

Fahrdrahtwelligkeit und mechanische Modellierung des Verlegevorganges

Das Unternehmen Plasser & Theurer entwickelte eine Fahrleitungsumbaumaschine (FUM), bei der die Fahrdrahtverlegung besonders zeiteffizient unter bereits eingepprägter, konstant gehaltener Nennzugkraft erfolgt. Letztere wird durch den Einsatz einer Friktionswinde stufenweise gesteigert.

1. AUFGABENSTELLUNG

Um die Güte der Stromabnahme zwischen den Stromabnehmern und dem Fahrdraht entsprechend der TSI (Technical Specification for Interoperability) und der EN 50119 (Europäische Norm) [1] für das gewählte Oberleitungssystem (Systemdesign abhängig von den geforderten höchsten Betriebsgeschwindigkeiten und den elektrischen Leistungsanforderungen) sicherzustellen, muss der Fahrdraht im verlegten Endzustand eine definierte konstante Nennzugkraft haben. Damit wird eine geeignete gleichbleibende Elastizität des Oberleitungssystems erreicht und es werden die nach dem Montageprozess verbleibenden vertikalen „Fahrdraht-Wellen“ minimiert.

Darüber hinaus muss die aus den Prozessen Fahrdrahtfertigung und Fahrdrahtmontage eingepprägte und verbleibende „Fahrdraht-Restwelligkeit“ (Definition nach EN 50149 [2]) so weit wie möglich vermieden bzw. durch den Montageprozess noch so weit wie möglich reduziert werden.

Plasser & Theurer entwickelte eine Fahrleitungsumbaumaschine (FUM), siehe Bild 1,

bei der die Fahrdrahtverlegung besonders zeiteffizient unter bereits eingepprägter, konstant gehaltener Nennzugkraft erfolgt.

Der vorliegende Beitrag untersucht exemplarisch die zu erwartende Restwelligkeit im ÖBB-Profilfahrdraht FD 120 mm² (Legierung CuAg 0,10) nach dessen Verlegung mit Hilfe der FUM; Bild 2 zeigt den zugehörigen Querschnitt des Fahrdrahtes mit seinen Hauptabmessungen.

2. MASSGEBENDE MATERIALPARAMETER DES FAHRDRAHTES

Im Rahmen der von der Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt GmbH (TVFA Wien) durchgeführten Zugversuche wurden die Parameter Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Bruchkraft experimentell bestimmt und die Ergebnisse in einem gesonderten Prüfbericht zusammengefasst. Aus den Kraft-Dehnungs-Diagrammen konnte damit auch der Elastizitätsmodul ermittelt werden.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 jenen Werten aus [3] gegenübergestellt.



Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Rudolf Heuer
Technische Universität Wien
Forschungsbereich für Baumechanik und Baudynamik am Institut für Hochbau und Technologie
rudolf.heuer@tuwien.ac.at

3. URSACHEN DER FAHRDRAHTWELLIGKEIT

3.1. EINGEPRÄGTE VERZERRUNGEN UND KRÜMMUNGEN WÄHREND DES HERSTELLUNGSPROZESSES, DIE ZU GEOMETRISCHEN UNGENAUIGKEITEN IM ENDPRODUKT FÜHREN

Geometrische Imperfektionen sind vom Fahrdrahthersteller im Rahmen der Genauigkeitsanforderung weitgehend zu vermeiden und müssen durch entsprechende Prüfzeugnisse nachgewiesen werden.

BILD 2: Querschnitt des ÖBB-Profilfahrdrahtes FD 120 mm²

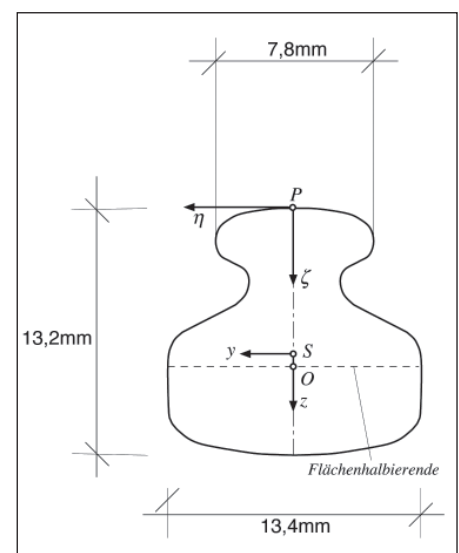


BILD 1: Fahrleitungsumbaumaschine (FUM) von Plasser & Theurer



3.2. WÄHREND DES ABWICKELVORGANGES INDUZIERTER IMPERFEKTIONEN IM AUFGEWICKELTEN FAHRDRAHT INFOLGE RADIALPRESSUNG (KONTAKTPROBLEM)

Die folgenden Erläuterungen beziehen sich auf den Fahrdrat auf der Fahrdrattrommel Rolle 1 (siehe Bild 4). Bei der Idealisierung gemäß Hertz'scher Flächenpressung [4] berühren sich zwei Fahrdratlagen im aufgewickelten Zustand entlang einer (gekrümmten) Linie. Als idealisierte Querschnittsgeometrie wurden zwei Kreisquerschnitte mit den Radien $r_1 = r_2 = r$ gewählt. Die Materialien verhalten sich bis zum Erreichen der Zugfestigkeit ideal-elastisch, die Kontaktkräfte werden näherungsweise nur in Richtung der jeweiligen Flächennormalen übertragen. Weiterhin wird für die Eindrückung (Abplattung) δ als Deformationsmaß vorausgesetzt, dass es klein gegenüber dem Radius r ist.

Die damit ermittelte maximal zulässige Abwickelkraft im Fahrdrat, bei der es zu bleibenden Deformationen (lokale Eindrückungen) kommen würde,

$$F_{max} = R_m^2 \pi (1 - \nu^2) \frac{rR}{E}$$

wird im betrachteten Fall nicht erreicht. R_m und E bezeichnen Zugfestigkeit und Elastizitätsmodul, r und R den Radius des Fahrdratquerschnittes und jenen der Fahrdrattrommel.

3.3. LOKALE INSTABILITÄTEN WÄHREND DES AUFWICKELNS DES GEFERTIGTEN DRAHTES AUF DIE FAHRDRAHTTROMMEL

Eine Ausprägung der Welligkeit zufolge Kippens wird ausgeschlossen, da es sich beim betrachteten Fahrdratquerschnitt um keinen „hohen, schmalen Biegeträger“ mit einem Verhältnis der Flächenträgheitsmomente $J_z \gg J_y$ bzw. $J_y \gg J_z$ handelt. Das kritische Kippmoment für den vorliegenden Lastfall „Reine Biegung“ (konstant verteilte Biegemomentenbeanspruchung, keine Querkraft) würde ca. dem 12-fachen Tragmoment entsprechen.

Eine Ausprägung der Welligkeit zufolge Biegedrillknickens wird ausgeschlossen, da dafür der Fahrdrat in Richtung seiner Stabachse unter hohem Druck belastet werden müsste.

3.4. BLEIBENDE VERTIKALE DEFORMATIONEN NACH DEM ABTROMMELN UND DEM VERLEGEN DES ELASTO-PLASTISCH AUFGEWICKELTEN FAHRDRAHTES

Die folgenden Abschnitte behandeln diese mechanischen Effekte in ausführlicher Weise.

	TVFA Wien	[3] TLB E521
Zugfestigkeit R_m [N/mm ²]	372 ÷ 387	370
Bruchdehnung A_{200} [%]	5,5	$7 > A_{200} > 2,5$
Bruchkraft F_{max} [kN]	44 ÷ 46,4	43,5
E-Modul *) E_0 [N/mm ²]	110000 ÷ 135000	110000
*) Tangentenmodul: - gemessen im Anfangsbereich der Belastung - ermittelt im Schwerpunkt der Querschnittsfläche		

TABELLE 1: Materialparameter des ÖBB-Profilfahrdrates FD 120 mm²

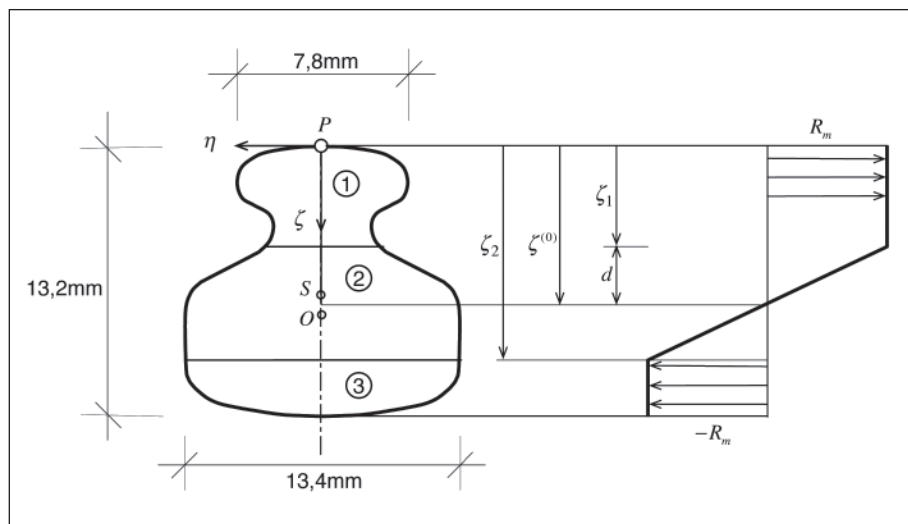


BILD 3: Zweiseitig plastischer Zustand

4. MECHANISCHE MODELLIERUNG DES FAHRDRAHTES UNTER ELASTO-PLASTISCHER BEANSPRUCHUNG

Die Voraussetzungen und die Vorgehensweise bei der Aufstellung der grundlegenden Gleichungen für die Bestimmung des Spannungszustandes im Fahrdrat sind – mit Ausnahme des (elasto-plastischen) Werkstoffgesetzes – im Wesentlichen dieselben wie in der elementaren Biegetheorie der Elastizitätstheorie:

- Die Querschnittsabmessungen seien klein gegenüber den Radien der Fahrdrattrommel bzw. der Umlenkrollen und über die Länge des Fahrdrates konstant.
- Dominante Schnittgrößen seien abschnittsweise konstante Biegemomente und konstante Längskräfte.
- Die Bernoulli-Hypothese soll für die elastischen und die plastizierten Bereiche des Balkens gelten.

Die experimentell ermittelte Arbeitslinie des untersuchten Fahrdrates weist nichtlinear elasto-plastisches Verhalten auf, das durch ein idealisiertes Materialmodell bilinear angenähert werden kann. Für eine mechanisch konsistente Formulierung wird im Rahmen der elasto-plastischen Berechnungen anstel-

le des Tangentenmoduls am Beginn der Belastung ein abgeminderter Sekantenmodul. Letzterer errechnet sich aus der Bedingung der gleichen mechanischen Arbeit (entspricht den Flächen unter den Arbeitslinien).

Da alle Rollen der FUM (Fahrdrattrommel, Umlenkrolle, Friktionswinde) kreisförmige Geometrien – und somit jeweils konstante Krümmungen – aufweisen, kann dem gekrümmten Fahrdrat ein Spannungszustand aus dem Lastfall „Reine Biegung“ (konstant verteilte Biegemomentenbeanspruchung, $M = const.$, keine Querkraft) zugewiesen werden. Die in manchen Abschnitten überlagerte Normalkraftbeanspruchung wird iterativ berücksichtigt.

Je nach Verformungsgrad unterscheidet man bei „Reiner Biegung“ vier verschiedene Spannungszustände, siehe z. B. [5].

4.1. VOLLSTÄNDIG ELASTISCHER ZUSTAND

$$\sigma(\zeta) = \frac{M}{J_y} (\zeta - \zeta_s)$$

Die Spannungsnulllinie geht durch den Flächenschwerpunkt $\zeta^{(0)} = \zeta_s$.

Grenzfall: Beginn der Plastifizierung am oberen Querschnittsrand: $\zeta = 0$

$$M = M_F = R_m \frac{J_y}{\zeta_s}$$

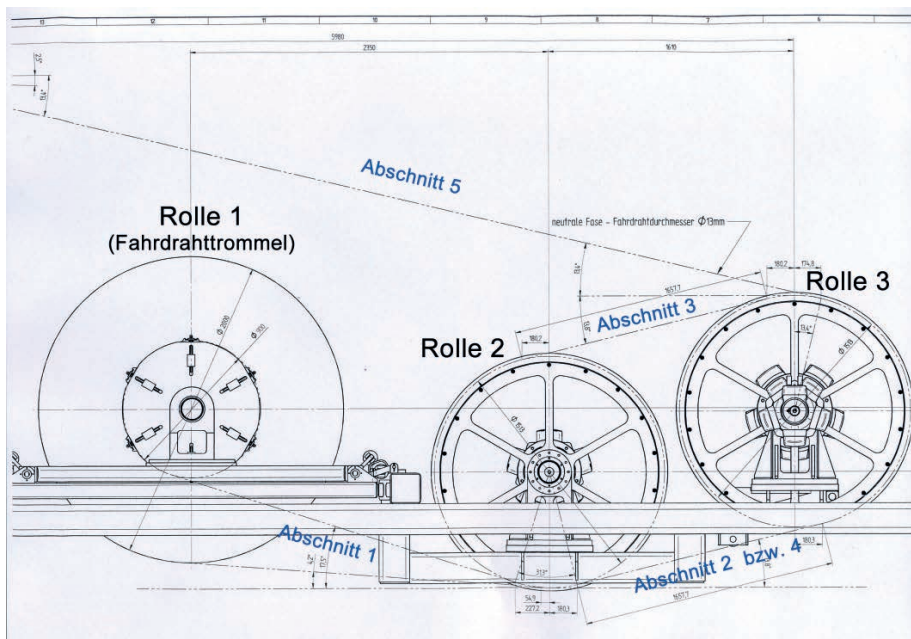


BILD 4: FUM-Rollenpositionen

Minstdurchmesser ohne plastische Verformung:

$$d_{min}^e = \frac{2EJ_y}{M_F} = \frac{2E\zeta_s}{R_m}$$

4.2. EINSEITIG PLASTISCHER ZUSTAND

Ausbreitung der plastischen Zone im oberen Querschnittsbereich:

$$0 \leq \zeta \leq \zeta_1: \sigma(\zeta) = R_m$$

Im unteren, elastischen Querschnittsbereich, $\zeta_1 \leq \zeta \leq h$ bleibt $\sigma(\zeta)$ linear verteilt.

Mit der Plastizierung ist eine Verschiebung der Spannungsnulllinie $\zeta^{(0)}$ in Richtung der Flächenhalbierenden verbunden.

4.3. ZWEISEITIG PLASTISCHER ZUSTAND (BILD 3)

Bei weiterer Steigerung der Belastung dehnen sich die plastifizierten Bereiche unten und oben, in denen die Fließbedingung erfüllt ist, weiter aus und der elastische Restquerschnitt wird kleiner, die Normalspannungen besitzen abschnittsweise folgenden Verlauf:

$$\begin{aligned} 0 \leq \zeta \leq \zeta_1: & \sigma(\zeta) = R_m \\ \zeta_1 \leq \zeta \leq \zeta_2: & \sigma(\zeta) \dots \text{linear verteilt} \\ \zeta_2 \leq \zeta \leq h: & \sigma(\zeta) = R_m \end{aligned}$$

Die Grenze dieses Zustandes ist erreicht, wenn der elastische Restquerschnitt verschwindet, und es tritt der sogenannte vollplastische Zustand ein, vergleiche Abschnitt 4.4.

Für die beiden Fälle 4.2 und 4.3 berechnen

sich Spannungsnulllinie und das zugehörige Moment (numerisch) aufgrund der Bedingungen für Normalkraft und Biegemoment:

$$\begin{aligned} N &= \int_A \sigma(\zeta) dA = 0 \\ M &= \int_A \sigma(\zeta) \zeta dA \end{aligned}$$

Abschnitt		Reibungszahl: $\mu = 0,2$
Nr.	Beschreibung	
5	ab R3 in Verlegerichtung	$N_5 = N_E = 15,3 \text{ kN}$
4	zwischen R2 und R3 „unten“	$N_4 = 9,0 \text{ kN}$
3	zwischen R2 und R3 „oben“	$N_3 = N_4 = 9,0 \text{ kN}$
2	zwischen R2 und R3 „unten“	$N_2 = 4,8 \text{ kN}$
1	zwischen R1 und R2	$N_1 = N_2 = 4,8 \text{ kN}$

R1 ... Fahrdrahttrommel (Rolle 1)
R2 ... Umlenkrolle (Rolle 2)
R3 ... Friktionswinde (Rolle 3)

TABELLE 2: Eingeprägte Normalkräfte in den einzelnen Fahrdrahtabschnitten

4.4. VOLLPLASTISCHER ZUSTAND

Die Spannungsnulllinie entspricht hier der Flächenhalbierenden, $\zeta^{(0)} = \zeta_0$. Das Tragmoment errechnet sich zu

$$M_T = R_m \frac{A}{2} (\zeta_{Su} - \zeta_{So})$$

mit den Bezeichnungen

ζ_{So} , ζ_{Su} ... Schwerpunkte der oberen und unteren Teilfläche.

Im Bereich der auftretenden Rollendurch-

messer von $900 \text{ mm} \leq D \leq 2000 \text{ mm}$ zeigen die Berechnungen der Spannungsverläufe zufolge „Reiner Biegung“, dass sich der Fahrdrahtquerschnitt immer im Zustand der zweiseitigen Plastifizierung (Fall 4.3, Bild 3) befindet.

5. FAHRDRAHTVERLEGUNG: SIMULATION UND RESTWELBIGKEIT

Die Ermittlung der Normalspannungen und der Querdeformation erfolgte abschnittsweise. Bild 4 (teilweise entnommen aus [6]) zeigt die Anordnung der einzelnen Rollen auf der FUM.

5.1. NORMALKRÄFTE

Die einzelnen eingepprägten Normalkräfte wurden gemäß Euler'scher Seilreibungsgleichung (siehe [7])

$$N(\varphi) = N(\varphi = 0) \cdot \exp(\mu\varphi)$$

mit dem Umschlingungswinkel φ und der Reibungszahl $\mu = 0,2$ abgeschätzt, und zwar beginnend mit der vorgegebenen Endzugkraft des zu verlegenden Fahrdrahtes von $N_5 = N_E = 15,3 \text{ kN}$. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Unter der Voraussetzung, dass die konstant gehaltene Endzugkraft im Fahrdraht

(unmittelbar vor Verlegung) den Sollwert $N_E = 15,3 \text{ kN}$ erreicht und gleichzeitig eine Abwickelzugkraft von $N_1 = 5,0 \text{ kN}$ nicht überschritten wird, wäre eine Reibungszahl von $\mu_{\text{erf}} = 0,19$ zwischen Fahrdraht und allen Trommeln zu gewährleisten.

Für den Fall, dass diese Spannungsreserven unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors von $\gamma = 1,5$ ausgenutzt werden (zul $R_m = R_m/1,5 = 247 \text{ N/mm}^2$), ergeben die entsprechenden Neuberechnungen theoretisch folgende in Tabelle 3 angeführten maximal zulässigen Zugkräfte während des Abwickelvorganges.

5.2. CHRONOLOGISCHER ABLAUF DER DRAHTVERLEGUNG MIT HILFE FUM

Zustand 1

Der Fahrdrabt auf Rolle 1 (Fahrdrabttrommel) befindet sich in einem elasto-plastischen Spannungszustand. Nach Lösung der Fixierung erfolgt elastische Entlastung, woraus Restspannungen gemäß Bild 5 entstehen. Deren Verlauf über die Querschnittsfläche weisen keine plastischen Bereiche auf, $\sigma_R(\zeta) < R_m$.

Zustand 2

Das freie Fahrdrabte wird über die Rollen 1 und 2 gezogen und befindet sich somit in einer kreisförmig angenäherten, schwach gekrümmten Anfangskonfiguration, siehe Bild 6. Die zu diesem Zeitpunkt noch geringe Anfangszugkraft erreicht ihren Endwert, sobald der Fahrdrabt den letzten Abschnitt Nr. 5 (vergleiche Bild 5) erreicht hat. Der im zweiten Abschnitt resultierende Normalspannungsverlauf aus Restspannung und $N_1 = N_2 = 4,8 \text{ kN}$ weist im gesamten Fahrdrabtquerschnitt keine plastischen Bereiche auf; $|\sigma(\zeta)| < R_m$.

Die elastische Restdeformation errechnet sich aus dem Fahrdrabt unter eingepägter Krümmung (Krümmungsradius R_2) bei gleichzeitiger Normalkrafteinwirkung gemäß „Theorie 2. Ordnung“. Dieser Restdeformation kann eine neue eingepägte Krümmung zugeordnet werden. Der Maximalwert der Restdeformation $w_{\max}^{(2)}$ ist in Abhängigkeit unterschiedlicher angenommener Anfangswinkel in Tabelle 4 gelistet.

Zustand 3

Während der folgenden Umschlingung um die Friktionswinde wird einerseits die Normalkraft im Fahrdrabt auf $N_3 = N_4 = 9,0 \text{ kN}$ erhöht, andererseits der Fahrdrabt wieder elasto-plastisch verformt, ohne jedoch das Tragmoment (Δ vollplastischer Zustand) zu erreichen. Für die Berechnung der Normalspannungen wurden dabei die Interaktionsbeziehungen zwischen Normalkraft und Biegemoment berücksichtigt, welche die Zustände „rein elastisch“ und „vollplastisch“ begrenzen.

Für den elastischen Bereich gilt:

$$\frac{|N|}{N_F} + \frac{|M|}{M_F} \leq 1$$

mit

$$N_F = R_m \cdot A, M_F = R_m \cdot \frac{J_y}{\zeta_s}$$

Der vollplastische Bereich kann mit Hilfe der Interaktionsbeziehung für einen effektiven Rechtecksquerschnitt mit $M_T^{\square} = 1,5 \cdot M_F$ sicher abgeschätzt werden,

Abschnitt		Reibungszahl: $\mu = 0,2$
Nr.	Beschreibung	
5	ab R3 in Verlegerichtung	$N_5 = N_E = 33,6 \text{ kN}$
4	zwischen R2 und R3 „unten“	$N_4 = 19,7 \text{ kN}$
3	zwischen R2 und R3 „oben“	$N_3 = N_4 = 19,7 \text{ kN}$
2	zwischen R2 und R3 „unten“	$N_2 = 10,5 \text{ kN}$
1	zwischen R1 und R2	$N_1 = N_2 = 10,5 \text{ kN}$

R1 ... Fahrdrabttrommel (Rolle 1)
R2 ... Umlenkrolle (Rolle 2)
R3 ... Friktionswinde (Rolle 3)

TABELLE 3: Eingepägte Normalkräfte unter Ausnutzung der Spannungsreserven

	$\beta = 5^\circ$	$\beta = 10^\circ$	$\beta = 15^\circ$	$\beta = 20^\circ$
$w_{\max}^{(2)}$ [mm]	2,5	4,9	7,3	9,7

TABELLE 4: Maximalwerte der Restdeformation in Abhängigkeit unterschiedlicher Anfangswinkel

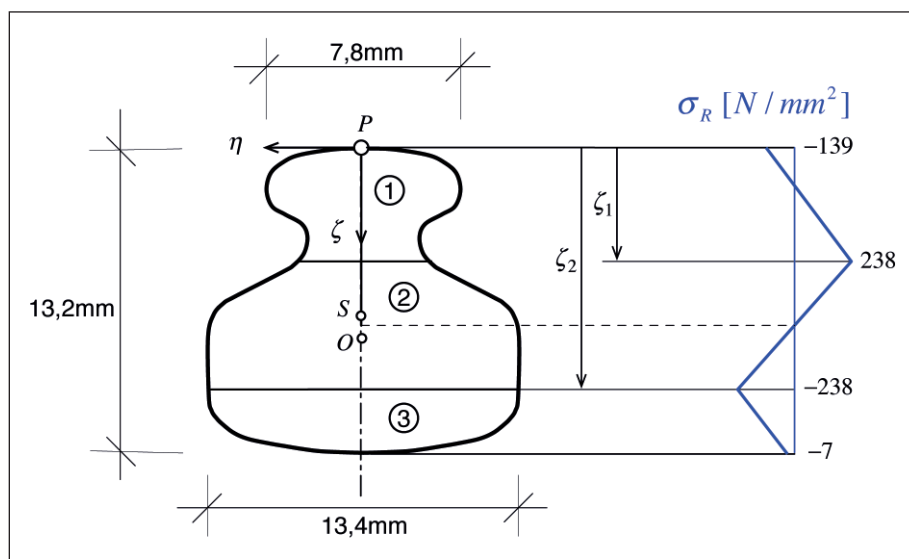


BILD 5: Restnormalspannungsverlauf nach Lösung der Fahrdrabtfixierung von der Fahrdrabttrommel

TABELLE 5: Maximalwerte der Normalspannungen und kinematischen Größen in einzelnen Fahrdrabtabschnitten

Abschnitt (i)	σ_{\max} [N/mm ²]	σ_{\min} [N/mm ²]	ϵ [$\mu\text{m}/\text{m}$]	$w_{\max}^{(i)}$ [mm]
2	278	-198	485	9,7
3	263	-193	909	0,2
5	246	-140	1545	< 0,1

$$\left(\frac{N}{N_F}\right)^2 + \frac{|M|}{M_T^{\square}} \geq 1$$

Die Restdurchbiegung in Abschnitt 3 berechnet sich gemäß Abschnitt 5.2.1, jedoch unter Berücksichtigung der Belastungsvorgeschichte, mit modifizierter Anfangskrümmung und erhöhter Normalkraft.

Zustand 4

Die weitere Vorgangsweise für die Analyse der Normalspannungen und Restdeformation in den beiden letzten Abschnitten 4 und 5 folgen sukzessiv aus analogen Simulationsrechnungen.

In Tabelle 5 sind für die maßgebenden Abschnitte 2, 3 und 5 die zu erwartenden maximalen (Zug) und minimalen (Druck) Normalspannungen, die mittleren Normaldehnungen sowie der Maximalwert der Restwelligkeit gelistet. Dabei wurde der angenommen ungünstigste Anfangswinkel $\beta = 20^\circ$ im Bereich 2 zugrunde gelegt.

Es ist zu erkennen, dass der Fahrdrabt im verlegten Zustand keine plastischen Querschnittsbereiche aufweist; $|\sigma(\zeta)| < R_m = 370 \text{ N/mm}^2$.

Unter den Voraussetzungen, dass der Fahrdrabt präzise hergestellt und aufgewickelt wurde (ohne Einprägung unzulässig »

Themen-Schwerpunkte

Eisenbahntechnische Rundschau 4/2014

- ETR Swiss 1/14
- Verkehr & Betrieb: Angebotskonzept City Tunnel Leipzig
- Infrastruktur & Komponenten: LCC-optimierte Gleisbautechnologie
- Fahrzeuge & Komponenten: Ausrüstung ICE-Flotte, Brandschutz und Steckverbinder
- Signal- und Kommunikationstechnik: Fahrgastinformation

Erscheinungstag: 4. April 2014

Anzeigenschluss: 13. März 2014

Eisenbahntechnische Rundschau 5/2014

- SPECIAL: BeNeLux
- Verkehr & Betrieb: Logistik im Güterverkehr, Leistungsuntersuchung
- Infrastruktur & Komponenten: Pilot Grüner Bahnhof: Realisierung, Infrastrukturprojekte NE-Bahnen, Auswertung und Erprobung verschiedener Lärmschutzsysteme, innovative Schallschutzmaßnahmen
- Fahrzeuge & Komponenten: Fahrzeugbeschaffung für den SPNV/ÖPNV, Antriebstechnik
- Signal- und Kommunikationstechnik: Personenschutz, Brandschutz auf Bahnhöfen

Erscheinungstag: 5. Mai 2014

Anzeigenschluss: 15. April 2014

Werben Sie auch online auf
www.eurailpress.de

Denken Sie rechtzeitig
an Ihre Werbung
zur InnoTrans 2014



Ihr Ansprechpartner für Werbung:
Tim Feindt

Telefon: 040/23 714-220

E-Mail: tim.feindt@dvvmedia.com

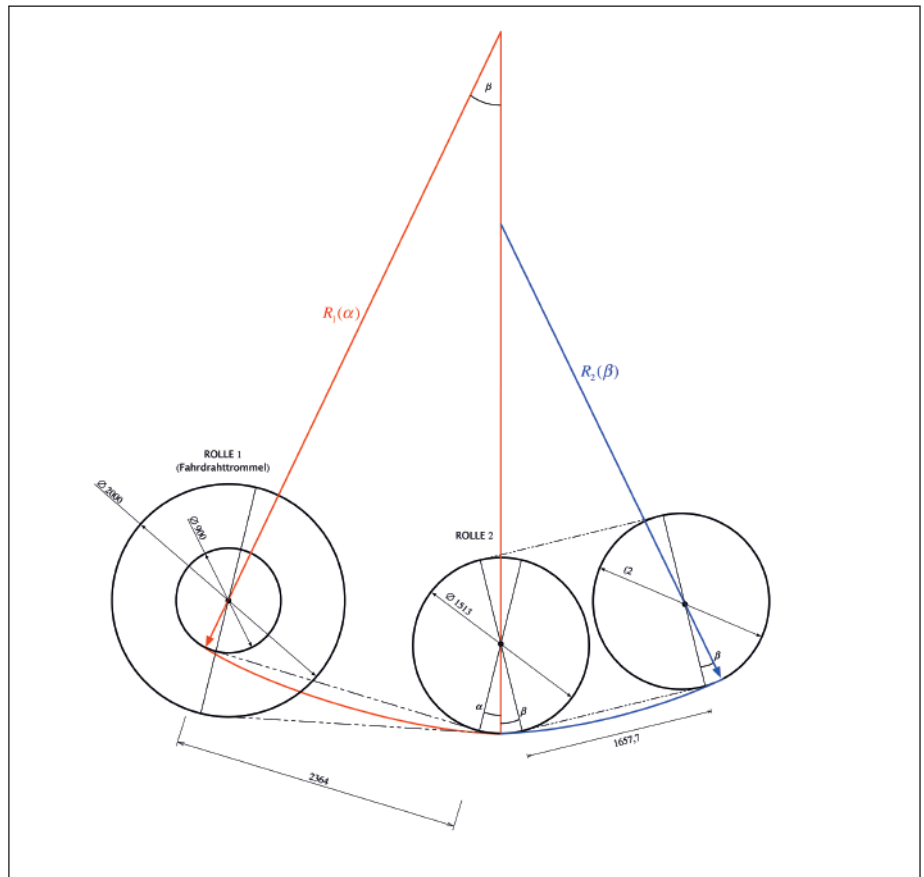


BILD 6: Fahrdrachtkonfiguration in den Abschnitten 1 und 2 (s. Bild 5)

großer Verzerrungen und Krümmungen), sind bei ordnungsgemäßer Verlegung unter der vorgegebenen konstanten Nennzugkraft $N_E = 15,3 \text{ kN}$ keine Restwelligkeiten von $\geq 0,1 \text{ mm/m}$ zu erwarten.

Literatur

- [1] EN 50119 (Europäische Norm): Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Oberleitungen für den elektrischen Zugbetrieb, 2009.
- [2] EN 50149 (ÖNE/ÖNORM): Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Elektrischer Zugbetrieb: Rillen-Fahrdrähte aus Kupfer und Kupferlegierung, 2001.
- [3] Technische Lieferbedingungen TLB E521, ÖBB Infrastruktur Bau, 06/2009.

[4] Winkler, J./ Aurich, H.: Taschenbuch der Technischen Mechanik. Fachbuchverlag Leipzig 2006.

[5] Chakrabarty, J.: Theory of plasticity. Amsterdam: Elsevier 2006.

[6] Franz Plasser: Friktionswinde Winkelüberprüfung, Plandokument CEM100.1504.00, 2010.

[7] Ziegler, F.: Technische Mechanik der festen und flüssigen Körper. Wien: Springer-Verlag 1998.

Anmerkung:

Sämtliche Abbildungen wurden vom Autor (R. Heuer) gezeichnet bzw. fotografiert. Ausgangspunkt von Bild 4 war das Plandokument [6] der Literaturliste. ◀

► SUMMARY

Ripples in contact wires and mechanical modelling of the fitting process

In order to minimise ripples in contact wires, which perceptibly impair the quality of the power uptake, such wires must be correctly pre-tensioned for their definitive state after fitting. Plasser & Theurer have developed a catenary installation and replacement machine (known as "FUM"). This lays out the contact wire through a friction winch, maintaining a constant nominal tensile force.

In this report the author examines the residual ripples to be expected in a 120 mm² profiled contact wire as used by the Austrian Federal Railways (made of a CuAg 0.10 alloy) after it has been put in place using the FUM machine.