

# Konstruktionslehre des Stahlbetons

Von

**Dr.-Ing. Gotthard Franz**  
ord. Professor  
an der Technischen Hochschule Karlsruhe

**Erster Band**  
**Grundlagen und Bauelemente**

**Zweite, durchgesehene Auflage**  
**Mit 362 Abbildungen**



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1966

ISBN 978-3-662-35722-4 ISBN 978-3-662-36552-6 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-36552-6

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten  
Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet,  
dieses Buch oder Teile daraus auf photomechanischem Wege  
(Photokopie, Mikrokopie) oder auf andere Art  
zu vervielfältigen

© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1964 and 1966

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1966  
Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1966

Library of Congress Catalog Card Number: 63-10999

Titelnummer 0257

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw.  
in diesem Buche berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der An-  
nahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetz-  
gebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften

## **Vorwort zur zweiten Auflage**

Da die erste Auflage in unerwartet kurzer Zeit vergriffen ist, sehe ich mich vor die Notwendigkeit gestellt, die zweite kurzfristig vorzubereiten. Die Abfassung des Manuskriptes liegt 4 Jahre zurück. Eine durchgreifende Neubearbeitung hätte mir eigentlich am Herzen gelegen. Um den Band nicht zu lange fehlen zu lassen und mit Rücksicht auf die zur Vervollständigung des Werkes vordringliche Fertigstellung des II. und III. Bandes, entschloß ich mich, in der zweiten Auflage nur die wichtigsten der inzwischen notwendig gewordenen Ergänzungen aufzunehmen und Druckfehler sowie mißverständliche Darstellungen in Text und Abbildungen zu beseitigen. Der Inhalt des in Arbeit befindlichen zweiten und dritten Bandes ist zur Orientierung bereits aufgeführt.

Für Durchsicht der zweiten Auflage sowie Ergänzungsvorschläge in der notwendigen Beschränkung habe ich Herrn Dipl.-Ing. K. SCHÄFER zu danken.

Karlsruhe, im Januar 1966

**Gotthard Franz**

## **Vorwort zur ersten Auflage**

Der Bauende soll nicht herumtasten und versuchen; was stehen bleiben soll, muß recht stehen und, wo nicht für die Ewigkeit, doch für geraume Zeit genügen. Man mag doch immer Fehler begehen, bauen darf man keine!

J. W. v. GOETHE

(Wilh. Meisters Wanderjahre, II, 8)

Dieses Buch soll in die Grundlagen des Konstruierens einführen und damit die Arbeiten über den bewehrten Beton ergänzen. Die bisherige Literatur schließt meist mit der Darstellung der Theorie ab. Anschließend daran soll hier, die vorhandenen Rechenergebnisse verwertend und

ergänzend, vor allem in die universelle Tätigkeit des „construere“, des Zusammenfügens, als ein ständiges Sich-entscheiden-Müssen zwischen verschiedenen Möglichkeiten eingeführt werden. Wir wollen versuchen, die Fragen zu beantworten, warum es gerade „so gemacht“ wird, oder aber, warum es manchmal „schief gegangen“ ist. Das Buch soll also auch das Verständnis von Schilderungen fertiger Bauwerke in Büchern und Zeitschriften erleichtern.

Diesem Ziel entsprechend wendet sich der Verfasser in erster Linie an junge Ingenieure, hofft aber, auch älteren Fachkollegen manche wissenswerte Ergänzung zu bieten. Ferner zielt die Darstellung auch darauf ab, Architekten das Verständnis für die Bauwerke aus Stahlbeton zu erleichtern.

Außerdem sollen verschiedene Erfahrungen, die der Verfasser als Gutachter sammelte, als Warnungen dienen. Dabei handelt es sich oftmals um Schäden an Bauwerken, die zwar im Sinne der Normen „richtig“ berechnet wurden und deren Standsicherheit meist nicht gefährdet war. Jedoch wurde ihre Brauchbarkeit durch Schäden beeinträchtigt, die auf Eigenarten der Baustoffe und der Konstruktionen zurückzuführen waren und damit den Rechnungsannahmen nicht entsprachen. Wir führen solche Fälle an, da es viel billiger ist, aus anderer Leute Fehler zu lernen als aus den eigenen und man es vorziehen sollte, nicht erst aus eigenen Erfahrungen klug zu werden.

Oberingenieure klagen mitunter, daß ihre Nachwuchskräfte wohl theoretisch gut geschult seien, aber beim Konstruieren Fehler begingen. Auch Prüflingenieure machen häufig die gleiche Erfahrung mit jungen Beratenden Ingenieuren. Ja, es wurde schon als Tragik bezeichnet [1], daß theoretisch hoch befähigte Ingenieure es oftmals verschmähen, den Stift in die Hand zu nehmen, um selbst zu entwerfen. Dann ist der Vorwurf von seiten der Architekten berechtigt, wenn sie von den Ingenieuren als „Rechenknechten“ sprechen. Wir wollen deshalb den „Statiker“ anregen und anleiten, den Schritt zum „Konstrukteur“ zu tun und selbst zur Gestaltung beizutragen.

Den Ingenieuren bereitet es andererseits oft Sorgen, die Ideen der Architekten zu verwirklichen, da diese mit den Gesetzen und Grenzen der Konstruktion nicht unbedingt vertraut sind. Wir glauben, daß angesichts der anwachsenden Schwierigkeiten bei Entwürfen der Versuch gemacht werden sollte, den Architekten wenigstens einen qualitativen Einblick in die konstruktive Wirkungsweise der Bauten zu vermitteln.

Konstruieren ist eine Kunst und verlangt außer der Gesamtkonzeption des Entwurfes auch das Gestalten und Durchbilden der Einzelteile und ihre Abstimmung aufeinander. Die Berechnung ist das „Handwerkszeug“; sie wird zunächst als Überschlag gehandhabt und verdichtet sich schließlich zum endgültigen Standsicherheitsnachweis. „Der Ingenieur

errechnet eine Brücke“ ist eine vernebelnde Phrase, die der Wirklichkeit nicht gerecht wird. Auch der Einsatz von elektronischem Rechenggerät ändert daran nichts. Dieses befreit den Ingenieur zwar von vieler „Hosenbodenarbeit“ und erleichtert ihm Vergleichsuntersuchungen, kann aber keine konstruktive Idee liefern. Diese Auffassung finden wir auch bei NERVI [2]: „Der Anfang ist die Suche nach dem technisch und wirtschaftlich günstigsten Strukturschema, dann folgt ein mit Geduld und Hingabe betriebenes Ausarbeiten der verschiedenen Elemente.“ FREYSINET fordert, der Ingenieur müsse sich durch Erfahrungen ein instinktives Wissen um das Richtige aneignen, um ein guter Konstrukteur zu werden. TORROJA [3] und SIEGEL [4] haben wohl deshalb in ihren Büchern das konstruktive Gestalten der Bauwerke ausschließlich qualitativ behandelt.

Der verständnisvolle Konstrukteur muß die Grenzen der üblichen Berechnungsgrundlagen beurteilen können. Diese beruhen stets auf Idealisierungen des Verhaltens von Baustoffen und Tragwerken. Allen Untersuchungen liegen daher nur mehr oder weniger zutreffende Modelle der Wirklichkeit zugrunde. Dementsprechend sind die Ergebnisse einzuschätzen und große Genauigkeit in der Zahlenrechnung ist nur als Illusion zu werten. Es wäre zumeist besser, mehr zu denken, als zu rechnen. Deswegen ist es richtiger, die mechanischen Zusammenhänge durch einen Näherungsansatz zutreffend zu erfassen, als sich mit schematischen Ansätzen zu begnügen und diese mit großem mathematischem Aufwand auszuwerten.

Um die technischen Komponenten des Konstruierens kritisch darzustellen, wurde folgende Gliederung des Stoffes gewählt:

1. Die *Baustoffe*, ihre Eigenheiten und deren Auswirkungen auf die Bauwerke; nicht als Ersatz, sondern als Ergänzung einer „Baustoffkunde“. Auf einige häufige Fehlerquellen bei der Herstellung des Betons wird hierbei besonders eingegangen.

2. Die *Bauelemente* aus Stahl- und Spannbeton, ihre Wirkungsweise und ihre Anwendung in Ortbeton und in Form von Fertigteilen. Vorausgesetzt wird die Kenntnis der Grundzüge von Bemessung und Bestimmungen.

3. Die *Bauwerke* und ihre Gestaltung werden im 2. Band behandelt.

Wir beabsichtigen mithin nicht, eine detaillierte *Anweisung* zum Konstruieren zu geben, sondern vielmehr eine *Wegweisung* zum richtigen Anwenden des bewehrten Betons. Die Berechnungen werden wir nur in den Grundgedanken andeuten und es vorziehen, als „Witz der Sache“ die gesetzmäßigen Zusammenhänge, d. h. den mechanischen Inhalt der Ansätze, an einfachen Beispielen zu zeigen; denn nicht gelernte Formeln, sondern der Einblick in das Funktionieren führt zum Verständnis.

Im übrigen wird auf die Literatur verwiesen. Dabei werden wir auch ausländische Arbeiten anführen, da die modernen Probleme des Stahl- und Spannbetons so umfangreich sind, daß man auf internationale Zusammenarbeit in der Forschung angewiesen ist. Dieser sowie dem Streben nach einheitlichen Rechengrundlagen dienen die technisch-wissenschaftlichen Körperschaften wie CEB (Comité Européen du Béton), FIP (Fédération Internationale de la Précontrainte), IASS (International Association for Shell Structures), IVBH (Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau), RILEM (Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions). Junge Ingenieure mögen hieraus erkennen, wie notwendig es ist, Sprachen zu lernen!

Mit Rücksicht auf den Buchumfang wird auch auf die Wiedergabe der geläufigen Tabellen für Bemessung und Berechnung, sowie der einschlägigen DIN-Vorschriften verzichtet.

Der Verfasser ist sich klar, daß sein Ziel nicht vollständig erreichbar ist. Er ist daher für Anregungen zur Ergänzung dankbar und wird sie gegebenenfalls in einer zweiten Auflage berücksichtigen.

Nach gutem Brauch darf sich der Autor an dieser Stelle an diejenigen wenden, die am Entstehen dieses Werkes mitgewirkt haben. Ich danke zunächst dem Springer-Verlag, der großzügig auf meine Gedanken und Wünsche eingegangen ist. Weiter gilt mein Dank meinen Assistenten, wissenschaftlichen Mitarbeitern und Hilfsassistenten. Von diesen allen nenne ich nur die Herren Dr.-Ing. F. P. MÜLLER, Dr.-Ing. G. SCHÜRING und Dr.-Ing. W. TEEPE. Schließlich hat auch meine liebe Frau ihren guten Anteil am Entstehen dieses Buches, nicht nur durch Korrekturlesen, sondern auch dadurch, daß sie mir unermüdlich so viele Dinge des Alltags abgenommen und über das Maß der Arbeit gewacht hat, über das man nicht ungestraft hinausgehen darf. Ich danke ihr dafür.

Karlsruhe, im September 1963

**Gotthard Franz**

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung . . . . .	1
<b>1. Baustoffe . . . . .</b>	<b>5</b>
1.1 Beton . . . . .	5
1.11 Herstellen der Betonbauteile . . . . .	6
1.111 Bestandteile . . . . .	6
1.112 Zusammensetzen und Mischen . . . . .	7
1.113 Einbringen und Verdichten . . . . .	10
1.114 Unterbrechungen des Betoniervorganges . . . . .	12
1.115 Setzen . . . . .	13
1.116 Schutz des frischen Betons . . . . .	15
1.117 Erhärtungsvorgang . . . . .	16
1.118 Ausblühungen . . . . .	18
1.119 Schalung und Beton . . . . .	18
1. Die Schalung prägt den Beton . . . . .	18
2. Der Beton prägt die Schalung . . . . .	22
1.12 Festigkeiten . . . . .	25
1.121 Arten der Festigkeiten . . . . .	25
1.122 Prüfung der Festigkeiten des Betons . . . . .	30
1. Druckfestigkeit . . . . .	30
2. Zugfestigkeit . . . . .	31
3. Zerstörungsfreie Betonprüfung . . . . .	33
1.13 Elastizität . . . . .	35
1.14 Plastizität (Kriechen) . . . . .	38
1.15 Schwinden . . . . .	46
1.16 Wärmedehnung . . . . .	53
1.161 Nichtlineare Temperaturverteilungen . . . . .	56
1.162 Lineare Temperaturverteilung . . . . .	58
1.163 Gleichförmige Temperaturverteilung . . . . .	60
1.2 Baustahl . . . . .	61
1.21 Eigenschaften . . . . .	62
1.211 Preis . . . . .	62
1.212 Festigkeiten . . . . .	63
1.213 Verformungen . . . . .	64
1.214 Wärmedehnung und -leitung . . . . .	66
1.215 Temperatureinfluß . . . . .	67
1.216 Kriechen . . . . .	68
1.217 Korrosion . . . . .	68
1.22 Die Verarbeitung . . . . .	69
1.221 Biegen der Bewehrung . . . . .	70
1.222 Verbinden von Bewehrungsstäben . . . . .	72
1.223 Einbau der Bewehrung . . . . .	73
1.224 Nachträglicher Korrosionsschutz bei Spannbeton . . . . .	76

	Seite
1.23 Die Zusammenarbeit von Beton und Stahl . . . . .	77
1.231 Leibungskräfte . . . . .	78
1.232 Verbund . . . . .	84
1.233 Ankerdrücke . . . . .	90
1.234 Rißbildung . . . . .	93
1.3 Schutz gegen Angriffe . . . . .	96
1.31 Mechanische Beanspruchung der Oberfläche . . . . .	98
1.311 Frostschäden . . . . .	98
1.312 Reibungsabnutzung . . . . .	98
1.313 Stöße harter Körper . . . . .	99
1.32 Chemische Angriffe auf die Oberfläche des Betons . . . . .	99
1.33 Wärme und Feuer . . . . .	105
1.34 Schall und Erschütterungen . . . . .	107
1.341 Schall . . . . .	107
1.342 Erschütterungen (Schwingungen) . . . . .	109
1.343 Stöße . . . . .	118
<b>2. Bauelemente . . . . .</b>	<b>122</b>
2.0 Berechnung und Bemessung . . . . .	124
2.01 Gebrauchszustand . . . . .	124
2.011 Ermittlung der Schnittkräfte . . . . .	125
2.012 Bemessung . . . . .	126
2.013 Verformungen . . . . .	126
2.02 Bruch-(kritischer) Zustand . . . . .	129
2.021 Schnittkräfte . . . . .	130
2.022 Bemessung . . . . .	131
2.1 Stützen . . . . .	131
2.11 Bemessung . . . . .	132
2.12 Ausbildung von Ortbetonstützen . . . . .	136
2.121 Bewehrung . . . . .	136
2.122 Schalung . . . . .	138
2.123 Beton . . . . .	138
2.13 Ausbildung von Fertigteilstützen . . . . .	139
2.131 Aufgesetzte Stützen . . . . .	140
2.132 Eingesetzte Stützen . . . . .	142
2.2 Balken und Konsolen . . . . .	143
2.21 Statisches System . . . . .	144
2.22 Berechnung der Schnittkräfte und Verformungen . . . . .	148
2.221 Gebrauchszustand, elastischer Bereich . . . . .	150
1. Stahlbeton . . . . .	150
2. Spannbeton . . . . .	151
2.222 Gebrauchszustand, plastischer Bereich (Kriechen) . . . . .	156
2.223 Bruchzustand (Umlagerung) . . . . .	167
2.224 Durchbiegungen . . . . .	173
1. Stahlbeton . . . . .	174
2. Spannbeton . . . . .	175
2.23 Querschnittsbemessung . . . . .	178
2.231 Stahlbetonquerschnitte . . . . .	179
1. Längsspannungen . . . . .	179
2. Schrägzugspannungen . . . . .	190
3. Torsionsspannungen . . . . .	191



	Seite
2.232 Spannbetonquerschnitte . . . . .	195
1. Gebrauchszustand . . . . .	195
a) Längsspannungen . . . . .	195
b) Schrägzugspannungen . . . . .	209
c) Haftspannungen . . . . .	211
2. Bruchzustand . . . . .	212
2.233 Stoßbeanspruchung von Balken . . . . .	215
2.24 Konstruktive Ausbildung von Ortbetonbalken . . . . .	216
2.241 Bewehrung . . . . .	216
1. Stahlbeton . . . . .	216
2. Spannbeton . . . . .	229
2.242 Beton . . . . .	235
2.243 Schalung und Rüstung . . . . .	235
2.25 Ausbildung von Fertigbalken . . . . .	239
2.251 Stahlbetonbalken . . . . .	240
2.252 Spannbetonbalken . . . . .	242
2.253 Verbundbalken . . . . .	245
2.254 Transport und Montage . . . . .	247
2.26 Konsolen . . . . .	253
2.3 Platten . . . . .	263
2.31 Berechnung der Schnittkräfte im Gebrauchszustand . . . . .	263
2.311 Analytische Berechnung . . . . .	263
2.312 Modellmessungen . . . . .	268
1. Verformungsmessung . . . . .	268
2. Dehnungs- und Spannungsmessung . . . . .	271
2.313 Gebräuchliche Plattenformen . . . . .	273
1. Rechteckplatte, zweiseitig gelagert . . . . .	273
2. Rechteckplatte, vierseitig gelagert . . . . .	280
3. Rechteckplatte, dreiseitig gelagert . . . . .	283
4. Kreisplatte . . . . .	283
5. Dreieckplatte . . . . .	284
6. Parallelogrammplatte, zweiseitig gelagert . . . . .	284
7. Pilzdecken und Flachdecken (punktgelagert) . . . . .	286
2.32 Vorspannung von Platten . . . . .	287
2.33 Bruchzustand von Platten . . . . .	293
2.34 Bemessung und Konstruktion . . . . .	299
2.341 Ortbetonplatten . . . . .	299
2.342 Fertigplatten . . . . .	313
1. Schwerbeton . . . . .	314
2. Leichtbeton . . . . .	314
2.4 Decken . . . . .	315
2.41 Anordnung und Anforderungen . . . . .	316
2.411 Belastung . . . . .	316
2.412 Konstruktionshöhe . . . . .	316
2.413 Schall- und Erschütterungsschutz . . . . .	320
2.414 Wärmeschutz . . . . .	320
2.415 Untersicht . . . . .	324
2.42 Konstruktive Ausgestaltung . . . . .	325
2.421 Platten . . . . .	325
2.422 Plattenbalken . . . . .	327
1. Ortbeton . . . . .	327
2. Fertigteile . . . . .	338

	Seite
2.5 Wände . . . . .	341
2.51 Leichtwände . . . . .	342
2.511 Ortbeton-Leichtwände . . . . .	343
2.512 Gemauerte Leichtwände . . . . .	343
2.52 Schwersteinwände . . . . .	344
2.53 Betonwände . . . . .	348
2.531 Konstruktion und Bemessung . . . . .	348
1. Senkrecht belastete Wände . . . . .	348
2. Freitragende Wände . . . . .	349
2.532 Ausführung . . . . .	357
1. Beton . . . . .	357
2. Bewehrung . . . . .	357
3. Schalung . . . . .	359
2.6 Fugen . . . . .	362
2.61 Fugenabstand . . . . .	362
2.62 Fugenherstellung . . . . .	366
2.63 Fugenausbildung . . . . .	367
2.631 Fugenanordnung . . . . .	367
2.632 Fugenschutz und -dichtung . . . . .	369
1. Deckenplatten im Hochbau . . . . .	369
2. Fugen von Brückenplatten . . . . .	369
3. Stützen und Wände . . . . .	373
2.7 Lager und Gelenke . . . . .	373
2.71 Lageranordnung . . . . .	373
2.72 Lagerverschiebungen . . . . .	375
2.73 Lagerbauarten . . . . .	376
2.731 Einfachste Lager . . . . .	376
2.732 Stahllager . . . . .	376
2.733 Gemischte Lager . . . . .	379
2.734 Betonlager . . . . .	380
2.735 Bleilager . . . . .	384
2.736 Gummilager . . . . .	384
2.737 Sonderlager . . . . .	386
1. Zuglager . . . . .	386
2. Horizontallager . . . . .	389
2.74 Ausbreitspannungen . . . . .	389
<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>392</b>
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>418</b>

## **Inhalt des II. Bandes**

### **Tragwerke**

Einleitung

Die Tragwerke und ihre Beanspruchung

Übersicht über die Tragwerke – Lasten – Abstützung – Schnittkräfte infolge Verformungen – Sicherheit

Die Tragwirkung der Schalen und Faltwerke

## **Inhalt des III. Bandes**

### **Bauwerke**

Stockwerkbauten (Gemischte Bauweise, Skelettbauweise, Kernbauweise, Treppen)

Hallen (Binderhallen, Schalen- und Faltwerkhallen)

Behälter (Flüssigkeitsbehälter, Silos und Bunker, Rohre)

Industriebauten (Kühltürme, Schornsteine, Maschinenbauten, Kranbahnen)

Tiefbauten (Stützmauern, Ufermauern, Straßen und Rollfelder, Eisenbahnschwellen)

Gründungskörper (Einzelfundamente, Streifenfundamente, Fundamentplatten, Brunnen und Senkkästen, Pfähle)

Brücken (Haupttragwerke aus Stahlbeton und Spannbeton, Stahlverbundbrücken, Pfeiler und Widerlager, Ausrüstung und Ausführung, Lehrgerüst und Schalung)