

Ihr Zeichen

Ihre Nachricht

Unser Zeichen

Tag

Seite

Wi394

## O I T A F - S e m i n a r

27. April 1994

Dipl.-Ing. E. Corazza

**BEANSPRUCHUNGSMESSUNGEN AN SEILROLLEN**

Was die Sicherheit betrifft, maß man den Seilrollen bis zum schweren Unfall an einer Viersesselbahn in Österreich keine allzugroße Bedeutung bei. Seitens der Aufsichtsbehörde gab es für die Seilrollen bis zu diesem Zeitpunkt keine besonderen Qualitätsanforderungen. Wohl kam es bei der einen oder anderen Anlage zum Versagen einer Seilrolle, zum Entgleisen des Förderseiles führten solche Schäden jedoch nicht. Aufgrund der nach dem Unfall durchgeführten Erhebungen und Untersuchungen, sowie aufgrund der aus Versuchen gewonnenen Erfahrungen war es jedoch erforderlich, an Förderseilrollen besondere Qualitätsanforderungen zu stellen. Bevor auf die Beanspruchungsmessungen an Seilrollen eingegangen wird, soll über die Untersuchungen hinsichtlich des Versagens der Seilrolle, welche zu dem schweren Unfall führte, kurz berichtet werden.

Der Unfall ereignete sich an einer kuppelbaren Viersesselbahn. Die Entgleisung erfolgte auf der Bergförderseite bei einer achtrolligen Rollenatterie. Der außenseitige Rollenbord der ersten seilaufenden Seilrolle fehlte und lag gebrochen und verbogen in der Nähe der Stütze am Boden. Der gebrochene Rollenbord wurde mit Hilfe von Röntgenaufnahmen und die Bruchflächen rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Es konnte festgestellt werden, daß die Ursache des Rollenbordbruches in einem relativ

Es wird ersucht, sämtliche Mitteilungen an die Technische Versuchs- und Forschungsanstalt, 1040 Wien, Karlsplatz 13, und nicht an einzelne Personen zu adressieren.

Telefon: 58801 4048 oder 3407  
Telex: 131000 tvfa w a  
Telefax: 504 42 34

Bankverbindung:  
CA-BV 0964-39393/00

Zufahrt: Abt. A, M1, M3: Resselgasse 1, 2. Hof  
Abt. B: Gußhausstraße 25a  
Abt. M2: Gußhausstraße 30

groß ausgebildeten Materialfehler in Form eines ausgedehnten Schwindungshohlraumes lag. Die Untersuchung der Bruchflächen des Rollenbordes ergab weiters, daß der Bruch auf ein Erschöpfen der Ermüdungsfestigkeit des Materials beruhte. Eine schlagartige Beanspruchung durch Auffahren einer Klemme am Rollenbord, zufolge eines seitwärts schwingenden Sessels konnte als Ursache ausgeschlossen werden. Für das Auslösen des Unfallherganges war eindeutig der Bruch des Rollenbordes der ersten Seilrolle maßgebend.

Unter dem Eindruck des schweren Unfalles verfügte die Behörde als erste Maßnahme für alle Einseilumlaufbahnen mit betrieblich lösbaren oder fest geklemmten Fahrbetriebsmitteln, daß österreichweit alle Rollenbatterien und Rollenwiegen innerhalb der Rollenbatterien sofort auf ordnungsgemäße Spur und Fluchtung, sowie sämtliche Förderseilrollen sofort visuell auf Anrisse oder sonstige Schäden zu kontrollieren sind. Von jeder Seilbahn sind die in Leichtmetall ausgeführten Rollenborde von zwei Förderseilrollen zerstörungsfrei auf Risse mittels Farbeindringverfahren und auf innere Fehler mittels Wirbelstrom oder Durchstrahlungsprüfung von einer behördlich autorisierten Prüfanstalt untersuchen zu lassen. An der TVFA wurden in diesem Zusammenhang eine Reihe derartiger Rollenborde und Rollen kurzfristig geprüft. Im Zuge der Überprüfungen wurde auch bekannt, daß die Unglücksbordscheibe, welche zu dem schweren Unfall führte, bei weitem nicht die Erste war, die gebrochen ist. Untersuchungen an einigen gebrochenen Rollenborden zeigten, daß schon relativ kleine Gußfehler, wenn sie bis an oder nahe an die Oberfläche reichen, zum Versagen führen können. In einem Fall konnte als Ausgangspunkt für den Ermüdungsbruch ein kleiner, bis an die Bauteiloberfläche reichender Mikrolunker mit einem Durchmesser von rund 0,3 mm lokalisiert werden. Außer den im Bruchausgang liegenden Mikrolunker waren in dessen unmittelbarer Nähe noch weitere Mikrolunker vorhanden. Während also beim Rollenbordbruch an der Bahn mit dem schweren Unfall ein sehr großer Gußfehler und auch ein großer Ermüdungsbruchanteil festgestellt worden ist, zeigten andere Brüche nur sehr kleine Bereiche mit Ermüdungsbruchstrukturen. Dies und die seitens der Aufsichtsbehörde vorgesehenen Richtlinien veranlaßten einzelne Seilbahnhersteller durch Deh-

nungs-Spannungsmessungen die im Betrieb tatsächlich auftretenden Beanspruchungen messen zu lassen. Die Seilrollen galten zwar bisher als minderbeansprucht und unterlagen keinen besonderen Prüfungen und Kontrollen. Nicht bedacht wurde dabei jedoch der Umstand, daß Seilrollen einer sehr großen Lastwechselzahl unterworfen sind. 10 bis 15 Millionen Lastwechsel pro Jahr sind für Seilrollen bei den modernen Hochleistungsanlagen durchaus üblich. Da bei Aluminium keine, wie beim Stahl gewohnte Dauerfestigkeit vorliegt, genügen bei diesen hohen Lastwechselzahlen schon relativ kleine Beanspruchungen, um zu einem Ermüdungsbruch zu führen. Aufgrund der nichtbearbeiteten Oberfläche der Innenseite der Rollenborde, sowie der relativ großen Abmessungstoleranzen beim Rollenfutter aus Gummi, traten dadurch oft schon hohe Vorspannkräfte auf, denen im Betrieb die dynamischen Belastungen dann überlagert wurden. Aus den geschilderten Erkenntnissen und aufgrund der Wichtigkeit der ersten seilaufenden Seilrolle für die sichere Seilführung, zieht die Seilbahnaufsichtsbehörde die Konsequenz und erläßt im Juni 1992 eine Richtlinie über Anforderungen an Bauteile der Förderseilrollen von Einseilumlaufbahnen, die auf die Fahrtrichtung jeweils erste Rolle einer Rollenatterie anzuwenden sind. Abweichungen von den geforderten Prüfverfahren oder von den einzuhaltenden Fehlergütestufen sind aufgrund von statischen Berechnungen und Dauerfestigkeitsberechnungen, allenfalls ergänzt durch Messungen zur Kontrolle der Rechenergebnisse und/oder durch Dauerfestigkeitsuntersuchungen des Werkstoffes an einer behördlich autorisierten Versuchsanstalt, unter Berücksichtigung der angewendeten QS-Spezifikationen zulässig. Zur Beurteilung der Zulässigkeit von Fehlern bestimmter Größe war als Grundlage die Kenntnis der tatsächlich im Betrieb auftretenden Beanspruchungen erforderlich. Über diese Beanspruchungsmessungen wird im folgenden berichtet.

Die Untersuchungen erstreckten sich auf folgende Ausführungen:

1. Förderseilrolle mit zwei losen Bordringen:

Es wurde der äußere Rollenbord einer Seilrolle mit einem Durchmesser von 400 mm untersucht.



## 2. Förderseilrolle mit einseitig angegossenem Rollenbord:

Insgesamt wurden vier verschiedene Ausführungen mit einseitig angegossenem Rollenbord untersucht. Die Seilrollen hatten einen Außendurchmesser von 380 mm, 450 mm, 470 mm und 485 mm. Die Beanspruchungsmessungen erfolgten unter Anwendung der DMS-Technik, wobei bei den Betriebsbeanspruchungsmessungen die Meßsignale von der Seilrolle zur fest stationierten Einrichtung für die Aufzeichnung mit Funk übertragen wurden. Die Dehnungsmessungen beschränkten sich auf den Bereich der losen bzw. angegossenen Rollenborde. Die Anordnung der Meßorte für die Dehnungsmessungen mit  $0^\circ/45^\circ/90^\circ$  DMS-Rosetten und Linear-DMS geht aus den Bildern Seite 9 bis 14 hervor. Die einzelnen Meßgitter waren bei der dynamischen Dehnungsmessung in Dreileiterschaltung jeweils als Viertelbrücke zu einer mit Wechselspannung gespeisten Brückenschaltung angeordnet. Für die statische Dehnungsmessung beim Zusammenbau der Seilrollen wurde ein Vielstellenmeßgerät UPM 60 von Hottinger eingesetzt.

Da bei der dynamischen Dehnungsmessung an den Seilbahnanlagen nur eine beschränkte Zahl von DMS-Signalen übertragen werden konnte, wurden vorher in quasi statischen Versuchen jene Meßorte ermittelt, welche für die dynamische Dehnungsmessung von Interesse waren. Bei diesen Vorversuchen wurden die Meßsignale sowohl mit einem Schreiber als auch mit einem Computer aufgenommen. Für die dynamische Dehnungsmessung an der Seilbahnanlage wurden die Meßsignale über Schleifringübertrager SK 6 und SK 12 der Fa. Hottinger der Dehnungsmeßbrücke zugeführt und mit Hilfe einer Telemetrieanlage an die Feststation weitergeleitet. Einzelheiten der eingesetzten Meßeinrichtungen gehen aus dem im Bild, Seite 4 wiedergegebenen Blockschaltbild hervor. Zu den verwendeten Schleifringübertragern ist zu bemerken, daß zur sicheren Übertragung und Temperaturkompensation die Einzelmeßstreifen mit Hilfe von Ersatzwiderständen zu Vollbrücken geschaltet worden sind. Es war dadurch zwar eine gute zeitliche Konstanz für die Messung gegeben, mit den vorhandenen Schleifringköpfen SK 6 und SK 12 konnten jedoch nur drei Dehnungsmeßstreifen-Signale übertragen werden. Aufgrund der Kenntnis aus den Vorversuchen war aber eine Reduktion der Meßorte möglich, ohne dabei auf wertvolle Daten ver-

zichten zu müssen. Bei den Dehnungsmeßstreifen-Rosetten konnten wir uns zum Teil auf den mittleren b-Streifen beschränken, da dieser praktisch in der Hauptspannungsrichtung lag.

### Versuchsprogramm

Das den Beanspruchungsmessungen zugrundegelegte Versuchsprogramm umfaßte eine statische Dehnungsmessung beim Zusammenbau der Förderseilrollen und eine dynamische Dehnungsmessung. Die dynamische Dehnungsmessung erfolgte auf zwei Arten und zwar auf einem Prüfstand im Labor und bei verschiedenen Seilbahnanlagen. Im einzelnen wurde also folgendes Versuchsprogramm ausgeführt:

1. Bestimmung der auftretenden Beanspruchungen an der Seilrolle beim Aufziehen und Vorspannen des Einlagengummis.
2. Vorversuche am Prüfstand  
Für die dynamische Dehnungsmessung der Seilrolle am Prüfstand wurde die Prüfkraft über ein dem Seildurchmesser angepaßtes dickwandiges Rohr in die Seilrolle eingeleitet. Die Prüfkraft wurde über eine kurze Rollenwiege und dem Kolben eines hydraulischen Zylinders auf das Rohr und von diesem in die Seilrolle eingeleitet. Beim Durchziehen des Rohres konnte auf diese Weise die Seilrolle im Bereich der DMS durch die Prüfkraft quasi dynamisch belastet werden. Die Abzugsgeschwindigkeit betrug 0,2 m/s. Die verschiedenen Seilrollentypen wurden in mehreren Versuchen mit verschiedenen Prüfkraften entsprechend verschiedenen Seilaufgedrücken bis zu den von den Herstellern vorgesehenen maximalen Seilaufgedrücken untersucht.
3. Messung der statischen Dehnungen an den verschiedenen Meßorten der Seilrollen nach den dynamischen Vorversuchen am Prüfstand als Ausgangsbasis für die dynamischen Dehnungsmessungen an der Seilbahn.

4. Ermittlung der dynamischen Beanspruchungen der Seilrollen an den verschiedenen Anlagen. Es wurden die Messungen an drei kuppelbaren Viersesselbahnen und an einer Umlaufbahn mit 6-sitzigen Wagen durchgeführt.

### Meßergebnisse

Bevor auf die Meßergebnisse eingegangen wird, soll ein kurzer Hinweis bezüglich der Auswertung der gemessenen Dehnungen sowie der Spannungsbestimmung gegeben werden. Der auf der Oberfläche der Seilrolle herrschende Spannungszustand, der sich im wesentlichen aus einer Biegezug- bzw. Biegedruckbeanspruchung zusammensetzt, kann nach den mathematischen Beziehungen des zweiachsigen Spannungszustandes berechnet werden. Die Auswertung der mit Hilfe des Computers gespeicherten Dehnungen erfolgte mit einem an der TVFA TU-Wien entwickelten Auswerteprogramm. Die Bestimmung der Hauptdehnungen aus den gemessenen Dehnungen  $\epsilon_a$ ,  $\epsilon_b$  und  $\epsilon_c$  der  $0^\circ/45^\circ/90^\circ$  DMS-Rosetten erfolgte nach den bekannten analytischen Beziehungen für  $\epsilon_1$  und  $\epsilon_2$ .

$$\epsilon_{1/2} = \frac{\epsilon_a + \epsilon_c}{2} \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\epsilon_a - \epsilon_b)^2 + (\epsilon_c - \epsilon_b)^2}$$

Aus den Hauptdehnungen konnten mit Hilfe des E-Moduls aus den nachstehend angeführten Beziehungen die Hauptspannungen bzw. deren Richtung errechnet werden. Der E-Modul wurde für die bei den Seilrollen eingesetzten Aluminium-Gußlegierungen in Zugversuchen anhand mehrerer Zugproben ermittelt. Im Mittel betrug der E-Modul  $E = 70,04 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$ .

$$\sigma_1 = \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot (\epsilon_1 + \mu \cdot \epsilon_2)$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot (\epsilon_2 + \mu \cdot \epsilon_1)$$

$$E = 70,04 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon \text{ } [\mu\text{m/m}] \cdot 10^{-6}$$

$$\mu = 0,3$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2} \quad \left[ \text{vorausgesetzt, daß } \frac{\tau_w}{\sigma_w} = 0,57 \right]$$



Die Bestimmung der Spannungen an den Stellen mit Linear-DMS erfolgt nach der Beziehung  $\sigma = \epsilon \cdot E$ .

An den Meßorten mit DMS-Rosetten wurden außer den Hauptspannungen  $\sigma_1$  und  $\sigma_2$  auch die Vergleichsspannungen  $\sigma_v$  nach der GEH angegeben. Die Berechnung der Vergleichsspannung erschien im vorliegenden Fall teilweise vertretbar, da es sich bei den Beanspruchungen, welche an der Seilrolle beim Umlauf auftreten doch um quasi statische Vorgänge handelt und die Hauptspannungsrichtungen sich nur wenig veränderten ( $\pm < 20^\circ$ ).

Im folgenden werden einige Spannungsverläufe, wie sie an den verschiedenen Förderseilrollen aufgetreten sind, gezeigt. In den Zahlentabellen Seite 9 bis 14 sind alle Maximalwerte für die aus den Dehnungen gerechneten Spannungen angeführt. Die Beilagen 8 bis 19 enthalten für einzelne Meßorte der Seilrollen die ermittelten Dehnungsverläufe. Teilweise wurden auch die Verläufe der Hauptspannungen und die Vergleichsspannung ausgewertet und graphisch dargestellt.

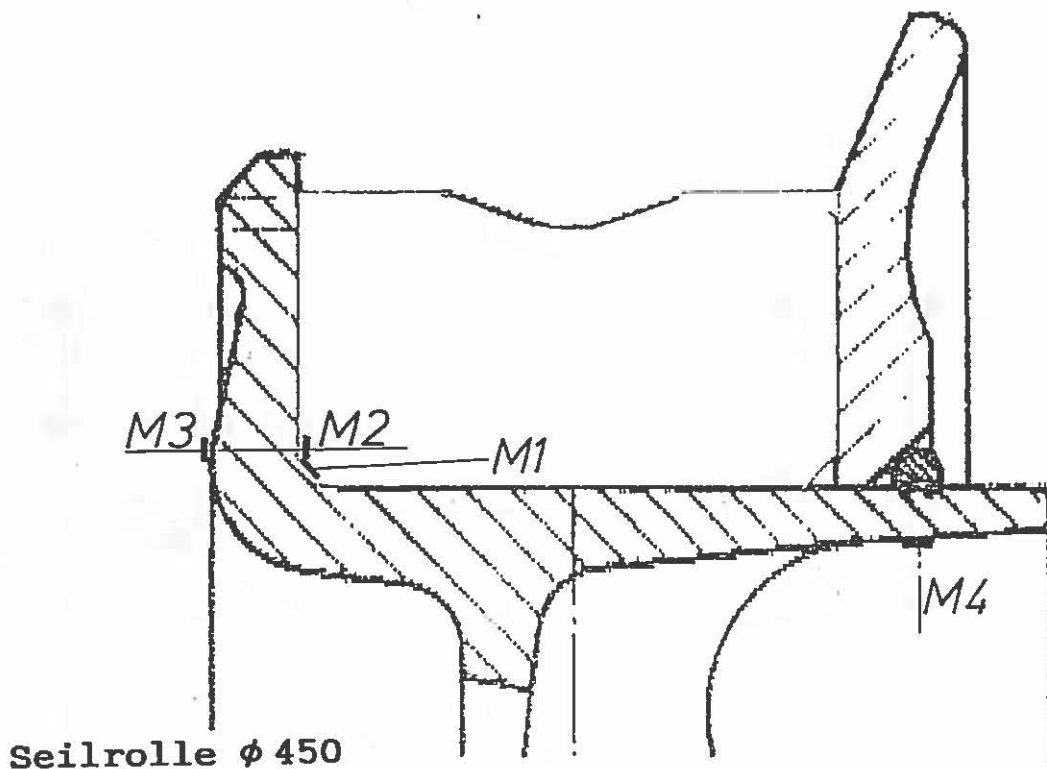
#### Schlußbemerkung

Abschließend kann festgestellt werden, daß die dynamischen Dehnungsmessungen zu sehr aufschlußreichen Erkenntnissen über die Beanspruchungen der Förderseilrollen geführt haben. Zum einen zeigten sie, daß besonders die losen, mit Federring befestigten Bordringe bemerkenswerten Beanspruchungen ausgesetzt sind. Zum anderen zeigten sie, welche Bedeutung dem Rollenfutter zukommt. Die Richtlinie des BMföWuV bezieht sich daher nicht nur auf die Qualitätssicherung der metallischen Werkstoffe, sondern auch auf die Rollenfutter aus Gummi und da im besonderen auf die Abmesungstoleranzen. Eine wichtige Forderung besteht auch darin, daß die von der Pressung des Rollenfutters herrührende Beanspruchung des Rollenbordes höchstens mit + 10 % vom rechnerisch ermittelten Wert abweichen darf.

Weiters konnte bei den zu untersuchenden Förderseilrollen mit den Dehnungsmessungen nachgewiesen werden, daß sich die Förderseilrollen mit einseitig angegossenem Rollenbord beanspruchungsmäßig im Rollenbordbereich wesentlich günstiger verhalten als der lose Rollenbord. Damit ist auch gegenüber Bordringen die größere Zulässigkeit von Gußfehlern begründet.

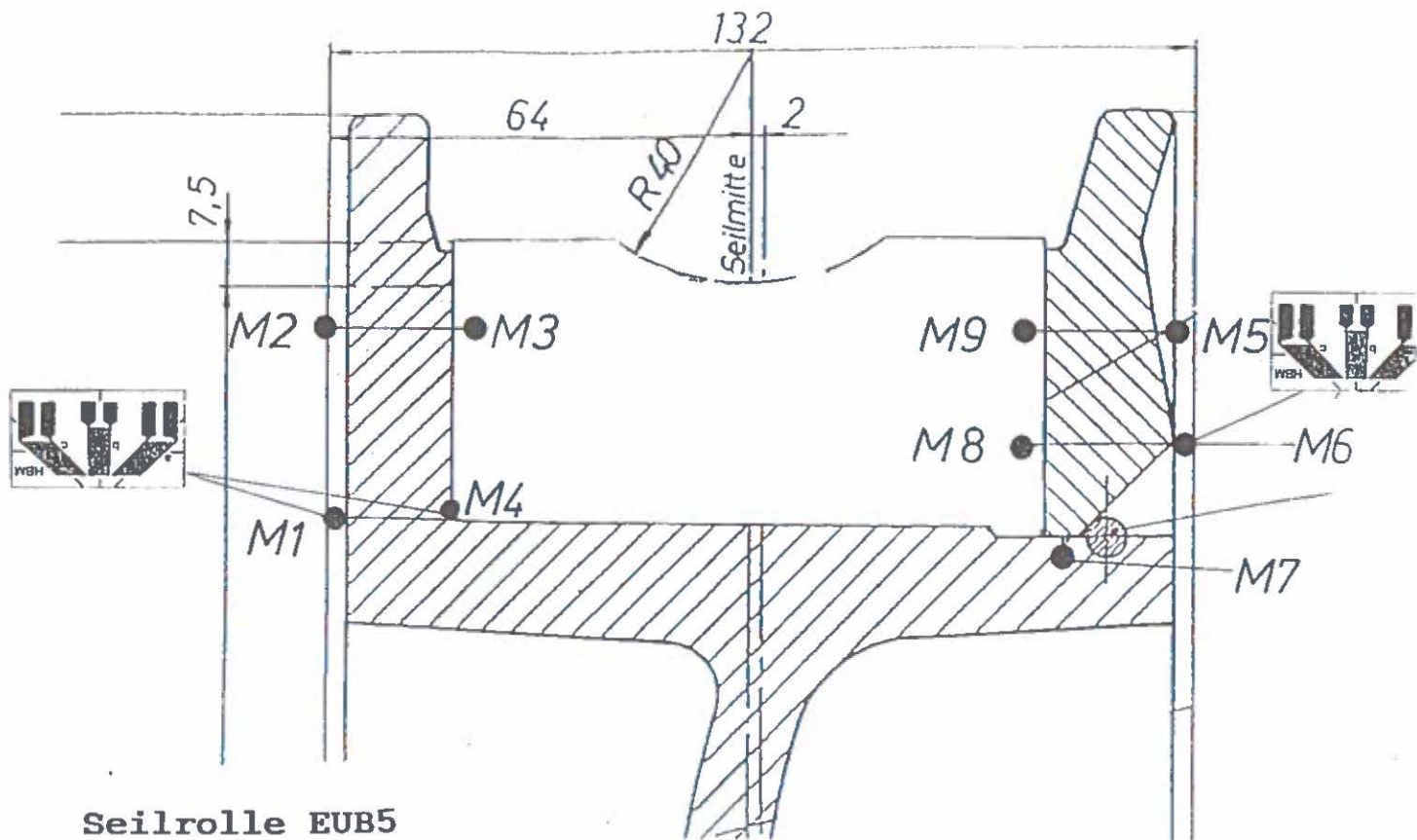
Der Bereich der Ausrundung im Übergang des angegossenen Rollenbordes zum Randkörper ist z.B. bei der Seilrolle EUB 5 wegen des geringen Radius ( $r \approx 1,5$ ) meßtechnisch (DMS-Technik) nicht erfassbar. Zur Abschätzung der dort auftretenden Spannungserhöhungen kommt in erster Linie das rechnerische Verfahren der Methode der finiten Elemente in Frage. Im vorliegenden Fall wurde eine lineare FE-Rechnung mit 8000 3D Solid-Elements, 8 knotig angewendet. Wie die Ergebnisse zeigen liegen die Vergleichsspannungen im nicht durch Kerben gestörten Bereichen zwischen  $0 \text{ N/mm}^2$  und  $10 \text{ N/mm}^2$  (stellenweise bis  $15 \text{ N/mm}^2$ ). Die durch Biegung beanspruchten Bereiche des angegossenen Rollenbords weisen Vergleichsspannungen von  $20 \text{ N/mm}^2$  bis  $25 \text{ N/mm}^2$  auf. Die maximalen Vergleichsspannungen ergeben sich in der Berechnung im Bereich der Ausrundung ( $r = 1,5 \text{ mm}$ ) auf der Innenseite mit etwa  $47 \text{ N/mm}^2$ . Bezogen auf den Meßort M4 ist somit im Kerbgrund, je nach Ausführung der Ausrundung, mit einer 2 bis 3fachen Spannungserhöhung zu rechnen. Die Beilagen 20 und 21 zeigen das FE-Netz der Seilrolle vom losen bzw. festen Rollenbord aus gesehen. In den Beilagen 22 und 23 sind die Farbplotts der Vergleichsspannungen nach von Mises enthalten.





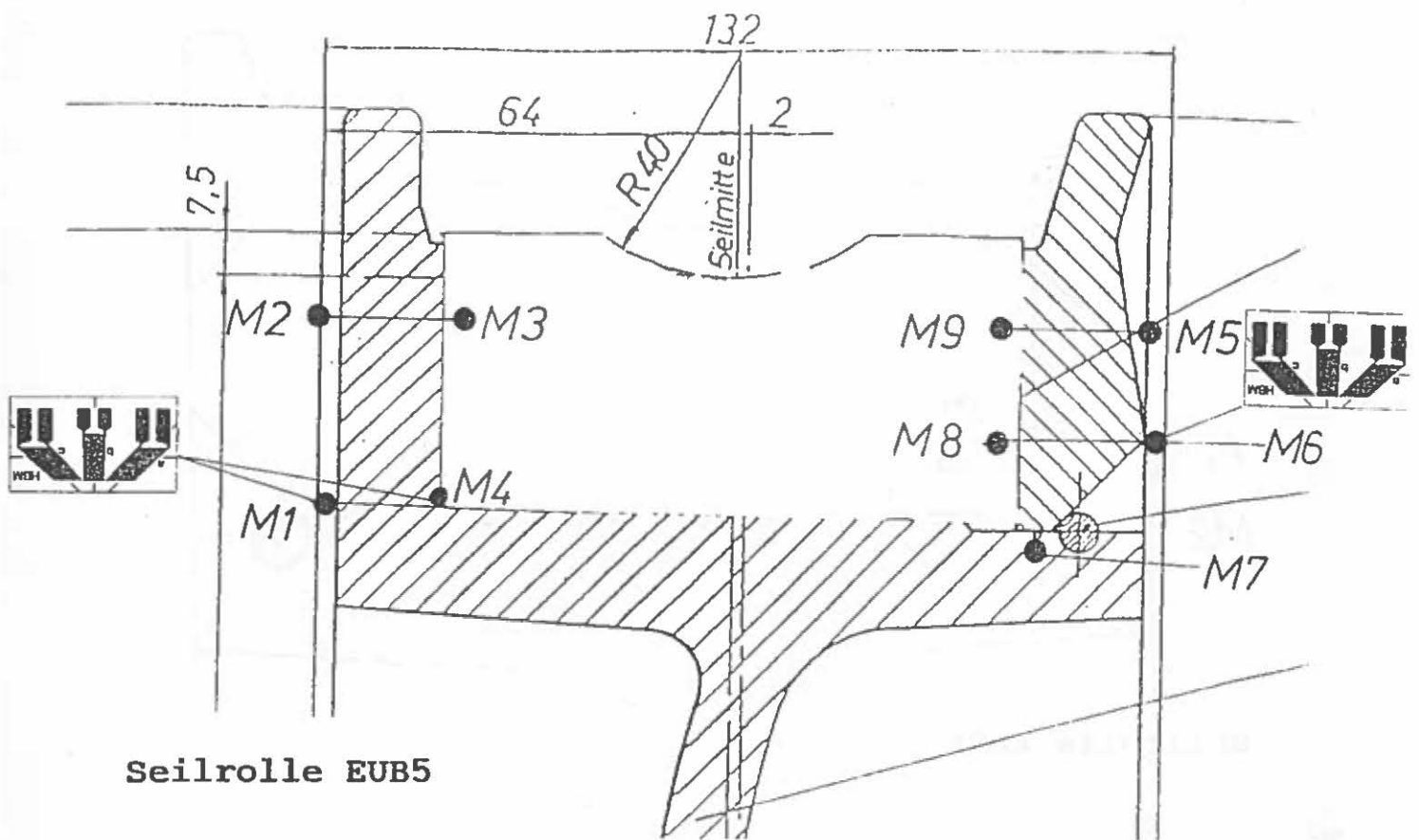
M1 bis M4 DMS 3/120 LY 13

Spannungen in N/mm <sup>2</sup>					Bemerkung
Art der Beanspruchung	Meßort				
	M1	M2	M3	M4	
3,0 kN	27	18	- 8	-14	Laborversuch
6,0 kN	41	27	-11	-22	Laborversuch
6,5 kN	42	30	-11	-22	Laborversuch
7,0 kN	47	31	-12	-24	Laborversuch
leere Sessel 4,0 m/s	21	-	- 7	- 8	kuppelbare Viersesselbahn
leere Sessel 5,0 m/s	20	-	- 7	- 8	kuppelbare Viersesselbahn
beladene Sessel 4,0 m/s	26	-	- 7	-12	kuppelbare Viersesselbahn
beladene Sessel 5,0 m/s	26	-	- 8	-12	kuppelbare Viersesselbahn
statischer Anteil	13	7	- 4	0	kuppelbare Viersesselbahn



M1, M4, M6 DMS 3/120 RY 83  
M2, M3, M5, M7, M8, M9 DMS 3/120 LY 13

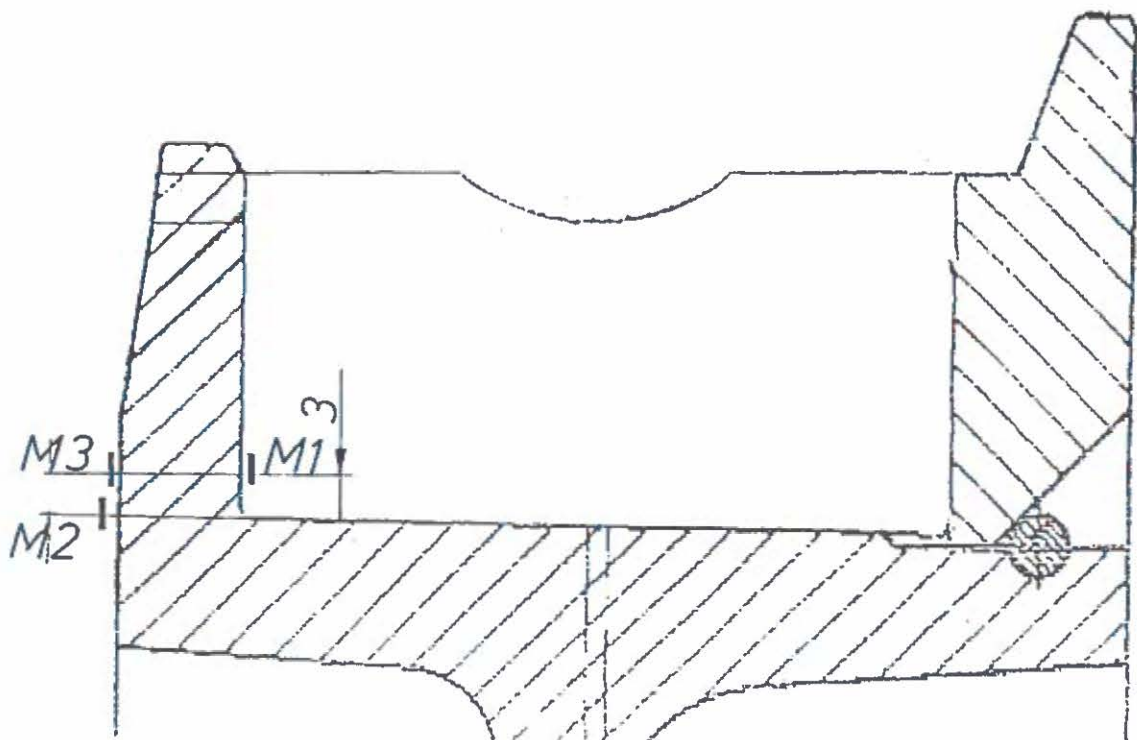
Spannungen in N/mm <sup>2</sup>					Bemerkung
Art der Beanspruchung	Meßort				
	M1	M2	M3	M4	
5,0 kN	$\sigma_1=-8$ $\sigma_2=-15$ $\sigma_v=13$	-4	-0,5	$\sigma_1=22$ $\sigma_2=8$ $\sigma_v=19$	Laborversuch
11,4 kN	$\sigma_1=-11$ $\sigma_2=-20$ $\sigma_v=17$	-6	-1,8	$\sigma_1=31$ $\sigma_2=2$ $\sigma_v=27$	Laborversuch
leere Wagen 4,0 m/s	$\sigma_b=-13$	--	-0,5	$\sigma_b=20$	Umlaufbahn mit 6sitzigen Wagen
beladene Wagen 4,0 m/s	$\sigma_b=-16$	--	-1,5	$\sigma_b=23$	Umlaufbahn mit 6sitzigen Wagen
beladene Wagen 5,0 m/s	$\sigma_b=-16$	--	-1,8	$\sigma_b=25$	Umlaufbahn mit 6sitzigen Wagen
statischer Anteil	$\sigma_b=-9$	--	1,0	$\sigma_b=14$	Umlaufbahn mit 6sitzigen Wagen



M1, M4, M6 DMS 3/120 RY 83  
M2, M3, M5, M7, M8, M9 DMS 3/120 LY 13

Spannung N/mm <sup>2</sup>						Bemerkung
Art der Beanspruchung	Meßort					
	M5	M6	M7	M8	M9	
5,0 kN	-47	$\sigma_1 = 12$ $\sigma_2 = -72$ $\sigma_v = 77$	64	87	82	Laborversuch
11,4 kN	-60	$\sigma_1 = 14$ $\sigma_2 = -88$ $\sigma_v = 94$	78	105	97	Laborversuch
statischer Anteil	-41	$\sigma_1 = 11$ $\sigma_2 = -64$	58	80	76	Laborversuch

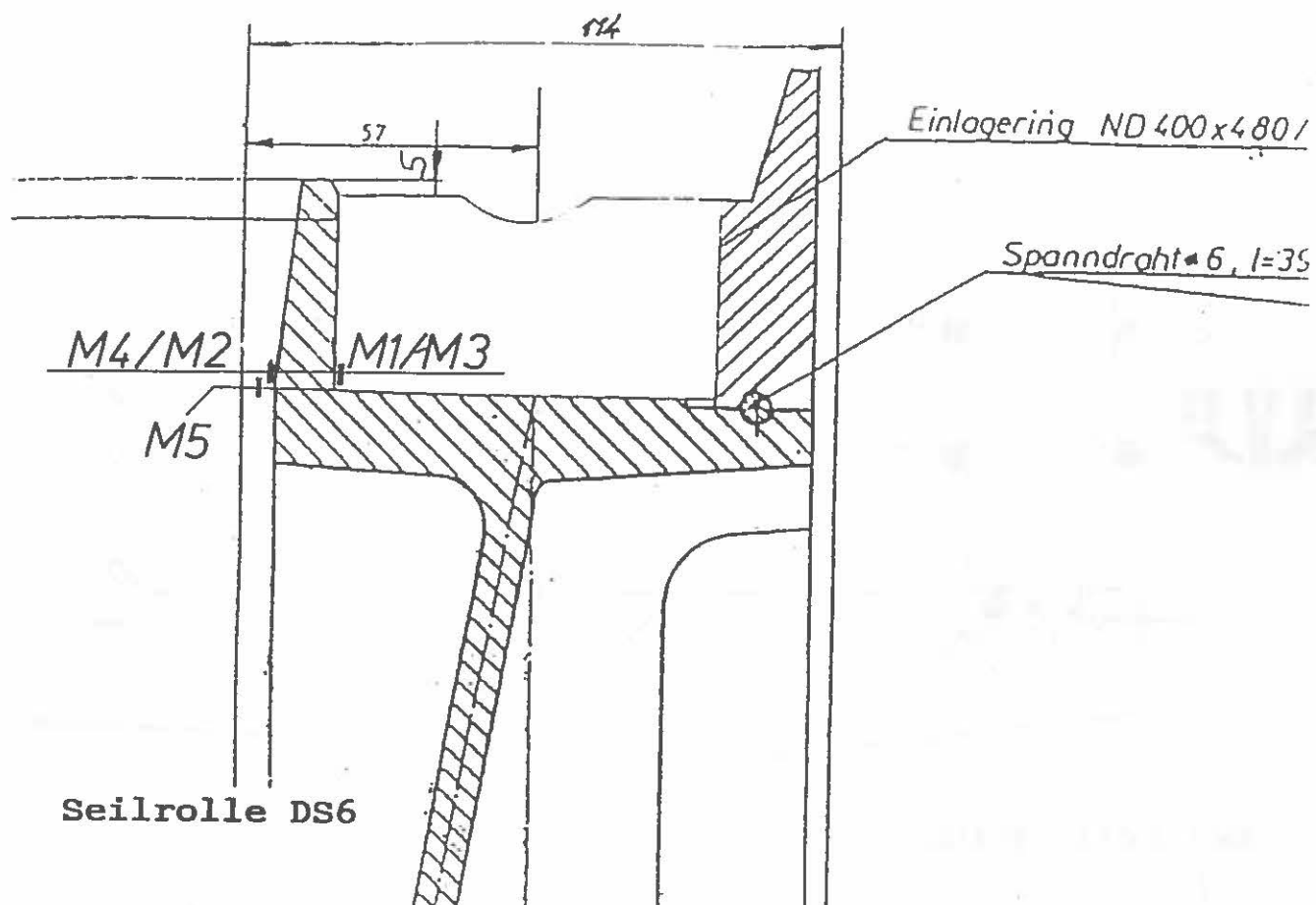




**Seilrolle EUB4**

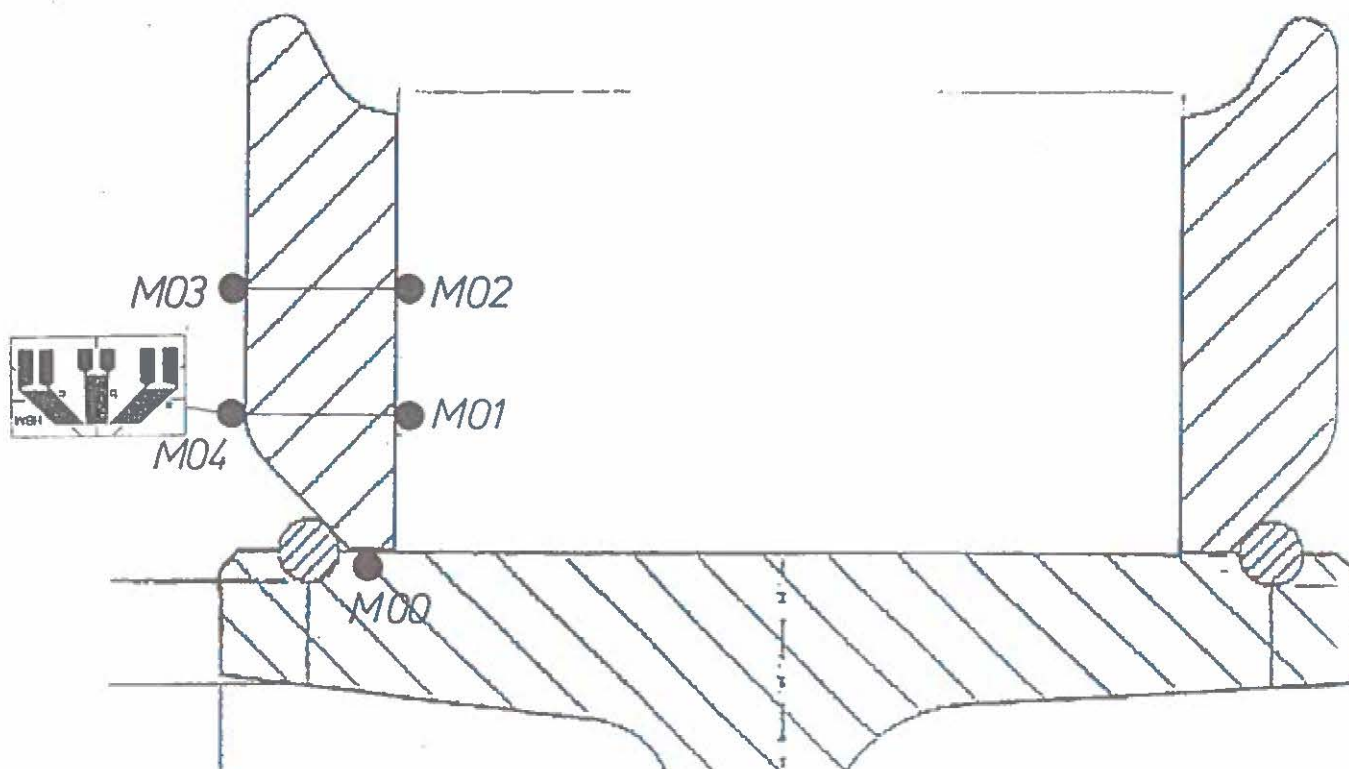
M1 bis M3 DMS 3/120 LY 13

Spannungen in N/mm <sup>2</sup>				Bemerkung
Art der Beanspruchung	Meßort			
	M1	M2	M3	
3,0 kN	14	-	-10	Laborversuch
6,0 kN	21	-	-14	Laborversuch
Leerseil 4,0 m/s	17	-10	-11	Umlaufbahn mit 6sitzigen Wagen
Leerseil 4,8 m/s	17	-10	-11	Umlaufbahn mit 6sitzigen Wagen
leere Wagen 4,0 m/s	18	-12	-13	Umlaufbahn mit 6sitzigen Wagen
leere Wagen 4,8 m/s	20	-14	-14	Umlaufbahn mit 6sitzigen Wagen
statischer Anteil	9	-6	-6	Umlaufbahn mit 6sitzigen Wagen



M1 bis M5 DMS 3/120 LY 13

Spannungen in N/mm <sup>2</sup>						Bemerkung
Art der Beanspruchung	Meßort					
	M1	M2	M3	M4	M5	
3,0 kN	18	-12	18	-	-15	Laborversuch
6,0 kN	31	-20	28	-	-22	Laborversuch
leere Sessel 3,5 m/s	18	-	18	-	-15	kuppelbare Viersesselbahn
leere Sessel 5,0 m/s	19	-	19	-	-16	kuppelbare Viersesselbahn
bel. Sessel 3,5 m/s	27	-	25	-	-20	kuppelbare Viersesselbahn
bel. Sessel 5,0 m/s	26	-	25	-	-22	kuppelbare Viersesselbahn
statischer Anteil	9	-	10	-	-8	kuppelbare Viersesselbahn



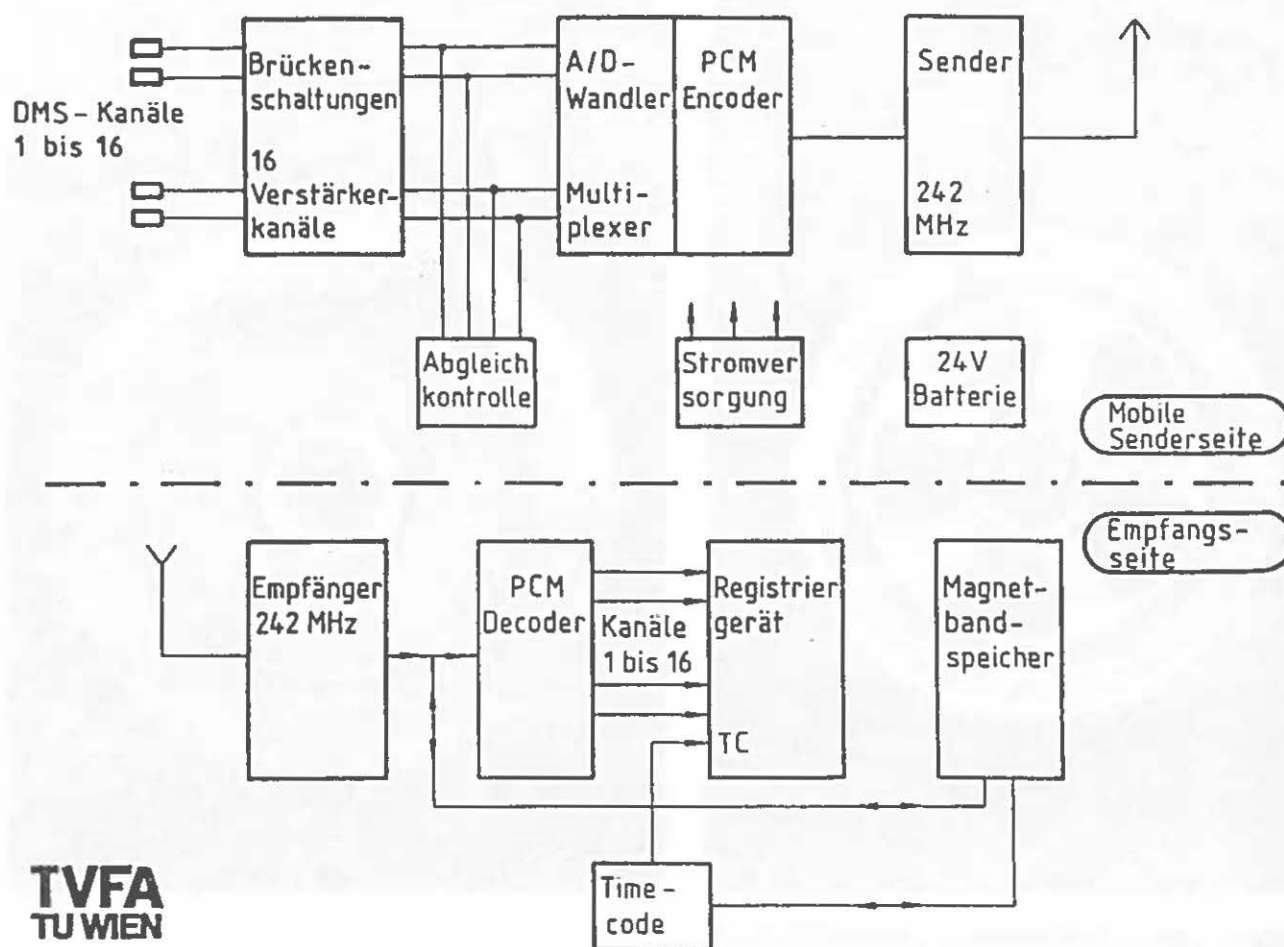
Seilrolle  $\phi$  400

M00 bis M03 DMS 3/120 LY 13

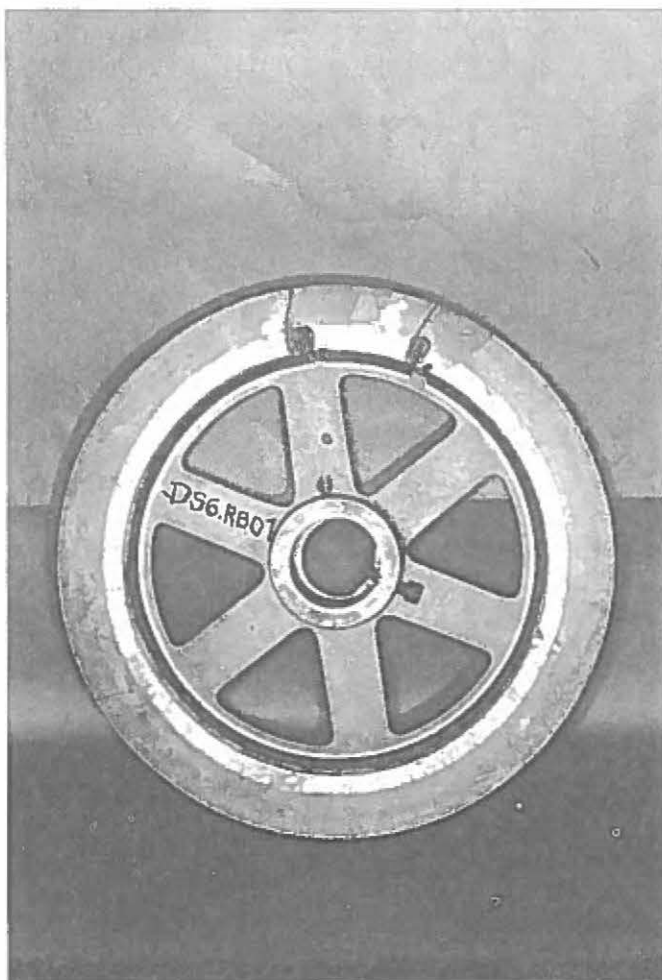
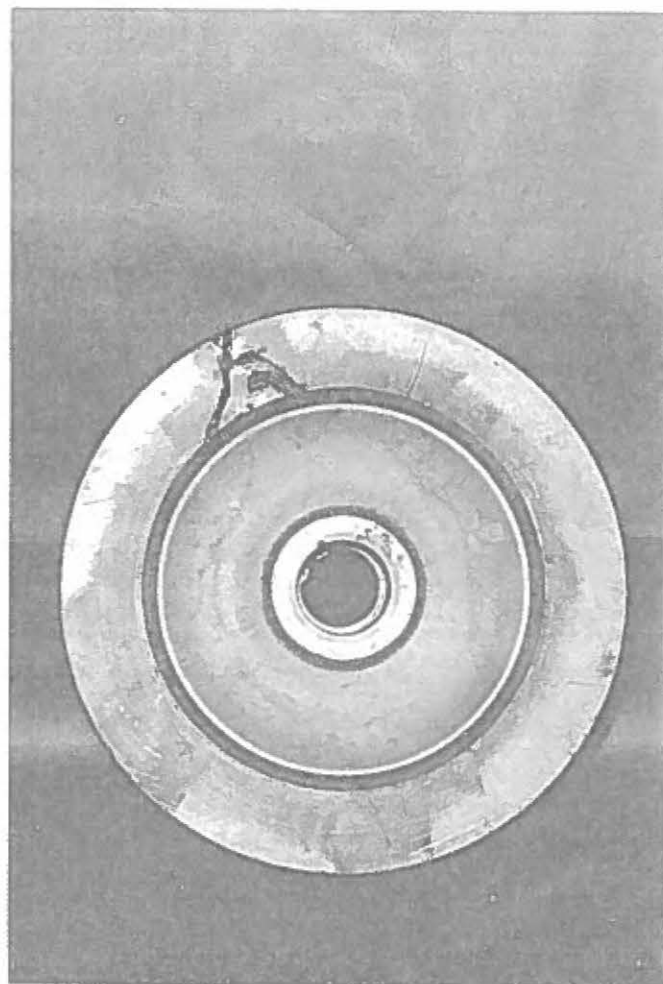
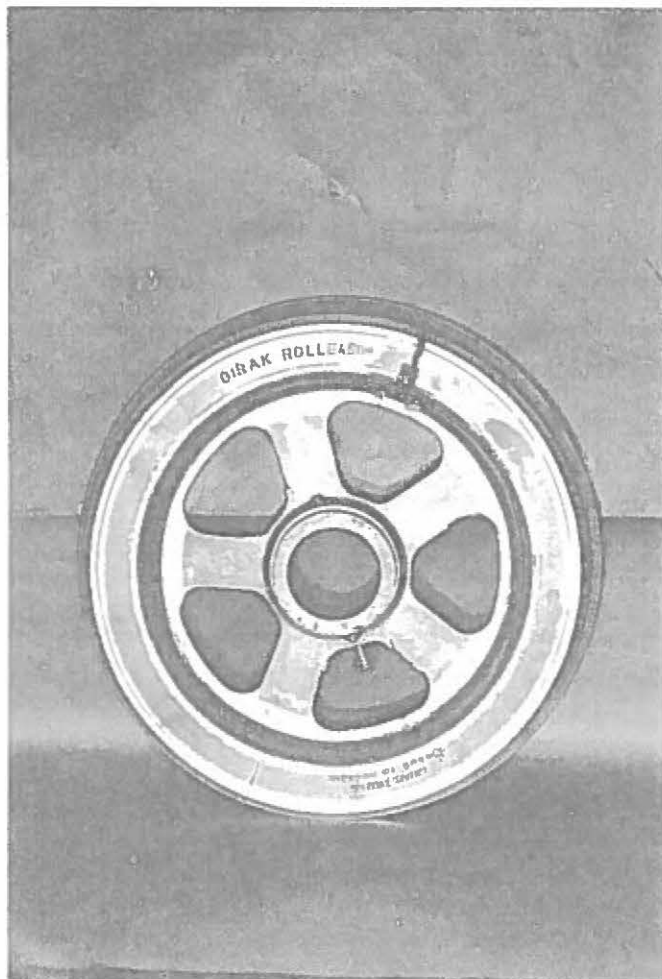
M04 DMS 3/120 RY 83

Spannungen in N/mm <sup>2</sup>						Bemerkung
Art der Beanspruchung	Meßort					
	M00	M01	M02	M03	M04	
2,0 kN	69	70	54	-54	$\sigma_1 = 4$ $\sigma_2 = -60$ $\sigma_v = 62$	statische Belastung
4,0 kN	73	76	59	-58	$\sigma_1 = 5$ $\sigma_2 = -64$ $\sigma_v = 66$	statische Belastung
6,0 kN	78	81	63	-61	$\sigma_1 = 6$ $\sigma_2 = -68$ $\sigma_v = 71$	statische Belastung
bel. Sessel 5,0 m/s	82 ±18	83 ±17	64 ±14	-42 ± 5		kuppelbare Viersesselbahn





Blockschaltbild der stationären und beweglichen  
Meßeinrichtung



**Bilder Nr. 1 bis 3:**

Drei verschiedene Seilrollen mit einseitig angegossenem Rollenbord an welchen durch dynamische Dehnungsmessungen die im Betrieb auftretenden Beanspruchungen ermittelt worden sind.

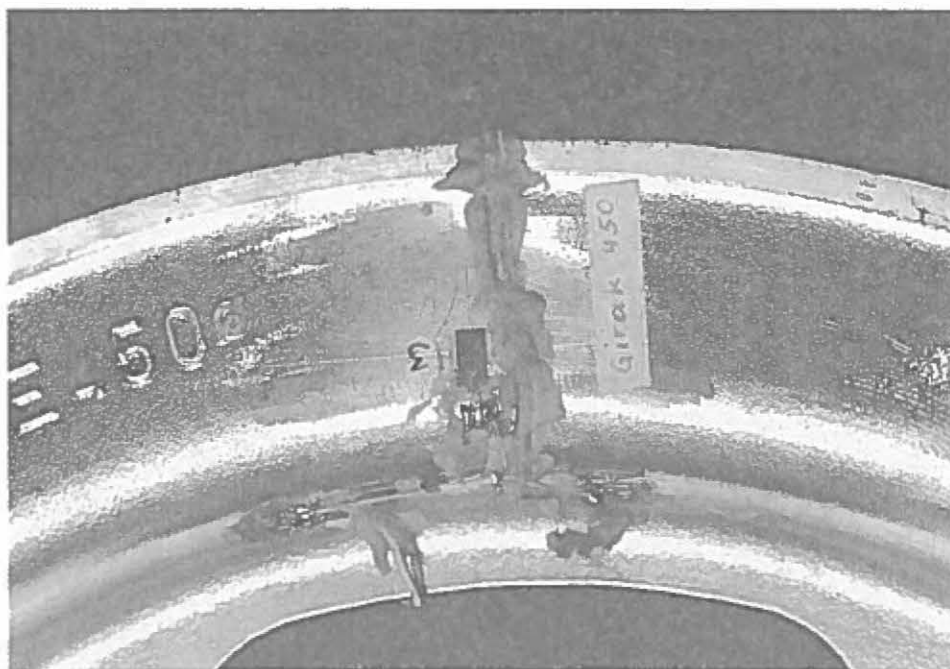


Bild 4: Lage des radial ausgerichteten Linear-DMS auf der Außenseite des angegossenen Rollenbords

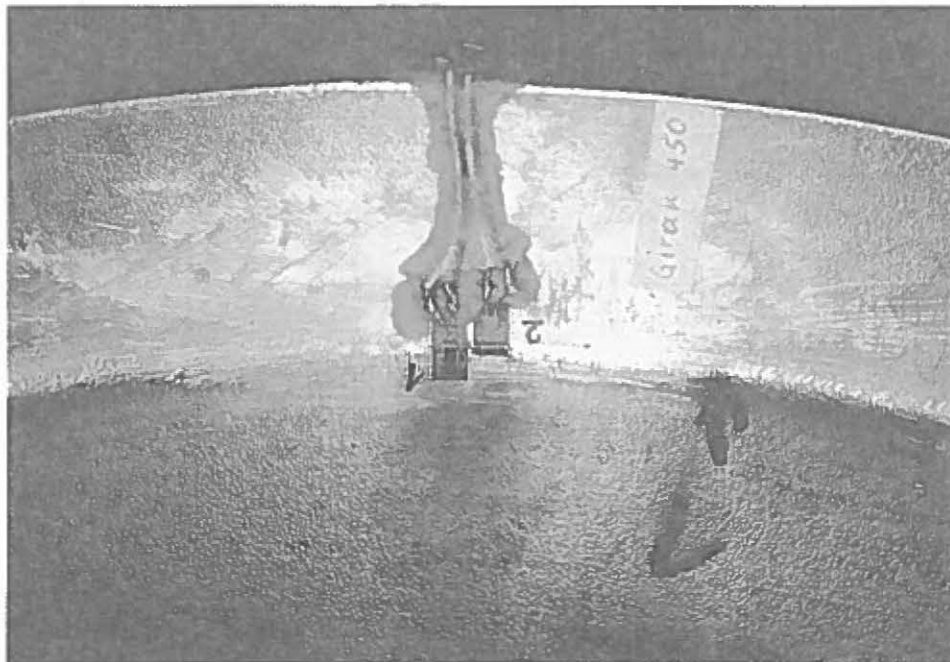
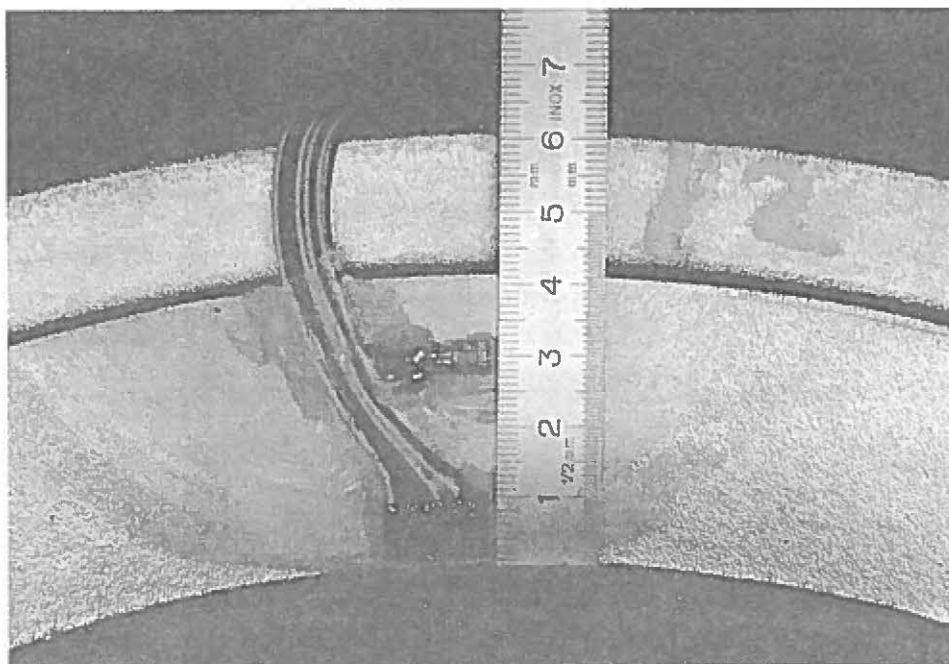
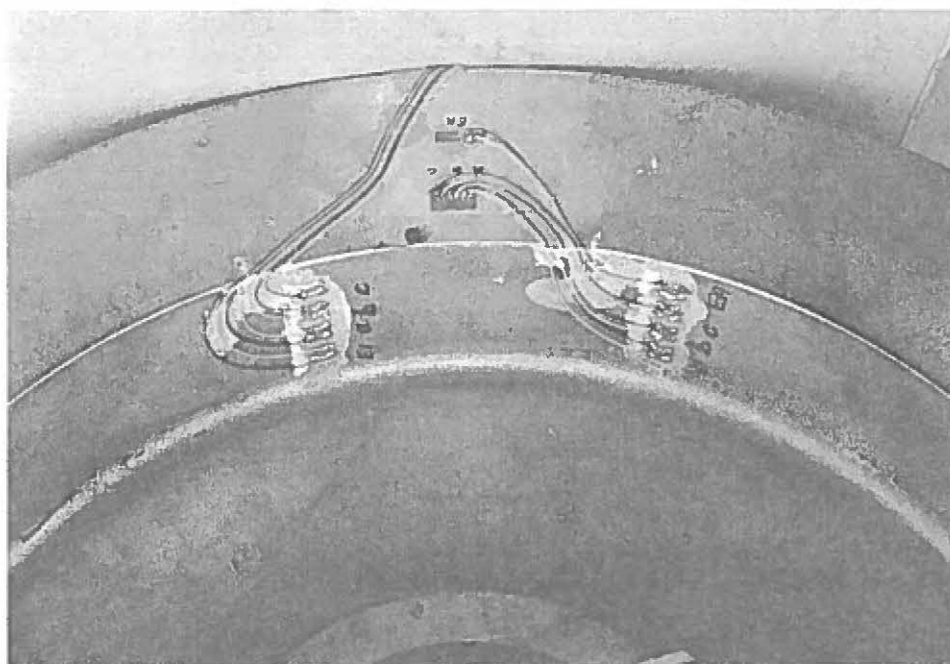


Bild 5: Auf der Innenseite des festen Rollenbords wurde ein Linear-DMS in den Krümmungsradius und ein weiterer am Übergang vom Radius zum geraden Teil des Rollenbords appliziert.

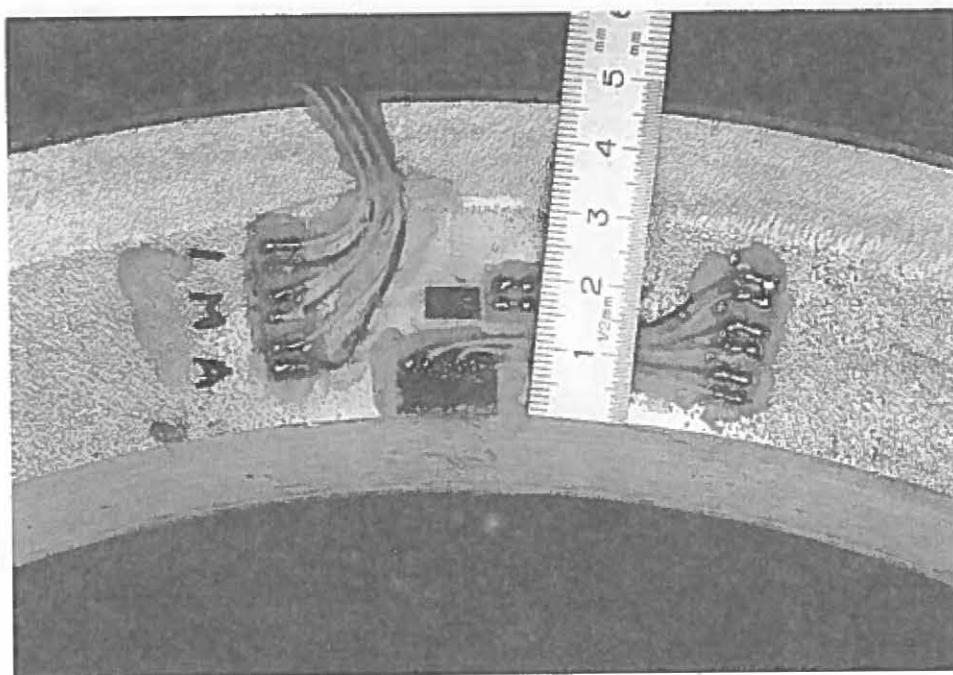




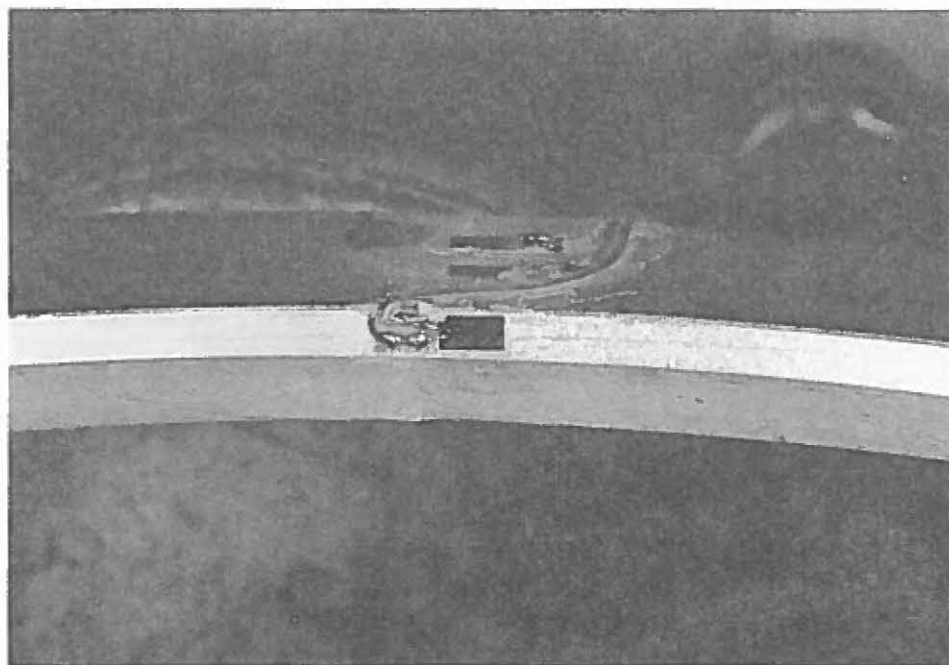
**Bild 6:** Lage einer DMS-Rosette und eines Linear-DMS an der Innenseite des festen Rollenbords



**Bild 7:** An der Außenseite des festen Rollenbords wurden genau gegenüber den innen applizierten DMS die gleichen DMS angebracht.



**Bild 8:** Am losen Rollenbord wurden an der Außenseite eine DMS-Rosette und ein Linear-DMS appliziert.



**Bild 9:** An der zylindrischen Innenfläche sowie auf der dem Einlagengummi zugewandten Seite wurden Linear-DMS in Umfangsrichtung angebracht.

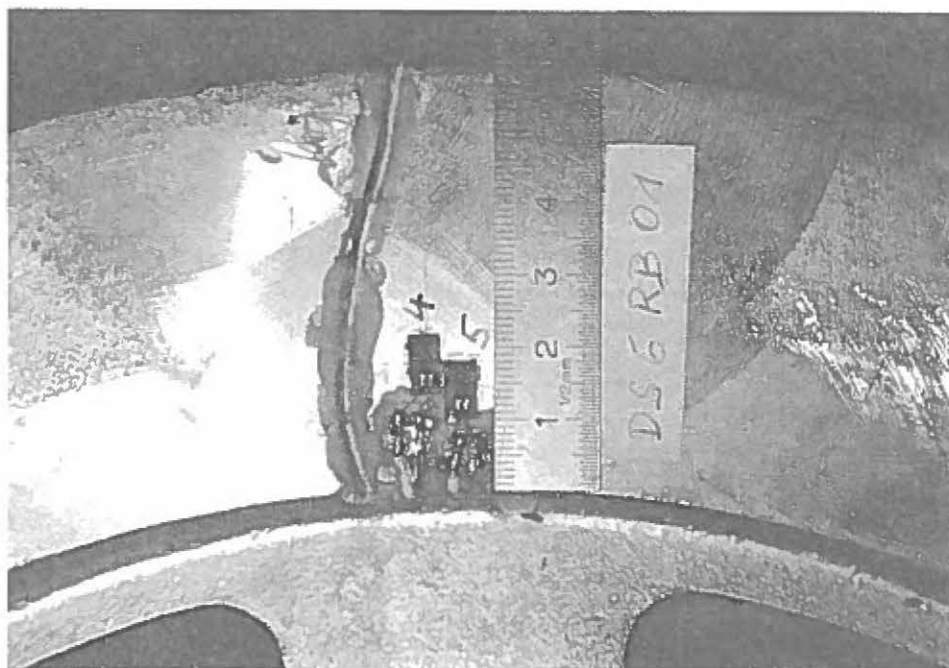


Bild 10: Bei der Seilrolle mit Speichen wurden sowohl oberhalb der Speiche als auch zwischen den Speichen im Bereich des festen Rollenbords die Dehnungen mit Linear-DMS gemessen.

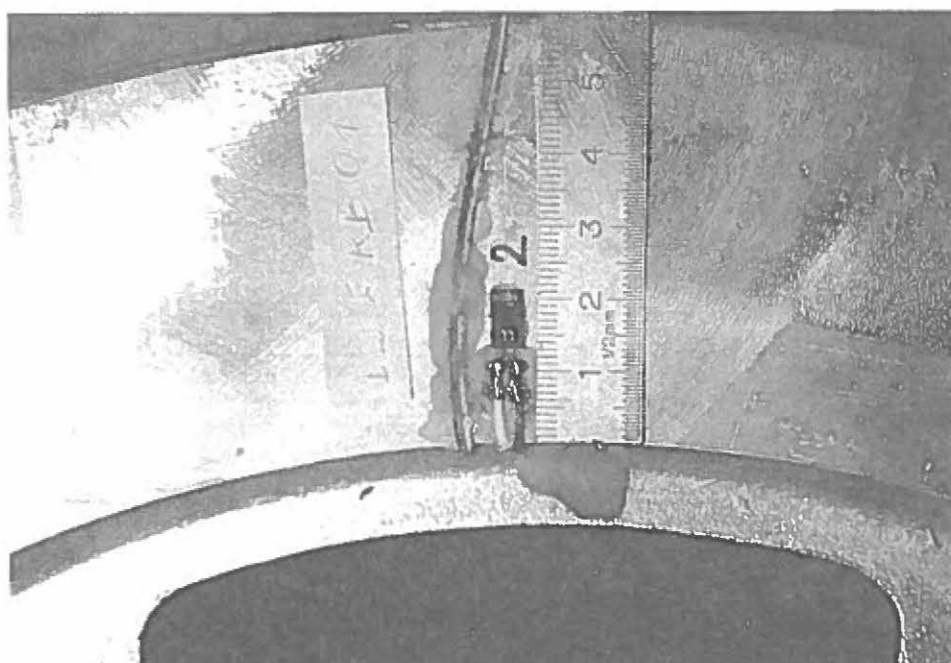
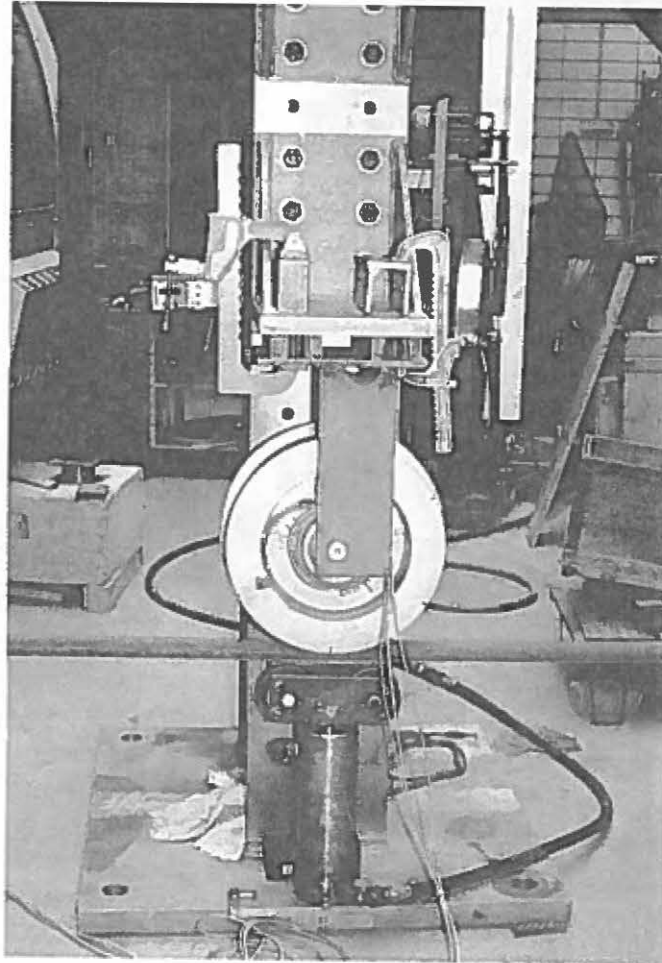


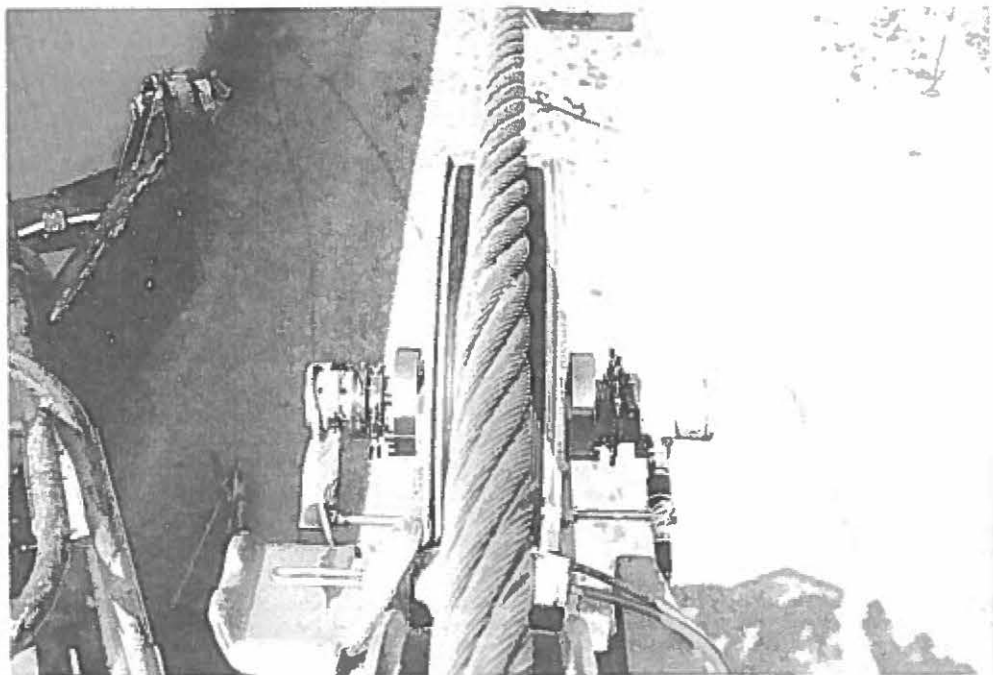
Bild 11: Auf der Innenseite des Rollenbords wurden gegenüber den außen liegenden Linear-DMS ebenso Linear-DMS mit radial ausgerichteten Meßgittern appliziert.



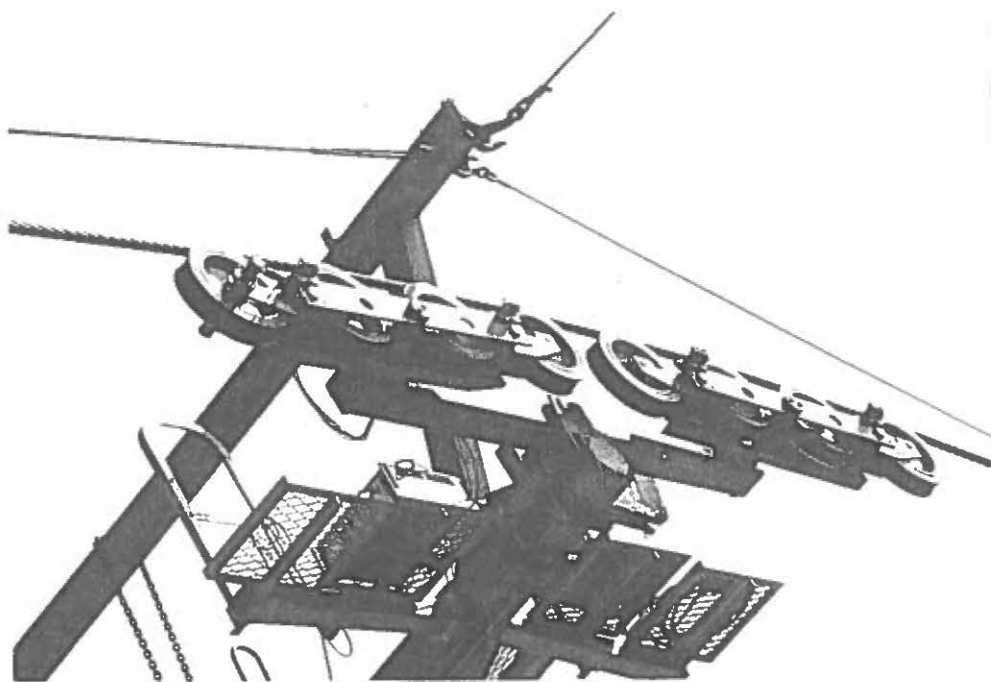
**Bild 12:**  
Versuchsstand im Labor;

Mit einem Hydraulikzylinder könnten verschiedene Radlasten erzeugt und konstant gehalten werden. Über ein Rohr das im Durchmesser dem Seildurchmesser, für welchen die Seilrolle gedacht war, angepaßt worden ist, wurde die Prüfkraft in die Seilrolle eingeleitet. Die Abziehggeschwindigkeit des Rohres betrug  $0,2 \text{ m/s}$ . Aufgrund der beschränkten Länge konnten jedoch nur etwas mehr als drei volle Umläufe der Seilrolle ausgeführt werden.





**Bild 13:** Zur Übertragung der Meßsignale von der Seilrolle zum Meßverstärker dienten zwei Schleifringköpfe SK 6 und SK 12 der Fa. Hottinger



**Bild 14:** Die Übertragung der Meßsignale von der Dehnungsmeßbrücke zur Feststation erfolgte mit Hilfe einer Telemetrieanlage

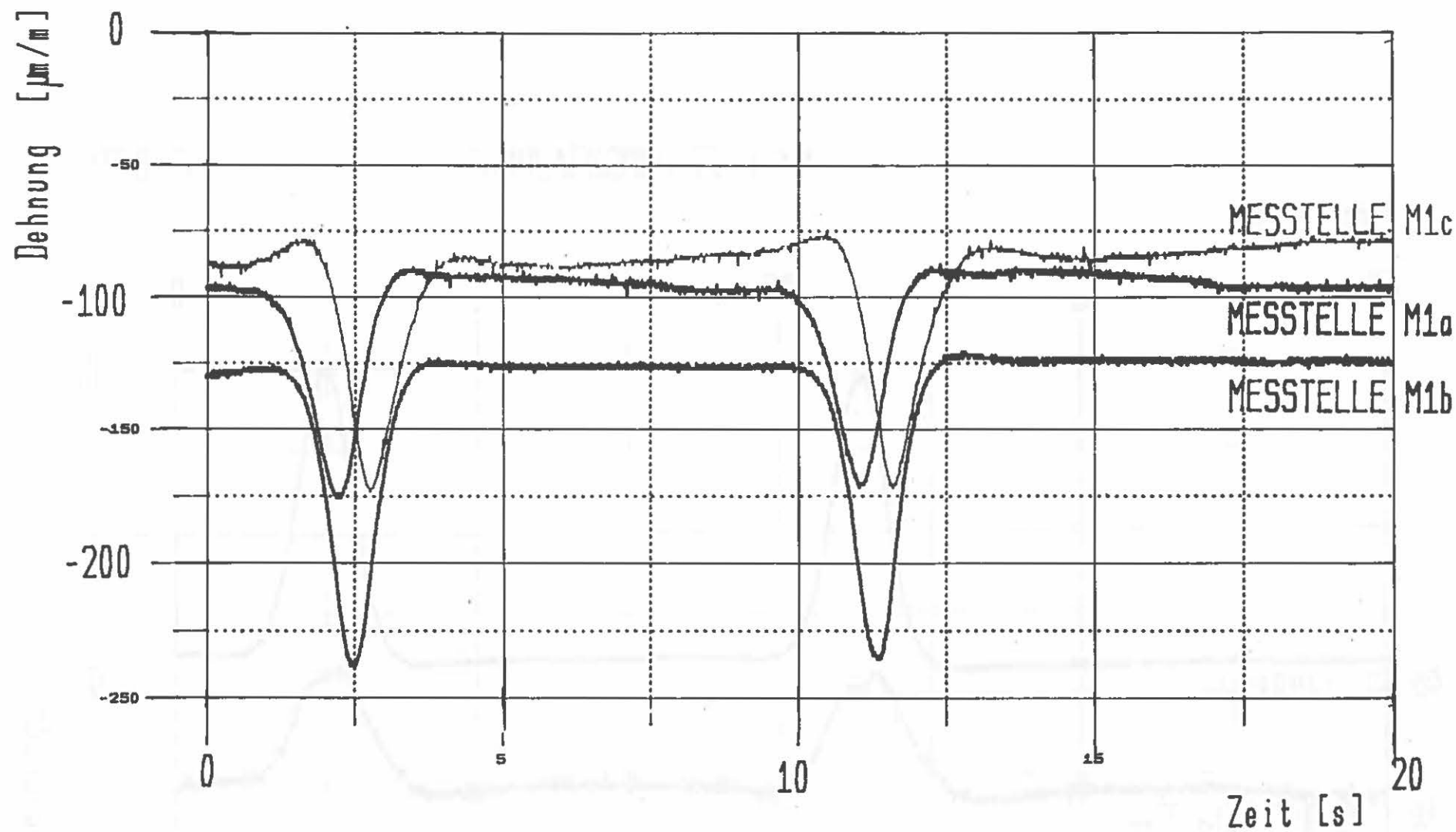
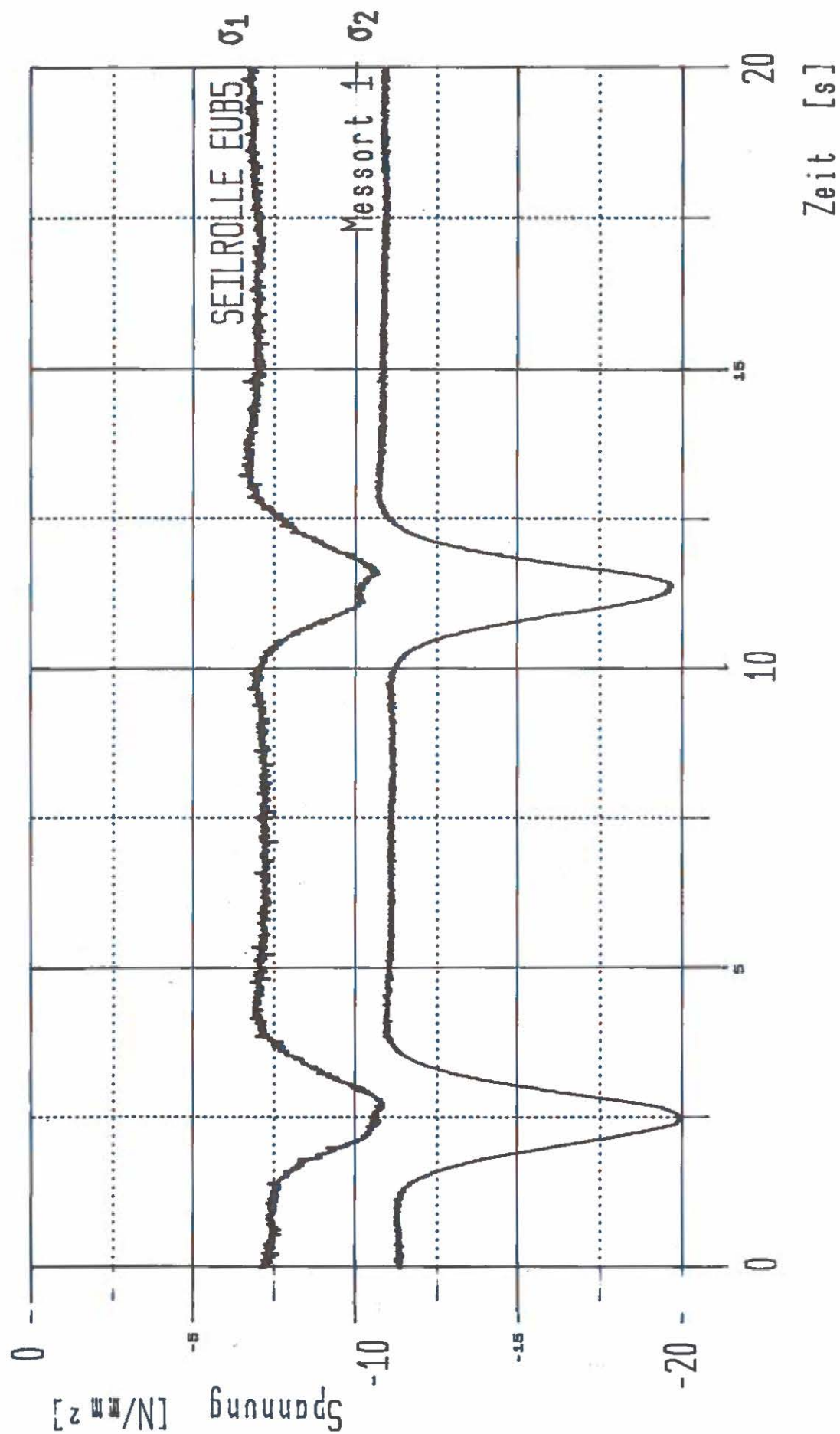


BILD 15:

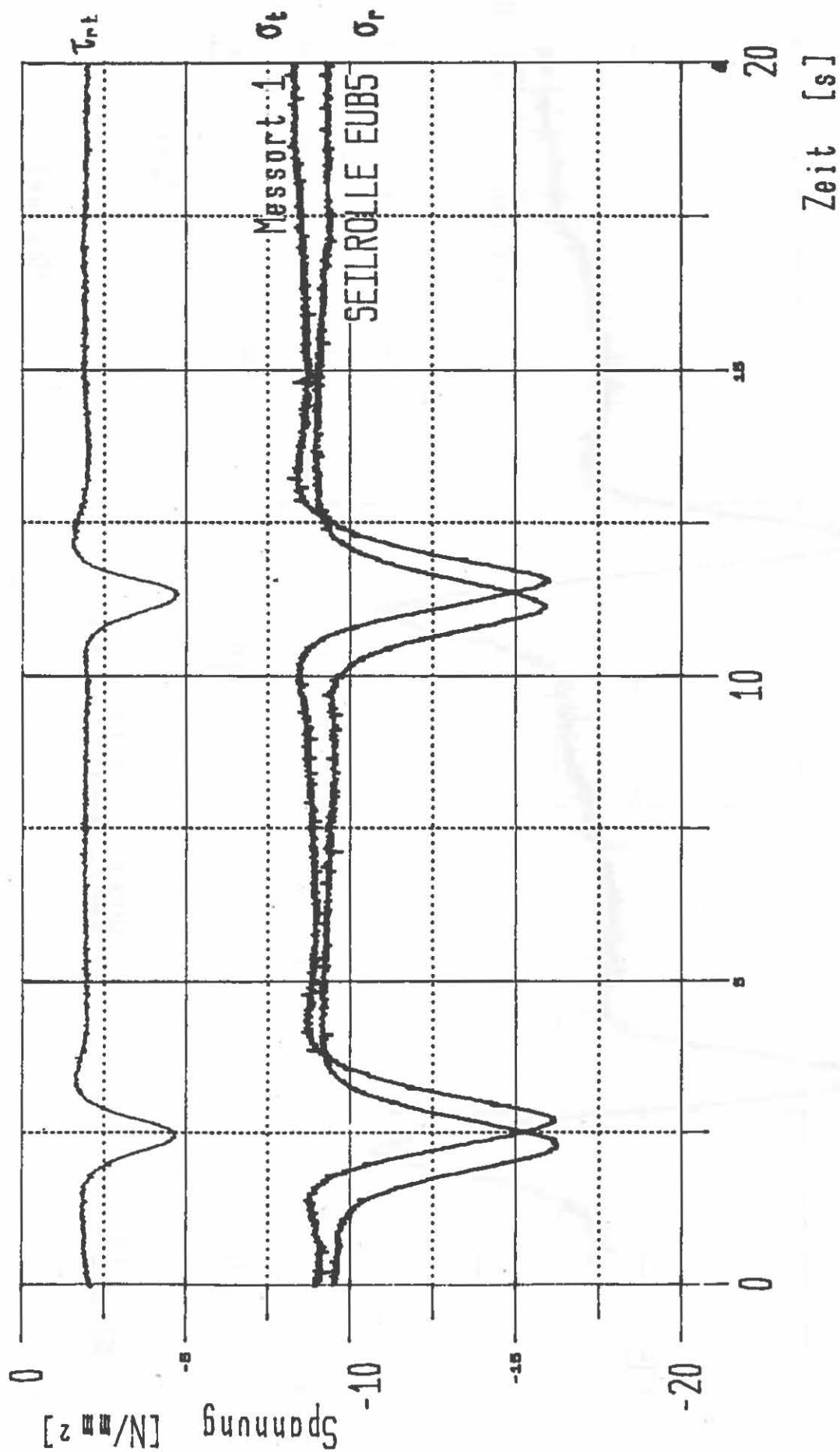
LABORVERSUCH 11.4 kN

SEILROLLE EUB5



LABORVERSUCH 11,4 kN

BILD 16:

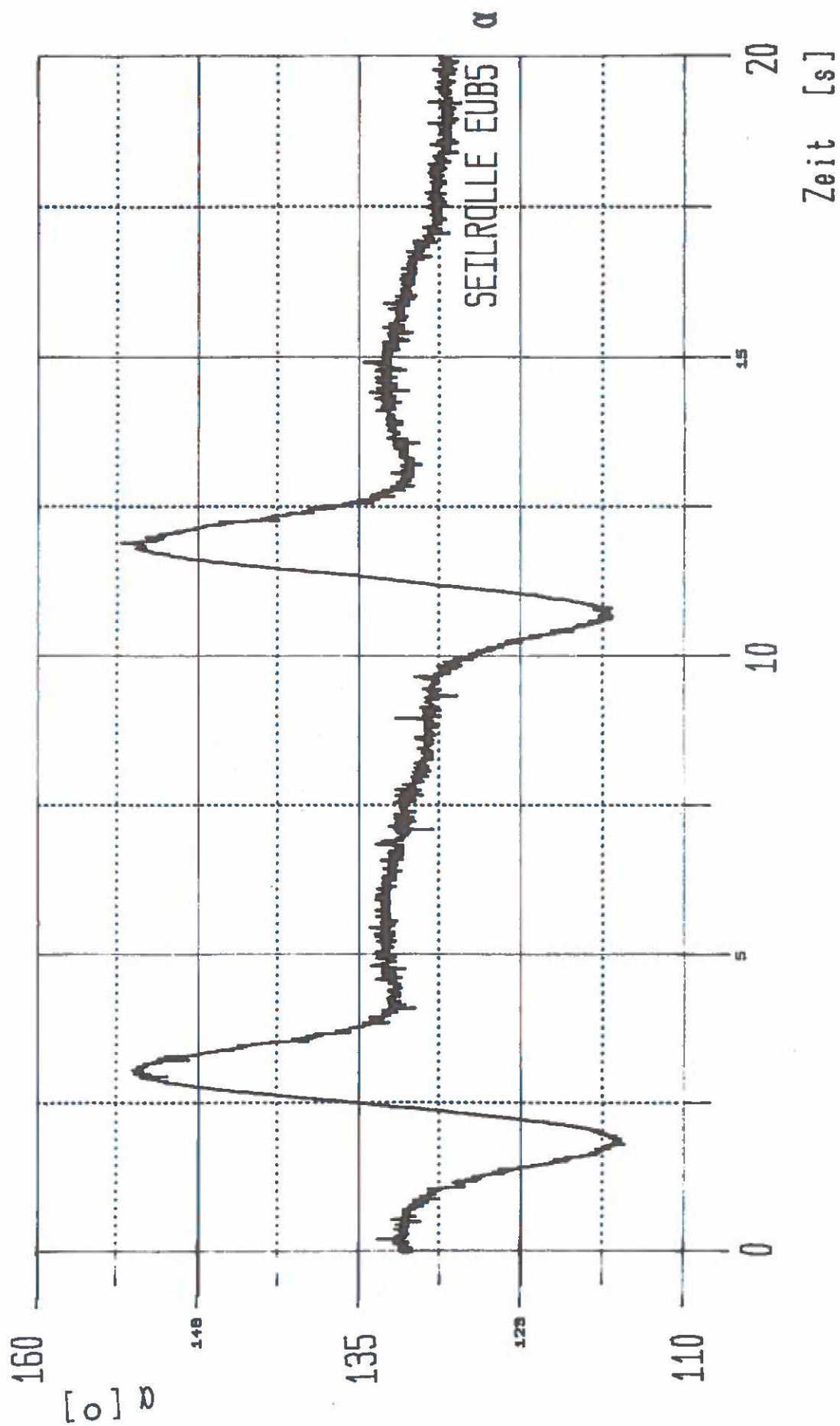


LABORVERSUCH 11.4 kN

BILD 17:



## Messort 1



LABORVERSUCH 11.4 kN

BILD 18:

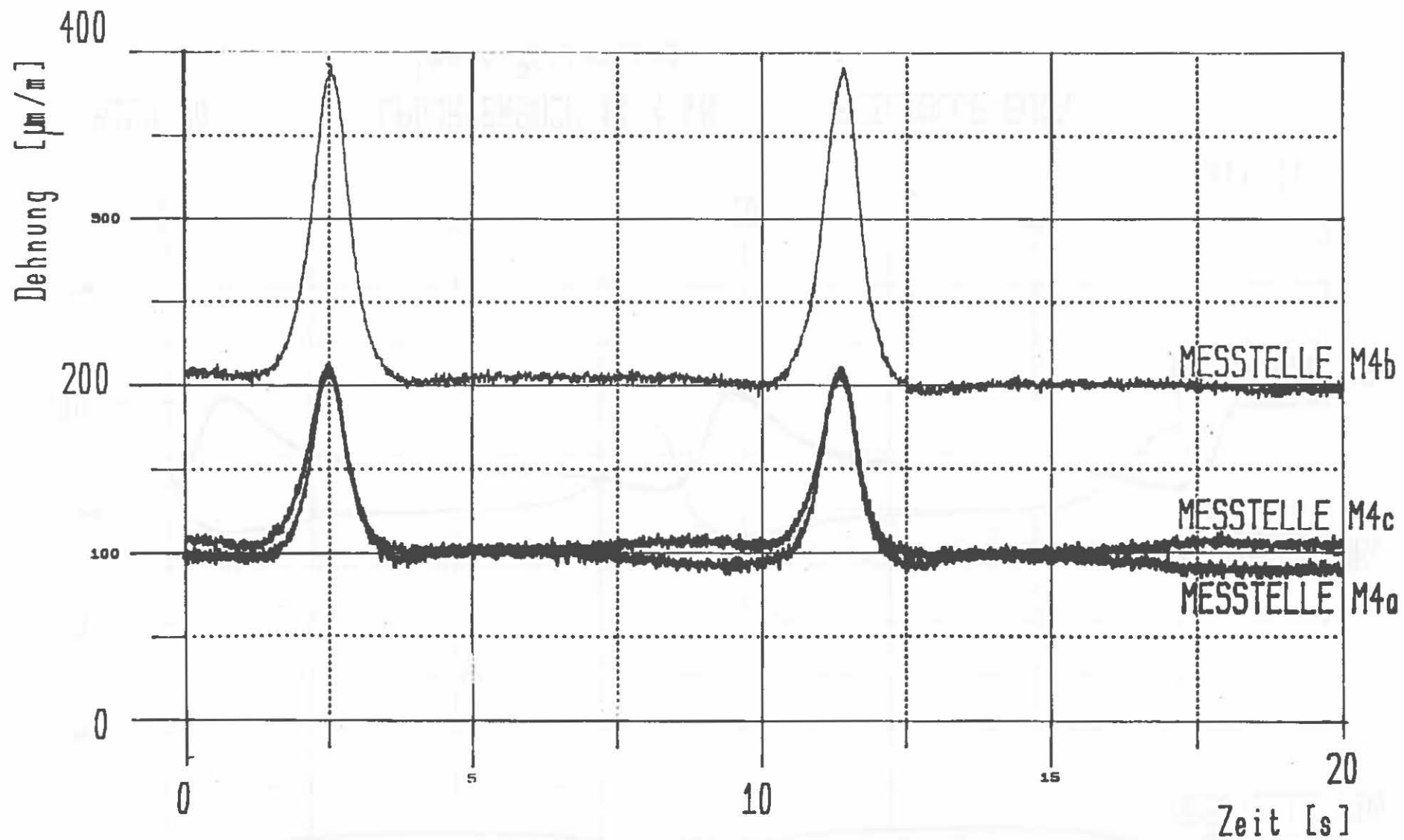


BILD 19:

LABORVERSUCH 11,4 kN

SEILROLLE EUB5

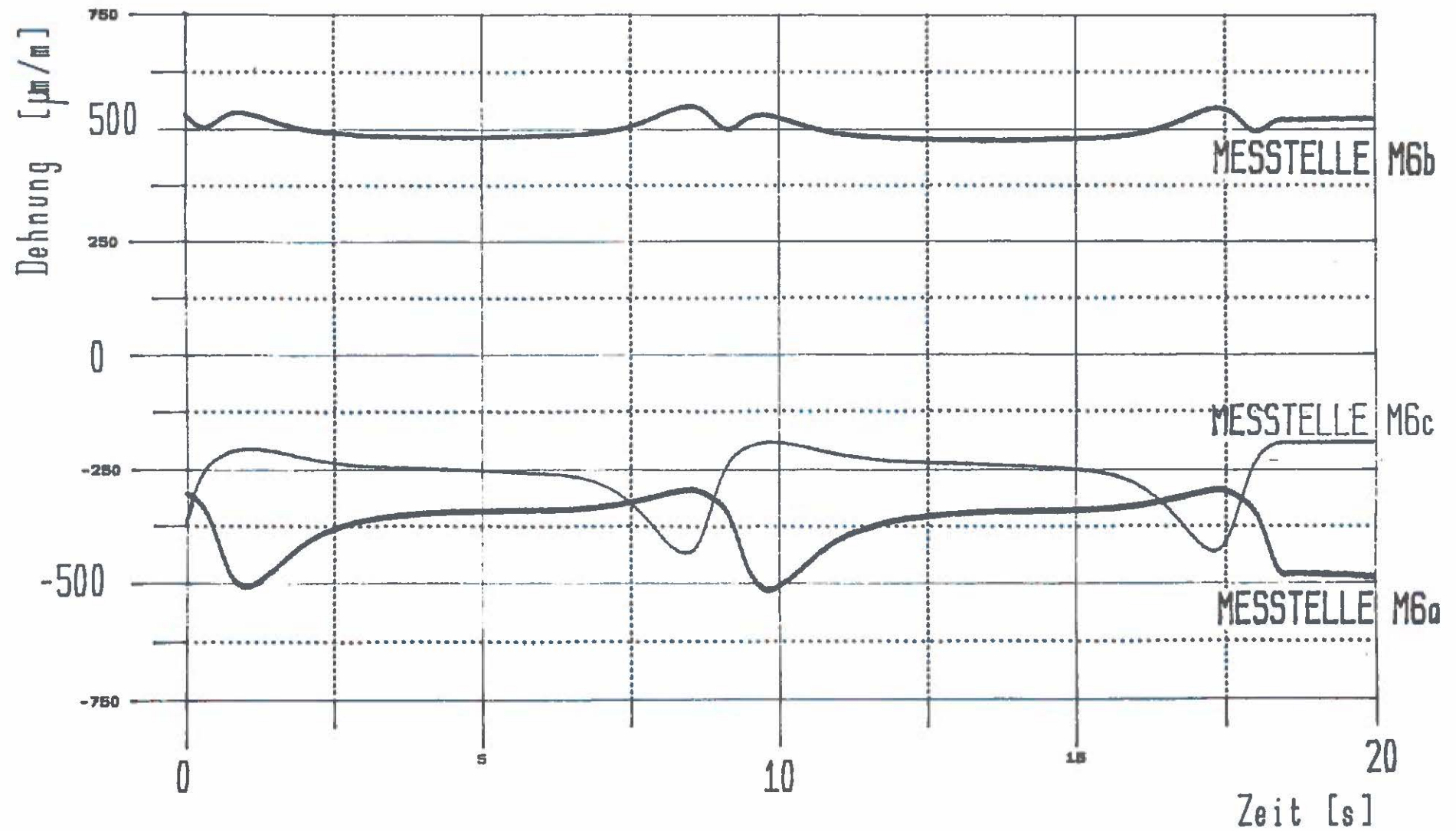


BILD 20:

LABORVERSUCH 11,4 kN  
loser Rollenbord

SEILROLLE EUB5

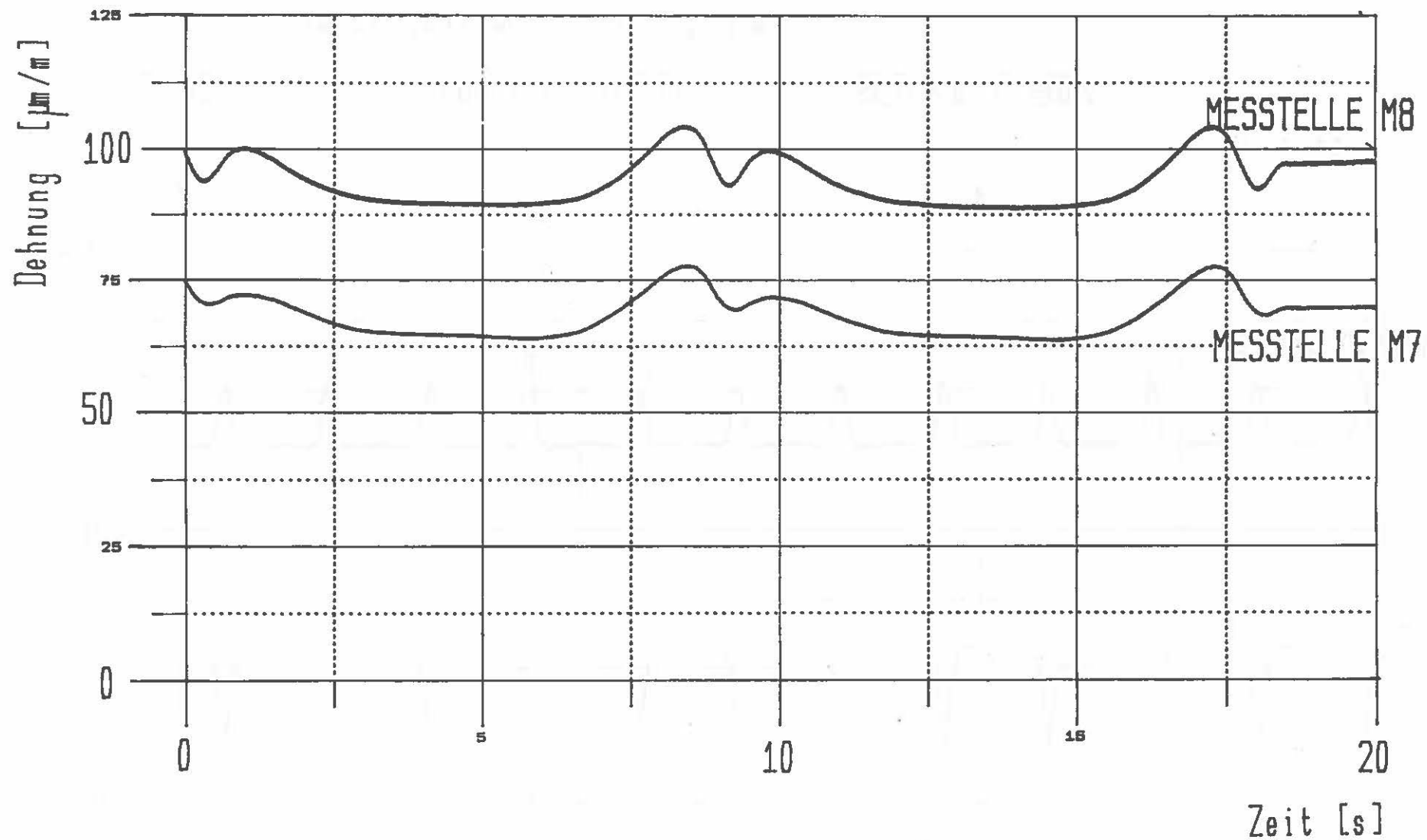


BILD 21:

LABORVERSUCH 11,4 kN  
loser Rollenbord

SEILROLLE EUB5



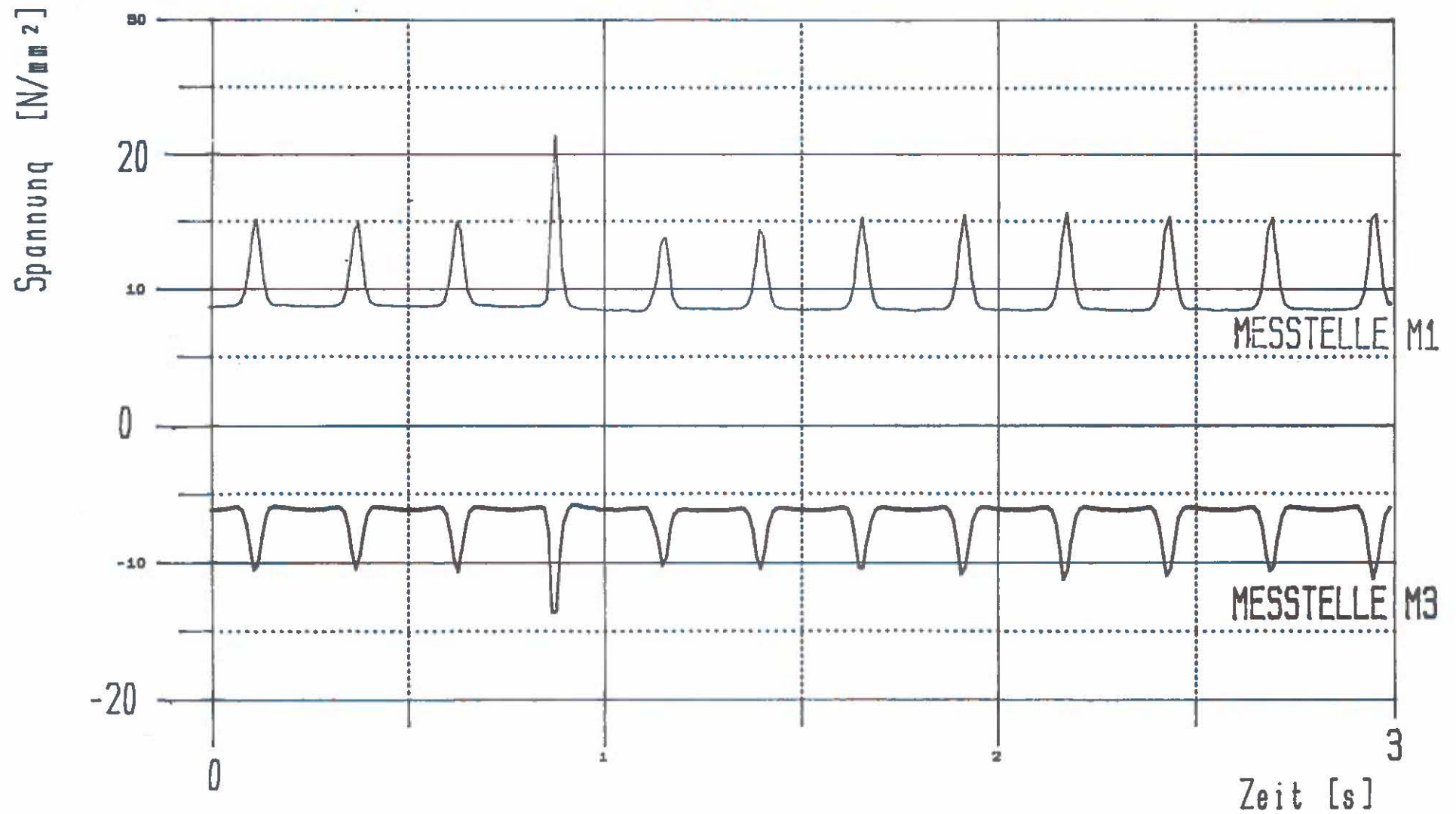


BILD 22:

UMLAUFBAHN (6EUB)

SEILROLLE EUB4

leere Kabinen

 $v = 4.8 \text{ m/s}$

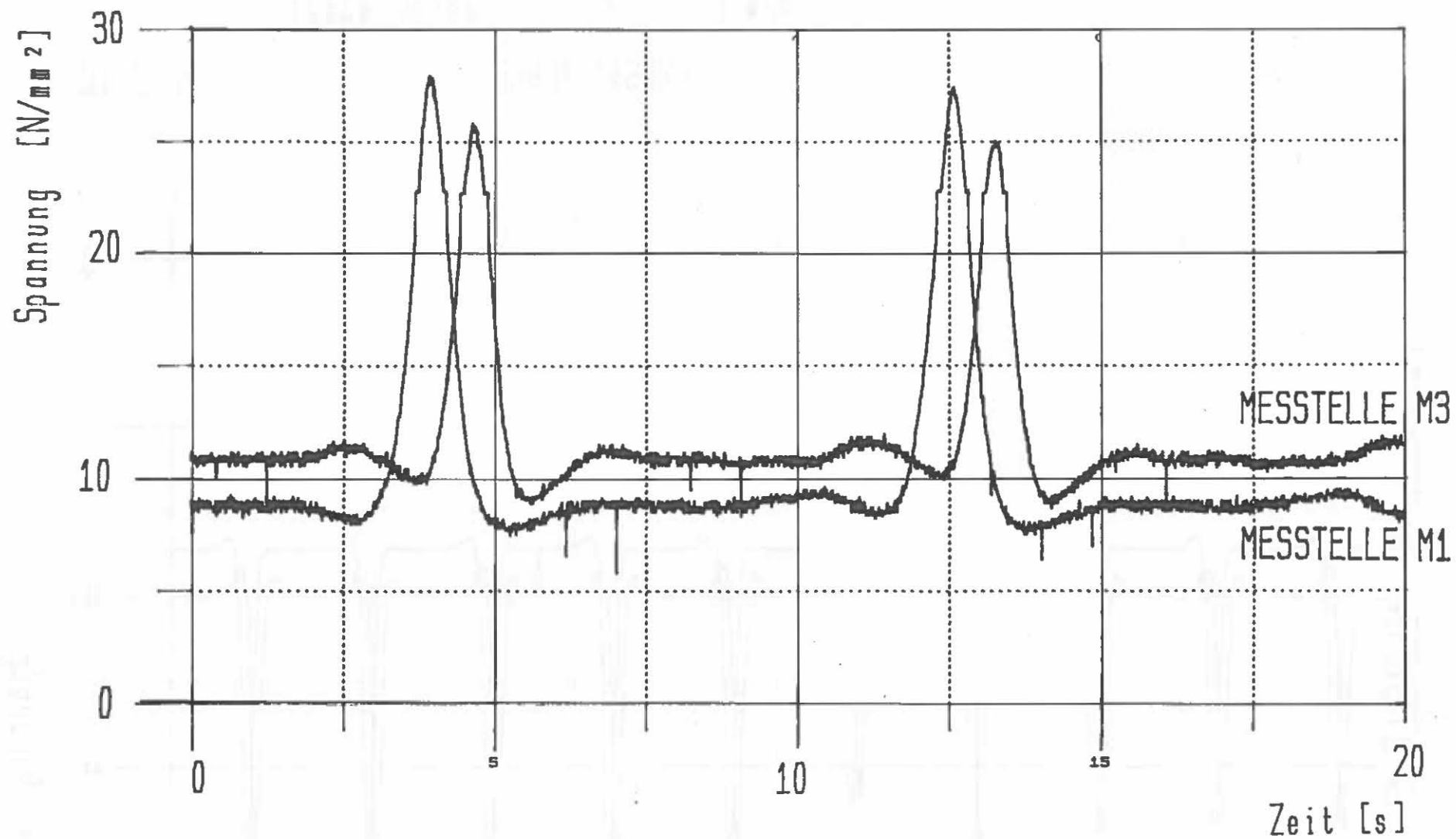


BILD 23:

LABORVERSUCH 6.0 kN

SEILROLLE DS6

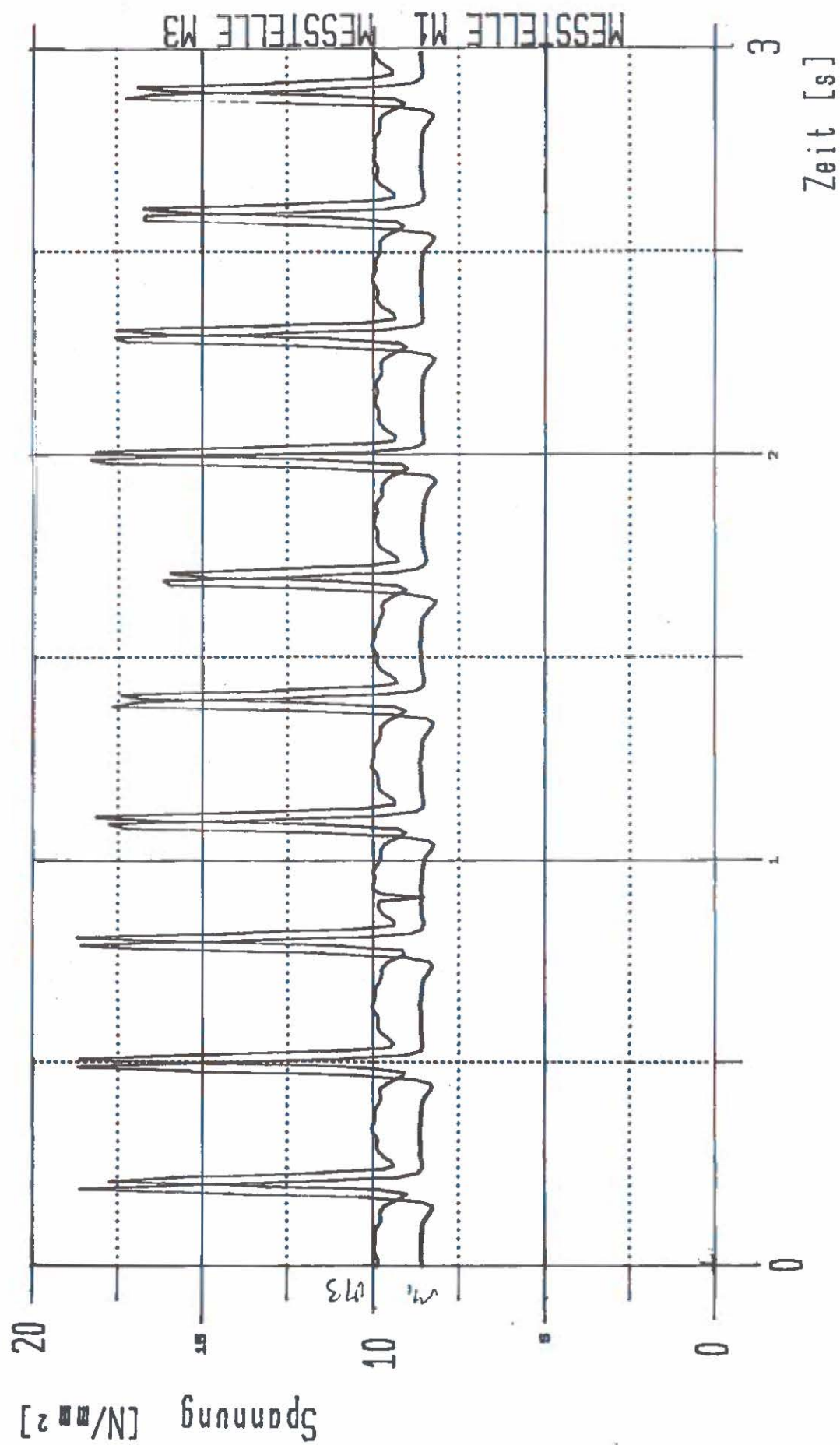


BILD 24: SESELBAHN (4SBK) SEILROLLE D56

leere Sessel  $v = 5.0 \text{ m/s}$

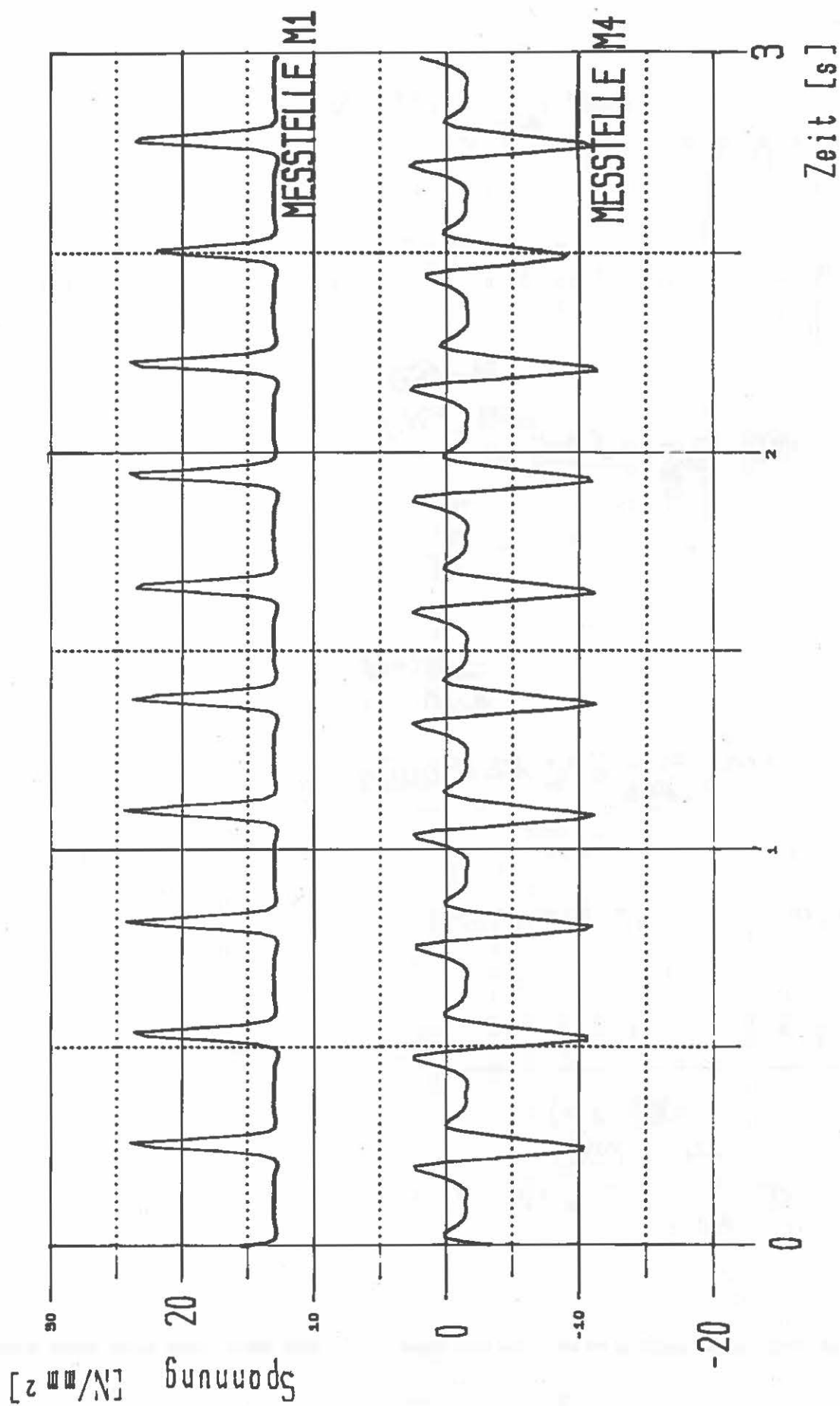


BILD 25: SESELBAHN (4SBK) SEILROLLE 450

beladene Sessel  $v = 5.0 \text{ m/s}$

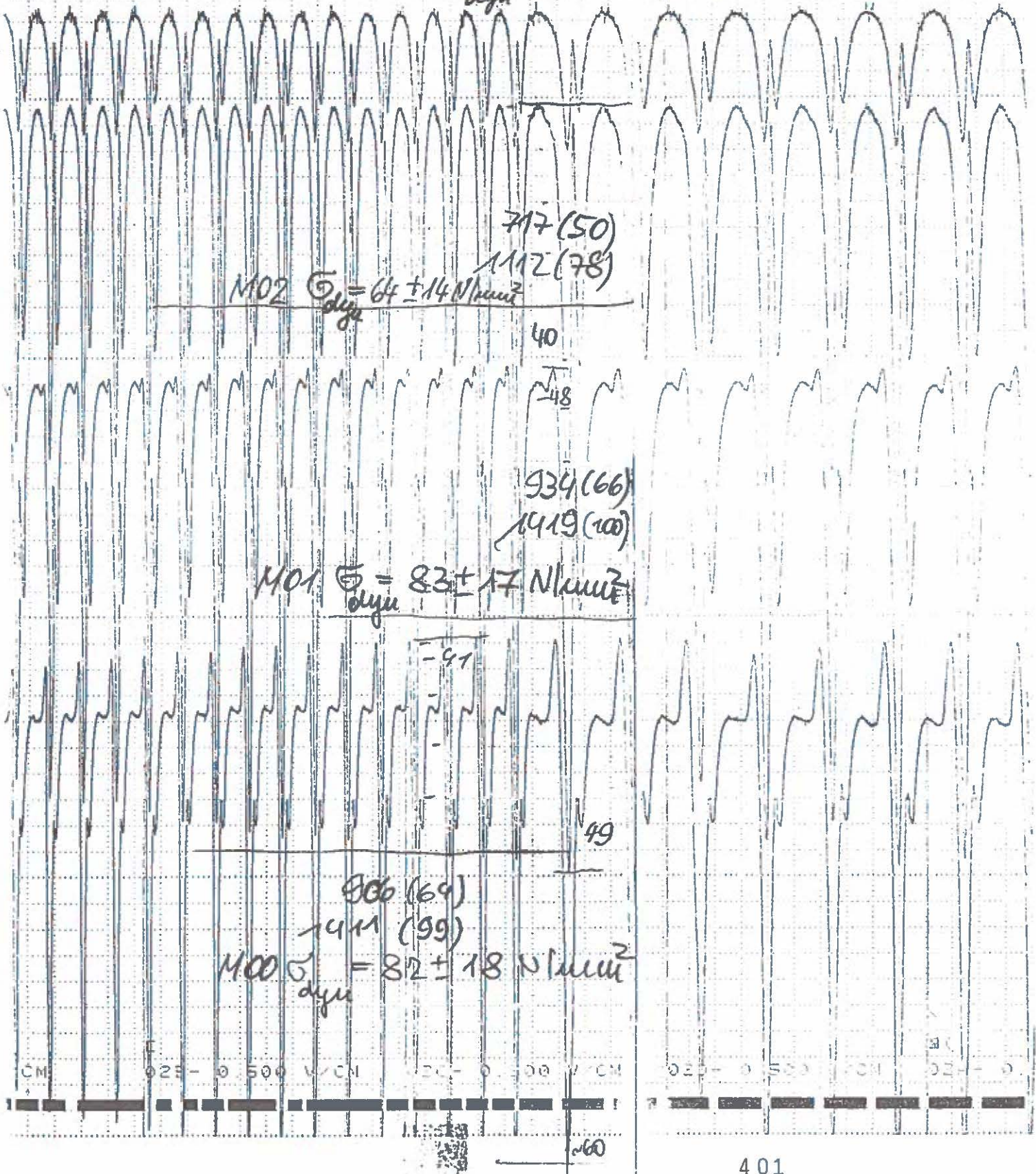


$$M03 \sigma_{dyn} = -42 \pm 5 \text{ N/mm}^2$$

$$M02 \sigma_{dyn} = 64 \pm 14 \text{ N/mm}^2$$

$$M01 \sigma_{dyn} = 83 \pm 17 \text{ N/mm}^2$$

$$M00 \sigma_{dyn} = 82 \pm 18 \text{ N/mm}^2$$



401

Bild 26: Dehnungsverlauf an den Meßorten M00 bis M03 an der Bordscheibe; Lage der DMS auf Seite 14;

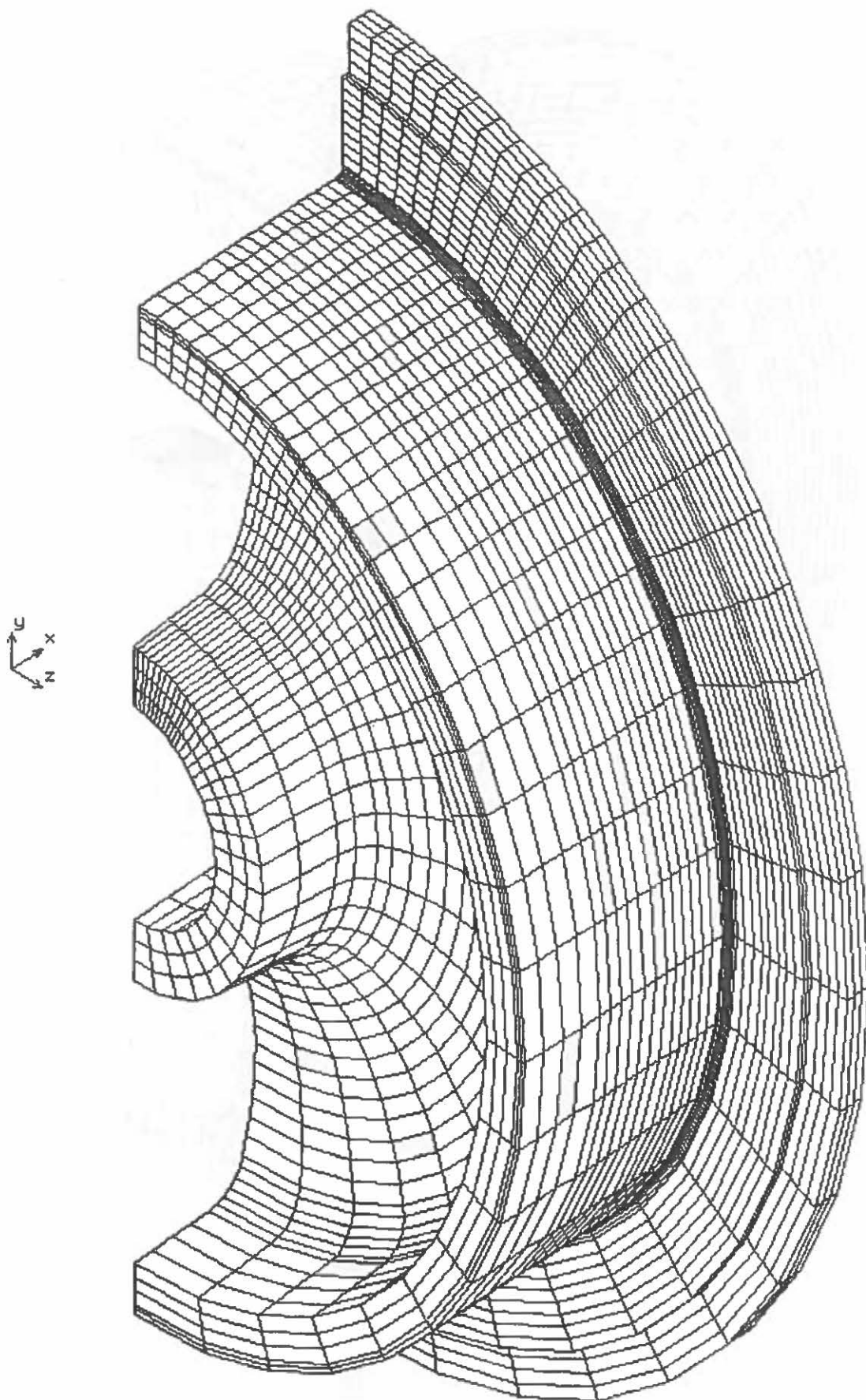


Bild 27: FE-Netz der Seilrolle EUB5 vom losen Rollenbord aus gesehen



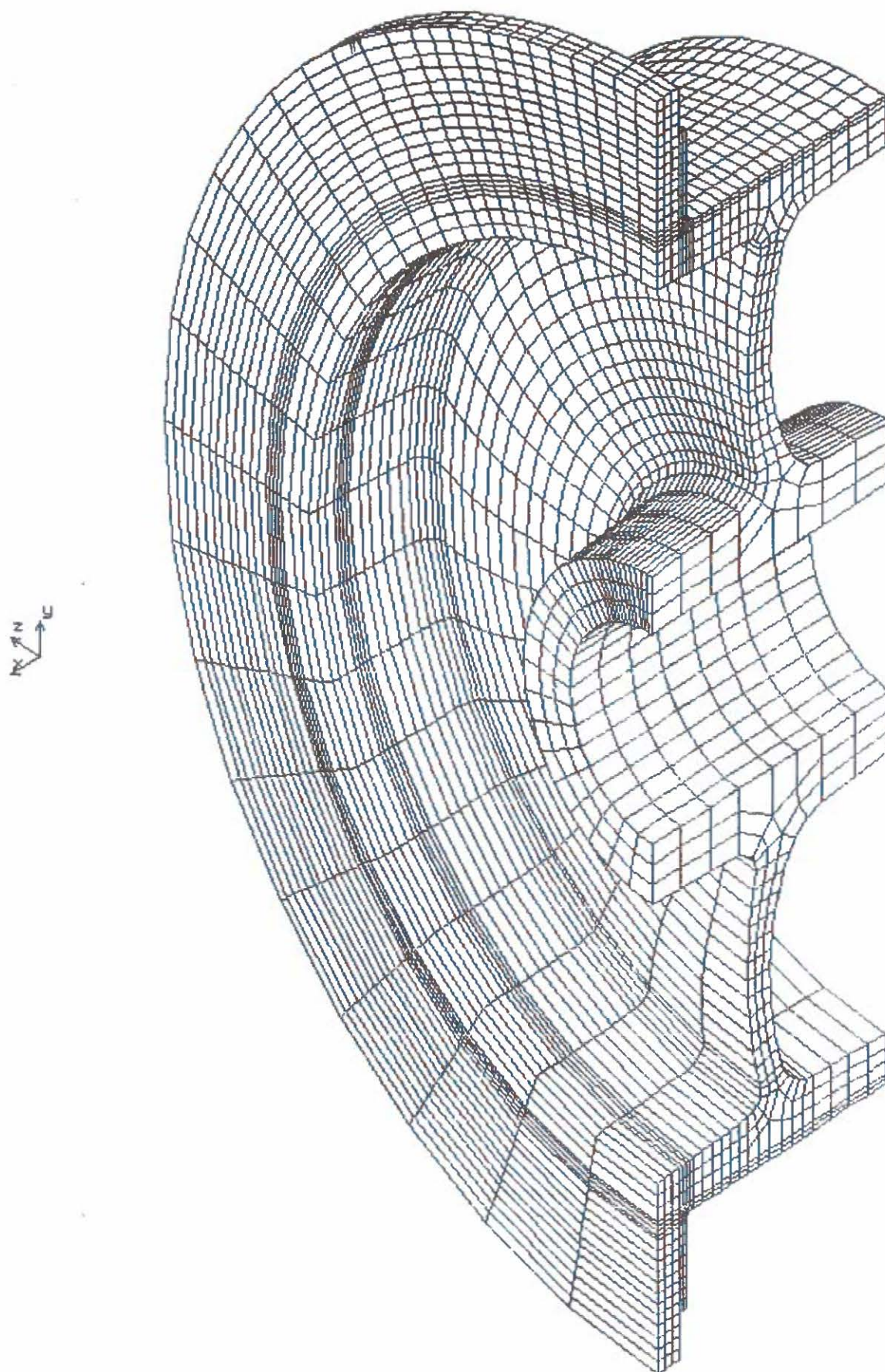
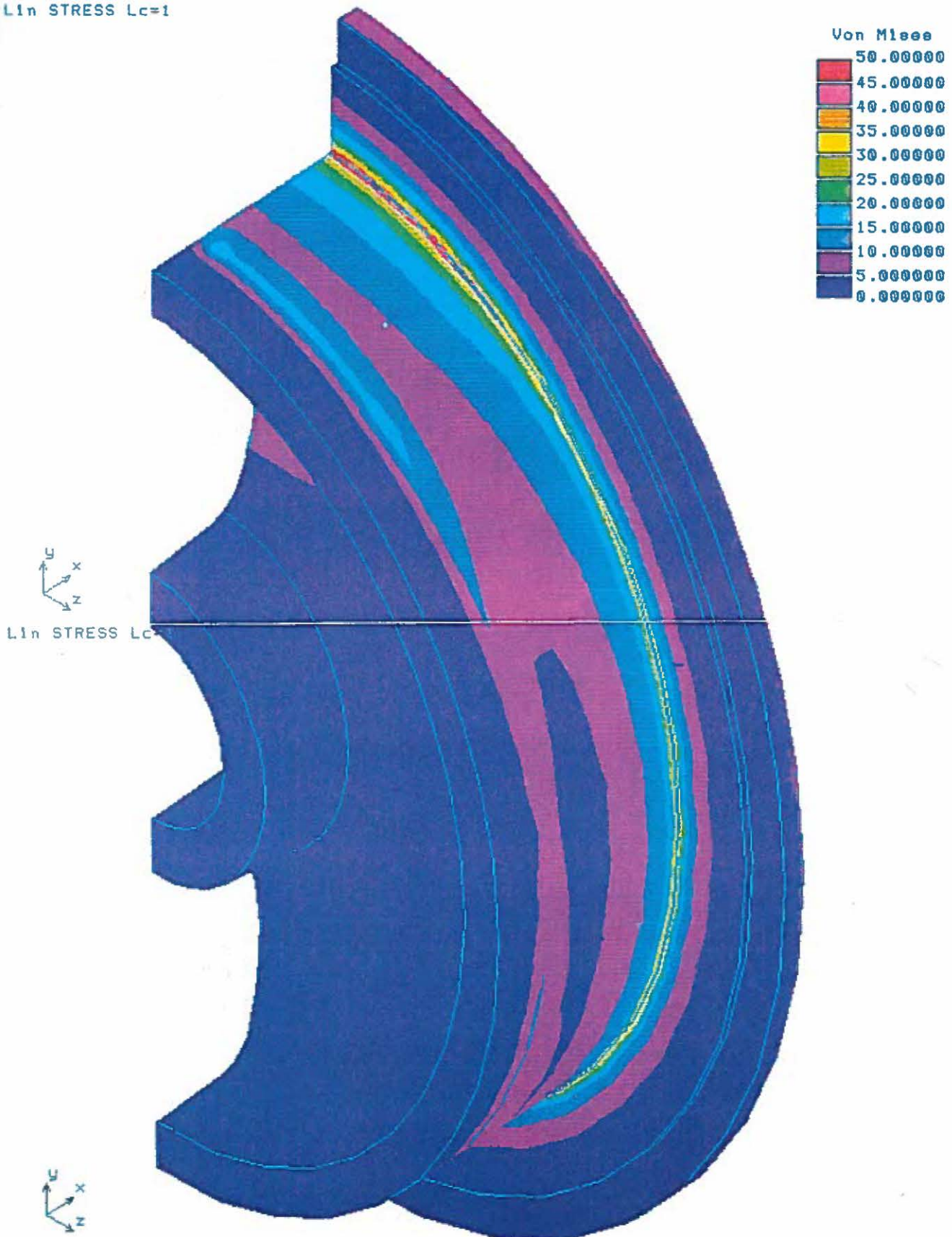


Bild 28: FE-Netz vom angegossenen Rollenbord aus gesehen



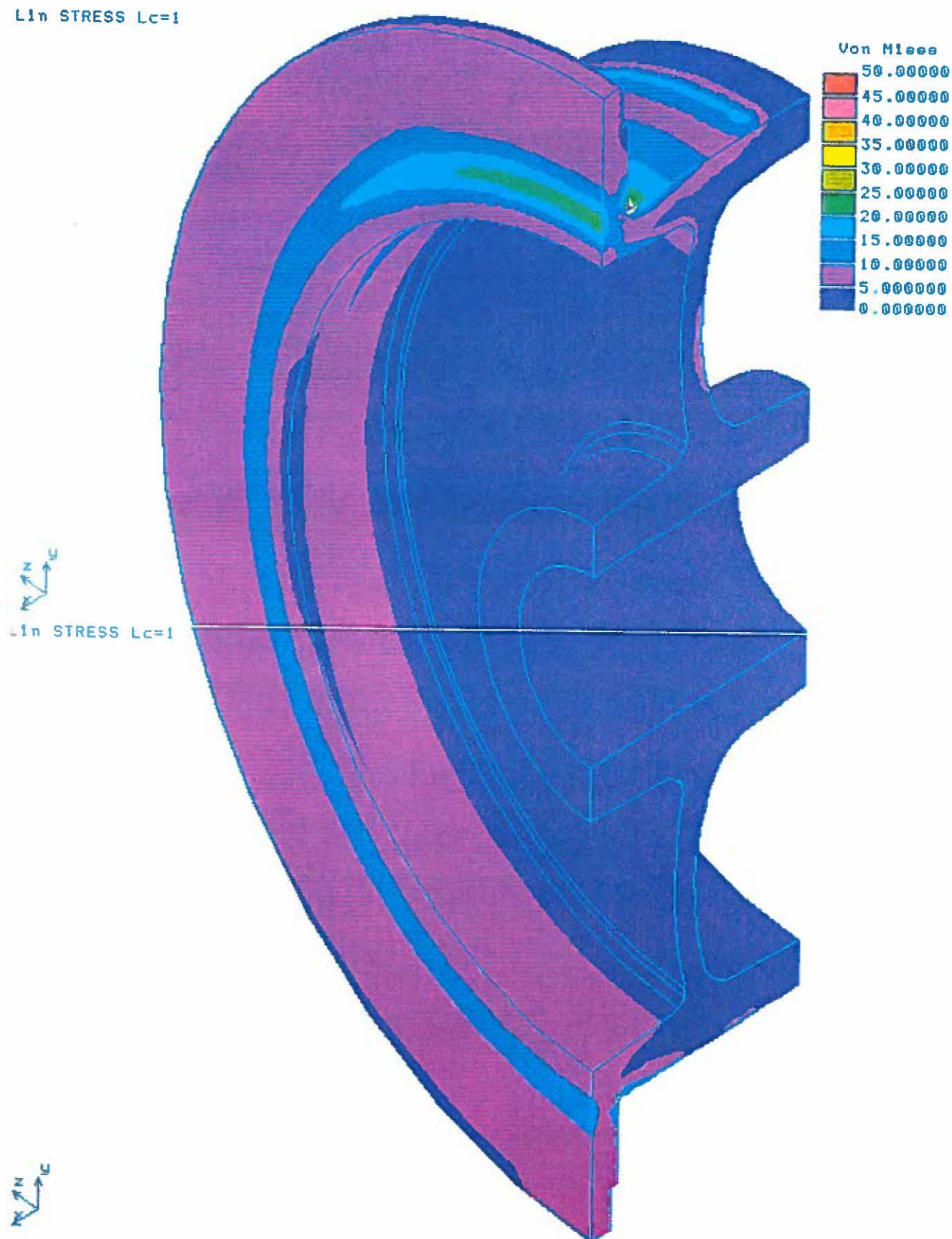
Lin STRESS Lc=1



**Bild 29:** Berechnung, Seilrolle EUB5;  
 Vergleichsspannung nach v. Mises;  
 Lastannahmen: Vorspannen mit 60 kN und auf einen Bereich von  $2 \times 30^\circ$  eine auf die Nabe wirkende, überlagerte Radlast von 11 kN. Darstellung der Ergebnisse vom losen Rollenbord aus gesehen;



Lin STRESS Lc=1



**Bild 30:** Berechnung, Seilrolle EUB5;  
 Vorspannung 60 kN - Radlast 11 kN;  
 Ergebnisse der Berechnung der Vergleichsspannung nach  
 v. Mises von der Seite des angegossenen Rollenbord aus  
 gesehen;