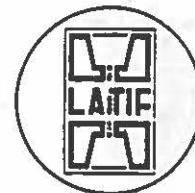




LABORATORIO TECNOLOGICO IMPIANTI A FUNE - TRENTO



SEMINAR

"SICHERHEITSMASSNAHMEN BEI SEILROLLEN FÜR EINSEILBAHNEN"

27. April 1994

**Politechnikum Zürich -
Auditorium Maximum**

Seilrollen - Dehnmeßproben bei Seilrollen in Leichtmetall

Dr. Ing. Fabio Degasperi

**L.A.T.I.F. - Laboratorio Tecnológico Impianti a Fune
Trento - Italia**

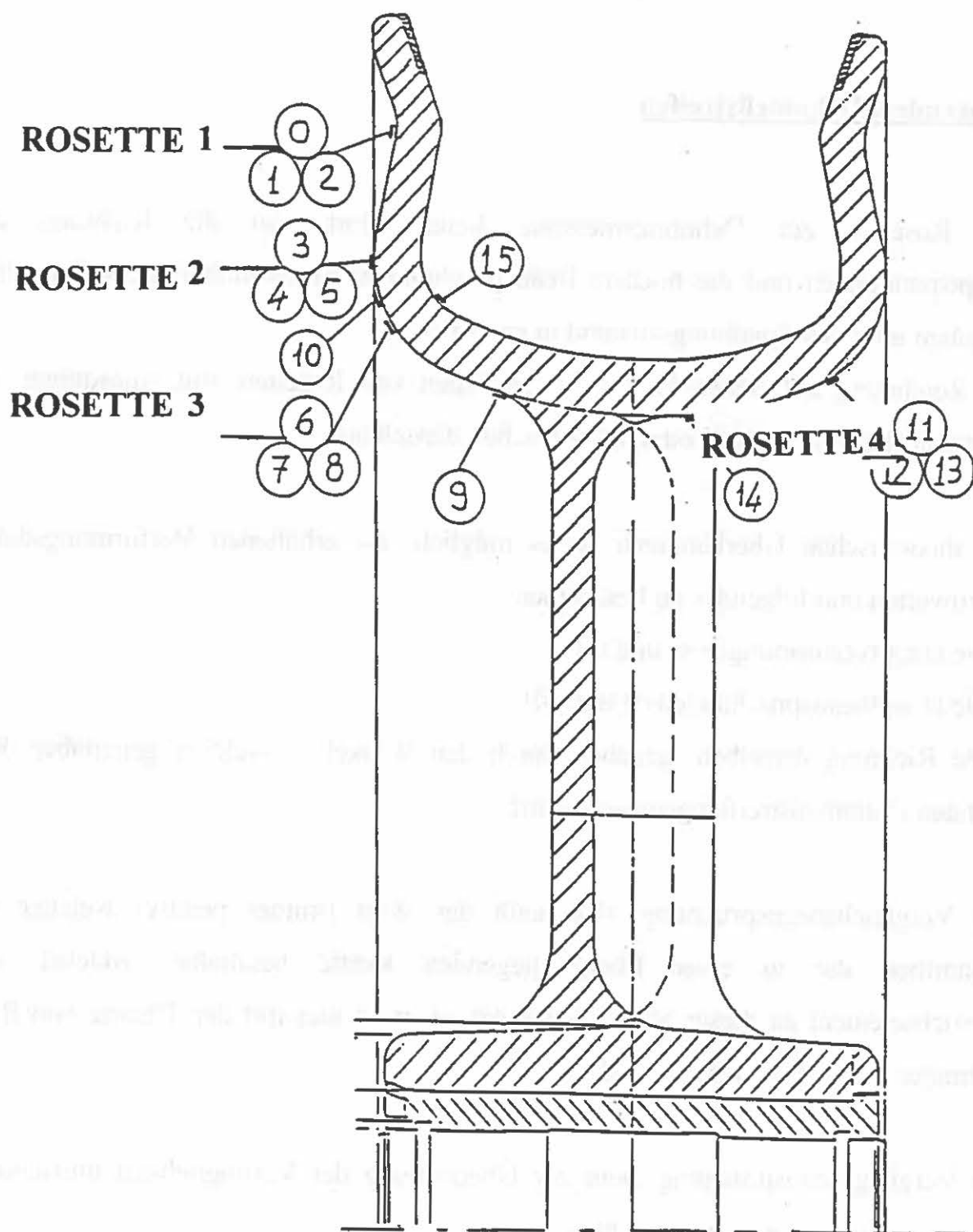


Die technische Versuchsanstalt für Seilbahnanlagen in Trient führt seit 1971 **Abnahmen** von Seilen und Messungen von Beanspruchungen an Seilbahnteilen mittels Dehnungsmessungen durch.

Anschließend werden die Vorgangsweise und die Prüfergebnisse dargestellt, welche in letzter Zeit an Seilrollen in Leichtmetall, zwecks Messung der Beanspruchung der Rollenflanken, hervorgerufen durch Montage des Rollenfutters sowie durch den Übergang von Lasten, durchgeführt wurden.

Es handelt sich dabei um eine Leichtmetallrolle, hergestellt im Druckgußverfahren und aus einem einzigen Stück, also ohne Schrauben für den Zusammenbau und mit einem geschlitzten Gummiring, welcher in die Rollenkehle hineingepreßt wird.

Die Zeichnung auf Seite (3) zeigt die Anordnung der Dehnmeßstreifen, welche ungefähr auf demselben Querschnitt der Rolle auf den Flanken und am Rollenkörper angebracht sind. Verwendet wurden Nr. 4 Rosetten mit je 3 Dehnmeßstreifen auf derselben Halterung und um 120° verteilt, sowie Nr. 4 einzelne Dehnmeßstreifen, von denen einer an der Innenseite der Kehle, an der Stelle, welche durch die Abrundung des Gummifutters freigelassen wird, angebracht wurde.



Querschnitt der Seilrolle: Anordnung der Dehnmeßstreifen und Dehnmeßrosetten



Verwendete Dehnmeßstreifen

Die Rosetten zur Dehnungsmessung liefern dort, wo die Richtung der Hauptspannungen und die höchste Beanspruchung nicht erkennbar ist, vollständige Angaben über den Spannungszustand in einer Ebene.

Die Zeichnung auf Seite (5) zeigt zwei Typen von Rosetten, mit Anordnung der Dehnmeßstreifen mit 120° oder 90° zwischen denselben.

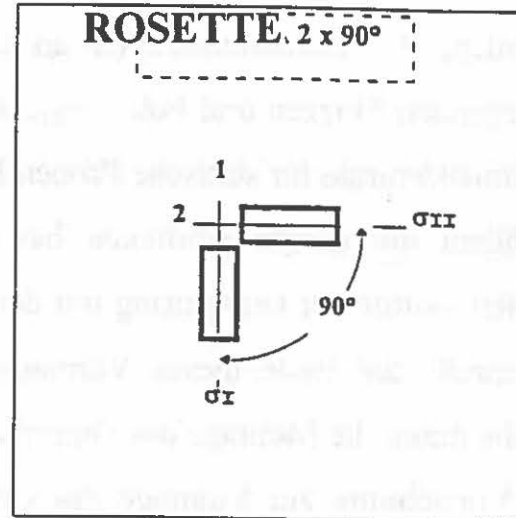
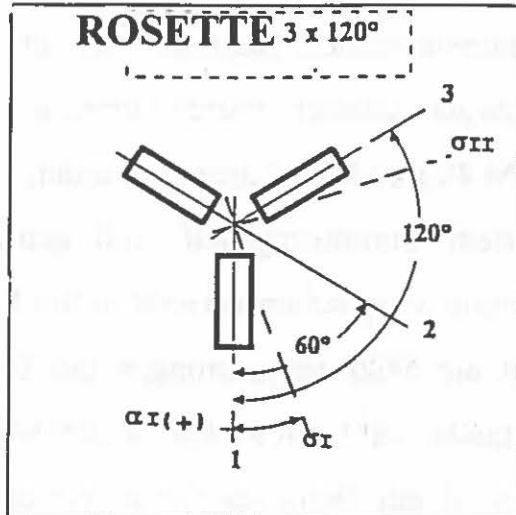
Mit theoretischen Überlegungen ist es möglich, die erhaltenen Verformungsdaten auszuwerten und folgendes zu bestimmen:

- die Hauptverformungen ϵI und ϵII
- die Hauptbeanspruchungen σI und σII
- die Richtung derselben, gegeben durch den Winkel α , welcher gegenüber dem ersten Dehnmeßstreifen gemessen wird.

Die Vergleichsbeanspruchung, das heißt der Wert (immer positiv) welcher die Gesamtheit der in einer Ebene liegenden Kräfte beinhaltet, welchen das Versuchselement an dieser Stelle ausgesetzt ist, wird hier mit der Theorie von Ros-Eichinger berechnet (siehe Formel).

Die Vergleichsbeanspruchung dient zur Überprüfung der Verträglichkeit hinsichtlich der höchst zulässigen Beanspruchung.

Berechnungsgrundlagen der "Rosetten"



Angenommene Werte zur Berechnung der Rosetten

P (Koeff. di Poisson): Stahl = 0,31

Leichtmetall = 0,33

E (Modul von Young): Stahl = 0,206 N/mm²

Leichtmetall = 0,07 /mm²

ROSETTA 3 x 120°

$$\epsilon_{I,II} = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3}{3} \pm \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_1 - \epsilon_3)^2}$$

$$\sigma_{I,II} = \frac{E}{3} \left(\frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3}{1 - \nu} \pm \frac{\sqrt{2}}{1 + \nu} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_1 - \epsilon_3)^2} \right)$$

$$\alpha_{I,II} = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{\sqrt{3} (\epsilon_2 - \epsilon_3)}{(\epsilon_1 - \epsilon_2) + (\epsilon_1 - \epsilon_3)} \right) \text{ se } \epsilon_1 > \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3}{3}, \alpha_{I,II} = \alpha_I$$

$$\text{se } \epsilon_1 < \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3}{3}, \alpha_{I,II} = \alpha_{II}$$

$$\text{se } \epsilon_1 = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3}{3}, \alpha_{I,II} = \pm 45$$

ROSETTA 2 x 90°

$$\epsilon_I = \epsilon_1$$

$$\epsilon_{II} = \epsilon_2$$

$$\sigma_I = \frac{E}{1 - \nu^2} (\epsilon_1 + \nu \epsilon_2)$$

$$\sigma_{II} = \frac{E}{1 - \nu^2} (\epsilon_2 + \nu \epsilon_1)$$

Vergleichsbeanspruchungen (Theorie von ROS-ETTINGER):

$$\sigma^* = \sqrt{(\sigma_I^2 + \sigma_{II}^2 - \sigma_I \sigma_{II})}$$

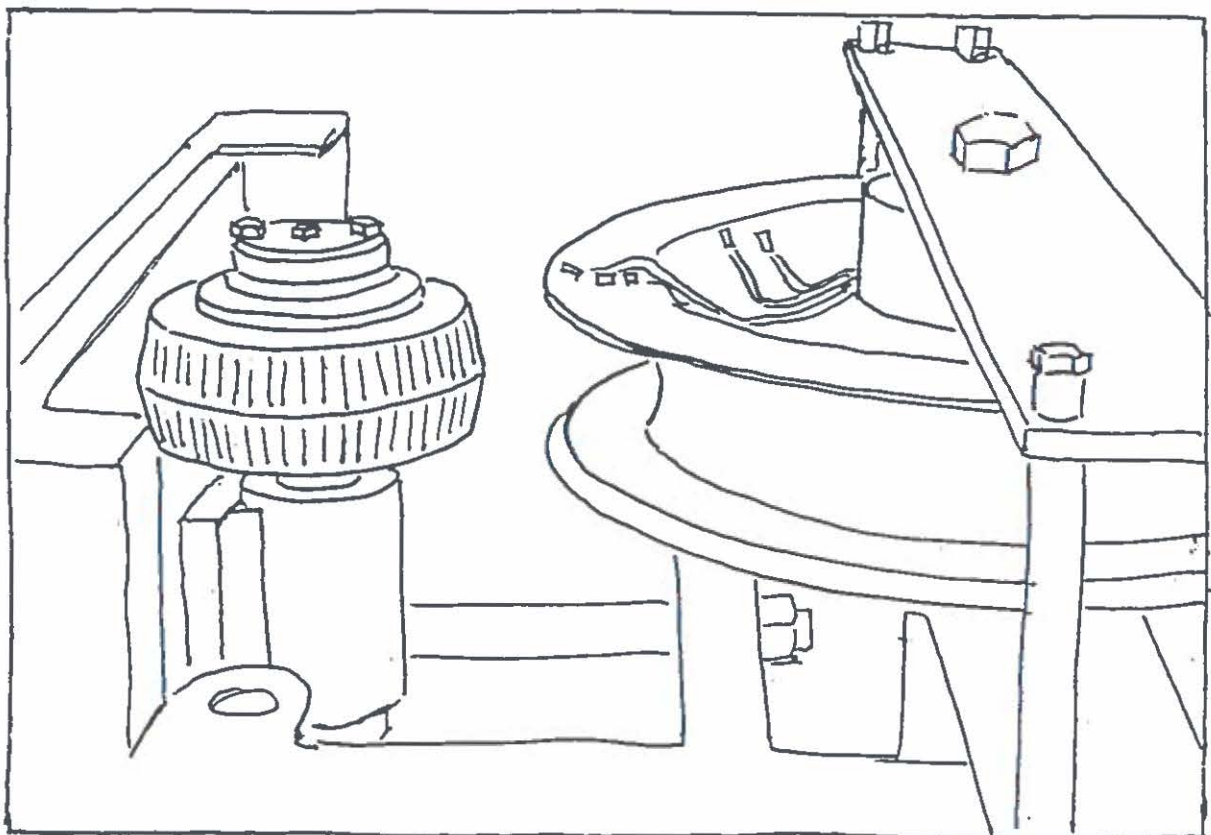
Type Dehnmeßstreifen - Rosetten A 120° E 90° - Ausarbeitung der Verformungsdaten

Vorgangsweise für die statischen Spannungsmessungen

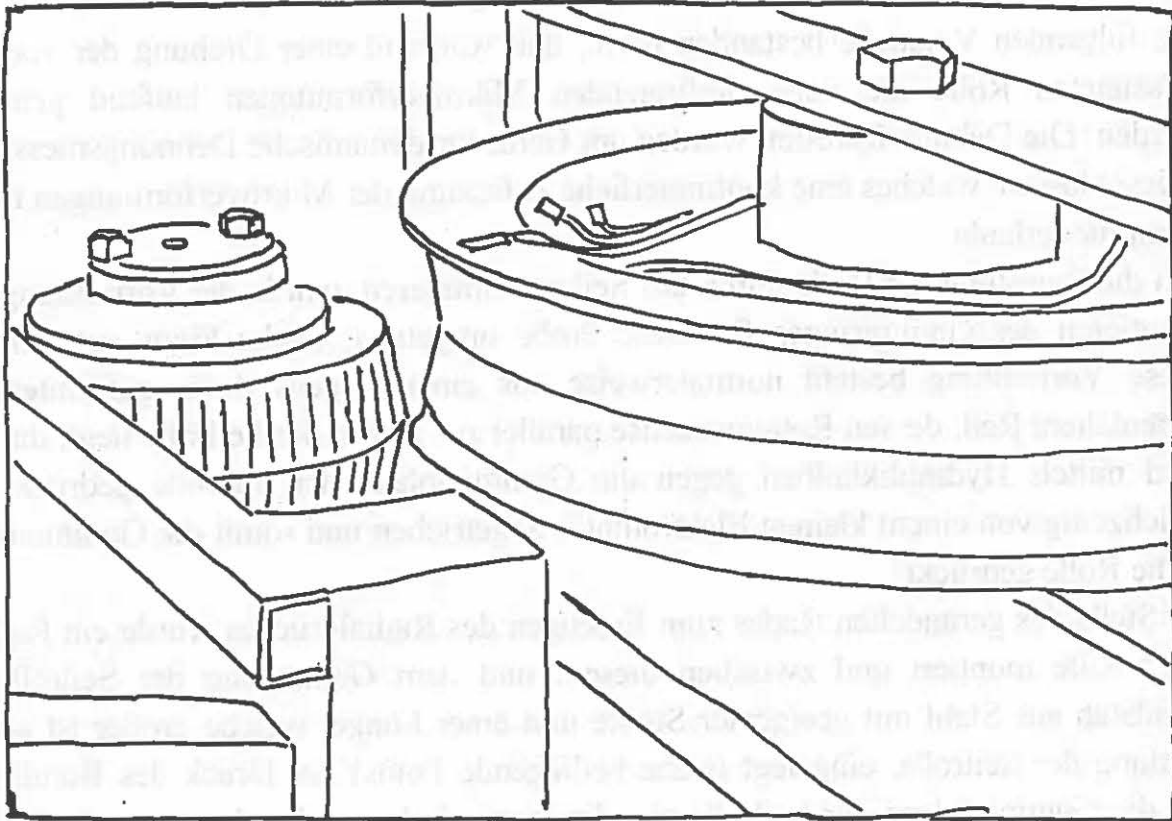
Nachdem die Dehnmeßstreifen an der zu untersuchenden Seilrolle wie in den beiliegenden Skizzen und Fotos ersichtlich, angebracht wurden, wurden diese mit der Dehnmeßzentrale für statische Proben HBM-UPM 40 mit 40 Kanälen verbunden.

Nachdem die Dehnmeßbrücken bei abmontiertem Gummiring auf Null gebracht wurden, wurde der Gummiring mit dem eigens dafür vorgesehenen Gerät in die Rolle eingepreßt; am Ende dieses Vorganges wurden die Mikroverformungen der Rolle, welche durch die Montage des Gummiringes entstanden sind, am Meßgerät abgelesen.

Die Vorrichtung zur Montage des Gummiringes ist ein ähnliches Gerät wie es bei normalen Instandhaltungsarbeiten benützt wird.



Rolle ohne Gummiring - Dehnmeßbrücken in Nullstellung



Statische Probe - Beanspruchung durch Montage der Gummieinlage



Vorgangsweise für die dynamischen Spannungsmessungen

Die folgenden Versuche bestanden darin, daß während einer Drehung der vom Seil belasteten Rolle die dabei auftretenden Mikroverformungen laufend gemessen wurden. Die Dehnmeßstreifen wurden am Gerät für dynamische Dehnungsmessungen angeschlossen, welches eine kontinuierliche Erfassung der Mikroverformungen mittels Computer erlaubt.

Um die Belastung der Rolle durch das Seil zu simulieren, wurde die Vorrichtung zum Montieren des Gummiringes für diese Probe umgebaut. (siehe Figur auf Seite 9). Diese Vorrichtung besteht normalerweise aus einem eigens dafür geformten und gerändeltem Rad, dessen Rotationsachse parallel zur Achse der Seilrolle liegt; das Rad wird mittels Hydraulikkolben gegen die Gummieinlage der Seilrolle gedrückt und gleichzeitig von einem kleinen Elektromotor angetrieben und somit die Gummieinlage in die Rolle gedrückt.

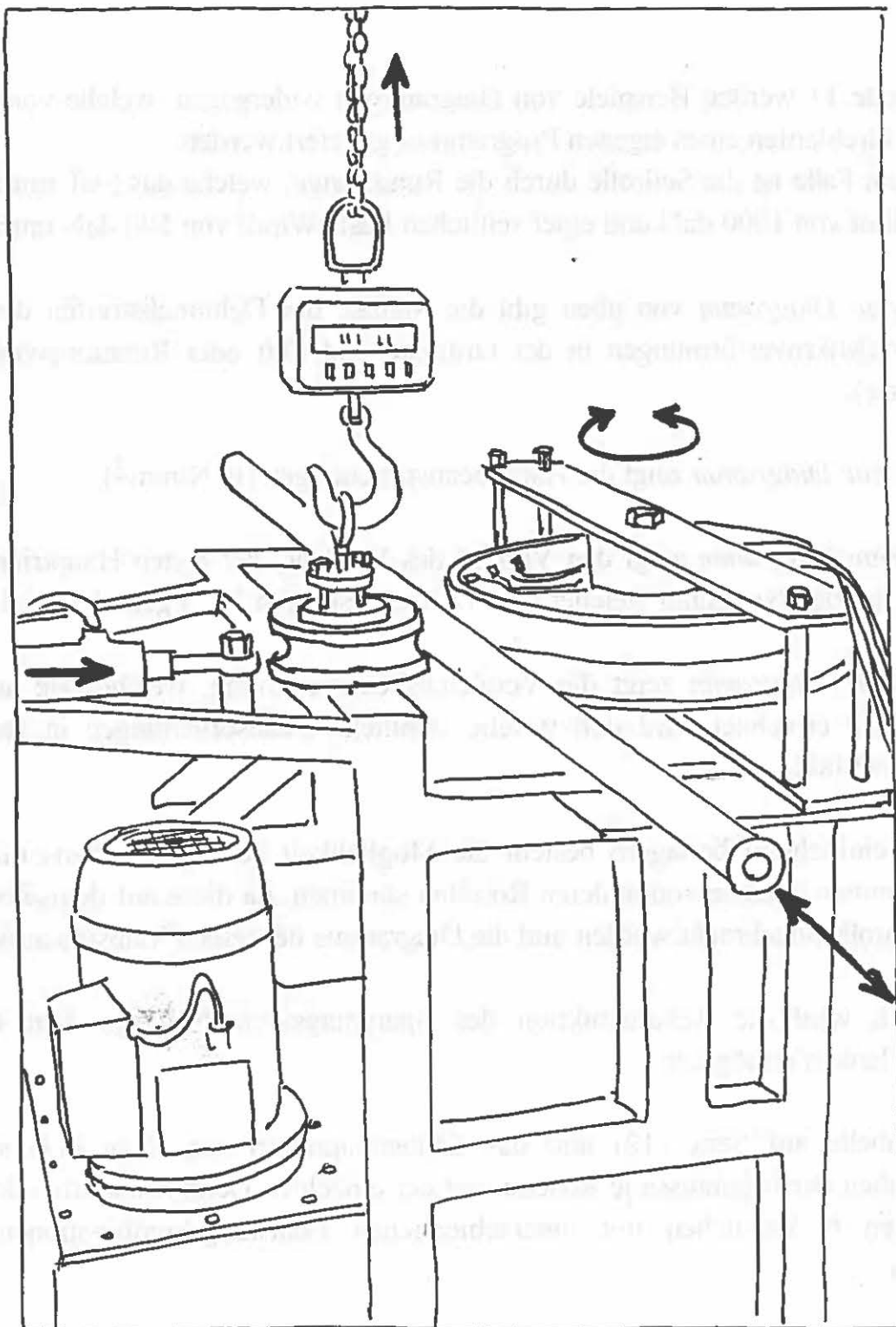
An Stelle des gerändelten Rades zum Erzeugen des Radialdruckes wurde ein Rad mit einer Rille montiert und zwischen diesem und dem Gummiring der Seilrolle ein Rundstab aus Stahl mit geeigneter Stärke und einer Länge, welche größer ist als der Umfang der Seilrolle, eingelegt (siehe beiliegende Fotos) der Druck des Rundstabes auf die Gummieinlage der Seilrolle simulierte somit den senkrechten Druck (F_v) des Seiles.

Weiters konnte das Druckrad, welches längs seiner eigenen Achse frei beweglich ist, parallel zur Achse der Seilrolle mittels einem Kranseil seitlich gedrückt werden und somit ein seitlicher Druck (F_o) des Seiles, hervorgerufen durch Wind, simuliert werden.

Zum Messen der senkrechten Kraft (F_v) wurde ein Manometer am Steuerkreis für den hydraulischen Kolben angeschlossen und um die seitliche Kraft (F_o) zu messen wurde ein elektronisches Dynamometer verwendet.

Das Meßgerät zum Aufnehmen der Verformungen wurde mit montierter Gummieinlage auf Null gestellt und dadurch nur die Beanspruchungen gemessen, welche durch äußere Kräfte erzeugt werden.

Es wurden zahlreiche Versuche mit verschiedenen Lastfällen durchgeführt.



Vorrichtung für die dynamischen Spannungsmessungen, mit radialen und seitlichen Kräften auf die Rolle



Auf Seite 11 werden Beispiele von Diagrammen widergegen, welche vom Meßgerät nach Durchlaufen eines eigenen Programmes geliefert werden.

In disem Falle ist die Seilrolle durch die Rundstange, welche das Seil simuliert, einer Radiallast von 1000 daN und einer seitlichen Last (Wind) von 500 daN unterworfen.

Das *erste Diagramm* von oben gibt die Signale der Dehnmeßstreifen der Rosetten wieder (Mikroverformungen in der Ordinate und Zeit oder Rotationswinkel in der Abszisse).

Das *zweite Diagramm* zeigt die Hauptbeanspruchungen (in N/mm^2).

Das *dritte Diagramm* zeigt den Verlauf des Winkels, der ersten Hauptrichtungen in Bezug auf den Nullpunkt welcher vom Dehnmeßstreifen Nr. 3 gebildet wird.

Das *vierte Diagramm* zeigt die Vergleichsbeanspruchung, welche wie auf Seite 5 angegeben errechnet wird und welche sämtliche Beanspruchungen in einer Ebene zusammenfaßt.

Durch einfaches Überlagern besteht die Möglichkeit des Vergleichens mit anderen Diagrammen, welche von anderen Rosetten stammen, da diese auf demselben Radius der Seilrolle angebracht wurden und die Diagramme denselben Maßstab aufweisen.

Dadurch wird die Rekonstruktion des Spannungsverlaufs längs dem Profil der Rollenflanken ermöglicht.

Die Tabelle auf Seite (12) und das Säulendiagramm von Seite (13) stellen die Gesamtheit der Ergebnisse je Rosette und der einzelnen Dehnmeßstreifen dar, welche bei allen 6 Versuchen mit unterschiedlichen Belastungskombinationen erhalten wurden.



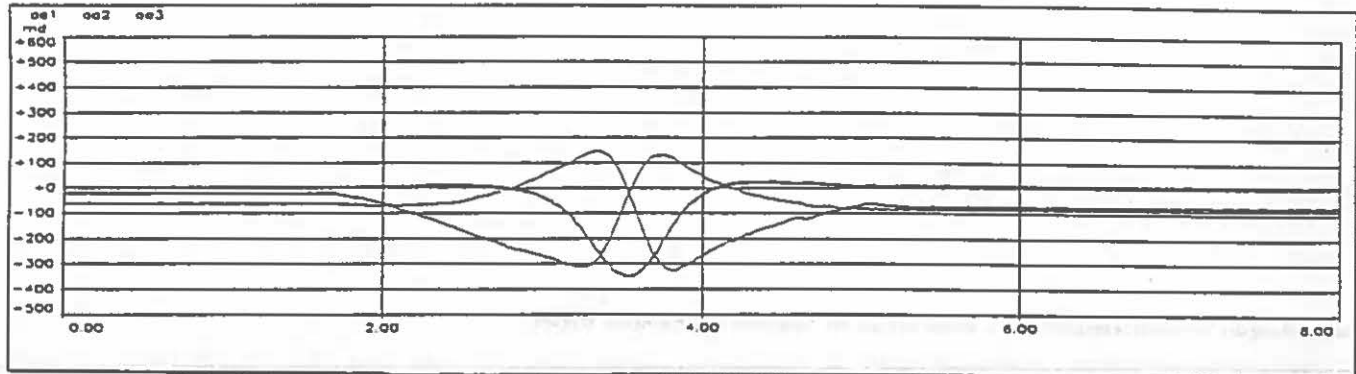
Seilrolle 460 Versuch 6: $F_v = 1000 \text{ daN}$ - $F_o = 500 \text{ daN}$

ROSETTE 2

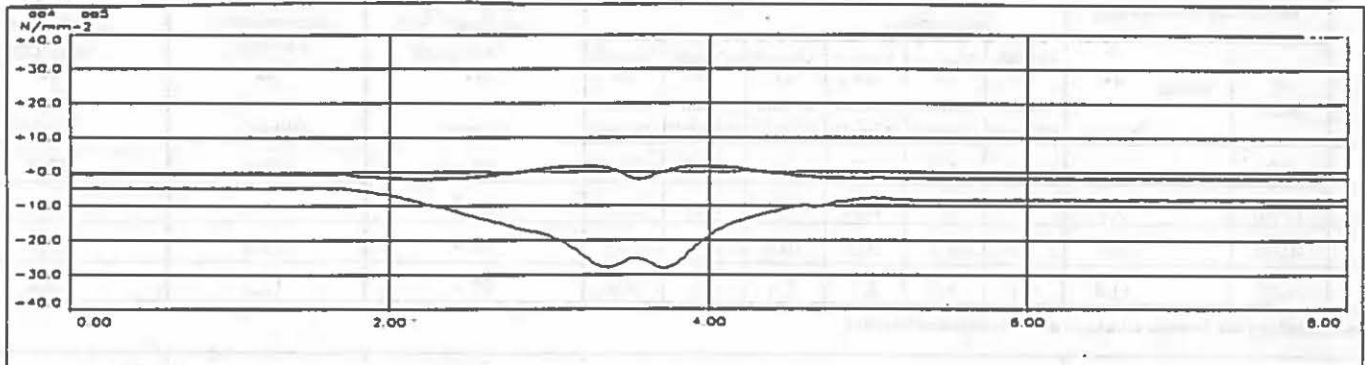
Mikroverformungen:

Dehnstreifen Nr. 3

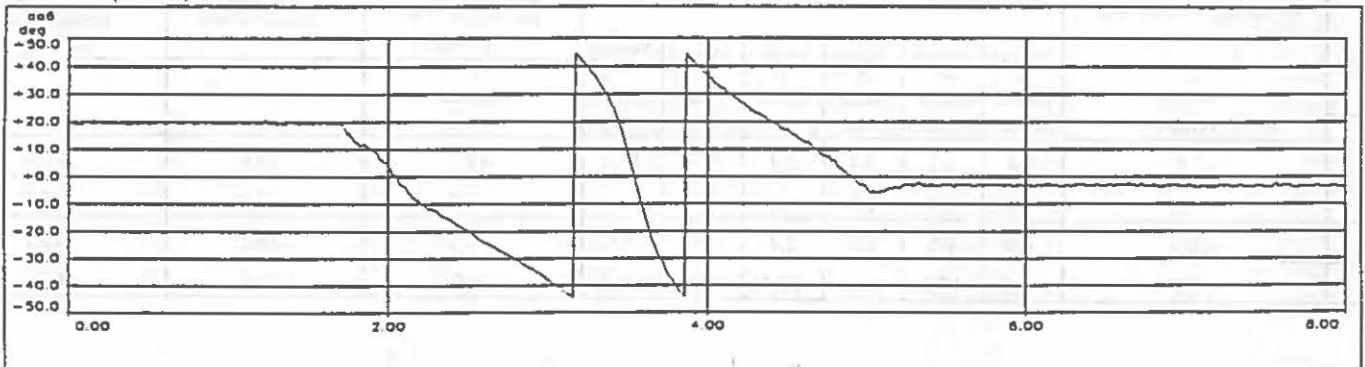
Dehnstreifen Nr. 4 - 5



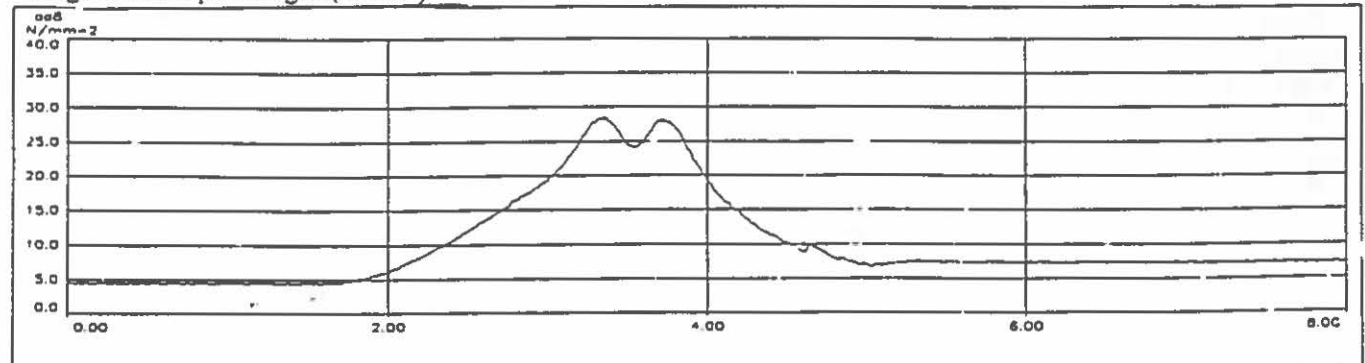
Hauptbeanspruchungen (N/mm^2)



Winkel (Grade)



Vergleichsbeanspruchungen (N/mm^2)



Durch Ausarbeiten der Signale der Dehnmessstreifen erhaltene Diagramme



Zusammenstellung der Vergleichsbeanspruchungen, welche sich aus der Ausarbeitung der Rosetten ergeben

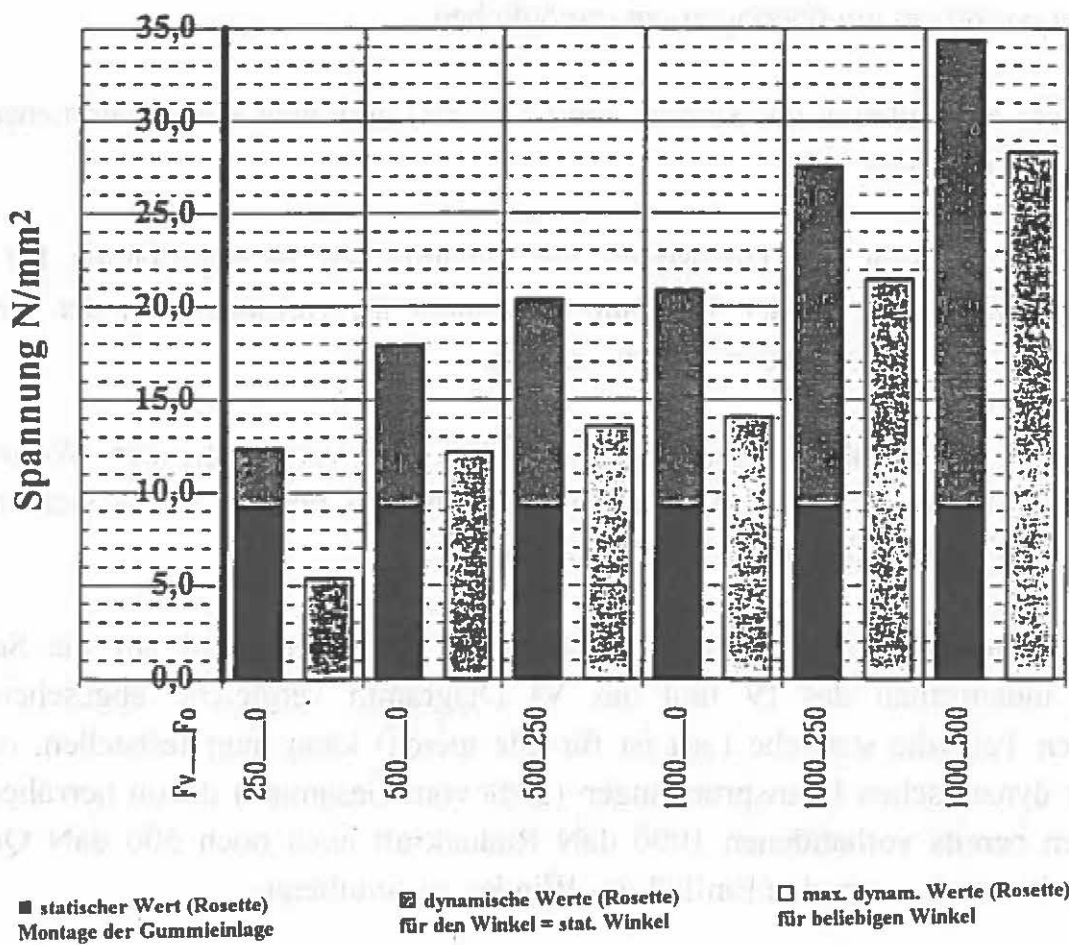
Rosette N°	(A) statische Werte für Montage Gummieinlage		(B) dynamische Werte verursacht durch Fv und Fo $\alpha = \alpha_{\text{statisch}}$						(C) Summe statischer Wert + max. dynam. Wert (A+max B)	(D) Höchstwert der dynam. Beanspruchung α beliebig	(E) Höchst sich ergebende Beanspruchung (max. CD)
	α Grade	statisch σ (N/mm ²)	Versuch σ_1 dynam. (N/mm ²)	Versuch σ_2 dynam. (N/mm ²)	Versuch σ_3 dynam. (N/mm ²)	Versuch σ_4 dynam. (N/mm ²)	Versuch σ_5 dynam. (N/mm ²)	Versuch σ_6 dynam. (N/mm ²)	σ Summe (N/mm ²)	σ dynamisch (N/mm ²)	σ max. (N/mm ²)
1	-3,96	4,5	2,1	4,9	5,7	6,6	11,2	14,1	18,6	27,3	27,3
2	13,16	9,3	3,1	8,6	11,6	11,1	18,3	25,1	34,4	28,4	34,4
3	-0,90	6,7	5,6	6,1	10,6	10,6	15,4	21,2	27,9	21,4	27,9
4	8,05	11,8	6,1	5,9	8,1	5,6	7,6	8,6	20,4	12,3	20,4

Zusammenstellung der Beanspruchungen der Einzeldehnmeßstreifen

Dehn- meß- streifen N°	(A) statische Werte für Montage Gummieinlage		(B) Dynamische Werte hervorgehen durch Fv und Fo						(C) Summe statischer Wert + max. dynam. Wert (A+max B)	(D) Höchstwert der dynam. Beanspruchung	(E) Höchst sich ergebende Beanspruchung (max. C D)
	σ statisch (N/mm ²)		Versuch σ_1 dynam. (N/mm ²)	Versuch σ_2 dynam. (N/mm ²)	Versuch σ_3 dynam. (N/mm ²)	Versuch σ_4 dynam. (N/mm ²)	Versuch σ_5 dynam. (N/mm ²)	Versuch σ_6 dynam. (N/mm ²)	σ Summe (N/mm ²)	σ dynamisch (N/mm ²)	σ max. (N/mm ²)
9	-2,1		1,4	2,2	3,1	5,3	8,4	12,0	-19,0	-19,0	-19,0
10	-27,3		1,4	3,1	1,2	1,7	2,9	3,6	-27,0	-27,0	-27,0
14	-20,4		1,5	1,5	2,2	2,4	3,6	4,6	-15,1	-15,1	-15,1
15	19,5		17,6	19,2	29,1	27,4	38,8	46,0	46,0	46,0	46,0



Vergleichsbeanspruchung: ROSETTE 2





Im *Teil (A)* der Tabelle sind die durch die Montage der Gummieinlagen induzierten Spannungen und der Winkel der Hauptrichtungen angegeben. Diese Werte bleiben für sämtliche weiteren Proben unverändert.

Im *Teil (B)* (dynamische Werte) sind die Vergleichsbeanspruchungen enthalten, welche sich aus den äußeren Belastungen ergeben, wobei jedoch $\alpha = \alpha$ statisch berechnet wurde um ein überlagern zu ermöglichen.

Die *Tabelle (C)* enthält die Summe von (A) + (B) und zwar die Zusammensetzung der beiden Wirkungen.

Die *Tabelle (D)* gibt den Höchstwert der dynamischen Beanspruchung für jeden beliebigen Winkel an. In der Tat kann man nicht im vorhinein den der höchsten Beanspruchung entsprechenden Winkel kennen.

Die *Tabelle (E)* beinhaltet den jeweils größten der vorhergehenden Werte. Das Vorzeichen der Werte von (E) ist gezwungenermaßen positiv, da es sich um die Summe der Vergleichsbeanspruchungen handelt.

Aus dem Säulendiagramm wird der Beitrag der seitlichen Kraft auf die Seilrolle deutlich indem man das IV und das VI Diagramm vergleicht: abgesehen vom schwarzen Teil (die statische Last ist für alle gleich) kann man feststellen, daß ca. 50% der dynamischen Beanspruchungen (30% vom Gesamten) davon herrühren, daß außer den bereits vorhandenen 1000 daN Radialkraft auch noch 500 daN Querlast aufgebracht wurden, um den Einfluß des Windes zu simulieren.

DER VORTRAGENDE

- dott. ing. Fabio Degasperì -