

Hugo Bachmann

Erdbebensicherung von Bauwerken

Birkhäuser Verlag
Basel · Boston · Berlin

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	v
Inhaltsübersicht	vii
1 Einleitung	1
1.1 Zum Nutzen des Erdbebeningenieurwesens	1
1.2 Historische Erdbeben	3
1.3 Auswirkungen von Erdbeben	8
2 Seismologische Grundlagen	9
2.1 Arten und Merkmale von Erdbeben	9
2.1.1 Arten	9
2.1.2 Merkmale	11
2.2 Erdbebenskalen	13
2.2.1 Magnitudenskala (Richterskala)	13
2.2.2 Intensitätsskala	14
2.3 Erdbebenwellen	17
2.3.1 Wellenarten	17
2.3.2 Wellengeschwindigkeiten	18
2.3.3 Wellenwege	19
2.4 Registrierung von Erdbeben	22
2.4.1 Geschwindigkeits-Messgeräte	22
2.4.2 Beschleunigungs-Messgeräte	25
2.5 Seismologische Auswertungen	28
2.5.1 Epizentrum und Herdtiefe	28
2.5.2 Magnitude und Intensitäten	30
2.6 Ingenieurmässige Auswertungen	31
2.6.1 Physikalische Kenngrössen	31
2.6.2 Zeitverläufe der Bodenbewegung	34
2.7 Antwortspektren	38
2.7.1 Vorgehen zur Ermittlung	38
2.7.2 Mathematische Beschreibung	43
2.7.3 Merkmale der Antwortspektren	46

3 Bemessungsbeben, Tragwiderstand und Duktilität	49
3.1 Seismische Gefährdung	50
3.1.1 Gefährdungsstudien	50
3.1.2 Gefährdungs- und Zonenkarten	50
3.2 Bestimmung der Bebenkenngrossen	55
3.3 Konstruktion elastischer Bemessungs-Antwortspektren	58
3.4 Erzeugung spektrumskonformer Zeitverläufe der Bodenbewegung	60
3.5 Tragwiderstand und Duktilität	61
3.5.1 Grundlegende Zusammenhänge	61
3.5.2 Definition und Arten der Duktilität	62
3.5.3 Abminderung des Tragwiderstandes dank Duktilität	68
a) Erwägungen	68
b) Abminderungs- und Verhaltensfaktoren	69
3.6 Ermittlung inelastischer Bemessungs-Antwortspektren	73
4 Erdbebengerechter Entwurf von Hochbauten	75
4.1 Tragwerkseigenschaften	76
4.2 Tragwerksarten	77
4.2.1 Rahmen aus Stahlbeton oder Stahl	77
4.2.2 Stahlbetontragwände in Skelettbauten	80
4.2.3 Gemischte Tragsysteme aus Stahlbetontragwänden und -rahmen	82
4.2.4 Stahlfachwerke	84
4.2.5 Mauerwerkstragwände	85
4.2.6 Füllwände aus Mauerwerk	86
4.3 Entwurfsgrundsätze	88
4.3.1 Allgemeine Grundsätze	88
4.3.2 Gestaltung im Grundriss	88
4.3.3 Gestaltung im Aufriss	91
4.4 Duktilitätsklassen	93
4.5 Tragwerksverformungen	94
4.5.1 Stockwerkverschiebungen	94
4.5.2 Auswirkungen auf nichttragende Elemente	95
4.5.3 Fugen zwischen benachbarten Gebäuden	96
4.6 Zur Wahl des Tragwerks	97
4.6.1 Nutzungsfreiheit	97
4.6.2 Bemessungsduktilität und Tragwiderstand	98
4.6.3 Sicherheits-, Betriebs- und Schädengrenzbeben	99
4.7 Querschnittsabmessungen von Stahlbetontragwerken	101
4.7.1 Allgemeines	101
4.7.2 Rahmenstützen	102
4.7.3 Schwerelaststützen	102

4.7.4	Rahmenriegel	103
4.7.5	Deckenplatten	103
4.7.6	Tragwände	103
4.7.7	Koppelungsriegel von gekoppelten Tragwänden	104
5	Berechnungsverfahren	105
5.1	Übersicht	105
5.2	Bauwerksschwingungen	108
5.2.1	Einmassenschwinger	108
a)	Bewegungsgleichung	108
b)	Homogene Lösung	109
c)	Partikuläre Lösung	111
5.2.2	Mehrmassenschwinger	112
a)	Bewegungsgleichung	112
b)	Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen	114
c)	Zerlegung nach Eigenschwingungsformen	116
d)	Ergänzungen zur Dämpfung	121
5.3	Ersatzkraftverfahren	125
5.3.1	Grundlagen	125
5.3.2	Erdbeben-Ersatzkraft	126
a)	Definition	126
b)	Abschätzung der Grundfrequenz	126
c)	Berücksichtigung der plastischen Verformungen	130
d)	Einfluss einer Nachgiebigkeit des Baugrundes	131
e)	Ersatzkraft nach Normen	132
f)	Verteilung der Ersatzkraft über die Gebäudehöhe	134
5.3.3	Berücksichtigung der Torsion	135
5.3.4	Beurteilung des Ersatzkraftverfahrens	136
5.4	Antwortspektrenverfahren	138
5.4.1	Merkmale	138
5.4.2	Antwortspektren	138
a)	Definition	138
b)	Arten von Antwortspektren:	139
c)	Kombinierte doppelt-logarithmische Darstellung	140
d)	Grenzwerte für sehr steife und sehr weiche Systeme	142
e)	Konstruktion von Bemessungs-Antwortspektren nach Newmark	143
5.4.3	Verfahren beim Einmassenschwinger	145
5.4.4	Verfahren beim Mehrmassenschwinger	147
5.4.5	Verwendung inelastischer Antwortspektren	150
5.4.6	Beurteilung des Antwortspektrenverfahrens	150
5.5	Zeitverlaufsverfahren	152
5.5.1	Modale Lösung der Bewegungsgleichung	152
5.5.2	Direkte Integration der Bewegungsgleichung	153
5.5.3	Beurteilung der Zeitverlaufsverfahren	153

6 Berechnung von Hochbauten	155
6.1 Beanspruchungen und Widerstände	156
6.1.1 Allgemeine Bemessungsbedingung	156
6.1.2 Beanspruchungen	156
6.1.3 Widerstände	157
a) Tragwiderstand und Bemessungswert des Tragwiderstandes	157
b) Mittlerer Widerstand	158
c) Widerstand bei Überfestigkeit	158
d) Bemessungsbeiwert	159
6.2 Modellbildung	161
6.2.1 Trennung der orthogonalen Richtungen	161
6.2.2 Ersatzstab	161
a) Ganzer Hochbau	161
b) Einzelne Tragwände	161
6.2.3 Diskretes Tragwerksmodell	162
a) Steifigkeiten der Tragelemente	162
b) Steifigkeit von Verbindungen	163
6.2.4 Gebäudemassen	163
6.2.5 Baugrund	164
6.3 Ermittlung der Schnittkräfte	165
6.3.1 Schnittkräfte am Ersatzstab	165
6.3.2 Verteilung der Stockwerkquerkraft auf die vertikalen Tragelemente	166
a) Allgemeines	166
b) Statisch bestimmtes Tragwandsystem	167
c) Symmetrisches Tragwandsystem mit Stockwerkquerkraft in Symmetrieachse	168
d) Allgemeines Tragwandsystem	169
e) Rahmensysteme	172
6.3.3 Ermittlung der Biegemomente in den einzelnen vertikalen Tragelementen	173
6.4 Beispiel symmetrisches Tragwandsystem	175
6.4.1 Grundlagen	175
a) Beschreibung des Objektes	175
b) Baustoffe	175
c) Gefährdungsbild und Beanspruchungen	175
d) Allgemeine Modellbildung	177
6.4.2 Ersatzkraftverfahren	178
a) Spezifische Modellbildung	178
b) Abschätzung der Grundfrequenz	178
c) Ersatzkraft	179
d) Verteilung der Ersatzkraft über die Gebäudehöhe	179
e) Schnittkräfte	180
6.4.3 Antwortspektrenverfahren	180
a) Spezifische Modellbildung	180
b) Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen	181
c) Bemessungs-Antwortspektrum	182

d) Modale Schnittkräfte	182
e) Überlagerung der modalen Schnittkräfte	182
f) Vergleich mit dem Ersatzkraftverfahren	183
6.4.4 Nichtlineares Zeitverlaufsverfahren	184
a) Spezifische Modellbildung	184
b) Zeitverlauf der Bodenbeschleunigung	187
c) Schnittkräfte und Verformungen	187
d) Vergleich mit dem Ersatzkraftverfahren	189
6.5 Beispiel symmetrisches Rahmensystem	191
6.5.1 Grundlagen	191
a) Beschreibung des Objektes	191
b) Baustoffe	191
c) Gefährdungsbild und Beanspruchungen	191
d) Allgemeine Modellbildung	191
6.5.2 Ersatzkraftverfahren	193
a) Spezifische Modellbildung	193
b) Abschätzung der Grundfrequenz	194
c) Ersatzkraft	194
d) Verteilung der Ersatzkraft über die Gebäudehöhe	194
e) Schnittkräfte	195
6.5.3 Antwortspektrenverfahren	197
a) Spezifische Modellbildung	197
b) Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen	197
c) Bemessungs-Antwortspektrum	197
d) Modale Schnittkräfte	199
e) Überlagerung der modalen Schnittkräfte	199
f) Vergleich mit dem Ersatzkraftverfahren	199
6.5.4 Nichtlineares Zeitverlaufsverfahren	201
a) Spezifische Modellbildung	201
b) Zeitverlauf der Bodenbeschleunigung	202
c) Duktilitätsbedarf in den plastischen Gelenken	202
6.6 Beispiel unsymmetrisches Tragwandsystem	204
6.6.1 Grundlagen	204
a) Beschreibung des Objektes	204
b) Baustoffe	204
c) Gefährdungsbild und Beanspruchungen	204
d) Allgemeine Modellbildung	204
6.6.2 Ersatzkraftverfahren	205
a) Bestimmung des Steifigkeitszentrums	205
b) Bestimmung des Massenzentrums	206
c) Berücksichtigung der Torsion	206
d) Verteilung der Stockwerkquerkraft	206
7 Bemessung und konstruktive Durchbildung von Hochbauten	209
7.1 Methode der Kapazitätsbemessung	210
7.1.1 Besonderheiten der Erdbebenbeanspruchung	210
7.1.2 Konventionelle Bemessung und Kapazitätsbemessung	211

7.1.3	Definition der Kapazitätsbemessung	213
7.1.4	Ungeeignete und geeignete Mechanismen	214
7.1.5	Überfestigkeit	218
7.1.6	Anwendung der Kapazitätsbemessung	219
7.2	Stahlbetontragwände	221
7.2.1	Arten und Begriffe	221
7.2.2	Querschnittsformen	222
7.2.3	Versagensarten	223
7.2.4	Geeignete Mechanismen	224
7.2.5	Konventionelle Bemessung	225
7.2.6	Kapazitätsbemessung schlanker Tragwände	225
a)	Kapazitätsbemessung schlanker Tragwände für beschränkte Duktilität	225
b)	Kapazitätsbemessung schlanker Tragwände für volle Duktilität	236
c)	Kapazitätsbemessung zusammenwirkender Tragwände	236
d)	Kapazitätsbemessung gekoppelter Tragwände für volle und beschränkte Duktilität	237
7.2.7	Besonderheiten bei gedruckten Tragwänden	238
7.3	Stahlbetonrahmen	239
7.3.1	Geeignete Mechanismen	239
7.3.2	Konventionelle Bemessung	240
7.3.3	Kapazitätsbemessung	240
7.4	Gemischte Tragsysteme aus Stahlbetontragwänden und -rahmen	241
7.4.1	Geeignete Mechanismen	241
7.4.2	Konventionelle Bemessung	241
7.4.3	Kapazitätsbemessung	242
7.5	Stahlrahmen	243
7.5.1	Mechanismen und Bemessung	243
7.5.2	Besonderheiten in plastischen Gelenken	243
a)	Riegelgelenke	243
b)	Stützengelenke (am Stützenfuss im Erdgeschoss)	244
7.6	Stahlfachwerke	245
7.6.1	Fachwerke mit zentrischen Anschlüssen	245
7.6.2	Fachwerke mit exzentrischen Anschlüssen	246
7.7	Mauerwerkstragwände	248
7.7.1	Unbewehrte Mauerwerkstragwände	248
7.7.2	Bewehrte Mauerwerkstragwände	248
7.8	Füllwände aus Mauerwerk	251
7.9	Nichttragende Zwischenwände und Fassadenbauteile	252
7.9.1	Allgemeines	252
a)	Mit dem Tragwerk fest verbundene Bauteile	252
b)	Vom Tragwerk durch Fugen abgetrennte Bauteile	252
c)	Bemessung für Einwirkungen quer zur Elementebene	253
7.9.2	Nichttragende Mauerwerkswände ohne Fugen	253

7.9.3	Nichttragende Wände mit Fugen	254
7.9.4	Fassadenbauteile	254
7.10	Anlagen und Einrichtungen	256
7.11	Fundationen	258
7.11.1	Anforderungen	258
7.11.2	Einzel- und Streifenfundamente	259
7.11.3	Plattenfundamente und Kastenfundationen	259
7.11.4	Pfahlfundationen	260
8	Erdbebensicherung von Brücken	261
8.1	Mögliche Schäden	263
8.1.1	Absturz des Brückenträgers	263
8.1.2	Schäden bei Lagern	264
8.1.3	Schäden bei Widerlagern	264
8.1.4	Schäden an Brückenstützen	265
8.2	Absturzsicherung	266
8.2.1	Grundlagen	266
8.2.2	Einfache Regeln	267
a)	Grundgrössen	267
b)	Mindestabmessungen der Auflagerbereiche	269
c)	Numerische Auswertung und Eichung	270
d)	Regeln zur Absturzsicherung	270
8.3	Bemessung	272
8.3.1	Längsrichtung bei schwimmender Lagerung	272
8.3.2	Längsrichtung bei (anfänglich) fester Lagerung	274
8.3.3	Längsrichtung bei Lagerung mit Sollbruchstellen	276
8.3.4	Querrichtung	277
8.4	Besondere Massnahmen	279
8.4.1	Blei-Gummi-Lager	279
8.4.2	Stossdämpfer	280
8.4.3	Schubnocken	280
	Literaturverzeichnis	281
	Sachwortverzeichnis	285