationen in der Langssachse des Fahrdrabtes, d.h. an der Schleiffläche mit kleinen Amplituden und Wellenlängen bezeichnet, die nach der Oberleitungsmontage bestehen bleiben und gemessen werden können (Bild 1).

Durch die Mikrowelligkeit am Fahrdrabt können die zulässigen fahrdynamischen Kontaktkräfte zwischen Fahrdrabt und Stromabnehmer bei höheren Betriebsgeschwindigkeiten über- bzw. unterschritten werden.

Dieses Phänomen ist mit dem Einsatz von hochfesten Fahrdrabtmaterialien (z.B. Kupfer-Magnesiumlegierungen und -Zinnlegierungen) und mit größeren Fahrdrabtquerschnittenverstarkt aufgetreten. In der Folge kann dies zu erhöhtem Verschleiß, zu

Störungen an der Oberleitung und an den Stromabnehmern, zu kürzerer Lebensdauer, zu Störungen im EMV-Bereich durch Lichtbogenbildung und zu Lärmemissionen führen.

Mögliche Ursachen der Fahrdrabt-Mikrowelligkeit sind

- Auswahl und Vorbehandlung der hochfesten Materiallegierungen
- Eingeprägte Verzerrungen und Krümmungen während des Fahrdrabt-Herstellungsprozesses können zu geometrischen Ungenauigkeiten im Endprodukt führen (Unsymmetrien am Ziehstein, ...)
- Bleibende vertikale (und horizontale) Deformationen nach dem Abtrommeln und dem folgenden unsachgemäßen Verlegen des elastoplastisch aufgewickelten Fahrdrabtes.

Die plastische Verformung durch Biegen über die Fahrdrabt-Speichertrommeln, über die Windenrader (Spill-System), über Umlenkrollen lässt sich im praktikablen Bereich der Fertigung und Installation (Radien von ca. 800 mm bis < 2000 mm) nicht vermeiden [6]. Die Materialdeformation in den Fahrdrabt-Randzonen bildet sich nach Weglassen der Krafteinwirkung nicht vollständig zurück, es bleibt eine plastische Verformung.

Diese Verformungen können sich bei „herkömmlichen Montagemethoden“ (Montage ohne Zugkraft und ohne geeignete Oberleitungs-Installationsmaschine) ggf. noch vergrößern bzw. sie können in der Folge nur teilweise und aufwändig korrigiert werden.

Die Grenzwerte für die Mikrowelligkeit in Langssachse des Fahrdrabtes (Fahrdrabtschleifflache) sind in [2] festgelegt. Nach der Montage darf gemäß dieser Festlegung die »

Type	FD	F	c	V_{\max}
Re 330 Oberleitungssystem der DB Netz	CuMg 120	27 kN	572 km/h	400 km/h
EAC 350 Oberleitungssystem Madrid Sevilla	CuMg 150	31,5 kN	553 km/h	387 km/h
China Oberleitungssystem Wuhan-Guangzhou	CuMg 150	30,0 kN	540 km/h	378 km/h

TABELLE 1:
Beispiele für Oberleitungen für Hochgeschwindigkeitsstrecken

vertikale Abweichung der Längsachse des Drahtes nicht größer als 0,1 mm betragen.

Die Normwerte können einerseits durch neue Materiallegierungen und Produktionsprozesse sowie insbesondere durch spezielle, mechanisierte Montageverfahren zuverlässig eingehalten werden.

Es sind geeignete Produktions- und Montageprozesse bzw. -verfahren zwischen dem Besteller (Bahnunternehmen, Infrastrukturbetreiber) und den Auftragnehmern festzulegen, um eine resultierende Mikrowelligkeit zu vermeiden (Bild 1).

Die Messung der vertikalen Abweichung der Längsachse des Drahtes erfolgt z.B. mittels eines optischen oder mechanischen Messsystems (Bild 2).

5. ZIELSETZUNG DER UNTERSUCHUNGEN ZUR MONTAGETECHNOLOGIE AN DER TU WIEN

Das Projekt „Modellierung der Fahrdrachtinstallation unter Berücksichtigung der Fahrdrachtwelligkeit und des Kriechverhaltens – Installationsempfehlungen“ an der Technischen Universität Wien (Fakultät für Bau-

ingenieurwesen, Institut Forschungsbereich Baumechanik und Baudynamik) [6] hatte folgende Vorgaben:

Die Untersuchungen sollten u.a. auf mathematischem und experimentellem Weg den Nachweis erbringen, dass bei der mechanisierten Fahrdrachtverlegung mit der Oberleitungs-Installationsmaschine mit Nennzugkraft, die bei allen Montagesituationen konstant gehalten werden muss,

- eine Fahrdracht-Welligkeit (gemäß Definition [2]) vermieden werden kann und dass
- der Einfluss von Kriechen und der Reckung (unelastische, irreversible, bleibende Längenänderung) über die Länge und Lage des Oberleitungs-Kettenwerkes zu vernachlässigen ist, sodass bereits
- während der maschinellen Oberleitungsinstallation über eine Sektionslänge sukzessive und parallel die Fertigstellung des Montagevorganges (einbinden aller Komponenten) erfolgen kann.
- Maschinentechnologie und Konstruktionsmerkmale der Oberleitungs-Installationsmaschine von Plasser & Theurer, praktische Versuche und Montageergebnisse.

→ ÖBB Profilhadracht CuAg 0,1, 120 mm²; Rillenhadracht CuMg 0,5, 120 mm² (Bild 3).

6. DETAILS ZUR MIKROWELIGKEIT AUS DEN UNTERSUCHUNGEN DER TU WIEN

Auf- und Abwickeln des Fahrdrachtes (auf Speichertrommeln) sowie die Führung über die Friktionswindenräder (des Spill-Systems) sowie über Führungs- und Umlenkrollen sind auf Grund der praktisch machbaren Radien, wenn keine adäquaten Zugkräfte eingepreßt werden, plastische Biegungen (plastische Verformung in den Randzonen des Fahrdrachtes).

Grundlegende Berechnungen des Spannungszustandes/-verlaufes für den Lastfall „Reine Biegung“ (konstante Krümmung, kreisförmig, keine Torsion) zeigen, dass sich die Spannungsverläufe über den Fahrdrachtquerschnitt – bei Rollendurchmesser von 800 mm ≤ D ≤ 2000 mm (z.B. bei Fahrdracht-Speichertrommeln, Friktionswindenräder im Windensystem, Führungs- und Umlenkrollen) - immer im Zustand der zweiseitigen Plastifizierung befinden.

Am Beispiel Profilhadracht CuAg 0,1, 120 mm², ÖBB-HGV-System 2.1 (Fahrdracht-Nenn-Zugkraft 15,3 kN), ist die Ausbreitung der plastischen Zone im oberen und unteren Querschnittsbereich (Randbereich) und die lineare Spannungsverteilung im Kernbereich bei Biegevorgängen gezeigt (Bild 4).

Infolge der überlagerten Zugkräfte im Windensystem (Spill-System) der Oberleitungs-Installationsmaschine weist der Spannungsverlauf über die Querschnitts-



BILD 2: Messung der vertikalen Abweichungen des Fahrdrachtes (Mikrowelligkeit)

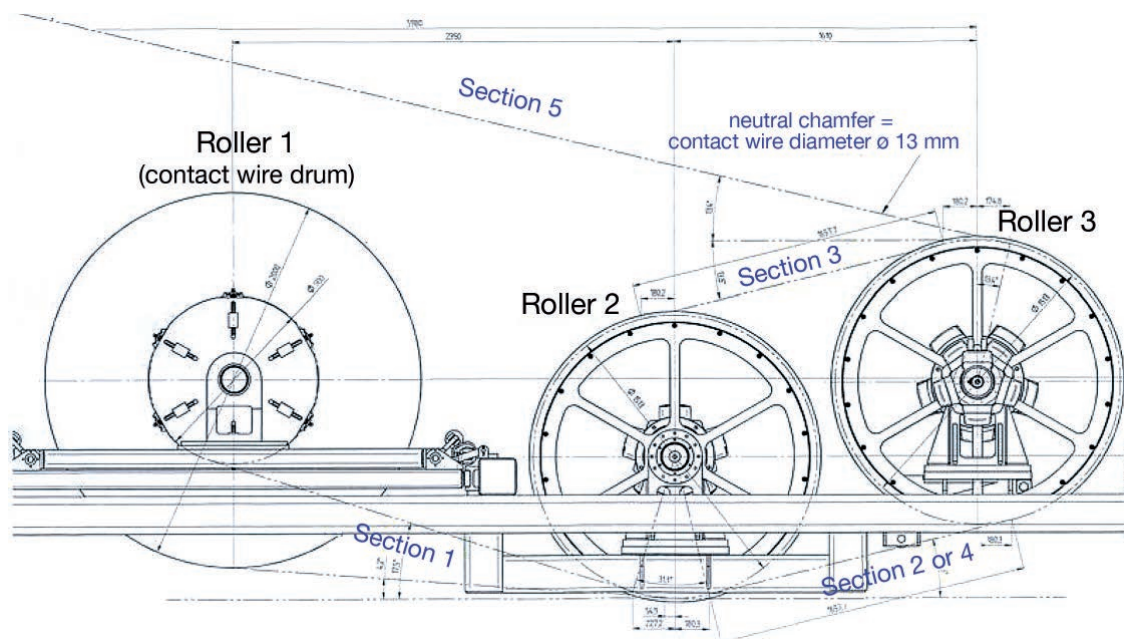


BILD 3: Von der TU Wien im Projekt untersuchte Konfiguration der Fahrdrachtführung im Windensystem der Oberleitungsinstallationsmaschine von Plasser & Theurer

fläche dann in den Abschnitten 2 bis 5 des Windensystems durchgängig, keine plastischen Bereiche auf. Analoge Untersuchungen wurden auch für den Rillen-Fahrdrabt CuMg 0,5, 120 mm², System DB – Re 330 gemacht, mit denselben positiven Ergebnissen (Bild 5).

In Tabelle 2 sind beispielhaft die Ergebnisse für Rillenfahrdrabt CuMg 0,5, 120 mm² für die maßgebenden Abschnitte 2, 3 und 5 aus Bild 3 (die zu erwartenden maximalen (Zug) und minimalen (Druck) Normalspannungen, die mittleren Normaldehnungen) gelistet und als Ergebnis der Maximalwert der Mikrowelligkeit (Restwelligkeit) w max angegeben.

Resultat der Untersuchungen ist, dass der Fahrdrabt im Windensystem (in den Abschnitten 2–5) und im verlegten Zustand keine plastischen Querschnittsbereiche (Zugfestigkeit 490 N/mm² für CuMg 0,5, 120 mm²) aufweist und die normgemäß zulässige Mikrowelligkeit von 0,1 mm unterschritten wird.

7. INSTALLATIONSEMPFEHLUNGEN ZUR VERMEIDUNG VON MIKROWELLLIGKEIT

Kontrollierte und gleichmäßige Zugkräfte beim Auf- und Abwickeln, d.h. bei allen Biegevorgängen bei der Fertigung und Installation von Fahrdrähten sind extrem wichtig [6].

- Exakte überwachte Führung der Fahrdrabtlage und der Einhaltung der konstanten Zugkraft beim Umwickeln im Fertigungsprozess und letztlich beim Aufwickeln auf die Fahrdrabt-Speichertrommel und beim Abwickeln
- Exakte überwachte Führung der Fahrdrabtlage und der Einhaltung der konstanten Nennzugkraft für das verwendete Oberleitungssystem in der Installationsmaschine über die Windenräder (des Spill-System) und über Umlenkrollen beim Installationsprozess
- Die Nennzugkraft muss auch bei Start und Stopp des Installationsprozesses bis zur Fixierung an den Fahrdrabt-Nachspannvorrichtungen konstant gehalten werden
- Große Radien für alle Umlenkrichtungen
- Originalbiegerichtung des Fahrdrabtes ist bei allen Umlenkungen beizubehalten
- Der Fahrdrabt sollte nicht mehr als 20 ° durch eine Umlenkrolle umgelenkt werden

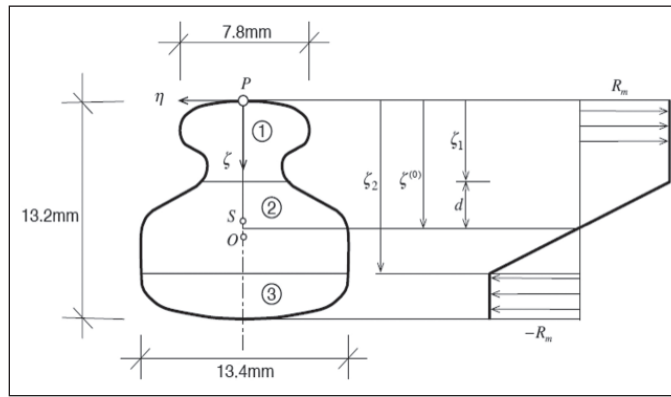


BILD 4: Ausbreitung der plastischen Zone im Randbereich, lineare Spannungsverteilung im Kernbereich bei Biegevorgängen

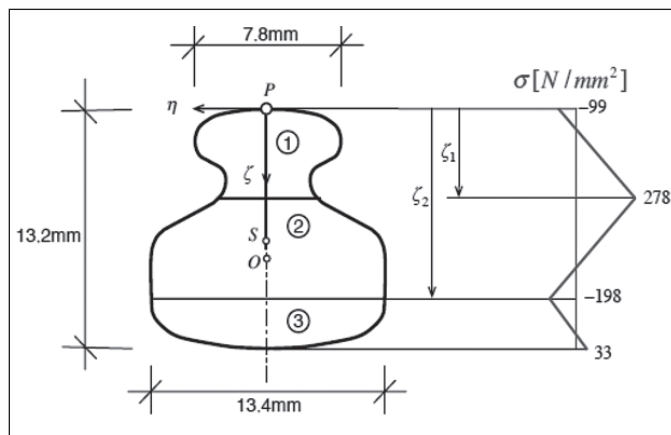


BILD 5: Normalspannungsverlauf für Profil-Fahrdrabt CuAg 0,1, 120 mm² (Nenn-Zugkraft 15,3 kN) im Abschnitt 2 mit Zugkraft 4,8 kN der Oberleitungsinstallationsmaschine von Plasser & Theurer (nach Bild 3)

Abschnitt (l)	σ_{max} [N/mm ²]	σ_{min} [N/mm ²]	ϵ [μ m/m]	$\omega_{max}^{(l)}$ [mm]
2	328	- 188	751	5,7
3	272	- 149	1404	< 0,1
5	365	- 47	2400	< 0,05

TABELLE 2: Reduktion der Mikrowelligkeit in den Abschnitten 2–5 nach Bild 3

→ Plastisches Verdrehen und plastische Biegen bzw. Knicken des Fahrdrabtes vermeiden

8. DETAILS ZUM KRIECHVERHALTEN DES FAHRDRABTES AUS DEN UNTERSUCHUNGEN DER TU WIEN

Die Längendehnung der Oberleitung (Gesamtdehnung) wird einerseits durch die elastische Dehnung (das elastische Verhalten der Leiter) und andererseits durch die unelastische Dehnung (Kriechdehnung, unelastische, irreversible, bleibende Längenänderung) bestimmt. Darüber hinaus ist eine zusätzliche Längendehnung durch das „Strecken“ unter Nenn-Zugkraft bei ohne Zugkraft „wellig“ verlegtem Leiter gegeben (Bild 6).

Das Kriechverhalten in Abhängigkeit der Zugkräfte und der ausgewählten Oberleitungs-Konfiguration ist für die endgültige Montage der Oberleitung, der Ausleger und die finale Einbindung der Oberleitungs-

ponenten (Ausleger, Seitenhalter, Weichenverbindungen, Stromausgleichsverbinder, Hänger, Einspeisungen, Nachspannungsvorrichtungen, etc.) maßgebend.

Daher sind die Zugkräfte im Oberleitungssystem entsprechend dem Querschnitt und dem Fahrdrabt-Werkstoff geeignet so zu wählen, dass das Kriechverhalten vorbestimmt werden kann und dass die Kriechdehnung unter kurzer Zeit praktisch abgeschlossen bzw. nach der Montage vernachlässigbar bleibt.

Im Projekt wurde das Kriechverhalten bei Nennzugkraft und bei erhöhter Zugkraft z.B. für den ÖBB-Profilfahrdrabt 120 mm² CuAg 0,1 mit Nenn-Zugkraft 15,3 kN als auch mit 50% erhöhter Zugkraft von 22,5 kN und für den Rillenfahrdrabt 120 mm² CuMg0,5 mit Nenn-Zugkraft 27 kN und mit 30% erhöhter Zugkraft von 35 kN untersucht. Die Messergebnisse zeigen, dass die Kriechdehnung (ist die Gesamtdehnung abzüglich der elastischen Dehnung) bei den genannten Belastungsfällen nach ungefähr 900 Sekunden weitgehend abgeschlossen ist (Bilder 7 und 8).

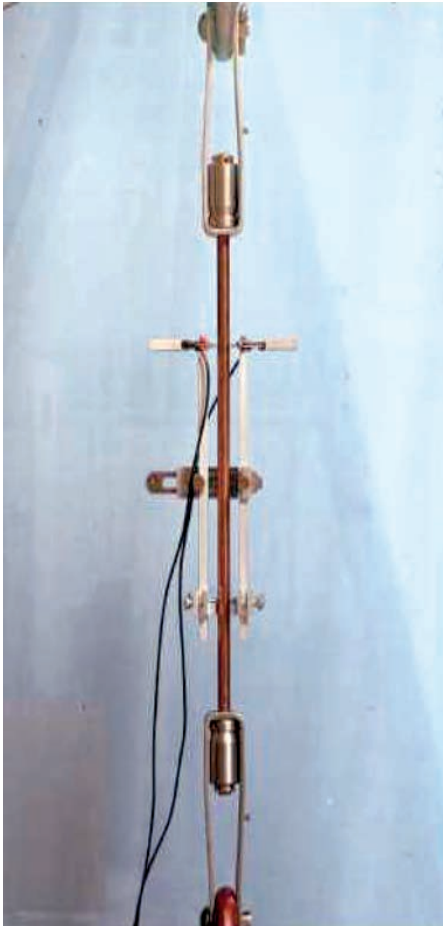


BILD 6: Fahrdrabt-Probte mit Konus-Abspann-Klemmen und mit Feindehnungsaufnehmer während der Kriechprufung

9. INSTALLATIONSEMPFEHLUNGEN MIT BEACHTUNG DES KRIECHVERHALTENS

Aus den Versuchsergebnissen lassen sich grundsätzliche Konzepte für den Montageprozess mit Folgerungen zur Maschinentechologie von Oberleitungs-Installationsmaschinen (z.B. FUM 100.128 von Plasser&Theurer) sowie über die Effizienz der Oberleitungsinstallation ableiten:

- Werden Fahrdrähte und Seile mit den durch die Oberleitungs-Bauart vorgegebenen Nenn-Zugkräften mit der Oberleitungs-Installationsmaschine verlegt, so ist der Kriechvorgang durch unelastische Dehnung bereits nach ca. 15 Minuten (< 30 Minuten) im Wesentlichen abgeschlossen. Damit wird der Einfluss der Kriechdehnung und Reckung unter Nenn-Zugkraft nach Abschluss der Oberleitungs-Installation auf die Längendehnung und Lage des Kettenwerkes vernachlässigbar.
- Der elastische Dehnungsanteil wird durch die Montage mit Nenn-Zugkraft bereits vorweggenommen.

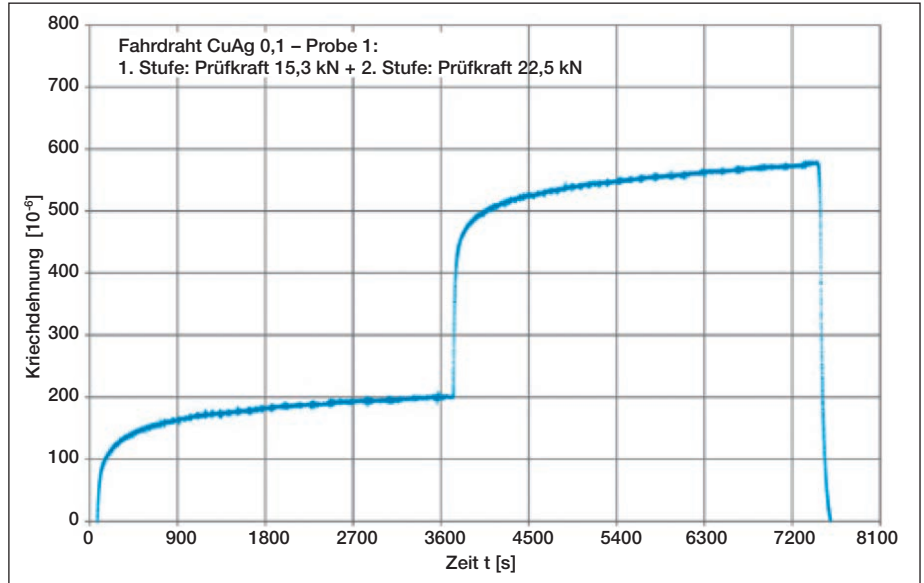


BILD 7: Verlauf der Kriechdehnung für Fahrdrabt CuAg 0,1

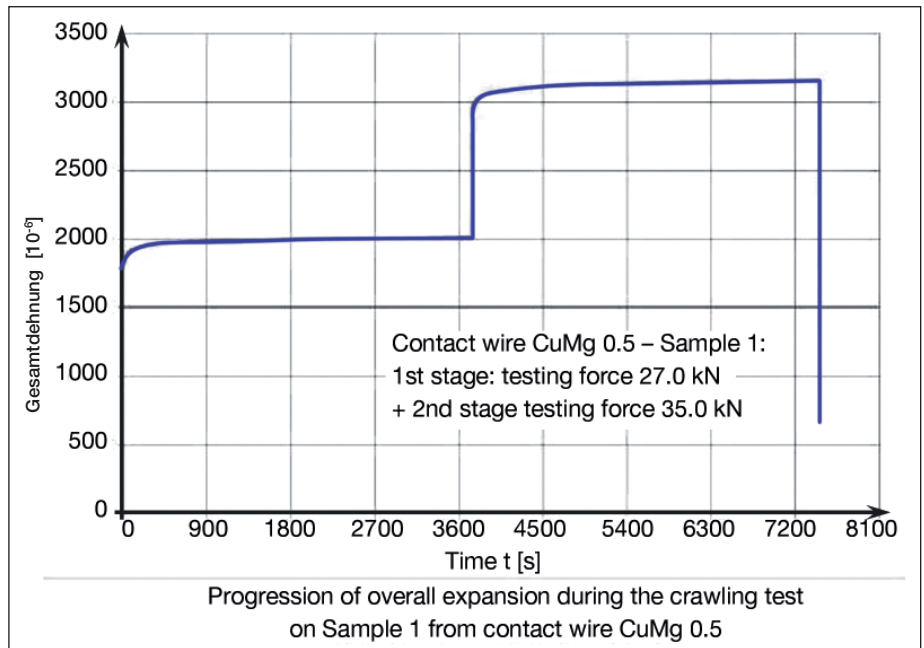


BILD 8: Verlauf der Gesamtdehnung für Fahrdrabt CuMg 0,5 mit Nenn-Zugkraft und mit 50% erhöhter Zugkraft

- Die endgültige Montage der Ausleger und Komponenten, d.h. die exakte Positionierung der Fahrdrahtaufhangungen kann bereits nach 15 (bis < 30) Minuten nach der Verlegung mit Nennzugkraft vorgenommen werden. Dies ist zulässig, weil die eingestellte Nenn-Zugkraft der Oberleitungs-Installationsmaschine von Plasser&Theurer bei allen Arbeits-/Montagesituationen konstant gehalten wird.
- Damit wird der Montagevorgang in der Praxis wesentlich beschleunigt, wenn man die Fixierung der Fahrdrahtaufhangungen lfd. im Nachgang zur Oberleitungs-Installationsmaschine – mit einem geeigneten Zeitabstand von rd. 15 Minuten – vornimmt und damit nicht erst beginnt, wenn die Oberleitungs-Installationsmaschine am Ende der Sektionslänge (des gesamten Installationsabschnittes) angekommen ist.
- Nach Fertigstellung der Montage mit der Oberleitungs-Installationsmaschine sind keine weiteren Änderungs- und Regulierungsarbeiten oder Einstellungen an der Oberleitungskette erforderlich.
- Das bedeutet, dass keine weiteren Gleissperren für Regulierungsarbeiten und Oberleitungskontrollen erforderlich sind.

- Die Montagezeit ist weitaus kürzer als bei „herkömmlichen Montagethoden“.
- Die Oberleitung kann unmittelbar nach dem Montageprozess mit System-Betriebsgeschwindigkeit befahren werden.
- Daraus resultiert eine markante Verringerung der Herstellungskosten und des Instandhaltungsaufwandes von Oberleitungen.

10. MECHANISIERTE MONTAGEVERFAHREN MIT OBERLEITUNGSINSTALLATIONSMASCHINEN¹⁾

Ziel ist ein zeit- und kostengünstiges, kontinuierliches Verfahren, bei Neubauten, Umbauten und Fahrdrabtwechsel mit hoher Verlege- und Arbeitsqualität durch eine Art Fließbandtechnik mit Hilfe eines Oberleitungsbauzuges (mit der Oberleitungs-Installationsmaschine als zentrale Einheit).

Die aufeinander abgestimmten Maschinengruppen im Bauzug werden geringfügig zeit- und/oder wegversetzt gefahren. Für alle Maschinengruppen ist in einem Nachspannabschnitt (Sektionslänge) der gleiche Arbeitsfortschritt eingeplant, den die Oberleitungs-Installationsmaschine mit kontinuierlich bis zu 7 km/h Montagegeschwindigkeit vorgibt.

Der Fahrdrabt ist in der Oberleitungs-Installationsmaschine in gerader Linie von den Fahrdrabt-Speichertrommeln bis zu den Einbaupunkten an den Auslegern und immer in derselben Biegerichtung kontrolliert zu führen, damit sie unbeschädigt, nicht verdreht und nicht verformt an den Einbaupunkten positioniert werden können.

Die hydrostatisch angetriebenen Friktionswindenräder und Speichertrommeln für Fahrdräfte sowie der hydrostatische Fahrtrieb werden für die Einstellung der Nenn-Zugkräfte voneinander abhängig über einen Zentralrechner gesteuert. Die Nennzugkraft ist dann stufenlos einstellbar und wird in engen Toleranzgrenzen auch in den sensiblen Arbeitsphasen beim Start und Stopp der Verlegung eingehalten. Von den Speichertrommeln werden Fahrdräfte und Seile über die Friktionswindenräder und die Rollenköpfe der Hubmasten abgezogen und mit der geforderten Nennzugkraft in die Montageposition gebracht. Die Hubmasten werden abhängig von der geforderten Seitenlage gegenüber der Gleisachse für das Zickzack und bei Ab- oder Nachspannungen der Oberleitung mit der Drehbewegung der Windentische mitgeschwenkt, um ein

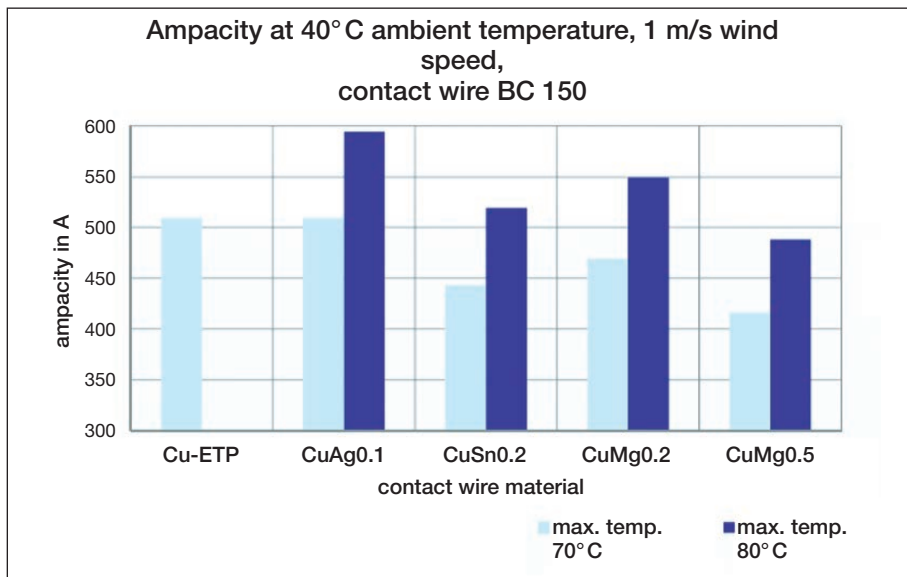


BILD 9: Strombelastbarkeit von Fahrdrabtwerkstoffen

Verwinden des Tragseiles oder Fahrdrabtes zu vermeiden. Zusätzlich sind die Speichertrommeln im Schwenkrahmen seitlich verschiebbar, damit Fahrdräfte und Seile geradlinig in die Friktionswinden einlaufen können.

Bei Fahrdrabtquerschnitten von 120 bis 150 mm² und bei hochfesten Legierungen können nach vielfachen Erfahrungen die hohen Qualitätsstandards und die geforderte Installationsqualität nur mit mechanisierten Verfahren und mit der komplexen Arbeitstechnologie der Oberleitungs-Installationsmaschine effizient erreicht werden (Bild 10).

11. PROBLEMPUNKTE BEI DIVERSEN OBERLEITUNGS-INSTALLATIONSMASCHINEN AM MARKT

Einfache Maschinenkonzepte können eventuelle bereits aus dem Fahrdrabt-Herstellungsprozess vorhandene Deformationen nicht ausgleichen und durch problematische Biegesituationen bei der Zuführung des Fahrdrabtes von der Speichertrommel über Umlenkrollen zu den Windensystemen und weiter zu den Montagepunkten an der Oberleitung werden diese Effekte noch verstärkt (keine präzise Fahrdrabtführung in der Oberleitungs-Installationsmaschine). Ebenso wird die Biegung und Verdrehung des Fahrdrabtes bei Montagesituationen mit großem Abstand zur Gleisachse (Zuführung zur Abspannung bei Radspannwerken, Fahrdrabtführung bei engen Radien) nicht egalisiert.

Die eingeprägte Mikrowelligkeit bleibt bei großen Schwankungen in der Zugkraft bei der Montage, bestehen und zeigt die Gren-

zen und negativen Effekte von einfachen Montagetechnologien sowie einfachen Maschinenkonzepten.

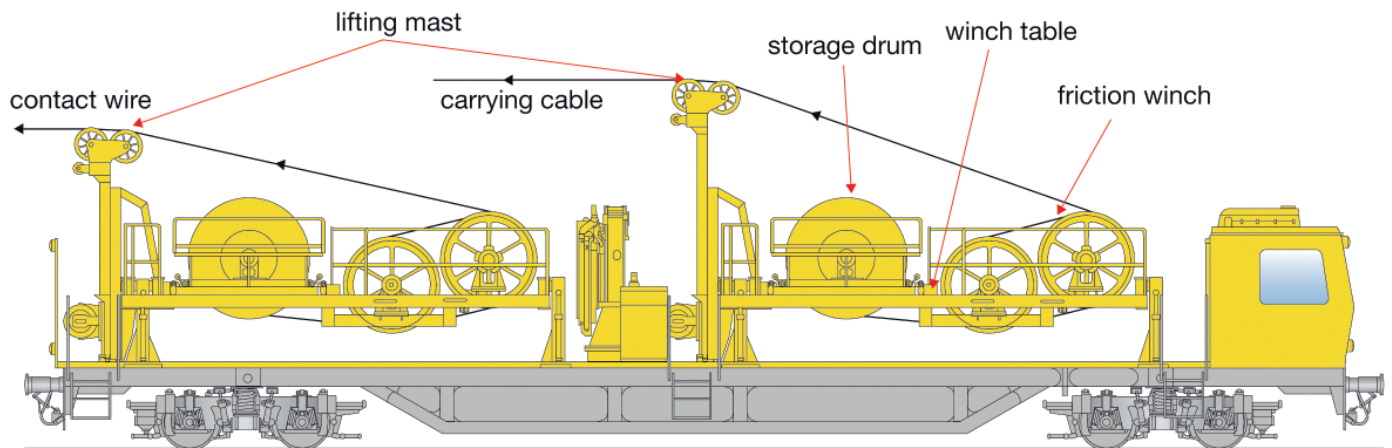
Im Resultat ergeben ungeeignete Montagetechnologien und Maschinenkonzepte von Oberleitungs-Installationsmaschinen gedrehte und gebogene Fahrdräfte – die auch an der Schleiffläche deformiert sind und Welligkeit aufweisen. Daraus resultiert eine unzureichende Qualität bei der Stromabnahme zwischen Fahrdrabt und Stromabnehmer, insbesondere bei höheren Systemgeschwindigkeiten.

12. INNOVATIVE TECHNIK MODERNER MOTORTURMWAGEN VON PLASSER&THEURER

Universell ausgestattete, leistungsstarke Drehgestellmaschinen sind für alle Oberleitungsarbeiten optimal konzipiert. Standard sollten eine frei schwenkbare Hubarbeitsbühne, ein Arbeitskran mit Arbeitskorb, eine Fahrdrabt- und Tragseilpositionieranlage, ein Fahrdrabt-diagnosesystem, etc. sein. Der Arbeitsbereich ist so zu wählen, dass alle üblichen Arbeitspunkte an einer Oberleitung, z.B. auch auf dem Nachbargleis, von einem sicheren Standplatz aus erreichbar sind. Generell werden heute größere Reichweiten der Arbeitskomponenten (Hubarbeitsbühne, Kran, Fahrdrabt-Tragseil-Positionieranlage) gefordert, weil neue Konzepte für Oberleitungen höhere Maste für Feeder, Rückleiter, Arbeiten an Nachbargleisen, etc. erfordern. Gleichzeitig ist aber auch die Eignung und Funktion der Arbeitskomponenten in „engen“ Tunnelquerschnitten zu gewährleisten.

Mit dem Arbeitskran kann man noch eine »

¹⁾ Technik der Oberleitungs-Installationsmaschine von Plasser&Theurer



Present design:

Schematic representation of a FUM 100.128 equipped with tilting winch tables and telescopic lifting masts

BILD 10: Prinzipdarstellung der Oberleitungsinstallationsmaschine 100.128 mit kippbaren Windentisch und Hubmasten

wesentlich größere Reichweite als die Hubarbeitsbühne realisieren, er kann ergänzend zu der Manipulation von schweren Lasten wie von Fahrdrabttrommeln und Armaturen auch mit einem Arbeitskorb verwendet werden.

Die Maschinenfunktionen können entweder von einem Arbeitsplatz aus direkt oder von der Bühne oder von außerhalb des Fahrzeuges ruckfrei ferngesteuert werden.

Mit einem Messstromabnehmer muss die Fahrdrabtlage annähernd unbelastet, aber auch unter der Einwirkung einstellbarer Kontaktkräfte gemessen und aufgezeichnet werden können. Mit Näherungssensoren am Messstromabnehmer oder über Lasermessverfahren kann die Fahrdrabtseitenlage erfasst werden.

In Ergänzung zu den universell ausgestatteten und einsetzbaren Motorturmwagen haben sich auch zweiachsige und kostengünstigere Montageturmwagen etabliert. Diese Maschinen sind z.B. mit einer dreigeteilten Säulenhebebühne ausgestattet, deren Arbeitsplattformen einzeln steuerbar sind.

In allen üblichen Montagesituationen kann die Fahrdrabt- und Trageildrückanlage die Vertikal- und Querkräfte von Drähten und Seilen übernehmen und diese in ihrer Lage halten oder in eine neue bringen. Die Arbeitskomponenten werden heute durch höhere seitliche und vertikale Kräfte stärker beansprucht weil größere Zugkräfte, „schwerere“ Oberleitungssysteme, ... zum Einsatz kommen.

Sicherheitsfunktionen bei Oberleitungs-Arbeitsmaschinen sollten jedenfalls in das Gesamtkonzept von Oberleitungsmaschinen integriert werden. Beispiele sind die Überwachung der Standsicherheit von Oberleitungsmaschinen, die „Gegengleis-sperre“ (Sperre der Aktionsradien der Ar-

beitskomponenten), die Überwachung der Windbelastung bei Arbeiten mit Oberleitungsmaschinen, Gedächtnisfunktion des Fernsteuersystems bei Hubarbeitsbühne und Kran, radarunterstützte Überwachung des Gleisbereiches vor und hinter der Maschine, etc. (Bild 11).

13. ANFORDERUNGEN AN MODERNE OBERLEITUNGEN, NORMEN

Die Oberleitung muss dem Grundsatzdokument [1] hinsichtlich der technischen Kennwerte, der Konstruktion, den Qualitätsanforderungen und der Funktionalität entsprechen.

Wesentliche Faktoren sind insbesondere auch die Interoperabilität (TSI), die Einhaltung der statischen und fahrdynamischen Kriterien, eine hohe Güte der Stromabnahme entsprechend den Regelwerken, niedrige Lebenszykluskosten (LCC), eine Standardisierung und zusätzlich die Gewährleistung der elektrotechnischen Personen- und Anlagensicherheit (Hochspannungsanlagen).

[2] legt die Material- und Festigkeitseigenschaften, die verschiedenen geometrischen Abmessungen und die Qualitäts- sowie Prüfkriterien für Fahrdrähte fest.

Die Normen und die unternehmensspezifischen Richtlinien an die jeweiligen Oberleitungs-Bauformen und Systeme wurden und werden für die Qualitätsanforderungen an Fahrdrähte, die Arbeitsverfahren, die Montageperformance, die Arbeitssicherheit und die Instandhaltungsstrategien, mit Berücksichtigung des Standes der Technik, einem ständigen Verbesserungsprozess unterzogen.

In der Folge können daher die technischen Vorgaben an die Produktion von Fahrdrähten und die Montagetechnologie wesentlich an-

spruchsvoller und konkreter gefasst werden. Für Oberleitungen gelten nunmehr enge Toleranzen für die statische Fahrdrabtlage und das dynamische Verhalten [1, 2, 3].

Für einen freien Netzzugang sind folgende wesentliche statische Parameter der Oberleitungsgeometrie zu beachten:

- Fahrdrabthöhe, Fahrdrabtseitenlage, Begrenzungslinie, zulässige Fahrdrabtneigung, zulässige seitliche Fahrdrabtauslenkung bei Seitenwind, zulässiger Fahrdrabtanhub am Stützpunkt; etc..
- Die Stromabnehmer der Züge müssen die geometrischen Parameter ebenso gemäß [1, 3] für alle Oberleitungstypen, auf denen sie unter den Regeln des freien Netzzuganges verkehren wollen, erfüllen.

Die Geometrie des Stromabnehmers wird durch die Parameter – geometrisches Profil der Stromabnehmerwippe, Bereich der Arbeitshöhe, Länge der Schleifstücke und maximale Breite, Schrägstellung der Stromabnehmerwippe, etc. bestimmt.

14. WERKSTOFFE FÜR FAHRDRÄHTE, MATERIALEIGENSCHAFTEN, VERSCHLEISS, REKRISTALLISATIONS-TEMPERATUR

Fahrdrähte aus Kupferlegierungen werden aus den Rohstoffen Kupferkathoden (Cu) und den Legierungselementen Silber (Ag), Magnesium (Mg) und Zinn (Sn) hergestellt.

Für neue Oberleitungen und im Zuge der Erneuerung werden seit Mitte der 1990er Jahre überwiegend Fahrdrähte aus Kupfer-Silberlegierung (z. B. RiS – CuAg 0,1) wegen des sehr guten elektrischen Leitwertes, der hohen Temperaturfestigkeit (der hohen Re-

kristallisationstemperatur) und der guten Gleiteigenschaften eingesetzt.

Für Betriebsgeschwindigkeiten über etwa 250 km/h wurden wegen der benötigten hohen Fahrdrabt-Nennzugkräfte hochfeste Fahrdrabtwerkstoffe – z.B. Bronzen mit 0,2 bis 0,5 % Magnesium oder 0,2 bis 1,0 % Zinn entwickelt. Speziell bei den CuMg-Legierungen erreicht man im Vergleich zu reinem Kupfer oder auch anderen Kupferlegierungen mit der Kaltverformung (Ziehstufen) eine sehr hohe Verfestigung und damit hohe Zugfestigkeitswerte.

Bei der Anwendung von CuMg- bzw. CuSn-Legierungen für Fahrdrähte ist zu beachten, dass die elektrische Leitfähigkeit gegenüber reinem Kupfer Cu-ETP und CuAg 0,1 markant vermindert wird [2]. Die Auswirkungen auf die Strombelastbarkeit, Energie-Übertragungskapazität, Übertragungsverluste, Spannungsabfälle und damit Unterwerksabstände sind bei der Planung zu verifizieren und z.B. über größere Trageilquerschnitte und parallele Feeder auszugleichen. Parallel dazu wird auch die zulässige Fahrdrabttend-temperatur auf + 100°C [1] angehoben und damit die Dauer- und Kurzzeitstrombelastbarkeit (Tabelle 3, Bild 9).

Die Zugfestigkeit nimmt mit höheren Tem-



BILD 11: MTW 100.173 bei TÜV-Prüfung

peraturen wieder ab – durch Rekristallisation bildet sich die verformte Kristallstruktur zurück. Die durch Kaltverformung erreichte Zugfestigkeit geht damit wieder verloren.

Der Halbhärtpunkt (Rekristallisation) liegt bei CuAg 0,1, CuMg 0,5, CuMg 0,2 mit > = 320°C ausreichend hoch über den zulässigen Betriebstemperaturen.

Bei Betrachtung der Lebensdauer von

Oberleitungsanlagen ist der Mindestrestquerschnitt entscheidend, bei dem im Hinblick auf die verbleibende Zugfestigkeit aus Sicherheitsgründen ein Fahrdrabtwechsel erforderlich wird. Üblich wird bei Hochgeschwindigkeits- bzw. Hochleistungsstrecken die zulässige Querschnittsverringernng mit 20% (d.h. die Verschleißgrenze bei 80% des Nennquerschnitts) vorgegeben. »

www.eurailpress.de/archiv

Das Portal für die Bahnbranche

Über 210.000 Seiten
Bahn-Fachwissen!



Recherchieren Sie in allen Ausgaben seit 1952 - exklusiv für Abonnenten.

■ Komfortable Volltextsuche ■ Beiträge im PDF-Format ■ Download direkt auf den PC



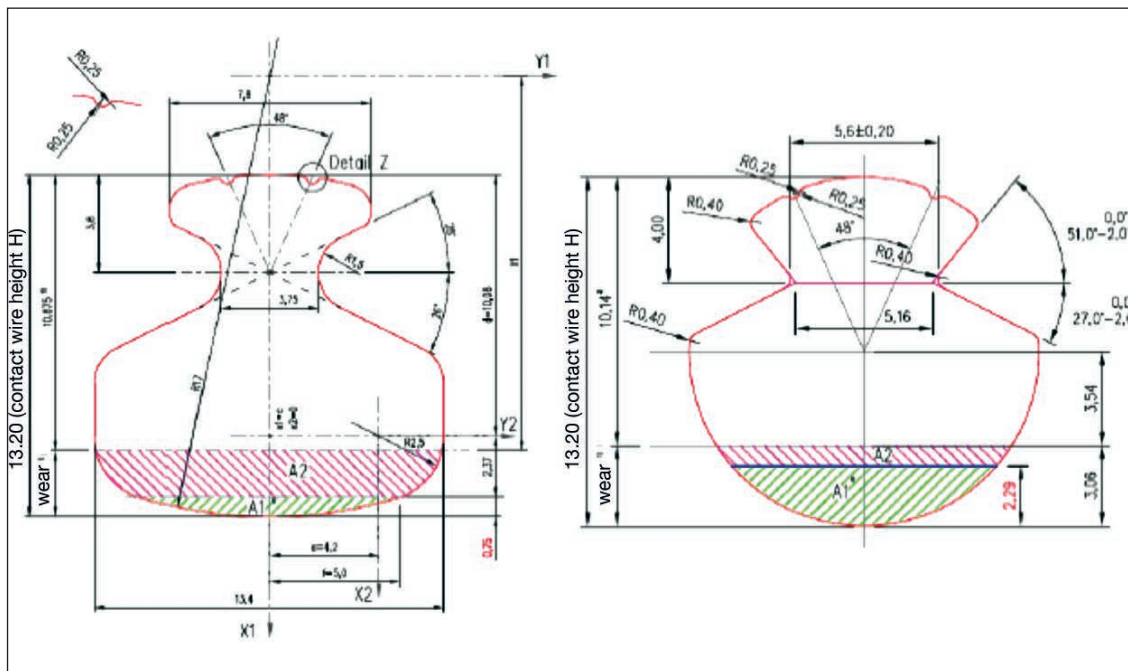


BILD 12:
Vergleich Verschleißverhalten ÖBB-Profilfahrdrabt zu Rillenfahrdrabt

In einem Projekt der ÖBB und TU Graz wurde das Verschleißverhalten zwischen ÖBB-Profilfahrdrabt und Rillenfahrdrabt verglichen. Der ÖBB-Profilfahrdrabt hat gegenüber dem Rillenfahrdrabt durch die Querschnittsform einen größeren Abnutzungsvorrat. Die Standzeit ist daher insgesamt um rd. 20–25% höher (Bild 12).

Die Verschleißrate von verschiedenen Fahrdrabtwerkstoffen kann über die Strombelastung und den Anpressdruck objektiviert werden (aus Langzeitversuchen – Quelle: nktcables GmbH) (Bild 13).

Die Verschleißrate von CuAg 0,1 ist dreimal niedriger als bei Cu-ETP und bei CuMg bis zu fünfmal niedriger als bei Cu-ETP.

15. NEUENTWICKLUNGEN FÜR FAHRDRABTMATERIALIEN

Zielsetzungen und Anforderungen für die Entwicklung alternativer Materialien für Fahrdrabte generell und insbesondere Fahrdrabte für Hochgeschwindigkeits- bzw. Hochleistungsstrecken sind aus Sicht der Anwender (Bahnunternehmen, Infrastrukturbetreiber) eine höhere Zugfestigkeit, vergleichbar hohe elektrische Leitfähigkeit wie bei Elektrolytkupfer (Cu-ETP) und bei CuAg 0,1, mindestens so gute Verschleißeigenschaften wie bei CuAg 0,1, eine niedrige Kriechrate analog CuAg 0,1 und thermische Stabilität gegen Rekristallisation.

Folgende Entwicklungen orientieren sich am aktuellen Bedarf:

Mit speziellen Verarbeitungstechnologien soll die Zugfestigkeit der bewährten Legierung CuAg 0,1, die eine für die hohen Zugkräfte bei Hochgeschwindigkeits- bzw. Hochleistungsstrecken nach [2] etwas zu geringe Mindestzugfestigkeit hat, an den Bedarf aus der Praxis heraus angepasst werden. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass die Mindestzugfestigkeit für das neue Produkt auf Basis CuAg 0,1 von 350 N/mm² auf 410 bis 400 N/mm², abhängig vom Fahrdrabtquerschnitt, angehoben werden kann.

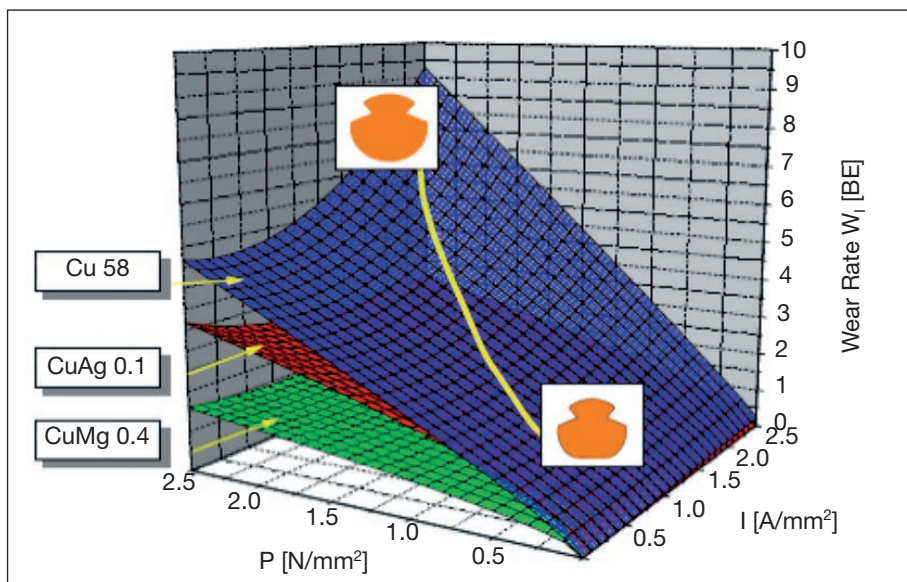
Durch die über 10%ige Erhöhung der Zugfestigkeit und damit auch der Härte ist parallel eine Verbesserung des Verschleißverhaltens gegeben. Die sehr gute elektrische Leitfähigkeit dieser „hochfesten CuAg 0,1-Fahrdrabte“ bleibt unverändert. Die hohe thermische Stabilität der Legierung CuAg 0,1 bleibt erhalten.

Weiter ist man an einer Unabhängigkeit von dem sehr volatilen Silberpreis und natürlich auch an Kosteneinsparungen gegenüber Fahrdrabten aus CuAg 0,1 besonders interessiert. Es wird an speziellen Kupferlegierungen ohne Silberanteil gearbeitet, die ähnliche Mindestzugfestigkeitswerte wie das hochfeste CuAg 0,1, etwa die gleiche thermische Stabilität gegen Rekristallisation, ein günstigeres Verschleißverhalten und eine hohe elektrische Leitfähigkeit wie die bewährte genormte Legierung CuAg 0,1 aufweisen sollen. Damit wäre eine kostengünstige Alternative zu CuAg 0,1 beim Tausch von Fahrdrabten bei voller Kompatibilität und bei Elektrifizierungsprojekten erreicht.

In aktuellen Projekten wird an einer Ver-

BILD 13: Verschleißrate Cu-ETP, CuAg 0,1, CuMg

(Quelle: nktcables GmbH)



besserung der elektrischen Leitfähigkeit bei den magnesiumlegierten Kupferfahrdrächten durch Optimierung der Produktionsprozesskette gearbeitet, wobei sich Verbesserungen von 5–8% abzeichnen (Tabelle 3, Bild 9). ◀

Fahrdrachtquerschnitt 120 mm ²	Einheiten	CuMg 0,5	CuMg 0,2	CuAg 0,1 hochfest
Zugfestigkeit	N/mm ²	490	430	360
Elektrische Leitfähigkeit bei + 20°C	MS/m	>= 36,0	>= 44,6	58
Elektrische Leitfähigkeit bei + 20°C	% IACS (Basis = 58 MS/m Cu-ETP, CuAg 0,1)	>= 62	>= 77	100

TABELLE 3: Vergleich der elektrischen Leitfähigkeit von verschiedenen Fahrdrachtwerkstoffen

Literatur

[1] ÖVE/ÖNORM EN 50119:2009: Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Oberleitungen für den elektrischen Zugbetrieb.
 [2] ÖVE/ÖNORM EN 50149:2013: Bahnanwendungen – Ortsfeste Einrichtungen – Rillenfahrdrähte aus Kupfer und Kupferlegierungen.
 [3] DIN EN 50367 (VDE 0115-605):2006-11, Bahnanwendungen – Stromabnahmesysteme – Technische Kriterien für das Zusammenwirken Stromabnehmer und Oberleitung (für einen freien Zugang): Deutsche Fassung EN 50367:2006
 [4] EN 50317:2003: DIN EN 50317 (VDE 0115-503), Bahnanwendungen – Stromabnahmesysteme – Anforderungen und Validierung von Messungen des dynamischen Zusammenwirkens zwischen Stromabnehmer und Oberleitung
 [5] DIN EN 50318 (VDE 0115-504), Bahnanwendungen – Stromabnahmesysteme – Validierung von Simulationssystemen für das dynamische Zusammenwirken zwischen Stromabnehmer und Oberleitung
 [6] Heuer, Rudolf: Systemweiterentwicklung und Optimierung des ÖBB-Profilfahrdrachtes (TU Wien)
 [7] Kießling, F. [u.a.]: Fahrleitungen elektrischer Bahnen. Teubner-Verlag, Stuttgart – Leipzig, 2. Auflage 1998.
 [8] Irsigler, M./Kohel, J.: Oberleitungen – Neubau, Umbau und Instandhaltung. In: Elektrische Bahnen 104 (2006), H. 1-2, Seite 59–69

[9] König, W./Michalski, U./Strehl, B.: Innovation in der Oberleitungsmontage bei DB Bahnbau. In: Der Eisenbahningenieur 54 (2003), H. 2, S. 39–41

[10] Wenty, R.: Maschinen für Fahrleitungsbau und -instandhaltung. In: Eisenbahntechnische Rundschau 49 (2000), H. 1-2, S. 69–76

► SUMMARY

Quality criteria for contact wires and fitting processes

The project results from Vienna University of Technology show that when catenaries are installed with modern machines from Plasser&Theurer, and provided the nominal tractive force is kept constant, it is possible to satisfy the quality targets as regards permanent plastic deformations, fine ripples and creep behaviour. Modern catenary installation machines incorporating innovative machinery and working methods and multi-functional motorised tower cars make it possible to achieve considerable improvements in productivity. That applies to new installations, the upgrading of existing catenaries for higher performances, the replacement of contact wires, general maintenance and the rectification of disruptions. With these measures, it is possible to stabilise costs and even reduce them.



Fahrleitungen

Für Bahn-, Strassenbahn- und Trolleybus-Fahrleitungen sind wir der kompetente, zuverlässige Gesprächspartner.

Aktuelle Referenzen:

- Durchmesserlinie Appenzell-St. Gallen-Trogen
- RhB-Projekt Bahnhof St. Moritz
- Gotthard-Tunnel der NEAT
- Grenzüberschreitende Strecke Schaffhausen-Erzingen

Unsere Spezialisten elektrifizieren Vollbahnen, Stadtschnellbahnen, Strassenbahnen und Trolleybusse.

Kumler+Matter AG
 Hohlstrasse 176, CH-8026 Zürich
 Tel. +41 44 247 47 47
 Fax +41 44 247 47 77
 kuma@kuma.ch, www.kuma.ch



EIN UNTERNEHMEN DER ALPIQ GRUPPE