

Gerhard Mehlhorn
Manfred Curbach *Hrsg.*

Handbuch Brücken

Entwerfen, Konstruieren, Berechnen,
Bauen und Erhalten

3. Auflage



Springer Vieweg

Gerhard Mehlhorn • Manfred Curbach
Herausgeber

Handbuch Brücken

Entwerfen, Konstruieren, Berechnen,
Bauen und Erhalten

Mit Beiträgen von Francesco Aigner, Hugo Bachmann, Stephanie Breunig, Manfred Curbach, Annette Detzel, Richard J. Dietrich, Eva-Maria Eichinger-Vill, Ekkehard Fehling, Ursula Freundt, Thomas Fritsche, Gerhard Girmscheid, Christian Gläser, Karl Goj, Gunter Hauf, Karlheinz Haveresch, Dirk Hölzer, Masaaki Hoshino, Thomas Jahn, Manfred Keuser, Johann Kollegger, Ludolf Krontal, Ulrike Kuhlmann, J. S. Han Leendertz, Ulf Lichte, Michael Link, Ingbert Mangerig, Steffen Marx, Gerhard Mehlhorn, Christian Menn, Harald Michler, Guido Morgenthal, Joachim Naumann, Günter Ramberger (†), Peter Ruse (†), Silke Scheerer, Jürgen Stritzke, Matthias Weiland und Marc Wenner

3. Auflage

 Springer Vieweg

Herausgeber
Gerhard Mehlhorn
Universität Kassel
Kassel, Deutschland

Manfred Curbach
TU Dresden
Dresden, Deutschland

ISBN 978-3-658-03339-2 ISBN 978-3-658-03342-2 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-658-03342-2

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2007, 2010, 2014

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Lektorat: Ralf Harms, Annette Prenzer

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer-vieweg.de

Inhaltsverzeichnis

Autorenverzeichnis	XX	1.7.2	Erfordernis für intern verbundlose Vorspannung im Brückenbau	114
1 Brückenbau auf dem Weg vom Altertum zum modernen Brückenbau. Aktuelle Entwicklungen	1	1.7.3	Typen von intern verbundlosen Spanngliedern	116
1.1 Einführung	1	1.8	Brücken aus Textilbeton .	118
1.2 Brücken im Altertum	2	1.8.1	Der Baustoff Textilbeton .	118
1.2.1 Brücken in China	2	1.8.2	Textilbeton im Brückenbau	120
1.2.2 Brücken in Griechenland, in den persischen Großreichen und in Mesopotamien	9	1.8.3	TRC zur Brückenertüchtigung	124
1.2.3 Römische Brückenbaukunst	14	1.8.4	Fazit und zukünftige Entwicklungen	125
1.3 Brücken im Mittelalter	23	1.9	Nachrechnen und Verstärken von Straßenbrücken – Erfahrungen und Folgerungen	126
1.4 Brücken von der Renaissance bis zur Gegenwart	33	1.9.1	Einleitung	126
1.4.1 Steinbrücken	33	1.9.2	Nachrechnungsverfahren .	128
1.4.2 Holzbrücken	38	1.10	Bemerkungen zur Gestaltung von Brücken .	156
1.4.3 Eisen- und Stahlbrücken ..	43	1.11	Ausgewählte Brücken mit historischen Bezügen	163
1.4.4 Bogen-, Balken- und Rahmenbrücken aus Beton	77	2 Gestaltung von Brücken, Wettbewerbe, Brückenbaupreise	167	
1.4.5 Moderne Schrägkabelbrücken	93	2.1	Vorbemerkung	167
1.5 Brücken aus Hochleistungsbeton	99	2.2	Baukultur	170
1.6 Integrale und semintegrale Bauweise	102	2.3	Initiative Baukultur und Stiftung Baukultur	170
1.7 Entwicklungen in der Bauweise mit verbundlosen Spanngliedern sowie der zugehörigen Systeme	111	2.4	Gestaltungsmöglichkeiten für Brücken	172
1.7.1 Historische Entwicklung der Bauweise mit verbundlosen Spanngliedern	111	2.5	Planungswettbewerbe im Brückenbau	174

2.6	Wettbewerbe und Preise	178	3.2.5	Hinweise zur Bauwerksgründung	264
2.7	Deutscher Brückenbaupreis	179	3.2.6	Hinweise zu den Unterbauten	265
2.8	Gewinner und Nominierte für den Deutschen Brückenbaupreis 2006 bis 2014	182	3.2.7	Hinweise zu Lagerung und Beweglichkeit	266
2.9	Beschreibung der mit dem Deutschen Brückenbaupreis 2006 bis 2014 ausgezeichneten Bauwerke	213	3.2.8	Hinweise zu Brückenentwässerung und Abdichtung	266
2.9.1	Talbrücke Wilde Gera, Thüringen	214	3.2.9	Hinweise zu Bau- und Herstellungsverfahren	266
2.9.2	La-Ferté-Steg Stuttgart-Zuffenhausen	218	3.3	Genehmigungsplanung	268
2.9.3	Die Humboldtthafenbrücke in Berlin	222	3.4	Ausschreibung	268
2.9.4	Dreiländerbrücke Weil am Rhein (D) – Huningue (F)	226	3.4.1	Ausschreibung mit Mengenermittlung	268
2.9.5	Elbebrücke Mühlberg	230	3.4.2	Randbedingungen für Sonderentwürfe	270
2.9.6	Seebrücke in Sassnitz	236	3.4.3	Funktionale Ausschreibung	270
2.9.7	Scherkondetalbrücke bei Weimar	240	3.4.4	Verpflichtung zur Eindeutigkeit	270
2.9.8	Blaue Welle Flöha	242	3.5	Angebotsbearbeitung	271
2.9.9	Gänsebachtalbrücke bei Weimar	246	3.6	Submission	272
2.9.10	Erbasteg in Bamberg	250	3.7	Vergabe	272
3	Ingenieuraufgaben im Brückenbau	255	3.8	Ausführungsplanung	272
3.0	Vorbemerkung	255	3.9	Prüfung	273
3.1	Genereller Entwurf	256	3.10	Bauausführung, Bauüberwachung, Abrechnung	274
3.1.1	Vorplanung	256	3.10.1	Bauausführung	274
3.1.2	Entwurfsfindung im offenen oder eingeladenen Realisierungswettbewerb	258	3.10.2	Örtliche Bauüberwachung	275
3.2	Entwurfsplanung	259	3.10.3	Bauoberleitung	275
3.2.1	Vorschriften	259	3.10.4	Bauüberwachung bei funktional ausgeschriebenem Brückenbauwerken	277
3.2.2	Randbedingungen	261	3.10.5	Abrechnung	277
3.2.3	Baubetrieb und Baustelleneinrichtung	263	3.10.6	Nachträge	278
3.2.4	Entwurfselemente, Hilfsmittel und statische Vorberechnung	263	3.11	Objektbetreuung und Dokumentation	278
			3.12	Ingenieuraufgaben im Brückenbestand	279
			3.12.1	Überwachen, Bewerten und Beurteilen von Brücken	279

3.12.2	Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken	281	4.8.8	Donaukanalbrücke in Wien, Österreich	320
3.12.3	Verstärkung von Brückenbauwerken	281	4.8.9	Mangfallbrücke, Deutschland	322
3.12.4	Austausch oder Verbreiterung von Tragwerksteilen oder von ganzen Tragwerken	281	4.8.10	The Normandie Bridge, Frankreich	324
3.12.5	Abbruch von Brückenbauwerken	282	4.8.11	Rheinbrücke Bendorf, Deutschland	326
			4.8.12	Schrägseilbrücke Dubrovnik, Kroatien	328
4	Entwurf	285	5	Querschnittsgestaltung	331
4.1	Entwurfsgrundlagen	285	5.1	Querschnittsgestaltung in Abhängigkeit von System und Funktion	331
4.2	Bauwerkspezifische, verkehrstechnische Vorgaben	286	5.1.1	Allgemeines	331
4.3	Ortspezifische Randbedingungen	287	5.1.2	Allgemeine Erläuterungen zu den Hauptquerschnittstypen	334
4.4	Funktionelle Anforderungen	287	5.1.3	Querschnitte für Straßenbrücken	336
4.4.1	Tragsicherheit	287	5.1.4	Querschnitte für Bahnbrücken	337
4.4.2	Gebrauchstauglichkeit	288	5.1.5	Querschnitte für Fußgänger- und Radwegbrücken	338
4.4.3	Dauerhaftigkeit	290	5.1.6	Sonderquerschnitte	339
4.5	Kulturelle Anforderungen	292	5.2	Querschnittsgestaltung in Abhängigkeit vom verwendeten Werkstoff	339
4.5.1	Kosten	292	5.2.1	Betonbrücken	339
4.5.2	Ästhetik	295	5.2.2	Stahlbrücken	351
4.6	Ziel der Entwurfsarbeit	299	5.2.3	Verbundbrücken	362
4.7	Überlegungen beim konzeptionellen Entwurf	300	5.2.4	Holzbrücken	373
4.8	Ausgewählte Brücken	306	6	Haupttragwerke der Überbauten	393
4.8.1	Sunnibergbrücke, Schweiz	306	6.1	Plattenbrücken	393
4.8.2	Fußgängerbrücke Kelheim, Deutschland	308	6.2	Balkenbrücken	404
4.8.3	Osormort Viaduct, Spanien	310	6.2.1	Beton-Balkenbrücken	404
4.8.4	Sacramento river trail pedestrian bridge, USA	312	6.2.2	Semiintegrale Brücken	437
4.8.5	Puente de la Barqueta, Spanien	314	6.2.3	Stählerne Balkenbrücken	461
4.8.6	Falkensteinbrücke, Österreich	316	6.2.4	Balkenbrücken als Verbundbrücken oder Mischkonstruktionen	467
4.8.7	Le Pont de Brotonne, Frankreich	318			

6.3	Rahmenbrücken	478	6.8.4	Beanspruchungen	614
6.3.1	Rahmenbrücken aus Beton	478	6.8.5	Wirtschaftlichkeit	616
6.3.2	Rahmenbrücken aus Stahl	487	6.8.6	Ausblick	617
6.3.3	Rahmenbrücken als Verbund- und Mischkonstruktionen	488	7	Lagerung und Lager von Brücken	619
6.4	Vorspannung mit verbundlosen internen Spanngliedern	491	7.1	Überblick	619
6.4.1	Einwirkung auf intern verbundlose Spannglieder	491	7.2	Aufgaben und Beurteilung der Lagerung	621
6.4.2	Anforderungen an intern verbundlose Spannglieder	493	7.3	Wahl der Lagerung und Anordnung der Lager	626
6.4.3	Bemessung von Spannbetonbrücken mit intern verbundlosen Spanngliedern	499	7.4	Ermittlung der Kräfte und Bewegungen	632
6.4.4	Konstruktive Details	501	7.4.1	Allgemeines	632
6.4.5	Wirtschaftlichkeit	506	7.4.2	Kräfte und Bewegungen für statische Nachweise ..	634
6.4.6	Pilotprojekte	506	7.4.3	Bewegungen zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit der Lager	635
6.4.7	Resümee und Ausblick ...	514	7.4.4	Planungsgrundlagen	635
6.5	Bogen- und Stabbogenbrücken	515	7.5	Messungen von Kräften und Bewegungen an Lagern	636
6.5.1	Steinbrücken	515	7.5.1	Überblick	636
6.5.2	Betonbogenbrücken	529	7.5.2	Messungen unter gezielten Fahrzeugüberfahrten	637
6.5.3	Stahlbrücken	539	7.5.3	Berechnungen aufaddierter Gleitwege von Innendichtungen	638
6.5.4	Verbund- und Mischkonstruktionen	548	7.6	Lager	640
6.6	Schräggabelbrücken	564	7.6.1	Allgemeines	640
6.6.1	Konstruktionsgrundsätze ..	564	7.6.2	Verformungslager	640
6.6.2	Konstruktionselemente ...	568	7.6.3	Rollenlager und Kiplager	648
6.6.3	Lagerbedingungen	575	7.6.4	Topflager	650
6.6.4	Aerodynamisches Verhalten	576	7.6.5	Kalottenlager	651
6.6.5	Konstruktive Gestaltung der Konstruktions- elemente	579	7.6.6	Festhaltekonstruktionen und Führungslager	652
6.6.6	Ergänzungen zu Verbund- und Mischkonstruktionen	598	7.6.7	Gleitteile	653
6.7	Hängebrücken	605	7.6.8	Sonderlager	654
6.8	Spannbandbrücken	611	7.7	Lagerwiderstände	654
6.8.1	Einleitung	611	7.8	Nutzungsdauer von Lagern	655
6.8.2	Tragwirkung	612	7.9	Einbau und Austausch der Lager	656
6.8.3	Bauverfahren	614			

7.9.1	Einbau der Lager	656	9.1.5	Einwirkungen aus der Bauwerksumgebung	702
7.9.2	Austausch von Lagern	656	9.1.6	Bauzustände	702
7.10	Inspektion und Instandhaltung der Lager und Lagerungen	657	9.2	Systeme, Tragverhalten, Schnittgrößen	703
8	Unterbauten	661	9.2.1	Grundlagen	703
8.1	Überblick	661	9.2.2	Überbauten	707
8.2	Widerlager	661	9.2.3	Unterbauten	720
8.2.1	Definition, Aufgaben und Konstruktionsprinzip	661	9.2.4	Gesamtsysteme	725
8.2.2	Anordnung von Widerlagerwand und Flügeln – Widerlagerarten	663	9.3	Berechnung von Stahlbrücken	727
8.2.3	Konstruktion der Bauteile	666	9.3.1	Grundlagen	727
8.2.4	Entwurf von Widerlagern	670	9.3.2	Ausgewählte Probleme	730
8.3	Stützen und Pfeiler	673	9.4	Ausgewählte Nachweise bei einer Verbundbrücke	757
8.3.1	Definition, Aufgaben und Konstruktionsprinzip	673	9.4.1	Allgemeines	757
8.3.2	Anordnung und Querschnittsgestaltung von Pfeilern	674	9.4.2	Steifigkeit der Fahrbahnplatte	757
8.3.3	Anordnung und Querschnittsgestaltung von Stützen	676	9.4.3	Verbundtragwirkung	759
8.3.4	Pfeiler- oder Stützenkopf	677	9.4.4	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	762
8.3.5	Herstellung	679	9.4.5	Ermüdungsnachweis	770
8.3.6	Pylone	679	9.4.6	Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	772
8.4	Gründungen	680	9.5	Betonbrücken	773
8.4.1	Aufgaben und Überblick	680	9.5.1	Vorspannung von Betonbrücken	773
8.4.2	Flachgründungen	680	9.5.2	Schnittgrößen infolge Vorspannung	777
8.4.3	Pfahlgründungen	683	9.5.3	Einleitung konzentrierter Kräfte	791
8.4.4	Auswahlkriterien und Entwurf der Gründung	685	9.5.4	Vorspannkraftverluste infolge des Kriechens und Schwindens des Betons und der Relaxation des Spannstahls	796
9	Berechnung	687	9.5.5	Schnittgrößenum- lagerungen bei Systemänderungen und abschnittweisem Bauen	802
9.1	Einwirkungen auf Brücken	687	9.5.6	Bemessungsgrundlagen	807
9.1.1	Allgemeines	687	9.5.7	Besonderheiten bei der Bemessung von semiintegralen Brücken	829
9.1.2	Grundlagen	691			
9.1.3	Einwirkungen aus dem Bauwerk	692			
9.1.4	Einwirkungen aus der Bauwerksnutzung	694			

9.6	Berechnung von Unterbauten	838	11	Brückenausrüstung	1131
9.6.1	Einführung	838	11.1	Fahrbahnausbildung und Dichtungen für Fahrbahntafeln aus Beton	1131
9.6.2	Berechnung von Widerlagern	841	11.2	Fahrbahnübergänge	1132
9.6.3	Berechnung von Pfeilern und Stützen	860	11.2.1	Allgemeines	1132
9.6.4	Berechnung von Gründungen	870	11.2.2	Fahrbahnübergänge für Straßenbrücken	1133
9.7	Ausgewählte Probleme ...	882	11.2.3	Schienenauszugs- vorrichtungen	1142
9.7.1	Temperaturbeanspruchung	882	11.3	Die Randausbildung von Straßenbrücken in Deutschland	1143
9.7.2	Schwingungsprobleme ...	907	11.3.1	Allgemeine Anforderungen an die Randausbildung ..	1143
9.7.3	Eisenbahnbrücken	930	11.3.2	Brückenkappen	1144
9.7.4	Erdbebenbeanspruchung	943	11.3.3	Mechanische Befestigungen	1145
10	Herstellung und Ausführungsmethoden	961	11.3.4	Fußgänger- Rückhaltesysteme, Brückengeländer	1147
10.1	Betonbrücken	961	11.3.5	Fahrzeug- Rückhaltesysteme	1148
10.1.1	Herstellung auf Lehrgerüst	961	11.3.6	Lärmschutzanlagen	1154
10.1.2	Herstellung auf Vorschubrüstung	979	11.4	Brückenentwässerungen	1157
10.1.3	Freivorbau	992	11.5	Beleuchtung	1159
10.1.4	Taktschieben	1007	11.6	Versorgungsleitungen ...	1161
10.1.5	Segmentbauweise	1017	12	Überwachung, Prüfung, Bewertung und Beurteilung von Brücken	1165
10.1.6	Schrägelbrücken	1046	12.1	Einleitung	1165
10.2	Stahlbrücken	1069	12.2	Ursachen für Schäden an Betonbrücken	1165
10.2.1	Werkstattfertigung	1069	12.2.1	Allgemeines	1165
10.2.2	Montage vorgefertigter Einheiten	1074	12.2.2	Schäden am Beton	1166
10.2.3	Freivorbau	1080	12.2.3	Schäden am Bewehrungsstahl	1171
10.2.4	Längseinschub (Lancierern)	1085	12.2.4	Schäden an den Fugen und Lagern	1177
10.2.5	Spezielle Verfahren	1088	12.3	Schäden an Stahl- und Verbundbrücken ...	1180
10.3	Brücken in Verbund- und Mischbauweise	1106	12.4	Überwachung und Prüfung von Brückenbauwerken	1191
10.3.1	Fertigung und Montage Stahlüberbau	1106			
10.3.2	Schalung und Fertigung Betonfahrbahnplatte ...	1110			
10.3.3	Einfluss des Bauablaufs	1120			
10.3.4	Systemabhängige Bauabläufe	1126			

12.4.1 Grundlagen zur Überwachung von Brückenbauwerken	1191	13	Brückeninstandsetzung und -sanierung	1241
12.4.2 Prüfung von Betonbrücken	1192	13.1	Einleitung	1241
12.4.3 Prüfung von Stahl- und Verbundbrücken ...	1201	13.2	Betonbrücken	1241
12.4.4 Prüfung der Brückenausstattung	1208	13.2.1	Planung von Instandsetzungs- und Sanierungsmaßnahmen .	1241
12.4.5 Prüfung der Brückenausrüstung	1209	13.2.2	Vorbereitende Maßnahmen	1243
12.5 Zustandsbewertung und -beurteilung von Brücken	1210	13.2.3	Durchführung der Instandsetzungs- und Sanierungsmaßnahmen .	1247
12.5.1 Allgemeines	1210	13.3	Stahlbrücken	1254
12.5.2 Verfahren zur Zustandsbewertung von Brücken	1211	13.3.1	Korrosionsschutz	1254
12.6 Brückenmanagement	1215	13.3.2	Niete und Schrauben ...	1255
12.6.1 Allgemeines	1215	13.3.3	Instandsetzung von Abrostungen	1255
12.6.2 Brückenmanagementsysteme	1216	13.4	Fahrbahnbeläge	1256
12.7 Kontinuierliche rechnergestützte Dauerüberwachung	1217	14	Brückenverstärkung	1259
12.7.1 Allgemeines	1217	14.1	Einleitung	1259
12.7.2 Festlegung eines Konzepts für die Dauerüberwachung	1218	14.2	Betonbrücken	1259
12.7.3 Messgrößen und zugehörige Sensoren	1219	14.2.1	Geklebte Kohlenstofffaser-verbundwerkstoffe	1260
12.7.4 Aufzeichnung der Messdaten	1222	14.2.2	Externe Vorspannung ...	1267
12.7.5 Aufbereitung und Verarbeitung der Messdaten	1223	14.2.3	Querschnittsergänzung ..	1271
12.7.6 Dauerüberwachung mit Hilfe von Schwingungstestdaten am Beispiel der Gärtnerplatzbrücke in Kassel	1225	14.3	Stahl- und Verbundbrücken	1274
		14.3.1	Fahrbahnverstärkung ...	1277
		14.3.2	Systemverstärkung	1279
		14.3.3	Systemänderung	1281
		Literatur		1287
		Brückenverzeichnis		1357
		Personen- und Firmenverzeichnis		1375
		Stichwortverzeichnis		1379

Autorenverzeichnis

- A. o. Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing.
AIGNER, FRANCESCO
Institut für Tragkonstruktionen/Stahlbau
TU Wien
- Prof. em. Dr.-techn. Dr.-Ing. e.h.
BACHMANN, HUGO
Institut für Baustatik und Konstruktion
ETH Zürich
- Dipl.-Ing.
BREUNIG, STEPHANIE
Institut für Konstruktion und Entwurf/
Stahlbau, Holzbau und Verbundbau
Universität Stuttgart
- Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h.
CURBACH, MANFRED
Institut für Massivbau
TU Dresden
- Prof. Dr.-Ing.
DETZEL, ANNETTE
Fachgebiet Bauplanung und Konstruktion
Fachbereich 2 Duales Studium
Hochschule für Wirtschaft und Recht
Berlin
- Dipl.-Ing.
DIETRICH, RICHARD J.
Büro für Ingenieur-Architektur,
Traunstein
- Dipl.-Ing. Dr.-techn.
EICHINGER-VILL, EVA-MARIA
Bundesministerium für Verkehr,
Innovation und Technologie
Infrastruktur-Straße Abteilung II/
St2-Technik, Wien
- Prof. Dr.-Ing.
FEHLING, EKKEHARD
Institut Konstruktiver Ingenieurbau/
Massivbau
Universität Kassel
- Prof. Dr.-Ing.
FREUNDT, URSULA
Fachgebiet Verkehrsbau
Bauhaus-Universität Weimar
- Prof. Dr.-Ing.
FRITSCHKE, THOMAS
Fritsche Ingenieure, Deggendorf
- Prof. Dr.-Ing.
GIRMSCHIED, GERHARD
Institut für Bauplanung und Baubetrieb/
Bauprozess- und Bauunternehmens-
management
ETH Zürich
- Dr.-Ing.
GLÄSER, CHRISTIAN
Dywidag Systems International GmbH,
Unterschleissheim
- MR Dipl.-Ing.
GOJ, KARL
Oberste Baubehörde im Bayr.
Staatsministerium des Inneren, München
- Dr.-Ing.
GUNTER HAUF
Institut für Konstruktion und Entwurf/
Stahlbau, Holzbau und Verbundbau
Universität Stuttgart