

Der Ingenieurbau

- **Tragwerkszuverlässigkeit**
- **Einwirkungen**

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Verzeichnis der Verfasser

Tragwerkszuverlässigkeit

1	Einführung	1
2	Grundlagen	6
2.1	Einführung	6
2.2	Modellierung der Eingangsgrößen	7
2.2.1	Belastungen und ihre Kombination	7
2.2.2	Festigkeit von Werkstoffen	11
2.2.2.1	Wahrscheinlichkeitsverteilung von Festigkeitseigenschaften	11
2.2.2.2	Räumliche Korrelation	14
2.3	Modellierung der Struktur	14
2.4	Strukturanalyse	15
2.4.1	Allgemeines	15
2.4.2	Statische Analyse	16
2.4.3	Dynamische Analyse	16
2.4.3.1	Allgemeines	16
2.4.3.2	Stochastische Prozesse	16
2.4.3.3	Monte-Carlo-Simulation von Zufallsprozessen	21
2.4.3.3.1	Allgemeines	21
2.4.3.3.2	Lineare Analyse	24
2.4.3.4	Nichtlineare Analyse	27
2.4.4	Stochastische Finite Elemente	31
2.4.4.1	Allgemeines	31
2.4.4.2	Eigenschaften von Zufallsfeldern	32
2.4.4.3	Diskretisierung von Zufallsfeldern	33
2.4.4.4	Simulation von Zufallsfeldern	34
2.4.4.5	Stochastische Finite Elemente Matrizen	34
2.4.4.6	Lösung von SFE-Problemen	35
2.5	Methoden zur Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit bzw. der Zuverlässigkeit	36
2.5.1	Allgemeines	36
2.5.2	Die Berechnung der Grenzzustandsfunktion	37
2.5.2.1	Allgemeines	37
2.5.2.2	Analytische Bestimmung	37
2.5.2.3	Numerische Verfahren	37
2.5.2.4	Die Antwortfläche	39
2.5.3	Verfahren zur Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit	41
2.5.3.1	Allgemeines	41

2.5.3.2	Numerische Integration	41
2.5.3.3	Approximationsverfahren	42
2.5.3.4	Monte-Carlo-Simulationsverfahren	43
2.6	Zuverlässigkeit von Tragsystemen unter statischer und dynamischer Beanspruchung	45
2.6.1	Allgemeines	45
2.6.2	Statische Belastung	46
2.6.2.1	Statisch bestimmte Tragwerke	46
2.6.2.2	Statisch unbestimmte Tragwerke	46
2.6.3	Dynamische Belastung	52
2.7	Berücksichtigung zeitabhängiger Systemeigenschaften	55
2.7.1	Allgemeines	55
2.7.2	Zeitabhängige Zuverlässigkeitsbestimmung	55
2.7.3	Werkstoffermüdung und Rißfortschritt	56
2.7.4	Versagenskriterien der Komponenten	57
2.8	Software-Entwicklung	59
2.8.1	Voraussetzungen und Planung	59
2.8.2	Aufgaben der Strukturzuverlässigkeitsanalyse	59
2.8.3	ISPUD (Importance Sampling Using Design Points)	60
2.8.4	COSSAN (COmputational Stochastic Structural ANalysis)	61
3	Anwendung	63
3.1	Einführung	63
3.2	Umsetzung der Verfahren in Richtlinien bzw. Normen	64
3.2.1	Allgemeines	64
3.2.2	Grundzüge des Semi-Probabilistischen Sicherheitskonzeptes	64
3.2.3	Anwendungen des Semi-Probabilistischen Sicherheitskonzeptes	68
3.2.4	Aspekte der Zuverlässigkeitsbeurteilung bereits bestehender Tragwerke	69
3.3	Zuverlässigkeitsbeurteilung von Sondertragwerken	70
3.3.1	Allgemeines	70
3.3.2	Vorgehensweise	70
4	Literatur	71

Einwirkungen auf Bauwerke

	Vorbemerkung	73
1	Grundsätze der Modellierung und Festlegung von Lasten	74
1.1	Allgemeines	74
1.2	Stochastische Modelle	78
1.3	Filterung beim Übergang von Last zu Lastwirkung	86
1.4	Lastkombination	90
1.5	Lastannahmen und Lastkombinationsregeln für die praktische	
2	Eigenlasten, Lagerstoffe und Bodeneigenschaften	96
2.1	Grundlagen der Modellierung für Eigenlasten	96
2.2	Statistische Angaben für Eigenlasten	98
2.3	Lagerstoffe	100
2.4	Bodenkennwerte	102
3	Verkehrslasten im Hochbau	105
3.1	Allgemeines	105

3.2	Erfassung der räumlichen Verteilung	105
3.3	Zeitliche Änderungen der Verkehrslast	108
3.4	Lastkombination	109
3.5	Lastbeobachtungen	109
3.6	Belastungen in Parkhäusern und auf Hofkellerdecken	112
3.7	Lastannahmen in Regelwerken	115
4	Lasten infolge Straßenverkehr auf Brücken	117
4.1	Allgemeines	117
4.2	Fahrzeugmodelle	118
4.3	Verkehrszusammensetzung	121
4.4	Verkehrsflußmodell	122
4.5	Statische Belastung unmittelbar befahrener Bauteile	127
4.6	Dynamische Zusatzlasten aus Fahrbahnunebenheiten	128
4.7	Darstellung der Verkehrslasten durch Mittelwert und Spektrum	133
4.8	Lasten und Lastwirkungen	135
4.9	Ableitung eines äquivalenten Lastbildes	148
4.10	Außergewöhnliche Schwertransporte	150
4.11	Schlußbemerkung	152
5	Lasten in Silos	152
5.1	Allgemeines	152
5.2	Elementare Silotheorie	154
5.3	Moderne Betrachtungsweisen	158
5.4	Berücksichtigung ungleichmäßiger Silodrücke, Auslauftrichter	164
5.5	Bewertung der Unsicherheiten in den Lastannahmen für Silos	165
6	Windlasten	165
6.1	Allgemeines	165
6.2	Strömungsmechanische Grundlagen, Theorie der atmosphärischen Grenzschicht	169
6.3	Klimatologische Grundlagen	185
6.4	Charakteristika des natürlichen Windes in der praktischen Bauwerksaerodynamik	192
6.5	Allgemeines zu Windwirkungen auf Gebäude	205
6.6	Berechnung statischer Windwirkungen – Aerodynamische Widerstandskoeffizienten	211
6.7	Windlasten bei statisch und dynamisch reagierenden Bauwerken	217
6.8	Quasi-statische und dynamische Böenreaktionsfaktoren für vereinfachte Untersuchungen von schwingungsanfälligen Hochhäusern, Türmen und Schornsteinen	224
6.9	Karmansche Wirbelstraßenanregung	228
6.10	Galloping, Flattern und andere aeroelastische Erscheinungen	233
6.11	Aeroelastische Interferenzerscheinungen	242
6.12	Schlußbemerkung	242
7	Beanspruchung durch Fluide, Meereswellen und Meeresströmung	242
7.1	Allgemeines	242
7.2	Hydrostatik	243
7.3	Lineare Wellentheorie	246
7.4	Beschreibung des natürlichen Seegangs	252
7.5	Spektren der Wasserpartikelbewegung im natürlichen Seegang	269
7.6	Strömungen	271

7.7	Kräfte auf Körper im Wasser	274
7.8	Wirbelstraßen- und Selbsterregung	293
7.9	Schlußbemerkung	293
8	Schneelasten	293
8.1	Allgemeines	293
8.2	Schneehöhen in Abhängigkeit von der Höhe über N. N. und Klimazonen	297
8.3	Schneedichte	299
8.4	Charakteristischer Wert der Grundschneelast	301
8.5	Dachschneelasten	301
8.6	Schlußbemerkung	303
9	Klimatische Temperatureinwirkungen	304
9.1	Allgemeines	304
9.2	Beschreibung des atmosphärischen Temperaturverlaufs und von Innentemperaturen	305
9.3	Wärmeübertragung und Wärmedurchgang	307
9.4	Wirkungen der Temperatur	330
9.5	Bemessungstemperaturen in Baubestimmungen	334
9.6	Schlußbemerkung	335
10	Erdbebeneinwirkungen	335
10.1	Einleitende Bemerkungen – Begriffe, physikalische und geologische Grundtatsachen	335
10.2	Analyse von Erdbebenwellen	339
10.3	Herdspektren	355
10.4	Seismologisch begründete Freifeldspektren	361
10.5	Quantifizierung der regionalen Seismizität	361
10.6	Erdbebenbeschleunigungen als stochastischer Prozeß – Leistungsspektrum des Freifelds	372
10.7	Antwortspektrum des Freifelds	384
10.8	Überblick über Berechnungsverfahren bei Beanspruchung durch Erdbeben	387
10.9	Lastannahmen in modernen Erdbebenvorschriften	391
10.10	Schlußbemerkung	395
11	Stoß- und Anpralllasten	395
11.1	Allgemeines	395
11.2	Mechanische Grundlagen	396
11.3	Wahrscheinlichkeit des Anpralls von Fahrzeugen gegen Strukturen	404
11.4	Praktische Hinweise	405
12	Literatur	408

Erdbebensicherung der Bauwerke

1	Einleitung	417
1.1	Zum Nutzen des Erdbebeningenieurwesens	417
1.2	Historische Erdbeben	418
1.3	Auswirkungen von Erdbeben	421
2	Seismologische Grundlagen	423
2.1	Arten und Merkmale von Erdbeben	423
2.2	Erdbebenskalen	426
2.2.1	Magnitudenskala (Richterskala)	426

2.2.2	Intensitätsskala	426
2.3	Erdbebenwellen	427
2.3.1	Wellenarten	429
2.3.2	Wellengeschwindigkeit	431
2.3.3	Wellenwege	431
2.4	Registrierung von Erdbeben	433
2.4.1	Geschwindigkeits-Meßgeräte	433
2.4.2	Beschleunigungs-Meßgeräte	435
2.5	Seismologische Auswertung	436
2.5.1	Epizentrum und Herdtiefe	436
2.5.2	Magnitude und Intensitäten	436
2.6	Ingenieurmäßige Auswertungen	437
2.6.1	Physikalische Kenngrößen	437
2.6.2	Zeitverläufe der Bodenbewegung	439
2.7	Antwortspektren	441
2.7.1	Vorgehen zur Ermittlung	442
2.7.2	Mathematische Beschreibung	443
2.7.3	Merkmale der Antwortspektren	447
3	Bemessungsbeben, Tragwiderstand und Duktilität	450
3.1	Seismische Gefährdung	450
3.1.1	Gefährdungsstudien	450
3.1.2	Gefährdungs- und Zonenkarten	450
3.2	Bestimmung der Bebenkenngrößen	454
3.3	Konstruktion elastischer Bemessungs-Antwortspektren	456
3.4	Erzeugung spektrumskonformer Zeitverläufe der Bodenbewegung	457
3.5	Tragwiderstand und Duktilität	458
3.5.1	Grundlegende Zusammenhänge	458
3.5.2	Definition und Arten der Duktilität	460
3.5.3	Abminderung des Tragwiderstandes dank Duktilität	466
3.6	Konstruktion inelastischer Bemessungs-Antwortspektren der Beschleunigung	468
4	Erdbebenerechter Entwurf von Hochbauten	469
4.1	Tragwerkseigenschaften	470
4.2	Tragwerksarten	470
4.2.1	Rahmen aus Stahlbeton oder Stahl	471
4.2.2	Stahlbetontragwände in Skelettbauten	473
4.2.3	Gemischte Systeme aus Stahlbetonrahmen und -tragwänden	476
4.2.4	Stahlfachwerke	477
4.2.5	Tragwände aus Mauerwerk	478
4.2.6	Füllwände aus Mauerwerk	479
4.3	Entwurfsgrundsätze	480
4.3.1	Allgemeine Grundsätze	480
4.3.2	Gestaltung im Grundriß	482
4.3.3	Gestaltung im Aufriß	482
4.4	Duktilitätsklassen	483
4.5	Tragwerksverformungen	485
4.5.1	Stockwerksverschiebungen	485
4.5.2	Auswirkungen auf nichttragende Elemente	486
4.5.3	Fugen zwischen benachbarten Gebäuden	487

4.6	Zur Wahl des Tragwerks	488
4.6.1	Nutzungsfreiheit	488
4.6.2	Bemessungsduktilität und Tragwiderstand	488
4.6.3	Sicherheits-, Betriebs- und Schädengrenzbeben	490
5	Berechnungsverfahren	491
5.1	Übersicht	491
5.2	Bauwerksschwingungen	493
5.2.1	Einmassenschwinger	493
5.2.2	Mehrmassenschwinger	497
5.3	Ersatzkraftverfahren	504
5.3.1	Grundlagen	504
5.3.2	Erdbeben-Ersatzkraft	505
5.3.3	Berücksichtigung der Torsion	513
5.3.4	Beurteilung des Ersatzkraftverfahrens	514
5.4	Modales Antwortspektrenverfahren	514
5.4.1	Merkmale	514
5.4.2	Antwortspektren	515
5.4.3	Verfahren beim Einmassenschwinger	517
5.4.4	Verfahren beim Mehrmassenschwinger	518
5.4.5	Verwendung inelastischer Antwortspektren	523
5.4.6	Beurteilung des modalen Antwortspektrenverfahrens	523
5.5	Zeitlaufverfahren	524
5.5.1	Modale Lösung der Bewegungsgleichung	524
5.5.2	Direkte Integration der Bewegungsgleichung	525
5.5.3	Beurteilung der Zeitverlaufverfahren	526
6	Bemessung und konstruktive Durchbildung von Hochbauten	526
6.1	Besonderheiten der Erdbebenbeanspruchung und Merkmale der Bemessungsmethoden	526
6.2	Methode der Kapazitätsbemessung	529
6.3	Stahlbetontragwände	530
6.3.1	Arten und Begriffe	530
6.3.2	Querschnittsformen	531
6.3.3	Versagensarten	532
6.3.4	Geeignete Mechanismen	533
6.3.5	Konventionelle Bemessung	534
6.3.6	Kapazitätsbemessung schlanker Tragwände	534
6.3.7	Besonderheiten bei gedrunenen Tragwänden	546
6.4	Stahlbetonrahmen	546
6.4.1	Geeignete Mechanismen	546
6.4.2	Konventionelle Bemessung	547
6.4.3	Kapazitätsbemessung	548
6.5	Gemischte Systeme aus Stahlbeton-Tragwänden und -Rahmen	548
6.5.1	Geeignete Mechanismen	548
6.5.2	Konventionelle Bemessung	549
6.5.3	Kapazitätsbemessung	549
6.6	Stahlrahmen	549
6.6.1	Mechanismen und Bemessung	549
6.6.2	Besonderheiten in plastischen Gelenken	550
6.7	Stahlfachwerke	551

6.7.1	Fachwerke mit zentrischen Anschlüssen	551
6.7.2	Fachwerke mit exzentrischen Anschlüssen	553
6.8	Mauerwerkstragwände	554
6.8.1	Unbewehrte Mauerwerkstragwände	554
6.8.2	Bewehrte Mauerwerkstragwände	555
6.9	Füllwände aus Mauerwerk	557
6.10	Nichttragende Zwischenwände und Fassadenbauteile	558
6.10.1	Allgemeines	558
6.10.2	Nichttragende Mauerwerkswände ohne Fugen	559
6.10.3	Nichttragende Wände mit Fugen	560
6.10.4	Fassadenbauteile	560
6.11	Anlagen und Einrichtungen	561
6.12	Foundationen	563
6.12.1	Anforderungen	563
6.12.2	Einzel- und Streifenfundamente	564
6.12.3	Plattenfundamente und Kastenfundationen	565
6.12.4	Pfahlfundationen	565
7	Literatur	565
Stichwortverzeichnis		569