

1

Einleitung

1.1 Grundlagen, Hochbau, Brückenbau

Das vorliegende Buch ist im Rahmen der Reihe „*Traité de Génie Civil*“ (TGC) der EPFL Lausanne das zweite von drei Büchern zum Stahlbau:

Band 1 (TGC 10): *Stahlbau* – Grundbegriffe und Bemessungsverfahren

Band 2 (TGC 11): *Stahlhochbau* – Entwurf und Bemessung von Hallen und Geschossbauten

Band 3 (TGC 12): *Steel Bridges* – Conceptual and structural design of steel and steel-concrete composite bridges

Diese drei Bücher richten sich einerseits an Studierende zur Unterstützung der Vorlesungen und andererseits an interessierte Praktiker, die einen möglichst vollständigen Überblick über die Gebiete des Stahlhochbaus und des Stahlbrückenbaus haben möchten. Sie basieren auf Vorlesungsunterlagen des Stahlbauinstituts ICOM 1969–2016 der ETH Lausanne (EPFL).

Das Ziel von *Band 2* ist, die Grundlagen von Entwurf und Bemessung von Tragstrukturen und Verbundbauteilen von Hallen und Gebäuden aufzuzeigen. Die Konzepte basieren einerseits auf der in der Schweiz gewonnenen Praxis und Erfahrung [1] sowie auch von anderen Ländern, die eine lange Tradition im Stahlbau haben wie Deutschland [2], USA, Kanada, Frankreich und Großbritannien. Grundlage bilden ebenfalls die erprobten Schweizer Normen (SIA) sowie die Erfahrungen aus dem europäischen Normenwerk (Eurocode). In den meisten Kapiteln sind Übungsbeispiele zu Entwurf und Bemessung angefügt, welche die Themen so konkret wie möglich illustrieren.

Für Verständnis und Anwendung dieses Buches sind Vorkenntnisse der Stabstatik sowie die Grundlagen des Stahlbaus aus dem oben erwähnten Band 1 wünschenswert.

1.2 Aufbau und Inhalt

Wie es der Untertitel des Buches sagt, werden gleichzeitig *Entwurf* und *Bemessung* von Stahlkonstruktionen behandelt, siehe auch Tabelle 1.1.

Stahlhochbau – Entwurf und Bemessung von Hallen und Geschossbauten, 1. Auflage.

Manfred A. Hirt, Michel Crisinel und Alain Nussbaumer. © 2024 EPFL Press.

Published 2024 by Ernst & Sohn GmbH.

Tab. 1.1 Struktur von Band 2 Stahlhochbau (TGC 11).

Thema	Kapitel
Entwurf	1. Einleitung 2. Entwurf und Stabilisierung von Hallen und Geschossbauten
Bemessung	3. Pfetten und Fassaden-Unterkonstruktionen 4. Blechverbunddecken 5. Hauptträger und Deckenträger 6. Statik der Hallenrahmen 7. Elemente der Rahmen 8. Windverbände 9. Kranbahenträger für Laufkrane

- Kap. 1 und 2 behandeln den ENTWURF und richten sich sowohl an Ingenieure als auch an Architekten. Das Kap. 1 enthält einen kurzen historischen Rückblick des Stahlbaus, im Speziellen in der Schweiz. Das nachfolgende Kap. 2 zeigt die verschiedenen Tragsysteme von Hallen und Geschossbauten in Stahlbauweise und insbesondere deren Aussteifung. Diese Kapitel enthalten keine Berechnungsmethoden und geben dem Entwerfenden, sei es Ingenieur oder Architekt, eine Grundlage für realistische und tragfähige Konzepte für Stahlbauten, die als Basis für die Vorbemessung im Rahmen eines Vorprojektes oder Wettbewerbes sowie für die Zusammenstellung eines Leistungsverzeichnisses dienen kann.
- Der größere Teil des Buches konzentriert sich auf die BEMESSUNG und behandelt in sieben Kapiteln die häufigsten Aufgabenstellungen, welche sich einem Ingenieur für die Berechnung und Bemessung von Hallen und Geschossbauten in Stahl stellen. Es wird der Kraftverlauf in den Tragstrukturen von den Einwirkungen bis in die Fundamente angesprochen. Zuerst werden die Stahlunterkonstruktionen für Dach- und Wandelemente besprochen (Kap. 3), danach die Blechverbunddecken (Kap. 4), die Haupt- und Deckenträger (Kap. 5), die Hallenrahmen und deren Elemente (Kap. 6 und 7), die Windverbände (Kap. 8) und zum Schluss die Kranbahenträger für Laufkrane (Kap. 9), welche vorwiegend in Industriehallen vorkommen.

1.3 Dokumente und Referenzen

1.3.1 Normen und Empfehlungen

Unabhängig von den Normen sind die grundlegenden Kenntnisse des Materialverhaltens und der Statik sowie der Band 1 „Stahlbau“ (TGC 10) die Basis für die theoretischen Überlegungen in den verschiedenen Kapiteln dieses Buches. Die länderspezifischen Normen hingegen beeinflussen die Bemessung. In diesem Werk wird auf die Normen des schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA) in Zürich (www.sia.ch) Bezug genommen und vereinzelt ein Ausblick auf den Euro-



Optimale Werterhaltung ...

...von Stahlbauten sowie der langfristige Schutz vor Korrosion ist die Hauptaufgabe einer Farbbeschichtung. Gleichzeitig sind höchste ästhetische Ansprüche zu erfüllen. Aus dem ursprünglichen Schutzanstrich wird ein Hightech-Produkt.

Dieser Herausforderung stellen wir uns!

Eclatin AG

Bürenstrasse 131, CH-4574 Lüsslingen-Solothurn
Tel. +41 (0)32 622 41 41 www.eclatin.ch

Rolf Kindmann

Stahlbau

Teil 2: Stabilität und Theorie II. Ordnung

- erfolgreich eingeführtes Werk in 5. Auflage überarbeitet und aktualisiert
- bewährt für Studium und Praxis seit 1998
- mit zahlreichen Beispielen

Zentrale Themen sind die Stabilität von Stahlkonstruktionen und der Nachweis der Tragfähigkeit. Das tatsächliche Tragverhalten wird erläutert und die theoretischen Grundlagen werden hergeleitet zweckmäßige Nachweisverfahren empfohlen und mit Beispielen veranschaulicht.



Rolf Kindmann

Stahlbau

Teil 2:
Stabilität und Theorie II. Ordnung

5. Auflage

Ernst & Sohn

5. völlig neu überarbeitet Auflage · 2021 ·
580 Seiten · 308 Abbildungen · 101 Tabellen

.....

Softcover

ISBN 978-3-433-03219-0

€ 55*

.....

eBundle (Print + ePDF)

ISBN 978-3-433-03435-4

ca. € 79*

BESTELLEN

+49 (0)30 470 31-236
marketing@ernst-und-sohn.de
www.ernst-und-sohn.de/3219

code gegeben. Die folgenden Normen mit ihren ergänzenden Festlegungen dienen als Referenz:

- SIA 260 „Grundlagen der Projektierung von Tragwerken“ (2013),
- SIA 261 „Einwirkungen auf Tragwerke“ (2020),
- SIA 261/1 „Einwirkungen auf Tragwerk – ergänzende Festlegungen“ (2020),
- SIA 262 „Betonbau“ (2013),
- SIA 262/1 „Betonbau – ergänzende Festlegungen“ (2019),
- SIA 263 „Stahlbau“ (2013),
- SIA 263/1 „Stahlbau – ergänzende Festlegungen“ (2020),
- SIA 264 „Stahl-Beton-Verbundbau“ (2014),
- SIA 264/1 „Stahl-Beton-Verbundbau – ergänzende Festlegungen“ (2014).

In gewissen Fällen verweisen die SIA-Normen den Benutzer auf den Eurocode, im Speziellen bei Berechnungsmethoden; die SIA-Normen zeigen vor allem die Rechengrundsätze. Das vorliegende Buch basiert somit ebenfalls auf den folgenden Dokumenten, welche vom Europäischen Kommittee für Normung (CEN) in Brüssel herausgegeben werden (www.cenorm.be):

- EN 1990 Eurocode 0 „Grundlagen der Tragwerksplanung“ (2002),
- EN 1991 Eurocode 1 „Einwirkungen auf Tragwerke“ (2002),
- EN 1992-1-1 Eurocode 2, Teil 1-1 „Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau“ (2004),
- EN 1993-1-1 Eurocode 3, Teil 1-1 „Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau“ (2005),
- EN 1994-1-1 Eurocode 4, Teil 1-1 „Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton – Allgemeine Bemessungs- und Anwendungsregeln für den Hochbau“ (2004).

Neben den zitierten Normen wird oft auch auf die Publikationen des „Stahlbau-Zentrum-Schweiz“ in Zürich (SZS) verwiesen (www.szs.ch). Diese vervollständigen das Buch zu Entwurf, Berechnung und Ausführung von Stahlhochbauten und auch zu Brandschutz und Oberflächenschutz. Die SZS-Publikationen liefern weiterhin wichtige Informationen zu Querschnittswerten und Widerständen von Profilen und Befestigungsmitteln sowie auch Tabellenwerte zum Knicken, Kippen oder von Verbundquerschnitten. Es handelt sich um folgende Publikationen:

- | | |
|------------------|--|
| steelwork C1/12: | „Verbundbau Bemessungstafeln“ (2012); Verbundträger, Träger mit Stegöffnungen, Kammerbetonträger, Blechverbunddecken, Slim-Floor-Decken, Verbundstützen, Verbund-Anschlüsse, Brandbemessung, |
| steelwork C4/06: | „Bemessungstafeln“ (2021) – Neu für Stahlqualität S460; Knicken, Kippen, Blecträger, Lochstegträger, Slim-Floor-Träger, Kranbahenträger, Statische Hilfstabellen, |

steelwork C5/18:	„Konstruktionstabellen“ (2018); konstruktive und technische Querschnittswerte, Widerstandswerte von Profilen und Verbindungsmitte, konstruktive Details im Stahlhochbau (NEU) und Erläuterungen,
steelwork C9.A/14:	Tabellenwerk für „Trägerstöße mit Stirnplatten, Fahnenblechanschlüsse“ (2014),
steelwork C9.B/15:	Tabellenwerk für „Rahmenknoten“ (2015), Träger-Stützen-Anschlüsse mit Stirnplatten,
steeltec 01 (steeldoc 01/06)	„konstruktives Entwerfen“ (2006),
steeltec 02 (steeldoc 05/17)	„Brandschutz im Stahlbau“ (2017),
steeltec 03 (steeldoc 01/12)	„Hallenbau – Planungsleitfaden“ (2012),
steeltec 04 (steeldoc 02/18)	„Verbundkonstruktionen im Stahlbau“ (2018),
steeltec 05 (steeldoc 03/19)	„Erdbebensicher bauen in Stahl“ (2019),
steelcomment:	zur SN EN 1090-2:2018 und SIA 263/1:2020, Bestimmung der Ausführungsklassen (2020),
steelcomment:	Der Einfluss von Feuerverzinkung auf den Feuerwiderstand von Stahlbauteilen (2021),
steelaid:	Oberflächenschutz für Stahlkonstruktionen – Konzept & Submission (2021),
C2.5:2017:	Dämmsschichtbildende Brandschutzsysteme, Stand der Technik Papier (2017),
C2.6:2015:	Grundlagendokument zu steeltec 02:2015 Brandschutz im Stahlbau.

Die oben erwähnten Normen und Dokumentationen sowie auch die anderen bei den TGC-Stahlbaubände werden in den Literaturverzeichnissen zu den einzelnen Kapiteln nicht mehr erwähnt, da es sich um allgemein gültige Referenzen des Gesamtwerkes handelt. Die in jeder Referenzliste aufgeführten Publikationen sind im Text durch Zahlen in eckigen Klammern und in der Reihenfolge des Auftretens im Text aufgelistet.

1.3.2 Andere Referenzen

Neben den oben genannten Normen und Empfehlungen wird im vorliegenden Buch eine große Zahl von Literatur für den Entwurf und die Dimensionierung von Stahlbauten aufgeführt. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit werden nachfolgend einige Grundlagenwerke zum Thema des Buches aufgeführt:

Sachbücher

- Hirt, Manfred A.; Bez, Rolf; Nussbaumer, Alain: „Stahlbau, Grundbegriffe und Bemessungsverfahren“, 2. Auflage, PPUR, 2006 (TGC, Band 10).
- Petersen, Christian: „Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten“, 4. Auflage, Springer Vieweg, 2013.
- Deutscher Stahlbau-Verband, „Stahlbau-Handbuch“ für Studium und Praxis Band 1, Teil A, 1993, Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH, Köln.

- Deutscher Stahlbau-Verband, „Stahlbau-Handbuch“ für Studium und Praxis Band 1, Teil B, 1996, Stahlbau-Verlagsgesellschaft M B H, Köln.
- Schulitz, Helmut; Sobek, Werner; Habermann, Karl: „Stahlbau Atlas“, Birkhäuser Edition Detail, 2001.
- „Stahl im Hochbau“, Band 1, Anwenderhandbuch, 15. Auflage, Stahleisen M B H Düsseldorf, 1995.
- Kindmann, Rolf; Krüger, Ulrich: „Stahlbau, Teil 1 Grundlagen“, Ernst & Sohn, 2013.
- Kindmann, Rolf, „Stahlbau, Teil 2 Stabilität und Theorie II. Ordnung“ Ernst & Sohn, 2021.

Websiten

Im Internet findet man unzählige Freeware, z. B.:

- www.steelconstruction.info/The_Steel_Construction_Information_System
- <https://szs.ch/download-fachthemen>
- www.bauforumstahl.de

Fachbeiträge, Übungsbeispiele und Skriptvorlagen gibt es insbesondere von deutschen Hochschulen.

Periodika

- ECCS/CECM/EKS, Europäische Konvention für Stahlbau, Brüssel. Internationale Vereinigung der nationalen Stahlbauverbände, 1955 gegründet, repräsentiert die europäische Stahlbauindustrie. Netzwerkbildung, technische Unterstützung und Forschung, Promotion und Marketing, Publikationen, www.steelconstruct.com.
- CIDECT, internationaler Verband der Hersteller von Hohlprofilen. Forschung und Bemessungshilfen, gegründet 1962, www.cidect.org.
- *Stahlbau-Kalender*, erscheint jährlich, Ernst & Sohn Berlin. Kommentare zu den Eurocodes und Schwerpunktthemen, www.ernst-und-sohn.de/es-kalender.
- *bauen in stahl*, Herausgeber: SZS Zürich, vier Ausgaben pro Jahr als steeldoc mit Schwerpunktthema oder steeltec mit technischen Neuerungen.
- *Stahlbau*, Ernst & Sohn, Berlin, Deutschland (www.ernst-und-sohn.de/stahlbau), die Fachzeitschrift des Stahlbaues seit 1928, erscheint monatlich.
- *ÖSTV-Richtlinien*, Österreichischer Stahlbauverband (www.stahlbauverband.at).
- DAST, Deutscher Ausschuss für Stahlbau, Düsseldorf (www.deutscherstahlbau.de/dast).
- Bemessungshilfen, Arbeitshilfen sowie *BFS-Richtlinien*, bauforumstahl (www.bauforumstahl.de).

1.4 Konventionen

1.4.1 Terminologie und Typologie

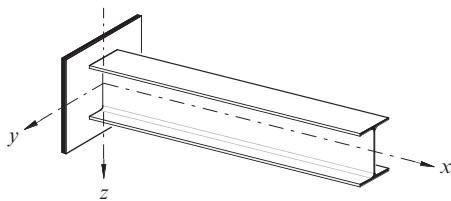
Den Konventionen der TGC-Reihe entsprechend wurden die folgende Terminologie und Typologie übernommen:

- Das Buch ist unterteilt in Kapitel und Abschnitte.
- Die Gleichungen ausserhalb des Textes sind pro Kapitel fortlaufend mit zwei Ziffern in runden Klammern nummeriert (Ausnahme: die Gleichungen aus dem Eurocode sind nicht nummeriert). Eine Nummerierung im Text, z. B. (6.18), gibt immer einen Hinweis auf eine Gleichung ausserhalb des Textes.
- *Kursive Schrift* stellt im Text gewisse Begriffe heraus, sie stehen für die Eurocode-Ergänzungen, für Zitate sowie für fremde Ausdrücke.
- Eine ganze Zeile mit *kursivem Text* entspricht einer Information bezüglich des Eurocodes.
- **Fettgedruckte Schrift** wird verwendet, wenn ein neuer Begriff eingeführt wird, um die Stelle zu finden, wo er definiert ist. Fettgedruckte Begriffe sind mehrheitlich im Stichwortverzeichnis am Schluss des Buches aufgeführt.

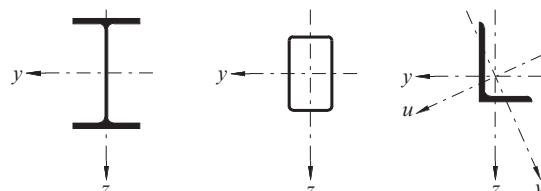
1.4.2 Achsen

Die orthonormierten Achsbezeichnungen in diesem Buch stimmen mit denjenigen in den SIA-Normen und den SZS-Publikationen überein. Die allgemeine Konvention für Stabachsen ist die folgende (Bild 1.1):

- x-Achse:* Achse in Stab-Längsrichtung,
y-Achse: Achse im Querschnitt quer zur Längsachse, parallel zu den Flanschen beziehungsweise zur Schmalseite von Hohlprofilen (Hauptachse) oder zum kleineren Schenkel von Winkelprofilen,
z-Achse: Achse im Querschnitt quer zur Längsachse, senkrecht zur *y*-Achse und senkrecht zu den Flanschen beziehungsweise zur Schmalseite von Hohlprofilen (Hauptachse) und parallel zum grösseren Schenkel von Winkelprofilen.



(a) Stabelement mit Koordinatensystem



(b) Querschnitte mit Koordinatensystem

Bild 1.1 Achskonvention für Stäbe.

Die Richtung der drei Achsen untereinander wird mit der sogenannten „Rechte-Hand-Regel“ definiert.

Die Verformungen in die drei Stabrichtungen x , y und z werden mit u , v und w bezeichnet. Bei Winkelprofilen und anderen asymmetrischen Profilen werden die Hauptachsen auch mit u und v bezeichnet, falls sie nicht mit der x - und y -Achse übereinstimmen.

1.4.3 Verständigung und Vorzeichen

Am Schluss des Buches ist eine ausführliche Liste der Bezeichnungen aufgeführt, welche kompatibel ist mit den einschlägigen SIA-Normen und Szs-Tabellen; es gibt zudem Legenden zu einzelnen Formeln.

Für die Vorzeichen gelten folgende Regeln: Zugkräfte sind positiv, Druckkräfte sind negativ. Die Vorzeichen der Biegemomente richten sich nach den Vorgaben der Statik. Positive Biegemomente sind in der Regel auf der Zugseite eines Stabes aufgezeichnet. Diese Regeln dürfen allerdings nicht in jedem Fall blind angewendet werden, weil gewisse Interaktionsformeln mit den Absolutwerten der Kräfte angewendet werden. Solche Ausnahmen werden im Text vermerkt.

1.4.4 Einheiten

Das Buch basiert auf dem internationalen Einheitensystem (SI). Die Grundeinheiten sind Meter, Kilogramm und Sekunde. Das Newton [N] ist die physikalische Masseinheit für die Kraft einer Masse von 1 kg mit einer Beschleunigung von 1 m/s², 1 N = 1 kg m/s². Die systematischen Einheiten sind somit die Folgenden:

Abmessung:	Millimeter (mm) oder Meter (m),
Einzellast:	Kilonewton (kN) oder Newton (N),
gleichmäßig verteilte Last:	Kilonewton pro Quadratmeter (kN/m ²) oder Kilonewton pro Laufmeter (kN/m),
Spannung:	Newton pro Quadratmillimeter (N/mm ²).

Um allfällige Verwechslungen bezüglich der Einheiten zu vermeiden, wird in den Übungsbeispielen daran erinnert. Das ermuntert gleichzeitig zu einer gewissen Gründlichkeit in der Berechnung und verhindert größere Fehler.

1.5 Kurzer historischer Abriss des Stahlhochbaues

Im Literaturverzeichnis sind weitere Quellen angegeben [1, 2].

1.5.1 18. und 19. Jahrhundert

Eisen ist Mitte des 18. Jahrhunderts als Konstruktionsmaterial in Erscheinung getreten, damals als die üblichen Baumaterialien noch Holz und Stein waren. Seine Hauptanwendungen waren vor allem Verzierungen und Verstärkungen von Trag-

werken und in grosser Zahl als Agraffen (Krampen) zum Verbinden und Fixieren von Steinelementen. Am Ende des 18. Jahrhunderts waren Eisenteile nicht mehr in den Mauern versteckt, sondern bildeten Hauptelemente von Konstruktionen und trugen zu einer neuen Form der Architektur bei. Im Kontext der Industrialisierung und der ungeheuren Fortschritte, die sich vollzogen, war die Intention der Architekten unmissverständlich: die neuen technischen Möglichkeiten zu nutzen, welche sie zu dieser Zeit als konform betrachteten. Ebenso zeigte sich ihre Vorliebe für den Stahl mit den Vorfabrikation und Trockenmontage. Ein Vorreiter der Stahlbauweise war Victor Louis, der 1786 die erste nur mit Stahl realisierte Konstruktion baute, das Dach des „Théâtre Français“ in Paris. Die Architekten des Modernismus versuchten mit Gründlichkeit und Einsatz den Grundstein für eine neue Tradition zu legen.

Mit dem Eisen wurden die Vorstellungen oder Methoden des Entwerfens über den Haufen geworfen. So arbeitete der Planer nicht mehr mit einzelnen gegossenen Elementen, sondern mit Standardprofilen (I, T, L) wo der Zusammenbau mit erprobten Lösungen möglich war. Dieser einmalige Übergang zu genormten Elementen war nur möglich Dank der zahlreichen Entwicklungen im Bereich des europäischen Eisenbahnbau. Das führte wiederum Anfang des 19. Jahrhunderts zu den ersten Gusseisen-Profilen in I-, T- oder L-Form.

Der Erfolg der Standardisierung und Vorfabrikation von Metallkonstruktionen wäre ohne Nieten nicht möglich gewesen. Dieses Verbindungsmittel erlaubte nun praktisch unbegrenzte Möglichkeiten der Kombination von Standardprofilen und ermöglichte Lösungen für die unterschiedlichsten Probleme, die sich stellten.

Die neuen Verbindungsmittel und die zahlreichen Standardprodukte führten zu einer revolutionären Architektur, welche mit Eisen, Stahl und Holz konstruierte. Das bedeutendste Werk dieser neuen Bewegung war dasjenige von Joseph Paxton. Dieser entwickelte um 1850 eine Sammlung von Regeln für Metallkonstruktionen zusammen mit Glaselementen. Durch die Konstruktion von vielen Prototypen legte er die Basis für eine modulare Architektur und schuf praxisbezogene Anwendungen für die vollständige Vorfabrikation von Komponenten eines Gebäudes. Die spektakulärste Konstruktion, bei der Paxton alle seine Theorien anwendete, war der *Cristal Palace* (Bild 1.2), erbaut 1851 für die Weltausstellung in London. Dieses Gebäude basierte auf einem Verkleidungselement aus Glas von 2,44 m, das auf der Metallkonstruktion auflag. Die Montage der gesamten Konstruktion dauerte nur vier Monate, ein Rekord für ein solches Volumen. Nebenbei zeigte Paxton auch die wirtschaftlichen Vorteile seiner Konzeption auf.

Danach wurde die Anwendung von Eisen vor allem wegen den Vorfabrikationsvorteilen bevorzugt. Danach wurde die Anwendung von Eisen vor allem wegen den Vorfabrikationsvorteilen bevorzugt. Die *Lime Street Station* in London von Turner und Locke war eines der ersten Bauwerke, welches die Begeisterung für eine Architektur mit Stahl und Glas weckte. Das plötzliche Wachstum der Städte und des Handels begünstigte die Schaffung von unterschiedlichsten Bauwerken (Hallen, öffentliche Gebäude, Geschäfte, überdeckte Passagen, Vordächer usw.) und bevorzugte den Gebrauch dieser beiden Materialien. Als Beispiele können folgende Bauten in Paris genannt werden:



Bild 1.2 Cristal Palace in London, 1851. Foto: Roger-Viollet, Paris

- Die Nationalbibliothek, 1868 erbaut von Henri Labouste, ein Beispiel der transparenten Architektur. Das Dach des grossen Lesesaals besteht aus einer Metallkonstruktion mit einer Reihe von nebeneinanderliegenden Kuppeln. Die Dachverkleidung besteht aus Stahl und gewährleistet den Lichteinfall in den Lesesaal.
- Die Fassaden der Handelshäuser in der „rue Réamur“.
- Die grossen Verglasungen der „Société Générale“.
- Die „Magasins du Printemps“ und die „Galeries Lafayette“.

Die Fortschritte auf dem Gebiet der Produktion von Metallkonstruktionen führten zur Entwicklung eines neuen Materials, dem *Stahl*. Dieser wurde direkt aus Eisen gewonnen und erschien Ende des 19. Jahrhunderts und veränderte noch einmal den Bausektor.

Die Möglichkeiten dieses neuen Materials bewirkten die Modifikation der Anschlussverfahren, der Walztechnik und der Bemessungsmethoden. So wird mit dem Schweißen eine punktuelle Nietverbindung zu einer linienförmigen Verbindung. Mit der Verfügbarkeit von Stahl gewinnen ebenfalls die Abmessungen der im Werk hergestellten Profile an Bedeutung. Es ist nun möglich, Profile mit einer Länge von mehr als 6 m einzusetzen. Auch erreichte Ende des 19. Jahrhundert die rasant steigende Menge des verbrauchten Stahls eine Wachstumsrate von mehr als 25 %.

In der Schweiz entstanden die ersten Stahlbau-Konstruktionen Mitte der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts [3]. Eines der ersten Gebäude mit einem Stahlskelett als Haupttragstruktur war die Börse in Zürich, entworfen 1878 von Albert Müller. Das Gebäude hatte eine Abmessung von 32,5 m Länge, 21,8 m Breite und 17 m Höhe und wurde nach den Berechnungen von Prof. Ludwig Tetmajer (Tetmajer-Gerade) von der Firma Ott realisiert.

In dieser Zeit entstanden andere Bauwerke mit grossen Abmessungen wie die Bahnhofshalle in Zürich (Bild 1.3), ausgeführt 1867 nach den Plänen des Ingenieurs Heinrich Gerber (Erfinder des Gerber-Trägers) durch die Maschinenfabrik Augs-

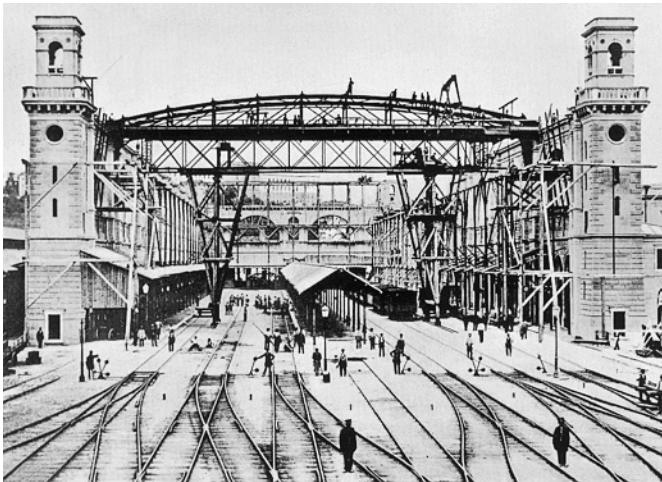


Bild 1.3 Bahnhofshalle Zürich, 1867. Foto: Stahlbauzentrum Schweiz, Zürich

burg-Nürnberg. Ebenso wurden die Bahnhöfe von Fribourg (1875) und von Bellinzona (1884) in Stahl erstellt.

Nach dieser Epoche – wie aus der Broschüre des Verbandes Schweizerischer Brückenbau- und Stahlhochbau-Unternehmungen (V.S.B) [3] zitiert – „*haben die Stahlkonstruktionen dank der Entwicklung unserer grossen Städte und der Industrie-Unternehmungen ein rasches Wachstum genommen*“. Die nachfolgenden Beispiele zeugen vom Wachstum der Stahlbauweise in der Anwendung von Gebäuden:

- das Stadttheater von Zürich, ausgeführt 1890–1891 nach Berechnungen von Prof. W. Ritter,
- das Dach und die Kuppel der Kirche Zürich-Enge, 1892–1894,
- die Kuppel des Bahnhofs Luzern, 1894–1895,
- die Kuppel des Bundeshauses in Bern, 1899–1900,
- der Bahnhof Olten, 1899–1900.

Die Broschüre des V.S.B [3] präzisiert, dass

schon ab 1890 dem Stahlbau der Vorzug für grosse Gebäude gegeben wurde, im Speziellen den Lagerhallen in Basel und Zürich wie auch für Hotels in Luzern und andernorts. Das Geschäftshaus Jelmoli in Zürich [Bild 1.4], 1898 von Stalder und Usteri erbaut, verdient eine spezielle Erwähnung, weil es das erste ganz in Stahl erbaute Gebäude war. Dieses auf dem Beispiel des monumentalen Gebäudes „Printemps“ in Paris erstellten Bauwerks war das erste, welches uns die in Stahlkonstruktionen innenwohnenden Vorteile aufzeigte: weiträumig gut beleuchtete Säle, grosse Schaufenster, Raumgewinn und Sicherheit im Brandfall.

Der Stahl wurde mehr und mehr verwendet und trug dazu bei, obwohl versteckt angewendet, unseren Städten ein modernes Erscheinungsbild zu geben. Zwischen 1890 und 1900 zögerten die grossen Maschinen- und Energie-



Bild 1.4 Geschäftshaus Jelmoli in Zürich, 1898. Foto: Stahlbauzentrum Schweiz, Zürich

Unternehmen nicht, für ihre Werkstätten und Lagerhallen auf den Werkstoff Stahl zurück zu greifen.

Genannt werden:

- Escher und Wyss in Zürich, 1891,
- Dubied in Couvet, 1891–1892,
- Brown Boveri & Cie. in Baden, 1891–1892,
- Saurer in Arbon, 1893–1894,
- Gas- und Wasserwerke in Basel, 1890,
- Gaswerke in Zürich, 1897–1898.

1.5.2 Erste Hälfte des 20. Jahrhunderts

Während dieser Zeitspanne litt der Stahlbau in starkem Masse unter der Konkurrenz durch den Betonbau. Die Begeisterung für dieses neue Material bei Architekten und Ingenieuren bewirkte einen spürbaren Rückgang der während in dieser Epoche mit Stahl erstellten Bauten. Dennoch entwickelten mehrere Planer weiterhin mittels Prototypen die Basis für eine wirtschaftliche und rationelle Architektur und versuchten, die Berufswelt für die Vorteile von Stahlkonstruktionen zu sensibilisieren.

Die Kunstakademie in Glasgow, in zwei Phasen um 1896 und 1909 erbaut durch C.R. Macintosh, enthielt grosse geneigte mit Stahl und Glas ausgeführte Flächen, welche viel Licht in die Ateliers eindringen liessen und einer der ersten Prototypen bezüglich der Stahlbauten des ausgehenden 19. Jahrhunderts war.

Die Planung der ersten Industriehallen trug dazu bei, die Verwendung von Stahl im Bausektor beizubehalten. Die Schlachthöfe von Lyon (Bild 1.5), erbaut von Tony Garnier im Jahr 1917, sind dafür ein gutes Beispiel.



Bild 1.5 Schlachthöfe von Lyon, 1917. Foto: Inventaire général Röhnes-Alpes, ADAGP, L.M. Raffle, 1997

Neben den erwähnten Gebäuden zeugen viele Werke von der effektiven Entwicklung des konstruktiven Stahlbaus in Europa während der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts und dies trotz des Aufschwungs der Betonbauweise. Unter den bekanntesten sollen die Folgenden erwähnt werden:

- die Turbinenwerke von AEG in Berlin, entworfen von Peter Behrens 1909,
- der *Glashauspavillon* der Messe in Leipzig von Bruno Taut, 1914, bestehend aus einer vergoldeten Kuppel über einer achteckigen Pyramide, aus Rauten mit Glas und einer Stahlkonstruktion,
- das Warenhaus Petersdorff in Breslau von Erich Mendelsohn, 1927, mit Fassaden vollständig aus Stahl und Glas erbaut,
- der Pavillon in Barcelona von Mies van der Rohe, 1929,
- das Gebäude Clarté in Genf von Le Corbusier, 1930,
- das „Glashaus“ in Paris von Pierre Charreau, 1932.

In den USA war die Situation des Stahlbaus das Gegenteil von Europa. Der Werkstoff Stahl entsprach zufriedenstellend den Erwartungen für die Erstellung von hohen Gebäuden und wurde entsprechend sehr viel als Konstruktionsmaterial verwendet. Unter den bedeutendsten sind einige Werke von Mies van der Rohe erwähnt:

- *Minerals and Metals Research Building*, Chicago (1942),
- *Alumni Memorial Hall*, IIT Campus, Chicago (1945–1946),
- *Farnsworth House*, Plano, Illinois (1946–1947),
- *Lake Shore Drive Apartments*, Chicago (1948–1950).

In der Schweiz erwähnt die Broschüre des V.S.B [3] dass

die Entwicklung des Stahlbaus eng an die Vergrösserung der Städte gebunden war. Es ist offensichtlich, dass in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts

die Bevölkerung mehr und mehr in die Städte zog. Umso mehr sich diese ausdehnten, drängten die Geschäftsviertel in die Innenstädte, was aufgrund der hohen Bodenpreise dazu führte, höhere Gebäude zu errichten. Auf der anderen Seite bemühte man sich, im gleichen Gebäude Büros und Geschäfte unterzubringen. Um diese Anforderung zu erfüllen, musste man den vorhandenen Raum optimal nutzen, was zur Folge hatte, nicht nur in die Höhe zu bauen, sondern auch die Wand- und Deckenstärken sowie die Stützenabmessungen zu reduzieren. Dieses neue Problem wurde mit verschiedenen nutzbaren Stockwerken gelöst, wo die massiven Konstruktionen durch eine skelettartige Konstruktion ersetzt wurden. Die Stahlbauweise erwies sich nun mit den vielen Vorteilen als sehr gefragt für den Bau von grossen Geschäftshäusern. Ähnliche Probleme stellten sich für andere städtische Bauten wie Hotels, Schulen, Theater, Kinos und Lager, für welche man rationelle Lösungen suchte.

Unter den zahlreichen Stahlbauten dieser Zeitepoche werden die Folgenden erwähnt:

- Hotel Cornavin in Genf (1930),
- Turm des „Bel-Air Métropole“ in Lausanne (1931–1932), (Bild 1.6),
- die grossen Lagerhallen „Rheinbrücke“ in Basel (ca. 1940),
- das Kino Rex in Zürich (ca. 1945),
- die grossen Lagerhallen „Innovation S.A“ in Lausanne (1949).

Im Bereich von Wohnbauten in Stahlbauweise wurden zwischen den beiden Weltkriegen mehrere bildhafte Bauten erstellt wie das Gebäude „Clarté“ von Le Corbusier in Genf oder die Häuser des Doldertals von Marcel Breuer und Alfred und Emil Roth in Zürich. Im Zeitalter des Modernismus regte der Stahl mit seinem unerwarteten architektonischen Ausdruck, den kühnen Spannweiten und der Feinheit der Konstruktion die Fantasie der Architekten an und versprach nichts weniger als eine neue Ära des Konstruierens. Wir wissen heute, dass dies für Wohnbauten nicht der Fall war.

Im Bereich der Industriegebäude dagegen wird Stahl ab Beginn des 20. Jahrhunderts verwendet und die Erfolgsstory ist ungebrochen. Tatsächlich wurde Stahl in der Folge mehr und mehr in der Industrie aufgrund der wirtschaftlichen und technischen Leistungsfähigkeit sowie der Leichtigkeit verwendet. Unzählige Beispiele von Industriehallen aus Stahl zeugen davon, beispielhaft die folgenden:

- die Spinnereihallen in Obfelden (1947),
- die Stahlwerke von Louis von Roll in Choindez (ca. 1940–1945).

Das Ende der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts war geprägt durch die Ausführung von zahlreichen Hangars und Hallen in Stahl:

- Festhallen der Landesausstellung in Zürich mit beweglichem Dach (1939), vor einiger Zeit in Bulle rekonstruiert mit festem Dach durch die Firma Bernard Sottas SA nach Plänen des Ingenieurbüros Barras SA (1996) (Bild 1.7),



Bild 1.6 Turm „Bel-Air Métropole“ (1931–1932). Foto: Archives de la construction moderne, Lausanne

- Hangars auf dem Flughafen Zürich-Kloten (1949),
- die überdachte Radrennbahn in Oerlikon (1949–1950),
- die Halle des Comptoir Suisse in Lausanne (1951) (Bild 1.8).

1.5.3 Zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts

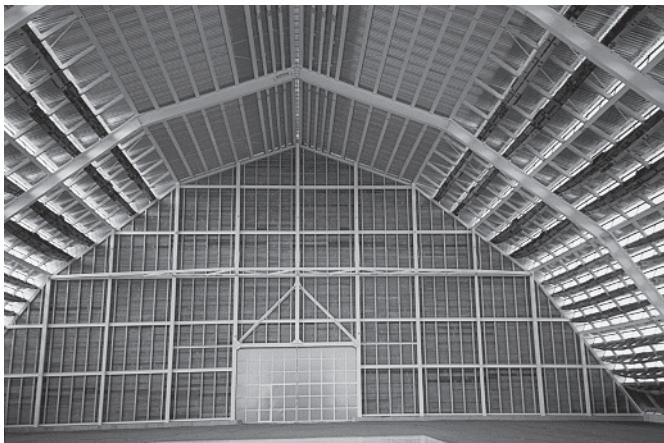
Die Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg war geprägt durch das dringende Bedürfnis des Wiederaufbaus. Eine schnelle Ausführung, der sparsame Umgang mit den Mitteln und die Rationalisierung waren die Auflagen für die Planer dieser Zeit. Der Stahlbau wurde von Ingenieuren und Architekten befürwortet, weil er perfekt diesen Bedürfnissen entsprach und von einer leistungsfähigen Stahlindustrie profitieren konnte (entscheidende Entwicklungen zwischen den Jahren 1940–1950 aus militärischen Gründen). Das führte erneut zu einer vermehrten Verwendung von Stahl als Konstruktionsmaterial.

Der deutsche Pavillon für die Weltausstellung in Brüssel 1958 von Egon Eiermann ist ein Beispiel eines Bauwerkes, dessen Teile vollkommen in der Werkstatt vorgefertigt wurden. Dieses Werk ist gekennzeichnet durch eine leichte Stahlkonstruktion, die in keiner Weise die angestrebte Transparenz verhindert und in der Fassade Glastafeln angeordnet hat.

Der Wiederaufbau der im Krieg zerstörten Stadtteile in Berlin war eine Nagelprobe für die Stahlbauweise. Als Beispiel kann der gesamte Campus in Berlin-Dahlem von Wood und Schildhelm, erbaut 1963–1973, genannt werden, der überwiegend in



(a)



(b)

Bild 1.7 Hallen „Landi“: (a) um 1939 in Zürich. Foto: Stahlbauzentrum Schweiz, Zürich; (b) um 1996 in Bulle. Foto: Auguste Barras, Bulle

Stahl gebaut wurde. So ist das Tragskelett der Bauten vollständig in Stahl und die Fassaden bestehen aus vorgefertigten Metalltafeln.

Die 1970er-Jahre waren geprägt durch das Auftreten eines neuen Architekturtypus basierend auf der Betonung der Hochtechnologie. Die Vorreiter dieser *High-Tech*-Architekturströmung waren Norman Foster und Richard Rogers, Renzo Piano und Peter Rice [4–6]. Unter den bekanntesten Konstruktionen können erwähnt werden:

- „Centre Georges Pompidou“, erbaut 1972–1977 von Renzo Piano, realisiert durch das Ingenieurbüro Ove Arup & Partners unter der Leitung von Peter Rice, deren Stahlstruktur aus 14 modularen Rahmen besteht. Das Gebäude zeigt alle ansons-

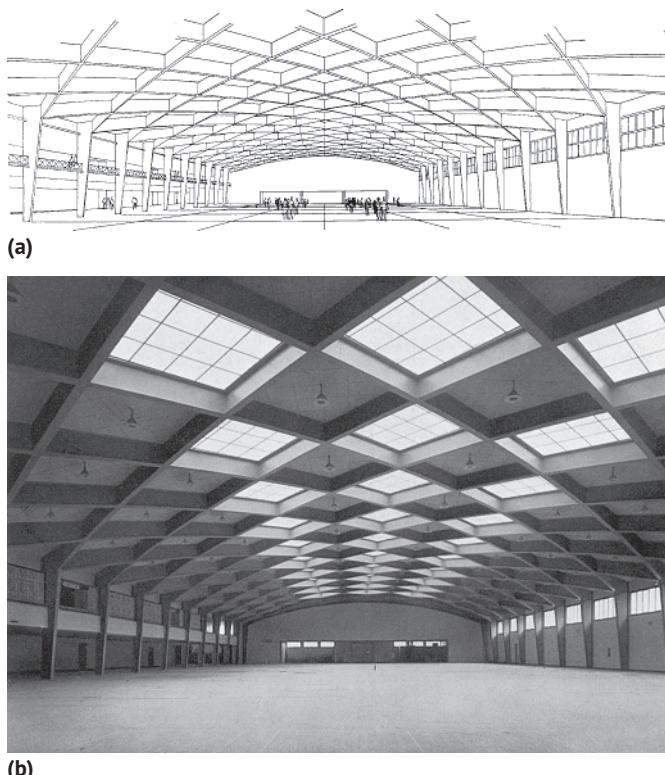


Bild 1.8 Comptoir Suisse in Lausanne, 1951. Foto: Stahlbauzentrum Schweiz, Zürich

ten versteckten Versorgungsanlagen, Treppen und Lifte in der Aussenfassade mit Farben je nach Funktion der einzelnen Leitungen.

- Das Labor der Universität Cambridge-Hertfordshire, 1979 von Richard Rogers erbaut, eine Stahlkonstruktion versehen mit vorfabrizierten Sandwich-Paneelen. Die gesamten Technikleitungen sind sichtbar und verleihen dem Inneren eine Struktur, die wie eine besondere Plastikkunst wirkt.

Man musste nun die Mitte der 1980er-Jahre abwarten, um die ersten Anzeichen einer erfinderischen Architektur – den Charakter des heutigen Stahlbaus – zu erkennen. Die Gewächshäuser des botanischen Gartens *Lucile Halsell Conservatory* von San Antonio (Bild 1.9), erbaut von Emilio Ambasz um 1986–1987, bestehend aus einer Rohrkonstruktion mit dreidimensionalen Knoten, die mit einem EDV-Programm berechnet wurde, sowie mit Glaspaneelen ohne Kämpferprofile, zeugen vom technischen Einfallsreichtum dieser Zeit.

Die Wiederentdeckung von Stahlkonstruktionen in der Mitte der 1980er-Jahre ist im Handbuch „Construire en acier“, erschienen 1995 im Verlag *Le Moniteur*, wie folgt beschrieben:



Bild 1.9 Gewächshaus von *Lucile Halsell Conservatory*, San Antonio. Foto: Richard Payne, Houston

... als Ergebnis der jüngsten Konjunktur ebenso wie einer langsamen Reifung. Die Verwendung von Stahl erlaubt eine bessere Produktionskontrolle und lässt Planung und Ausführung besser übereinstimmen. Die aktuelle Tendenz geht in Richtung abstrakter Referenzen wie Informatik oder Biologie. Die „Maschinen“, von denen man träumt, sind glatt und ergonomisch und voll von Bildschirmen und Mikroprozessoren. In diesem Zusammenhang bevorzugt die Architektur des ausgehenden 20. Jahrhunderts kontinuierliche Verkleidungen, erfindet Flugzeugflügel, errichtet Türme und kleidet sich in Häute aus Glas und Stahl.

Einige Beispiele sind das „Hôtel industriel“ in Pantin (Bild 1.10), 1990 erbaut von Jean Nouvel mit einer Konstruktion und Verkleidung in Stahl, die Glashalle der Neuen Messe Leipzig (Bild 1.11) erbaut um 1995–1996 von Ian Ritchie, von Gerkan, Marg und Partner sowie Stefan Polonyi mit einer Tragstruktur in Stahl und einer Eindeckung aus Glas mit veränderlichem Lichteinfall. Für diese Art kann man weitere bemerkenswerte Bauten nennen wie:

- Der Berliner Hauptbahnhof anstelle des historischen Lehrter Bahnhof wurde 2006 fertiggestellt und ist einer der grössten Bahnhöfe in Europa. Er besteht aus einem 321 m langen Dach in Bogenform mit einer Spannweite von 66 m ohne Zwischenstützen; das Dach besteht aus Glas und enthält teilweise Photovoltaik-elemente.
- Das Hochhaus an der 30 St Mary Axe in London, auch bekannt als Swiss-Re Tower oder aufgrund seiner Form als „The Gherkin“, wurde 2004 fertiggestellt. Hier werden Norman Fosters Erfahrungen mit Hochhäusern, z. B. auch das Commerzbank-Hochhaus in Frankfurt, erneuerbaren Energien und mit Stahl-Glas-Konstruktionen deutlich.

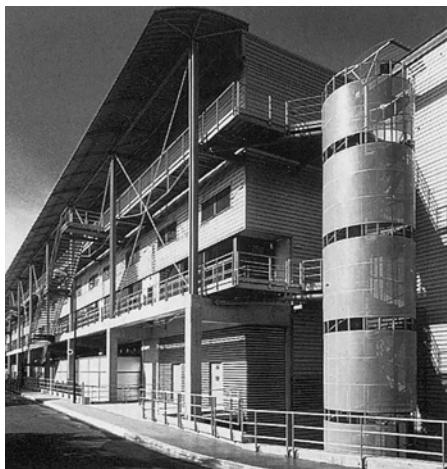


Bild 1.10 „Hôtel industriel“ in Pantin.
Foto: Archipress, Paris



Bild 1.11 Glashalle Neue Messe Leipzig. Foto: Leipziger Messe, Leipzig

In der Schweiz war diese Zeit geprägt durch die Ausführung von vielen Stahlbauten für die öffentliche Hand (Verwaltung, Schulen, Sportzentren) und viel weniger im privaten Sektor (Bürogebäude, Einkaufszentren). Folgende bemerkenswerte Bauten sind nachfolgend erwähnt:

- Verwaltungsgebäude von Nestlé in Vevey erbaut 1957–1960 vom Architekten Jean Tschumi, erweitert 1974 und saniert 1997–1998 durch die Architekten Richter & Dahl Rocha und dem Ingenieurbüro Tappy, Bornand & Michaud,
- die erste Etappe der Universität Lausanne-Dorigny, 1969–1970 erbaut vom Architekten- und Ingenieurkonsortium B. Janin & T. Girard und L. Gabella,
- das Verwaltungsgebäude von Bobst SA in Prilly erbaut 1978–1979 vom Architekten J.P. Cahen und den Ingenieuren A. Kugler und F. Matter,

- die Sporthallen der eidgenössischen Hochschule für Sport in Magglingen, 1975–1981 erbaut vom Architekten M. Schlup und den Ingenieuren Schaffner & Dr. Mathys und Schmid,
- diverse Gebäude des Flughafens in Genf (Kontrollturm, Frachthalle, Ausstellungshalle, Gebäude der Gepäcksortierung, Eventhalle usw.),
- Gebäude der ersten Etappe der ETH Lausanne-Ecublens, 1977–1983 von den Architekten Zweifel & Strickler,
- das beheizte Gewächshaus des botanischen Gartens in Genf, 1987 erbaut von den Architekten Lamunière & van Bogaert, Marchand & Partner, Ritter, Sauty & Partner, Châtelain & Konsorten, Ingenieur J.-M. Yokoyama,
- die Postautostation in Chur, 1991–1992 von den Architekten R. Brosi und Obrist & Partner, Ingenieure Toscano, Hegland & Partner und Ove Arup & Partner,
- das Verwaltungsgebäude in Langenthal, 1996, des Architekten Geiser und den Ingenieuren Duppenthaler & Wälchli,
- das Swisscom-Gebäude in Lausanne-Ecublens, 1996 erbaut von den Architekten R. Lüscher, Mitarbeiter D. Linford, den Ingenieuren Hitz & Partner und D. Crottaz,
- der 1998–1999 von Theo Hotz erstellte Bau der Halle 1 der Messe Basel, ein mehrstöckiger Stahlbau, 200 m lang und 90 m breit mit einer vorgehängten Glasfassade auf beiden Längsseiten,
- es folgten der Messeturm in Basel, erbaut in den Jahren 2001–2003, ein 105 m hohes Hochhaus von den Architekten Meinrad Morgner, Daniele Marques und Heinrich Degelo,
- Überdeckung des Messeplatzes in Basel von Herzog & De Meuron, 2011–2013.

Wieso konnte sich der Stahlbau für grosse Wohnbauten nicht durchsetzen? Einige Architekten haben sich damit befasst, Stahl auch bei Wohn- und Bürogebäuden einzusetzen. Zu nennen sind z. B. die Residenz Dolderpark über der Kurhausstrasse in Zürich von Marcel Thoenen oder das Gebäude „zur Schanze“ der Architekten René Herter und Werner Stücheli. Letzterer war zu Beginn des 21. Jahrhunderts der Initiator für die Wiederentdeckung von Stahl durch die Architekten Romero & Schaeffle sowie das Ingenieurbüro Dr. Lüchinger & Meyer in Zürich (siehe Bild 1.12). Allerdings gibt es unter den Schweizer Vertretern dieser Stahl- und Glasarchitektur, der sogenannten Solothurner Schule, erstaunlicherweise kein grosses Wohnhaus in Stahlbauweise. Die Beispiele von Wohnbauten sind Raritäten geblieben, die Konstruktionsweise bleibt weiterhin fest beim Betonbau. Die Widerstände für den Einsatz von Stahl waren und bleiben die konkrete Antwort auf die Anforderungen der *Brandschutzsicherheit*, die akustische und thermische Trennung oder die wichtigen finanziellen Risiken gegenüber einer als neu betrachteten Konstruktionsart – obwohl genau diese Konstruktionsart de facto einen raschen „return on investment“ anbietet. Dazu kommt heute die neuere Herausforderung bezüglich Energieeffizienz. In den Unternehmungen, wo sich die Konstruktionstechniken als bewährt erweisen, hören Weiterentwicklungen und Verfeinerungen nicht auf und man wird mit ganzer Kraft ausgetretene Pfade verlassen. Sind doch die konkreten Antworten auf die genannten Herausforderungen vorhanden [7]. Für eine vermehrte Ver-



Bild 1.12 Gebäude „zur Schanze“ mit Aufstockung in Zürich.

wendung von Stahl für Tragwerke insbesondere für Wohnbauten braucht es bessere Kenntnisse über die Stahlbauweise, was mit der Ausbildung von Architekten und Ingenieuren beginnt; man muss es wagen. Wir möchten mit dem vorliegenden Buch dazu beitragen.

1.6 Literaturverzeichnis

- 1 Bollinger, K. et al. (2011). *Atlas moderner Stahlbau – Material, Tragwerksentwurf, Nachhaltigkeit*. Verlag Detail.
- 2 Verein deutscher Eisenhüttenleute (Hrsg.) (1995). *Stahl im Hochbau, Bd. 1, Anwendungshandbuch*, 15. Aufl. Düsseldorf: Verlag Stahleisen M B H.
- 3 VSB (1950). *La construction métallique en Suisse, Union des constructeurs suisses de ponts et de charpentes métalliques*. Zurich et Brugg.
- 4 Sudjic, D., Foster, N., Rogers, R. und Stirling, J. (1986). *New Directions in British Architecture*. London: Thames & Hudson.
- 5 Buchanan, P. (1993). *Renzo Piano Building Workshop: Complete Works*. London: Phaidon.
- 6 Rice, P. (1993). *An Engineer Imagines*. London: Artemis.
- 7 Braun, D. (2019). Structural Steel Reuse: assessment, testing and design principles, rapport SCI P427, The Steel Construction Institute, London.