

Statische Bruchkraft eines im Querschnitt beschädigten Drahtseiles

Ein Unfall mit Seilriss! Da stellen sich sowohl für die Techniker als auch für die Juristen viele Fragen, auch die: Wie gross war die Bruchkraft (F) des Seiles vor dem Riss? Oder anders formuliert, wie gross musste die wirkende Kraft mindestens gewesen sein, um das Seil zu zerreißen? Wurde das Seil überlastet oder brach es im normalen, vorgesehenen Betrieb?



Autoren: Gabor Optatka
und Max Schärli

Wie gross war der Seilquerschnitt vor dem Bruch?

Mit guter Genauigkeit kann man auf Grund des Bruchbildes der einzelnen Drähte feststellen, welche vor dem Riss bereits gebrochen oder nur angerissen waren [1]. Die bereits gebrochenen Drähte reduzieren den Gesamtquerschnitt schon vor dem Bruch von Original A_0 auf A. Es gilt:

A_0 = Querschnitt des unbeschädigten Seiles

A = Querschnitt des Seiles kurz vor dem Bruch

Was bedeutet das für die Bruchkraft des Seiles?

Diese Frage ist nicht einfach zu beantworten, weil es sehr darauf ankommt, wo die schon vor dem Riss gebrochenen Drähte liegen. Liegen diese (in Längsachse) innerhalb etwa eines Seildurchmessers, wie das z.B. in der Nähe von Klemmen und Endbefestigungen der Fall sein kann, so kann die Verminderung der Bruchkraft in erster Näherung mit der Verringerung des Querschnittes gleichgesetzt werden.

$$F_N = F_0 \cdot (A / A_0) \quad (1)$$









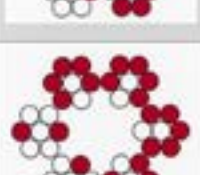
Es gilt: F_N = Nominelle Bruchkraft des beschädigten Seiles vor dem Bruch

F_0 = Bruchkraft des unbeschädigten Seiles

Im vorgeschädigten Seil verteilen sich aber Zugkraft und Torsion nicht mehr gleichmässig auf die verbliebenen Drähte. Bei der Steigerung der Zugkraft brechen die meistbelasteten Drähte nacheinander - es kommt zu einem «Reissverschlusseffekt». Die nominelle Bruchkraft des Seiles reduziert sich deshalb um den Faktor k und beträgt nur noch $F = F_N \cdot k$. (2)

Die Grösse des Reduktionsfaktors k ist abhängig von der Anzahl und der Verteilung der vorgängig schon gebrochenen Drähte innerhalb des Seil-Querschnittes. Um über die Grösse des Reduktionsfaktors k Angaben zu erhalten, wurden die in den Tabellen 2a bis 2c dargestellten Versuche durchgeführt [2].

Wissen

Test-Nummer	Konfiguration von Drahtbrüchen	Restlicher Querschnitt A/A_0	Asymmetrie γ [d]	F [kN]	Reduktionsfaktor k
1		0.52	0.0	142	0.86
2		0.52	0.0	150	0.91
3		0.52	0.0	152.5	0.92
4		0.52	0.0	171	1.04
5		0.52	0.18	90	0.55
6		0.36	0.19	70	0.61
7		0.36	0.19	75	0.66
8		0.36	0.19	69	0.61
9		0.36	0.14	74	0.65

Tabellen 2a,;
Daten und
Resultate der
einzelnen
Versuche.
rot = künst-
liche Draht-
brüche;
weiss = nicht
gebrochen.

Wissen










Test-Nummer	Konfiguration von Drahtbrüchen	Restlicher Querschnitt A/A_0	Asymmetrie γ [d]	F [kN]	Reduktionsfaktor k
10		0.36	0.0	100	0.87
11		0.28	0.16	58	0.65
12		0.28	0.09	56.5	0.65
13		0.20	0.0	65	1.03
14		0.20	0.0	63	1
15		0.20	0.09	48	0.76
16		0.16	0.11	41	0.81
17		0.68	0.0	204	0.95
18		0.68	0.06	163	0.76

Tabelle 2b.: Daten und Resultate der einzelnen Versuche.
rot = künstliche Drahtbrüche; weiss = nicht gebrochen.

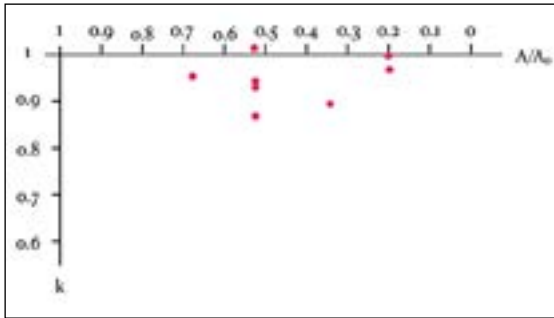


Abb. 1: Die gemessenen Reduktionsfaktoren k bei symmetrischer Vorschädigung. (1 = keine, 0 = totale Vorschädigung).

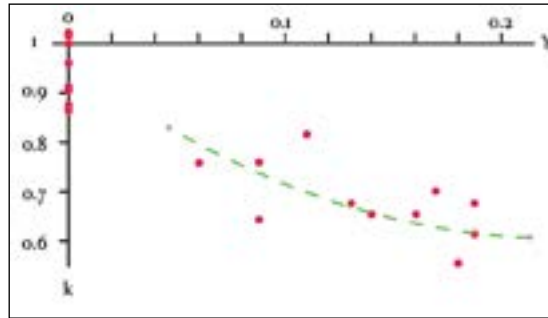


Abb. 2: Die gemessenen Reduktionsfaktoren in Funktion der Asymmetrie der Vorschädigung Y im Durchmesser d des Seiles.

Seilaufbau	FC+6 · (1+6)
Schlagart	Gleichschlag
Seildurchmesser	22.5 mm
Schlaglänge des Seiles	150 mm
Litzendurchmesser	7.6 mm
Schlaglänge der Litzen	70 mm
Drähte: Durchmesser Nennfestigkeit	2.6 / 2.5 mm 0.44 / 1.90 kN/mm ²
Metallischer Querschnitt	209 mm ²
Effektive Bruchkraft	317 kN
Rechnerische Bruchkraft	360 kN
Verseilverlust	0.88

Tabelle 1: Daten des für die Versuche verwendeten Seiles

- ... bei unsymmetrischer Beschädigung kann der Abfall der Bruchkraft bis das Doppelte des Querschnittverlustes betragen! $k \geq 0,5$

Zu beachten ist, dass bei dieser Messreihe die Schädigungen in einem Querschnitt lagen und dass die verbliebenen Drähte unbeschädigt waren.

Zusammenfassung

Die statische Bruchkraft F eines in einem Querschnitt beschädigten Drahtseiles berechnet sich nach (2). Der Reduktionsfaktor k wird experimentell ermittelt. (Anhaltgrößen befinden sich in den Abb. 1 und 2). Werden für einen konkreten Fall genauere Angaben über k gewünscht, so müssen die Verhältnisse mit dem originalen Seil möglichst genau nachgebaut werden.

Die Ermittlung des Reduktionsfaktors

Der Reduktionsfaktor k ist seilspezifisch und muss aufwändig durch Versuche bestimmt werden. Die Daten des für die Versuche verwendeten Seiles enthält die Tabelle 1. In Abschnitten des Seiles wurden in je einem Querschnitt Drähte durchtrennt und danach die restliche Bruchkraft (F) der Seile im statischen Zugversuch ermittelt.

Verglichen wurde die effektive Bruchkraft F mit der nominellen Bruchkraft F_N vor dem Riss des Seiles. Dies ergab die Reduktion der Bruchkraft infolge der Verteilung der vorgängig gebrochenen Drähte im Querschnitt des Seiles.

$$k = (F / F_N) \quad (3)$$

Die Asymmetrie der Schädigung (Y) ist der Abstand vom

Schwerpunkt der durchgetrennten Drähte vom Mittelpunkt des Seiles, gemessen im Durchmesser (d) des Seiles.

Folgerungen

Abb. 1 und 2 zeigen die Reduktion der Bruchkraft des Seiles. Daraus geht u.A. hervor, dass ...

- ... die statische Bruchkraft eines im Querschnitt beschädigten Drahtseiles nicht nur wegen des kleineren Querschnittes reduziert ist, sondern zusätzlich wegen der ungleichen Lastverteilung und Torsion auf die verbliebenen Drähte.

- ... solange die Schädigung des Querschnittes symmetrisch ist, die Reduktion der Bruchkraft mit guter Näherung proportional zum Querschnittverlust beträgt.

Also $k \geq 0,85$