

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Klaus Feyrer

Drahtseile

Bemessung, Betrieb, Sicherheit

Zweite, überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 288 Abbildungen



Springer

Prof. Dr.-Ing. Klaus Feyrer
Universität Stuttgart
Institut für Fördertechnik
und Logistik
Holzgartenstraße 15B
70174 Stuttgart

ISBN 978-3-642-63531-1

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Feyrer, Klaus:

Drahtseile : Bemessung, Betrieb, Sicherheit / Klaus Feyrer.

– 2., überarb. und erw. Aufl.

– Berlin ; Heidelberg ; New York ; Barcelona ; Hongkong ; London ;

Mailand ; Paris ; Singapur ; Tokio : Springer, 2000

ISBN 978-3-642-63531-1 ISBN 978-3-642-58303-2 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-58303-2

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1994 and 2000

Originally published by Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York in 2000

Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 2000

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Einbandentwurf: MEDIO, Innovative Medien Service GmbH

Satz: Fotosatz-Service Köhler GmbH, Würzburg

SPIN: 10708391

62/3020-5 4 3 2 1 0

Vorwort zur 2. Auflage

Seit der ersten Auflage von DRAHTSEILE ist eine Reihe von Forschungsarbeiten durchgeführt und veröffentlicht worden, die das Wissen über Drahtseile erheblich erweitert haben. Das Einfügen der neuen Erkenntnisse mit ihren Bezügen zu verschiedenen Kapiteln und die Beseitigung von Fehlern und Ungereimtheiten haben zu einer vollständigen Überarbeitung des Buches geführt.

Eines der wesentlichen Anliegen des Buches besteht darin, die Methoden zur Berechnung wichtiger Seilgrößen (Seilgeometrie, Drahtspannungen im Seil, Seildrehmoment, ertragbare Schwingenspielzahl und Biegewechselzahl, Seilwirkungsgrad usw.) darzustellen und ihre Anwendung durch Rechenbeispiele zu erläutern. Diesem Anliegen folgend ist die Zahl der Rechenbeispiele vergrößert worden. Außerdem wurden sie gegenüber der ersten Auflage drucktechnisch deutlicher hervorgehoben.

Trotz allem Bemühen sind Druckwerke nie ganz fehlerfrei herzustellen. So haben sich auch bei der ersten Auflage des Buches leider eine ganze Reihe von Fehlern eingeschlichen. Die bekannt gewordenen Fehler sind in einer Berichtigungsliste korrigiert worden, die in jeweils aktueller Form bei vielen Gelegenheiten verteilt wurde. Sie hat aber sicher nur einen kleinen Teil der Buchbesitzer erreicht. Zur möglichst weitgehenden Verbreitung ist die jeweils aktuelle Berichtigungsliste im Internet eingestellt und kann abgerufen werden unter

www.uni-stuttgart.de/ift
Forschung / Literaturstellen / Feyrer

Auch in der 2. Auflage des Buches Drahtseile werden sich Fehler nicht völlig vermeiden lassen. Für diese Fehler wird ebenfalls eine Berichtigungsliste erstellt werden, die unter derselben Internet-Adresse abgelegt werden wird. Damit diese Berichtigungsliste möglichst umfassend erstellt werden kann, bitte ich alle Leser recht herzlich um Mithilfe durch die Meldung von gefundenen Fehlern an die Adresse

K. Feyrer, Institut für Fördertechnik
Holzgartenstrasse 15B
70174 Stuttgart
oder Fax 0711 121 3769
oder e-mail feyrer@ift.uni-stuttgart.de

und bedanke mich bei dieser Gelegenheit noch einmal bei allen, die mich auf Fehler der 1. Auflage aufmerksam gemacht haben.

Dr.-Ing. Jörg-Michael Nussbaum und Dr.-Ing. Wolfram Vogel danke ich recht herzlich für die wirkungsvolle Unterstützung beim Korrekturlesen. Bei em. Prof. Dr. techn. Prof. E.h. Franz Beisteiner und o. Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Wehking und allen Mitarbeitern des Instituts für Fördertechnik der Universität Stuttgart bedanke ich mich für die ständige Bereitschaft zur Diskussion und für vielfältige Ratschläge auch zur Bewältigung von Computerproblemen. Ebenso bedanke ich mich bei den Seilherstellern, die seit jeher die Seilforschung interessiert und unterstützend begleiten, für viele fachliche Informationen und praktische Hilfen. Den Mitarbeitern des Springer-Verlages danke ich wieder für die angenehme Zusammenarbeit.

Stuttgart, im März 2000

Klaus Feyrer

Vorwort

Das Buch wendet sich vor allem an die Anwender der Drahtseile, das heißt an die Hersteller, Betreiber und Überwacher von Maschinen und Anlagen, in denen Drahtseile eingesetzt sind. Der Stand des Wissens über die in den stehenden und laufenden Seilen auftretenden Drahtspannungen wird dargestellt. Die Ergebnisse aus Versuchen werden – soweit möglich – statistisch ausgewertet, so daß neben dem Mittelwert die Streuung erkennbar wird. Die wesentlichen Methoden zur Bemessung der Seile in bezug auf die zulässigen Belastungen und die Seillebensdauer werden aufgezeigt. Die Seilablegereife und die Methoden zu ihrer Erkennung werden ausführlich besprochen.

Im allgemeinen werden in dem Buch die zur Zeit in den Normen und Technischen Regeln verwendete Nomenklatur und deren Kurzzeichen verwendet. Dem Sprachgebrauch im Seilbahnbau folgend – aber entgegen den meisten Normen – wird unterschieden zwischen Seilscheiben und Seilrollen. Danach gilt:

- Die Seilscheibe lenkt das Seil um. Das Seil nimmt im allgemeinen die Krümmung der Seilscheibe an.
- Die Seilrolle belastet das Seil durch eine Querkraft. Das Seil nimmt im allgemeinen die Krümmung der Rolle nicht an.

Statt der Zugspannung wird vorwiegend die viel einfacher zu bestimmende durchmesserbezogene Seilzugkraft S/d^2 verwendet, die aus der Seilzugkraft S und dem Seilnennndurchmesser d gebildet ist. Damit kann man bei gegebener Seilkonstruktion wichtige Größen zum Beispiel die Seillebensdauer ohne Bezug auf den metallischen Seilquerschnitt berechnen.

Wie in vielen Technischen Regeln wird der Buchstabe S für die Seilzugkraft verwendet. Um Verwechslungen zu vermeiden, wird deshalb für den metallischen Querschnitt wie in einigen Drahtseilnormen (z.B. DIN 21 254, Teil 4) das Kurzzeichen A_m eingesetzt, obwohl nach DIN 1304 für den Querschnitt der Buchstabe S empfohlen wird.

Für die überaus wertvolle Mitarbeit habe ich allen Helfern zu danken, insbesondere Frau Ruth Müller, die den Text mit all den Gleichungen und Zahlen als Druckvorlage geschrieben hat und Frau Heidrun Erdle, die die meisten Zeichnungen mit Geschick und Engagement angefertigt hat. Herr Dipl.-Ing. Rolf Hemminger hat mir als Gesprächspartner in vielen Einzelfragen in fachlicher Hinsicht und der Darstellung in Bild und Text geholfen. Meine Mitarbeiter, die Herren Dipl.-Ing. Werner Beck, Dipl.-Ing. Ulrich Briem,

Dipl.-Ing. Frank Dudde, Dipl.-Ing. Rolf Hemminger, Dipl.-Ing. Jörg Nussbaum und Dipl.-Ing. Wolfram Vogel haben mich bei dem Korrekturlesen unterstützt und mit konstruktiven Vorschlägen zur Verbesserung des Textes in sachlicher und redaktioneller Hinsicht beigetragen. Ihnen allen habe ich recht herzlich zu danken. Den Mitarbeitern des Springer Verlags danke ich für die angenehme Zusammenarbeit, insbesondere für das freundliche Eingehen auf späte Änderungswünsche.

Stuttgart, im November 1994

Klaus Feyrer

Inhaltsverzeichnis

1	Drahtseilelemente und Drahtseile	1
1.1	Bauelemente der Drahtseile	1
1.1.1	Stahldraht	1
1.1.2	Litze	22
1.1.3	Seileinlagen	27
1.1.4	Schmierung	30
1.2	Drahtseile	34
1.2.1	Einteilung nach Verwendungszweck	34
1.2.2	Seilkonstruktionen	34
1.2.3	Seilbenennung und Definitionen	39
1.2.4	Rechengrößen	41
1.3	Seilgeometrie	48
1.3.1	Litzengeometrie	48
1.3.2	Fasereinlage	53
1.3.3	Stahleinlage	56
1.4	Literatur	57
2	Drahtseile unter Zugbelastung	61
2.1	Spannungen im geraden Seil	61
2.1.1	Grundbeziehung für die Drahtzugkraft in der Litze	62
2.1.2	Zugspannung im Litzen- und Seildraht	65
2.1.3	Zusätzliche Drahtspannungen in der geraden Litze	72
2.1.4	Zusätzliche Drahtspannungen im geraden Litzenseil	74
2.2	Seilelastizitätsmodul	81
2.2.1	Definition	81
2.2.2	Seilelastizitätsmodul von Litzen und Spiralseilen	82
2.2.3	Seilelastizitätsmodul von Litzenseilen	85
2.2.4	Wellen und Schwingungen	96
2.3	Seildurchmesser unter der Wirkung der Seilzugkraft	104
2.4	Drehmoment und Drehsteifigkeit	106
2.4.1	Drehmoment aus geometrischen Daten	106
2.4.2	Drehmoment und Drehsteifigkeit von Rundlitzenseilen	108
2.4.3	Verdrehung der Hakenflasche	116
2.4.4	Seilverdrehung infolge Höhengspannung	118
2.4.5	Seillängenänderung durch Seilverdrehung	121
2.5	Seilbruchkraft	125

2.6	Schwellende Zugbeanspruchung von Seilen	126
2.6.1	Zugschwellversuche	126
2.6.2	Auswertemethode	127
2.6.3	Ergebnisse von Zugschwellversuchen	133
2.7	Bemessung von stehenden Seilen	150
2.8	Literatur	153
3	Drahtseile unter Biege- und Zugbelastung	158
3.1	Spannungen in laufenden Drahtseilen	158
3.1.1	Biege- und Torsionsspannung	158
3.1.2	Sekundäre Zugspannung	164
3.1.3	Biege- und Torsionsspannung aus der Seilovalisierung	168
3.1.4	Sekundäre Biegespannung	169
3.1.5	Zusammenfassung der Drahtlängsspannungen	171
3.1.6	Kraft zwischen Seil und Seilscheibe	173
3.1.7	Pressung zwischen Seil und Rille	180
3.2	Dauerbiegeversuche	186
3.2.1	Seilbiegemaschine, Versuchsdurchführung	187
3.2.2	Biegewechselzahl	194
3.2.3	Grenzkkräfte und geometrische Grenzen	222
3.2.4	Drahtbruchzahl	228
3.3	Bemessung der Seiltriebe nach Technischen Regeln	242
3.3.1	Aufzüge, Schachtförderanlagen und Seilbahnen	243
3.3.2	Hebezeuge, DIN 15 020	245
3.3.3	Hebezeuge, Europäische Normung	255
3.4	Berechnung der Seillebensdauer	255
3.4.1	Beanspruchungsfolge und Biegelänge (Analyse)	256
3.4.2	Seilzugkraft	263
3.4.3	Biegewechselzahl	265
3.4.4	Palmgren-Miner-Regel	271
3.4.5	Zugkraftgrenzen	273
3.4.6	Beispiele zur Berechnung der Seillebensdauer	276
3.5	Wirkungsgrad von Seiltrieben	283
3.6	Literatur	293
4	Seilbelastung durch Querkraft	300
4.1	Durchhang	300
4.1.1	Durchhang unter der Wirkung des Seileigengewichtes (Kettenlinie)	300
4.1.2	Vereinfachte Seillinie (Parabel)	304
4.1.3	Massebehaftetes Seil mit Querkraft	307
4.2	Seilbeanspruchung	314
4.2.1	Gerader Einzeldraht	314
4.2.2	Querbelastetes Seil	317
4.2.3	Gefütterte Seilrollen	329
4.2.4	Belastung des Seiles durch ein Rollenlaufwerk	336

4.2.5	Belastung des Seiles durch eine Rollenbahn	342
4.3	Bemessung von Tragseilen und Seilrollen	348
4.4	Literatur	349
5	Seilendverbindungen und Seilverbindungen	352
5.1	Seilendverbindungen	352
5.1.1	Drahtseilverguß	353
5.1.2	Klemmkopf	363
5.1.3	Schlaufenspleiß	364
5.1.4	Aluminiumpreßverbindung	366
5.1.5	Flämisches Auge	373
5.1.6	Bolzenverpressung	376
5.1.7	Seilschloß	382
5.1.8	Drahtseilklemmen	391
5.1.9	Sonstige Seilendverbindungen	396
5.1.10	Kauschen	398
5.1.11	Auswahl der Seilendverbindung	398
5.2	Seilverbindungen	402
5.2.1	Kurzspleiß	402
5.2.2	Langspleiß	403
5.2.3	Seilverbindung mit Vergüssen	406
5.3	Literatur	407
6	Seile im Betrieb	411
6.1	Handhabung, Montage und Wartung	411
6.1.1	Handhabung	411
6.1.2	Montage	413
6.1.3	Wartung und Reparatur	415
6.2	Sicherheit und Ablegekriterium	416
6.2.1	Sicherheit	416
6.2.2	Verformung, grobe Schäden	418
6.2.3	Ablegedrahtbruchzahl	423
6.2.4	Seildurchmesser	431
6.2.5	Seilquerschnitt	432
6.2.6	Aufliegezeit	435
6.2.7	Sicherheit durch paralleltragende Seile	436
6.3	Überwachung	440
6.3.1	Allgemeines	440
6.3.2	Visuelle und taktile Prüfung	441
6.3.3	Magnetische Seilprüfung	444
6.3.4	Sonstige Prüfverfahren	451
6.3.5	Rechnerunterstützte Seilinspektion	453
6.4	Literatur	455
	Zitierte Normen	458
	Sachverzeichnis	463