

Sicherheitskonzept für nichtlineare Traglastverfahren im Betonbau

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. Michael Six
aus Langen / Hessen

D 17

Darmstadt 2001

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung	3
1.3	Vorgehensweise	4
2	Diskussion vorhandener Lösungskonzepte.....	5
2.1	Sicherheitsformate innerhalb des Teilsicherheitskonzepts	5
2.2	Lösungskonzept von <i>Eibl</i>	6
2.3	Lösungskonzept von <i>König et al.</i>	8
3	Grundlagen der Tragwerkszuverlässigkeit	11
3.1	Einführung	11
3.1.1	Vorbemerkung	11
3.1.2	Risiko, Sicherheit, Zuverlässigkeit – eine Begriffsdefinition	11
3.1.3	Historischer Überblick	13
3.2	Zufallsvariablen	15
3.2.1	Allgemeine Definitionen.....	15
3.2.2	Verteilungsfunktionen stetiger Zufallsvariablen.....	16
3.2.3	Zufallsvektoren	20
3.2.4	Zufallsfelder	25
3.2.5	Funktionen von Zufallsvariablen	26
3.3	Mathematische Formulierung des Zuverlässigkeitsproblems.....	29
3.3.1	Das <i>R-S</i> -Modell	29
3.3.2	Das verallgemeinerte Zuverlässigkeitsproblem	33
3.3.3	Besonderheiten der Zuverlässigkeitsanalyse von Systemen	34
3.3.4	Klassifizierung der zuverlässigkeitstheoretischen Methoden	38
3.4	Probabilistische Näherungsverfahren	39
3.4.1	Die Momentenmethode.....	39
3.4.2	Zuverlässigkeitstheorie erster Ordnung	42
3.4.3	Zuverlässigkeitstheorie zweiter Ordnung	43
3.4.4	Antwortflächenverfahren	43
3.5	Probabilistisch exakte Verfahren	44
3.5.1	Numerische Integration.....	44
3.5.2	Die „direkte“ Monte Carlo Methode.....	44
3.5.3	Gewichtete Monte Carlo Simulation.....	46
3.5.4	Gewichtete Simulation mit adaptiven Stichprobenfunktionen	48
3.6	Stochastische Finite Elemente	50
3.7	Semi-probabilistisches Sicherheitskonzept der Normen.....	51
3.7.1	Einleitung	51
3.7.2	Angestrebtes Zuverlässigkeitsniveau	52
3.7.3	Herleitung von Sicherheitselementen	54

4	Mechanische und stochastische Modelle	57
4.1	Einführung.....	57
4.2	Modellierung des Materialverhaltens.....	58
4.2.1	Verhalten von Betonstahl unter Zug- und Druckbeanspruchung.....	58
4.2.2	Verhalten von Beton unter Druckbeanspruchung.....	59
4.2.3	Verhalten von Beton unter Zugbeanspruchung.....	65
4.2.4	Mitwirkung des Betons auf Zug zwischen den Rissen.....	67
4.3	Modellierung des Querschnittstragverhaltens.....	80
4.3.1	Grundlagen.....	80
4.3.2	Die Momenten-Krümmungs-Beziehung – ein integrales Materialgesetz.....	84
4.3.3	Die Momenten-Normalkraft-Interaktion.....	87
4.4	Modellierung des Tragverhaltens schlanker Stahlbetonstützen.....	88
4.4.1	Grundlagen.....	88
4.4.2	Berechnungsmethode.....	90
4.4.3	Modellstützenverfahren.....	93
4.5	Stochastisches Modell.....	97
4.5.1	Vorbemerkung.....	97
4.5.2	Betonstahl.....	97
4.5.3	Beton.....	98
4.5.4	Geometrische Abmessungen.....	100
4.5.5	Einwirkungen.....	101
4.5.6	Modellunsicherheiten.....	102
4.5.7	Zusammenstellung der statistischen Eigenschaften der Basisvariablen.....	102
5	Kritische Analyse bestehender Sicherheitskonzepte	103
5.1	Einleitung.....	103
5.2	Globales Sicherheitskonzept.....	103
5.2.1	Sicherheitselemente.....	103
5.2.2	Defizite des globalen Sicherheitskonzepts.....	104
5.3	Bemessungswert-Konzept.....	106
5.3.1	Sicherheitselemente.....	106
5.3.2	Auswirkungen des Sicherheitskonzepts auf die mechanischen Modelle.....	109
5.4	Load and Resistance Factor Design (<i>LRFD</i>).....	113
5.5	Schlussfolgerungen.....	114
6	Kalibrierung eines neuartigen Teilsicherheitsfaktors bezogen auf mittlere Baustoffeigenschaften	115
6.1	Allgemeiner Lösungsansatz.....	115
6.2	Grundlagen der Kalibrierung.....	120
6.3	Deterministische Parameterstudie.....	122
6.4	Statistische Analyse des Querschnittswiderstandes.....	130
6.5	Probabilistische Kalibrierung auf Querschnittsebene.....	136
6.5.1	Vorgehensweise.....	136

6.5.2	Analyse und Bewertung des Zuverlässigkeitsniveaus nach Eurocode 2	137
6.5.3	Bestimmung des erforderlichen Teilsicherheitsfaktors.....	141
6.5.4	Überprüfung des erreichten Zuverlässigkeitsniveaus	146
6.5.5	Berücksichtigung von Geometriestreuungen über additive Sicherheitselemente..	149
6.6	Vorschlag für die Festlegung des neuen Teilsicherheitsfaktors.....	151
7	Verifizierung des neuen Teilsicherheitsfaktors.....	155
7.1	Vorbemerkung	155
7.2	Implementierung der Adaptive Importance Sampling Methode (<i>AIS</i> -Methode)...	156
7.2.1	Vorgehensweise	156
7.2.2	Schätzfunktionen der <i>AIS</i> -Methode	157
7.2.3	Startprozedur der <i>AIS</i> -Methode	159
7.2.4	Verifizierung anhand des <i>R-S</i> -Modells.....	161
7.2.5	Erweiterungsmöglichkeiten hinsichtlich der Analyse komplexerer Systeme.....	162
7.3	Zuverlässigkeitsanalysen schlanker Druckglieder	167
7.3.1	Einleitung	167
7.3.2	Untersuchungsprogramm	168
7.3.3	Tolerierbarer statistischer Fehler und Effizienz.....	170
7.3.4	Diskussion der Ergebnisse	170
8	Zusammenfassung.....	181
9	Literaturverzeichnis.....	185
Anhang	197