



Szymon Pałkowski

Statik der Seilkonstruktionen

Theorie und Zahlenbeispiele

Mit 74 Abbildungen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo Hong Kong 1990

Dr.-Ing. habil. Szymon Pałkowski

**Wyższa Szkoła Inżynierska, Koszalin
(Ingenieurhochschule, Köslin/Polen)**

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Pałkowski, Szymon: Statik der Seilkonstruktionen: Theorie und Zahlenbeispiele / Szymon Pałkowski. – Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo; Hong Kong: Springer, 1989

ISBN 978-3-540-51125-0 ISBN 978-3-642-52319-9 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-52319-9

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 Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1990

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch 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 dürfen.

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 Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Satz: Mit einem System der Springer Produktions-Gesellschaft
Datenkonvertierung: Brühlsche Universitätsdruckerei, Gießen

Bindearbeiten: Lüderitz & Bauer, Berlin
2362/3020-543210 – bedruckt auf säurefreiem Papier

Vorwort

Dieses Buch behandelt die theoretischen Grundlagen der statischen Analyse von Seilkonstruktionen. Es werden sowohl einzelne Seile als auch ebene und räumliche Seilsysteme betrachtet.

Das erste Kapitel vermittelt eine allgemeine Charakteristik und eine Übersicht über die Eigenschaften der Seilkonstruktionen. Das zweite Kapitel führt in die Berechnung der einzelnen Seile ein. Die hier vorgestellten Lösungen gestatten es, die Seilkraft unter Wirkung der verschiedenen Lastzustände zu ermitteln. Im dritten Kapitel des Buches werden die einfacheren Methoden der Berechnung von ebenen Seilsystemen besprochen. Das vierte Kapitel berücksichtigt die Problematik der statischen Berechnung von räumlichen Seilkonstruktionen, darunter auch von Flächenseilnetzen.

Außer den exakten Lösungen werden im Buch viele Näherungsmethoden der Berechnung vorgestellt, die für die meisten Fälle der Praxis ausreichend sind. Jedes Kapitel enthält die entsprechenden Zahlenbeispiele, die das Verständnis der besprochenen Thematik erleichtern.

Der Verfasser hofft, daß das vorliegende Buch insbesondere für die im Beruf stehenden Bauingenieure nützlich sein wird. Es kann auch den Studenten des Bauingenieurwesens von Fachhochschulen und von Technischen Universitäten zur Einführung in die Problematik der statischen Berechnung von Seilkonstruktionen dienen.

Koszalin, im September 1989

Sz. Pałkowski

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Formelbuchstaben	IX
1 Allgemeine Einführung in die Seilkonstruktionen	1
1.1 Charakteristik	1
1.2 Klassifizierung	2
1.3 Kinematische und elastische Eigenschaften	3
1.4 Mechanische Eigenschaften von Seilen	4
1.5 Rheologische Eigenschaften von Seilen	6
2 Statik des biegsamen Seiles	7
2.1 Einleitung	7
2.2 Seile mit horizontalen Sehnen	7
2.2.1 Wirkung des Eigengewichts	7
2.2.1.1 Herleitung der Seilgleichung	8
2.2.1.2 Näherungsform der Seilgleichung	9
2.2.1.3 Vergleich der Näherungsgleichung mit der exakten Seilgleichung .	10
2.2.2 Wirkung einer beliebigen vertikalen Belastung	12
2.2.2.1 Allgemeine Beziehungen	12
2.2.2.2 Herleitung der Seilgleichung mit Hilfe der Methode der Querkräfte .	13
2.2.2.3 Näherungsform der Seilgleichung	14
2.2.2.4 Diskussion der Seilgleichung	15
2.2.2.5 Vergleich der Näherungsgleichung mit der exakten Seilgleichung .	17
2.2.2.6 Berechnung der Integrale $\int_0^l Q^2 dx$	19
2.2.2.7 Einfluß einer zusätzlichen Belastung auf die Seilkraft	21
2.2.2.8 Einfluß der Temperaturänderung	23
2.2.2.9 Einfluß der Knotenverschiebungen	24
2.2.2.10 Berücksichtigung der Stützkonstruktionssteifigkeit	26
2.2.2.11 Ermittlung der erwünschten Ausgangslänge des Seiles	30
2.3 Seile mit schrägen Sehnen	32
2.3.1 Wirkung der vertikalen Belastung	32
2.3.1.1 Allgemeine Beziehungen	32
2.3.1.2 Herleitung der Seilgleichung mit Hilfe der Methode der Querkräfte .	33
2.3.1.3 Näherungsform der Seilgleichung	34
2.3.1.4 Vergleich der Näherungsgleichung mit der exakten Seilgleichung .	35
2.3.1.5 Berücksichtigung des Seileigengewichts	37

2.3.1.6	Ersetzung der vertikalen Belastung durch die senkrecht zur Seilsehne wirkende Belastung	37
2.3.2	Wirkung einer beliebigen Belastung in der Seilebene	40
2.3.3	Wirkung einer zusätzlichen Belastung senkrecht zur Seilebene	43
2.3.3.1	Voraussetzungen	43
2.3.3.2	Herleitung der Seilgleichung	43
2.3.4	Ermittlung der erwünschten Ausgangslänge des Seiles	46
2.4	Mehrfeldseile	48
2.4.1	Allgemeines	48
2.4.2	Herleitung der Seilgleichung	48
2.4.3	Mehrfeldseile mit schrägen Sehnen	50
2.5	Seile mit Gegengewicht	52
2.5.1	Einfeldseil	52
2.5.2	Mehrfeldseile	54
3	Ebene Seilkonstruktionen	56
3.1	Allgemeines	56
3.2	Berechnung der Seilbinder von Jawerth	56
3.2.1	Methode der schrittweisen Annäherung	56
3.2.2	Direkte Methode der Ermittlung von Seilkräften	61
3.3	Berechnung der abgespannten Tragwerke	64
4	Räumliche Seilkonstruktionen	69
4.1	Einleitung	69
4.2	Theoretische Grundlagen	70
4.2.1	Steifigkeitsmatrix des Seilelements	71
4.2.2	Steifigkeitsmatrix des Randträgers	74
4.3	Problematik der Berechnung von Seilnetzkonstruktionen	78
4.3.1	Ermittlung von Knotenverschiebungen	78
4.3.2	Vorspannung der Seilnetzkonstruktion	81
4.3.3	Stabilität des Randträgers	84
4.3.4	Berücksichtigung von krummlinigen Elementen	85
4.3.4.1	Allgemeines	85
4.3.4.2	Beschreibung des Verfahrens	86
4.4	Numerische Beispiele	89
4.4.1	Seilnetz ohne Vorspannung	89
4.4.2	Seilbinder	91
4.4.3	Seilnetz mit krummlinigen Elementen	93
4.4.4	Seilnetzkonstruktion mit verformbarem Randträger	97
	Literatur	102
	Anhang: Werte der Integrale $\int_0^1 Q^2 dx$	104
	Sachverzeichnis	107

Verzeichnis der Formelbuchstaben

Matrizen/Vektoren

k	Steifigkeitsmatrix des Elements
k_E	elastische Steifigkeitsmatrix des Elements
k_G	geometrische Steifigkeitsmatrix des Elements
K	Gesamtsteifigkeitsmatrix der Seilkonstruktion
L	Transformationsmatrix
R	Belastungsvektor
Δ	Knotenverschiebungsvektor

Lateinische Buchstaben

a, b, c	Faktoren der Seilgleichung
f	maximaler Durchhang des Seiles
f/l	bezogener Durchhang
g	Eigengewicht des Seiles
h	Spannweite des Seiles bei horizontaler Belastung
Δh	Gegengewichtshub
k	Federsteifigkeit
l	Spannweite des Seiles/Länge des Elements der Seilkonstruktion
l_s	Länge der Seilsehne
Δl	Verlängerung (Verkürzung) des Seiles längs der Seilsehne
m, n, p, q	Faktoren der Elementsteifigkeitsmatrix
p	Streckenlast im Belastungszustand des Seilbinders
p'	Streckenlast im Vorspannungszustand des Seilbinders
q	gleichmäßige Belastung
$q(x)$	vertikale Belastung
$q(y)$	horizontale Belastung
$q_z(t)$	zur Seilebene senkrechte Belastung
$q'(t)$	zur Seilsehne senkrechte Belastung
s	Seillänge im Endzustand
s_o	Seillänge im Ausgangszustand
Δs	elastische Verlängerung (Verkürzung) des Seiles
Δst	Verlängerung (Verkürzung) des Seiles infolge Temperaturänderung
Δt	Temperaturänderung
u/l_s	bezogener Durchhang des Seiles
u, v, w	Knotenverschiebungen
v, t	Koordinatensystem des Seiles

x, y, z	gemeinsames Koordinatensystem
x', y', z'	lokales Koordinatensystem
A	Seilquerschnitt/Querschnitt des Elements der Seilkonstruktion
D	Determinantewert der Gesamtsteifigkeitsmatrix
E	Elastizitätsmodul
EA	Dehnsteifigkeit des Seiles/Dehnsteifigkeit des Elements der Seilkonstruktion
EI	Biegesteifigkeit des Elements
G	Gegengewicht des Seiles
GA_s	Schubsteifigkeit des Elements
GI_x	Torsionsteifigkeit des Elements
H	horizontale Komponente der Seilkraft
H_A, H_B	horizontale Auflagerkräfte
M	Gleichung der gedachten Momentenlinie
N	Druckkraft im Element
P	Einzellast
Q	Gleichung der gedachten Querkraftlinie
R_A, R_B	vertikale Auflagerkräfte
R_m	maximale Zugfestigkeit des Seiles
S	Seilkraft in Richtung der Seilsehne/Zugkraft im Element des Seilnetzes
$\max S$	maximale Zugkraft im Seil
S/l	geometrische Steifigkeit des Elements
V_A, V_B	Auflagerkräfte bei Belastung $q_z(t)$

Griechische Buchstaben

α	Neigungswinkel der Seilsehne zur Horizontalebene
α, β, γ	Richtungskosinusse des Elements
α_t	Temperaturausdehnungskoeffizient
ε	Seildehnung
η	Drehwinkel des Randträgerelements
μ	Koeffizient der Schubsteifigkeit
ω	Neigungswinkel des Randträgers zur Horizontalebene