

Untersuchungen zur Qualität der Fahrdrabtverlegung:

Fahrdrabtwelligkeit und mechanische Modellierung des Verlegevorganges

DI Dr.techn. Rudolf Heuer

Ao. Universitätsprofessor an der
Technischen Universität Wien, Forschungsbereich für Baumechanik & Baudynamik



Übersicht

- ➔ Aufgabenstellung
- ➔ Maßgebende Materialparameter (exp. Untersuchungen)
- ➔ Ursachen der Fahrdrahtwelligkeit
- ➔ Simulation der Fahrdrahtverlegung & Restwelligkeit
- ➔ Kriechverhalten
- ➔ Schlussfolgerung

Aufgabenstellung

Um die Güte der Stromabnahme zwischen den Stromabnehmern und dem Fahrdraht entsprechend der TSI (Technical Standard of Interoperability) und der EN 50119 (Europäische Norm) [1] für das gewählte Oberleitungssystem sicherzustellen, muss der Fahrdraht im verlegten Endzustand eine definierte konstante Nennzugkraft haben. Somit werden die nach dem Montageprozess verbleibenden vertikalen „Fahrdraht-Wellen“ minimiert.

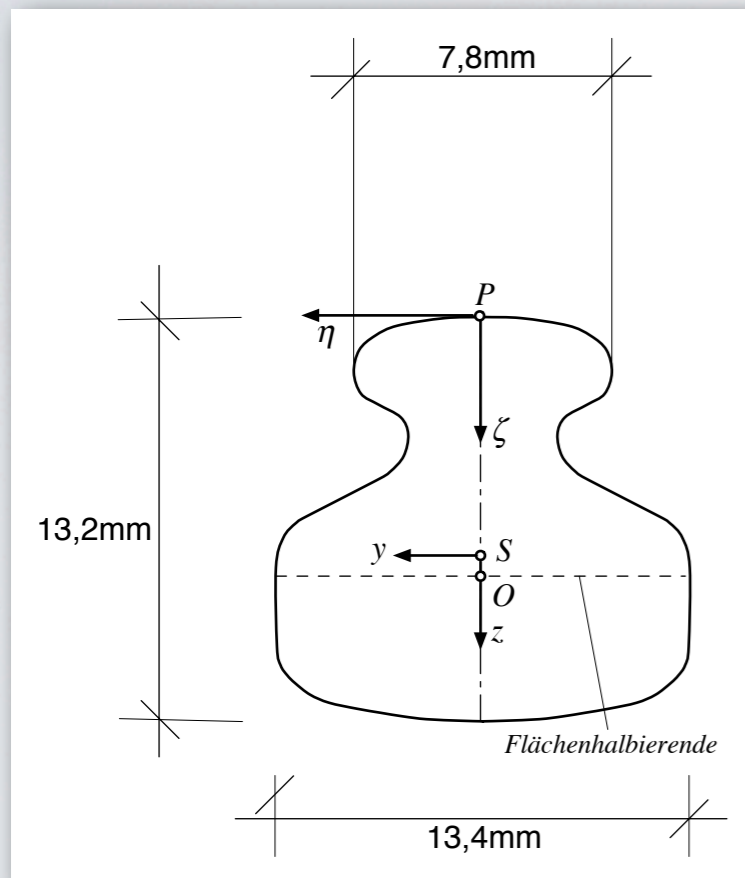
Die aus den Prozessen Fahrdrahtfertigung und Fahrdrahtmontage eingeprägte und verbleibende „Fahrdraht-Restwelligkeit“ muss so weit wie möglich vermieden bzw. reduziert werden.



Fa. Plasser&Theurer: Fahrleitungsumbaumaschine (FUM)

Maßgebende Materialparameter

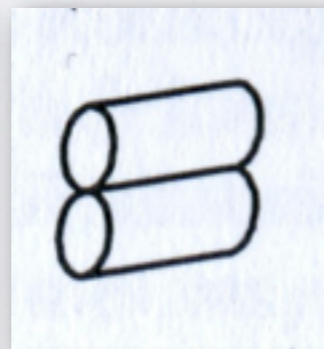
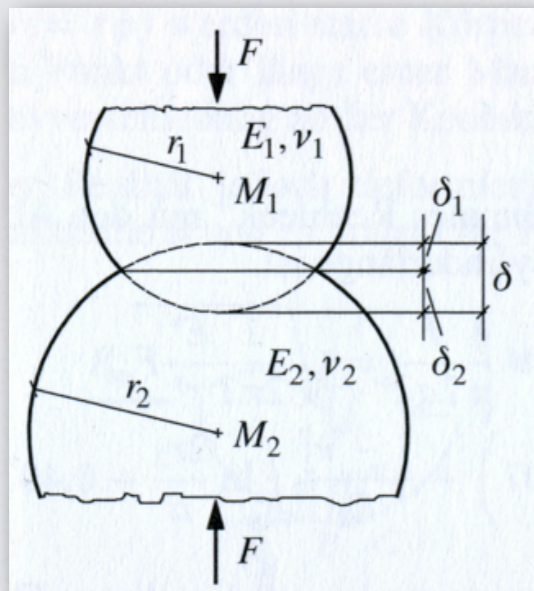
Exemplarische Untersuchung der zu erwartende Restwelligkeit im ÖBB-Profilfahrdraht FD 120mm² (Legierung CuAg 0,10) nach dessen Verlegung mit Hilfe FUM.



		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			

Ursachen der Fahrdrahtwelligkeit

1. Eingeprägte Deformationsgrößen während des Herstellungsprozesses
2. Imperfektionen im aufgewickelten Fahrdraht infolge Radialpressung (Kontaktproblem)



$$r_1 = r_2 = r, E_1 = E_2 = E, \nu_1 = \nu_2 = \nu$$

Elastischer Grenzzustand wird im betrachteten Fall NICHT erreicht.

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

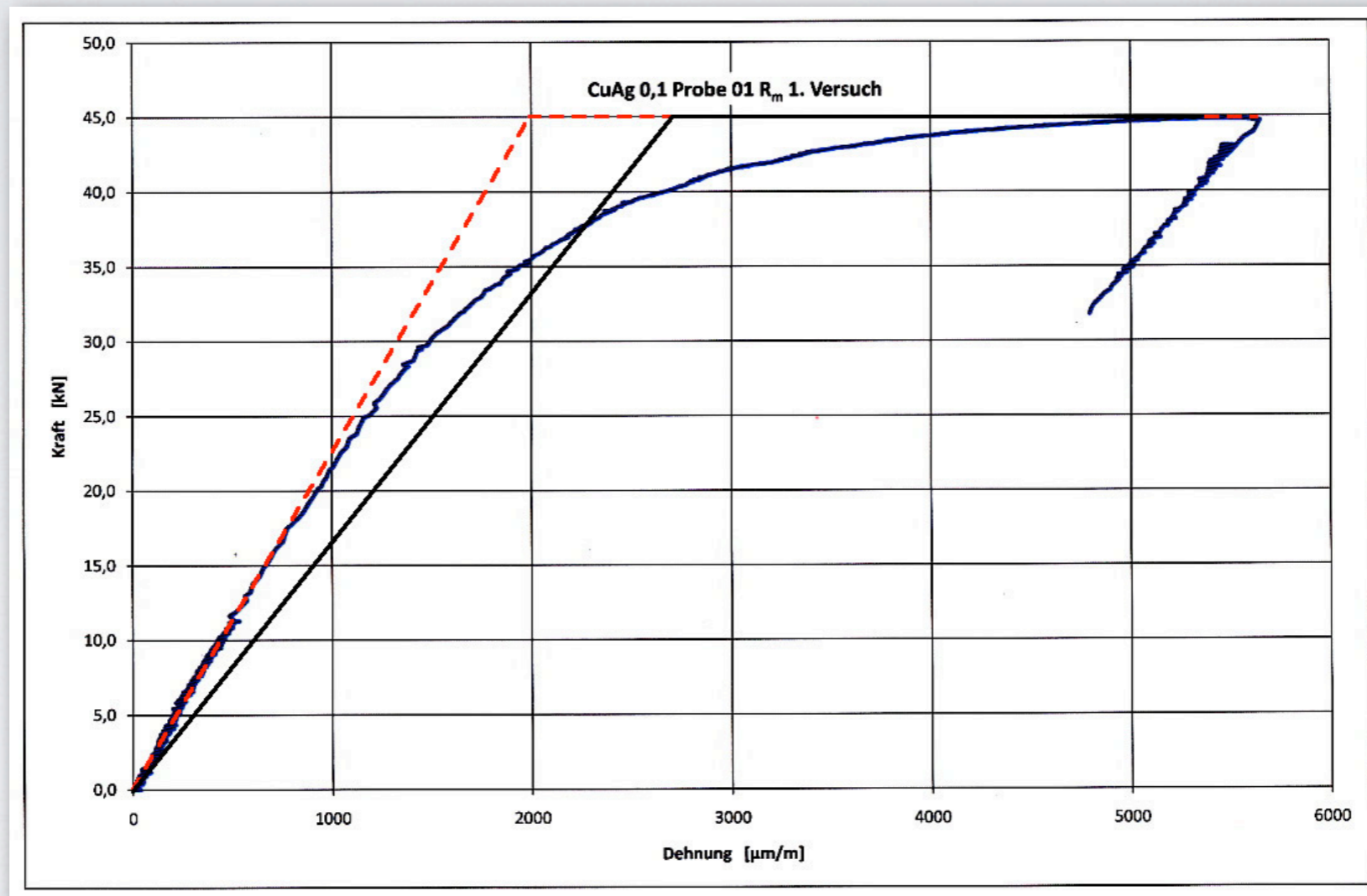
3. Instabilitäten während des Aufwickelvorganges auf die Fahrdrahttrommel

Aufgrund der Querschnittsgeometrie und des Spannungszustandes können **KIPPEN** und **BIEGEDRILLKNICKEN** ausgeschlossen werden.

4. Vertikale Deformationen nach Abtrommeln und Verlegung des Fahdrahtes

Die folgenden Abschnitte behandeln diese mechanische Effekte in ausführlicher Weise.

Mechanische Modellierung des elasto-plastischen Fahrdrahtes



Da alle Rollen der FUM (Fahrdrahttrommel, Umlenkrolle, Friktionswindensystem) kreisförmige Geometrien – und somit jeweils konstante Krümmungen - aufweisen, kann dem gekrümmten Fahrdraht ein Spannungszustand aus dem Lastfall „Reine Biegung“ (konstant verteilte Biegemomentenbeanspruchung, keine Querkraft) zugewiesen werden. Die in einzelnen Abschnitten überlagerte **Normalkraftbeanspruchung** wird iterativ, unter Beachtung der **N-M-Interaktionsbeziehungen** berücksichtigt.

Je nach Verformungsgrad unterscheidet man bei „Reiner Biegung“ 4 verschiedene Spannungszustände

1. Vollständig elastischer Zustand

Über den Querschnitt durchgehende lineare Spannungsverteilung:
$$\sigma(\zeta) = \frac{M}{J_y} (\zeta - \zeta_s)$$

Spannungsnulllinie verläuft durch den Flächenschwerpunkt, Beginne der Platifizierung am oberen Querschnittsrand:
$$M = M_F = R_m J_y / \zeta_s$$

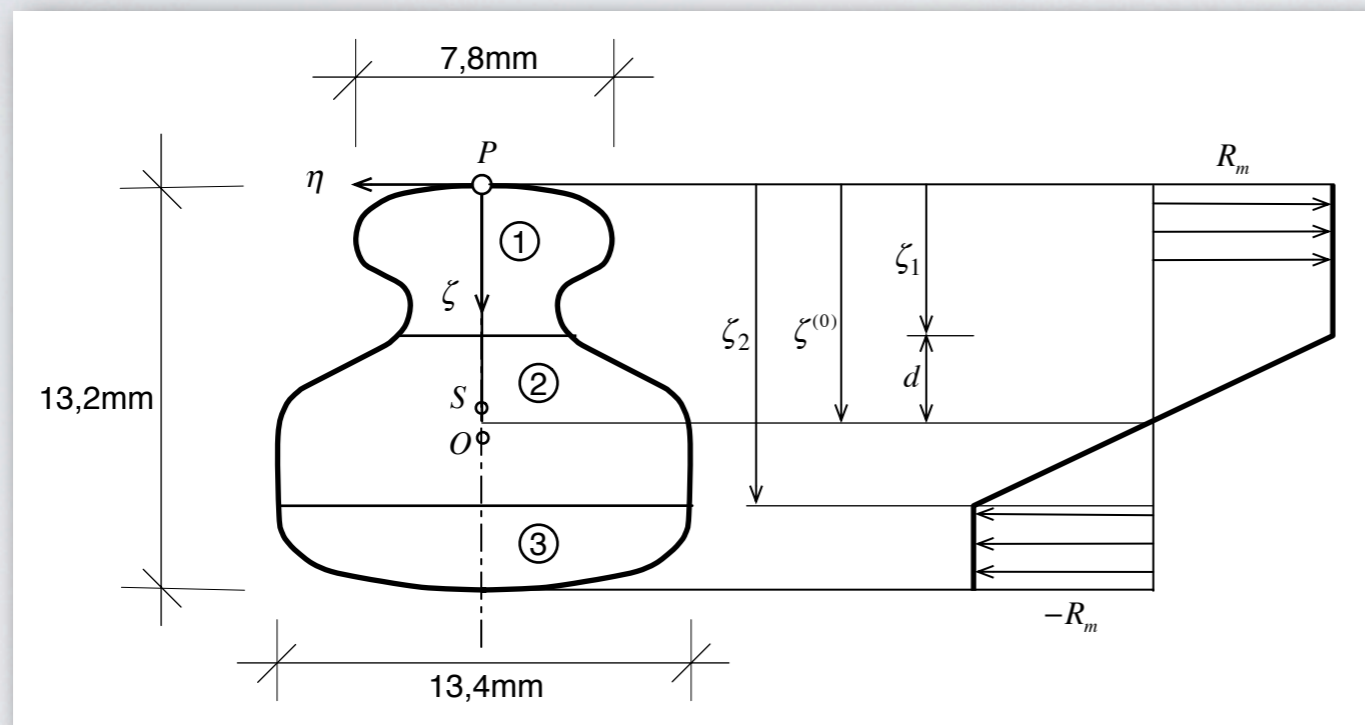
Mindestdurchmesser OHNE plastische Verformung:

$$d_{\min}^e = \frac{2 E \zeta_s}{R_m} = 4580 \text{ mm}$$

2. Einseitig plastischer Zustand

Ausbreitung der plastischen Zone im oberen Querschnittsbereich

3. Zweiseitig plastischer Zustand = maßgebend



Bedingungen zur Berechnung der Spannungsnulllinie und des zugehörigen Momentes:

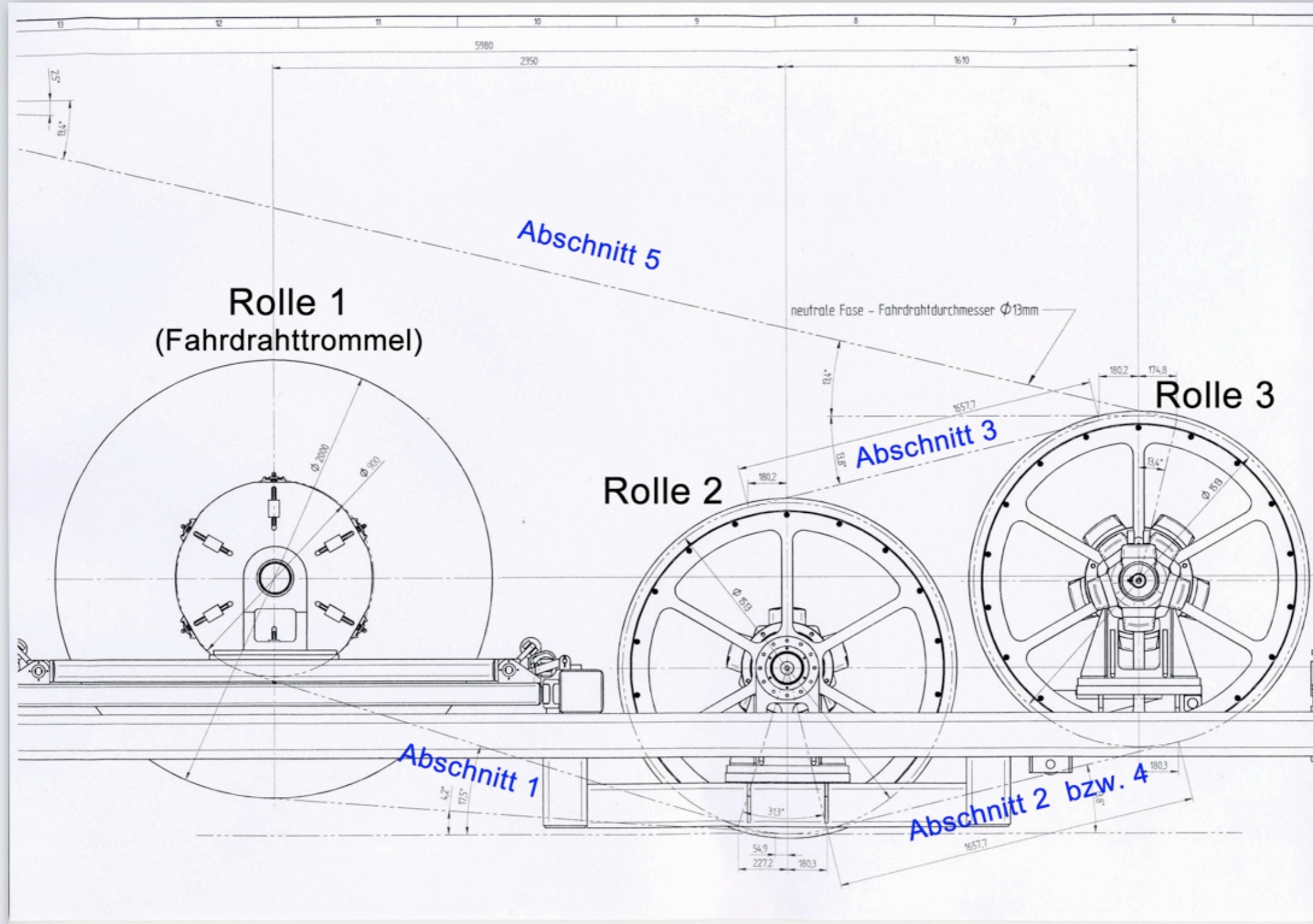
$$N = \int_A \sigma(\zeta) dA = 0$$

$$M = \int_A \sigma(\zeta) \zeta dA$$

4. Vollplastischer Zustand

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

Simulation der Fahrdrahtverlegung



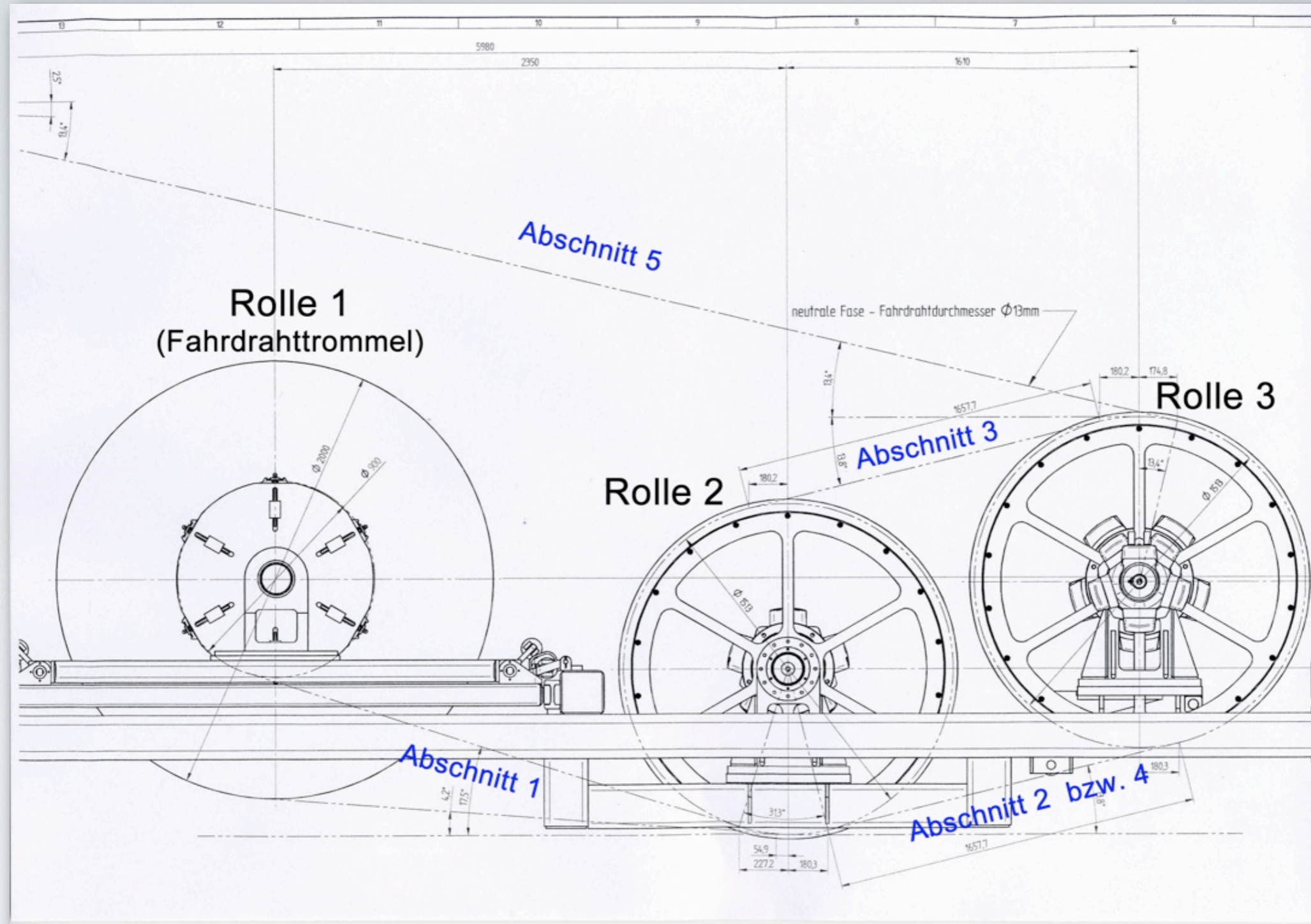
Normalkräfte

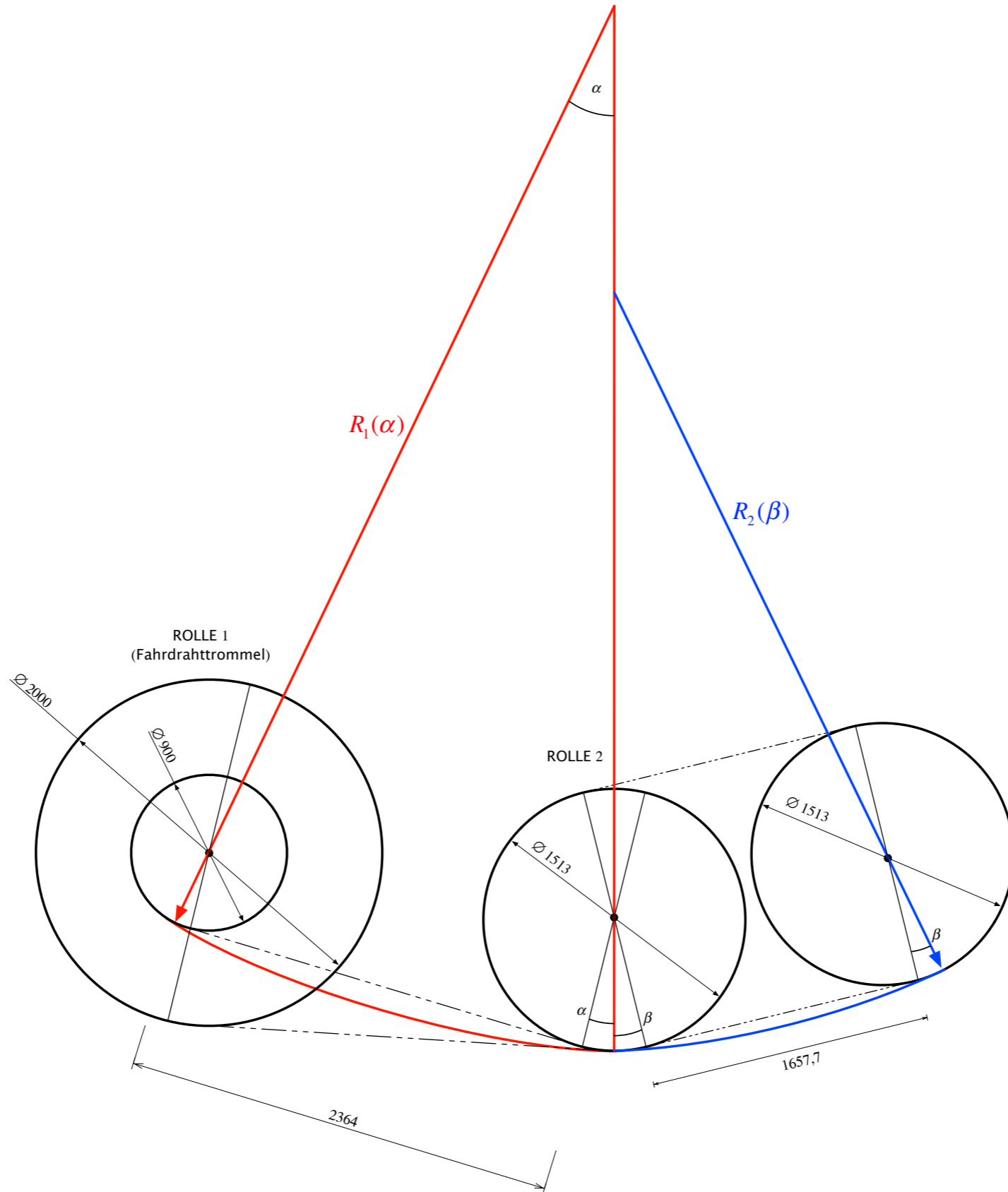
Erforderliche Endzugkraft: $N_5 = N_E = 15,3 \text{ kN}$

EULERSche Seilreibungsgleichung: $N(\varphi) = N(\varphi = 0) \cdot \exp(\mu\varphi)$

φ ... Umschlingungswinkel $\mu = 0,2$... Reibungszahl

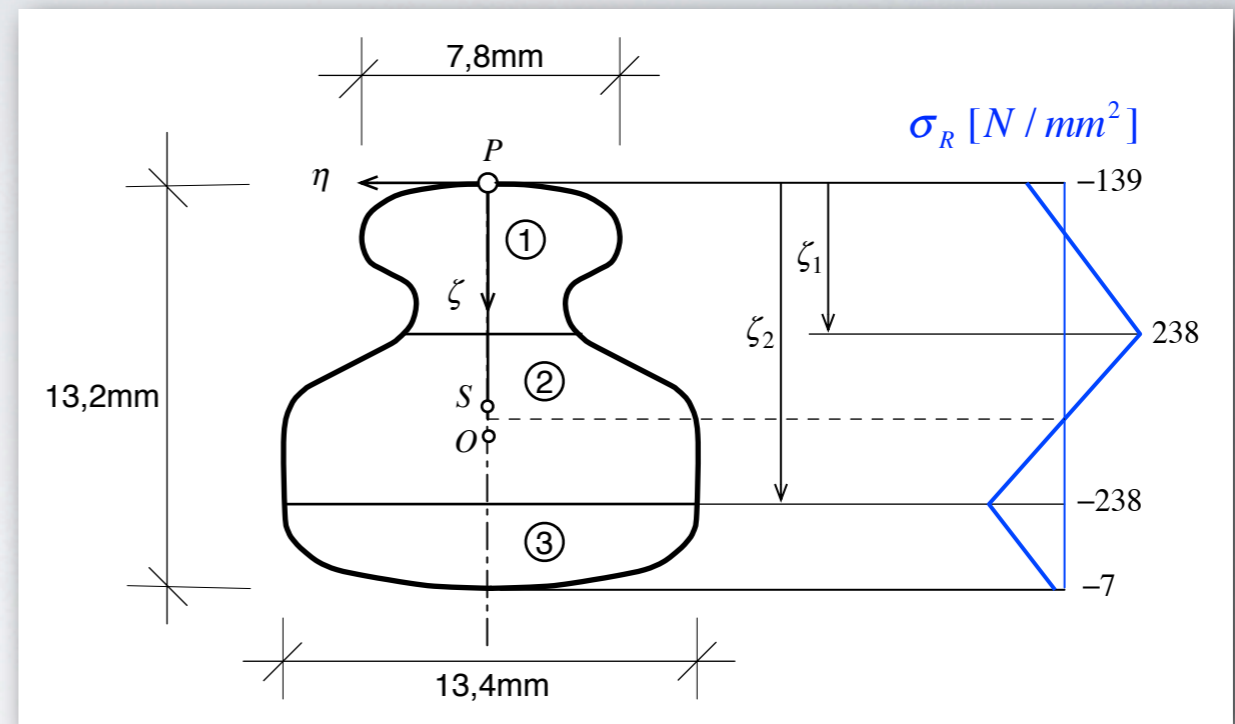
Abschnitt		Reibungszahl: $\mu = 0,2$
Nr.	Beschreibung	
5	ab R3 in Verlegerichtung	$N_5 = N_E = 15,3 \text{ kN}$
4	zwischen R2 und R3 „unten“	$N_4 = 9,0 \text{ kN}$
3	zwischen R2 und R3 „oben“	$N_3 = N_4 = 9,0 \text{ kN}$
2	zwischen R2 und R3 „unten“	$N_2 = 4,8 \text{ kN}$
1	zwischen R1 und R2	$N_1 =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





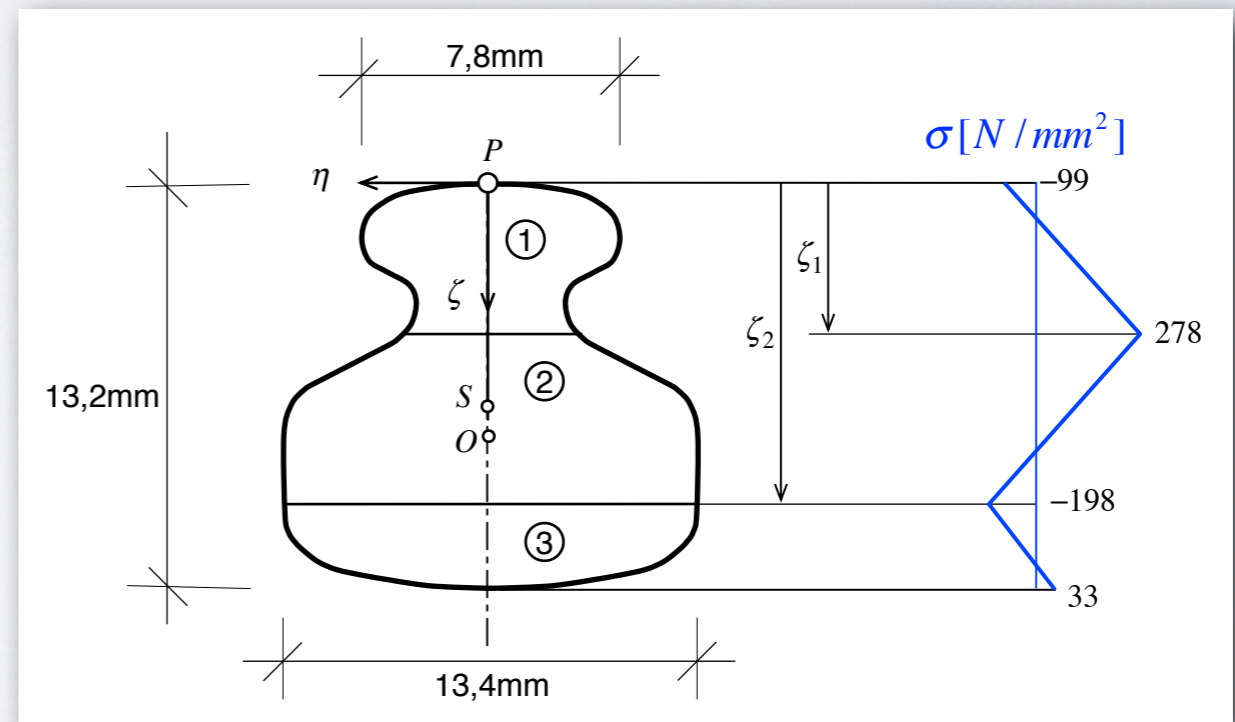
Restnormalspannungsverlauf nach Lösung der Fahrdrahtfixierung von der Fahrdrahttrommel

$$\sigma_R(\zeta) < R_m$$



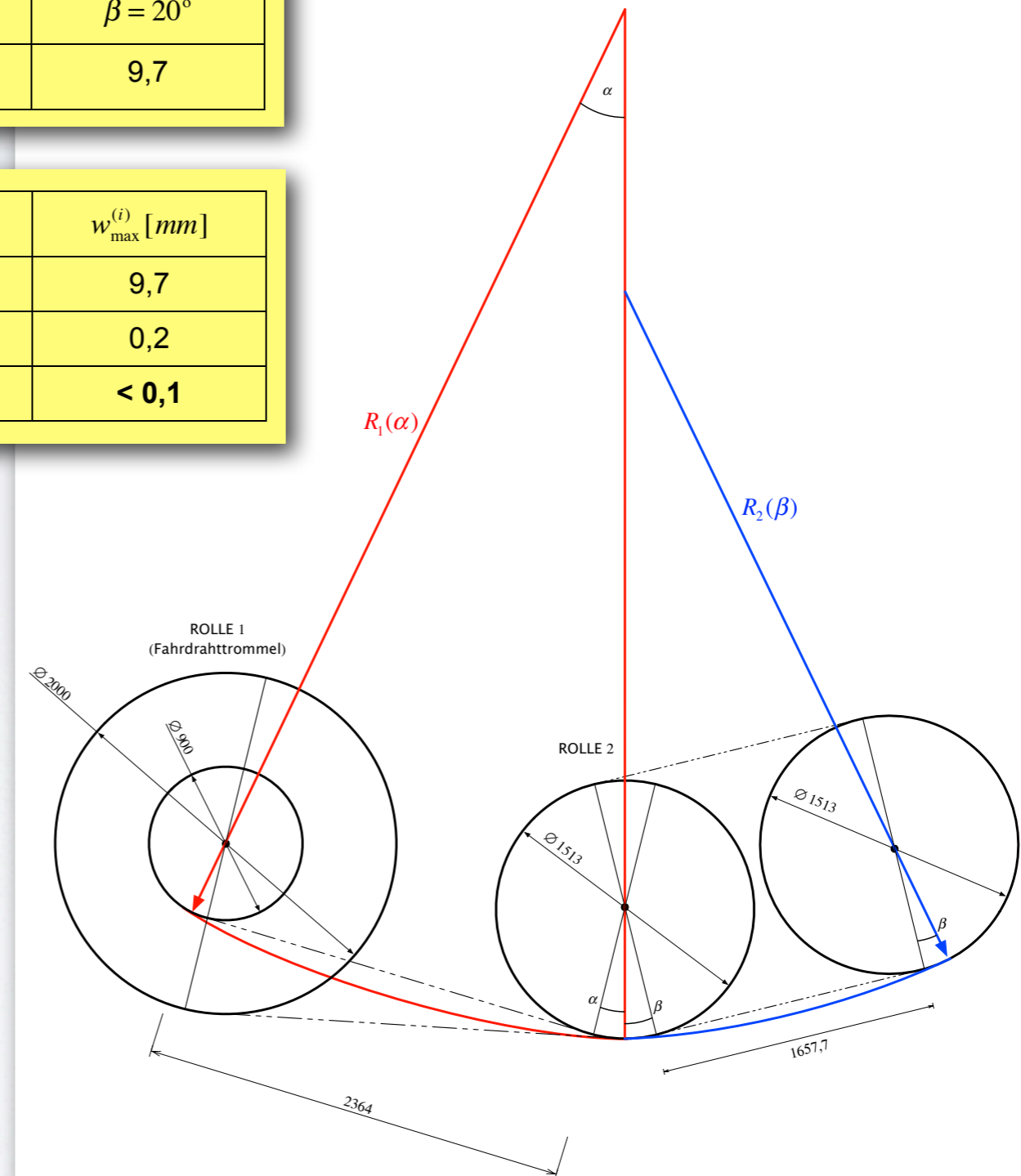
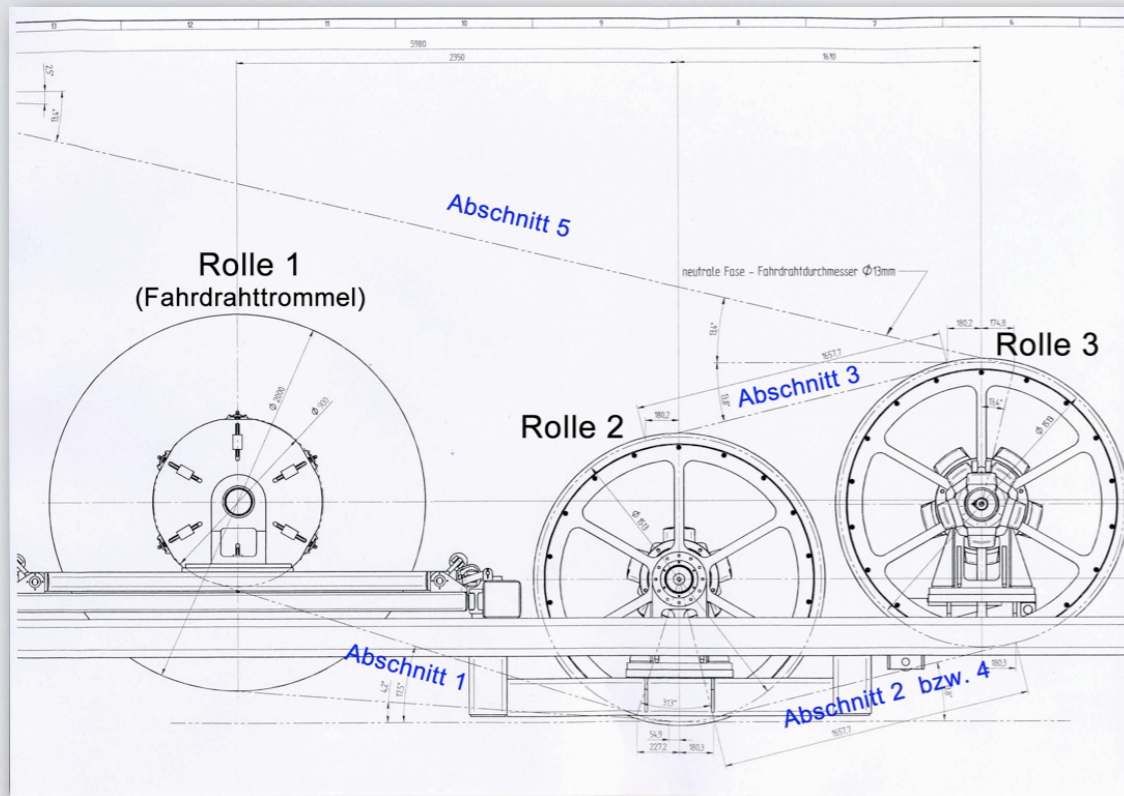
Normalspannungsverlauf in Abschnitt 2:

$$\sigma(\zeta) < R_m$$



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

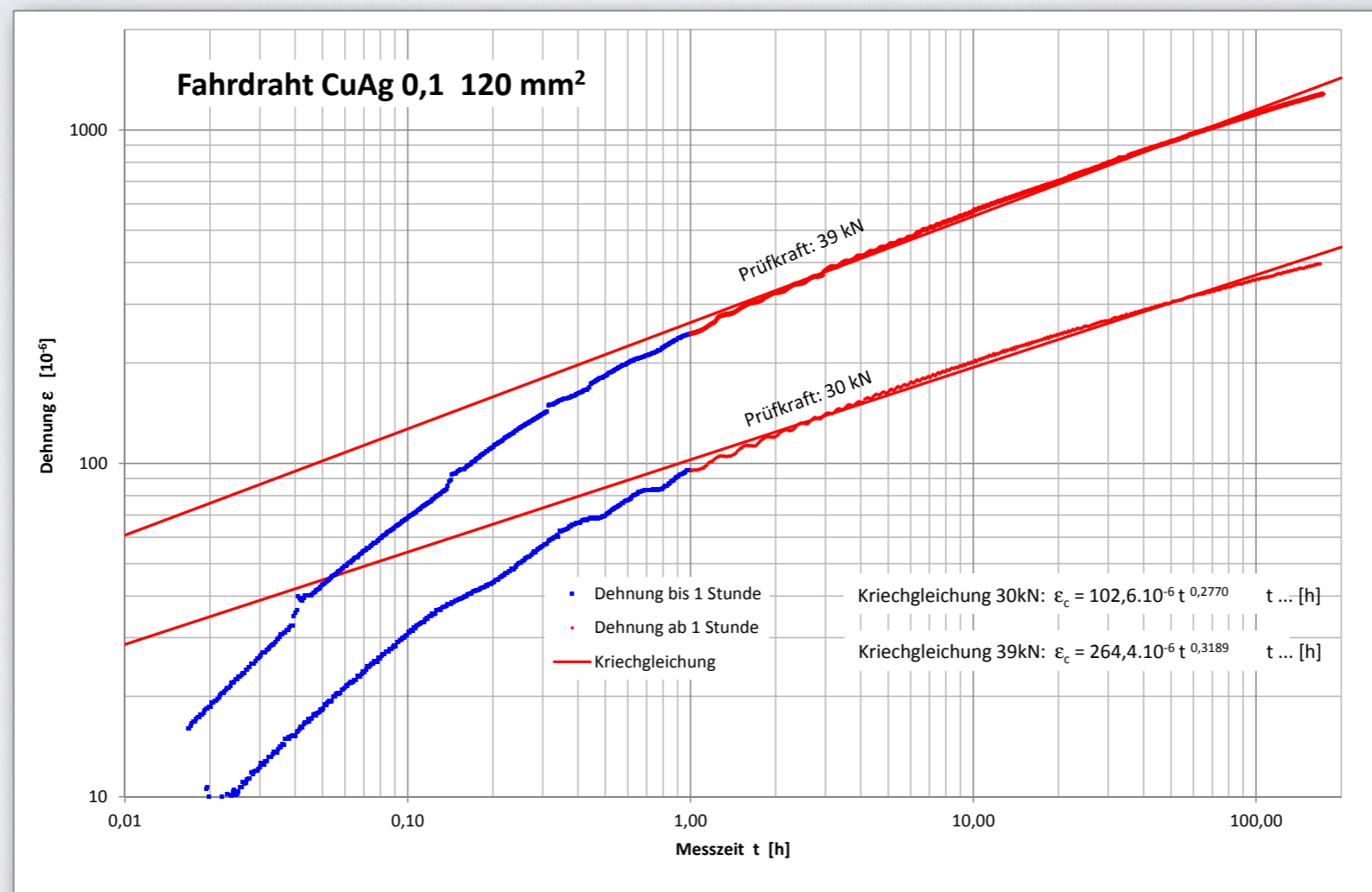
Abschnitt (i)	σ_{\max} [N/mm ²]	σ_{\min} [N/mm ²]	ε [$\mu\text{m}/\text{m}$]	$w_{\max}^{(i)}$ [mm]
2	278	-198	485	9,7
3	263	-193	909	0,2
5	246	-140	1545	< 0,1



Kriechverhalten

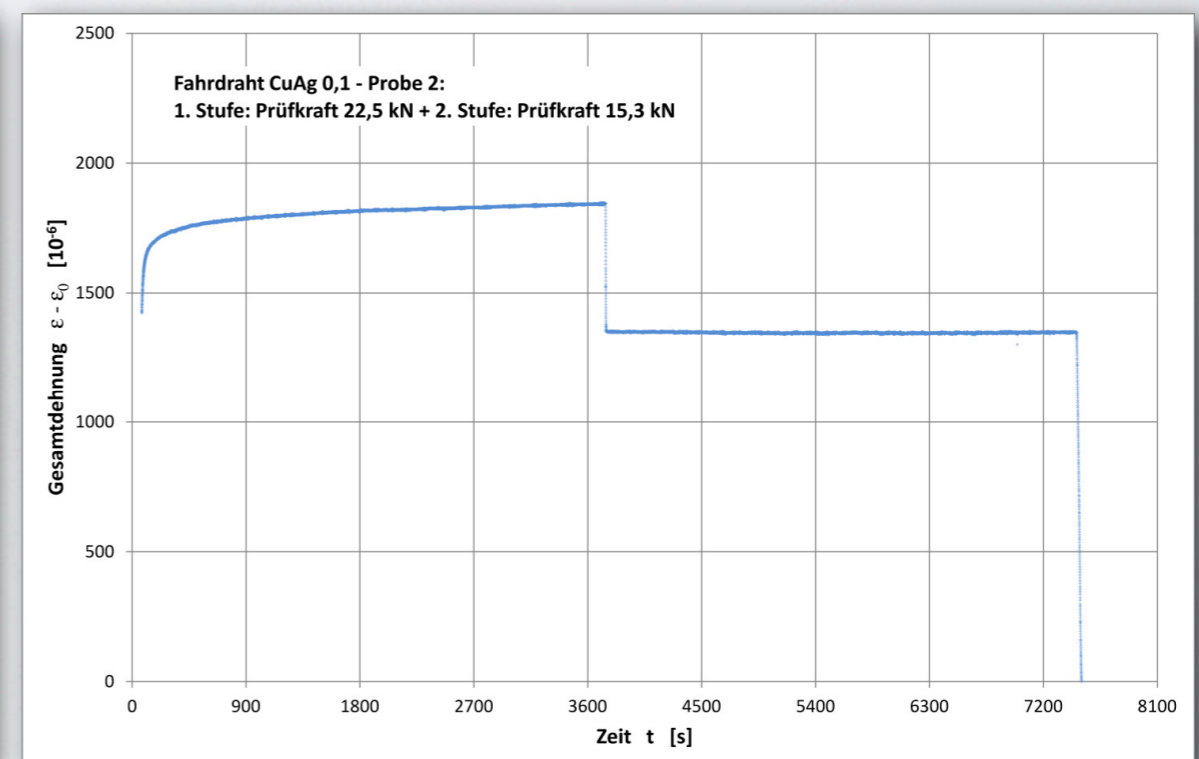
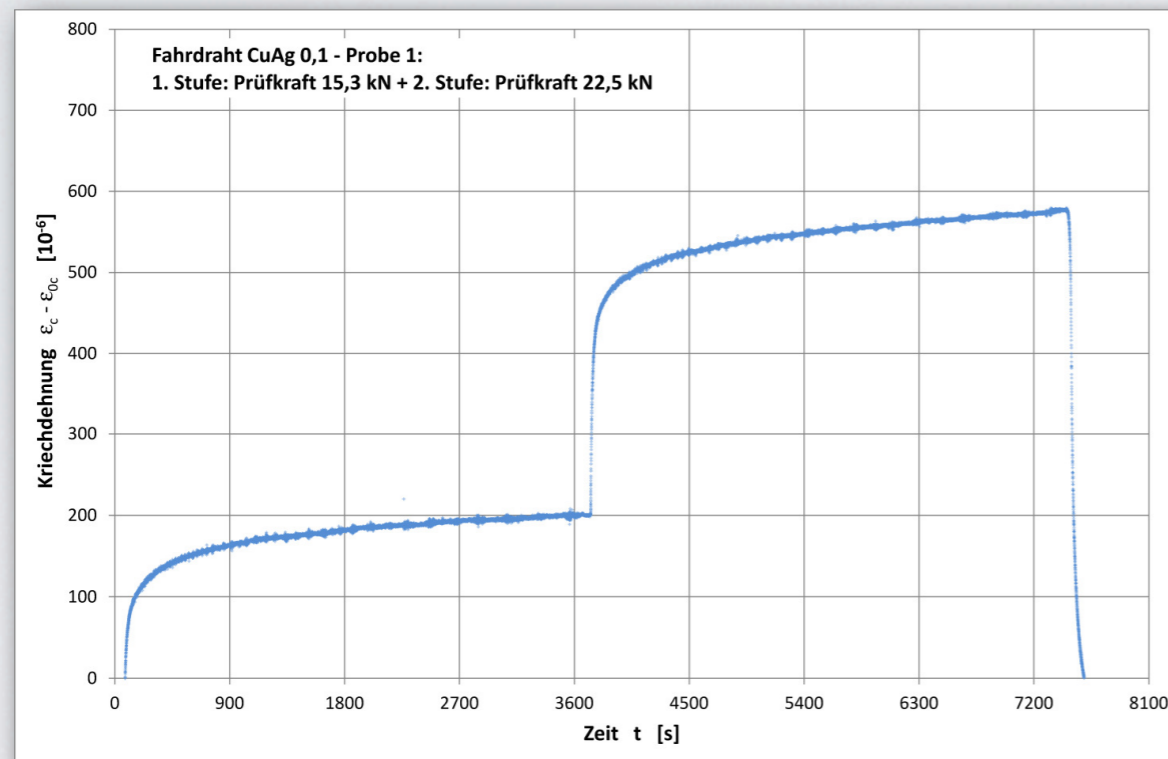
Experimentelle Untersuchungen: Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt GmbH (TVFA Wien):

Langzeitprüfung: 3 Tage = 72 Stunden bei 20°C. Die Proben wurden vor der Kriechprüfung in einem Belastungsversuch für die Dauer von ca. 1 min mit der jeweiligen Prüfkraft der Kriechprüfung vorbelastet. Der dominante Kriechanteil (blauer Kurvenabschnitt) tritt innerhalb der ersten Stunde auf.



Kurzzeitkriechverhalten: Im Belastungsprogramm war für jede der beiden Kraftstufen (bei Be- und Entlastung) eine Haltezeit von 3600 s bei konstanter Prüfkraft eingestellt. Für die Aufbringung der Prüfkraft am Beginn der Prüfung und die Änderung der Prüfkraft von einer Stufe zur nächsten war eine Zeitspanne von 120s gewählt.

Daraus lässt sich ableiten, dass eine höhere Vorbelastung (Zugkraft) im Fahrdraht vor der endgültigen Montage der Fahrdrahtaufhängungen (Ausleger und Nachspannvorrichtungen) die Montagegenauigkeit noch steigern würde.



Eine zusätzliche Induktion von Feinwelligkeiten im Fahrdraht zufolge Kriechdehnung unter konstanter Zugkraft kann ausgeschlossen werden kann.

Schlussfolgerung

- ➔ Jene von der Fa. Plasser&Theurer entwickelte Fahrleitungsumbaumaschine (FUM) eignet sich gut für die Verlegung des ÖBB-Profilfahdrahtes FD 120mm² (Legierung CuAg 0,10).
- ➔ Unter den Voraussetzungen, dass der Fahrdraht präzise hergestellt und aufgewickelt wurde (ohne Einprägung unzulässig großer Verzerrungen und Krümmungen), sind bei ordnungsgemäßer Verlegung unter der vorgegebenen konstanten Nennzugkraft keine Restwelligkeiten von zu erwarten.
- ➔ Auftretende Kriechdehnungen erzeugen keine zusätzliche Restwelligkeit. Für die exakte Positionierung der Fahrdrahtaufhängungen bereits während des Montageprozesses mit Nennzugkraft muss jedoch berücksichtigt werden, dass der dominante axiale Kriechanteil innerhalb der ersten 30 Minuten auftritt.