

6. Auflage

Brücken aus Stahlbeton und Spannbeton

Entwurf, Konstruktion und Berechnung

Ralph Holst
Karl Heinz Holst

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur sechsten Auflage	V
Aus dem Vorwort zur ersten Auflage	VI
Einführung	1
1 Berechnungsgrundlagen für Brückenbauwerke	3
1.1 Bauten im Bereich öffentlicher Nutzung	3
1.1.1 Genehmigungspflicht und Zulassungsverfahren	3
1.1.2 Bauten im Bereich der Straßenbauverwaltung des Bundes und der Länder	5
1.1.3 Bauten im Bereich der Eisenbahnen des Bundes und der Länder	6
1.1.4 Grundbegriffe der Tragwerksplanung	7
1.1.4.1 Einwirkungen	7
1.1.4.2 Grenzzustände und Einwirkungskombinationen	9
1.1.5 Vorschriften und Bautechnische Regelwerke	10
1.2 Einwirkungen aus dem Straßenverkehr	12
1.2.1 Zuordnung des Straßenverkehrs	12
1.2.2 Vertikallasten, charakteristische Werte	14
1.2.2.1 Ständige Lasten	14
1.2.2.2 Verkehrsregellasten	14
1.2.3 Horizontallasten, charakteristische Werte	16
1.2.4 Einwirkungen für Ermüdungsberechnungen	17
1.2.5 Außergewöhnliche Einwirkungen	19
1.2.6 Sonstige Einwirkungen	22
1.2.7 Ermittlung von Verkehrsbelastungen für Straßenbrücken	23
1.2.8 Einwirkungskombinationen für die Grenzzustände	24
1.2.8.1 Verkehrslastmodelle und zeitlich gleiche andere Einwirkungen	24
1.2.8.2 Kombinationsfaktoren ψ für Straßenbrücken	25
1.2.8.3 Teilsicherheitsbeiwerte γ für Straßenbrücken	26
1.3 Einwirkungen aus militärischem Fahrzeugverkehr	27
1.4 Einwirkungen aus dem Eisenbahnverkehr und -betrieb	31
1.4.1 Übersicht	31
1.4.2 Vertikallasten, charakteristische Werte	31
1.4.2.1 Statische Lastanteile	31
1.4.2.2 Verteilung der Achslasten durch Schienen, Schwellen und Schotter	34
1.4.3 Dynamische Einwirkungen	35
1.4.3.1 Ursache und Wirkung	35
1.4.3.2 Dynamische Beiwerte	36
1.4.3.3 Resonanz oder übermäßige Schwingung	40
1.4.4 Horizontallasten, charakteristische Werte	43
1.4.4.1 Einwirkungen aus Zentrifugallasten	43
1.4.4.2 Einwirkungen aus Seitenstoß (Schlingerkraft)	45
1.4.4.3 Einwirkungen aus Anfahren und Bremsen	45
1.4.5 Längsgerichtete Einwirkungen	46
1.4.5.1 Leitlinien für die Untersuchung der Interaktion zwischen Brückenüberbau und Schienenoberbau	46

1.4.5.2	Berechnungswerte des Gleises	49
1.4.5.3	Vereinfachtes Nachweisverfahren für einteilige Überbauten	50
1.4.6	Druck-Sog-Einwirkungen aus Zugverkehr (aerodynamische Einwirkungen)	53
1.4.7	Einwirkungen für Ermüdungsberechnungen	56
1.4.8	Außergewöhnliche Einwirkungen des Eisenbahnverkehrs	58
1.4.9	Sonstige Einwirkungen	61
1.4.10	Ermittlung von Verkehrsbelastungen für Eisenbahnbrücken	62
1.4.11	Einwirkungskombinationen für die Grenzzustände	65
1.4.11.1	Kombinationsmodelle und zeitlich gleiche andere Einwirkungen	65
1.4.11.2	Kombinationsfaktoren ψ für Eisenbahnbrücken	67
1.4.11.3	Teilsicherheitsbeiwerte γ für Eisenbahnbrücken	67
1.5	Einwirkungen aus dem Fußgänger- und Radwegverkehr	67
1.5.1	Vertikale Lasten, charakteristische Werte	67
1.5.2	Horizontale Lasten, charakteristische Werte	68
1.5.3	Außergewöhnliche Einwirkungen	69
1.5.4	Sonstige Einwirkungen	69
1.5.5	Ermittlung von Verkehrsbelastungen für Fußgänger- und Radwegbrücken	69
1.5.6	Einwirkungskombinationen für die Grenzzustände	70
1.6	Einwirkungen aus Änderungen der Stützungsbedingungen	71
1.7	Einwirkungen aus Windlasten	73
1.7.1	Allgemeine Zusammenhänge	73
1.7.2	Windkräfte bei Brücken	76
1.7.2.1	Nachweisverfahren nach DIN EN 1991-1-4	76
1.7.2.2	Vereinfachtes Nachweisverfahren nach DIN EN 1991-1-4/NA	78
1.8	Temperatureinwirkungen	81
1.8.1	Begriffe und Formelzeichen	81
1.8.2	Temperatureinwirkungen auf Brückenbauwerke	82
1.8.2.1	Konstanter Temperaturanteil, charakteristische Werte	82
1.8.2.2	Linearer Temperaturunterschied, charakteristische Werte	84
1.8.2.3	Gleichzeitigkeit von Temperatureinwirkungen	87
1.8.3	Temperatureinwirkungen auf Brückenpfeiler	87
1.8.4	Kombination für die Grenzzustände	87
1.9	Schnittkräfte aus Einwirkungen infolge vertikaler Verkehrslast	87
1.9.1	Belastungsprinzip	87
1.9.2	Verkehrslast und Einflusslinie	88
1.9.3	Verkehrslast und Einflussfeld	90
1.10	Berechnungsbeispiele	94
1.10.1	Ermittlung einer Windkraft	94
1.10.2	Ermittlung eines Biegemomentes eines Balkentragwerkes	95
1.10.3	Ermittlung eines Biegemomentes eines Flächentragwerkes	96
1.10.4	Ermittlung der charakteristischen Werte der Einwirkungen und der Verkehrslastgruppen für eine Eisenbahnbrücke	99
1.10.4.1	System, Abmessungen und Vorwerte	100
1.10.4.2	Charakteristische Werte der Vertikallasten	102
1.10.4.3	Charakteristische Werte der Horizontallasten	106
1.10.4.4	Charakteristische Werte der außergewöhnlichen Einwirkungen	113
1.10.4.5	Maßgebende Schnittgrößen	114
1.10.4.6	Ermittlung der Verkehrslastgruppen	116

2	Gestaltung der Brückenbauwerke	119
2.1	Gestaltungsmerkmale	119
2.2	Querschnittsgestaltung	120
2.2.1	Bedeutung der Querschnittsform	120
2.2.2	Plattenquerschnitte	121
2.2.3	Plattenbalkenquerschnitte	123
2.2.4	Hohlkastenquerschnitte	126
2.3	Längsschnittgestaltung	130
2.3.1	Balkenbrücken	130
2.3.2	Rahmenbrücken	133
2.3.3	Integrale Brücken	136
2.3.4	Bogenbrücken	137
2.3.5	Fachwerkbrücken	142
2.3.6	Durchlässe	142
3	Planungsgrundlagen der Verkehrslastträger	149
3.1	Planung von Straßenbrücken	149
3.1.1	Brückenlänge und Wahl der Stützweite	149
3.1.2	Wahl der Querschnittsbreiten	157
3.1.3	Bauhöhe, Konstruktionshöhe und lichte Höhe	162
3.1.3.1	Lichter Raum	162
3.1.3.2	Erforderliche Bauhöhe	163
3.1.4	Brückenende und Übergang zur Straßenrasse	168
3.2	Planung von Eisenbahnbrücken	171
3.2.1	Problemstellung des Eisenbahnbrückenbaus	171
3.2.2	Überlegungen zur Gestaltung der Bauwerke	173
3.2.3	Eisenbahnspezifische Konstruktionsanforderungen	175
3.2.3.1	Vorgaben nach EBO	175
3.2.3.2	Eisenbahnseitige Erfordernisse im Quer- und Längsschnitt	176
3.2.3.3	Abdichtung der Fahrbahntafel	180
3.2.4	Bauhöhe, Konstruktionshöhe und lichte Höhe	183
3.2.4.1	Lichter Raum	183
3.2.4.2	Erforderliche Bauhöhe	186
3.2.5	Konstruktionsbesonderheiten zur Abtragung längsgerichteter Kräfte	187
3.2.6	Feste Fahrbahnen	191
3.2.6.1	Streckenquerschnitt	191
3.2.6.2	Feste Fahrbahnen auf Brücken	193
3.2.7	Brücken in der Hochgeschwindigkeitsstrecke Köln-Frankfurt	196
3.2.8	Brückenende und Übergang zur Eisenbahntrasse	199
3.3	Erfordernisse der Entwurfsplanung	201
3.3.1	Bedeutung eines Bauentwurfes	201
3.3.2	Einzelheiten der Entwurfsbearbeitung	203
4	Lehrgerüste	209
4.1	Aufgaben und allgemeine Anforderungen	209
4.2	Baustoffe und Bauelemente	210
4.2.1	Schalhaut und Schalung	210
4.2.2	Bauelemente aus Holz	212
4.2.3	Bauelemente aus Stahl	214
4.2.3.1	Gerüstrohre und ihre Verbindungsmittel	214
4.2.3.2	Walzprofilträger	215
4.2.3.3	Rüstträgersysteme	216

4.2.3.4	Rahmenstützensysteme	221
4.3	Bauliche Durchbildung der Traggerüste	223
4.3.1	Einteilung der Gerüste	223
4.3.2	Konstruktive Anordnung der Verbände	225
4.3.2.1	Allgemeine Anforderungen	225
4.3.2.2	Verbände im Rüstträgergerüst	226
4.3.2.3	Verbände im Holzträgergerüst	229
4.3.3	Besonderheiten für Traggerüste von Spannbetonbrücken	229
4.4	Berechnungsgrundlagen	232
4.4.1	Sicherheiten	232
4.4.2	Einwirkungen aus vertikalen und horizontalen Lasten	232
4.4.3	Nachweis der Horizontalkräfte	235
4.4.3.1	Berücksichtigung von Imperfektionen	235
4.4.3.2	Schubsteifigkeit einer Verbandsscheibe	236
4.4.3.3	Berechnungen des Wind- und Aussteifungsverbandes	240
4.4.3.4	Berechnungen der lotrechten Verbände	242
4.4.4	Verformung der Traggerüste	244
4.4.5	Gründungen	245
4.5	Schalungs- und Obergerüst	245
4.5.1	Konstruktive Durchbildung	245
4.5.2	Schalungsdruck	249
4.6	Berechnungsbeispiel: Traggerüst als Rüstträgergerüst	252
4.6.1	System, Aufgabenstellung und Abmessungen	252
4.6.2	Nachweis der Rüstträgerbeanspruchung Feld 1 und Feld 3	253
4.6.3	Nachweis der horizontalen Einwirkungen	256
4.6.4	Darstellung	261
4.7	Traggerüstbauweisen	263
4.7.1	Entwicklung des Lehrgerüstbaus	263
4.7.2	Traggerüste von Bogenbrücken	264
4.7.3	Traggerüste von Balkenbrücken	272
4.7.3.1	Stationäre Einrüstungen	272
4.7.3.2	Bauweise durch Verfahren der Gerüste	274
4.7.3.3	Vorschubgerüstbauweise	275
4.7.3.4	Taktschiebeverfahren	281
4.7.3.5	Freivorbauweise	285
5	Überbauten der Brückenbauwerke	291
5.1	Entwicklung der Tragsysteme im Überbau	291
5.2	Berechnungsgrundlagen für Überbauten	293
5.2.1	Tragverhalten von Plattentragwerken	293
5.2.1.1	Plattensysteme	293
5.2.1.2	Rechtwinklige, zweiseitig gestützte Platten	294
5.2.1.3	Schiefwinklige, zweiseitig gestützte Platten	303
5.2.1.4	Berechnungshilfen zur Momentenermittlung	318
5.2.1.5	Beispiele zur Plattenberechnung	319
5.2.2	Tragverhalten von Balkentragwerken	339
5.2.2.1	Biegemomente in der Fahrbahnplatte	339
5.2.2.2	Lastaufteilung auf die Hauptträger	342
5.2.2.3	Beanspruchungen in den Hauptträgern	368
5.2.3	Maßgebende Schnittgrößen aus äußeren Einwirkungen	378
5.2.4	Schnittgrößen aus Vorspannung	382
5.2.4.1	Vorspannarten	382

5.2.4.2	Vorspannung mit internen Spanngliedern	384
5.2.4.3	Vorspannung mit externen Spanngliedern	399
5.2.5	Vorgespannte Tragwerke im Gebrauchszustand	408
5.2.5.1	Vorspannziele und Vorspanngrad	408
5.2.5.2	Mittelwert der Vorspannkraft	409
5.2.5.3	Erforderliche Vorspannkraft	411
5.2.5.4	Spannkraft und Spannweg	413
5.2.5.5	Spannkraftverluste aus Kriechen und Schwinden des Betons sowie Relaxation des Spannstahls	421
5.3	Bemessung der Betonbauteile	429
5.3.1	Bemessungskonzept der DIN-EN 1992-2/NA, 1991-1-1/NA	429
5.3.1.1	Charakteristische Werte der Einwirkungsseite	429
5.3.1.2	Charakteristische Werte der Widerstandsseite	431
5.3.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit für Biegung und Längskraft	436
5.3.2.1	Nutzungsbereiche der Stahl- und Betondehnungen	436
5.3.2.2	Dehnung in vorgespannten Querschnitten	437
5.3.2.3	Varianten der Bruchverformungen	439
5.3.2.4	Bemessung für Biegung mit Längskraft	440
5.3.3	Grenzzustand der Tragfähigkeit für Querkraft	444
5.3.3.1	Problemstellung	444
5.3.3.2	Bemessungsmodell und innere Kräfte	446
5.3.3.3	Nachweisverfahren	448
5.3.4	Grenzzustand der Tragfähigkeit für Torsion	454
5.3.4.1	Grundlagen der Torsionsbeanspruchung	454
5.3.4.2	Bemessungsmodell und innere Kräfte	456
5.3.4.3	Nachweisverfahren	458
5.3.5	Grenzzustand der Tragfähigkeit für Ermüdung	460
5.3.5.1	Einzelheiten zur Nachweisführung der Ermüdungsfestigkeit	460
5.3.5.2	Zur Theorie der Ermüdungsfestigkeit von Stahl	462
5.3.5.3	Nachweisführung im Stahl	466
5.3.5.4	Zur Theorie der Ermüdungsfestigkeit von Beton	468
5.3.5.5	Nachweisführung im Beton	469
5.3.6	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	472
5.3.6.1	Anforderungsprofil des Grenzzustandes	472
5.3.6.2	Spannungsbegrenzungen und Spannungsnachweise	477
5.3.6.3	Zusammenhänge der Rissbildung	479
5.3.6.4	Beschränkung der Rissbreite	482
5.3.6.5	Verformungen von Tragwerken	494
5.3.6.6	Grenzzustand der Schwingung	499
5.3.7	Grenzzustände der Verformungen und Schwingungen im Eisenbahnbrückenbau	503
5.3.8	Besondere Bemessungsprobleme	506
5.3.8.1	Einleitung der Vorspannkraft	506
5.3.8.2	Koppelfugen	511
5.4	Grundsätze der baulichen Durchbildung	519
5.4.1	Anordnung der schlaffen Bewehrung	519
5.4.2	Anordnung der Spannbewehrung	525
5.4.2.1	Vorspannung mit Verbund	525
5.4.2.2	Vorspannung ohne Verbund	533
5.4.3	Querschnittsrandskappen	540
5.4.3.1	Kappen von Straßenbrücken	540
5.4.3.2	Kappen von Eisenbahnbrücken	543

5.5	Berechnungsbeispiele	545
5.5.1	Fußgängerbrücke, vorgespannt	545
5.5.1.1	System, Einwirkungen und Schnittgrößen	545
5.5.1.2	Lastfall Vorspannung	547
5.5.1.3	Grenzzustand der Tragfähigkeit	552
5.5.1.4	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	557
5.5.2	Rechtwinklige Fahrbahnplatte, schlaff bewehrt	563
5.5.2.1	System und Abmessungen	563
5.5.2.2	Einwirkungen, Biegemomente und Querkräfte	563
5.5.2.3	Bemessung	570
5.5.3	Rechtwinklige Fahrbahnplatte, vorgespannt	575
5.5.3.1	System und Querschnittswerte	575
5.5.3.2	Einwirkungen, Biegemomente und Querkräfte	575
5.5.3.3	Lastfall Vorspannung	576
5.5.3.4	Grenzzustand der Tragfähigkeit	582
5.5.3.5	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	585
5.5.3.6	Grenzzustand der Ermüdungsfestigkeit	590
5.5.3.7	Sonstige Bewehrungserfordernisse, Spannplan und Bewehrungsskizze des Querschnittes	594
6	Widerlager von Brückenbauwerken	599
6.1	Form, Aufgabe und Zweckbestimmung der Widerlager	599
6.2	Konstruktion und Tragverhalten der Widerlager	601
6.2.1	Konstruktionsformen	601
6.2.1.1	Einfache Widerlagerstützwand	601
6.2.1.2	Kastenförmiges Widerlager	602
6.2.1.3	Einzelheiten der Konstruktion	606
6.2.2	Tragverhalten eines Widerlagers	612
6.2.2.1	Einfache Widerlagerstützwand	612
6.2.2.2	Kastenförmiges Widerlager	617
6.3	Berechnung eines Widerlagers	624
6.3.1	Einwirkungen auf das Widerlager	624
6.3.1.1	Belastungsannahmen	624
6.3.1.2	Einwirkungen aus dem Überbau	627
6.3.1.3	Einwirkungen aus dem Erddruck	629
6.3.1.4	Widerlagersystem und Belastung	634
6.3.1.5	Schrammbordstoß an der Flügelwand einer Straßenbrücke	637
6.3.2	Nachweis der Standsicherheit	638
6.3.2.1	Grundlagen der Nachweisführung nach DIN EN 1997-1/NA	638
6.3.2.2	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	640
6.3.2.3	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	644
6.3.3	Bemessung und Bewehrungsführung	646
6.3.3.1	Bemessungsgrundsätze	646
6.3.3.2	Mindestbewehrung	646
6.3.3.3	Bewehrungsführung in der Widerlagerwand	647
6.3.3.4	Bewehrungsführung in der Flügelwand	650
6.3.3.5	Bewehrungsführung im Fundament	651
6.4	Berechnungsbeispiele	653
6.4.1	Ermittlung der Standsicherheit eines schiefwinkligen Widerlagers	653
6.4.1.1	System und Abmessungen	653
6.4.1.2	Einwirkungen auf das Widerlager	655
6.4.1.3	Ermittlung der charakteristischen Werte der Einwirkungen in der Sohlfuge	656

6.4.1.4	Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit	669
6.4.1.5	Nachweis des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit	670
6.4.2	Bemessung einer einfachen Widerlagerstützwand	673
6.4.2.1	System und Abmessungen	673
6.4.2.2	Einwirkungen auf das Widerlager	674
6.4.2.3	Biegebeanspruchung und Bemessung	677
7	Stützen und Pfeiler	695
7.1	Konstruktion und Gestaltung	695
7.1.1	Stützen	695
7.1.2	Pfeiler	699
7.2	Berechnung und Bemessung	702
7.2.1	Zum Tragverhalten von Stahlbetondruckgliedern	702
7.2.2	Nachweisverfahren	707
7.2.3	Bemessungserfordernisse	708
7.2.3.1	Stützen ohne Knickgefahr	708
7.2.3.2	Stützen mit Stabilitätsgefährdung (Knicksicherheitsnachweis)	710
7.2.3.3	Bemessungskombinationen	715
7.2.3.4	Stützen mit Anprallstoß	716
7.2.4	Stütze und Fundament	722
7.2.4.1	Nachweisverfahren zur Verhinderung des Durchstanzens	722
7.2.4.2	Kritischer Rundschnitt	722
7.2.4.3	Querkrafttragfähigkeit der Fundamentplatte	725
7.3	Berechnungsbeispiele	727
7.3.1	Ermittlung der charakteristischen Werte der Einwirkungen auf die Mittelstütze einer Zweifeldstraßenbrücke	727
7.3.2	Rechteckstütze mit Knicksicherheitsnachweis nach dem Modellstützenverfahren	734
7.3.3	Rechteckstütze mit Knicksicherheitsnachweis nach Theorie II. Ordnung ...	737
7.3.4	Rechteckstütze mit Fahrzeuganprall	742
7.3.5	Rechteckstütze und Fundament	745
8	Brückenlager	749
8.1	Begriffe, Einteilungen, Symbole	749
8.2	Statische und kinematische Einwirkungen am Lager	752
8.2.1	Haupt- und Nebenschnittgrößen	752
8.2.2	Einwirkungen auf die Lager	755
8.3	Konstruktion und Lagerungsplan	759
8.3.1	Bauliche Durchbildung der Lager	759
8.3.2	Auflagerbank	761
8.3.3	Lagerungsplan	763
8.4	Lagerarten	766
8.4.1	Feste Lager	766
8.4.1.1	Kipplager	766
8.4.1.2	Topflager	766
8.4.1.3	Kalottenlager	767
8.4.1.4	Horizontalkraftlager	768
8.4.1.5	Stahlbetongelenk	768
8.4.2	Bewegliche Lager	769
8.4.2.1	Rollenlager	769
8.4.2.2	Gleitlager	770
8.4.3	Elastomerverformungslager	773

9	Fahrbahnübergänge und Brückengeländer	779
9.1	Fahrbahnübergänge	779
9.1.1	Problemstellung und Berechnungsansätze	779
9.1.2	Einfacher Überbauabschluss für kleine Dehnwege	780
9.1.3	Fahrbahnübergänge aus Asphalt	781
9.1.4	Fahrbahnübergänge aus Stahl und Elastomer	782
9.1.4.1	Straßenbrücken	782
9.1.4.2	Eisenbahnbrücken	785
9.2	Nachweis an Überbaurändern	787
9.3	Brückengeländer	789
10	Brückenentwässerung	793
10.1	Allgemeine Anforderungen	793
10.2	Anordnung der Brückenabläufe	794
10.2.1	Straßenbrücken	794
10.2.2	Eisenbahnbrücken	795
10.3	Abführung des Oberflächenwassers	796
10.4	Entwässerung der Widerlagerwandrückseite	798
Ausklang	801	
Literaturverzeichnis	805	
Stichwortverzeichnis	809	
Nachweis der verwendeten Bilder	813	