

Verformungsvorhersage vorgespannter Flachdecken unter Berücksichtigung der stochastischen Eigenschaften

Vom Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie
der Technischen Universität Darmstadt
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

DISSERTATION

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Guido Hausmann

aus
Hattingen / Nordrhein-Westfalen

D 17

Darmstadt 2007

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner

Anschrift:

Institut für Massivbau – Fachgebiet Massivbau
Petersenstrasse 12
64287 Darmstadt

<http://www.massivbau.tu-darmstadt.de>

Hausmann, Guido:

Verformungsvorhersage vorgespannter Flachdecken unter Berücksichtigung der stochastischen Eigenschaften

1. Auflage Darmstadt, Eigenverlag, Heft 15

ISBN 978-3-9811881-1-0

Dr.-Ing. Guido Hausmann

Geboren 1973 in Hattingen. Von 1994 bis 1999 Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Universität Darmstadt. Von 2000 bis Ende 2002 Mitarbeiter im Ingenieurbüro König und Heunisch Planungsgesellschaft in Frankfurt/Main. Von Ende 2002 bis 2007 wissenschaftlicher Mitarbeiter von Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner am Institut für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt. In dieser Zeit auch als freier Mitarbeiter im Ingenieurbüro König und Heunisch Planungsgesellschaft in Frankfurt/Main tätig. Seit 2007 technischer Projektleiter im Ingenieurbüro König und Heunisch Planungsgesellschaft in Frankfurt/Main.

VORWORT

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt.

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner danke ich sehr herzlich für seine Unterstützung, für das mir entgegengebrachte Vertrauen sowie für seine stete Diskussionsbereitschaft.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Nguyen Viet Tue möchte ich sehr herzlich für das Interesse an meiner Arbeit und für die Übernahme des Korreferates danken.

Herrn Dr.-Ing. Tilo Proske, Herrn Dr.-Ing. Holger Schmidt, Herrn Dipl.-Ing. Eric Brehm und Herrn Dr. Jan Schlüter danke ich sehr herzlich für die kritische Durchsicht der Arbeit.

Meinen Kollegen und Kolleginnen danke ich ganz besonders für die in beruflicher und privater Hinsicht ausgesprochen angenehme Zeit am Institut, an die ich mich sehr gerne erinnern werde. Meinem Zimmerkollegen Herrn Dr.-Ing. Simon Glowienka danke ich für die fruchtbaren Diskussionen zur Zuverlässigkeitstheorie.

Meinen Eltern danke ich für ihre liebevolle Unterstützung, die mir während meines Studiums des Bauingenieurwesens eine große Hilfe war.

Meiner lieben Frau Lena und meiner Tochter Paula danke ich von Herzen für ihren Rückhalt, ihr Verständnis und ihre Geduld, ohne die diese Arbeit kaum möglich gewesen wäre.

Darmstadt, Dezember 2007

Guido Hausmann

Referent:	Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. habil. Nguyen Viet Tue
Tag der Einreichung:	28. Juni 2007
Tag der mündlichen Prüfung:	20. November 2007

Ja, Statistiken. Aber welche Statistik stimmt schon? Nach der Statistik ist jeder 4. Mensch ein Chinese, aber hier spielt kein Chinese mit.

Werner Hansch, Fußballkommentator

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	Motivation.....	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Vorgehensweise	3
2	GRUNDLAGEN DER MODELLIERUNG VON TRAGWERKSVERFORMUNGEN	5
2.1	Einführung.....	5
2.2	Einwirkungen	6
2.3	Materialverhalten.....	7
2.3.1	Beton unter einachsiger Druckbeanspruchung	7
2.3.2	Beton unter einachsiger Zugbeanspruchung.....	10
2.3.2.1	Kurzzeitfestigkeit.....	10
2.3.2.2	Zeitvariante Zugfestigkeit.....	13
2.3.3	Beton unter mehrachsiger Beanspruchung	14
2.3.4	Zeitabhängiges Verformungsverhalten von Beton	15
2.3.4.1	Kriechen von Beton	15
2.3.4.2	Schwinden von Beton	20
2.3.5	Betonstahl unter Zug- und Druckbeanspruchung	21
2.3.6	Spannstahl	21
2.4	Querschnittstragverhalten.....	22
2.4.1	Allgemeines.....	22
2.4.2	Momenten-Krümmungs-Beziehung für kurzzeitige Einwirkung	22
2.4.3	Tension Stiffening	25
2.4.4	Momenten-Krümmungs-Beziehung für wiederholte Belastung	29
2.4.5	Auswirkungen des zeitabhängigen Verhaltens	31
2.4.5.1	Kriecheffekte auf Querschnittsebene	31
2.4.5.2	Schwindeffekte auf Querschnittsebene	38
2.5	Verformungsvorhersage auf Systemebene.....	40
2.5.1	Stabförmige Bauteile	40
2.5.2	Plattenförmige Bauteile	41
2.5.2.1	Allgemeines	41
2.5.2.2	Vorspannwirkung.....	42
2.5.2.3	Membrantragwirkung.....	43
2.5.3	Verformungen infolge Querkraftbeanspruchung.....	44

3	KRITISCHE ANALYSE AUSGEWÄHLTER VERFAHREN ZUR VERFORMUNGSBESCHRÄNKUNG	45
3.1	Allgemeines	45
3.2	Normative Ansätze	46
3.2.1	DIN 1045-1	46
3.2.2	EC 2	47
3.2.3	SIA 260 und SIA 262	49
3.2.4	BS 8110	50
3.2.5	ACI 318	51
3.3	Verfahren aus der Literatur	53
3.4	Vergleichende Analyse der vorgestellten Verfahren	55
4	GRUNDLAGEN PROBABILISTISCHER BERECHNUNGEN	63
4.1	Einführung	63
4.2	Stochastische Modellierung	69
4.2.1	Einführung	69
4.2.2	Modellierung der Material- und Systemeigenschaften	70
4.2.2.1	Beton	70
4.2.2.2	Tension Stiffening	72
4.2.2.3	Kriechen und Schwinden	73
4.2.2.4	Betonstahl	76
4.2.2.5	Vorspannung	77
4.2.2.6	Geometrie	79
4.2.3	Modellierung von Eigengewichts- und Ausbaulasten	80
4.2.4	Modellierung von Nutzlasten	81
4.2.4.1	Grundlagen	81
4.2.4.2	Bestimmung von Lastkonzentrationsfaktoren	86
4.2.4.3	Bestimmung von Extremwertverteilungen verschiedener Nutzungsarten	93
4.2.5	Modellunsicherheiten	97
4.3	Probabilistische Berechnungsverfahren	98
4.3.1	Allgemeines	98
4.3.2	Monte-Carlo Simulation	99
4.3.3	Latin Hypercube Sampling	102

5	STOCHASTISCHE ANALYSE VON EINFELDSYSTEMEN	105
5.1	Einführung und Zielsetzung.....	105
5.2	Zeitvariante Berechnung der Durchbiegungen	106
5.2.1	Untersuchte Systeme	106
5.2.2	Prinzipieller Berechnungsablauf.....	107
5.2.3	Analyse ausgewählter Ergebnisse.....	110
5.3	Entwicklung einer vereinfachten Nutzlastmodellierung.....	119
5.3.1	Allgemeines.....	119
5.3.2	Äquivalenzlasten für die Vorhersage der Kriechverformungen	120
5.3.3	Äquivalenzlasten für die Vorhersage von Extremwerten	127
5.3.4	Äquivalenzlasten für die Vorhersage von Momentanwerten.....	129
6	STOCHASTISCHE ANALYSE VORGESPANNTER FLACHDECKEN ...	133
6.1	Einführung und Zielsetzung.....	133
6.2	Systemmodellierung.....	134
6.2.1	Mechanische Modellierung	134
6.2.2	Auswahl der Antwortgrößen und Modellierung der Belastung.....	137
6.2.3	Durchführung der Berechnungen	141
6.2.4	Auswahl der stochastischen Parameter.....	143
6.3	Analyse ausgewählter Ergebnisse	146
6.3.1	Analyse der Verteilungsfunktionen	146
6.3.2	Sensitivitätsanalysen.....	151
6.3.2.1	Vorgehensweise	151
6.3.2.2	Büronutzung.....	155
6.3.2.3	Nutzung als Verkaufsfläche	158
6.3.2.4	Zusammenfassung.....	160
6.3.3	Entwicklung eines Näherungsverfahrens für die Ermittlung von Verteilungsfunktionen der Durchbiegung	161
6.4	Durchführung von Zuverlässigkeitsanalysen	167
6.4.1	Formulierung der Grenzzustandsfunktionen	167
6.4.2	Grenzwerte zulässiger Verformungen	169
6.4.2.1	Stochastische Modellierung der zulässigen Grenzwerte	169
6.4.2.2	Verwendung der Grenzwerte bei punktgestützten Systemen	170
6.4.3	Analyse ausgewählter Ergebnisse.....	171
6.4.3.1	Ermittlung des Zuverlässigkeitsindex β	171
6.4.3.2	Sensitivitätsanalyse	175
6.4.3.3	Vergleich mit deterministischem Nachweis.....	178

7	BEGRENZUNG DER DURCHBIEGUNG VORGESPANNTER FLACHDECKEN OHNE DIREKTE BERECHNUNG	183
7.1	Einführung.....	183
7.2	Entwicklung eines Biegeschlankheitskriteriums	183
7.3	Voraussetzungen für die Anwendung.....	191
8	RESÜMEE UND AUSBLICK	193
9	LITERATURVERZEICHNIS.....	197