

Karl Heinz Holst, Ralph Holst

Brücken aus Stahlbeton und Spannbeton

Entwurf, Konstruktion und Berechnung

5. Auflage

 **Ernst & Sohn**
A Wiley Company

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
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	8
1.1.4.1 Einwirkungen	8
1.1.4.2 Grenzzustände und Einwirkungskombinationen	9
1.1.5 Vorschriften und Bautechnische Regelwerke	10
1.2 Einwirkungen aus dem Straßenverkehr	13
1.2.1 Zuordnung des Straßenverkehrs	13
1.2.2 Vertikallasten, charakteristische Werte	14
1.2.2.1 Ständige Lasten	14
1.2.2.2 Verkehrsregellasten	15
1.2.3 Horizontallasten, charakteristische Werte	17
1.2.4 Einwirkungen für Ermüdungsberechnungen	18
1.2.5 Außergewöhnliche Einwirkungen	20
1.2.6 Sonstige Einwirkungen	22
1.2.7 Ermittlung von Verkehrsbelastungen für Straßenbrücken	24
1.2.8 Einwirkungskombinationen für die Grenzzustände	25
1.2.8.1 Verkehrslastmodelle und zeitlich gleiche andere Einwirkungen	25
1.2.8.2 Kombinationsfaktoren ψ für Straßenbrücken	26
1.2.8.3 Teilsicherheitsbeiwerte γ für Straßenbrücken	26
1.3 Einwirkungen aus militärischem Fahrzeugverkehr	28
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	Verkehrslastmodelle 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	68
1.5.1	Vertikale Lasten, charakteristische Werte	68
1.5.2	Horizontale Lasten, charakteristische Werte	69
1.5.3	Außergewöhnliche Einwirkungen	69
1.5.4	Sonstige Einwirkungen	70
1.5.5	Ermittlung von Verkehrsbelastungen für Fußgänger- und Radwegbrücken ..	70
1.5.6	Einwirkungskombinationen für die Grenzzustände	71
1.6	Einwirkungen aus Änderungen der Stützungsbedingungen	72
1.7	Einwirkungen aus Windlasten	74
1.7.1	Allgemeine Zusammenhänge	74
1.7.2	Windkräfte bei Brücken	76
1.7.2.1	Nachweisverfahren nach DIN V ENV 1991-2.4	76
1.7.2.2	Tafeln und Tabellen zur Vermittlung der Windkräfte (Auszug aus DIN V ENV 1991-2.4)	78
1.7.2.3	Vereinfachtes Nachweisverfahren nach dem DIN-Fachbericht 101	79
1.8	Temperatureinwirkungen	82
1.8.1	Begriffe und Formelzeichen	82
1.8.2	Temperatureinwirkungen auf Brückenbauwerke	83
1.8.2.1	Konstanter Temperaturanteil, charakteristische Werte	83
1.8.2.2	Linearer Temperaturunterschied, charakteristische Werte	85
1.8.2.3	Gleichzeitigkeit von Temperatureinwirkungen	88
1.8.3	Temperatureinwirkungen auf Brückenpfeiler	88
1.8.4	Kombinationen für die Grenzzustände	88
1.9	Schnittkräfte aus Einwirkungen infolge vertikaler Verkehrslast	88
1.9.1	Belastungsprinzip	88
1.9.2	Verkehrslast und Einflußlinie	89
1.9.3	Verkehrslast und Einflußfeld	91
1.10	Berechnungsbeispiele	95
1.10.1	Ermittlung einer Windkraft	95
1.10.2	Ermittlung eines Biegemomentes eines Balkentragwerkes	97
1.10.3	Ermittlung eines Biegemomentes eines Flächentragwerkes	98
1.10.4	Ermittlung der charakteristischen Werte der Einwirkungen und der Verkehrslastgruppen für eine Eisenbahnbrücke	101
1.10.4.1	System, Abmessungen und Vorwerte	102
1.10.4.2	Charakteristische Werte der Vertikallasten	104
1.10.4.3	Charakteristische Werte der Horizontallasten	108

1.10.4.4	Charakteristische Werte der außergewöhnlichen Einwirkungen	115
1.10.4.5	Maßgebende Schnittgrößen	116
1.10.4.6	Ermittlung der Verkehrslastgruppen	118
2	Gestaltung der Brückenbauwerke	121
2.1	Gestaltungsmerkmale	121
2.2	Querschnittsgestaltung	122
2.2.1	Bedeutung der Querschnittsform	122
2.2.2	Plattenquerschnitte	123
2.2.3	Plattenbalkenquerschnitte	125
2.2.4	Hohlkastenquerschnitte	128
2.3	Längsschnittgestaltung	132
2.3.1	Balkenbrücken	132
2.3.2	Rahmenbrücken	135
2.3.3	Bogenbrücken	138
2.3.4	Fachwerkbrücken	143
2.3.5	Durchlässe	143
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	156
3.1.3	Bauhöhe, Konstruktionshöhe und lichte Höhe	159
3.1.3.1	Lichter Raum	159
3.1.3.2	Erforderliche Bauhöhe	160
3.1.4	Brückenende und Übergang zur Straßentrasse	166
3.2	Planung von Eisenbahnbrücken	169
3.2.1	Problemstellung des Eisenbahnbrückenbaues	169
3.2.2	Überlegungen zur Gestaltung der Bauwerke	170
3.2.3	Konstruktionsanforderungen	172
3.2.4	Lichter Raum	177
3.2.5	Konstruktionsbesonderheiten zur Abtragung längsgerichteter Kräfte	181
3.2.6	Feste Fahrbahn	184
3.2.6.1	Streckenquerschnitt	184
3.2.6.2	Feste Fahrbahnen auf Brücken	186
3.2.7	Brücken in der Hochgeschwindigkeitsstrecke Köln–Frankfurt	190
3.2.8	Brückenende und Übergang zur Eisenbahntrasse	193
3.3	Erfordernisse der Entwurfsplanung	195
3.3.1	Bedeutung eines Bauentwurfes	195
3.3.2	Einzelheiten der Entwurfsbearbeitung	196
4	Lehrgerüste	201
4.1	Aufgaben und allgemeine Anforderungen	201
4.2	Baustoffe und Bauelemente	202
4.2.1	Schalhaut und Schalung	202
4.2.2	Bauelemente aus Holz	204
4.2.3	Bauelemente aus Stahl	206
4.2.3.1	Gerüstrohre und Verbindungsmittel	206
4.2.3.2	Walzprofilträger	207

4.2.3.3	Rüstträgersysteme	208
4.2.3.4	Rahmenstützensysteme	213
4.3	Bauliche Durchbildung der Traggerüste	216
4.3.1	Einteilung der Gerüste	216
4.3.2	Konstruktive Anordnung der Verbände	218
4.3.2.1	Allgemeine Anforderungen	218
4.3.2.2	Verbände im Rüstträgergerüst	218
4.3.2.3	Verbände im Holzträgergerüst	222
4.3.3	Besonderheiten für Traggerüste von Spannbetonbrücken	222
4.4	Berechnungsgrundlagen	224
4.4.1	Sicherheiten	224
4.4.2	Einwirkungen aus vertikalen und horizontalen Lasten	225
4.4.3	Nachweis der Horizontalkräfte	227
4.4.3.1	Berücksichtigung geometrischer Ungenauigkeiten	227
4.4.3.2	Schubsteifigkeit einer Verbandsscheibe	228
4.4.3.3	Berechnung des Wind- und Aussteifungsverbandes	231
4.4.3.4	Berechnung der lotrechten Verbände	234
4.4.4	Verformung der Traggerüste	236
4.4.5	Gründungen	236
4.5	Schalungs- und Obergerüst	237
4.5.1	Konstruktive Durchbildung	237
4.5.2	Schalungsdruck	241
4.6	Berechnungsbeispiele	244
4.6.1	Traggerüst als Rüstträgergerüst	244
4.6.1.1	Aufgabenstellung, System und Abmessungen	244
4.6.1.2	Tragfähigkeitsnachweis Feld 1 und Feld 3	245
4.6.1.3	Darstellung	254
4.6.2	Traggerüst als Lastturmgerüst	256
4.6.2.1	Aufgabenstellung, System und Abmessungen	256
4.6.2.2	Tragfähigkeitsnachweis	257
4.6.2.3	Darstellung	262
4.7	Traggerüstbauweisen	264
4.7.1	Entwicklung des Lehrgerüstbaues	264
4.7.2	Traggerüste von Bogenbrücken	265
4.7.3	Traggerüste von Balkenbrücken	273
4.7.3.1	Stationäre Einrüstungen	273
4.7.3.2	Bauweise durch Verfahren der Gerüste	275
4.7.3.3	Vorschubgerüstbauweise	276
4.7.3.4	Taktschiebeverfahren	282
4.7.3.5	Freivorbauweise	286
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	305
5.2.1.4	Berechnungshilfen zur Momentenermittlung	320
5.2.1.5	Beispiele zur Plattenberechnung	325

5.2.2	Tragverhalten von Balkentragwerken	346
5.2.2.1	Biegemomente in der Fahrbahnplatte	346
5.2.2.2	Lastaufteilung auf die Hauptträger	350
5.2.2.3	Beanspruchungen in den Hauptträgern	368
5.2.3	Maßgebende Schnittgrößen aus äußeren Einwirkungen	379
5.2.4	Schnittgrößen aus Vorspannung	383
5.2.4.1	Vorspannarten	383
5.2.4.2	Vorspannung mit internen Spanngliedern	385
5.2.4.3	Vorspannung mit externen Spanngliedern	394
5.2.5	Vorgespannte Tragwerke im Gebrauchszustand	403
5.2.5.1	Vorspannziele und Vorspanngrad	403
5.2.5.2	Mittelwert der Vorspannkraft	404
5.2.5.3	Erforderliche Vorspannkraft	406
5.2.5.4	Spannkraft und Spannweg	408
5.2.5.5	Spannkraftverluste aus Kriechen und Schwinden des Betons sowie Relaxation des Spannstahles	416
5.3	Bemessung der Betonbauteile	424
5.3.1	Bemessungskonzept des DIN-Fachberichtes 102	424
5.3.1.1	Charakteristische Werte der Einwirkungsseite	424
5.3.1.2	Charakteristische Werte der Widerstandsseite	426
5.3.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit für Biegung mit Längskraft	431
5.3.2.1	Nutzungsbereiche der Stahl- und Betondehnungen	431
5.3.2.2	Dehnung in vorgespannten Querschnitten	432
5.3.2.3	Varianten der Bruchverformung	434
5.3.2.4	Bemessung für Biegung mit Längskraft	435
5.3.3	Grenzzustand der Tragfähigkeit für Querkraft	439
5.3.3.1	Problemstellung	439
5.3.3.2	Bemessungsmodell und innere Kräfte	441
5.3.3.3	Nachweisverfahren	443
5.3.4	Grenzzustand der Tragfähigkeit für Torsion	449
5.3.4.1	Grundlagen der Torsionsbeanspruchung	449
5.3.4.2	Bemessungsmodell und innere Kräfte	450
5.3.4.3	Nachweisverfahren	452
5.3.5	Grenzzustand der Tragfähigkeit für Ermüdung	455
5.3.5.1	Einzelheiten zur Nachweisführung der Ermüdungsfestigkeit	455
5.3.5.2	Zur Theorie der Ermüdungsfestigkeit von Stahl	457
5.3.5.3	Nachweisführung im Stahl	459
5.3.5.4	Zur Theorie der Ermüdungsfestigkeit von Beton	463
5.3.5.5	Nachweisführung im Beton	464
5.3.6	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	466
5.3.6.1	Anforderungsprofil des Grenzzustandes	466
5.3.6.2	Spannungsbegrenzungen und Spannungsnachweise	469
5.3.6.3	Zusammenhänge der Rißbildung	471
5.3.6.4	Beschränkung der Rißbreite	475
5.3.6.5	Verformungen von Tragwerken	486
5.3.6.6	Schwingungsbeanspruchung der Tragwerke	491
5.3.7	Grenzzustände der Verformungen und Schwingungen im Eisenbahnbrückenbau	494
5.3.8	Besondere Bemessungsprobleme	498
5.3.8.1	Einleitung der Vorspannkkräfte	498

5.3.8.2	Koppelfugen	502
5.4	Grundsätze der baulichen Durchbildung	510
5.4.1	Anordnung der schlaffen Bewehrung	510
5.4.2	Anordnung der Spannbewehrung	516
5.4.2.1	Vorspannung mit Verbund	516
5.4.2.2	Vorspannung ohne Verbund	524
5.4.3	Querschnittsrandskappen	531
5.4.3.1	Kappen von Straßenbrücken	531
5.4.3.2	Kappen von Eisenbahnbrücken	534
5.5	Berechnungsbeispiele	536
5.5.1	Fußgängerbrücke, vorgespannt	536
5.5.1.1	System und Einwirkungen	536
5.5.1.2	Lastfall Vorspannung	537
5.5.1.3	Grenzzustand der Tragfähigkeit	543
5.5.1.4	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	547
5.5.2	Rechtwinklige Fahrbahnplatte, schlaff bewehrt	553
5.5.2.1	System und Abmessungen	553
5.5.2.2	Einwirkungen, Biegemomente und Querkräfte	553
5.5.2.3	Bemessung	560
5.5.3	Rechtwinklige Fahrbahnplatte, vorgespannt	565
5.5.3.1	System und Querschnittswerte	565
5.5.3.2	Einwirkungen, Biegemomente und Querkräfte	565
5.5.3.3	Lastfall Vorspannung	566
5.5.3.4	Grenzzustand der Tragfähigkeit	572
5.5.3.5	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	575
5.5.3.6	Grenzzustand der Ermüdungsfestigkeit	579
5.5.3.7	Sonstige Bewehrungserfordernisse, Spannplan und Bewehrungsskizze des Querschnittes	583
6	Widerlager von Brückenbauwerken	587
6.1	Form, Aufgabe und Zweckbestimmung der Widerlager	587
6.2	Konstruktion und Tragverhalten der Widerlager	589
6.2.1	Konstruktionsformen	589
6.2.1.1	Einfache Widerlagerstützwand	589
6.2.1.2	Kastenförmiges Widerlager	590
6.2.1.3	Einzelheiten der Konstruktion	594
6.2.2	Tragverhalten eines Widerlagers	600
6.2.2.1	Einfache Widerlagerstützwand	600
6.2.2.2	Kastenförmiges Widerlager	605
6.3	Berechnung eines Widerlagers	612
6.3.1	Einwirkungen auf das Widerlager	612
6.3.1.1	Belastungsannahmen	612
6.3.1.2	Einwirkungen aus dem Überbau	615
6.3.1.3	Einwirkungen aus dem Erddruck	617
6.3.1.4	Widerlagersystem und Belastung	622
6.3.1.5	Schrammbordstoß an der Flügelwand einer Straßenbrücke	625
6.3.2	Nachweis der Standsicherheit bei Flachgründungen	626
6.3.2.1	Grundlagen der Nachweisführung	626
6.3.2.2	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZ 1)	628
6.3.2.3	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZ 2)	631

6.3.3	Bemessung und Bewehrungsführung	632
6.3.3.1	Bemessungsgrundsätze	632
6.3.3.2	Mindestbewehrung	632
6.3.3.3	Bewehrungsführung in der Widerlagerwand	633
6.3.3.4	Bewehrungsführung in der Flügelwand	636
6.3.3.5	Bewehrungsführung im Fundament	637
6.4	Berechnungsbeispiele	639
6.4.1	Ermittlung der Standsicherheit eines schiefwinkligen Widerlagers	639
6.4.1.1	System und Abmessungen	639
6.4.1.2	Einwirkungen auf das Widerlager	641
6.4.1.3	Ermittlung der charakteristischen Werte der Einwirkungen in der Sohlfuge ..	642
6.4.1.4	Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit	655
6.4.1.5	Nachweis des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit	656
6.4.2	Bemessung einer einfachen Widerlagerstützwand	659
6.4.2.1	System und Abmessungen	659
6.4.2.2	Einwirkungen auf das Widerlager	660
6.4.2.3	Biegebeanspruchung und Bemessung	663
7	Stützen und Pfeiler	679
7.1	Konstruktion und Gestaltung	679
7.1.1	Stützen	679
7.1.2	Pfeiler	683
7.2	Berechnung und Bemessung	686
7.2.1	Zum Tragverhalten von Stahlbetondruckgliedern	686
7.2.2	Nachweisverfahren	691
7.2.3	Bemessungserfordernisse	692
7.2.3.1	Stützen ohne Knickgefahr	692
7.2.3.2	Stützen mit Stabilitätsgefährdung (Knicksicherheitsnachweis)	694
7.2.3.3	Bemessungskombinationen	698
7.2.3.4	Stützen mit Anprallstoß	699
7.2.4	Stütze und Fundament	705
7.2.4.1	Nachweisverfahren zur Verhinderung des Durchstanzens	705
7.2.4.2	Kritischer Rundschnitt	705
7.2.4.3	Querkrafttragfähigkeit der Fundamentplatte	708
7.3	Berechnungsbeispiele	709
7.3.1	Ermittlung der charakteristischen Werte der Einwirkungen auf die Mittelstütze einer Zweifeldstraßenbrücke	709
7.3.2	Rechteckstütze mit Knicksicherheitsnachweis nach dem Modellstützenverfahren	716
7.3.3	Rechteckstütze mit Knicksicherheitsnachweis nach Theorie II. Ordnung ...	720
7.3.4	Rechteckstütze mit Fahrzeuganprall	725
7.3.5	Rechteckstütze und Fundament	727
8	Brückenlager	731
8.1	Begriffe, Einteilungen, Symbole	731
8.2	Statische und kinematische Einwirkungen am Lager	734
8.2.1	Haupt- und Nebenschnittgrößen	734
8.2.2	Einwirkungen auf die Lager	736
8.3	Konstruktion und Lagerungsplan	739
8.3.1	Bauliche Durchbildung der Lager	739

8.3.2	Auflagerbank	741
8.3.3	Lagerungsplan	742
8.4	Lagerarten	745
8.4.1	Feste Lager	745
8.4.1.1	Kipplager	745
9.4.1.2	Topflager	745
8.4.1.3	Kalottenlager	746
8.4.1.4	Horizontalkraftlager	747
8.4.1.5	Stahlbetongelenk	747
8.4.2	Bewegliche Lager	748
8.4.2.1	Rollenlager	748
8.4.2.2	Gleitlager	750
8.4.3	Elastomerverformungslager	752
9	Fahrbahnübergänge und Brückengeländer	759
9.1	Fahrbahnübergänge	759
9.1.1	Problemstellung und Berechnungsansätze	759
9.1.2	Einfacher Überbauabschluß für kleine Dehnwege	760
9.1.3	Fahrbahnübergänge aus Asphalt	761
9.1.4	Fahrbahnübergänge aus Stahl und Elastomer	762
9.2	Brückengeländer	765
10	Brückenentwässerung	769
10.1	Anforderungen	769
10.2	Anordnung der Brückenabläufe	770
10.3	Abführung des Oberflächenwassers	771
Ausklang		775
Literaturverzeichnis		779
Nachweis der verwendeten Bilder		783
Stichwortverzeichnis		785