

Manfred A. Hirt, Michel Crisinel, Alain Nussbaumer

Stahlhochbau

Entwurf und Bemessung von Hallen und Geschossbauten

- Entwurf und Berechnung von Stahlhochbauten
- Entwurf und Berechnung von Stahlhochbauten
- unterstützt Studierende des Bauingenieurwesens und der Tragwerkslehre
- Nachweis der Tragsicherheit und Nutzungseignung von Hallen und

Geschossbauten

■ Schweizer und europäische Vorschriften und Normen des Stahlhochbaus

Die deutsche Ausgabe des EPFL-Buches behandelt Entwurf und Konstruktion sowie Bemessung und Dimensionierung von Stahlhochbauten. Die Planung und Berechnung von Hallen und Geschoßbauten wird hier mit anschaulichen Zeichnungen und praktischen Beispielen nachvollziehbar erläutert.



10 / 2023 · 550 Seiten · 380 Abbildungen · 50 Tabellen

Hardcover

ISBN 978-3-433-03410-1

ca. **€ 109***

eBundle (Print + ePDF)

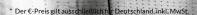
ISBN 978-3-433-03411-8

ca. € 145*

Bereits vorbestellbar.



+49 (0)30 470 31-236 marketing@ernst-und-sohn.de www.ernst-und-sohn.de/3410





ÜBER DAS BUCH

Die deutsche Ausgabe des Buches TGC 11 "Charpentes Métalliques" der EPF Lausanne baut auf dem deutschen TGC 10 "Stahlbau - Grundbegriffe und Bemessungsverfahren" auf und erläutert Entwurf und Bemessung von Stahlhochbauten. Die Verweise auf SIA Tragwerksnormen wurden aktualisiert sowie Hinweise auf die Eurocodes 3 und 4 eingefügt. Zuerst wird der Entwurf von Hallen und Geschossbauten behandelt: Konstruktionskriterien Tragsysteme sowie die Lastweiterleitung. Nachfolgend werden die entsprechende Bemessung und Dimensionierung dargelegt. Zum einfachen Entwerfen und sicheren Bemessen von Stahlhochbauten sind Formeln und Richtwerte anschauliche Zeichnungen sowie Rechenbeispiele aufgeführt. Das Buch setzt grundlegende Kenntnisse der Baustatik oder der Tragwerkslehre sowie der Normen voraus. Es richtet sich insbesondere an Studierende des Bauingenieurwesens und der Tragwerkslehre sowie an Ingenieure in Planungsbüros Unternehmen und Verwaltung die sich mit Stahlhochbauten beschäftigen.

BESTELLUNG

| Anzahl | ISBN / | Titel | Preis |
|--------|-------------------|-----------------------------|------------|
| | 978-3-433-03410-1 | Stahlhochbau [] | ca. € 109* |
| | 978-3-433-03411-8 | Stahlhochbau (Print + ePDF) | ca. € 145* |

| www.ernst-und-sohn.de/3410 | Datum/Unterschrift | | | |
|--|--------------------|--------------|-----|--|
| | PLZ/Ort/Land | E-Mail | | |
| | Straße, Nr. | | | |
| marketing@ernst-und-sohn.de | Name, Vorname | Telefon | Fax | |
| Bitte richten Sie Ihre Bestellung an: Tel. +49 (0)30 47031-236 Fax +49 (0)30 47031-240 | Firma, Abteilung | UST-ID | | |
| | Privat | Geschäftlich | | |

Stahlhochbau

Entwurf und Bemessung von Hallen und Geschossbauten

Manfred A. Hirt, Michel Crisinel und Alain Nussbaumer

Übersetzung aus dem Französischen ins Deutsche durch Herrn Dipl.-Ing. ETH Werner Rinderknecht



Über die Autoren



Manfred A. Hirt, geb. 1942, Bauingenieurstudium an der ETH Zürich, Ingenieur bei Basler & Hofmann in Zürich; Promotion bei Prof. John Fisher an der Lehigh University Bethlehem, Ingenieur bei HNTB in New York City, Mitarbeiter bei Prof. Jean-Claude Badoux am Stahlbauinstitut ICOM der EPF Lausanne, 1993–2007 Professor für Stahlbau an der EPFL, 1980–1998 Vorsitzender ECCS TC9 Ermüdung, 2004–2007 IABSE Präsident, 2006 ECCS Prix Charles Massonnet.



Michel Crisinel, geb. 1945, Bauingenieurstudium an der EPF Lausanne, Mitarbeiter bei Prof. Dr. Jean-Claude Badoux am Stahlbauinstitut ICOM der EPF Lausanne, Abteilungsleiter, Vorlesungen über Stahl- und Verbundbau, Forschung zu Verbunddecken, ehem. Vorsitzender ECCS TC11 Composite Structures.



Alain Nussbaumer, geb. 1964, Bauingenieurstudium an der EPF Lausanne, 1991–1994 Promotion bei Prof. John Fisher an der Lehigh University in Bethlehem, Ingenieur am CTICM in Paris, seit 1997 Mitarbeiter am Stahlbauinstitut der EPF Lausanne, seit 2005 Titularprofessor für Stahlbau, Vorlesungen über Stahl- und Verbundbau, 1998–2005 Vorsitzender ECCS TC9 Ermüdung, SIA-Projektleitung für Stahlbau Eurocode 2. Generation.

Vorwort

Die vorliegende deutsche Ausgabe des Buches "Charpentes Métalliques" der EPFL PRESS erläutert Entwurf und Bemessung von Stahlhochbauten. Es nimmt Bezug auf das Buch "Stahlbau – Grundbegriffe und Bemessungsverfahren" der gleichen Autoren der ETH Lausanne und wendet die Grundbegriffe an.

Das Buch beschreibt das physikalisch/mechanische Verhalten der Tragwerke und erwähnt den Bezug zu den Normen. Es ist in neun Kapitel unterteilt: Kapitel 1 und 2 behandeln den ENTWURF und richten sich sowohl an Ingenieure als auch an Architekten. Kapitel 1 enthält einen kurzen historischen Rückblick des Stahlbaus am Beispiel der Schweiz. Kapitel 2 beschreibt verschiedene Tragsysteme von Hallen und Geschossbauten in Stahlbauweise, insbesondere deren Stabilität und Aussteifung. Die beiden Kapitel enthalten keine Berechnungsmethoden, aber geben dem Entwerfenden, sei es Ingenieur oder Architekt, die Grundlage für praxisgerechte und tragfähige Konzepte für Stahlbauten als Basis für die Vorbemessung im Rahmen eines Vorprojektes oder Wettbewerbes sowie für die Zusammenstellung eines Leistungsverzeichnisses.

Danach konzentriert sich dieses Buch auf die BEMESSUNG. Dieser Teil, der in sieben Kapitel unterteilt ist, behandelt die häufigsten Aufgabenstellungen, welche sich einem Ingenieur für die Berechnung und Bemessung von Hallen und Geschossbauten in Stahl und Verbundbau stellen. Es wird der Kraftverlauf in den Tragwerken, ausgehend von den Einwirkungen (Lasten und Kräfte) bis in die Fundamente angesprochen. Im Kapitel 3 werden zuerst die Stahlunterkonstruktionen für Dach- und Wandelemente besprochen. Kapitel 4 beschreibt Verbunddecken mit Profilblechen. Die nachfolgenden Kapitel behandeln die Haupttragelemente, also Haupt- und Deckenträger (Kapitel 5), Hallen- und Gebäuderahmen sowie deren Bauteile und Verbindungen (Kapitel 6 und 7) und Windverbände (Kapitel 8). Diese Kapitel zeigen ausführlich die üblichen Fälle, behandeln aber auch speziellere Themen wie Fachwerkträger und ihre Verbindungen, Träger mit Stegöffnungen, zusammengesetzte Stützen und Stützen mit variablem Querschnitt, biegesteife Rahmenecken, Stützenfüsse. Fachwerkverbände und auch Windverbände aus Profilblechen (Scheibenwirkung). Abschließend werden in Kapitel 9 Kranbahnträger für Laufkrane, welche vorwiegend in Industriehallen vorkommen, beschrieben.

Der Schwerpunkt dieses Buches liegt auf der konstruktiven Ausbildung und Bemessung der Tragwerke sowie ihre Überprüfung durch Nachweise auf der Grundla-

ge der schweizerischen und europäischen Normen. Es wird auf die Normen SIA 263 (2013) und SIA264 (2014) sowie vereinzelt auf die Eurocodes EN1993-1-1 und EN1994-1-1 verwiesen. Fachausdrücke und Bezeichnungen sind aus den genannten Normen übernommen worden.

Das Buch ist mit zahlreichen Bildern sowie detaillierten und numerischen Beispielen versehen. Das Buch richtet sich an Studierende des Bauingenieurwesens und an Ingenieure, die sich mit Stahlbau beschäftigen. Es geht darum, Stahlhochbauten materialgerecht zu entwerfen und zu bemessen und deren Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit zu garantieren. Es werden auch Formeln und Richtwerte angegeben. Der Gebrauch des Buches erfordert eine entsprechende Ausbildung als Bauingenieur sowie grundlegende Kenntnisse der Baustatik und Strukturmechanik.

Die kompetente und sorgfältige Übersetzung aus dem Französisch verdanken wir Herrn Werner Rinderknecht, Dipl. Bauing. ETH, Prof. emer. FH Luzern.

Lausanne, August 2023

Manfred A. Hirt

Inhaltsverzeichnis

Über die Autoren XIII

Vorwort XV

| | Bezeichnungen XVII |
|-------|---|
| 1 | Einleitung 1 |
| 1.1 | Grundlagen, Hochbau, Brückenbau 1 |
| 1.2 | Aufbau und Inhalt 1 |
| 1.3 | Dokumente und Referenzen 2 |
| 1.3.1 | Normen und Empfehlungen 2 |
| 1.3.2 | Andere Referenzen 4 |
| 1.4 | Konventionen 6 |
| 1.4.1 | Terminologie und Typologie 6 |
| 1.4.2 | Achsen 6 |
| 1.4.3 | Verständigung und Vorzeichen 7 |
| 1.4.4 | Einheiten 7 |
| 1.5 | Kurzer historischer Abriss des Stahlhochbaues 7 |
| 1.5.1 | 18. und 19. Jahrhundert 7 |
| 1.5.2 | Erste Hälfte des 20. Jahrhunderts 11 |
| 1.5.3 | Zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts 14 |
| 1.6 | Literaturverzeichnis 20 |
| 2 | Entwurf und Stabilisierung von Hallen und Geschossbauten 21 |
| 2.1 | Einleitung 21 |
| 2.2 | Aus Ebenen gebildete Tragstrukturen 21 |
| 2.2.1 | Form von Strukturen 21 |
| 2.2.2 | Kraftverlauf und Zerlegung der Struktur 23 |
| 2.2.3 | Rahmen aus Doppel-T-Profilen 25 |
| 2.2.4 | Fachwerkbinder 32 |
| 2.2.5 | Andere Binderformen 33 |
| 2.2.6 | Rahmenstützen 34 |
| 2.3 | Stabilisierung von Hallen 37 |
| 2.3.1 | Windverbandsysteme 37 |
| 2.3.2 | Abtragung der Horizontalkräfte 40 |

| 2.3.3 | Begrenzung der Deformationen 41 |
|-------|---|
| 2.3.4 | Stabilisierung der Tragelemente 44 |
| 2.3.5 | Stabilisierungselemente 46 |
| 2.3.6 | Windverbände in geneigten Dächern 50 |
| 2.4 | Shedkonstruktionen 52 |
| 2.4.1 | Von der Haupttragstruktur unabhängige Shedkonstruktionen 53 |
| 2.4.2 | In der Tragstruktur integrierte Shedkonstruktionen 54 |
| 2.4.3 | Stabilisierung von Shedhallen 55 |
| 2.5 | Typische Tragstrukturen von Geschossbauten 59 |
| 2.5.1 | Gelenkige Strukturen 59 |
| 2.5.2 | Tragstrukturen mit zentralem Kern 60 |
| 2.5.3 | Konstruktionen mit steifen Rahmen 64 |
| 2.5.4 | Strukturen mit rohrförmigem Grundriss 68 |
| 2.5.5 | Anordnung vertikaler Tragelemente 70 |
| 2.5.6 | Windverbände 72 |
| 2.5.7 | Systeme von Balkenlagen 74 |
| 2.6 | Räumliche Strukturen 77 |
| 2.6.1 | Trägerroste 78 |
| 2.6.2 | Raumfachwerke 78 |
| 2.6.3 | Gekrümmte Oberflächen 81 |
| 2.6.4 | Faltwerke 84 |
| 2.7 | Sonderkonstruktionen 85 |
| 2.7.1 | Hängekonstruktionen 85 |
| 2.7.2 | Gespannte Konstruktionen 86 |
| 2.7.3 | Membranstrukturen 88 |
| 2.8 | Rechenbeispiel 89 |
| 2.8.1 | Tragsystem einer Industriehalle 89 |
| 2.8.2 | Einwirkungen und Reaktionen auf die Industriehalle 92 |
| 2.9 | Literaturverzeichnis 96 |
| A2 | Anhang 97 |
| A2.1 | Empirische Regeln für die Vordimensionierung 97 |
| | |
| 3 | Pfetten und Fassaden-Unterkonstruktionen 99 |
| 3.1 | Einleitung 99 |
| 3.2 | Pfetten 99 |
| 3.2.1 | Funktion der Pfetten 99 |
| 3.2.2 | Einwirkungen und Gefährdungsbilder 100 |
| 3.2.3 | Statische Systeme 102 |
| 3.2.4 | Berechnung der Auswirkungen und Deformationen 104 |
| 3.2.5 | Querschnittswiderstände 105 |
| 3.2.6 | Tragsicherheit 107 |
| 3.2.7 | Nachweis der Gebrauchstauglichkeit 113 |
| 3.3 | Fassaden-Unterkonstruktionen 113 |
| 3.3.1 | Funktion der Fassaden-Unterkonstruktionen 113 |
| 3.3.2 | Zu betrachtende Lasten 115 |

| 3.3.3 | Statische Systeme 117 |
|-------|---|
| 3.3.4 | Nachweis der Tragsicherheit 117 |
| 3.3.5 | Nachweis der Gebrauchstauglichkeit 119 |
| 3.4 | Rechenbeispiele 119 |
| 3.4.1 | Bemessung einer Pfette 119 |
| 3.4.2 | Bemessung eines Riegels 124 |
| 3.4.3 | Bemessung eines Kassettenprofils 129 |
| 3.5 | Literaturverzeichnis 131 |
| | |
| 4 | Blechverbunddecken 133 |
| 4.1 | Einleitung 133 |
| 4.1.1 | Profilbleche 134 |
| 4.1.2 | Verbindung zwischen Blech und Beton 134 |
| 4.1.3 | Zu berücksichtigende Einwirkungen 136 |
| 4.2 | Bemessung des Profilbleches 137 |
| 4.2.1 | Berechnung der Auswirkungen 137 |
| 4.2.2 | Widerstand und Steifigkeit der Querschnitte 138 |
| 4.2.3 | Nachweise der Profilbleche 138 |
| 4.3 | Bemessung der Blechverbunddecke 140 |
| 4.3.1 | Berechnung der Auswirkungen 140 |
| 4.3.2 | Querschnittswiderstände 141 |
| 4.3.3 | Nachweis der Tragsicherheit 149 |
| 4.3.4 | Nachweis der Gebrauchstauglichkeit 151 |
| 4.4 | Rechenbeispiel: Bemessung einer Blechverbunddecke 155 |
| 4.5 | Literaturverzeichnis 163 |
| | |
| 5 | Haupt- und Deckenträger 165 |
| 5.1 | Einführung 165 |
| 5.2 | Verbindungen 165 |
| 5.2.1 | Gelenkige Verbindungen 166 |
| 5.2.2 | Biegesteife Verbindungen 168 |
| 5.3 | Träger aus Walzprofilen und Vollwandträger 170 |
| 5.3.1 | Zu berücksichtigende Einwirkungen 170 |
| 5.3.2 | Statische Systeme und Berechnung der Auswirkungen 170 |
| 5.3.3 | Wirkungsweise einer Verbindung mit teilweiser Einspannung 171 |
| 5.3.4 | Einleitung konzentrierter Kräfte 173 |
| 5.3.5 | Nachweis der Tragsicherheit 177 |
| 5.3.6 | Nachweis der Gebrauchstauglichkeit 181 |
| 5.4 | Träger mit Stegöffnungen 184 |
| 5.4.1 | Querkraftwiderstand 185 |
| 5.4.2 | Biegewiderstand 187 |
| 5.4.3 | Verstärkungen 188 |
| 5.4.4 | Berechnung der Durchbiegungen 188 |
| 5.5 | Stahl-Beton-Verbundträger 189 |
| | Einführung 189 |
| 5.5.1 | Elliuliung 169 |

| 5.5.2 | |
|--|--|
| 3.3.4 | Querschnittswiderstand 191 |
| 5.5.3 | Tragverhalten von Verbundträgern 192 |
| 5.5.4 | Ermittlung der Auswirkungen 197 |
| 5.5.5 | Verbindung Stahl-Beton 202 |
| 5.5.6 | Widerstand der Verbindungsmittel 211 |
| 5.5.7 | Abscheren längs in der Betondecke 214 |
| 5.5.8 | Nachweis der Tragsicherheit 217 |
| 5.5.9 | Nachweis der Gebrauchstauglichkeit 221 |
| 5.5.10 | Methode zur Bemessung eines Verbundträgers |
| | mit halbsteifen Knoten 227 |
| 5.6 | Deckenschwingungen 231 |
| 5.6.1 | Menschliche Wahrnehmung 232 |
| 5.6.2 | Schwingungsfrequenz 233 |
| 5.6.3 | Maximale Beschleunigung 234 |
| 5.6.4 | Dämpfung 235 |
| 5.6.5 | Nachweise 235 |
| 5.7 | Rechenbeispiele 236 |
| 5.7.1 | Bemessung der Deckenträger 236 |
| 5.7.2 | Bemessung eines Unterzuges als einfachen Balken 244 |
| 5.7.3 | Bemessung eines Unterzuges als Dreifeldträger 252 |
| 5.7.4 | Rechenbeispiel eines Unterzuges mit halbsteifen Knoten 264 |
| 5.7.5 | Nachweis der Schwingung eines Bodens 267 |
| 5.8 | Literaturverzeichnis 270 |
| 6 | Statik der Hallenrahmen 271 |
| 6.1 | Einführung 271 |
| 6.2 | Strukturelles Verhalten eines Rahmens 272 |
| | Strukturenes verhatten emes kanmens 2/2 |
| 621 | Finfluss der Steifigkeit der Flemente 272 |
| 6.2.1 | Einfluss der Steifigkeit der Elemente 272 Grundlegende Zustände eines Rahmens 273 |
| 6.2.2 | Grundlegende Zustände eines Rahmens 273 |
| 6.2.2 6.2.3 | Grundlegende Zustände eines Rahmens 273 Imperfektionen 275 |
| 6.2.2 6.2.3 6.2.4 | Grundlegende Zustände eines Rahmens 273 Imperfektionen 275 Einflüsse der Nichtlinearität 279 |
| 6.2.2 6.2.3 6.2.4 6.2.5 | Grundlegende Zustände eines Rahmens 273 Imperfektionen 275 Einflüsse der Nichtlinearität 279 Klassifizierung von Rahmen 281 |
| 6.2.2 6.2.3 6.2.4 6.2.5 6.3 | Grundlegende Zustände eines Rahmens 273 Imperfektionen 275 Einflüsse der Nichtlinearität 279 Klassifizierung von Rahmen 281 Statik von Rahmen 285 |
| 6.2.2 6.2.3 6.2.4 6.2.5 6.3 6.3.1 | Grundlegende Zustände eines Rahmens 273 Imperfektionen 275 Einflüsse der Nichtlinearität 279 Klassifizierung von Rahmen 281 Statik von Rahmen 285 Einwirkungen und Gefährdungsbilder 285 |
| 6.2.2 6.2.3 6.2.4 6.2.5 6.3 6.3.1 6.3.2 | Grundlegende Zustände eines Rahmens 273 Imperfektionen 275 Einflüsse der Nichtlinearität 279 Klassifizierung von Rahmen 281 Statik von Rahmen 285 Einwirkungen und Gefährdungsbilder 285 Bemessungsmethoden 286 |
| 6.2.2 6.2.3 6.2.4 6.2.5 6.3 6.3.1 | Grundlegende Zustände eines Rahmens 273 Imperfektionen 275 Einflüsse der Nichtlinearität 279 Klassifizierung von Rahmen 281 Statik von Rahmen 285 Einwirkungen und Gefährdungsbilder 285 Bemessungsmethoden 286 Elastische Methode 289 |
| 6.2.2 6.2.3 6.2.4 6.2.5 6.3 6.3.1 6.3.2 6.3.3 | Grundlegende Zustände eines Rahmens 273 Imperfektionen 275 Einflüsse der Nichtlinearität 279 Klassifizierung von Rahmen 281 Statik von Rahmen 285 Einwirkungen und Gefährdungsbilder 285 Bemessungsmethoden 286 Elastische Methode 289 Plastische Methode 290 |
| 6.2.2 6.2.3 6.2.4 6.2.5 6.3 6.3.1 6.3.2 6.3.3 6.3.4 | Grundlegende Zustände eines Rahmens 273 Imperfektionen 275 Einflüsse der Nichtlinearität 279 Klassifizierung von Rahmen 281 Statik von Rahmen 285 Einwirkungen und Gefährdungsbilder 285 Bemessungsmethoden 286 Elastische Methode 289 Plastische Methode 290 |
| 6.2.2 6.2.3 6.2.4 6.2.5 6.3 6.3.1 6.3.2 6.3.3 6.3.4 6.3.5 | Grundlegende Zustände eines Rahmens 273 Imperfektionen 275 Einflüsse der Nichtlinearität 279 Klassifizierung von Rahmen 281 Statik von Rahmen 285 Einwirkungen und Gefährdungsbilder 285 Bemessungsmethoden 286 Elastische Methode 289 Plastische Methode 290 Wahl einer Bemessungsmethode 299 Elastische Stabilität von Rahmen 300 |
| 6.2.2 6.2.3 6.2.4 6.2.5 6.3 6.3.1 6.3.2 6.3.3 6.3.4 6.3.5 6.4 | Grundlegende Zustände eines Rahmens 273 Imperfektionen 275 Einflüsse der Nichtlinearität 279 Klassifizierung von Rahmen 281 Statik von Rahmen 285 Einwirkungen und Gefährdungsbilder 285 Bemessungsmethoden 286 Elastische Methode 289 Plastische Methode 290 Wahl einer Bemessungsmethode 299 Elastische Stabilität von Rahmen 300 Einführung 300 |
| 6.2.2 6.2.3 6.2.4 6.2.5 6.3 6.3.1 6.3.2 6.3.3 6.3.4 6.3.5 6.4 6.4.1 | Grundlegende Zustände eines Rahmens 273 Imperfektionen 275 Einflüsse der Nichtlinearität 279 Klassifizierung von Rahmen 281 Statik von Rahmen 285 Einwirkungen und Gefährdungsbilder 285 Bemessungsmethoden 286 Elastische Methode 289 Plastische Methode 290 Wahl einer Bemessungsmethode 299 Elastische Stabilität von Rahmen 300 Einführung 300 |
| 6.2.2 6.2.3 6.2.4 6.2.5 6.3 6.3.1 6.3.2 6.3.3 6.3.4 6.3.5 6.4 6.4.1 6.4.2 | Grundlegende Zustände eines Rahmens 273 Imperfektionen 275 Einflüsse der Nichtlinearität 279 Klassifizierung von Rahmen 281 Statik von Rahmen 285 Einwirkungen und Gefährdungsbilder 285 Bemessungsmethoden 286 Elastische Methode 289 Plastische Methode 290 Wahl einer Bemessungsmethode 299 Elastische Stabilität von Rahmen 300 Einführung 300 Wiederholung der Knicktheorie 301 |
| 6.2.2 6.2.3 6.2.4 6.2.5 6.3 6.3.1 6.3.2 6.3.3 6.3.4 6.3.5 6.4 6.4.1 6.4.2 6.4.3 | Grundlegende Zustände eines Rahmens 273 Imperfektionen 275 Einflüsse der Nichtlinearität 279 Klassifizierung von Rahmen 281 Statik von Rahmen 285 Einwirkungen und Gefährdungsbilder 285 Bemessungsmethoden 286 Elastische Methode 289 Plastische Methode 290 Wahl einer Bemessungsmethode 299 Elastische Stabilität von Rahmen 300 Einführung 300 Wiederholung der Knicktheorie 301 Idealer Rahmen mit Knotenlasten 303 |

| 6.4.7 | Einfluss der geometrischen Imperfektionen 317 |
|-------|---|
| 6.5 | Bemessungsvorgang 317 |
| 6.5.1 | Vordimensionierung 317 |
| 6.5.2 | Methoden zur Bestimmung der Auswirkungen 318 |
| 6.5.3 | Berechnung der Auswirkungen erster Ordnung 320 |
| 6.5.4 | Berechnung der Auswirkungen zweiter Ordnung 320 |
| 6.5.5 | Nachweis der Tragsicherheit 324 |
| 6.5.6 | Nachweis der Gebrauchstauglichkeit 325 |
| 6.6 | Statik und Knicklängen von Geschossrahmen 326 |
| 6.6.1 | Globales System 326 |
| 6.6.2 | Aneinanderreihung von Tragelementen 326 |
| 6.6.3 | Knicklängen von Geschossrahmen 327 |
| 6.7 | Rechenbeispiel zur Bemessung eines Rahmens 331 |
| 6.7.1 | Randbedingungen des Rahmens 331 |
| 6.7.2 | Berechnung der Auswirkungen 336 |
| 6.8 | Literaturverzeichnis 340 |
| | |
| 7 | Rahmenelemente 343 |
| 7.1 | Einführung 343 |
| 7.2 | Riegel aus Doppel-T-Profilen 344 |
| 7.2.1 | Typen von Riegeln 344 |
| 7.2.2 | Tragsicherheit 344 |
| 7.2.3 | Gebrauchstauglichkeit 350 |
| 7.3 | Fachwerkbinder 351 |
| 7.3.1 | Typen von Fachwerkbindern 351 |
| 7.3.2 | Innere Kräfte 352 |
| 7.3.3 | Tragsicherheit 359 |
| 7.3.4 | Gebrauchstauglichkeit 366 |
| 7.3.5 | Nachweis der Knoten 368 |
| 7.4 | Stützen von Hallenrahmen 374 |
| 7.4.1 | Stützen mit konstantem Querschnitt 374 |
| 7.4.2 | Zusammengesetzte Stützen 379 |
| 7.4.3 | Stützen mit variablem Querschnitt 385 |
| 7.5 | Rahmenecken 391 |
| 7.5.1 | Grundsätze 391 |
| 7.5.2 | Gelenkige Rahmenecken 393 |
| 7.5.3 | Biegesteife Rahmenecken 394 |
| 7.6 | Stützenfüsse 402 |
| 7.6.1 | Grundlagen 402 |
| 7.6.2 | Abtragung der Kräfte in den Beton 404 |
| 7.6.3 | Gelenkige Stützenfüsse 409 |
| 7.6.4 | Eingespannte Stützenfüsse 410 |
| 7.7 | Rahmen mit halbsteifen Knoten 416 |
| 7.7.1 | Verhalten der Knoten 416 |
| 7.7.2 | Modellierung des Knotens 418 |

| 7.7.3 7.7.4 | Klassifikation der Knoten 421 Statische Berechnung von Rahmen mit halbsteifen Knoten 422 |
|----------------|---|
| 7.7.4 | Rechenbeispiele 423 |
| 7.8.1 | Nachweis eines Binders 423 |
| | Nachweis einer Stütze 430 |
| 7.8.2 | |
| 7.8.3 | Nachweis einer Rahmenecke 435 |
| 7.8.4 | Nachweis eines gelenkigen Stützenfusses mit Zentrierleiste 441 |
| 7.8.5 | Nachweis einer eingespannten Stütze 443 |
| 7.9 | Literaturverzeichnis 446 |
| 8 | Windverbände 447 |
| 8.1 | Einleitung 447 |
| 8.2 | Windverbandsysteme 448 |
| 8.2.1 | Einwirkungen und statische Systeme 448 |
| 8.2.2 | Kraftfluss der Horizontalkräfte 449 |
| 8.3 | Fachwerkverbände 456 |
| 8.3.1 | Ebene Fachwerke 456 |
| 8.3.2 | Nicht in einer Ebene liegende Fachwerke 459 |
| 8.3.3 | Exzentrische Stabanschlüsse 460 |
| 8.3.4 | Temperatureinwirkung 461 |
| 8.3.5 | Äquivalentes Trägheitsmoment 462 |
| 8.4 | Windaussteifung mit Profilblechen 463 |
| 8.4.1 | Scheibenwirkung 463 |
| 8.4.2 | Scheibenelemente 466 |
| 8.4.3 | Scheibenwirkung ohne Interaktion mit den Rahmen 472 |
| 8.4.4 | Scheibenwirkung mit Interaktion mit den Rahmen 475 |
| 8.4.5 | Stabilisierung der Pfetten 479 |
| 8.5 | Rechenbeispiele 482 |
| 8.5.1 | Bemessung eines Dachlängsverbandes mit Andreaskreuzen 482 |
| 8.5.2 | Bemessung eines Dachverbandes mittels Profilblechen 488 |
| 8.6 | Literaturverzeichnis 494 |
| A8 | Anhänge 494 |
| A8.1 | Koeffizient α zur Berücksichtigung der Wirkung der |
| | Zwischenpfetten 494 |
| A8.2 | Koeffizient β zur Berücksichtigung der Anzahl Befestigungen |
| | Blech-Pfette auf der Baubreite einer Blechtafel 495 |
| A8.3 | Konstante K zur Berücksichtigung der Befestigungsart des Bleches 496 |
| 9 | Kranbahnträger für Laufkrane 499 |
| 9.1 | Einleitung 499 |
| 9.1.1 | Krananlagen 499 |
| 9.1.2 | Laufkrane 500 |
| 9.1.3 | Klassifikation von Laufkranen 503 |
| 9.2 | Konstruktionsdetails und Toleranzen 504 |
| 9.2.1 | Kranschienen 504 |

| 9.2.2 | Trägerstösse 506 |
|-------|---|
| 9.2.3 | Toleranzen 507 |
| 9.3 | Kraftverläufe 509 |
| 9.3.1 | Vertikallasten 509 |
| 9.3.2 | Horizontale Lasten quer 512 |
| 9.3.3 | Horizontalkräfte längs 513 |
| 9.4 | Gebrauchstauglichkeitsnachweis der Kranbahnträger 514 |
| 9.4.1 | Berechnung der Verformungen des Kranbahnträgers 515 |
| 9.4.2 | Richtwerte für Deformationen und Nachweise 516 |
| 9.5 | Tragsicherheitsnachweis von Kranbahnträgern 517 |
| 9.5.1 | Spannungen im Kranbahnträger 517 |
| 9.5.2 | Mitwirkung der Kranschiene 520 |
| 9.5.3 | Berechnung der Schienenbefestigung 520 |
| 9.5.4 | Wirkung der konzentrierten Lasten 522 |
| 9.6 | Ermüdungssicherheit 525 |
| 9.6.1 | Nachweisprinzip 525 |
| 9.6.2 | Berechnung der Auswirkungen und Spannungen 526 |
| 9.6.3 | Ermüdungswiderstand 527 |
| 9.7 | Rechenbeispiel eines Kranbahnträgers 529 |
| 9.7.1 | Vordimensionierung 531 |
| 9.7.2 | Nachweis der Tragsicherheit 532 |
| 9.7.3 | Ermüdungsnachweis 537 |
| 9.7.4 | Bemessung der Schienenbefestigung 540 |
| 9.7.5 | Krafteinleitungen 541 |
| 9.8 | Literaturverzeichnis 544 |
| | |

Stichwortverzeichnis 545

2

Entwurf und Stabilisierung von Hallen und Geschossbauten

2.1 Einleitung

Das *Tragsystem* einer Stahlbau-Halle entsteht aus dem Zusammenbau von Profil-Stäben und Flachprodukten. Dieses Gerippe hat primär die Funktion, einwirkende Lasten aufzunehmen und in die Fundationen abzutragen. Im Weiteren muss die Befestigung von umhüllenden Elementen von Dach und Fassade sowie von inneren Abtrennungen gewährleistet sein. Unabhängig vom zu begrenzenden Volumen bestehen Tragstrukturen aus räumlichen Systemen, die sich unter Lasten dreidimensional verhalten. Hingegen wird der Ingenieur die Tragstruktur sowohl für das Konzept als auch die Bemessung in ebene Systeme der drei räumlichen Achsen aufteilen (Grundriss, Ansicht, Schnitt). Diese Vereinfachung ist bei den häufigsten Hallenkonstruktionen aus Sicht der Kalkulation, Fabrikation und Montage gerechtfertigt. Es gibt hingegen *echte* dreidimensionale Tragstrukturen, bestehend aus Wänden, Schalen, Zelten oder Membrane, welche aufgrund des dreidimensionalen Tragverhaltens grosse Spannweiten zu überbrücken vermögen.

In diesem Kapitel sollen verschiedene Konzepte von Hallentragsystemen aufgezeigt werden. Dabei werden lediglich die Haupttragstrukturen und Verbände behandelt. Konzepte der Sekundärstrukturen von Dach und Wand werden später im Kap. 3 vorgestellt. Hauptsächlich geht es um die Stabilisierung von Hallen und Geschossbauten (Abschn. 2.3 und 2.5). Die Spezialkonstruktionen von Shedbauten werden auch behandelt (Abschn. 2.4). Bezüglich Raumtragwerken (Abschn. 2.6) und besonderen Tragwerken (Abschn. 2.7) werden Beispiele aufgezeigt, ohne die Tragkonzepte immer detailliert darzustellen. Im Anhang A2.1 werden empirische Regeln zur Vordimensionierung aufgelistet. Weitere Hinweise befinden sich im angehängten Literaturverzeichnis [1–3] sowie im Kap. 1 des Buches.

2.2 Aus Ebenen gebildete Tragstrukturen

2.2.1 Form von Strukturen

Eine einfache Halle kann als *Schachtel* betrachtet werden (Bild 2.1a), welche aus sechs Flächen besteht. Die Stahlstruktur und die Eindeckungen werden aus dem

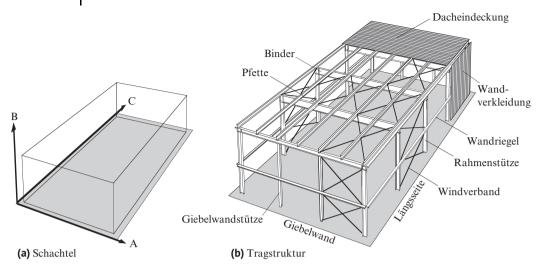


Bild 2.1 Beispiel einer einfachen Halle.

Dach und den vier Wänden gebildet, der Boden wird durch die Fundationen oder einen Unterbau verkörpert. Die Tragstruktur der "Schachtel" wird in die drei Raumachsen aufgeteilt und besteht aus (Bild 2.1b): Binder und Stützen in Ouerrichtung (parallel, Ebene AB), dem Dach (parallel, Ebene AC) und den Längswänden (parallel, Ebene BC). Um die Stabilität dieser Schachtel zu gewährleisten, ist es nötig, dass jede der drei Richtungen in ihrer Ebene durch Verbände oder eine Rahmenwirkung stabil ist. Bild 2.1b zeigt das Beispiel des Tragsystems einer Halle, bestehend aus drei Rahmen (Binder und zwei Stützen) und den zwei Giebelwänden, auf welchen die Fassadenriegel und Dachpfetten befestigt sind. Auf diesen eindimensionalen Elementen sind schlussendlich die ebenen Eindeckungen von Dach und Fassade befestigt. Die Stabilität ist in diesem Beispiel durch Windverbände aus gekreuzten Diagonalstäben gewährleistet.

Betrachten wir in groben Zügen verschiedene mögliche Tragsysteme, welche ausgehend von der Standardhalle aus Bild 2.1b für die Form eines Quaders vorgesehen werden können. In der ersten Lösung bestehen die Binder aus Walzprofilen. Bei grösseren Spannweiten werden diese Elemente durch Blechträger oder hohe Fachwerkträger ersetzt (Bild 2.2a). Wenn nun die Pfetten geneigt angeordnet werden, sodass ein Pfettenende auf dem Obergurt des Fachwerkes und das andere Ende auf dem Untergurt des benachbarten Fachwerkes aufliegt, erhalten wir eine Shedkonstruktion (Bild 2.2b). Eine andere Variante einer Shedkonstruktion besteht darin, die Fachwerke selber geneigt anzuordnen und sie paarweise zu einem Dreigurtbinder zu formen, welche auf einem Längsträger aufliegen. Falls die Füllglieder des Fachwerks durch Profilbleche ersetzt werden, welche in den Gurtungen verbunden sind, erhalten wir die Konstruktion eines Faltwerkes (Bild 2.2d). Schlussendlich können die Fachwerke in Längs- und Querrichtung angeordnet werden und wir erhalten eine zweifach gerichtete Konstruktion als Raumfachwerk, bei welcher die Anzahl der Abstützungen wesentlich reduziert werden kann (Bild 2.2e).

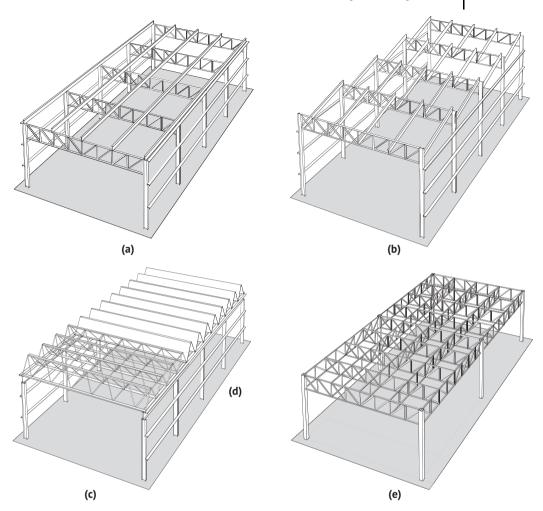


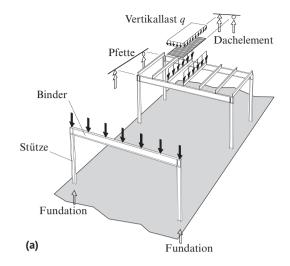
Bild 2.2 Verschiedene Tragstrukturen von Hallen.

2.2.2 Kraftverlauf und Zerlegung der Struktur

Um die Funktion der zugrunde gelegten Halle von Bild 2.1 zu veranschaulichen, zerlegen wir die Tragstruktur in ebene Flächen und beziehen die Abtragung von horizontalen und vertikalen Lasten ein.

Betrachten wir vorerst die auf das Dach wirkenden lotrechten Lasten, z.B. eine verteilte Last q, welche die Schneelast darstellt (Bild 2.3a). Diese Last wirkt via die Dachhaut auf die Pfetten, welche ihrerseits ihre Reaktionen auf die Binder abtragen. Letztere liegen auf den Stützen, welche die Lasten in die Fundationen abgeben; die vertikale Lastabtragung ist somit gegeben.

Betrachten wir jetzt die Windlasten, welche von links seitlich auf die Fassade wirken (Bild 2.3b). Die Wandverkleidung stützt sich auf die horizontalen Wandriegel, welche ihre Reaktionen an die Hallenstützen abgeben. Somit beanspruchen die



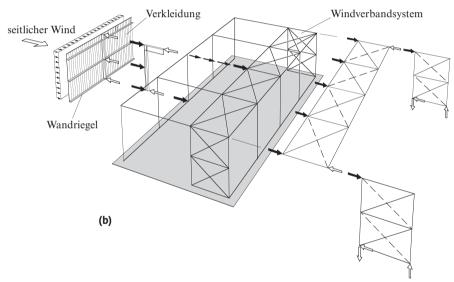


Bild 2.3 Vertikaler und horizontaler Kraftverlauf.

senkrecht auf die Längsseite der Halle wirkenden horizontalen Kräfte den Hallenrahmen seitlich. Letzterer muss also die Lasten in die Fundationen abtragen, wenn nötig mit einem Windverbandssystem (Abschn. 2.3).

Die gleiche Betrachtung kann für in Längsrichtung auf die Giebelwände wirkende Windlasten gemacht werden. In diesem Fall werden nun die Längswände beansprucht. Die Stabilisierung von Hallen wird in Abschn. 2.3 ausführlich behandelt.

Längsfassade. Die direkteste Art, diese Kräfte in die Giebelwandverbände zu leiten, ist ein horizontal liegender Windverband (Bild 2.33a).

Der in Bild 2.33b dargestellte geknickte Längsverband scheint nur auf den ersten Blick stabil, ist es aber tatsächlich nicht. Aufgrund der Änderungen der Ebene des Dachverbandes kann in Wirklichkeit die Kontinuität des Biegemomentes nur durch Torsion der vertikalen Teilflächen erreicht werden. Da aber diese Teilflächen eine vernachlässigbare Torsionssteifigkeit haben, verhalten sie sich wie ein Gelenk. Bild 2.33b zeigt das verformte Bild eines solchen Windverbandes im Grundriss aufgrund der Windeinwirkung. Man könnte dieses System durch Anordnung eines zweiten Zugbandes in der Ebene des inneren Gurtes stabil machen. Trotzdem bleibt die Struktur sehr weich und ineffizient. Sie bleibt ineffizient, auch wenn alle geneigten Ebenen des Daches ausgesteift werden. Die am meisten befriedigende Lösung bleibt diejenige mit dem horizontal verlaufenden Windverband von Bild 2.33a.

2.5 Typische Tragstrukturen von Geschossbauten

2.5.1 Gelenkige Strukturen

Bild 2.34 zeigt die wesentlichen Elemente von Geschossbauten. Der Vergleich mit einer einfachen Halle (Bild 2.1) zeigt eine Analogie der beiden Typen. Die Hauptunterschiede betreffen die Anzahl von Querträgern sowie die Ausführung der horizontalen Verbände als Platten.

Bei diesen Konstruktionen sind alle Verbindungen zwischen den Tragelementen (Träger, Stützen) als Gelenke angenommen (Bild 2.35a). Die auf das Dach und die Böden wirkenden vertikalen Lasten werden über Biegeträger und Druckstützen in die Fundamente geleitet. Die horizontalen Lasten werden über die Böden (Träger und Platten) sowie durch vertikale Verbände im Inneren oder in der Fassade in die Fundamente geleitet. Diese Verbände sind Stahlfachwerke oder Betonscheiben.

Es gibt zwei Möglichkeiten für die Ausbildung der vertikalen Scheiben:

- · Die Stützen sind durchlaufend und die Träger sind dazwischengespannte einfache Balken (Bild 2.35b).
- · Die Träger sind durchlaufend und die Stützen sind auf jedem Stockwerk unterbrochen (Bild 2.35c).

Manchmal werden Systeme vorgesehen, wo sowohl die Stützen wie auch die Träger als Doppelträger durchlaufend sind. Die Träger werden beidseits der Stützen angeordnet und die Verbindung Träger-Stütze bleibt gelenkig.

Die Vorteile von gelenkigen Verbandssystemen sind:

- Knoten mit einfacher Konstruktion und einfacher Herstellung,
- · rasche Montage der Konstruktion,
- einfache und auf Herstelltoleranzen unempfindliche Richtarbeiten,
- im Wesentlichen kompakte Stützen.

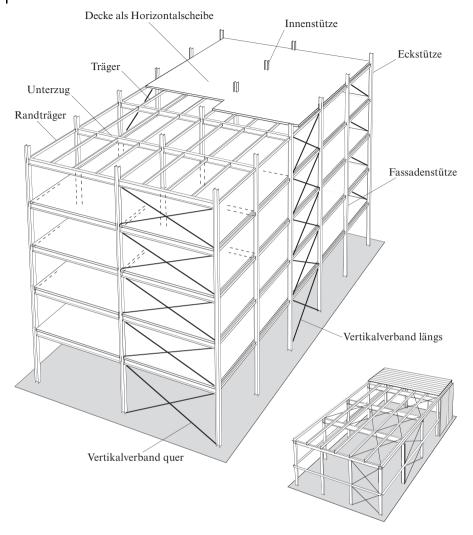


Bild 2.34 Konstruktionselemente eines Geschossbaus.

Die Nachteile sind:

- Träger als einfache Balken haben grosse Querschnitte oder sind durchlaufend als Doppelträger ausgeführt,
- die Durchleitung der Vertikallasten aus den Stützen durch die Bodenträger ist bei einer bestimmten Gebäudehöhe nicht mehr möglich,
- Verbandsstäbe können störend sein.

2.5.2 Tragstrukturen mit zentralem Kern

Bei der Planung der Nutzflächen werden bei Geschossbauten im Kern des Gebäudes Serviceräume ohne Tageslichtbedarf (Archive, sanitäre Anlagen usw.) sowie

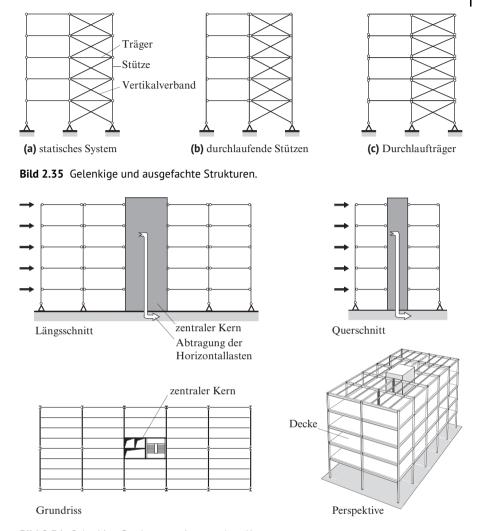


Bild 2.36 Gelenkige Strukturen mit zentralem Kern.

vertikale Erschliessungen (Treppen, Lifte) und Energieträger (technische Fallschächte) angeordnet. Es ist möglich, diese Einrichtungen in Stahlbeton vorzusehen und dabei eine sehr steife vertikale Konstruktion (zentraler Kern) auszubilden (Bild 2.36). Dieser Kern dient dazu, alle horizontalen Lasten aus den Decken und horizontalen Verbänden aufzunehmen. Der zentrale Kern wirkt somit als in den Fundationen oder den Unterbauten eingespannter Kragarm, der auf Biegung und Querkraft, bei exzentrischer Anordnung im Grundriss eventuell auf Torsion beansprucht ist. Die Stahlkonstruktion selbst (Träger und Stützen) nimmt also nur vertikale Kräfte auf. Die Anschlüsse dieser Teile (Sekundärträger, Hauptträger, Stützen) werden gelenkig vorgesehen. Abhängig von den Gebäudeabmessungen ist es denkbar, zwei Kerne oder eine Kombination eines zentralen Kerns und Vertikalverbänden in der Fassade vorzusehen.

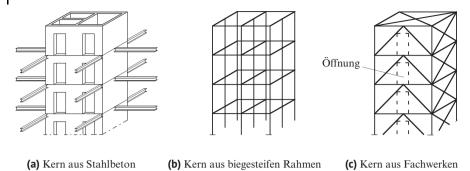


Bild 2.37 Kerne gelenkiger Strukturen.

Der Vorteil von Betonkernen ist ihre grosse Steifigkeit (Bild 2.37a). Die Masstoleranzen und das Schwinden des Betons, das unterschiedliche zeitliche Verhalten von Stahl und Beton ergeben Befestigungsprobleme zwischen Kern und der ihn umgebenden Stahlkonstruktion. Deshalb ist es auch möglich, den Kern vollständig in Stahl zu konstruieren, sei es als mehrstöckige Rahmen (Bild 2.37b) oder als Fachwerke (Bild 2.37c). Die Montage solcher Kerne ist schneller, der Nachteil ist, dass die vertikalen Scheiben aus ihrer Ebene weniger steif sind als Betonwände; dieser Umstand ist für hohe Gebäude zu beachten (horizontale Auslenkung). Die Aspekte des Brandschutzes sind zudem genau zu untersuchen. Es ist auch denkbar, gemischte Kerne als Kombination aus Betonwänden und vertikalen Stahlverbänden vorzusehen.

Um die horizontale Auslenkung an der Spitze von Hochhäusern aus Windeinwirkung (Bild 2.38a) zu reduzieren, braucht es ein wirkungsvolles System. Es geht dabei darum, die Aussenstützen mit einem Fachwerksystem im obersten Geschoss an den Kern zu verbinden und somit an der Gesamtsteifigkeit des Gebäudes zu beteiligen (Hutfachwerk, auch Outrigger-System; Bild 2.38b). Das statische System besteht somit aus dem eingespannten Kragarm (Kern) und einer mit diesem Kern steif verbundenen Traverse (Hutfachwerk), die durch Zugbänder (Aussenstützen) mit dem Boden verbunden ist. Es ist auch möglich, diese Konstruktion zwischen Kern und Aussenhülle auf verschiedenen Zwischengeschossen anzuordnen.

Abgehängte Konstruktionen

Eine abgehängte Konstruktion kann als Spezialfall einer gelenkigen Konstruktion mit zentralem Kern betrachtet werden (Bild 2.39).

Konkret geht es um eine Anzahl Geschosse, welche an ein Hutfachwerk ähnlich der Ausführung von Bild 2.38b aufgehängt sind. Die Auflagerreaktionen der Geschossdecken werden durch Zugstangen nach oben geführt und durch das massive Hutfachwerk an den Kern abgegeben. Im Erdgeschoss schafft man stützenfreie Zonen. Die Bauarbeiten beginnen mit dem Betonkern und werden mit der Montage der Stahlkonstruktion des Hutfachwerkes ab der Spitze des Gebäudes fortgesetzt. Die weiteren Bauelemente werden danach von oben nach unten angehängt. Deshalb müssen die Bodenplatten aus montagetechnischen Gründen eine ausreichende Biegesteifigkeit haben.

3

Pfetten und Fassaden-Unterkonstruktionen

3.1 Einleitung

Pfetten und Fassaden-Unterkonstruktionen sind sekundäre Tragelemente und Bestandteil der Eindeckungen von Gebäuden. Ihre Hauptfunktion besteht darin, die auf Dach und Wand einwirkenden Lasten auf die Haupttragelemente abzutragen. Konstruktive Details von Dach- und Wandeindeckungen können den einschlägigen Produktinformationen entnommen werden. Die Anwendung von hohen Trapezprofilblechen kann je nach statischem Konzept der Dachkonstruktion die Pfetten ersetzen und somit die Abtragung der Dachlasten von Rahmen zu Rahmen übernehmen.

Das Kapitel ist der Bemessung dieser Sekundärelemente gewidmet. Die Basis dazu bildet die Theorie über Biege- und Druckstäbe im *TGC Band 10, Kap. 5 und 6*. Im nachfolgenden Abschn. 3.2 wird die Dimensionierung der Pfetten (Bauteile im Dach) und im Abschn. 3.3 diejenige der Riegel und Fassadenstützen (Bauteile der Fassaden-Konstruktion) aufgezeigt. In jedem dieser beiden Abschnitte werden die Tragfunktion, die betreffenden Einwirkungen und die Gefährdungsbilder bezüglich der statischen Systeme und der Auswirkungen dargelegt. Danach werden die Berechnung der Querschnittswiderstände, der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit geführt. Abschliessend werden im Abschn. 3.4 einige numerische Berechnungsbeispiele von Pfetten und Fassadentragstrukturen gezeigt.

3.2 Pfetten

3.2.1 Funktion der Pfetten

Die Pfetten stützen die Dach-Tragbleche und übertragen die auf das Dach wirkenden Lasten auf die Haupttragstruktur einer Halle. Sie sind parallel zur Längsseite der Halle beziehungsweise in Firstrichtung angeordnet. In der Regel sind sie im gleichen Abstand angeordnet. Firstpfetten bei geneigten Dächern sollen miteinander verbunden werden. Pfetten als Bestandteil eines Dachverbandes (Gurte, Pfosten) müssen speziell dimensioniert und allenfalls verstärkt werden. Traufpfetten können gleichzeitig die Rolle eines Fassadenriegels übernehmen und müssen somit auch

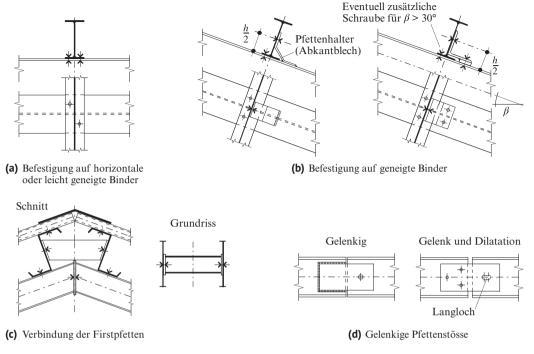


Bild 3.1 Beispiele von Pfettenbefestigungen.

horizontale Windlasten auf die Fassade übernehmen. Bild 3.1 zeigt verschiedene Befestigungsmöglichkeiten auf dem Binder.

3.2.2 Einwirkungen und Gefährdungsbilder

Pfetten übernehmen die folgenden Lasten:

- Eigengewicht der Pfette g_a ,
- Gewicht der Dacheindeckung g_{fin},
- Schnee q_s ,
- Wind q_w ,
- abgehängte Lasten q_{susp} oder Q_{susp} .

Die Gravitationskräfte (Eigengewicht, Schnee, abgehängte Lasten) wirken lotrecht, die Windlasten (Sog und Druck) wirken rechtwinklig zur Dachebene. Bei einem Flachdach wirken alle Lasten lotrecht und parallel zum Pfettensteg (Bild 3.2a). Bei einem geneigten Dach können die Pfetten vertikal (Bild 3.2b und Bild 3.3a) oder geneigt (Bild 3.2c und Bild 3.3b,c) angeordnet werden, wobei hier immer ein Teil der Lasten quer zum Pfettensteg wirkt.

Bei einem Flachdach sind die Pfetten auf Biegung um eine Hauptachse und bei geneigten Dächern auf schiefe Biegung um die beiden Hauptachsen beansprucht. Im Weiteren kann in beiden Fällen gleichzeitig eine Normalkraft vorhanden sein,

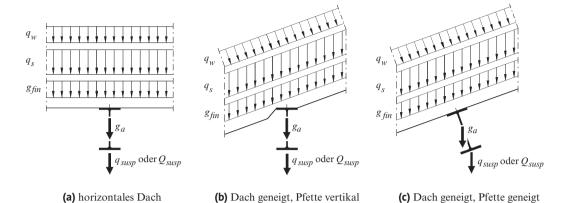


Bild 3.2 Kraftrichtungen auf Pfetten.

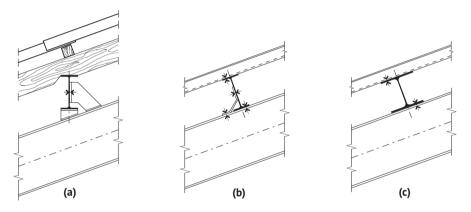


Bild 3.3 Befestigung von Pfetten auf geneigten Dächern.

wenn die Pfetten Bestandteil eines Windverbandes sind oder als seitliche Halterung eines Tragelementes dienen (z. B. Rahmenbinder).

Gefährdungsbilder und zugehörige Lasten sind in der Tabelle 3.1 zusammengestellt.

Tab. 3.1 Mögliche Gefährdungsbilder und Lastfälle für den Tragsicherheitsnachweis.

| Gefährdungsbild Lastfälle | | | | | |
|---------------------------|-----|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Nr. | Ständige Lasten | Veränderliche Las | ten | |
| | | | Nutzlast | Schnee | Wind |
| Nutzlast | 1 | $g_a + g_{fin}$ | Leiteinwirkung | _ | Begleiteinwirkung |
| Schnee | 2 | $g_a + g_{fin}$ | _ | Leiteinwirkung | Begleiteinwirkung |
| Wind | 3 | $g_a + g_{fin}$ | _ | Begleiteinwirkung | Leiteinwirkung |
| Windsog | 4 | $g_a + g_{fin}(\gamma_{G,inf})$ | _ | _ | Leiteinwirkung |

Der Fall 1 entspricht beispielsweise einem begeh- oder befahrbaren Dach, als Ausstellungsfläche oder als Helikopterplattform. In den anderen Fällen (ohne Nutzlast) sind die Dächer nur für Unterhaltsarbeiten begehbar. Diese Nutzlast von 0.4 kN/m² gemäss Norm SIA 261 ist in der Regel einzurechnen. Im Fall 2 kann der Wind vernachlässigt werden, sofern Sog vorherrscht; der Fall 3 kann zutreffen bei geneigten Pfetten oder wenn diese ein Bestandteil eines Verbandes sind; im Fall 4 haben wir Windsog auf dem Dach und deshalb muss das Eigengewicht mit dem Lastbeiwert $\gamma_{Ginf} = 0.8$ berücksichtigt werden.

3.2.3 Statische Systeme

Für statische Systeme von Pfetten gibt es mehrere Möglichkeiten: einfacher Balken, Gelenkträger (oder Gerberträger) und Durchlaufträger.

Der einfache Balken (Bild 3.4a) hat eine grössere Bauhöhe und schlechtere Materialausnützung infolge der grösseren Durchbiegungen und wird deshalb auf dem Binder aufliegend selten eingesetzt. Die Verwendung als Teil eines Dachfachwerkes ist denkbar (mit grösserem Profilquerschnitt). Hingegen sind für eingesattelte Pfetten mit an der Oberkante bündigen Flanschen von Pfette und Binder einfache Balken eine sinnvolle Lösung; hier lassen sich gelenkige Anschlüsse mit sogenannten "Fahnenblechen" auch montagetechnisch wirtschaftlich ausführen.

Der Gelenkträger (Bild 3.4b) hat im Gegensatz zum Stahlbau beim Holzbau noch heute seine Bedeutung. Eine intelligente Anordnung der Gelenke erlauben einerseits einen Momentenausgleich der Stützen- und Feldmomente und anderseits die Deformationen des statisch bestimmten Systems in der Größenordnung eines Durchlaufträgers zu erreichen. Mit Bezug auf die plastische Bemessung im Stahlbau sind allerdings die Vorteile von Gelenkträger illusorisch. Die heutigen Möglichkeiten von geschraubten und geschweissten Verbindungen erlauben eine einfachere Ausführung von Durchlaufträgern als früher. Im Weiteren muss festgehalten werden, dass für dieses statisch bestimmte System ein Ausfall einer einzigen Pfette (Brand, Explosion) das Versagen der gesamten Dachkonstruktion zur Folge haben kann.

Der Durchlaufträger ist das am meisten verbreitete System. Die Pfetten können auf die gesamte Hallenlänge durchlaufend sein (Bild 3.4c); sie können abhängig von den Fabrikations- (bis 18 m) oder Transportlängen (bis 30 m) auf zwei oder drei Felder ausgelegt sein (Bild 3.4d). Die Konstruktionsdetails von Bild 3.4e zeigen verschiedene Varianten: Gelenke über den Auflagern (Detail 1), Gelenke im Feld (Detail 2), den biegesteifen Stoss eines Durchlaufträgers (Detail 3).

Im Falle von Durchlaufträgern über zwei oder drei Felder empfiehlt es sich, die Pfetten versetzt auf den Bindern anzuordnen wie in Bild 3.5 dargestellt (Beispiel mit Zweifeldträgern). Dadurch wird die Summe der Auflagerkräfte der Pfetten auf benachbarte Binder praktisch gleich.

Bei Mehrfeldträgern mit gleichen Spannweiten sind die Reaktionen auf das erste Innenauflager grösser als auf die weiteren Innenauflager. Es können folgende Massnahmen getroffen werden: