

**Helmut Kramer**

# **Angewandte Baudynamik**

**Grundlagen und Beispiele  
für Studium und Praxis**



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	VII
<b>1 Gliederung und Formelzeichen</b> .....	1
<b>2 Besonderheiten der Baudynamik</b> .....	5
2.1 Baustatik und Baudynamik .....	5
2.2 Die „sichere Seite“ .....	6
2.3 Schwingungsmessungen .....	6
2.4 Fernwirkung .....	7
2.5 Dämpfung und Duktilität .....	7
2.6 Die statische Ersatzlast .....	7
2.7 Maschinendynamik .....	8
2.8 Schäden .....	8
<b>3 Technische Regeln in der Baudynamik</b> .....	9
3.1 Allgemeines .....	9
3.2 Hamburgische Bauordnung (Auszug) .....	9
3.3 Bundes-Immissionsschutzgesetz (Auszug) .....	10
3.4 Technische Baubestimmungen .....	10
3.5 Normen .....	11
3.6 Richtlinien und Empfehlungen .....	11
3.7 Internationale technische Regeln .....	12
3.8 Allgemein anerkannte Regeln der Technik .....	13
<b>4 Begriffe und Kenngrößen</b> .....	15
4.1 Allgemeines .....	15
4.2 Zeitabhängigkeit .....	15
4.2.1 Periodische Einwirkungen .....	15
4.2.2 Harmonische Einwirkungen .....	16
4.2.3 Nichtharmonische Einwirkungen .....	20
4.2.4 Nichtperiodische Einwirkungen .....	24

---

4.3	Masse . . . . .	25
4.3.1	Schwere Masse . . . . .	25
4.3.2	Träge Masse . . . . .	27
4.3.3	Allgemeines Gravitationsgesetz . . . . .	28
4.4	Steifigkeit . . . . .	31
4.4.1	Allgemeines . . . . .	31
4.4.2	Stahlfedern . . . . .	33
4.4.3	Stützen, Pfähle . . . . .	34
4.4.4	Statisch bestimmter Balken . . . . .	35
4.4.5	Elastische Matten . . . . .	36
4.4.6	Luftfedern . . . . .	38
4.4.7	Federkombinationen . . . . .	40
4.4.8	Vorgespannte Schrauben . . . . .	42
4.5	Anwendungsbeispiele . . . . .	43
4.5.1	Pfahlbock aus zwei Pfählen mit gleicher Neigung . . . . .	43
4.5.2	Pfahlbock aus einem geneigten und einem lotrechten Pfahl . . . . .	44
<b>5</b>	<b>Bewegungen starrer Körper</b> . . . . .	47
5.1	Allgemeines . . . . .	47
5.2	Reine Translation . . . . .	47
5.2.1	Schwerpunktsatz . . . . .	47
5.2.2	Impulssatz . . . . .	48
5.2.3	Impulserhaltungssatz . . . . .	49
5.3	Reine Rotation . . . . .	49
5.3.1	Drallsatz . . . . .	49
5.3.2	Drallerhaltungssatz . . . . .	51
5.4	Massenträgheitsmoment . . . . .	51
5.5	Wuchtgüte von Maschinen . . . . .	54
5.6	Anwendungsbeispiele . . . . .	57
5.6.1	Krängungswinkel bei seitlicher Schiffsanfahrt . . . . .	57
5.6.2	Stabilität eines schwimmenden Körpers . . . . .	60
<b>6</b>	<b>Stoßvorgänge</b> . . . . .	61
6.1	Der harte Stoß . . . . .	61
6.1.1	Allgemeines . . . . .	61
6.1.2	Aufprall . . . . .	61
6.1.3	Anprall . . . . .	66
6.1.4	Zusammenstoß zweier Körper . . . . .	69
6.2	Der weiche Stoß . . . . .	75
6.3	Anwendungsbeispiele . . . . .	76
6.3.1	Elastischer Einpfahldalben . . . . .	76
6.3.2	Plastischer Anfahrpoller . . . . .	82
6.3.3	Bungee-Springen . . . . .	87

<b>7</b>	<b>Freie Schwingungen</b>	91
7.1	Allgemeines	91
7.2	Systeme mit einem Freiheitsgrad	91
7.2.1	Der Einmassenschwinger	91
7.2.2	Differentialgleichung	91
7.2.3	Eigenfrequenz der freien ungedämpften Schwingung	92
7.2.4	Reduzierte Massen	96
7.3	Systeme mit mehreren Freiheitsgraden	98
7.3.1	Der ungedämpfte Zweimassenschwinger	98
7.3.2	Elastisch gestützte starre Scheibe	100
7.4	Homogene Systeme endlicher Länge	104
7.4.1	Allgemeines	104
7.4.2	Eigenfrequenzen für ungedämpfte Systeme	104
7.4.3	Näherungsverfahren	106
7.4.4	Biegeeigenfrequenz mit Normalkraft	107
7.5	Anwendungsbeispiele	109
7.5.1	Maschinenfundament auf einzelnen Federn	109
7.5.2	Nichtlinearität bei Stahlbetontragwerken	117
<b>8</b>	<b>Erzwungene Schwingungen</b>	123
8.1	Allgemeines	123
8.2	Systeme mit einem Freiheitsgrad	125
8.2.1	Direkte konstante Anregung – kraftgesteuerte Vorgänge	125
8.2.2	Direkte konstante Anregung – weggesteuerte Vorgänge	133
8.2.3	Impedanzen	133
8.2.4	Direkte quadratische Anregung – Fliehkräfte	134
8.2.5	Selbstzentrierung im überkritischen Bereich	136
8.2.6	Passive Schwingungsisolierung – indirekte Anregung	137
8.2.7	Aktive Schwingungsisolierung – direkte Anregung	141
8.2.8	Aktive Schwingungsisolierung – indirekte Anregung	142
8.2.9	Isolierwirkungsgrad	144
8.2.10	Resonanzüberhöhung in dB	145
8.3	Der Zweimassenschwinger	147
8.3.1	Allgemeines	147
8.3.2	Der Zweimassenschwinger als Schwingungstilger/-dämpfer	148
8.3.3	Der Zweimassenschwinger als Maschinenfundament	152
8.4	Lösungswege der Baudynamik bei periodischer Anregung	160
8.5	Anwendungsbeispiele	160
8.5.1	Schwingungsdämpfer für eine Fußgängerbrücke	160
8.5.2	Ermüdungsfestigkeit bei Schmelzofenschwingungen	163

<b>9</b>	<b>Amplitudenreduktion</b>	171
9.1	Allgemeines	171
9.2	Amplitudenreduktion an der Quelle	171
9.3	Amplitudenreduktion auf der Übertragungsstrecke	171
9.4	Amplitudenreduktion am Empfänger	171
9.4.1	Amplitudenreduktion im resonanzfernen Bereich	172
9.4.2	Amplitudenreduktion im resonanznahen Bereich	172
9.5	Dissipative Dämpfung	172
9.5.1	Überblick	172
9.5.2	Rheologische Modelle	173
9.5.3	Ausschwingversuch	175
9.5.4	Resonanzversuch	178
9.5.5	Hysterese-Kurve	179
9.5.6	Fluidreibung	183
9.6	Anwendungsbeispiele	184
9.6.1	Dämpfungsberechnung aus einem Ausschwingversuch	184
9.6.2	Dämpfungsberechnung aus einer Hysterese-Kurve	187
<b>10</b>	<b>Menscheninduzierte Schwingungen</b>	189
10.1	Allgemeines	189
10.2	Anregungsspektrum	189
10.3	Dimensionierungsfälle	191
10.4	Erzwungene Schwingungen	195
10.5	Zumutbare Amplituden	197
<b>11</b>	<b>Einführung in die Baugrunddynamik</b>	199
11.1	Allgemeines	199
11.2	Elastodynamik	200
11.2.1	Allgemeines	200
11.2.2	Ausbreitungsgeschwindigkeiten	201
11.2.3	Wellenarten	203
11.2.4	Wellengleichung	206
11.2.5	Energietransport	207
11.2.6	Abschirmwirkung einer Schlitzwand	208
11.2.7	Ausbreitung von Rammerschüttungen	210
11.3	Boden-Bauwerk Wechselwirkung	212
11.3.1	Modellbildung	212
11.3.2	Federsteifigkeiten und Dämpfungen starrer Fundamente	212
11.3.3	Indirekte Anregung durch Bodenwellen	214
11.3.4	Abstimmungsregel für Fundamente	217

---

11.4	Plastodynamik . . . . .	219
11.5	Anwendungsbeispiele . . . . .	220
11.5.1	Auswirkung einer Sprengung auf eine verankerte Spundwand . . . . .	220
11.5.2	Auswirkung einer Sprengung auf eine Windkraftanlage . . . . .	224
<b>12</b>	<b>Anforderungen an den Erschütterungsschutz . . . . .</b>	<b>229</b>
12.1	Allgemeines . . . . .	229
12.2	Einwirkungen auf bauliche Anlagen . . . . .	230
12.3	Einwirkungen auf Menschen . . . . .	231
12.3.1	Allgemeines . . . . .	231
12.3.2	Menschen in Gebäuden . . . . .	232
12.3.3	Menschen am Arbeitsplatz . . . . .	235
12.3.4	Schädliche und heilende Humanschwingungen . . . . .	236
12.4	Einwirkungen auf empfindliche Geräte . . . . .	237
<b>13</b>	<b>Schwingungsmessungen . . . . .</b>	<b>241</b>
13.1	Motivation . . . . .	241
13.2	Einleitung . . . . .	242
13.3	Anregung von Schwingungen . . . . .	242
13.3.1	Anregung von Schwingungen für Schwingungsmessungen . . . . .	242
13.3.2	Aktive Schwingungsbeeinflussung (Aktuatoren) . . . . .	245
13.4	Aufbau einer Messkette . . . . .	246
13.5	Schwingungsaufnehmer . . . . .	247
13.5.1	Allgemeines . . . . .	247
13.5.2	Zweck . . . . .	247
13.5.3	Mechanisches Grundprinzip . . . . .	247
13.5.4	Arbeitsweise . . . . .	251
13.6	Durchführung von normgerechten Schwingungsmessungen . . . . .	256
13.7	Beispiele für gemessene Freifeldschwingungen . . . . .	259
<b>Fazit</b>	<b>.....</b>	<b>262</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>.....</b>	<b>263</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>.....</b>	<b>267</b>

**DVD – Baudynamik erlebbar machen**

Filmausschnitte aus den Experimenten in der Versuchshalle des Instituts für Massivbau, TU Hamburg-Harburg, zu den im Buch behandelten Beispielen.

1. Titel
2. Aufprall
3. Anprall
4. Eigenfrequenzen
5. Harmonische Anregung
6. Selbstzentrierung
7. Transiente Wellen
8. Rayleighwellen
9. Passive Isolierung
10. Anhang