

Eike Lehmann · Leshan Zhang

Nichtlineares Verhalten von ausgesteiften Tragwerken

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Eike Lehmann · Leshan Zhang

Nichtlineares Verhalten von ausgesteiften Tragwerken

mit schiffbaulichen, meeres-
und anlagentechnischen Beispielen

Mit 246 Abbildungen



Springer

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. EIKE LEHMANN
Dr.-Ing. LESHAN ZHANG
Germanischer Lloyd AG
Vorsetzen 32
D - 20459 Hamburg

ISBN 978-3-642-63520-5

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Lehmann, Eike:

Nichtlineares Verhalten von ausgesteiften Tragwerken / Eike Lehmann; Leshan Zhang.

ISBN 978-3-642-63520-5 ISBN 978-3-642-58264-6 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-58264-6

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 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 1998

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1998

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1998

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 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.

SPIN: 10628541 68/3020 - 5 4 3 2 1 0 - Gedruckt auf säurefreiem Papier

Vorwort

Die hier vorgelegte Arbeit ist das Ergebnis einer mehrjährigen Forschungs- und Lehrtätigkeit an der Technischen Universität Hamburg-Harburg im Rahmen der Ermittlung des Strukturverhaltens schiffbaulicher und meerestechnischer Konstruktionen außerhalb des elastischen Bereichs.

Hintergrund ist der Wunsch gewesen, mehr Kenntnisse über das wirkliche Verhalten von Strukturen unter extremen Lasten zu erhalten. Während im Bereich des Bauingenieurwesens die Methoden der Traglastberechnungen stählerner Konstruktionen wohl etabliert sind, kann man dieses bei Schiffen und meerestechnischen Bauwerken nicht im gleichen Umfang als gegeben annehmen. Einer der Gründe ist, daß in vielen Fällen andere Versagensformen als die des Grenztragfähigkeitsversagens bedeutsam sind, so z. B. das Ermüdungsverhalten der geschweißten Konstruktionen. Dennoch ist ein allgemeiner Trend zu erkennen, alle Tragfähigkeitsreserven auszunutzen, um zu wirtschaftlichen Konstruktionen zu gelangen. Dieses kann nur gelingen, wenn man die Struktur außerhalb des reversiblen elastischen Verhaltens studiert.

Diese Studien können auch heute in einigen Fällen nicht ohne Experimente auskommen. Daher wurden in ausgewählten Anwendungsfällen solche Versuche durchgeführt. Die hierfür notwendigen Forschungsmittel wurden in dankenswerter Weise von verschiedenen staatlichen und privaten Förderern zur Verfügung gestellt. Diese waren die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), das Forschungszentrum des Deutschen Schiffbaus (FDS/AIE, FDS/AVIF) sowie das Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT).

Ein so umfangreiches Forschungsprogramm erfordert viele kluge Köpfe. So sind besonders die Mitarbeiter des Arbeitsbereiches Schiffstechnische Konstruktionen und Berechnungen der Technischen Universität mit ihren verschiedenen Beiträgen am Gelingen dieser Arbeit maßgeblich beteiligt.

Die Autoren möchten es daher an dieser Stelle nicht versäumen, besonders dem Oberingenieur Herrn Dr.-Ing. Horst Höft für seine langjährige Betreuung der numerischen Berechnungen sowie dem Versuchsingenieur Herrn Dipl.-Ing. Wolfgang Koch für die sorgfältige Vorbereitung und Durchführung der verschiedenen Versuche zu danken.

Die Arbeit wendet sich an die Fachkollegen in den wissenschaftlichen Einrichtungen, die Berechnungsingenieure auf den Werften und die Prüfsingenieure der Klassifikationsgesellschaften sowie natürlich an die Studenten, deren fachliche Kompetenz die Zukunftssicherung unseres Fachs ist.

Hamburg, im Sommer 1997

Eike Lehmann

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Balken	5
2.1	Grundlagen des elastoplastischen Tragwerksverhaltens	5
2.1.1	Einfache Modelle	5
2.1.2	Formfaktoren schiffbaulicher Querschnitte	12
2.1.3	Elastoplastische Durchbiegung	14
2.1.4	Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten	18
2.1.5	Der Einfluß von Randeinspannungen, Stützenabsenkungen und Knieblechen auf die Traglast	23
2.1.6	Berücksichtigung großer Verformungen	29
2.1.7	Interaktion zwischen Biegemoment, Längskraft und Quer- kraft für typische Querschnitte	32
2.1.8	Berücksichtigung von Längskräften der großen Verformungen	40
2.1.9	Genauigkeit der Traglastberechnungen und Beispiele . . .	42
2.2	Bestimmung der Traglast von Tragwerken	48
2.2.1	Allgemeines	48
2.2.2	Probiermethode	48
2.2.3	Stückweise Berechnung der Traglast	55
2.2.4	Traglasten von Balkentragwerken mit finiten Balkenelementen	58
2.3	Schiffbauliche Beispiele	68
2.3.1	Wirksame Gurtbreite ohne seitliche Abstützung	71
2.3.2	Berücksichtigung einer horizontalen Stützung	72
2.3.3	Effektivität des Gurtes beim vollständigen Plastizieren des Gurtes	74
2.3.4	Ermittlung des Bettungsparameters β	76
	Bezeichnungen	81
	Literatur	83
3	Platten	85
3.1	Grundlagen des elastoplastischen Tragverhaltens von Platten . . .	85
3.1.1	Untersuchungen im elastischen Grenzbereich	85
3.1.2	Nichtlineares Tragverhalten	86
3.1.3	Fließgelenklinientheorie	87

3.1.4	Anwendung der Fließgelenklinientheorie auf Platten	90
3.2	Allgemeine Theorie zur Bestimmung der Traglasten von Platten . .	93
3.2.1	Allgemeines	93
3.2.2	Lösung für die frei drehbar gelagerte Platte	94
3.2.3	Lösung für die allseitig eingespannte Platte	97
3.2.4	Berücksichtigung der Membranwirkung für eine frei drehbar gelagerte Platte	100
3.2.5	Berücksichtigung der Membranwirkung für eine allseitig ein- gespannten Platte	104
3.2.6	Der Fall $a/b > 1,0$ und $u/v < 1,0$	109
3.2.7	Anmerkung	109
3.3	Vergleich zwischen Traglast und FE	111
3.3.1	Allgemeines	111
3.3.2	Erstellung der FE-Modelle	111
3.3.3	Vergleich zwischen der FE-Rechnung und der geschlossenen Lösung nach Navier im elastischen Bereich	112
3.3.4	Vergleich der analytischen Lösung ohne Berücksichtigung der Membranwirkung	113
3.3.5	Vergleich der Traglastrechnungen unter Berücksichtigung der Membranwirkung	119
3.4	Vergleich mit anderen Lösungen und Versuchen	131
3.4.1	Vergleich mit anderen theoretischen Lösungen	131
3.4.2	Vergleich mit anderen Versuchsergebnissen	144
3.5	Schiffbauliche Anwendung	148
3.5.1	Allgemeines	148
3.5.2	Experimentelle Untersuchung	151
3.5.3	Vergleichsrechnung mit der Finite-Element-Methode	172
3.5.4	Traglastabschätzung mit der Traglasttheorie des Balkens . .	183
3.5.5	Krüppellast	185
3.5.6	Vergleich zwischen geschlossenen Lösungen und Messungen	187
3.5.7	Tragverhalten des Innenbodens eines Bulkcarriers bei stoßar- tigen Belastungen	190
3.5.8	Verformungsversagen bei einer Platte mit Steifen	196
3.6	Parameterstudie	200
3.6.1	Allgemeines	200
3.6.2	Erstellung der FE-Modelle	201
3.6.3	Einfluß von Randverformungen des Plattenfelds	204
3.6.4	Einfluß von geometrischen Parametern	208
3.6.5	Vergleich mit Bemessungsvorschriften	214
	Bezeichnungen	220
	Literatur	221

4	Schalen	225
4.1	Allgemeines	225
4.2	Tankböden	225
4.2.1	Versuche an Tankböden	225
4.2.2	Rechnerische Überprüfung der Versuche	227
4.2.3	Tragverhalten einer Membran	232
4.2.4	Parameteruntersuchung von Tankböden	234
4.3	Zylinderschale	235
4.3.1	Allgemeines	235
4.3.2	Rohre von Offshorekonstruktionen	236
4.3.3	Verhalten unter punktförmiger Belastung	238
4.3.4	Versuchsergebnisse	244
4.3.5	Vergleichsrechnung mit der Finite-Element-Methode	259
4.3.6	Einfluß von Reparaturmaßnahmen	270
	Bezeichnungen	273
	Literatur	275
 Sachverzeichnis		 277