

Wahl der Schlagart von schwelkend verdrillten Seilen

Der Einfluß der Schlagart auf die Lebensdauer von auf schwellegenden Zug, wechselnde Biegung und Verdrillung beanspruchten Drahtseilen

Gábor Oplatka, Mladen Roth

Bei Zugseilen der Pendelbahnen ändert sich die Schlaglänge zwischen Tal- und Bergstation infolge der Höhenspannung. Diese Änderungen können bei extremen Anlageverhältnissen so groß sein, daß die Seillebensdauer in der Nähe der Endbefestigungen vermindert wird. Die Änderung der Schlaglänge wird durch Seildrall verursacht, und dieser ist hauptsächlich von der Schlagart des Seils abhängig. Es wird deshalb immer wieder die Frage gestellt, ob für Pendelbahnen anstelle der heute üblichen Gleichschlagseile nicht Kreuzschlagseile zweckmäßiger wären. In realitätsnahen Ermüdungsversuchen wurde deshalb die Lebensdauer von Gleich- und Kreuzschlagseilen miteinander verglichen.

1 Problemstellung

Zugseile von Pendelbahnen erfahren in der Nähe der Endbefestigung während einer Fahrt unterschiedliche Belastungen (Bild 1):

- schwellende Zugkraft infolge Änderung von Höhenspannung und Hangabtrieb;
- wechselnde Biegung infolge Seilschwingung;
- schwellende Verdrillung, weil ein frei hängendes Seil infolge des Zugkraftunterschieds die Tendenz hat, sich oben auf- und unten zuzudrehen.

Während die ersten beiden Beanspruchungen von der Schlagart des Seiles weitgehend unabhängig sind, ist die schwellende Verdrillung bei Gleichschlagseilen ausgeprägter als bei Kreuzschlagseilen, weil Kreuzschlagseile drehungsärmer sind. Es wird deshalb immer wieder die Frage gestellt, ob es nicht zweckmäßiger wäre, bei Pendelbahnen mit großen Höhenunter-

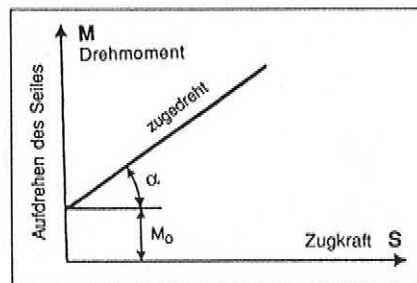


Bild 2. Das im Seil auftretende Drehmoment M hängt direkt von der Zugkraft S ab

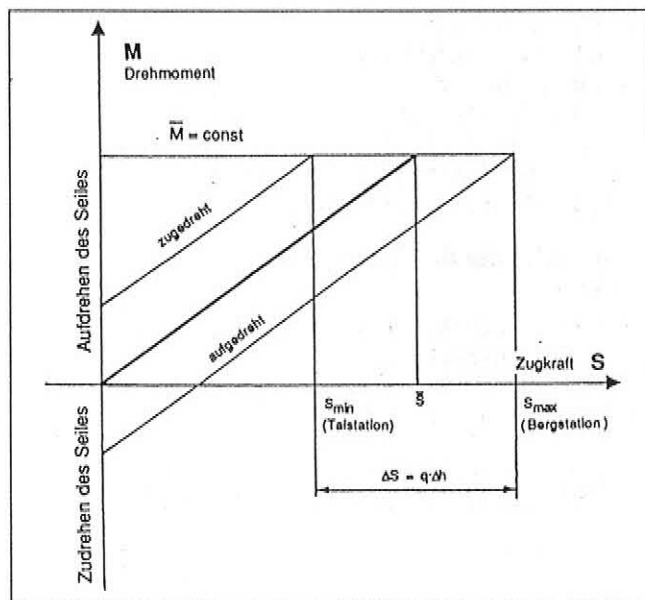
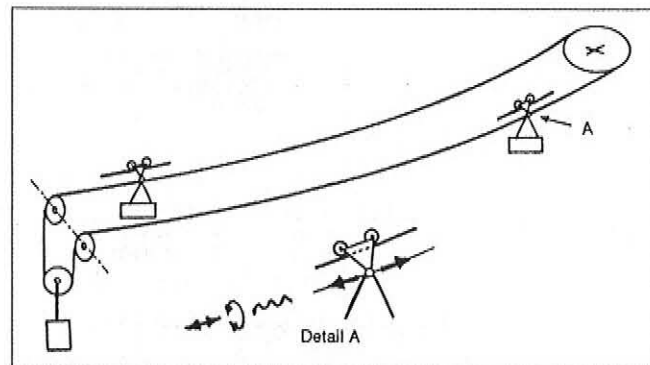
schieden anstelle der heute üblichen Gleichschlagseile Kreuzschlagseile zu verwenden. Die gleichen Beanspruchungen und deshalb auch dieselbe Fragestellung ergibt sich auch bei den Seilen der Schachtförderanlagen mit großer Hubhöhe. (Die von den Führungselementen auf das Zugseil ausgeübte Verdrillung bzw. Drehverminderung ist nicht Gegenstand dieser Betrachtung).

2 Theoretische Grundlagen

In Litzenseilen tritt ein mit der Zugkraft S in guter Näherung proportionales Drehmoment M auf (Bild 2). Die Größe des Drehmomentes hängt von dem für die Seilkonstruktion typischen Steigungswinkel α und vom Anfangsdrehmoment M_0 ab [1, 2]. In einem Zugseil mit der mittleren Zugkraft \bar{S} wird sich das mittlere Moment \bar{M} einstellen (Bild 3). Sofern sich das Seil nicht auf Stützen oder Zwischenaufhängungen abstützt, ist dieses mittlere

Bild 3. Wegen der Eigenlast des Seils dreht sich das Seil oben auf und unten zu. (q - Eigenlast des Seiles pro Längeneinheit; Δh - Höhenunterschied zwischen Tal- und Bergstation)

Bild 1. Zugseile von Pendelbahnen werden in der Nähe der Endbefestigung auf schwellegenden Zug, wechselnde Biegung und schwelkende Verdrillung beansprucht



Seildurchmesser		27 mm
Schlaglänge	Gleichschlagseil	204,5 mm
	Kreuzschlagseil	191 mm
Flechtformel		FE+6(1+9+9)
Draht-Durchmesser		2,45/1,20/2,15 mm
Bruchspannung der Drähte		1,96 kN/mm ²
metallischer Seil-Querschnitt		285 mm ²
Effektive Bruchkraft der Seile		490 kN
Masse pro Längeneinheit		2,52 kg/m

Moment \bar{M} über die ganze Länge des Seiles konstant.

Die Zugkraft im Zugseil unterscheidet sich am oberen und am unteren Ende des Spannungsfeldes wegen der Eigenlast des Seiles (Bild 3). Damit stellt sich im Zugseil in der Berg- und in der Talstation eine verschieden große Verdrillung ein: Das Seil dreht sich oben auf und unten zu [3].

Fährt die Bahn vom Berg zum Tal, so ändert sich bei der Endbefestigung die Zugkraft im Seil. Das Drehmoment bleibt aber – abgesehen von Sekundäreffekten – konstant. Folglich ändert sich die Verdrillung des Seiles bei der Endbefestigung bei jeder Fahrt. Dadurch wird das Seil auch auf schwellige Torsion beansprucht, was zu Ermüdungsbrüchen von Drähten führen kann.

Kreuzschlagseile sind drehungsärmer als Gleichschlagseile (Bild 4: $\alpha_{(x)} < \alpha_{(-)}$). Demzufolge stellt sich in Kreuzschlagseilen bei identischer Zugkraft ein kleineres Torsionsmoment

ein. Folglich wird die schwellige Verdrillung kleiner. Andererseits reagieren Kreuzschlagseile gegen wechselnde Verdrillung empfindlicher als Gleichschlagseile. Diese zwei Effekte wirken gegeneinander. Daher ergibt sich die Frage: Überwiegt hinsichtlich der Lebensdauer des Kreuzschlagseiles die kleinere Verdrillung oder die größere Empfindlichkeit gegenüber dieser Verdrillung?

3 Versuche

3.1 Die getesteten Seile

Die geometrischen und mechanischen Daten der zur Prüfung verwendeten Seile sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Bild 5 zeigt für diese Seile den Zusammenhang von Drehmoment, Zugkraft und Verdrillung.

Die Seilenden wurden in Klemmköpfen befestigt (Bild 6). Dies ist die in der Schweiz für diesen Zweck am häufigsten gebrauchte Vorrichtung [4]. Zusätzlich wurden Seile getestet, de-

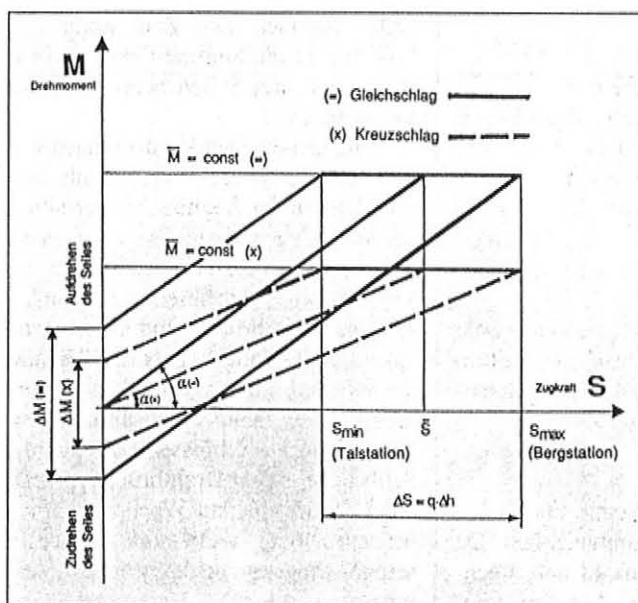


Bild 4. Kreuzschlagseile sind drehungsärmer als Gleichschlagseile

STABOTEC

Lohnrichten von Drähten

je nach Festigkeit
und Stärke:

von 0,80–10,00 mm \varnothing
von 20–4000 mm Länge
einschließlich
Endenbearbeitung,
wie Fasen und Spitzen.

Jetzt auch Vierkant- und Profildrähte!

von 2,00 bis 6,00 mm
bzw. ca. 35 mm²
Querschnitt.

Auf Wunsch über-
nehmen wir Ihre
Materialbeschaffung.

Bitte fordern Sie
unsere Preisliste an.

STABOTEC
Metallverarbeitungs-GmbH
Liegnitzer Straße 6
58642 Iserlohn-Letmathe
Telefon (02374) 2345
Telefax (02374) 13400

STABOTEC

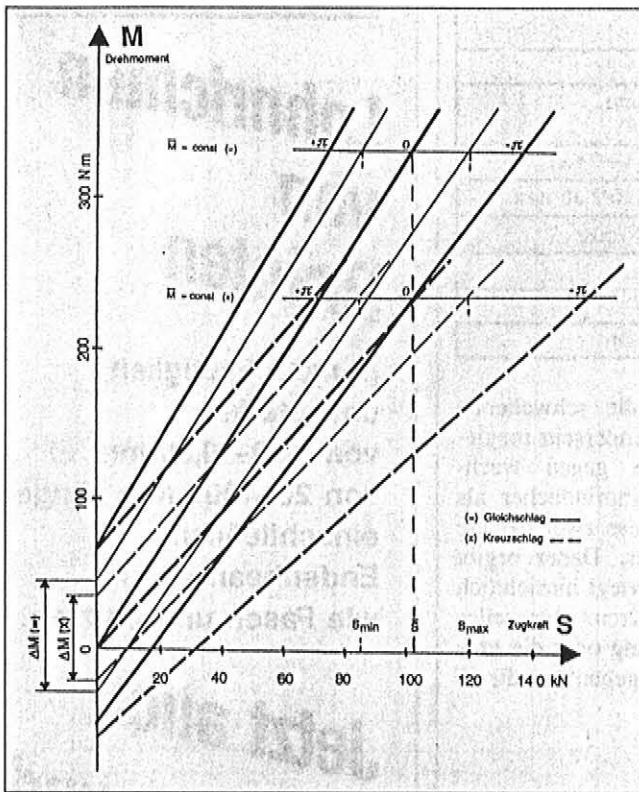


Bild 5. Zusammenhang von Drehmoment, Zugkraft und Verdrehung für die geprüften Seile

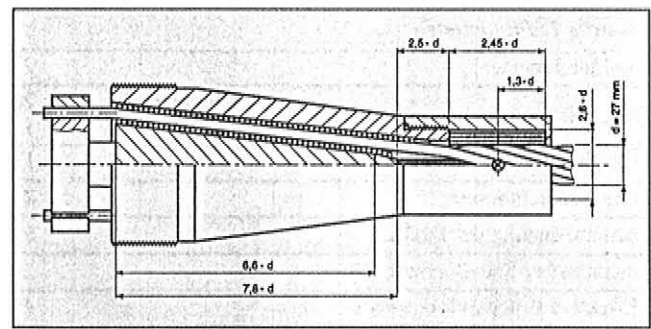


Bild 6. Klemmkopf mit weichgefütterter Schutzhülse

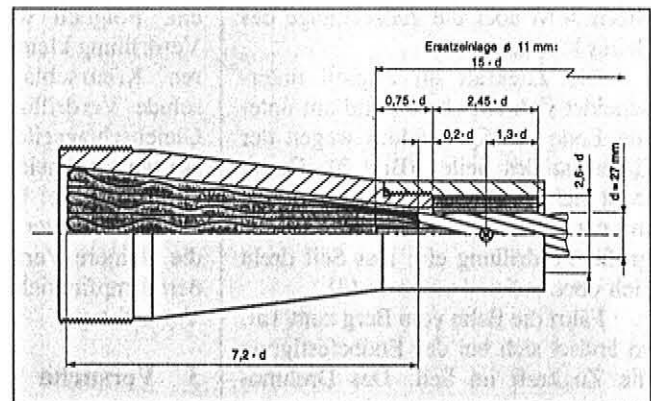


Bild 7. Vergußkopf mit weichgefütterter Schutzhülse (Abstand der Schwenkachse: $1,3 \cdot d$)

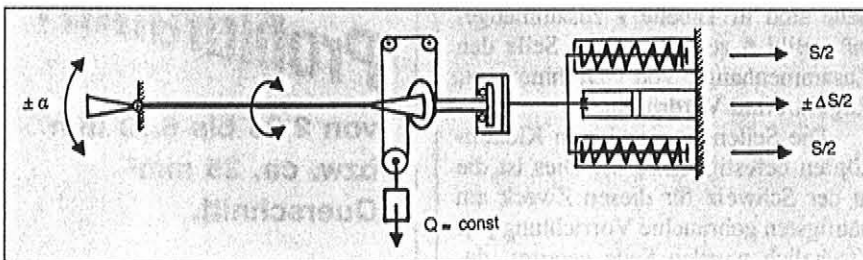


Bild 8. Prinzipskizze der Versuchsanordnung

ren Enden in einem Vergußkopf befestigt waren. Der Vergußkopf (Bild 7) wird für die Befestigung von Zugseilen an einigen Orten noch verwendet.

Die Seile erhielten bei der Herstellung eine Grundschmierung mit TW4. Als Nachschmiermittel wurde Aseol Lurop 20-7 verwendet.

3.2 Versuchsanordnung

Bild 8 zeigt den Versuchszustand, in dem das Seil auf schwelende Zugkraft und wechselnde Biegung beansprucht wurde. Die wechselnde Biegung entsteht durch das Schwenken der linken Seilendbefestigung. Das rechte Seilende ist drehbar gelagert und mit einem konstanten Drehmoment belastet.

Die Einstellgrößen waren:

- Zugkraft S schwelend zwischen 85 und 120 kN, entsprechend dem Zugseil von einer Bahn mit einer Höhendifferenz von $\Delta h = 1400$ m;
- Auslenkung der Seilendbefestigung $\alpha = \pm 4,5^\circ$.

Die Größe des Drehmomentes wurde so eingestellt, daß sich bei der mittleren Zugkraft die nominelle Schlaglänge der Seile ergab.

3.3 Resultate

Die Resultate der Versuche sind in den Tabellen 2 und 3 zusammengefaßt. Da das Verhältnis der Anzahl der Wechselbiegungen und der Zugschwelun-

gen miteinander nicht zwangsweise gekoppelt ist, ergaben sich bei den Versuchen diesbezüglich Differenzen. Obwohl dies auf die Resultate keinen Einfluß hat, wurde die Auswertung sowohl nach ertragenen Torsionszyklen (Tabelle 2) als auch nach ertragenen Biegezyklen (Tabelle 3) vorgenommen. Die mit einem Pfeil bezeichneten Versuche wurden vor dem Bruch des Seiles beendet. Die Zahl unter den Pfeilen gibt die Summe der Drahtbrüche in den drei Seilen beim Ende der Versuche an.

Die gemessenen Verdrehungen waren rund 10 bis 25% kleiner als aufgrund der in der Zugmaschine ermittelten Werte zu erwarten war. Die Verdrehung der Seile zeigt im Laufe der Versuche eine abnehmende Tendenz.

Die Drahtbrüche sind vorwiegend am Ende des Innenkegels des Klemmkopfes bzw. des Vergußkegels und nicht in der Schutzhülse aufgetreten. Daraus wird geschlossen, daß für die Seilbrüche bzw. Drahtbrüche primär die Zugschwel- und Wechseltorsionsbeanspruchung, nicht aber die wechselnde Biegung maßgebend zu sein scheint.

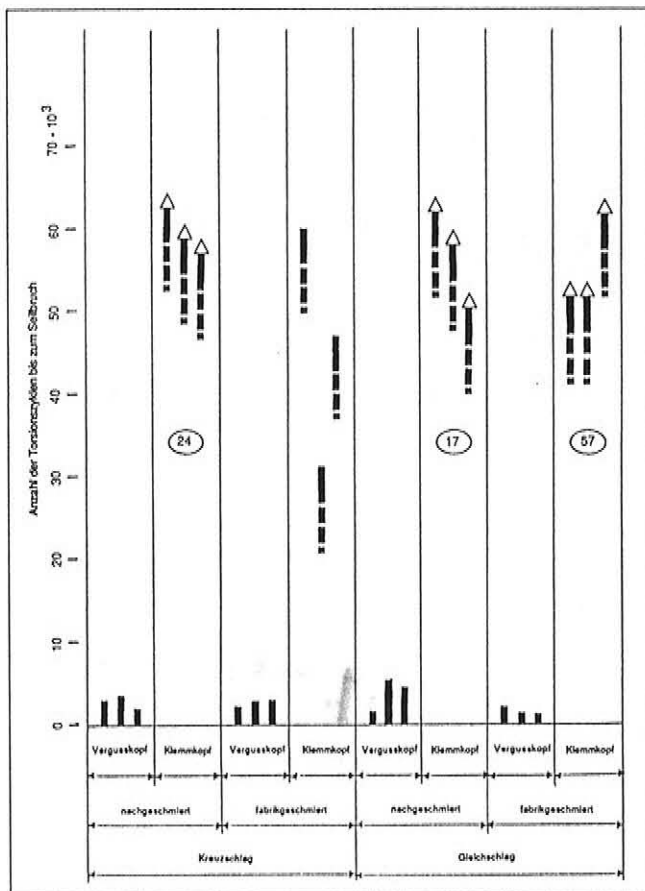


Tabelle 2. Anzahl der bis zum Seilbruch ertragenen Torsionszyklen

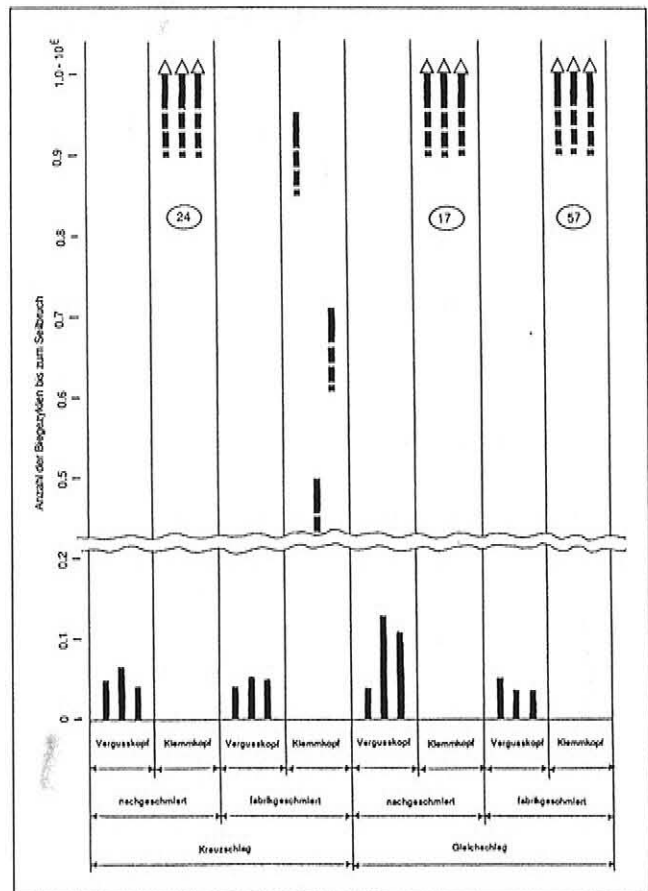


Tabelle 3. Anzahl der bis zum Seilbruch ertragenen Wechselbiegungen

4 Auswertung und Folgerungen

Gleichschlagseile erreichen bei der vorliegenden Beanspruchung gegenüber den Kreuzschlagseilen eine längere Lebensdauer. Sowohl die nach den Biegezahlen als auch die nach den Torsionszahlen vorgenommene Auswertung ergibt dieselbe Klassierung. Auch wurde mit beiden Arten von Seilendbefestigungen der Einfluß der Schmierung und der Schlagart der Seile gleichermaßen klassiert.

Die mit dem Klemmkopf [4] befestigten Seile erreichten in allen Variationen eine über eine Größenordnung längere Lebensdauer als die mit dem Vergusskopf befestigten. Die lebensdauererweiternde Wirkung der Nachschmierung ist bei beiden Schlagarten und Seilendbefestigungen ausgeprägt. Allerdings ist der Einfluß der Schlagart des Seiles in den Extremfällen der Schmierung nicht signifikant; weder mit guter Nachschmierung bei Klemmkopf-Befestigung noch ohne Nach-

schmierung bei Vergusskopf-Befestigung.

Zusammenfassend kann empfohlen werden:

- Für Zugseile sind auch bei Bahnen mit großen Höhendifferenzen weiterhin Gleichschlagseile zu verwenden.
- Die Seilenden sind in einem Klemmkopf zu befestigen.
- Die Klemmköpfe müssen regelmäßig nachgeschmiert werden.

Danksagung

Prof. Dr. E. Engel, TU Wien, sei für die Anregung, diese vorgestellte Thematik experimentell zu klären, freundlich gedankt.

Literatur

- [1] Kollros, W. Zusammenhang zwischen Torsionsmoment, Zugkraft und Verdrilling in Seilen The Relationship Between Torque, Tensile Force and Twist in Ropes Internationale Seilbahnwortschau 2/1974
- [2] Feyrer, K.; Schiffner, G. Drehmoment und Drehsteifigkeit von Drahtseilen

DRAHT 37 (1986) 1, 20-22
DRAHT 37 (1986) 2, 62-66

- [3] Engel, E. Drall-Verfrachtung bei Zugseilen Arbeiten des Instituts für Eisenbahnen, Spezialbahnen und Verkehrswirtschaft der TU Wien, Heft 21/1994
- [4] Oplatka, G. Klemmkopf DRAHT 35 (1984) 2, 67-69



Prof. Dr. Gábor Oplatka (61) ist Leiter des Bereiches Seilbahntechnik am Institut für Leichtbau und Seilbahntechnik der ETH Zürich. Er studierte Maschinenbau an der Technischen Universität Budapest und der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich. Neben seiner Forschungsarbeit und Lehrtätigkeit auf dem Gebiet der Seile und Seilbahnen wirkt er als Sachverständiger und gehört etlichen Arbeitsgruppen der OIPEEC und der OITAF an.



Ing Mladen Roth (58) arbeitet seit 1968 am Institut für Leichtbau und Seilbahntechnik der ETH Zürich. Er studierte Maschinenbau an der Universität Zagreb. Seine Haupttätigkeit ist die Forschungsarbeit auf dem Gebiet von Stahldrahtseilen. Er ist Mitglied von SIA, FEANI und OIPEEC.