

Zerstörungsfreie Prüfung

EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH
MITTEILUNGEN AUS DEM INSTITUT FÜR BAU- UND
TRANSPORTMASCHINEN

Herausgegeben von Prof. O. Zweifel

August 1973

B-01841

Dr. URS BALTHASAR MEYER

Die elektromagnetische Prüfung
von Drahtseilen

Dissertation

Zu beziehen durch das Institut für Bau- und Transportmaschinen, ETHZ
Sonneggstrasse 3, 8006 Zürich

Juris Druck + Verlag Zürich
1973

0185 ETH
5014

VORWORT

Drahtseile von Seilbahnen haben normalerweise eine Lebensdauer von wenigen Jahren oder Jahrzehnten. Ein Seilriss entsteht jedoch in der Regel nicht plötzlich, sondern er bildet sich nach und nach wegen der sukzessiven Abnahme des tragenden Stahlquerschnittes. Diese Abnahme kann sowohl von Abrieb- und Korrosionserscheinungen als auch von einer wachsenden Zahl von Ermüdungsbrüchen in den Drähten herrühren. Da die Seile mit einer drei- bis fünffachen Zerreiss-Sicherheit ausgelegt sind, besteht gute Aussicht, die Rissgefahr rechtzeitig erkennen zu können, wenn geeignete Drahtbruchdetektoren und Messgeräte für die durch Korrosion und Abrieb erzeugte Reduktion des Stahlquerschnittes zur Verfügung stehen.

Als Drahtbruchdetektoren stehen bekanntlich seit langem Streuflussmessgeräte im Gebrauch. Bei diesen wird ein in das Seil eingeleiteter Magnetfluss von den Bruchstellenhohlräumen nach aussen gelenkt und erzeugt eine messbare lokale Streuflusserhöhung an der Seiloberfläche. Vergleicht man die erhaltenen Messdiagramme mit solchen, die früher an demselben Seil im Neuzustand aufgenommen wurden, so erhält man ein ungefähres Bild vom Fortschritt der Seilzerstörung durch Drahtbrüche. Auch Korrosionserscheinungen lassen sich bis zu einem gewissen Grade erkennen, wobei hier allerdings nur qualitativ auf Unregelmässigkeiten geschlossen werden kann und nicht quantitativ auf die effektive Querschnittabnahme. Eine längs des ganzen Seiles gleichmässig fortschreitende Korrosion liess sich überhaupt nicht feststellen.

In der vorliegenden Arbeit wird über die Entwicklung von zwei Messgeräten berichtet. Bei dem ersten handelt es sich um ein Querschnittsbestimmungsgerät, das entsprechend dem Messprinzip als Aufmagnetisierungsgerät bezeichnet werden kann und mit dem der mittlere Effektivquerschnitt im Messbereich bestimmt werden kann. Es ist als Ergänzung zum Streuflussgerät gedacht, ist aber noch nicht bis zur Fabrikationsreife entwickelt worden, weil die Notwendigkeit eines solchen Gerätes erst erwiesen werden müsste. Vorläufig geht die Ansicht der Praktiker dahin, dass die Korrosion immer derartig unregelmässig auftritt, dass die Streuflussgeräte den Seilzustand auch in bezug auf die Korrosionswirkung genügend deutlich aufzeigen.

Als zweites Messgerät wurde ein neuartiges Streuflussmessgerät entwickelt, das gegenüber den heute in Gebrauch stehenden Instrumenten einige wesentliche Vorteile aufweist. Mit Hilfe von Permanentmagneten ist es gelungen, ein wesentlich leichteres, kleineres und damit für den Gebrauch handlicheres Gerät zu bauen, das praktisch gleichwertig ist wie die normalen Grossgeräte. Wer erfahren hat, wie beschwerlich das Messen an den Tragseilen der Luftseilbahnen ist, der wird dieses Gerät schätzen, umso mehr als das Mitschleppen einer Stromquelle für den Magnetisierungsstrom entfällt.

Die Entwicklung wurde ermöglicht durch finanzielle Mittel, die zu einem Teil vom Nationalfonds, zum anderen Teil vom Eidg. Amt für Verkehr zur Verfügung gestellt worden sind. Für das an den zuständigen Stellen bewiesene Verständnis für solche im Interesse der Verkehrssicherheit notwendigen Entwicklungen sei hiermit der verbindlichste Dank ausgesprochen.

Zürich, 30. Juni 1973

O. Zweifel

INHALTSVERZEICHNIS

Die Arbeit ist gegliedert in	- Teile	Z.	
	- Kapitel	Z. Z	
	- Abschnitte	Z. ZZ.	
	- Unterabschnitte	Z. ZZ. Z.	
1.	Ueberblick über die magnetinduktiven Prüfverfahren		14
1.1	Anwendungsbereich		14
1.2	Die bisherige Entwicklung der magnetinduktiven Seilprüfung		15
1.3	Seilbahntechnische und betriebliche Gesichtspunkte		19
1.4	Veranlassung und Ziel der Arbeit		20
2.	Grundlagen und Vorversuche		22
2.1	Eigenschaften des Seildrahtes		22
2.11.	Ohmscher Widerstand		22
2.12.	Magnetische Eigenschaften		23
2.2	Der Aufbau von Drahtseilen		25
2.3	Grundsätzliche Ueberlegungen zur Seilprüfung		26
2.31.	Die Querschnittmessung		29
2.32.	Die Drahtbruchprüfung		30
3.	Die magnetische Querschnittmessung		34
3.1	Die Berechnung des magnetischen Kreises		40
3.11.	Allgemeine Dimensionierung		40
3.12.	Berechnung und Messung der magnetischen Zustände im Seil		46
3.12.1.	Allgemeine Angaben über die Messtechnik		47
3.12.2.	Allgemeine Angaben über die Rechentechnik		48
3.12.3.	Die Feldverteilung im Seil zwischen den Polen		50
3.12.4.	Die Feldverteilung im Seil ausserhalb der Pole		63
3.13.	Berechnung und Messung der magnetischen Zustände in Joch und Luftspalt		69
3.13.1.	Modell für die Berechnung		69
3.13.2.	Die Leerlaufkennlinie des Kreises		71
3.13.3.	Die Belastungskennlinie des Kreises		84
3.14.	Berechnung der Wicklungen		86
3.14.1.	Berechnung der Erregerwicklung		86
3.14.2.	Dimensionierung der Messwicklung		88
3.14.3.	Wicklungsdaten des aktuellen Prüfkreises		89
3.15.	Dimensionierung der Speisung und der Messelektronik		89
3.15.1.	Speisung, Verstärker und Stromwerterfassung		94
3.15.2.	Steuerteil		95

3.16.	Berechnung der messtechnischen Eigenschaften der Anlage	98
3.16.1.	Die Querschnittsanzeige	98
3.16.2.	Die Messgeschwindigkeit	99
3.16.3.	Der Einfluss des Luftspaltes	102
3.16.4.	Der Einfluss verschiedener Seildurchmesser	104
3.16.5.	Messung während der Fahrt	107
3.17.	Dimensionierungsempfehlungen für Anlagen beliebiger Grösse	109
3.17.1.	Verbesserung des aktuellen Prüfkreises	109
3.17.2.	Das magnetische Verhalten grösserer Seile	110
3.17.3.	Prüfjoch für grössere Seildurchmesser	111
3.17.4.	Weitere Folgen einer Erhöhung des Nenn-Seildurchmessers	113
3.2.	Die Erprobung der Anlage im praktischen Versuch	114
3.21.	Der Einfluss der Betriebsparameter auf das Messergebnis	115
3.22.	Der Einfluss der Seilparameter auf das Messergebnis	116
3.22.1.	Die absolute Messgenauigkeit bei verschiedenen Seildurchmessern und Macharten	116
3.22.2.	Die relative Anzeige bei Querschnittverlust	120
3.23.	Der Einfluss weiterer Faktoren auf das Messergebnis	122
3.23.1.	Die Seilbelastung	123
3.23.2.	Der Einfluss fremden magnetisierbaren Materials in der Umgebung der Messstelle	124
3.24.	Die Messanlage im Betrieb auf Seilbahnen	126
4.	Die Streufeldmessung	130
4.1.	Die theoretische Behandlung des Problems	132
4.11.	Drahtbruch und Streufeld	132
4.11.1.	Die Polstärke	136
4.11.2.	Der Polabstand	138
4.12.	Das Streufeld-Abtastsystem	144
4.12.1.	Herleitung der Gleichungen für die induzierte Spannung	145
4.12.2.	Herleitung der Gleichungen für die radiale Induktion	147
4.12.3.	Die Berechnung der induzierten Spannung	149
4.12.4.	Die induzierte Spannung in der Radialspule	153
4.12.5.	Die induzierte Spannung in der Axialspule	157
4.2.	Die praktische Durchführung der Streuflussmessung	159
4.21.	Überprüfung der Theorie und der Berechnung	160
4.22.	Die Entstehung von Störspannungen	167
4.23.	Speicherung und Darstellung der Resultate	172
4.3.	Ausblick auf die Möglichkeiten der Streuflussmessung	176

Liste der Grössen und ihrer Bezeichnungen

* die mit Index* versehenen Symbole sind nur für die Programmierung verwendet worden.

Abkürzung Symbol	Grösse Bezeichnung	Dimension	Abschnitt (Figur)
a	allgemein: Abstand, Distanz	m	4.14.4. (65)
a ₀ , a ₊ , a ₋	z-Koordinaten charakteristischer Punkte im Spannungsverlauf	m	4.12.5. (66)
a _d , AD*	Abstand eines magnetischen Polpaars	m	4. (54)
b	Abstand der Bruchenden eines Drahtbruches	m, mm	4. (53)
b _{sp} , BSP*	Spulenbreite	m	4.23. (58)
c	Steghöhe	m	3.11. (14)
d, DMR*	Seildurchmesser	m, mm	
d _a	Durchmesser eines angenommenen Zylinders auf Nullpotential	mm	3.12.4
d _n	Nenn-Seildurchmesser	m, mm	3.11.
e	Stegbreite	m	3.11. (14)
f	Frequenz	Hz	
g	Dicke des Blechpaketes	m	3.11. (14)
h	Polschuhhöhe	m	3.11. (14)
j	Stromdichte	A/m ²	3.16.1. 4.11.2.
k	Polschuhlänge	m	3.11. (14)
l	Prüflänge	m	3.11. (14)
m	Jochbreite	m	3.11. (14)
m _d	magnetisches Dipolmoment	Vs.m	4.11.1.
n _m	Windungszahl der Messwicklung	-	3.16.1.
p	Beeinflussungsfaktor	-	3.16.2.
q	Jochlänge	m	3.11. (14)
r	allgemein: Radius Radiuskoordinate von der Seilachse aus	m	
r _a , RA*	Prüfspulenradius	m	4.12. (58)



Ansicht Bücher

Die Bücher liegen zur Ansicht in der Bibliothek vom Ausbildungszentrum SBS für Sie bereit.

Gerne können Sie sich für einen Besuch unter Tel. 033 972 40 00 oder per Mail an ausbildungszentrum@seilbahnen.org anmelden.