

Fahrdrahtuntersuchungen

DI Dr.techn. Rudolf Heuer

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



Übersicht

Aufgabenstellung

Mechanische Modellierung und Simulation der Fahrdrahtverlegung

Maßgebende Parameter

Unsicherheiten bzw. Grenzen der Genauigkeit

Experimentelle Untersuchungen zur Verfeinerung der konstitutiven
Gesetze

Schlussfolgerung

Aufgabenstellung

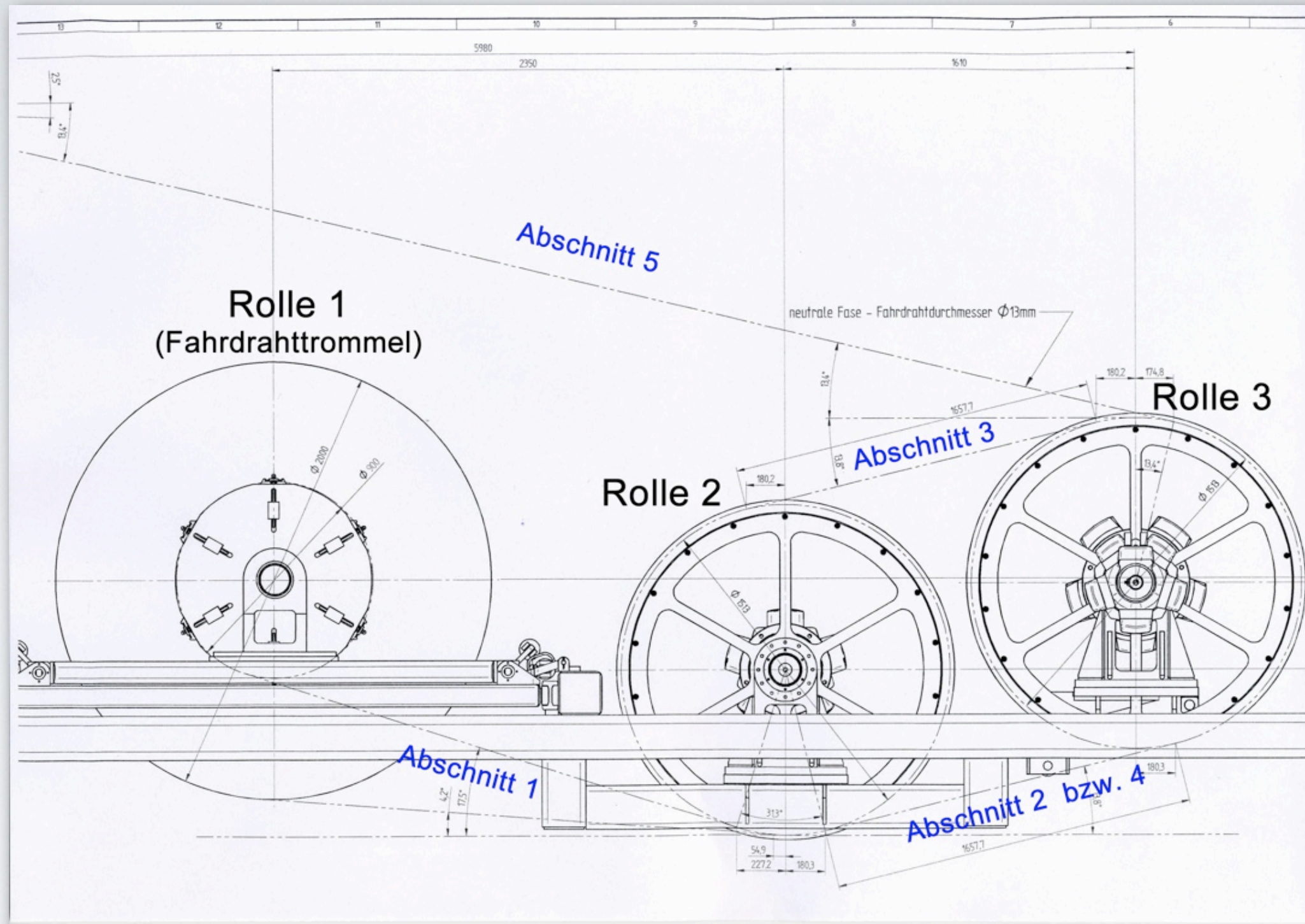
Um die Güte der Stromabnahme zwischen den Stromabnehmern und dem Fahrdraht für das gewählte Oberleitungssystem sicherzustellen, muss der Fahrdraht im verlegten Endzustand eine definierte konstante Nennzugkraft haben. Die dabei eingepprägten Normalspannungen dürfen unter Berücksichtigung eines Sicherheitsbeiwertes nicht zum Erreichen der Traglast führen.

Um die mechanischen Beanspruchung von Profil- und Rillenfahrdrahten während deren Verlegung in Abhängigkeit der Verlegetechnik möglichst genau zu modellieren, ist es unerlässlich maßgebende Materialparameter experimentell zu ermitteln.

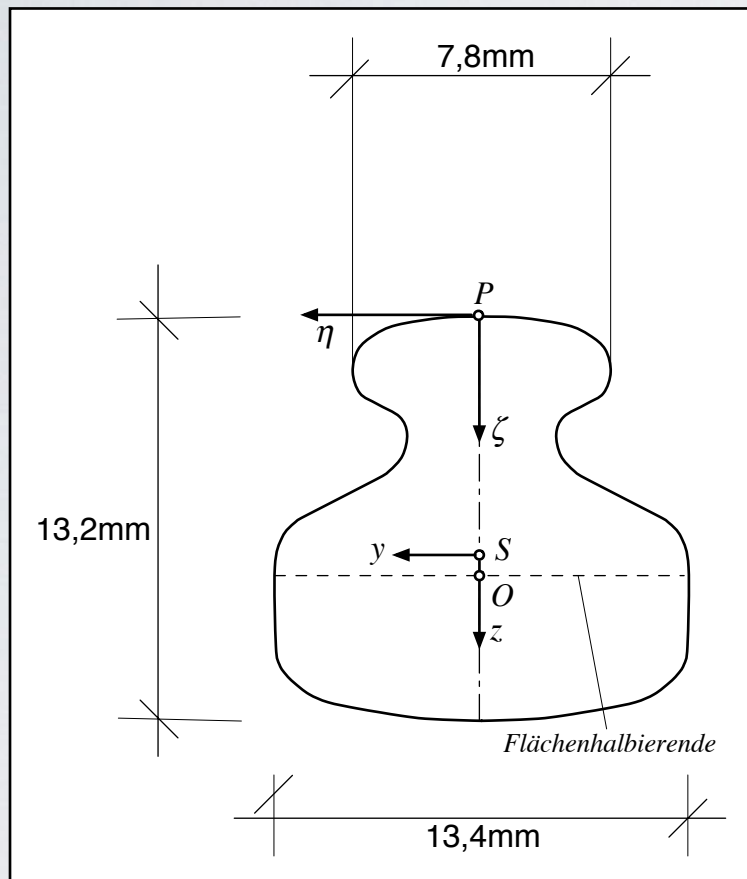
Mechanische Modellierung und Simulation der Fahrdrahtverlegung

Als exemplarisches Anwendungsbeispiel wird die Fahrdrahtverlegung mit Hilfe der von Fa. Plasser&Theurer entwickelten Fahrleitungsumbaumaschine (FUM) gewählt und die dafür durchgeführten experimentellen Untersuchungen vorgestellt.

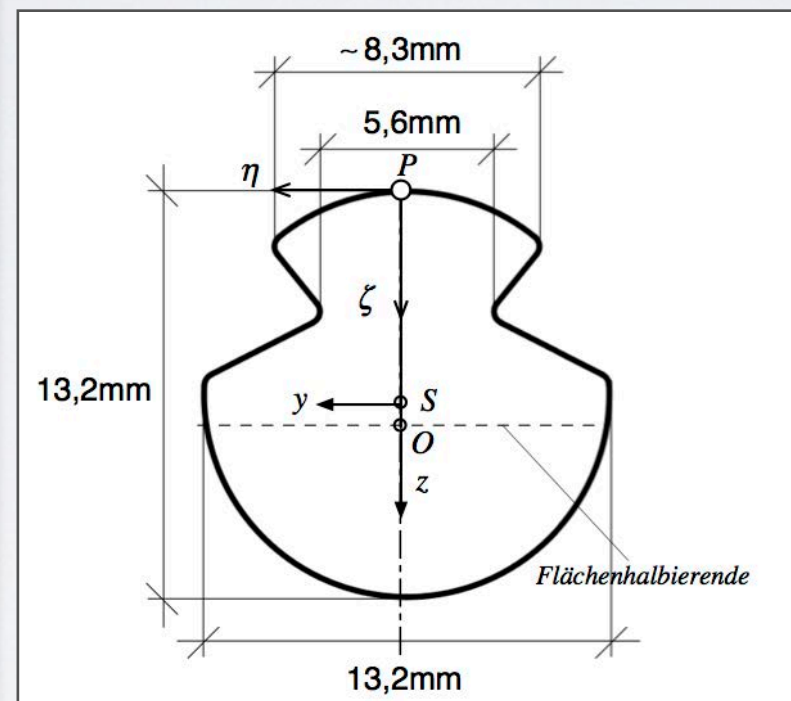




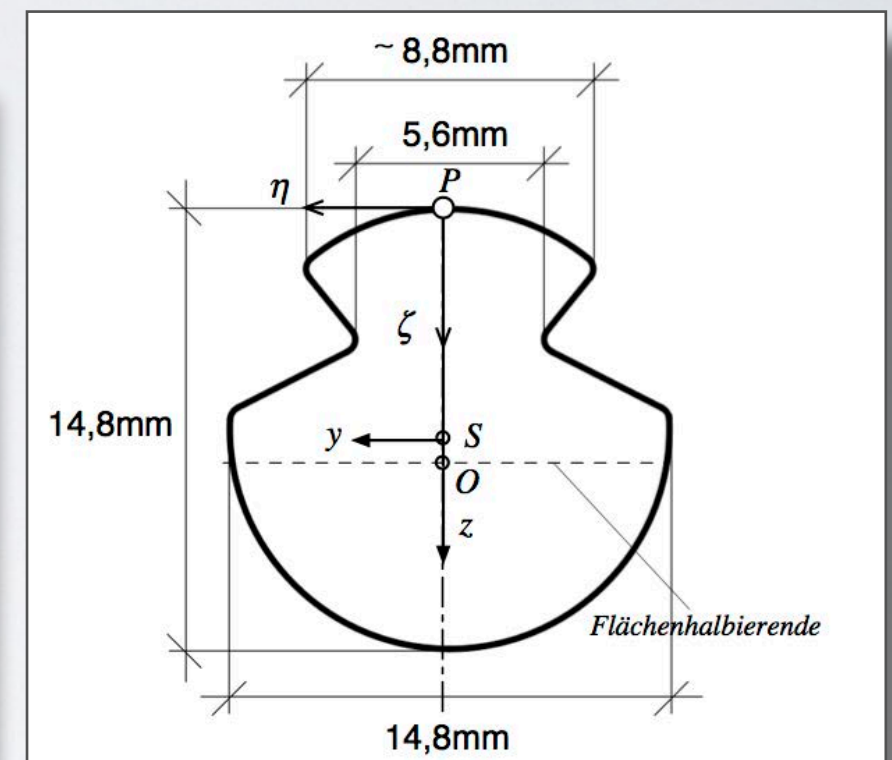
Untersuchte Fahrdrähte



FD 120mm²
(Legierung CuAg 0,10)

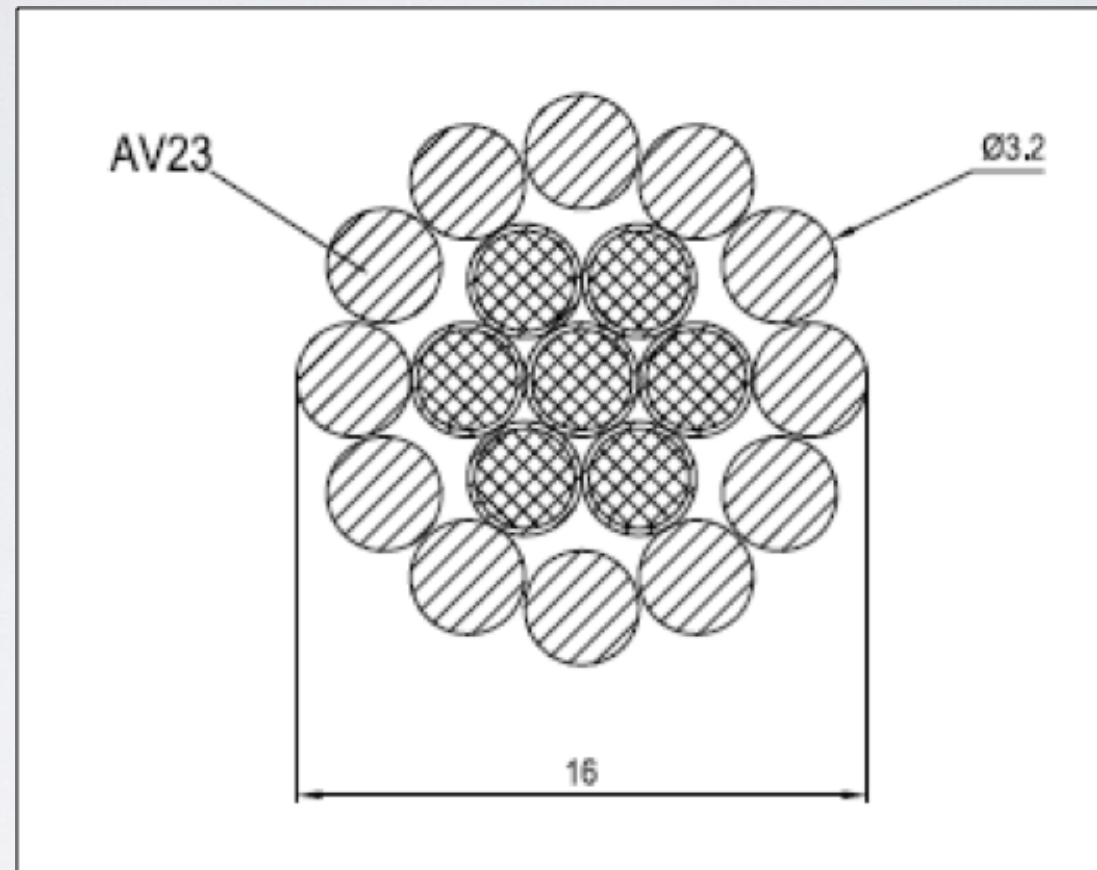


AC 120mm²
(Legierung CuMg 0,5)



AC 150mm² RiM 150
(Legierung CuMg 0,5)

Tragseil: Typ 97-AL3/56-ST1A



Innen:	7	Stk.	Stahldrähte
Außen:	12	Stkl	Aluminiumdrähte

Mechanische Modellierung

Geometrie

Numerische Berechnung

- (Querschnittsfläche)
- Schwerlinien
- Flächenhalbierende
- Flächenträgheitsmomente

Material

Experimentelle Ermittlung

- Elastizitätsmodul
- Zugfestigkeit
- Bruchkraft (Traglast)
- Bruchdehnung
- Kriechverhalten
- Reibkoeffizient

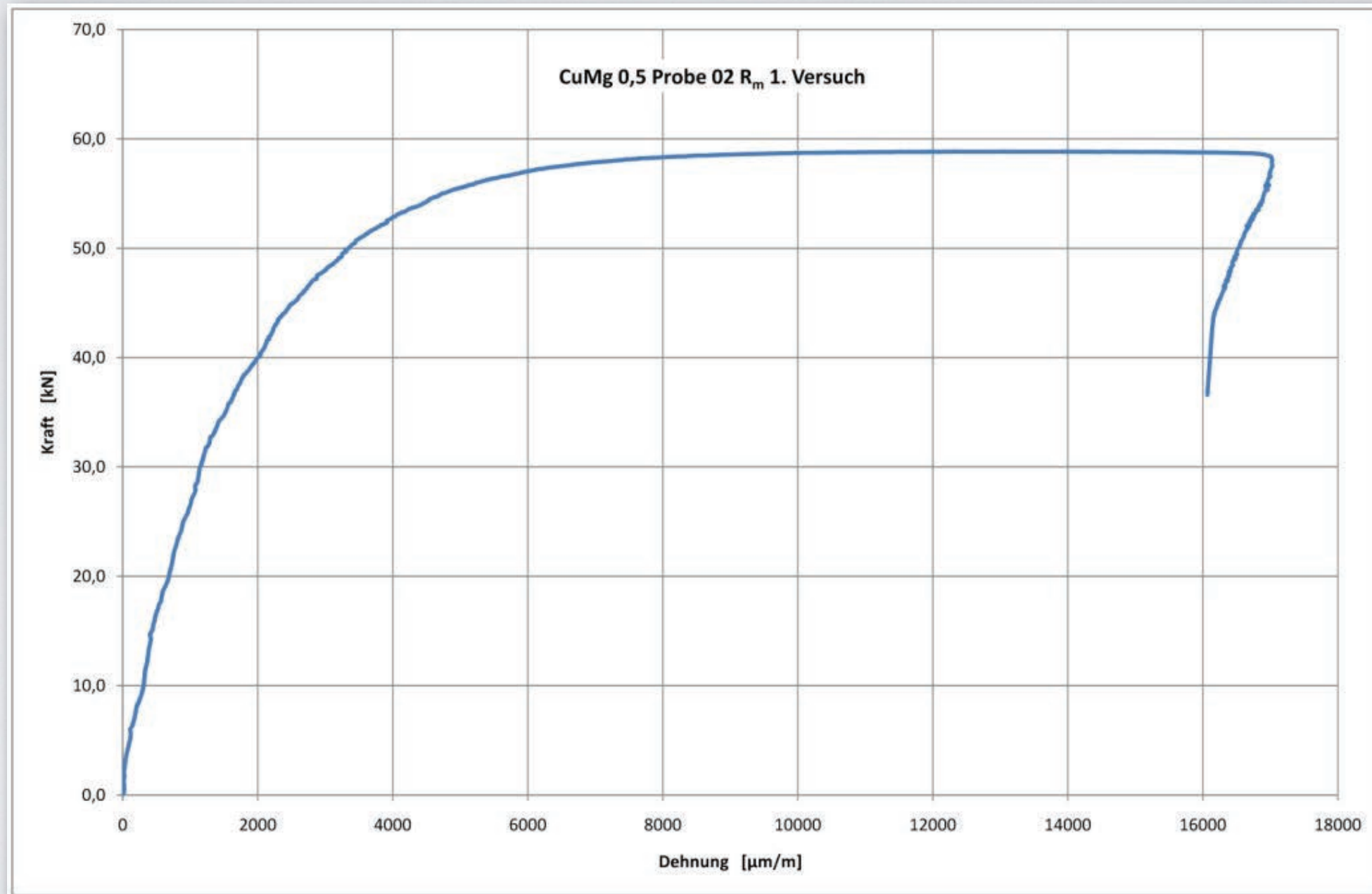
Da alle Rollen der Verlegemaschinen (Fahrdrahttrommel, Umlenkrolle, Friktionswindensystem) kreisförmige Geometrien – und somit jeweils konstante Krümmungen - aufweisen, kann dem gekrümmten Fahrdraht ein Spannungszustand aus dem Lastfall „Reine Biegung“ (konstant verteilte Biegemomentenbeanspruchung , keine Querkraft) zugewiesen werden.

!!WICHTIG: Die Biegerichtung des Fahrdrahtes auf der Fahrdrahttrommel ist beizubehalten!!

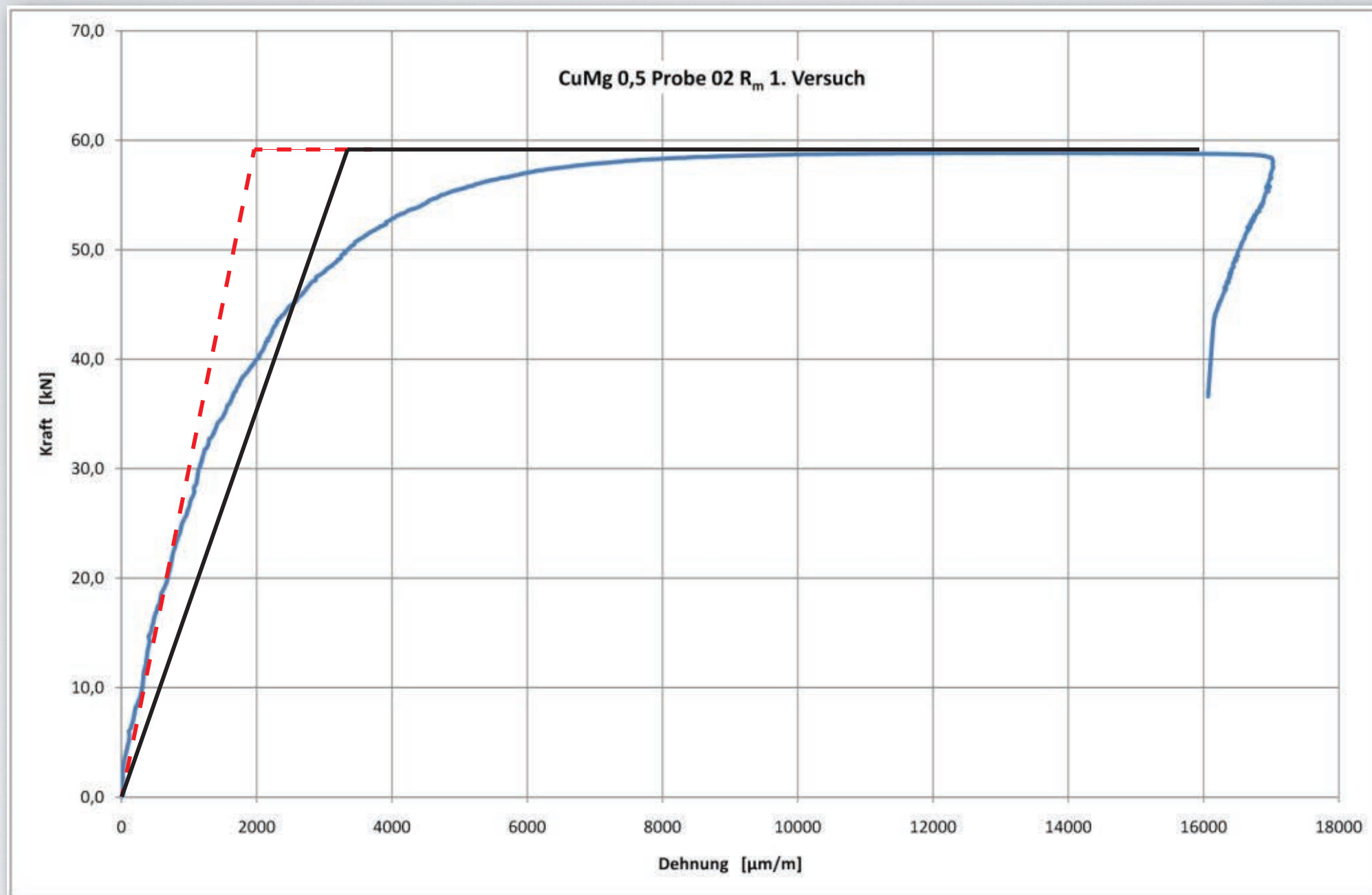
Die in einzelnen Abschnitten überlagerte **Normalkraftbeanspruchung** wird iterativ, unter Beachtung der **N-M-Interaktionsbeziehungen** berücksichtigt.

Elastizitätsmodul

Zugversuch

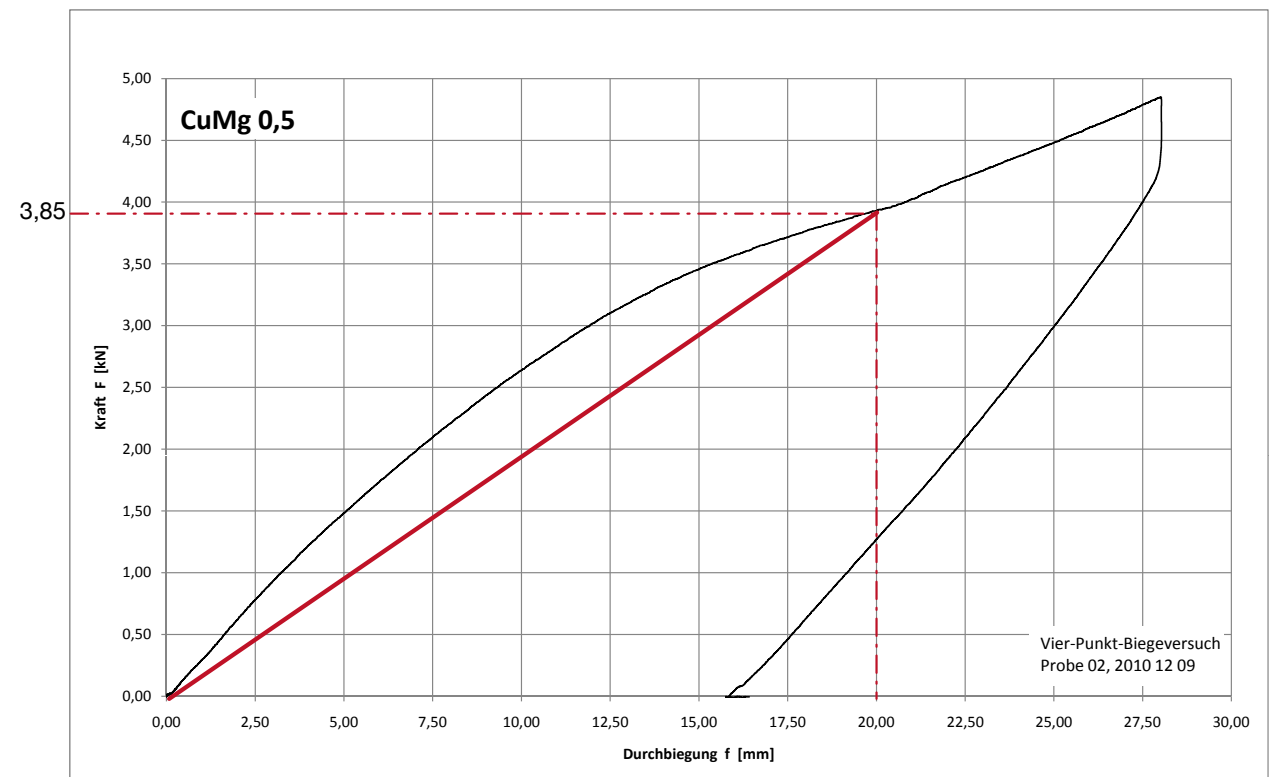
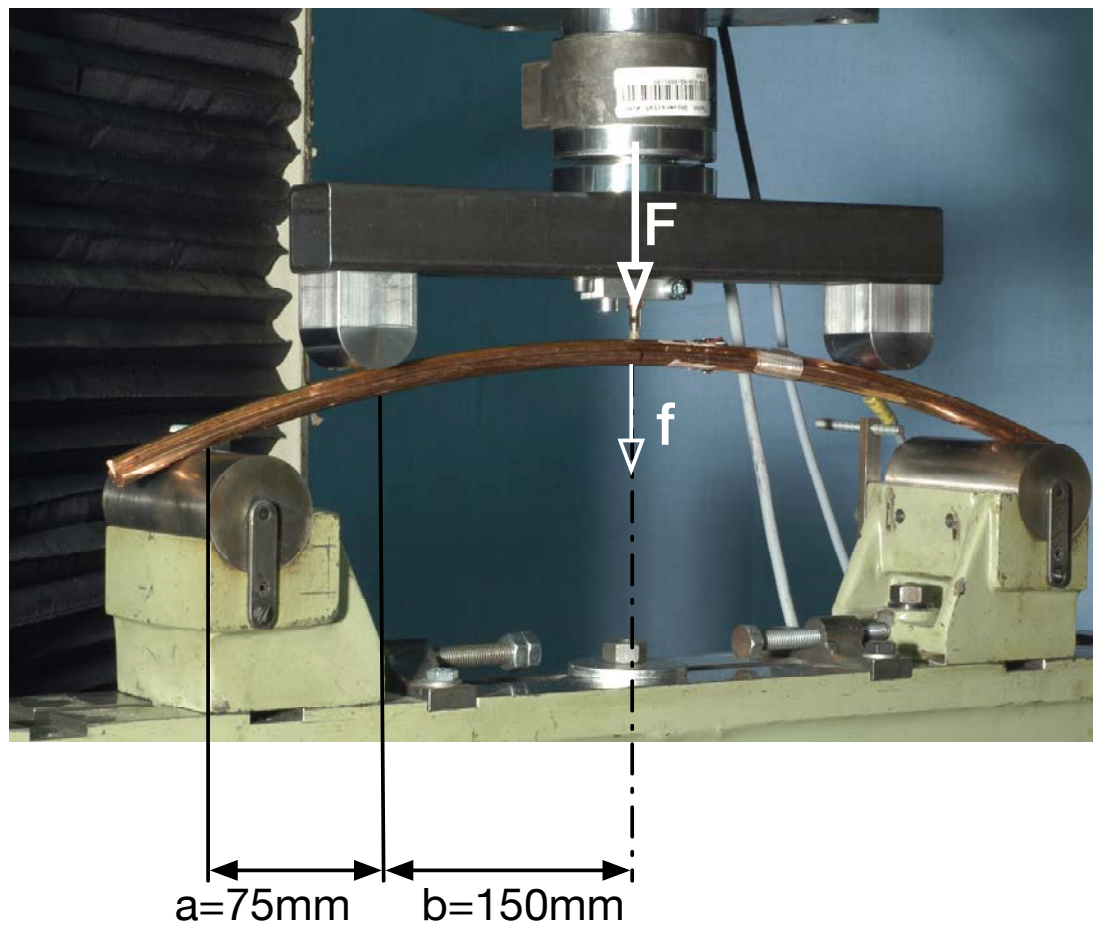


Zugversuch



$$E_0 = 125000 \text{ N} / \text{mm}^2$$

4-Punkt-Biegeversuch



$$f = \frac{F}{E_0 J_y} \frac{a b^2}{2} \Rightarrow E_0 = 126104 \text{ N} / \text{mm}^2$$

Fahrdrahtverlegung mit FUM:

Je nach Verformungsgrad unterscheidet man bei „Reiner Biegung“

4 verschiedene Spannungszustände

1. Vollständig elastischer Zustand

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

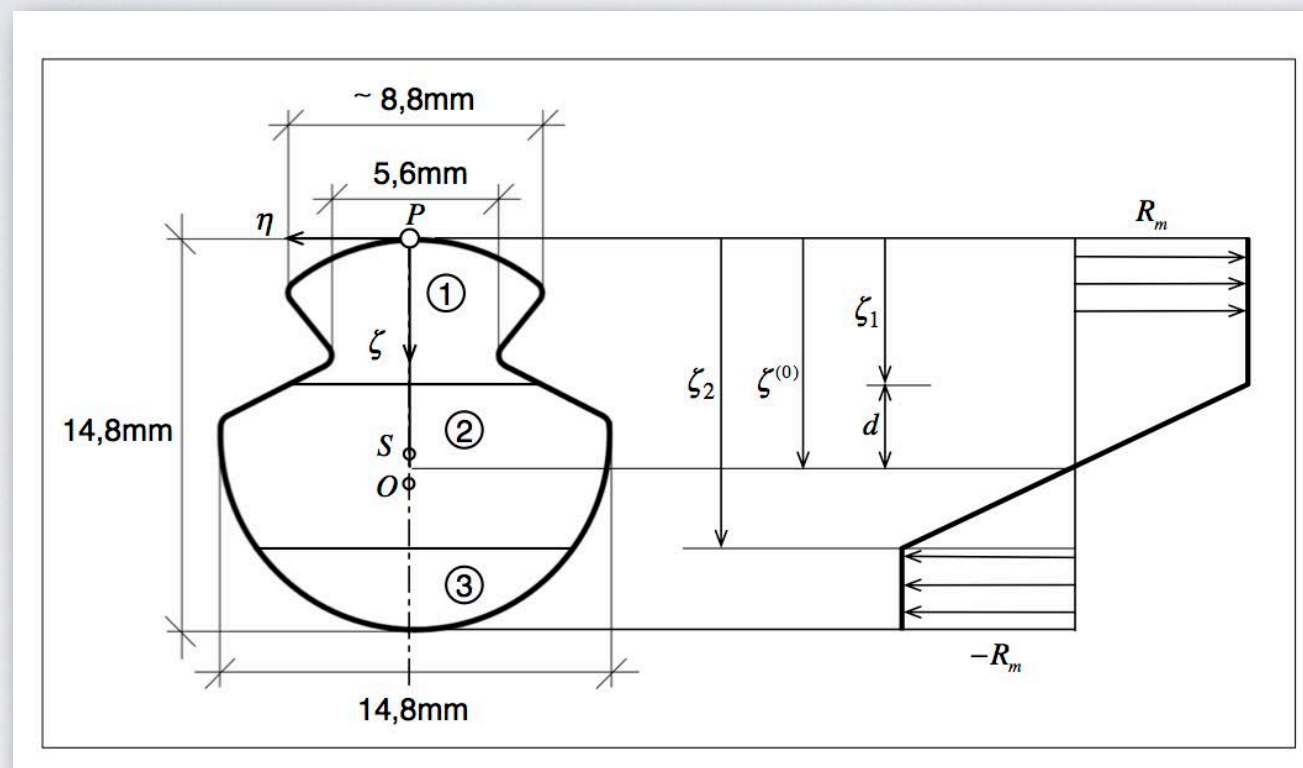
Spannungsnulllinie verläuft durch den Flächenschwerpunkt, Beginn der Plastifizierung am oberen Querschnittsrand: $M = M_F = R_m J_y / \zeta_s$

Mindestdurchmesser OHNE plastische Verformung: $d_{\min}^e = \frac{2 E \zeta_s}{R_m} = 4170 \text{ mm}$

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:

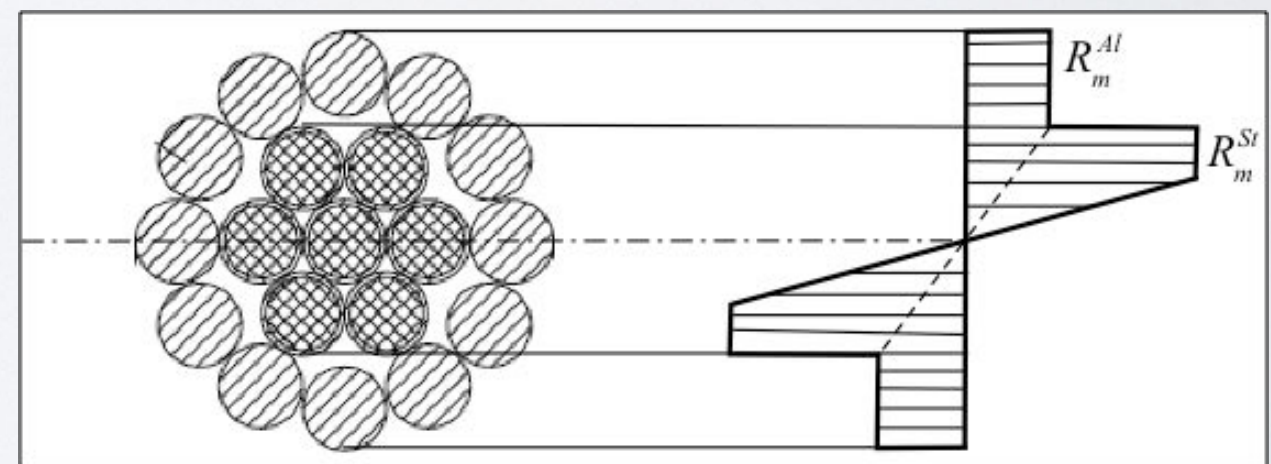
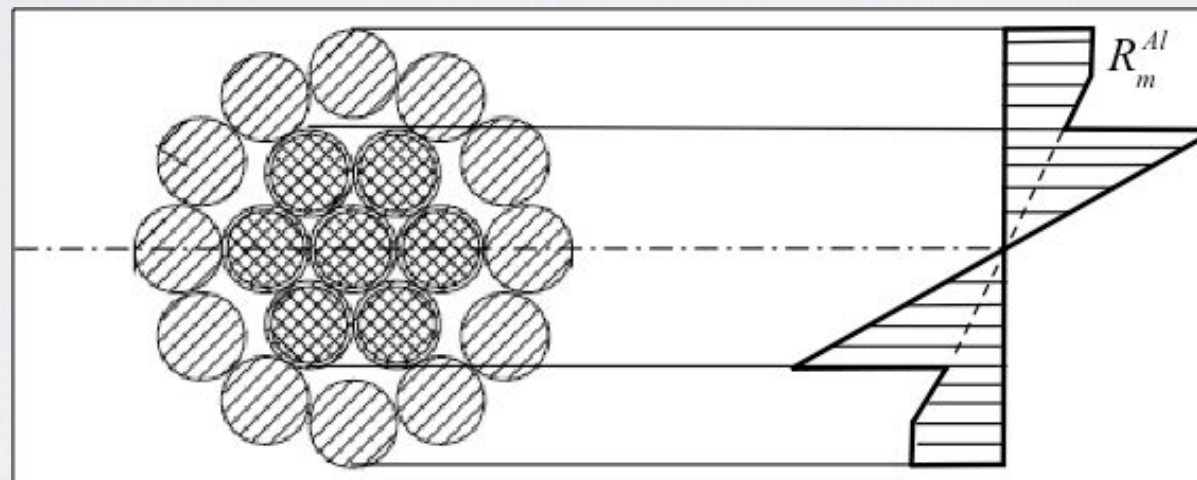
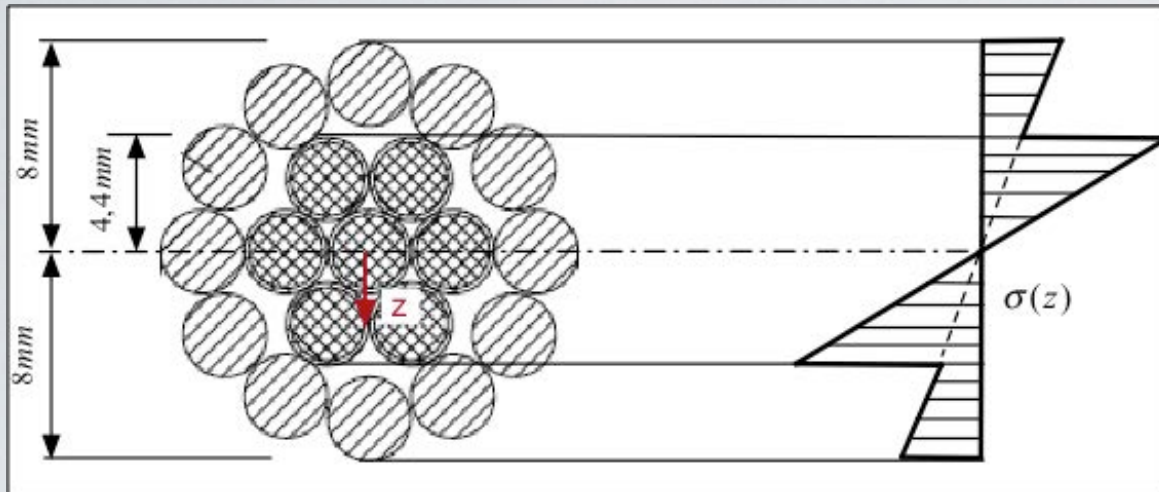
$$N = \int_A \sigma(\zeta) dA = 0$$

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

4. Vollplastischer Zustand

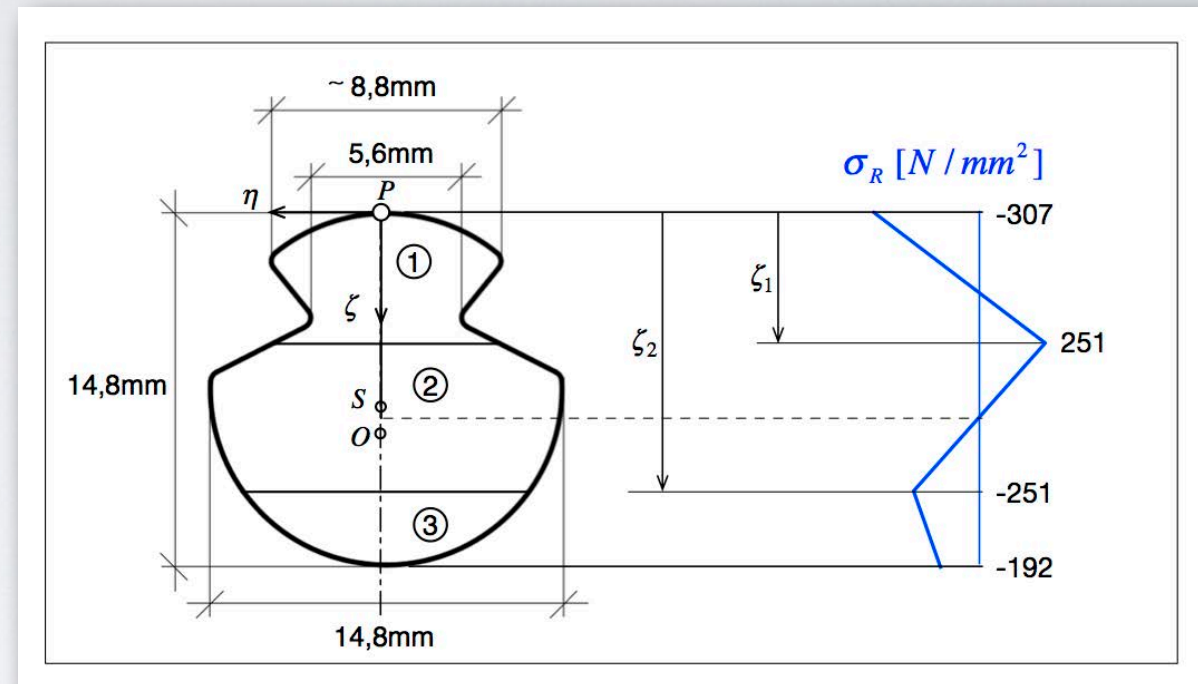
Tragmoment:
$$M_T = R_m \frac{A}{2} (\zeta_{Su} - \zeta_{So})$$

Tragseil: Typ 97-AL3/56-ST1A



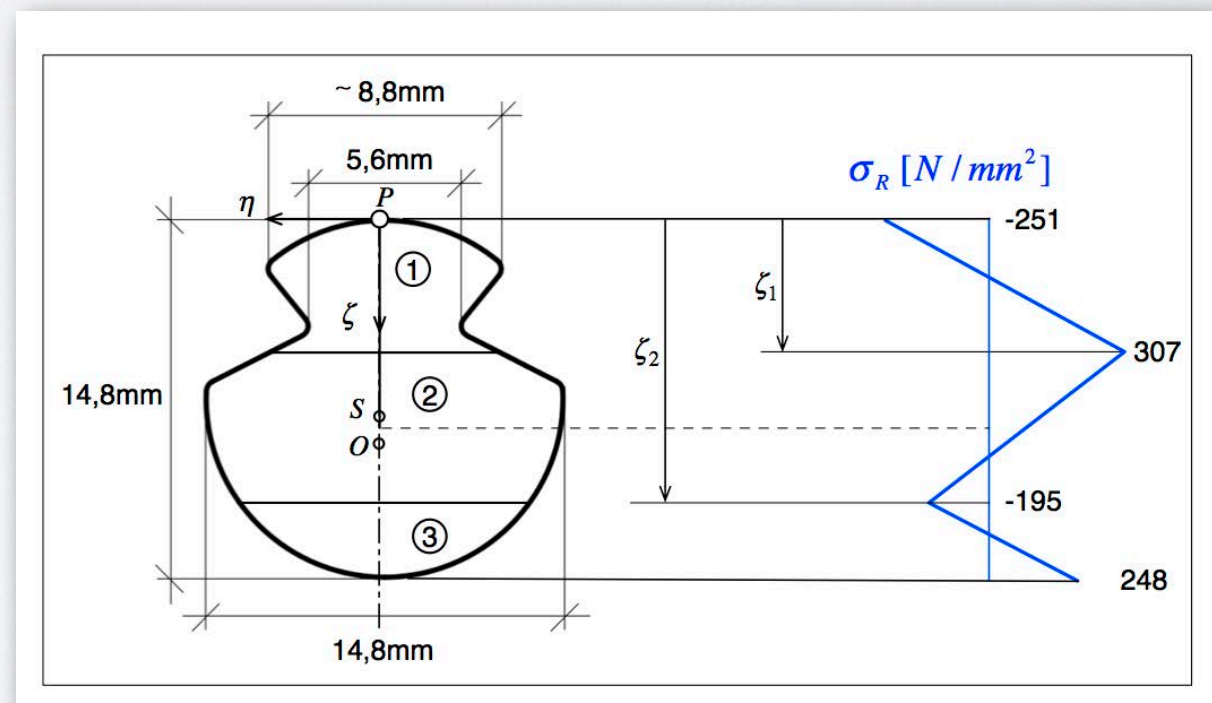
Restnormalspannungsverlauf nach Lösung der Fahrdrahtfixierung von der Fahrdrahttrommel

$$\sigma_R(\zeta) < R_m = 470 \text{ N/mm}^2$$



Restnormalspannungsverlauf in Abschnitt 2:

$$\sigma_R(\zeta) < R_m = 470 \text{ N/mm}^2$$



Normalkräfte

Erforderliche Endzugkraft: $N_5 = N_E = 27 \text{ kN}$

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	$N_5 = N_E = 27,0 \text{ kN}$
4	zwischen R2 und R3 „unten“	$N_4 = 15,8 \text{ kN}$
3	zwischen R2 und R3 „oben“	$N_3 = N_4 = 15,8 \text{ kN}$
2	zwischen R2 und R3 „unten“	$N_2 = 8,45 \text{ kN}$
1	zwischen R1 und R2	$N_1 = N_2 = 8,45 \text{ kN}$
R1 ... Fahrdrähttrommel (Rolle 1)		
R2 ... Umlenkrolle (Rolle 2)		
R3 ... Friktionswinde (Rolle 3)		

$$\mu_{erf} = -\ln\left(\frac{N_{1,erf}}{N_5}\right) \frac{1}{5,808}$$

z.B.: $N_{1,erf} = 5,0 \text{ kN} \Rightarrow \mu_{erf} = 0,29$

Reibung

Experimentelle Untersuchungen am CuMg 0,5 120mm²



Einlagengummi für Antriebsscheiben mit
 Profilquerschnitt SEMPERIT-PROFIL: 35x40x24, W6250c

Der Einlagengummi wird auf Dicken von 12mm bzw.
 16mm abgearbeitet, die Berührungsfläche zum
 Fahrdraht sind eben.

Reibklotzlänge: 200mm



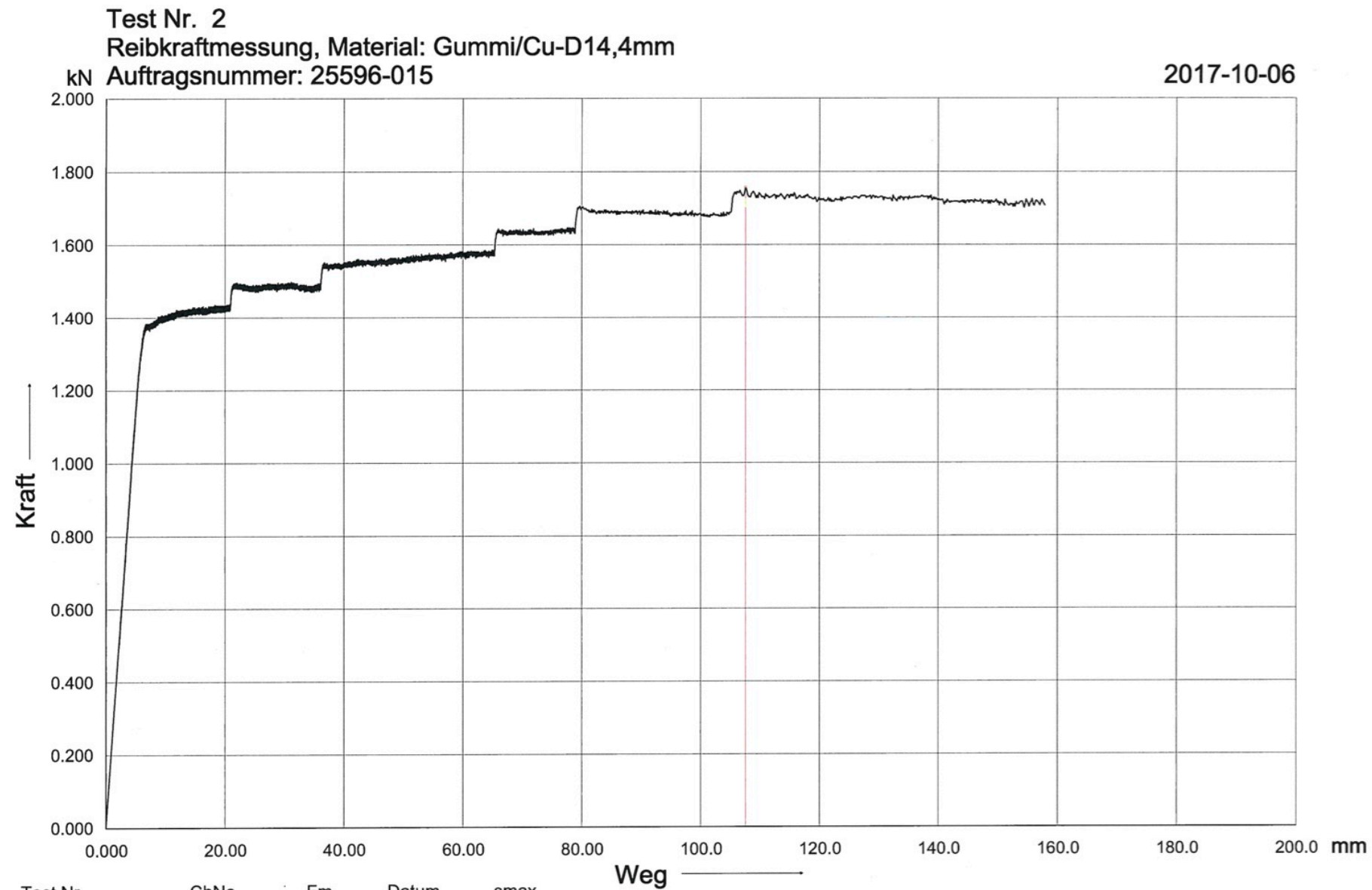
Reibung

Mit der **12mm** dicken Gummi-Einlage wurden Messungen bei Normalkräften von **2600N**, **5549N** und **7000N** durchgeführt. Jeder Abziehversuch mit einer bestimmten Abziehkraft wurde einmal wiederholt.

Mit der **16mm** dicken Gummi-Einlage wurden Messungen bei Normalkräften von **2600N** und **7000N** durchgeführt. Jeder Abziehversuch mit einer bestimmten Abziehkraft wurde zweimal wiederholt.

Coulomb'sches Reibgesetz: $\mu = F_A / F_N$ F_A ... Abziehkraft F_N ... Normalkraft





Test Nr.	ChNo	Fm kN	Datum	smax mm
2	Vorvers146,4kg	1.757	2017-10-06	157.9

Versuch Nr.	Diagramm (Test NR.)	Einlagendicke [mm]	Normalkraft [N]	Abziehkräfte [kN]					
				Abzugsgeschwindigkeit [mm/min] bzw. [mm/s]					
				15 0,25	30 0,50	60 1,00	120 2,00	240 4,00	480 8,00
1	2	12	1438	--	--	--	--	--	--
2	3	12	1438	--	--	--	--	--	--
3	4	12	2600	2,36	2,52	2,64	2,76	2,85	2,88
4	5	12	2600	2,64	2,78	2,90	2,97	3,09	3,06
5	6	12	5549	4,70	5,01	5,27	5,45	5,56	5,80
6	7	12	5549	5,04	5,28	5,50	5,69	5,74	5,98
7	8	12	7000	6,07	6,39	6,64	6,71	7,07	7,32
8	10	12	7000	6,46	6,66	6,84	6,91	7,25	7,58
9	11	16	7000	5,55	5,82	6,07	6,50	7,03	7,45
10	12	16	7000	5,84	6,15	6,50	6,76	7,23	7,60
11	13	16	7000	5,94	6,30	6,60	6,99	7,24	7,69
12	14	16	2600	2,99	3,13	3,26	3,41	3,57	3,61
13	15	16	2600	3,03	3,17	3,31	3,47	3,63	3,65
14	16	16	2600	3,06	3,15	--	--	--	--
				Reibungskoeffizient μ_G					
1	2	12	1438	--	--	--	--	--	--
2	3	12	1438	--	--	--	--	--	--
3	4	12	2600	0,91	0,97	1,02	1,06	1,10	1,11
4	5	12	2600	1,02	1,07	1,12	1,14	1,19	1,18
5	6	12	5549	0,85	0,90	0,95	0,98	1,00	1,05
6	7	12	5549	0,91	0,95	0,99	1,03	1,03	1,08
7	8	12	7000	0,87	0,91	0,95	0,96	1,01	1,05
8	10	12	7000	0,92	0,95	0,98	0,99	1,04	1,08
9	11	16	7000	0,79	0,83	0,87	0,93	1,00	1,06
10	12	16	7000	0,83	0,88	0,93	0,97	1,03	1,09
11	13	16	7000	0,85	0,90	0,94	1,00	1,03	1,10
12	14	16	2600	1,15	1,20	1,25	1,31	1,37	1,39
13	15	16	2600	1,17	1,22	1,27	1,33	1,40	1,40
14	16	16	2600	1,18	1,21	--	--	--	--

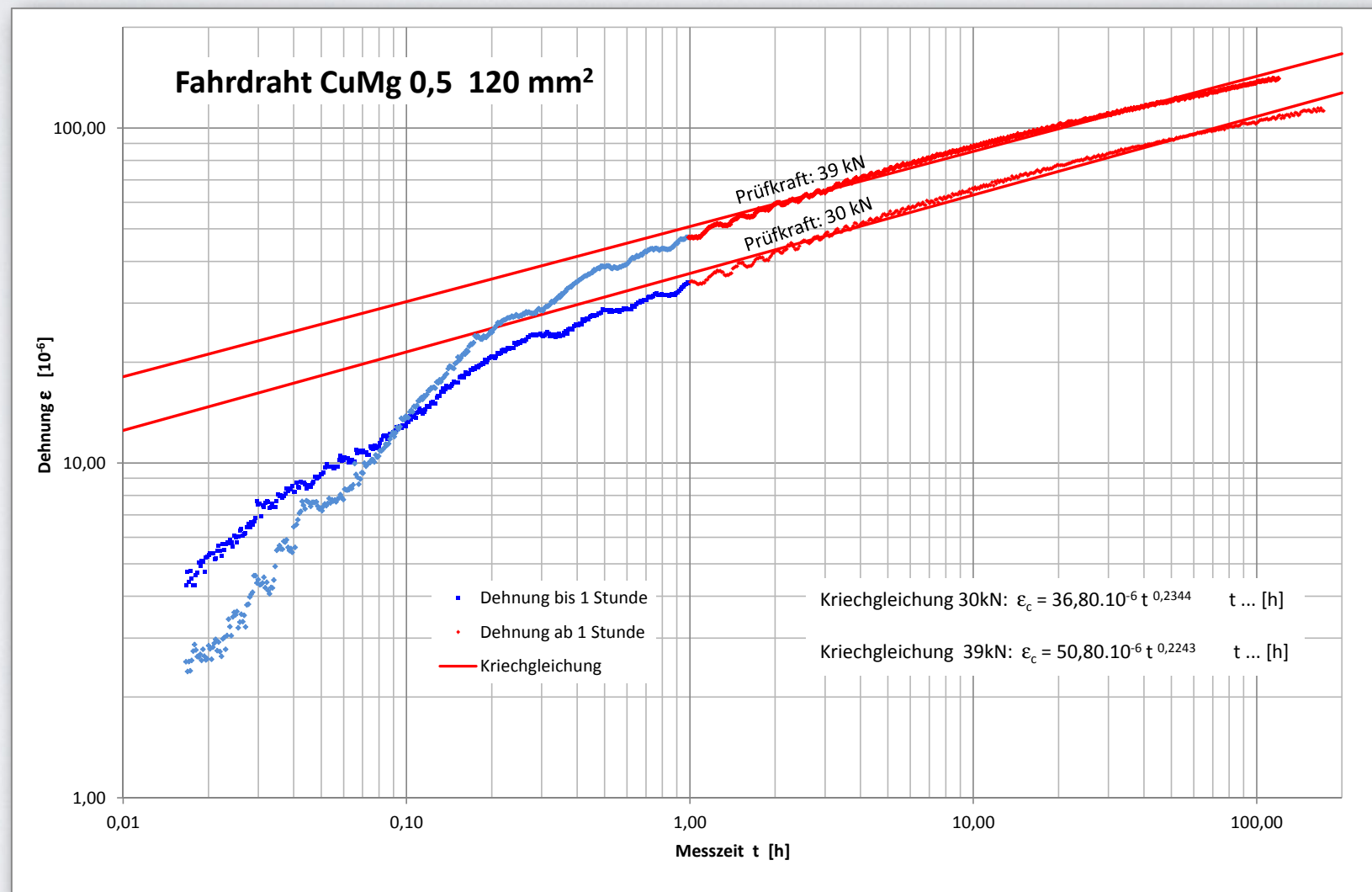
Versuch Nr.	Diagramm (Test NR.)	Einlagen- dicke [mm]	Normalkraft [N]	Mittelwerte der Reibungskoeffizienten μ_G					
				Abzugsgeschwindigkeit [mm/min] bzw. [mm/s]					
				15 0,25	30 0,50	60 1,00	120 2,00	240 4,00	480 8,00
1, 2	2, 3	12	1438	--	--	--	--	--	--
3, 4	4, 5	12	2600	0,96	1,02	1,07	1,10	1,14	1,14
5, 6	6, 7	12	5549	0,88	0,93	0,97	1,00	1,02	1,06
7, 8	8, 10	12	7000	0,90	0,93	0,96	0,97	1,02	1,06
9, 10, 11	11, 12, 13	16	7000	0,83	0,87	0,91	0,96	1,02	1,08
12, 13, 14	14, 15, 16	16	2600	1,16	1,21	1,26	1,32	1,38	1,40

Kriechverhalten

Experimentelle Untersuchungen am CuMg 0,5 120mm²

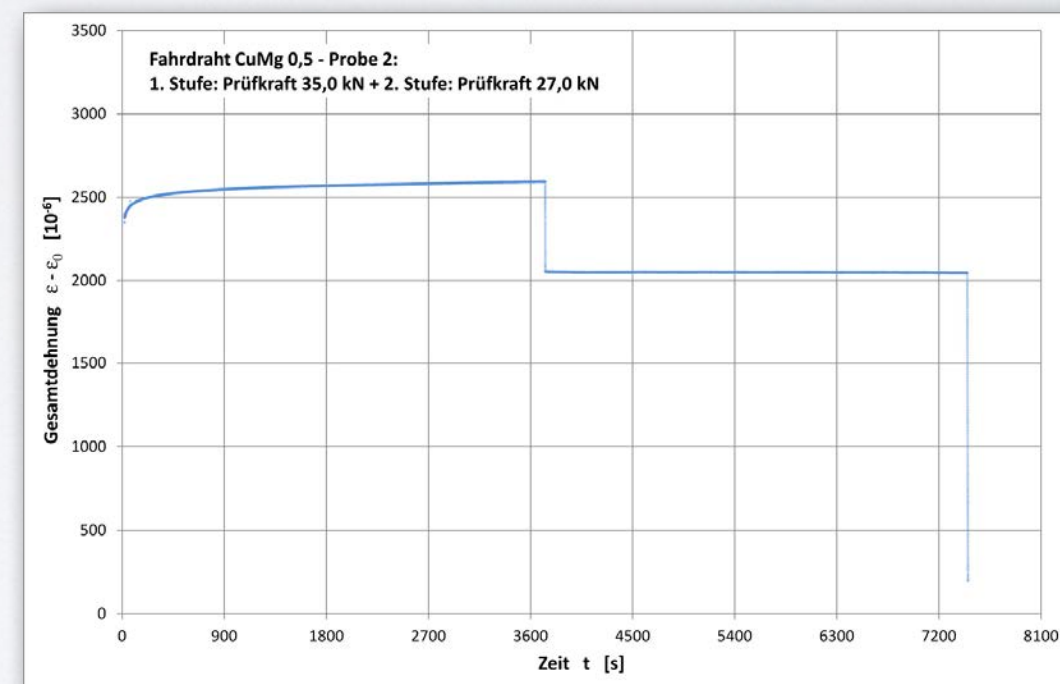
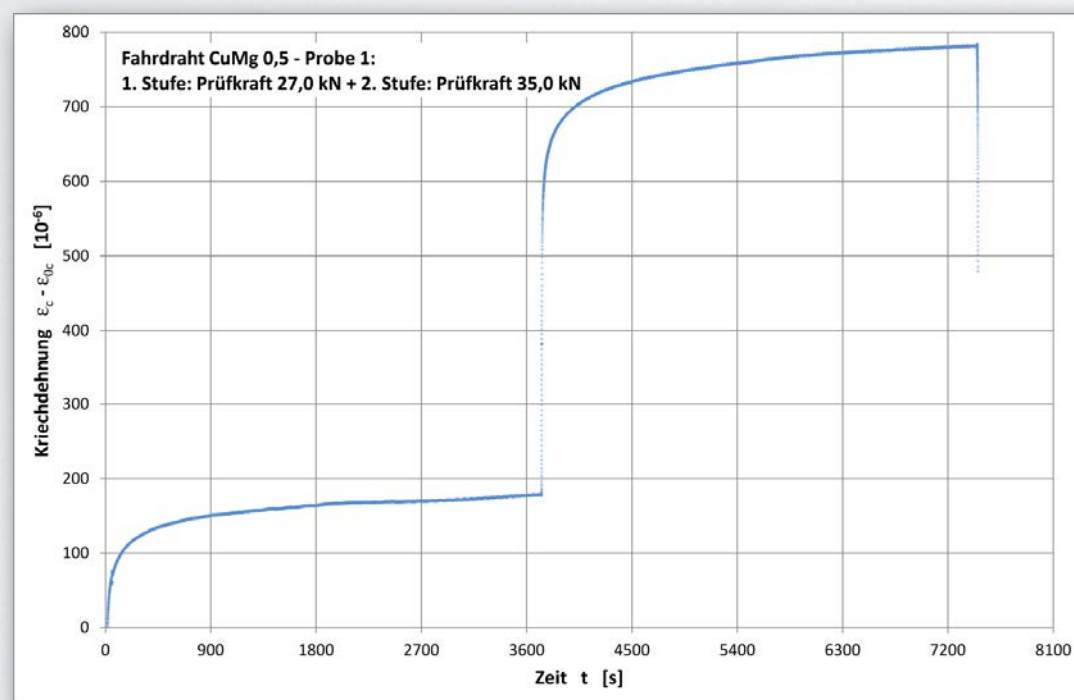
Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt GmbH (TVFA Wien):

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.



Schlussfolgerung

- ➔ Um die mechanischen Beanspruchung von Profil- und Rillenfahrdrahten während deren Verlegung in Abhängigkeit der Verlegetechnik möglichst genau zu modellieren, ist es unerlässlich maßgebende Materialparameter experimentell zu ermitteln.
 - Zugversuche
 - 4-Punkt Biegeversuche
 - Reibzahlmessungen
 - (Kurz- und Langzeitkriechversuche)

- ➔ Damit können einzelne Etappen der Fahrdrahtverlegung auch numerisch simuliert werden und bei Bedarf Verbesserungen gezielt umgesetzt werden.