

# **Elementare Berechnung von Seilbrücken**

**Geschichte, Statik, Schwingungen  
mit vielen vollständig durchgerechneten Beispielen**

**Max A. M. Herzog  
Dipl.-Ing., Dr. techn.  
Beratender Ingenieur**

**Werner Verlag**

# Inhaltsverzeichnis

Seite

Vorwort	V
<b>Teil A: Schrägseilbrücken</b>	<b>1</b>
1 <b>Geschichtliches</b>	1
2 <b>Statische Tragfähigkeit</b>	7
2.1 Verwendete Bezeichnungen	7
2.2 Tragverhalten von Schrägseilbrücken unter Vertikallasten	8
2.3 Verkehrslast	10
2.4 Durchbiegungen des Versteifungsträgers	11
2.5 Temperaturunterschied	13
2.6 Einleitung der Seilkräfte in den Versteifungsträger	13
2.7 Versteifungsträger unter Wind in Querrichtung	14
2.8 Pylone	14
2.9 Torsion des Versteifungsträgers	16
2.10 Zahlenbeispiel (Pont de Brotonne)	16
2.11 Folgerungen	28
3 <b>Winderregte Schwingungen</b>	31
3.1 Einleitung	31
3.2 Verwendete Bezeichnungen	31
3.3 Anfachungsmechanismen winderregter Schwingungen	32
3.4 Grundfrequenzen der Schrägseilbrücke	34
3.5 Kritische Windgeschwindigkeiten	37
3.6 Praktische Berechnung	38
3.7 Zahlenbeispiel (Pont de Normandie)	38
3.8 Weitere Nachrechnungen	41
3.9 Sicherheitsbetrachtung	43
3.10 Schwingungen des Einzelseils	44
3.11 Folgerungen	45
<b>Teil B: Hängebrücken</b>	<b>49</b>
4 <b>Geschichtliches</b>	49
4.1 Einleitung	49
4.2 Zeit der Pioniere	51
4.3 Zeit der Reife	57
4.4 Zeit der Meisterschaft	62
4.5 Folgerungen	68
5 <b>Statische Tragfähigkeit</b>	72
5.1 Einleitung	72
5.2 Verwendete Bezeichnungen	72

5.3	Die unversteifte Hängebrücke	73
5.4	Die versteifte Hängebrücke	76
5.5	Zahlenbeispiel (Erste Bosphorusbrücke)	76
5.6	Temperaturänderung	81
5.7	Folgerungen	81
5.8	Einfluß geneigter Hänger	81
<b>6</b>	<b>Winderregte Schwingungen</b>	<b>84</b>
6.1	Einleitung	84
6.2	Verwendete Bezeichnungen	84
6.3	Aerostatische Stabilität	86
6.4	Eigenfrequenzen	89
6.5	Aerodynamische Stabilität	91
6.6	Einfluß der Dämpfung	92
6.7	Maßnahmen zur Verbesserung der aeroelastischen Stabilität	93
6.8	Nachrechnung bestehender Hängebrücken (Tacoma Narrows, Tejo, Golden Gate, Humber, Storebaelt und Akashi-Kaikyo)	95
6.9	Folgerungen	100
<b>7</b>	<b>Erdbeben</b>	<b>103</b>
7.1	Einleitung	103
7.2	Eigenfrequenzen der Hängebrücke	104
7.3	Eigenfrequenzen des Pylons	111
7.4	Verbesserte statische Erdbebeneinwirkung	111
7.5	Zahlenbeispiel (Tejobrücke)	115
<b>8</b>	<b>Wirkung des Zentralknotens von Hängebrücken bei antimetrischer Torsion</b>	<b>120</b>
8.1	Einleitung	120
8.2	Mechanische Wirkung des Zentralknotens	121
8.3	Windlasten	122
8.4	Erste Tacoma Narrows-Brücke	125
8.5	Folgerungen	130
<b>Teil C: Kombinierte Hänge- und Schrägseilbrücken</b>		<b>132</b>
<b>9</b>	<b>Geschichtliches</b>	<b>132</b>
<b>10</b>	<b>Einfache Abschätzung der Eigenfrequenzen kombinierter Hänge- und Schrägseilbrücken</b>	<b>137</b>
10.1	Einleitung	137
10.2	Biegefederzahl	137
10.3	Biegeeigenfrequenzen	141
10.4	Torsionsfederzahl	142
10.5	Torsionseigenfrequenzen	142

10.6	Zahlenbeispiele (Tejobrücke, Normandiebrücke, Brooklynbrücke)	144
10.7	Folgerung	149
<b>11</b>	<b>Brooklyn-Brücke in New York</b>	<b>151</b>
11.1	Einleitung	151
11.2	Tragwirkung unter Eigenlast	152
11.3	Tragwirkung unter Verkehrslast auf der ganzen Brücke	155
11.4	Tragwirkung unter halbseitiger Verkehrslast im Mittelfeld	159
11.5	Durchbiegung infolge Temperaturänderung	160
11.6	Wind quer zur Brücke	161
11.7	Aeroelastische Stabilität	165
11.8	Folgerungen	168
<b>12</b>	<b>Tejobrücke in Lissabon</b>	<b>170</b>
12.1	Einleitung	170
12.2	Tragwirkung als reine Hängebrücke unter Straßenlasten (1. Ausbaustufe)	172
12.3	Tragwirkung als reine Schrägseilbrücke unter Eisenbahnlasten (2. Ausbaustufe)	176
12.4	Durchbiegungen der beiden Tragsysteme	178
12.5	Wind quer zur Brücke	178
12.6	Aeroelastische Stabilität	180
12.7	Folgerungen	182
<b>13</b>	<b>Hybride Seilbrücke über den Golf von Izmit</b>	<b>184</b>
13.1	Einleitung	184
13.2	Entwurfsidee	184
13.3	Abmessungen der Izmitbrücke	184
13.4	Lasten und Beanspruchungen	187
13.5	Baukosten	190
13.6	Finanzierung	191
13.7	Ausführung	191
<b>Teil D:</b>	<b>Seilfachwerkbrücken</b>	<b>193</b>
<b>14</b>	<b>Geschichtliches</b>	<b>193</b>
<b>15</b>	<b>Tragwirkung von Seilfachwerken</b>	<b>195</b>
15.1	Einleitung	195
15.2	Tragwirkung der Einzelteile	195
15.3	Tragwirkung des ganzen Seilfachwerks	195
15.4	Zahlenbeispiel (Erste Bosphorusbrücke)	200
<b>16</b>	<b>San Marcos-Brücke in El Salvador</b>	<b>204</b>
16.1	Beschreibung	204
16.2	Statische Tragfähigkeit	205
16.3	Durchbiegungen	209

<b>Teil E: Ergänzungen</b>	213
<b>17 Wahrscheinliche Verkehrslast von Straßenbrücken</b>	213
17.1 Einleitung	213
17.2 Verwendete Bezeichnungen	213
17.3 Fahrzeugfrequenz	214
17.4 Fahrzeugspektrum	214
17.5 Fahrzeuglasten	214
17.6 Fahrspurlasten bei schnell rollendem Verkehr	214
17.7 Fahrspurlasten bei stehendem Verkehr	215
17.8 Höchste Fahrspurlast	216
17.9 Fahrspurlasten für die größte Beanspruchung	216
17.10 Fahrspurlasten für die Ermüdungsbetrachtung	218
17.11 Folgerung	220
17.12 Zusammenfassung	220
<b>18 Wahrscheinliche Verkehrslast von Eisenbahnbrücken</b>	222
18.1 Einleitung	222
18.2 Verwendete Bezeichnungen	222
18.3 Zugfrequenzen	222
18.4 Zugspektrum	222
18.5 Fahrzeuglasten (= Laufmeterlasten)	223
18.6 Gleislasten für lange Brücken	224
18.7 Gleislasten für kurze Brücken	225
18.8 Gleislasten für die größte Beanspruchung	225
18.9 Gleislasten für die Ermüdungsbetrachtung	226
18.10 Folgerungen	229
18.11 Zusammenfassung	230
<b>19 Bemessung von Brücken auf Ermüdung</b>	231
19.1 Einleitung	231
19.2 Betriebslast	231
19.3 Ermüdungsfestigkeit	233
19.4 Wöhler-Linien	235
19.5 Ermüdungssicherheit	237
19.6 Kalibrierung des Rechenverfahrens	237
19.7 Folgerungen	243
<b>20 Quellennachweis</b>	246