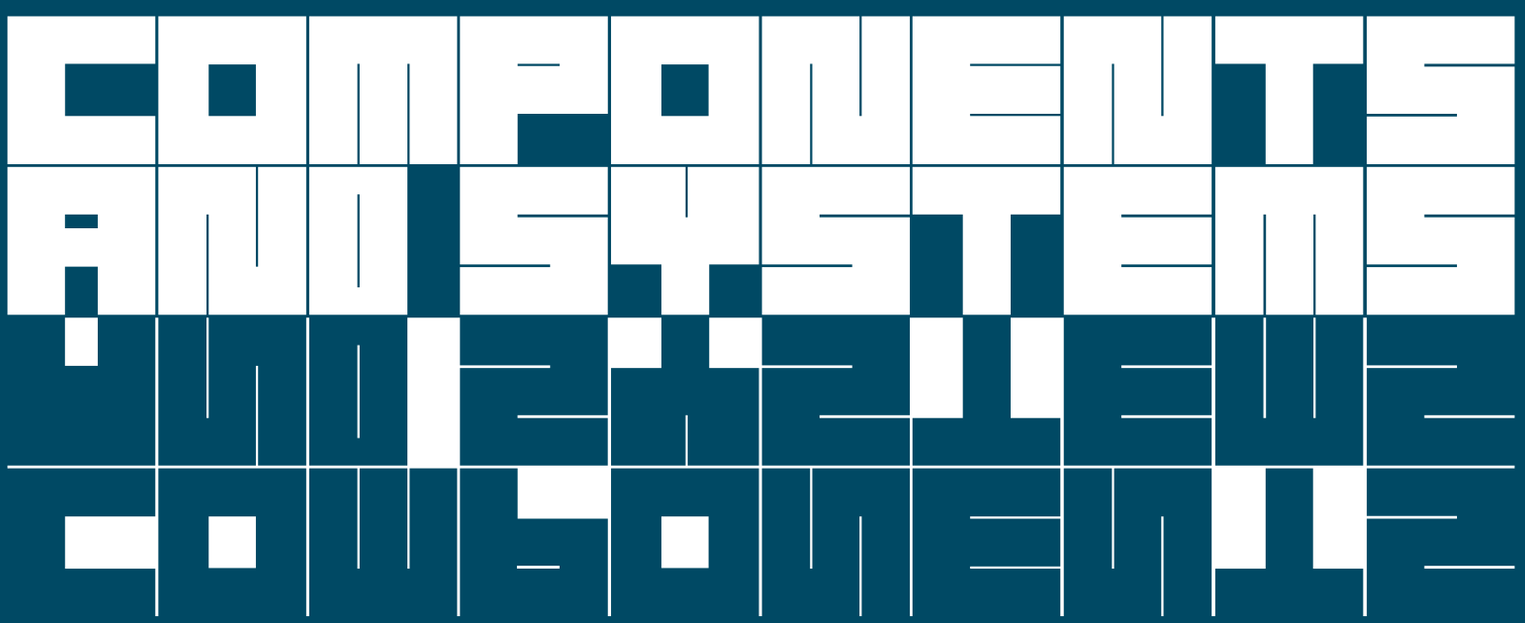
Edition**DETAIL**

STAIB
DÖRRHÖFER
ROSENTHAL

COMPONENTS AND SYSTEMS

MODULAR CONSTRUCTION

DESIGN · STRUCTURE
NEW TECHNOLOGIES



Edition **DETAIL**

Staib
Dörrhöfer
Rosenthal

ELEMENTE +SYSTEME

MODULARES BAUEN

ENTWURF
KONSTRUKTION
NEUE TECHNOLOGIEN

Edition DETAIL – Institut für internationale
Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG
München

Birkhäuser
Basel · Boston · Berlin

Impressum

Autoren

Gerald Staib
Prof. Dipl.-Ing. Architekt
Lehrstuhl für Baukonstruktion und Entwerfen, TU Dresden

Andreas Dörrhöfer, Dipl.-Ing.
Lehrstuhl für Baukonstruktion und Entwerfen, TU Dresden

Markus Rosenthal, Dipl.-Ing.
Lehrstuhl für Baukonstruktion und Entwerfen, TU Dresden

Fachbeitrag:

Jan Knippers, Prof. Dr.-Ing.
Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen, Universität Stuttgart

Thorsten Helbig, Dipl.-Ing.

Redaktion

Projektleitung:
Steffi Lenzen

Redaktion und Lektorat:
Cornelia Hellstern

Redaktionelle Mitarbeit:
Carola Jacob-Ritz, Michaela Linder, Eva Schönbrunner, Cosima Strobl, Melanie Weber

Zeichnungen:
Marion Griese, Caroline Hörger, Emese Köszegi, Nicola Kollmann, Simon Kramer, Elisabeth Krammer, Martin Hämmel, Daniel Hajduk

Herstellung/DTP:
Simone Soesters

Repro:
Martin Härtel OHG, Martinsried

Druck und Bindung:
Kösel GmbH & Co. KG, Altusried-Krugzell

Herausgeber:
Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, München

© 2008, erste Auflage

Ein Fachbuch aus der Redaktion DETAIL.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechts.

ISBN: 978-3-7643-8655-9

Vorwort

»Elementiertes Bauen« und »Bauen mit Systemen« sind Begriffe, denen »kreativer Entwurf« zuweilen entgegen gestellt wird. Aber handelt es sich tatsächlich um unvereinbare Gegensätze? Sollten sie sich nicht vielmehr ergänzen, wenn nicht gar effektiv unterstützen?
Nicht selten existieren heute enorme und unter Umständen durchaus berechtigte Vorbehalte gegenüber elementierten Bauweisen, deren Ursprung meist im recht unreflektierten Umgang und Einsatz beim Bauen mit Elementen und Systemen in der jüngeren Vergangenheit liegt. Den »architektonischen« Konsequenzen wie beispielsweise zahllosen Plattenbauten in Osteuropa begegnet man allerorts. Wiederholungen wünscht sich niemand, sie sind jedoch auch nicht der Sinn elementierten Bauens. Angesichts stetig wachsender ökologischer und ökonomischer Anforderungen an das Bauen gewinnen Gebäude auf Basis von Bausystemen und vorgefertigten Produktionsmethoden jedoch heute wieder mehr und mehr Bedeutung.

Mit der Publikation möchten wir den Weg zu einem sinnvollen Umgang mit vorgefertigten Elementen und Systemen ebnen: weg von der Vorfertigung als Selbstzweck hin zum dienenden Instrument einer umfassenden Entwurfsidee. Vorfertigung bedeutet nicht unmittelbar Architektur von der Stange oder die »Einheitsplatte« – im Gegenteil, moderne Systeme lassen heute eine sehr individuelle Vorfertigung einzelner Bauteile mit enormem Differenzierungsgrad zu, was die Kreativität des Planers nicht beschneidet, sondern nachhaltig unterstützen kann. Die Fragen lauten vielmehr: Was ermöglichen aktuelle Vorfertigungstechniken? Wie funktionieren sie? Wie lassen sie sich optimal ausnutzen und einsetzen?

»Elemente + Systeme« gliedert sich in fünf Hauptteile mit folgenden inhaltlichen Schwerpunkten:

Eine umfassende Einführung in die Geschichte des Themas liefert Teil A des Werkes. Schon bei Nomadenvölkern der Frühgeschichte lassen sich erste Versuche vorgefertigten Bauens erkennen, während die Idee in den 1960er-Jahren mit diversen städtebaulichen und architektonischen Utopien ihren Höhepunkt erreicht. Die gestalterische Tristesse der Architektur dieser Zeit bedeutet jedoch gleichzeitig ihr »Ende«, und erst heute, fast ein viertel Jahrhundert später, besinnt man sich angesichts der wachsenden Notwendigkeit Ressourcen schonenden Bauens und der Nachfrage nach immer größerer Flexibilität im Entwurf wieder zunehmend auf den Systemgedanken.

Teil B beschreibt die technischen und konstruktiven Grundlagen des elementierten Bauens. Für den planenden Architekten relevante Begriffe wie Vorfertigungsgrad, Typisierung, Modul oder Baukastensystem werden definiert und im Zusammenhang einer integralen Planung erläutert. Neben erklärenden Ausführungen zur damit verbundenen Methodik des Fügens erleichtern Planungsstrategien den praxisnahen Einstieg in die Thematik.

Teil C umfasst die Anwendungsmöglichkeiten unterschiedlicher Systeme für die Konstruktion von Tragwerken und die dafür geeigneten Materialien. Skelett-, Paneel- und Raumzellenbauweisen stellen die wesentlichen Konstruktionsprinzipien im elementierten Bauen dar, wobei der Vorfertigungsgrad der für diese Bauweisen verwendeten Elemente eine enorme Rolle für die Gabäudekonstruktion spielt.

Gesondert davon behandelt Teil D elementierte Fassadensysteme. Besonders Systeme im Büro- und Verwaltungsbau enthalten beispielsweise häufig Rahmen, Scheibe, Unterkonstruktion und Sonnenschutz in einem Element – und diese finden sich nicht nur in der Hochhaushülle wieder, sondern gehören heute zunehmend zur Alltagsarchitektur.

Abschließend erläutert Teil E die aktuellsten Tendenzen im Bereich computergestützter Entwurfsmethoden und Fertigungstechniken. Ein Ausblick auf künftige Entwicklungen für das Bauen mit Systemen liefert neue Impulse und lässt uns gespannt in die Zukunft blicken. Hat das Bauen mit Systemen Zukunft? Und wenn ja, wie mag diese wohl aussehen? Gelingt es uns, aus den Fehlern der Vergangenheit zu lernen und diese ins Positive umzukehren?

Umfangreiche Beispiele liefern bis ins Detail zu jedem Kapitel Ideen für eine gelungene Umsetzung der Theorie in die Praxis – durchweg weit entfernt von »Einheitsbrei« und trostloser Reihung industriell produzierter Module. Sie dienen einmal mehr als Beweis, dass hoher Vorfertigungsgrad, Funktionalität und qualitativ hochwertiges Design sich nicht ausschließen.
Das Wissen um die Abhängigkeiten und Bedingungen unterschiedlicher Ordnungssysteme und Bauweisen, um das Fügen der einzelnen Bauelemente und um heutige Fertigungstechniken ermöglicht den verantwortungsvollen Umgang mit elementierten Systemen und wird guter Architektur im Element- und Systembau die Türen öffnen.

Verlag und Redaktion
München, im Mai 2008

Inhalt

Impressum **4**

Vorwort **5**

Einführung **8**

Teil A Geschichte **12**

Die Nomaden und der sesshafte Mensch 14
Ziegel 14
Naturstein 14
Holz 15
Militärwesen und koloniale Expansion 17
Eisen – die ersten Systeme 18
Elementierte Betonbauweisen 21
Rationalisierung, Serienproduktion, Typsierung und Massenwohnungsbau 22
Das vorgefertigte Haus – der Baukasten 25
Weitgespannte Raumtragwerke 31
Großstrukturen und Visionen 31
Die industrielle Fertigung – »Synonym für Fortschritt« 33
Offene Strukturen 34

Teil B Grundlagen **38**

Industrielle Vorfertigung 40
Baustellenvorfertigung und mobile Produktionsstätten 41
Bauweisen 41
Elemente 42
Typisierung 42
System – Bausystem 42
Geschlossene Systeme 42
Baukastensysteme 43
Offene Systeme 43
Bauhalbzeuge – Halbfabrikate 43
Modul 44
Raster 44
Maßkoordinaten 45
Geometrische Position von Tragwerk- und Ausbauelementen 45
Transport 45
Montage 47
Fugen 47
Toleranzen 47

Teil C Tragwerke **48**

Materialien im Systembau
Stahl 50
Holz 51
Beton 51

Skelettsysteme **54**
Stahlskelettsysteme 55
Holzskelettsysteme 61
Betonskelettsysteme 68

Gebaute Beispiele im Detail
Temporäres Wohnhaus, Paris (F) 72
Wohnhaus, Rotenburg (D) 76
Wohnhaus, Phoenix (USA) 78
Musterhaus, Tosu-City (J) 82
Wohnhaus, Sakurajosui (J) 86
Aufstockung, Preding (A) 90
Wohnhaus, Andelsbuch (A) 92
Wohnhaus, Gams (CH) 96
Modeschule, Fukuoka (J) 100
Institutsgebäude, Grenoble (F) 102
Wohn- und Bürohaus, Kassel (D) 106

Paneelsysteme **110**
Bauen mit Stahlpaneelen 111
Bauen mit Holzpaneelen 114
Bauen mit Betonpaneelen 119
Bauen mit Mauerwerkspaneelen wund Ziegelelementen 124

Gebaute Beispiele im Detail
Wohnhaus, Sumvitg (CH) 126
Wohnhaus, Dalaas (A) 128
Wochenendhaus, Tokio (J) 132
Wochenendhaus, Northport (USA) 134
Wohnhaus, Münchenbuchsee (CH) 136
Zimmerei, Feldkirch (A) 140
Technologiezentrum, München (D) 144
Werbeagentur, München (D) 148
Weingut, Fläsch (CH) 152
Hotelfachschule, Nivilliers (F) 156

Raumzellensysteme 160
Raumzellen aus Stahl 160
Raumzellen aus Holz 162
Raumzellen aus Beton 163

Gebaute Beispiele im Detail
Bürogebäude, Fellbach (D) 164
Wohn- und Geschäftshaus, Rathenow (D) 168
Bürogebäude, München (D) 172
Tomihiro Art Museum, Azuma (J) 174
Pavillon, Venedig (I) 176
Loft, New York (USA) 178
Café, Helsinki (FIN) 180
Hotelanbau, Bezau (A) 182
Fertighaus aus Dänemark (DK) 186
Transportable Wohneinheit (D) 190
Nakagin Capsule Tower, Tokio (J) 192

Teil D Gebäudehülle 194

Tragende Fassaden 196
Nichttragende Fassaden 196
Fassadensysteme aus Glas 197
Mehrschalige Glasfassaden- und Fenstersysteme 199
Fassadensysteme aus Metall 201
Fassadensysteme aus Holz 203
Fassadensysteme aus Beton 204
Fassadensysteme aus Klinkersteinen 205
Fassadensysteme aus Naturstein 205
Fassadensysteme aus Kunststoff 206

Verglaste Gitterschalen 208
Veränderung des Planungsprozesses 208
Verglaste einlagige Stabschalen aus Glas 209

Gebaute Beispiele im Detail
Westhafen Tower, Frankfurt am Main (D) 214
Bürogebäude, London (GB) 216
Uptown, München (D) 218
Hotel, Tokio (J) 220
Museum of Contemporary Art, Chicago (USA) 222

Teil E Entwicklungen 224

Von der industriellen Massenproduktion zur projektbezogenen Vorfertigung 226
Computergestütztes Entwerfen 226
Computerunterstützte Produktionsprozesse 227
Bauroboter 228
Nutzerspezifische Maßanfertigung 228
Digitale Bausysteme 229

Anhang 230

Autorenportraits 230
Verordnungen, Richtlinien, Normen 231
Literatur 232
Abbildungsnachweis 234
Personenregister 237
Sachregister 238

Einführung

»Elemente« und »Systeme« – diese Begriffe erzeugen nicht nur bei Architekten sehr schnell Assoziationen, die mit Industrieprodukten, Serienfertigung, Fließband – oder konkreter, mit Bauten der Nachkriegszeit zu tun haben. Also Bilder, die von Technik, Gleichartigkeit und auch von Monotonie geprägt sind.
Die Serienproduktion auf der Fertigungsstraße einer Autofabrik akzeptieren wir als etwas Alltägliches, dagegen finden jedoch Serien gleicher Teile in der Architektur, belastet durch die Beispiele der jüngeren Architekturgeschichte, bei uns wenig Akzeptanz. Diese Reaktion hat sicher nichts mit der Idee der »Reihung« gleicher Teile in der Architektur zu tun, sondern mit der sehr vom Technischen geprägten Anwendung industrieller Fertigelemente.

Das ist ein erster emotionaler Eindruck. Lässt man sich jedoch auf dieses Thema ein und betrachtet die Geschichte der Architektur unter besonderer Berücksichtigung dieses Aspektes, so stößt man auf hervorragende Beispiele des »Bauens mit Systemen«. Es eröffnet sich eine spannende, vielfältige, facettenreiche Seite vom *Machen* von Architektur, von der Beziehung zwischen Architektur, Handwerk und Industrie, von der Bedeutung der Konstruktion in der Architektur und von der Art und Weise, wie Architektur entsteht. Es zeigt sich, welche Hoffnungen und Wünsche in Industrie und Technik projiziert wurden, um mit ihrer Hilfe die Architektur zu erneuern. Und es zeigt aber auch, wie eindimensionale technische Entwicklungen in Sackgassen geführt haben.

Prinzipiell ist jedes Bauwerk ein Gefüge aus Wand, Decke und Dach. Für jeden Teil eines Gebäudes haben sich im Laufe der Jahre eigenständige Systemen entwickelt, sei es am Beispiel des Systems »Wand« der Ständerbau aus Pfosten und Wandausfachungen, die im Verbund geschichtete Ziegelwand oder die moderne Elementfassade, die keine tragende Funktion mehr übernimmt und nur noch den Raumabschluss bildet. Das Konstruieren mit Elementen oder in Systemen ist somit die Basis des Bauens.

Wie sich diese Techniken des Bauens mit Systemen in der Geschichte der Architektur entwickelt haben und vor allem wie damit heute gearbeitet wird, ist das Thema dieses Buches. Zu Beginn wird skizziert, wie dieser Entwicklungsprozess einem ständigen Suchen und Versuchen entsprach, das Bauen und dessen Techniken erst mit den traditionellen, später mit den neuen Materialien Eisen und Beton zu verbessern.
Den Schwerpunkt des Buches bilden die Darstellung der Möglichkeiten, die es inzwischen beim Bauen mit vorgefertigten Elementen in Systembauweise gibt, und ein Ausblick auf Potenziale und Entwicklungstendenzen unterschiedlicher Bautechniken. Betrachtet werden die Konstruktionssysteme Skelett-, Paneel- und Raumzellenbauweise anhand der Materialien Stahl, Holz und Beton.

Die Geschichte des Bauens ist auch die eines langen Differenzierungsprozesses: Das Gesamtsystem »Bauwerk« hat sich durch veränderte Ansprüche und die immer komplexer werdenden energetischen, materiellen, technischen, sowie funktionalen Bedingungen mehr und mehr zu einem vielschichtigen Gefüge differenzierter Systeme aufgelöst. Die einzelnen Elemente werden nun entsprechend ihrer speziellen Aufgabe individuell entwickelt, produziert und montiert.

Wohnhaus, Overijse (B) 2004,
Buelens Vanderlinden Architects

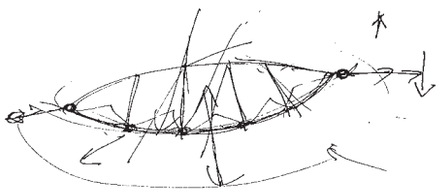
Zwei Beispiele, die diese Veränderung signifikant demonstrieren, sind das Centre Pompidou in Paris von Renzo Piano/Richard Rogers (1977) und die Hongkong & Shanghai Bank von Norman Foster (1986). Diese Gebäude zeigen nicht nur auf damaligem technisch höchstem Niveau, wie sie funktionieren, sondern auch die Aufgaben eines jeden Bauteils sind hier einzeln ablesbar. Inzwischen ist jedes größere Bauwerk ein Konstrukt aus verschiedenen Systemen, ohne dass diese allerdings als gestalterisch eigenständige Teile erkennbar sind.

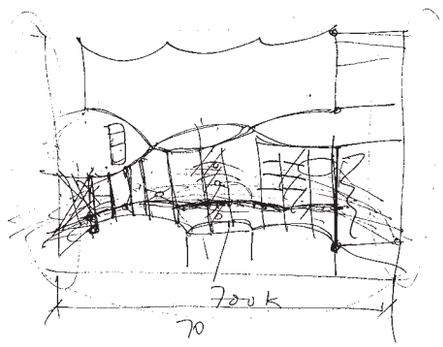
Die für die 1960er-Jahre typischen geschlossenen Systeme, die ein Gebäude bis hin zum Innenausbau festlegen, gibt es in diesem Sinne nicht mehr. Das Bauwerk hat sich zu einem Gefüge verschiedener spezifischer Systeme hin entwickelt. Für Standardelemente wie Tragsysteme, Fassadenkonstruktionen und Trennwände haben sich auf technologischen Typologien basierende Standards herausgebildet, die wiederum die Grundlage für die unterschiedlichsten Systeme darstellen. Industriell hergestellte Bauteile sind so selbstverständlicher Bestandteil unserer Architektur geworden.

Die Produktion einzelner Elemente eines Systems bedeutet heute nicht mehr zwangsläufig die Herstellung einer Serie gleicher Teile, wie es aus technischer und ökonomischer Sicht bis vor geraumer Zeit noch üblich war. Durch die modernen, computergestützten Planungs- und Produktionsverfahren kann jedes Element, eingebunden in ein vernetztes System, einzeln entwickelt, hergestellt und zusammengefügt werden.
Somit lässt sich heute für jeden baulichen oder technischen Teil eines Gebäudes das bestmögliche, an die Situation angepasste System finden – von der vorinstallierten Leichtbetonelementwand bis hin zur technisch komplizierten mehrschaligen Elementfassade. Diese Differenzierung der Systeme wirkt sich auch auf die Struktur der Produzenten aus. Die Firmen bieten meist nicht mehr alles an, sondern kleinere und mittlere Betriebe haben die Möglichkeit, ihre Nische zu finden und für einen speziellen Bereich optimale Lösungen zu entwickeln und anzubieten.

Der Wunsch, Architektur und Industrie enger zusammenzubringen und deren Möglichkeiten auszunutzen, hat die Entwicklung von Systemen als ein Bestandteil des modernen, industriell gestützten Bauens gefördert. In der seriellen Fertigung von Elementen, deren Zusammenschluss in Systemen und der damit verbundene Rationalisierung des Bauprozesses sahen seit Beginn der Industrialisierung Architekten die Chancen einer längst überfälligen Erneuerung.
Die Industrialisierung des Bauprozesses der Nachkriegszeit führte jedoch zu einer Ernüchterung hinsichtlich der Verwendung von Bausystemen. Es zeigte sich, dass allzu deterministische, abgeschlossene Systeme zu keinen akzeptablen Lösungen führen.

Da sich ein System meist aus seiner Aufgabe heraus entwickelt und die bereits bestehenden ständig optimiert werden, wird die Vielfalt und Unterschiedlichkeit der Systeme weiterhin zunehmen.
Umso mehr wird es Aufgabe des Architekten sein, die ständig wachsende Diskrepanz zwischen Wissen und Möglichkeiten des Bauens und die Entwicklungen in anderen Bereichen wie Technologie, Industrie und Wissenschaft gering zu halten. Nur so können Lösungen gefunden werden, die heutigen Bedingungen





La Grande Arche, Paris (F) 1989;
Johann Otto von Spreckelsen und Paul Andreu;
Handskizzen: Peter Rice

und Anforderungen gerecht werden. Frei Otto hat Ordnungen und Prinzipien der Natur untersucht, um Lösungen zu finden, die mit einem Minimum an Aufwand ein Maximum an Leistung erbringen. Joseph Paxton hat als experimentierender Gärtner mit Ingenieuren und Firmen Lösungen entwickelt, die in Vielem noch heute als modern gelten, R. Buckminster Fuller benutzte die Möglichkeiten und Ergebnisse der Automobil- und Flugzeugindustrie um sie in das Bauwesen einzubringen. Ebenso fanden über Architekten und Konstrukteure wie Peter Rice und Norman Foster heute gebräuchliche moderne Fassadenkonstruktionen wie Structural Glazing oder punktgehaltene Konstruktionen den Weg aus diesen Industriezweigen in die Architektur.

Das bedeutet, der Austausch an Wissen und Kompetenz, die Öffnung für ungewöhnliche Lösungsansätze, der Blick über die Aspekte des Bauens hinaus, die Lust, Dinge auszuprobieren, zu experimentieren, muss wieder im Zentrum der architektonischen Arbeit stehen. Die Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern, Entwicklern und Ingenieuren anderer Fachbereiche soll und wird dabei eine wesentliche Rolle spielen. Dieser interdisziplinäre Transfer von Wissen, Denk- und Lösungsansätzen ist für die Arbeit des Architekten unerlässlich, um eine Form des Bauens zu entwickeln, die vorausschauend den technischen, ökologischen und sozialen Anforderungen gerecht wird.

Das »System Gebäude« als Einheit vieler einzelner Teile und Systeme wird komplexer, die Verzahnung dieser Systeme werden enger, die Differenzierung der einzelnen Teile und Systeme nimmt dabei zu.

Technische Lösung stellen zwar einen wichtigen Aspekt dar, aber eben nur einen der vielen, die Architektur ausmachen. Das Technische ist somit nicht der primäre Anlass der architektonischen Planungen. Oder wie es Le Corbusier sinngemäß schon Anfang des vergangenen Jahrhunderts beschrieben hat: Bauen ist immer ein Zusammenfügen von Bauelementen, alles steht zur Verfügung, aber der Architekt hat die Wahl und damit die Verantwortung für die Architektur. Es liegt an ihm, welche Elemente auf welche Weise zu einem architektonischen Ganzen gefügt werden.

Teil A Geschichte

Die Nomaden und der sesshafte Mensch 14
Ziegel 14
Naturstein 14
Holz 15
- Amerikanischer Ständerbau
- Balloon- und Platform-framing
- Holzrahmenbau
- Das traditionelle japanische Haus

Militärwesen und koloniale Expansion 17
Eisen – die ersten Systeme 18
- Skelettbau aus Eisen
- Die Glashäuser
- Eiserne Hochbauten

Elementierte Betonbauweisen 21
Rationalisierung, Serienproduktion, Typsierung und Massenwohnungsbau 22
Das vorgefertigte Haus – der Baukasten 25
- Baukastensysteme in Amerika

Weitgespannte Raumtragwerke 31
Großstrukturen und Visionen 31
Die industrielle Fertigung – Synonym für Fortschritt 33
Offene Strukturen 34

Abb. A

A 1

A 2

Geschichte der Vorfertigung

Die Nomaden und der sesshafte Mensch

Die Urtypen von vorgefertigten und elementierten Bauten entwickelten sich bereits vor mehreren Jahrtausenden. Nomadenvölker benötigten während ihrer Wanderschaft auf der Suche nach neuen Lebensräumen Schutzdächer oder Hütten (Abb. A 1). Diese fertigten sie aus Stämmen, Ästen, Zweigen, Laubwerk, Fellen und Häuten, um darin für eine gewisse Zeit an einem Ort zu leben. Archäologen datieren Funde derartiger Behausungen um etwa 400 000 v. Chr.

Um sich nicht nach jedem Ortswechsel aufs Neue die benötigten Bauelemente beschaffen zu müssen, galt es, sich Elemente zu suchen, die nach dem Aufbau wieder abgebaut und an einen anderen Ort transportiert werden konnten. Um diesen Zweck zu erfüllen, mussten die vorgefertigten Bauteile möglichst leicht und einfach zu handhaben sein und aus nicht allzu vielen Einzelteilen bestehen. Jeder Teil war entsprechend seiner Aufgabe ausgesucht, einfachst bearbeitet und geformt. Je nach Region, Klima und Gebräuchen entwickelten sich leichte, textile Architekturen, die teilweise auch heute noch verwendet werden. In diesen elementiert konstruierten Behausungen der Nomaden lassen sich erste Schritte hin zu einem Bauen mit System erkennen.

Mit Beginn von Ackerbau und Viehzucht war der Mensch nicht mehr vom Jagen und Sammeln abhängig, die Menschen wurden sesshaft und errichteten dauerhafte Wohnstätten. Die handwerklichen Techniken wurden verfeinert und die Werkzeuge besser, sodass sich im Laufe vieler Jahrhunderte eine Tradition von Ziegel-, Naturstein- und Holzkonstruktionen entwickeln konnte.

Ziegel

In den fruchtbaren Schwemmlandregionen des Vorderen Orients war Lehm fast überall verfügbar. Damit formten Mesopotamier und Ägypter mithilfe von Holzformen flache quaderförmige Steine und erfanden so mit dem luftgetrockneten Ziegel den ersten künstlichen Baustein, der in Mengen vorgefertigt das Aufmauern ganzer Städte und Monumente ermöglichte. Die Tempelbauten der Sumerer (3500 v. Chr.), wie die Tempelterrasse in Uruk waren einschließlich der Fundamente in Ziegelsteinen errichtet (Abb. A 4). Diese Zikkurate, benannt nach dem sumerischen Begriff für »hoch oben sein«, »waren als Berührungsorte zwischen Himmel und Erde die Zentren der sumerischen Religion und damit des städtischen Lebens« [1].

Nachdem es gelungen war, die Ziegelsteine durch Brennen und Glasieren formstabil und wetterfest zu machen, war damit ein einfaches kleinteiliges und vielfältig kombinierbares Bauelement entstanden, das bis heute im handwerklichen Bauen herausragende Bedeutung hat. Die Form und Größe der Steine wurde durch das Trocknungs- und Brennverhalten des Materials, die Handhabbarkeit der Steine beim Zusammenfügen und die Gewährleistung der Stabilität des Mauerwerks durch Verbände bestimmt.

Naturstein

Die Griechen perfektionierten beim Bau ihrer Tempel die Bearbeitung von Naturstein derart, dass die fertigen Einzelteile der Bauglieder messerscharf zusammengesetzt werden konnten. Zur tragfähigen Verbindung der Teile setzten sie Klammern und Dübel aus Bronze und Eisen

A 3

A 4

ein. Die Prinzipien der Grund- und Aufrisse waren auf der Grundlage von strengen Ordnungsregeln mathematisch genau festgelegt.

Hauptverdienst der Römer war es, die vielfältigen technischen Entwicklungen in den unterschiedlichen Regionen ihres Reiches gesammelt, dokumentiert und im ganzen Imperium verbreitet zu haben. Die »Zehn Bücher über Architektur« des Vitruv aus dem ersten Jahrhundert vor Christus etablierten sich als Grundlage für die Entwicklung des Bauens und enthielten Hinweise auf ein Baukastensystem aus steinernen Elementen, das zum Tempelbau in weit entfernte Kolonien verschifft werden konnte.

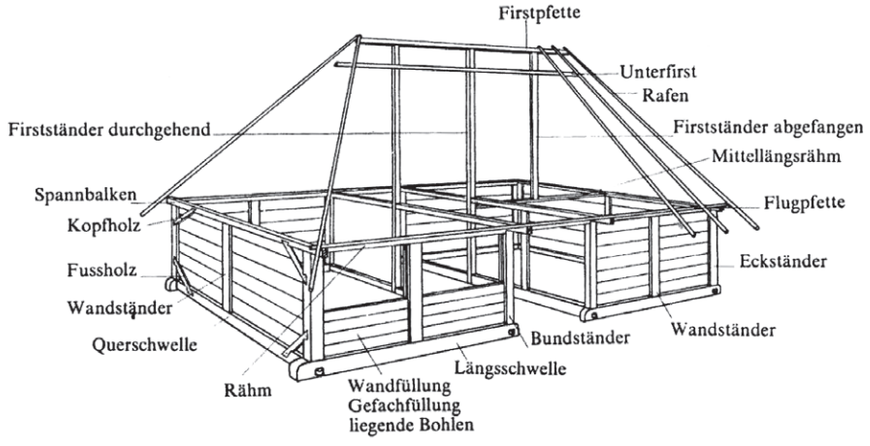
Ein Höhepunkt für das vorgefertigte und elementierte Bauen mit Stein war die gotische Kathedrale des Mittelalters. In den Dombauhütten planten hoch spezialisierte Steinbaumeister großartige filigrane Kirchenkonstruktionen, bei denen der Stein bis an seine Grenzen belastet wurde. Als Grundlage für die Bearbeitung der Steine fertigten sie nicht vermaßte, präzise geometrische Werkzeichnungen an, nach denen mehrere Steinmetze komplizierte Teile in erforderlicher Menge vorfertigen konnten. Sie gaben ihre Fähigkeiten und Erfahrungen an ausgesuchte Lehrlinge weiter, die ihr Wissen auf der ihnen vorgeschriebenen Wanderschaft verbreiteten.

Holz

Die Entwicklung der Holzkonstruktionen begann mit sehr einfachen Systemen. Eine Möglichkeit bestand darin, Hölzer schräg gegeneinanderzulehnen, zusammenzubinden und mit Stroh abzudecken. Eine andere Variante war, Pfosten in die Erde einzugraben, die Zwischenräume durch mit Lehm bestrichenes Flechtwerk zu füllen und mit einer einfachen Dachkonstruktion zu überdecken. So entstand der Pfostenbau, eine Urstufe des Skelettbaus. Jedes Element war entsprechend seiner Aufgabe dimensioniert und geformt, Tragen und Raumabschließen wurde von unterschiedlichen Elementen übernommen. Im nächsten Schritt stellte man die Pfosten auf große Steine oder auf eine Schwelle, um ein Einsinken ins Erdreich und ihr Verfaulen zu verhindern. Auf diese Weise entstand mit Schwelle, Pfosten, Rahm bzw. Rähm und dem Gefache eine konstruktive Einheit – der Ständerbau (Abb. A 5). Diese Gefache wurden mit liegenden oder – seltener – stehenden Bohlen ausgefüllt. Aus der konsequenten Weiterführung dieser Konstruktion entwickelte sich das Fachwerk, bei dem die Pfosten enger gestellt wurden als beim Ständerbau (Abb. A 6 und A 7, S. 16). Die Zwischenräume dieses engen kostruktiven Gerüsts wurden mit Flechtwerk, Lehm oder Ziegelsteinen gefüllt.

Eine weitere Möglichkeit mit Elementen aus Holz Gebäude zu errichten war der Block- bzw. Strickbau. Konstruktiv ist dieses aus Balken geschichtete System ein Massivbau, bei dem die Wand sowohl eine tragende als auch eine raumabschließende Funktion innehat. Die Hölzer – Rundholz, Kantholz oder Hälbling (geteilter Stamm) – wurden etwa 15–20 cm vor dem Ende ausgekerbt oder eingeschnitten und kreuzweise zu einem Block geschichtet. Zwischen die mit Holznägeln vertikal verbundenen Hölzer wurde zur Abdichtung Moos eingefügt. Durch das

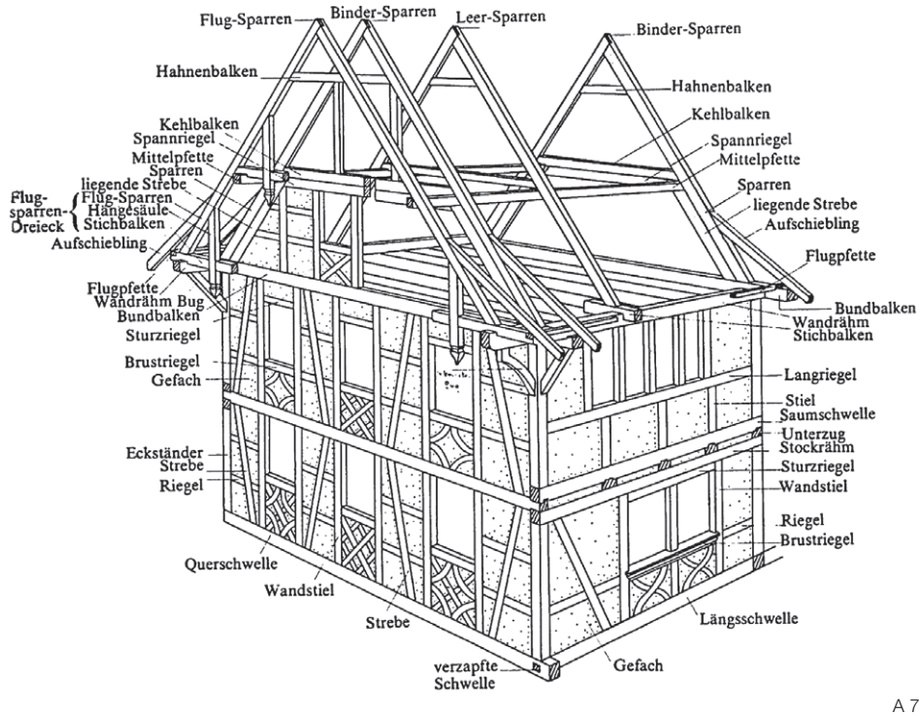
A Jurte, Untersicht der sogenannten Krone
A 1 Jurte (von türkisch Behausung), Traggerüst; Scherengitter aus Weiden, überwölbt von einem Dachkranz aus 81 gebogenen Stangen, die in einem Holzrad, der sogenannten Krone, zusammenlaufen
A 2 Jurte mit Textilien bespannt; Diese Form des Zeltes entwickelte sich aus den klimatischen Bedingungen und den Lebens- und Wirtschaftsformen nomadisierender Hirten der zentralasiatischen Steppen. Sie findet noch heute zwischen Schwarzem Meer und der Mongolei Verwendung.
A 3 »das erste Bauwerk« nach Viollet-le-Duc
A 4 Zikkurat des Urnammu in Ur, um 2100 v. Chr.
A 5 Holzständerbau (vereinfacht)



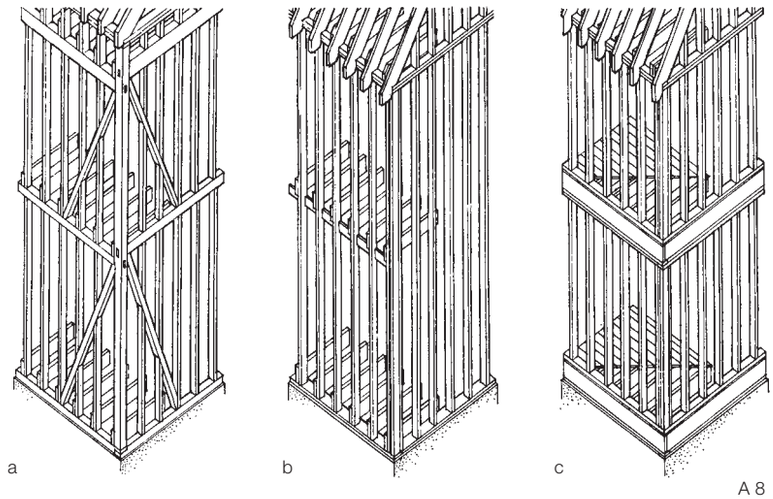
A 5

A 6

A 6 Bauernhäuser im fränkischen Freilichtmuseum, Bad Windsheim, Deutschland
A 7 Fachwerkbau
A 8 Amerikanischer Ständerbau
a braced or eastern frame
b balloon frame
c platform frame
A 9 Grundriss eines Landhauses, Atami, (J)
A 10 Shogakuin Villa, Kioto, (J)



A 7



A 8

Gewicht der geschichteten Hölzer entstand so ein dichtes Wandgefüge.

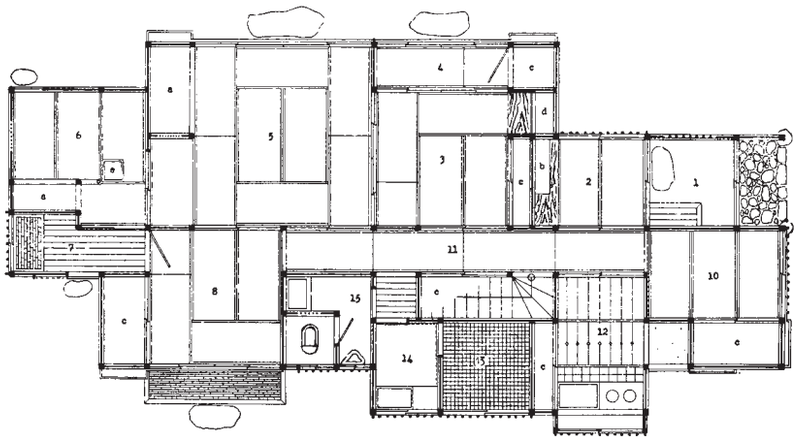
Amerikanischer Ständerbau

Während der Besiedlung der Prärie in den 60er-Jahren des 19. Jahrhunderts in Nordamerika führte die starke Nachfrage nach leicht transportierbaren Häusern und die heimische Holzhaustradition zu einem Wachstum der industriellen Verarbeitung dieses Rohstoffs, der zudem reichlich vorhanden war. Es entstand eine vereinfachte, in großen Serien herstellbare Konstruktion, die bis heute eingesetzt wird.

Balloon- und Platform-Framing

Der Geodät George W. Snow schuf 1832 mit dem »balloon frame« eine Konstruktion, die im Wohnhausbau der USA noch heute zu finden ist (Abb. A 8b). Sie folgt der frühen Ständerbauweise, verwendet aber anstelle von Ständern und Balken eng gereihte Bretter, die mit nun industriell hergestellten Nägeln miteinander verbunden werden. Die Bretter mit standardisierten Querschnitten konnten mithilfe von Kreis- und Gattersäge leicht hergestellt werden und waren nach kurzer Trocknungszeit gut zu lagern und zu transportieren.

Die senkrechten Elemente reichten bei dieser Konstruktion durchgehend im Abstand von 30 bis 40 cm über alle Geschosse. Während die Außenwände von beidseitig aufgenagelten Werkstoffplatten gebildet wurden, waren die Geschossdecken lediglich auf der Oberseite beplankt. Die Wände wirken bei dieser Konstruktion statisch als Scheibe, in die an relativ beliebiger Stelle Öffnungen eingeschnitten werden konnten. Im Vergleich zur traditionellen Bauweise war es somit möglich, die gleiche Bauleis-



A 9

A 10

tung mit wesentlich geringeren Kosten und weniger Arbeitskräften zu erbringen. Beim Platform-Framing sind die Stützen im Unterschied zum Balloon-Framing geschosshoch und werden in jedem Geschoss neu angesetzt (Abb. 8c).

Holzrahmenbau

Aus diesen amerikanischen Konstruktionen entwickelte sich der Holzrahmenbau. Der Abstand der Stützen beträgt hierbei in der Regel 62,5 cm. Mit einem Holzprofil lassen sich durch Mehrfachschichtung unterschiedliche konstruktive Elemente wie Stützen, Schwellen, Träger und Rähm bilden. Einzelne Wandteile werden einseitig beplankt vorgefertigt, auf der Baustelle in kurzer Zeit zu einem Gebäude zusammengefügt und anschließend innenseitig mit Platten geschlossen. Bei allen Holzkonstruktionen war es von Vorteil, dass durch die industriellen Fertigungsmethoden die Baumstämme effektiver ausgenutzt und der Bauprozess beschleunigt werden konnte. Die Querschnitte waren normiert und auf die konstruktiv notwendigen Dimensionen zugeschnitten, die Verbindungen nicht mehr Meisterstücke der Zimmerleute, sondern nach Einführung des Eisens technisch rationalisiert.

Das traditionelle japanische Haus

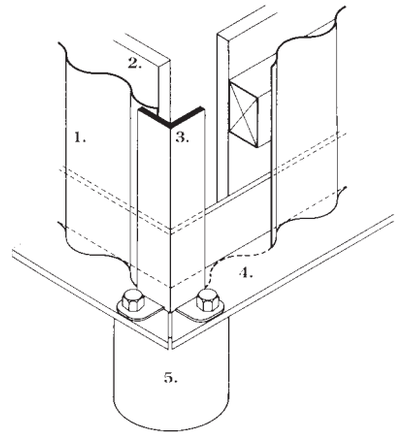
Innerhalb der verschiedenen Arten von Holzkonstruktionen nimmt das traditionelle japanische Wohnhaus als ein aufgeständerter eingeschossiger Holzskelettbau eine herausragende Stellung ein (Abb. A 9). Aufgrund seiner maßlichen Grundordnung und der Ausbildung der baulichen Teile ist es Grundlage und Vorbild für viele Architekten der Moderne. Schon vor vielen Jahrhunderten wurden Konstruktion, Bauteile, Anordnung, Form und Größe der Räume genau festgelegt und genormt. Grundmodul ist der ursprünglich aus China stammende »shaku«, eine Maßeinheit, die in etwa dem englischen Fuß, also 30,48 cm, entspricht. Alle Elemente des Bauwerks fügen sich in dieses maßliche Regelwerk. Es schafft Verbindlichkeiten für die Struktur des Tragwerks, für Raumgrößen und die Beziehung der Elemente untereinander. Der im japanischen Mittelalter eingeführte »ken«, ist das Maß für den Stützenabstand. Er ist regional unterschiedlich und entsprach in Kioto 6,5 shaku, in Tokio 6 shaku.
Die Zwischenräume können vom Bewohner individuell je nach Tages- oder Jahreszeit mit Wandelementen, transluzenten oder geschlossenen Schiebetüren oder mit Bambusvorhängen geschlossen werden (Abb. A 10). Die hölzernen Elemente sind ohne zusätzliche Verbindungsmittel mit höchstem handwerklichen Können gefertigt und »gelenkig« ausgebildet, sodass auch Erdbeben keinen Schaden anrichten können. Das japanische Haus ist ein frühes Beispiel für eine modulare Grundordnung, für Standardisierung und Elementierung im Holzbau.

Militärwesen und koloniale Expansion

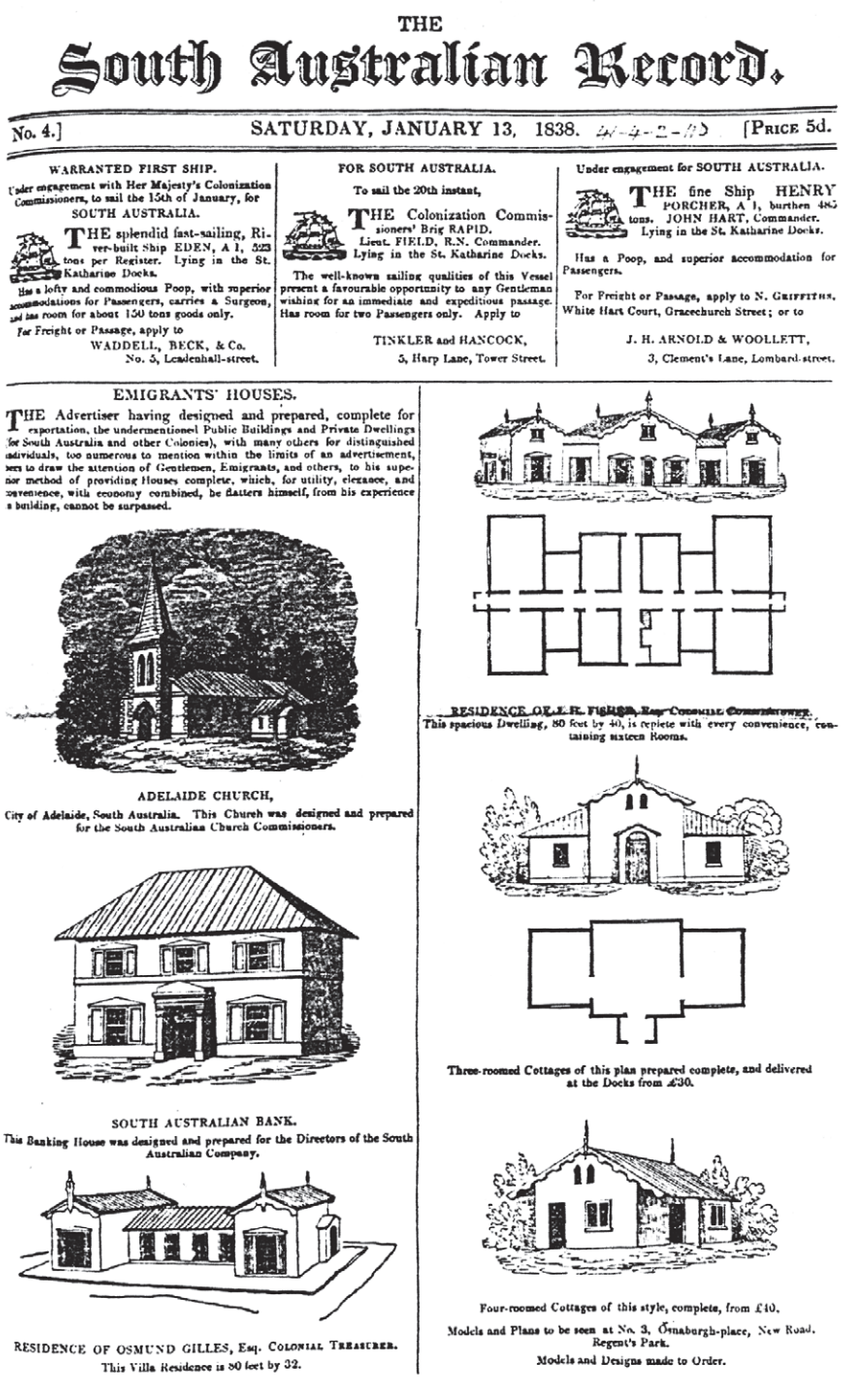
In zwei Bereichen war ein elementiertes Baukastensystem zwingend notwendig: im Militärwesen und bei der Kolonialisierung. Viele Entwicklungen des Bauens fanden hier ihren Anfang. Die umherziehenden Kriegsheere benötigen Unterkünfte und Lagerräume. Dafür hatte sich mit dem Typus des Zeltes ein leichtes, transportables, schnell zu errichtendes und demontierbares Bauwerk über die Jahrhunderte durchaus bewährt. Bis ins 18. Jahrhundert verbesserten sich in Europa jedoch die Wegesysteme und dementsprechend die Transportmöglichkeiten erheblich. Gleichzeitig erhöhten und veränderten sich die Ansprüche und Bedürfnisse des Militärs, sodass größere demontierbare Gebäude aus vebretterten Fachwerkkonstruktionen entwickelt wurden. Während der Türkenkriege von 1788 bis 1791 wurden während des Türkenkriegs komplett zerlegbare Lazarettbauten, Pferdeställe, Truppenunterkünfte und Hospitäler über die Donau in die Kriegsgebiete verschifft. Allerdings erwies sich bei der schnellen Errichtung und dem Versetzen der später als Baracken bezeichneten Provisorien der handwerkliche Ausbau mit Brettern als zu aufwendig. Die Erfindung des Wellblechs machte ab 1837 die Systeme immer einfacher und handlicher. Ein Haus mit einer Grundfläche von 4,1 × 6,1 m konnte in nur zwei Kästen von 31 × 62 × 275 cm Größe verpackt werden. Die auf gusseisernen Unterkonstruktionen aufgeschraubten Wellblechplatten waren an der Außenseite verzinkt, um das Sonnenlicht zu reflektieren, die Innenwände verkleidete man mit Holztafeln.

In Deutschland war es der Dampfkesselbauer Christoph in Niesky mit seiner 1892 gegründeten Firma Christoph & Unmack, der entsprechende Bausätze anbot. Nachdem er 1882 ein Patent des Dänen Doecker für den Bau von Lazarettbaracken in Holzkonstruktion mit Filzpappe und Segeltuch übernommen hatte, entwickelte er diese Baracken weiter und stattete sie für den Export in die Tropen beispielsweise mit zweischaliger Dachausführung aus. Für die frühen Siedler der Kolonien des britischen Empire wurden zunächst einfach ausgestattete Schutzhäuser in England produziert und dann elementiert, in kleine, leichte Einzel-

A 11



A 12



THE
South Australian Record.

No. 4.] SATURDAY, JANUARY 13, 1838. [PRICE 5d.

WARRANTED FIRST SHIP.

Under engagement with Her Majesty's Colonization Commissioners, to sail the 15th of January, for SOUTH AUSTRALIA.

THE splendid fast-sailing, River-built Ship EDEN, A 1, 523 tons per Register. Lying in the St. Katharine Docks.

Has a lofty and commodious Poop, with superior accommodations for Passengers, carries a Surgeon, and has room for about 150 tons goods only.

For Freight or Passage, apply to WADDELL, BECK, & Co. No. 5, Leadenhall-street.

FOR SOUTH AUSTRALIA.

To sail the 20th instant,

THE Colonization Commissioners' Brig RAPID. Lieut. FIELD, R.N. Commander. Lying in the St. Katharine Docks.

The well-known sailing qualities of this Vessel present a favourable opportunity to any Gentleman wishing for an immediate and expeditious passage. Has room for two Passengers only. Apply to TINKLER and HANCOCK, 5, Harp Lane, Tower Street.

Under engagement for SOUTH AUSTRALIA.

THE fine Ship HENRY PORCHER, A 1, burthen 485 tons. JOHN HART, Commander. Lying in the St. Katharine Docks.

Has a Poop, and superior accommodation for Passengers.

For Freight or Passage, apply to N. GRIFFITHS, White Hart Court, Gracechurch Street; or to J. H. ARNOLD & WOOLLETT, 3, Clement's Lane, Lombard-street.

EMIGRANTS' HOUSES.

THE Advertiser having designed and prepared, complete for exportation, the undermentioned Public Buildings and Private Dwellings for South Australia and other Colonies), with many others for distinguished individuals, too numerous to mention within the limits of an advertisement, begs to draw the attention of Gentlemen, Emigrants, and others, to his superior method of providing Houses complete, which, for utility, elegance, and convenience, with economy combined, he flatters himself, from his experience in building, cannot be surpassed.

ADELAIDE CHURCH,
City of Adelaide, South Australia. This Church was designed and prepared for the South Australian Church Commissioners.

SOUTH AUSTRALIAN BANK.
This Banking House was designed and prepared for the Directors of the South Australian Company.

RESIDENCE OF OSMUND GILLES, Esq. COLONIAL TREASURER.
This Villa Residence is 80 feet by 32.

RESIDENCE OF J. F. FISHER, Esq. COLONIAL COMMISSIONER.
This spacious Dwelling, 80 feet by 40, is replete with every convenience, containing sixteen Rooms.

Three-roomed Cottages of this plan prepared complete, and delivered at the Docks from £30.

Four-roomed Cottages of this style, complete, from £40.

Models and Plans to be seen at No. 3, Gunaburgh-place, New Road, Regent's Park.

Models and Designs made to Order.

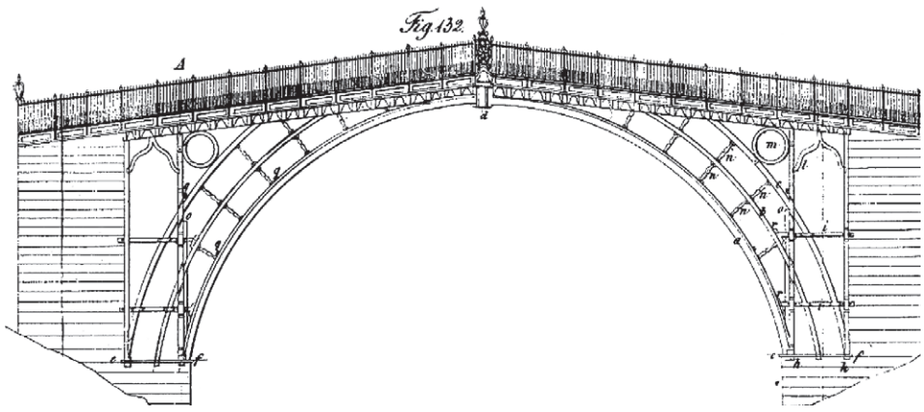
A 13

teile zerlegt und als kompakter Bausatz nach Übersee verschifft. Eines der ersten aus England nach Australien exportierten Häuser wurde 1788 innerhalb einer Woche errichtet. Mit der Zeit entstand ein riesiger Markt für Systeme unterschiedlicher Bauaufgaben (Abb. A 13). Ende des 18. Jahrhunderts wurden beispielsweise ein Krankenhaus, ein Warenhaus sowie einige einfache Hütten nach von England nach Sydney verschifft. Anfangs waren solche »Portable Cottages« noch handwerklich aus Holz hergestellt und häufig entsprechend dem Geschmack der Zeit dekoriert. Aufgrund der steigenden Versicherungsraten für Holzhäuser und den vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Eisen wurde in den 40er-Jahren des 19. Jahrhunderts schließlich hauptsächlich dieses Material für Konstruktionen verwendet.

Eisen – die ersten Systeme

Mit Beginn der Industriellen Revolution wurde Eisen in großen Mengen und höheren Qualitäten verfügbar. Durch Verwendung von Koks statt Holzkohle gelang es in den Gießereien mit höheren Temperaturen Eisen von besserer Qualität herzustellen. Mit Guss-, später auch Schmiedeeisen und Stahl ergaben sich nun ganz neue Möglichkeiten des Bauens. Damit setzte das Eisen in der Architektur neue qualitative Maßstäbe hinsichtlich der Konstruktion und der äußeren Erscheinungsform. Die Dimensionen der Bauwerke konnten zunehmen, während sich das konstruktive Volumen verringerte.

Die Entwicklung von Systemen aus möglichst vielen in der Fabrik vorgefertigten gleichen Elementen hängt damit zusammen, dass das Material in gegossener



A 14

und gewalzter Form als Halbzeug vorlag. Die Elemente des Baugefüges konnten nun nach den tatsächlichen Beanspruchungen bemessen, dimensioniert und gerade beim Gusseisen auch entsprechend dem gewünschten Formenkanon gestaltet werden.

Nachdem unter anderem die Engländer Henry Bessemer ab 1855 und Sidney Gilchrist Thomas 1879 die Grundlagen für dier Herstellung von kohlenstoffarmen Stahl aus Roheisen geschaffen hatten, war der leistungsfähigste Baustoff unserer Zeit gefunden, der als genormtes Walzprofil Hauptelement späterer Skelettsysteme ist. Nach Christian Schädlich hat »der Eisenbau […] einer allgemeinen Industrialisierung des Bauwesens Schrittmacherdienste geleistet. Er hat […] die dem Bauen entsprechenden Elemente industrieller Technologie entwickelt: Vom Zerlegen des Produktes in großformatige Teile, deren fabrikmäßiger Vorfertigung und mechanisierter Montage über die Vereinheitlichung von Maßen und Formen zum Zwecke der Serienproduktion bis zu veränderten Organisationsformen des Baubetriebs.« [2]

Vor allem im Brückenbau nutzte man zu Beginn der Industrialisierung die Möglichkeiten der Vorfertigung. Ein Beispiel hierfür ist die bis heute noch erhaltene Bogenbrücke über den Severn in Coalbrookdale (Abb. A 14). Sie wurde 1775–1779 von den Gebrüdern Darby gebaut, die mit ihrem Familienunternehmen, der Coalbrookdale Company, seit Generationen entscheidend an der Entwicklung des Herstellens und Verarbeitens von Eisen beteiligt waren. Fünf gusseiserne Bogensegmente überspannen den Fluß mit ca. 30,5 m bei einer Scheitelhöhe von 13 m. Jede Bogenhälfte wurde in einem Stück gegossen und anschließend nach dem Vorbild des Holzbaus verbunden. Die druckbeanspruchte Bogenform war ideal für das Gusseisen, dessen Querschnitte zu der damaligen Zeit noch nicht berechnet werden konnten. Dieses komplett in Eisen gefertigte Bauwerk war ein erster Schritt hin zum industrialisierten Bauen.

Skelettbau aus Eisen

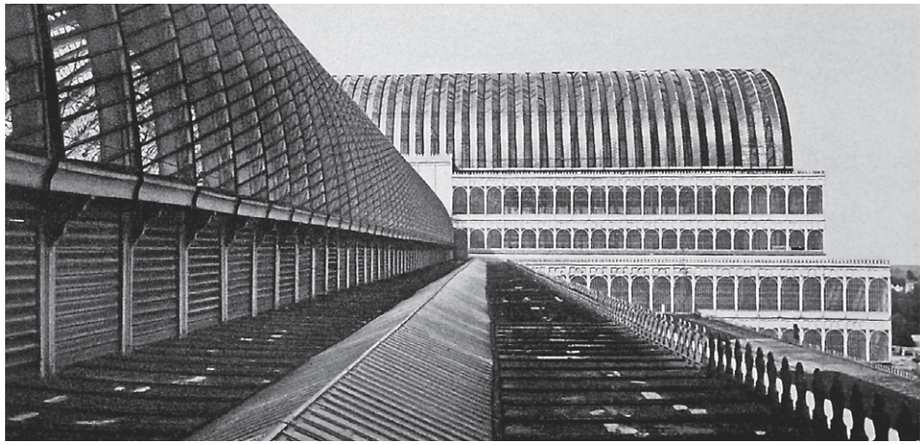
Die 1796/97 von Charles Bage erbaute Flachsspinnerei der Firma Benyon, Bage & Marshall in Castle Forgate in Shrewsbury gilt als das erste Gebäude, bei dem die Außenwände und Decken zwar noch massiv gemauert waren, das innere Gerüst jedoch komplett mit in Serie gefertigten gusseisernen Stützen und Deckenträgern ausgeführt wurde. Sie waren in einem größeren Stützenabstand leicht zu montieren und konnten mit den Ornamenten des damals vorherrschenden Architekturstils versehen werden. Der Fortschritt im elementierten Eisenbau war heterogen, an vielen Orten fanden bei unterschiedlichen Bauaufgaben konstruktive, technische und damit auch architektonische Weiterentwicklungen statt.

Die ersten wichtigen Entwicklungen hin zu einem reinen Skelettbau aus Eisen gab es im Gewächshausbau. Mit dem Kolonialismus gelangten Pflanzen aus fernen Ländern nach Europa. Es entstand der Wunsch nach lichtdurchfluteten Palmenhäusern und Wintergärten. Unbelastet von Fragen des Stils und architektonischen Bedeutungen konnte man sich bei diesen Bauaufgaben auf die Lösung konstruktiver, technischer, klimatischer Probleme konzentrieren. So entstanden die ersten elementierten Systeme, die später auf andere Bauaufgaben übertragen wurden.

A 11 Cottage, South Melbourne (AUS) 1853
A 12 Detail Fußpunkt Anschluss Wellblech an außen liegende Stahlkonstruktion, Cottage, South Melbourne (AUS) 1853
A 13 Werbeanzeige im »South Australian Record« vom 13. Januar 1838, Peter Thompson Emigrants houses (AUS) 1838
A 14 Brücke über den Severn, Coalbrookdale (GB) 1779, John Wilkinson/Abraham Darby
A 15 Kristallpalast, Hyde Park, London (GB) 1851, Joseph Paxton
A 16 Glaspalast, München (D) 1854, August Voit
In Anlehnung an das englische Vorbild gebautes Eisen-Glas-Gebäude mit einigen kleinen baukonstruktiven Weiterentwicklungen. Wesentlicher Unterschied zu seinem englischen Vorgänger waren die Unterscheidung der tragenden von den nichttragenden Elementen in der Fassade.

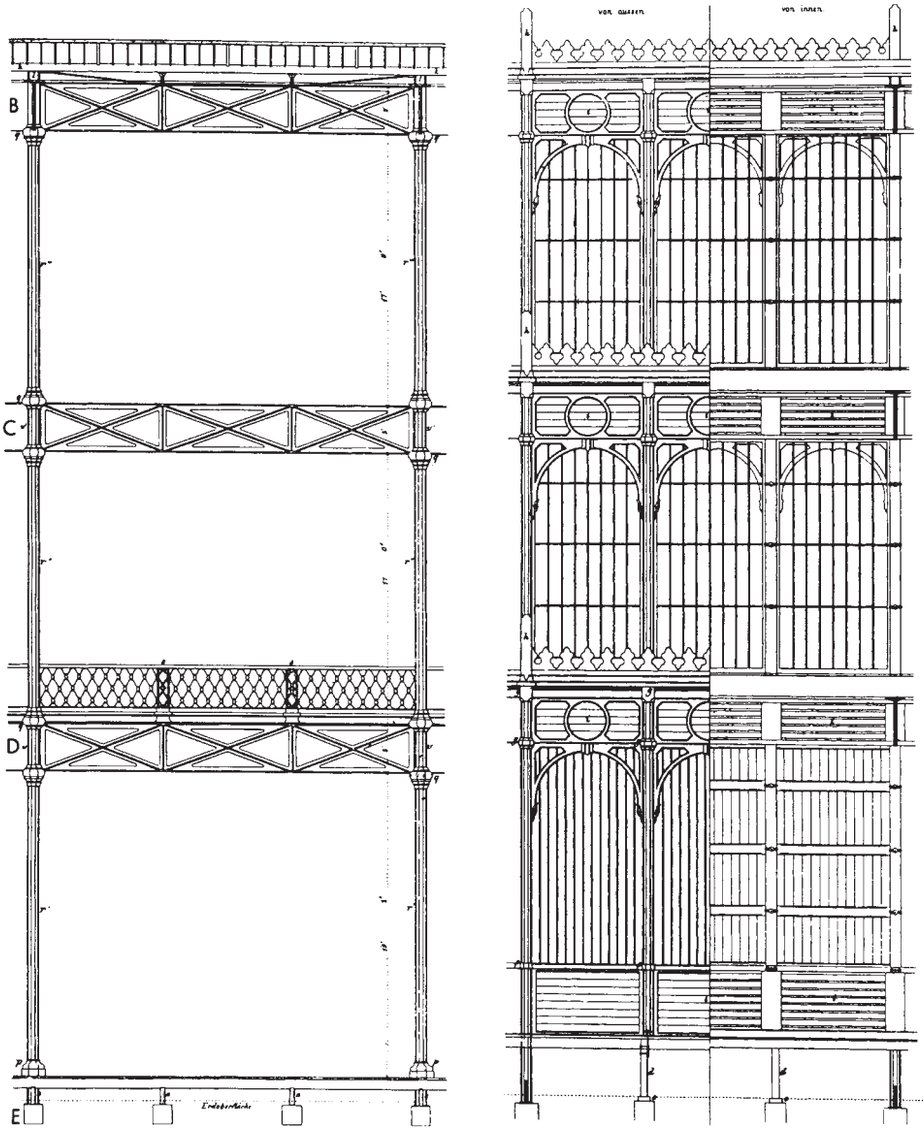
A15

A 16



A 17

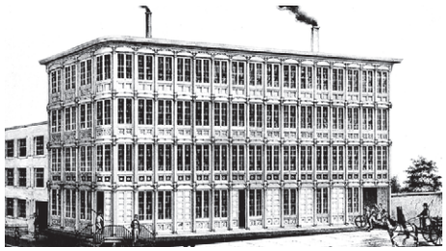
A 17 Kristallpalast, Hyde Park, London (GB) 1851, Joseph Paxton
A 18 Skelettstruktur Kristallpalast, London
A 19 Bogardus Factory, New York (USA) 1848, James Bogardus
A 20 Schnitt Kornmühle für die Türkei (GB) 1840, William Fairbairn;
Dieses Gebäude gilt als das erste komplett in Guss- und Schmiedeeisen konstruierte Haus in England. Vorfertigung in London, per Schiff in die Türkei transportiert und in Istanbul errichtet.
A 21 Schokoladenfabrik Noisel-sur-Marne (F) 1872, Jules Saulnier;
Die Konstruktion erinnert an Holzfachwerk und ist mit glasierten, teils farbigen Ziegeln ausgefüllt.
A 22 gusseiserne Bogenelemente, Bibliothèque St.-Geneviève
A 23 Bibliothèque St.-Geneviève, Paris (F) 1850, Henri Labrouste



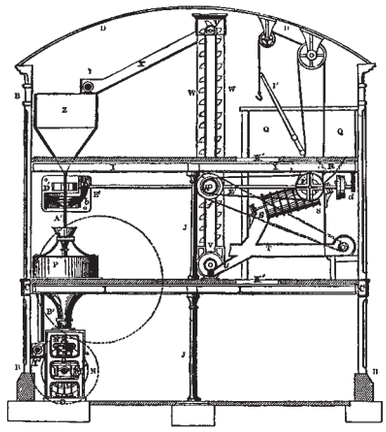
A 18

Die Glashäuser

Der Gärtner Joseph Paxton entwickelte für die Weltausstellung 1851 in London auf der Basis seiner Erfahrungen im Gewächshausbau in Zusammenarbeit mit den Ingenieuren Fox and Henderson in sehr kurzer Zeit ein architektonisch und technisch vollendetes Bausystem, den Kristallpalast (Abb. A 15, S. 19, A 17 und A 18). Möglichst wenig verschiedene standardisierte Bauteile wurden auf der Grundlage einer modularen Ordnung nach dem Baukastenprinzip zu einem Skelett zusammengesetzt. Dabei sollte nach Paxtons eigenen Worten »das Produzieren und Zusammensetzen der vorgefertigten Teile gleichsam wie eine Maschine funktionieren« [3]. Es gab für den Kristallpalast, mit einer Gesamtlänge von 564 m, 124 m Breite und 40 m Höhe für Erd- und für Obergeschoss jeweils nur zwei verschieden Stützenformen. Die Fachwerkbinder behielten trotz unterschiedlicher Abstände ihre Höhe bei, das gefaltete »ridge and furrow«-Dach, eine auf Holzprofilen und Rinnenbalken aufgelagerte stabile Dachkonstruktion mit einem hohen Grad an Transmission der Sonnenstrahlung, war in unzählige gleiche Elemente gegliedert. Das Grundmodul für die Skelettkonstruktion war das maximale Maß der damals in Massen herstellbaren Glasscheibe. Der Architekt und Konstrukteur Konrad Wachsmann bezeichnete den Kristallpalast als »sichtbar gewordene[n] Wendepunkt [...], durch den die gesamte Entwicklung der Baugeschichte eine andere Richtung einschlug« [4]. Der Glaspalast demonstrierte die Möglichkeiten industriellen, rationalisierten Bauens in der Fertigung der Bauelemente, aber auch in der Abwicklung des Bauprozesses in Fließproduktion. Er zeigt wie Planer, Ingenieure und Firmen als Team zusammenarbeiten können und



A 19

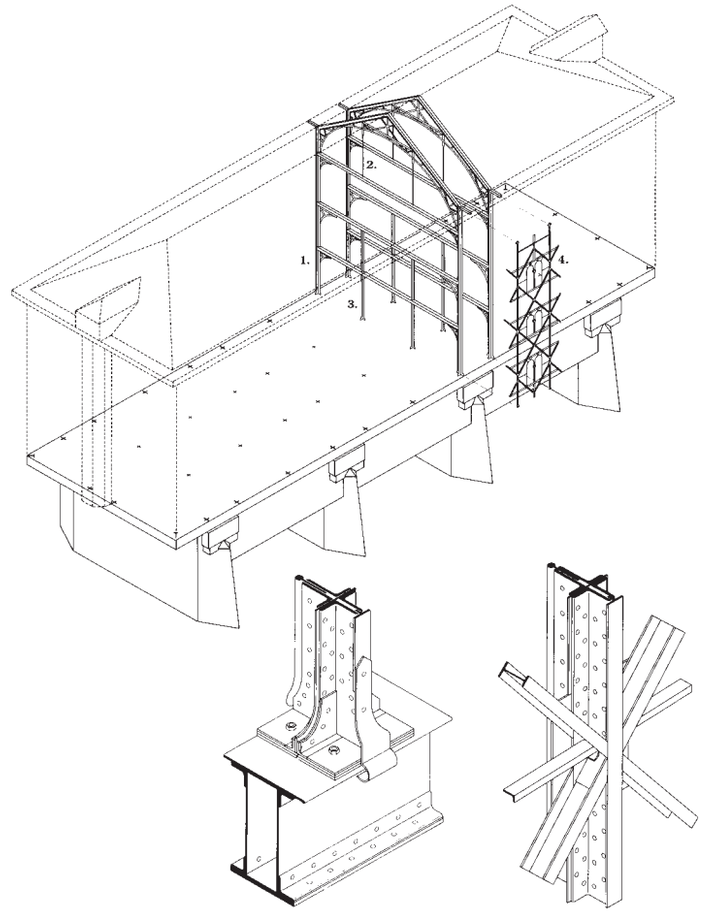


A 20

setzte in seiner strukturellen Klarheit und als grenzenloser Raum eine ganz neue Diskussion in der Architektur in Gang.

Eiserne Hochbauten

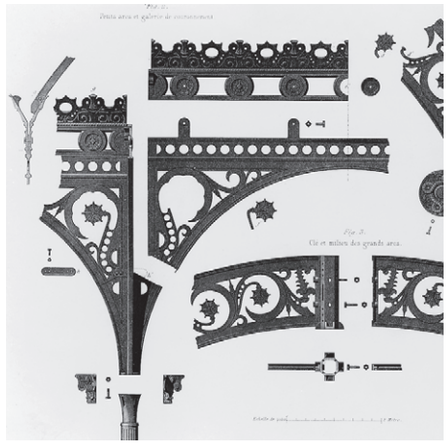
Der amerikanische Unternehmer und Konstrukteur James Bogardus errichtete 1848, inspiriert durch eine Englandreise, auf der er wohl auch Fairbairns Kornmühle (Abb. A 20) gesehen hatte, in New York sein eigenes viergeschossiges Betriebsgebäude (Abb. A 19). Die Fassade, war komplett aus vorgefertigten gusseisernen Elementen konstruiert und damit ein Vorläufer der späteren »curtainwall«. Ziel war es, eine dauerhafte, ökonomische und feuerwiderstandsfähige Konstruktion zu schaffen und die klassischen Formen von Naturstein im »italienischen Stil« möglichst kostengünstig und weniger massiv zu imitieren.
James Bogardus wie auch sein Konkurrent Daniel Badger produzierten und montierten gusseiserne Außenwände für vier- bis sechsgeschossige Geschäfte, Warenhäuser und Büros. Die vorfabrizierten Elemente konnten aus einem Katalog ausgewählt werden. Das System war so entwickelt, dass es jederzeit demontiert und an anderer Stelle wieder aufgebaut werden konnte. Die Tragkonstruktion der Gebäude war anfangs noch in Mauerwerk mit Holzbalkendecken ausgeführt, später dann ebenfalls komplett in Gusseisen. Mitte des 19. Jahrhunderts erreichte diese Architektur ihren Höhepunkt.



A 21

Elementierte Betonbauweisen

Zu dieser Zeit trat neben das Eisen ein weiteres modernes Material hinzu. Dem Gärtner Joseph Monier gelang es 1849, Blumenkübel aus Zement durch Einlegen



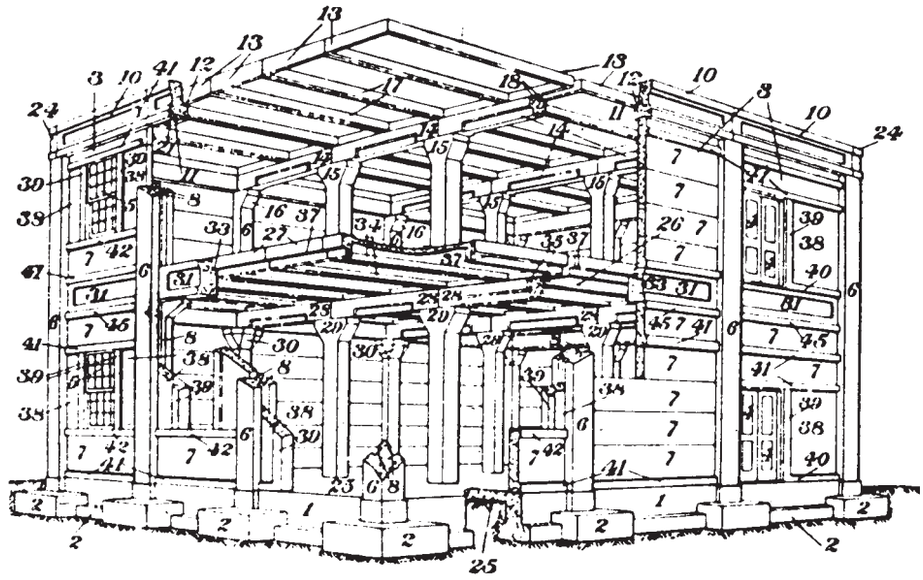
A 22

A 23

A 24

A 25

A 24 Haus in der Gartenstadt Letchworth (GB) 1904, John Brodie;
Die in der Fabrik vorgefertigten, geschosshohen, raumgroßen Betonpaneele wurden auf der Baustelle mit einem Kran versetzt.
A 25 Versetzen eines Hennebique-Hauses, 1896
A 26 »Unit Structural Concrete Method», 1916, John E. Conzelmann;
Fertigteilskelettsystem mit Wand-, Decken- und Dachplatten aus Eisenbeton, das für Industrie- und Eisenbahnbauten, später auch für Wohnungsbau eingesetzt wurde.
A 27 bewehrte Betonfertigteile, Frankreich 1854, François Coignet
A 28 »System Domino«, 1914, Le Corbusier

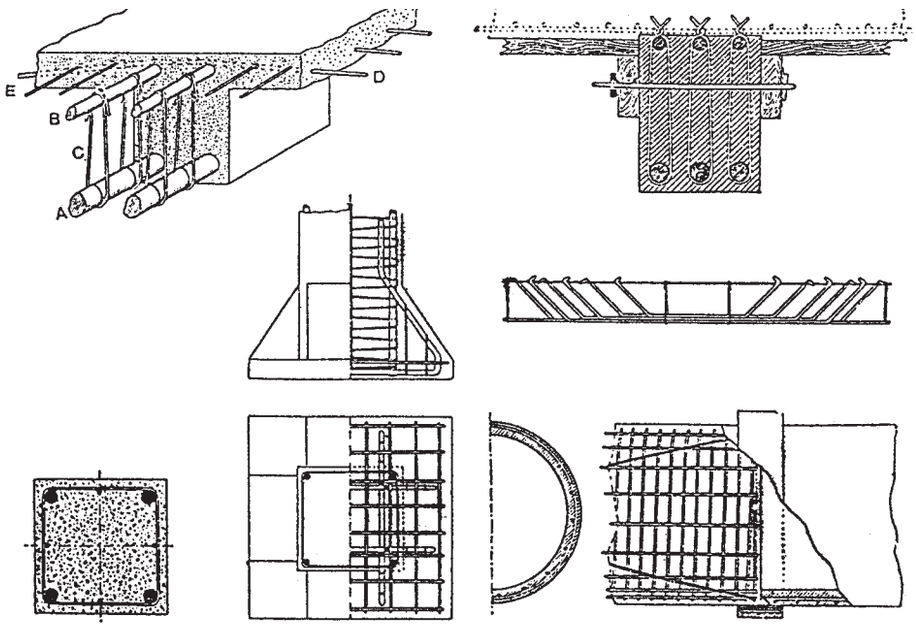


A 26

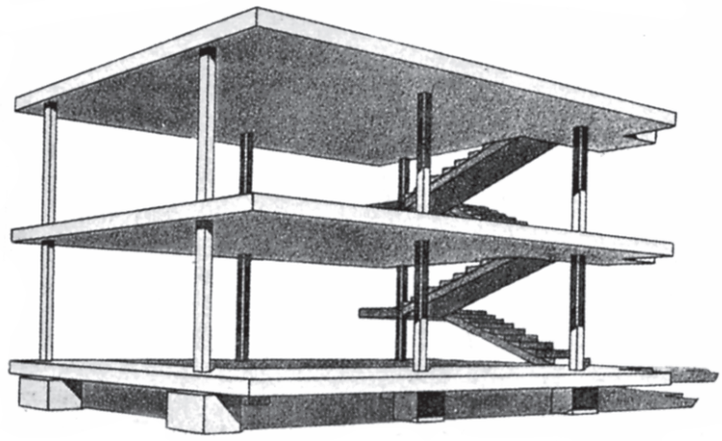
von Draht stabiler zu machen. Er experimentierte mit dieser Technik und entwickelte so die ersten Bauteile aus Stahlbeton. Dem Bauen stand nun ein zusätzliches, sehr leistungsfähiges Material zur Verfügung, das es ermöglichte, monolithische Konstruktionen hoher Stabilität herzustellen. 1891 setzte der französische Betonunternehmer E. Coignet beim Bau des Casinos in Biarritz erstmals Betonfertigteile ein (Abb. A 27). Fünf Jahre später entwickelte der Konstrukteur und Unternehmer Francois Hennebique für die französischen Staatsbahnen ein Bahnwärterhäuschen als erste Raumzelle aus Beton (Abb. A 25).

Rationalisierung, Serienproduktion, Typisierung und Massenwohnungsbau

Unter dem Einfluss der Industrialisierung wurden im Bauwesen neue qualitative Maßstäbe hinsichtlich Konstruktion, Raum und Form geschaffen. Es gab nun neue, schnellere Wege Produkte mit Maschinen industriell in großen Serien herstellen zu können, die somit kein individuelles Ergebnis handwerklicher Arbeit mehr waren. Die Formen moderner Industrieprodukte, wie Maschinen, Ozeandampfer oder Automobile, und die schnörkellosen, im 19. Jahrhundert entstandenen Ingenieurkonstruktionen hatten großen Einfluss auf das Denken und Handeln der Architekten. Die Architektur sollte mithilfe der Industrie in formaler, sozialer und ökonomischer Hinsicht grundlegend erneuert werden. Gebäude sollten standardisiert und elementiert als Serie in der Fabrik hergestellt werden, um sie auf der Baustelle nur noch nach dem Baukastenprinzip zusammenzufügen. Man erhoffte sich, mit diesen neuen Möglichkeiten die drängenden Probleme im Wohnungsbau zu



A 27



A 28

lösen. Der Bevölkerungszustrom in die Großstädte, insbesondere in Frankreich, Deutschland und England, wuchs im Laufe des 19. Jahrhunderts ständig an. Die zunehmende Wohnungsnot, vor allem unter ärmeren Arbeitern, und die elenden Zustände in den entstandenen Massenquartieren erforderten Lösungen und neue, kostengünstige Baumethoden. Die Forderung nach besser organisierten Siedlungen, durchlüfteten, gut belichteten und bezahlbaren Wohnungen wurde immer lauter. Einige Politiker und Planer erkannten, beeinflusst auch von den industriellen Entwicklungen in Amerika, dass Quantität und Qualität im Wohnungsbau nur mit einer entsprechenden Produktionsweise zu erreichen ist. Industriell hergestellte Bauelemente und schnellere Montagetechniken, aber auch eine rational durchorganisierte Baustelle sollte den herkömmlichen handwerklichen Baubetrieb ablösen.

Die Vereinigten Staaten wurden mit ihren schlichten, nicht architektonisch gestalteten Silo- und Technikbauten und der rationellen Organisation ihrer Industrie Vorbild für die Europäer. Der 1856 geborene Frederick Winslow Taylor entwickelte das sogenannte Scientific Management bzw. den Taylorismus, eine wissenschaftliche Betriebsführung, im Rahmen derer Arbeitsabläufe in alle Einzelheiten zerlegt und detailliert analysiert wurden, um anschließend die Produktion rationeller, schneller und ökonomischer zu organisieren. Daraufhin führte Henry Ford 1913 die Arbeit am Fließband im Automobilbau ein. Sein Konzept der modernen Fertigung von Fahrzeugen revolutionierte auch die moderne Kultur. Die Architekten der Avantgarde ließen sich von der industriellen Massenproduktion im Automobilbau beeinflussen. Die Idee, Häuser wie Autos herzustellen, wurde zum Wunschbild. Rationalisierung, Standardisierung, Typisierung und Normierung sollten maßgebend für die Architektur werden.

Der Architekt Peter Behrens forderte 1918 in seiner Schrift »Vom sparsamen Bauen« die Mechanisierung des Bauvorgangs und dass »diese Industrialisierung der Bauteile [gemeint waren Fenster, Türen usw.] noch viel weitgehender und großzügiger in Angriff genommen werden muss« [5]. In einer Anwendung der einheitlichen Maße und Formen der Fabrikationsprodukte im Kleinhausbau könnten die Grundlagen zu einer industriellen Massenproduktion gelegt werden, die einer möglichst weitgehenden Verbilligung des Kleinhauses die Wege ebnen könnte [6]. Um weitere Kosten zu sparen forderte er somit, dass der Taylorismus auch im Bereich des Kleinhausbaus eingeführt werden sollte.

In der Erklärung von La Sarraz sprach sich 1928 der Congrès International d'Architecture Moderne, kurz CIAM, für Rationalisierung und Standardisierung als notwendige ökonomische Produktionsmethoden aus.

Le Corbusier griff schon früh die aus der Industrie kommenden technischen und formalen Entwicklungen auf und beeinflusste so viele Architekten. In »Vers une architecture« schrieb er im Kapitel »Häuser im Serienbau«: »Ein großes Zeitalter ist angebrochen. Ein neuer Geist ist in der Welt. Die Industrie, ungestüm wie ein Fluss, der seiner Bestimmung zustrebt, bringt uns die neuen Hilfsmittel, die unserer von dem neuen Geist erfüllten Epoche entsprechen. Das Gesetz der Sparsamkeit lenkt gebieterisch unser Tun. Das Problem des Hauses ist ein Problem unserer Zeit. Das Gleichgewicht der Gesellschaftsordnung hängt heute von seiner Lösung ab. Revision der geltenden Werte, die Revision der wesentlichen Elemente des Hauses. Der Serienbau beruht auf Analyse und experimenteller Forschung. Die Großindustrie muss sich des Bauens annehmen und die einzelnen Bauelemente serienmäßig herstellen. Es gilt die geistigen Voraussetzungen für den Serienbau zu schaffen.« [7]

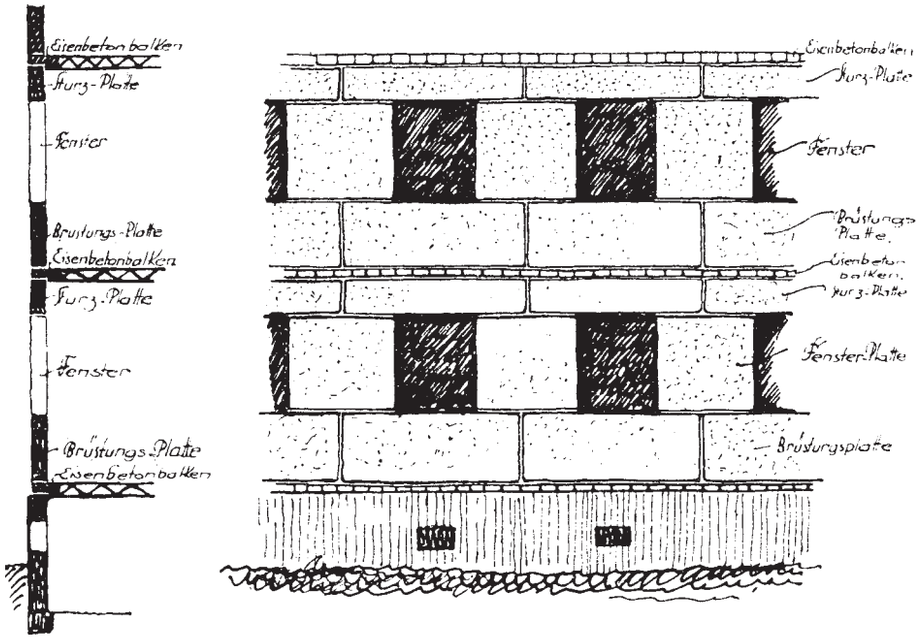
1914 entwickelte er das »Domino-Haus-Projekt« (Abb. A 28), ein Bausystem aus Betonstützen und -deckenbalken. Vorfabrizierte, serienmäßig hergestellte Fenster, Türen und Wandschränke konnten individuell zusammengestellt werden. Dieses Haus, im Gerüst nur bestehend aus Pilotis und auskragenden Deckenplatten, revolutionierte die Baukonstruktion. Ein 1921 entworfenes Typenhaus bezeichnete er mit »Citrohan«, »mit anderen Worten, ein Haus wie ein Auto, entworfen und durchkonstruiert wie ein Omnibus oder eine Schiffskabine« [8].

In Deutschland waren Martin Wagner, Ernst May und Walter Gropius auf dem Gebiet der Reformierung des Wohnbaus die treibenden Kräfte. Martin Wagner, Stadtbaurat in Berlin, forderte seit 1918 die Rationalisierung des Bauens und die Typisierung von Wohnungen. Die Baukosten sollten gesenkt werden, um bezahlbare Wohnungen zu erhalten. Der traditionelle handwerkliche Baubetrieb sollte durch gewerkschaftlich organisierte Bauhütten in einen rationalisierten Industriebetrieb überführt und Handarbeit von Maschinen übernommen werden.

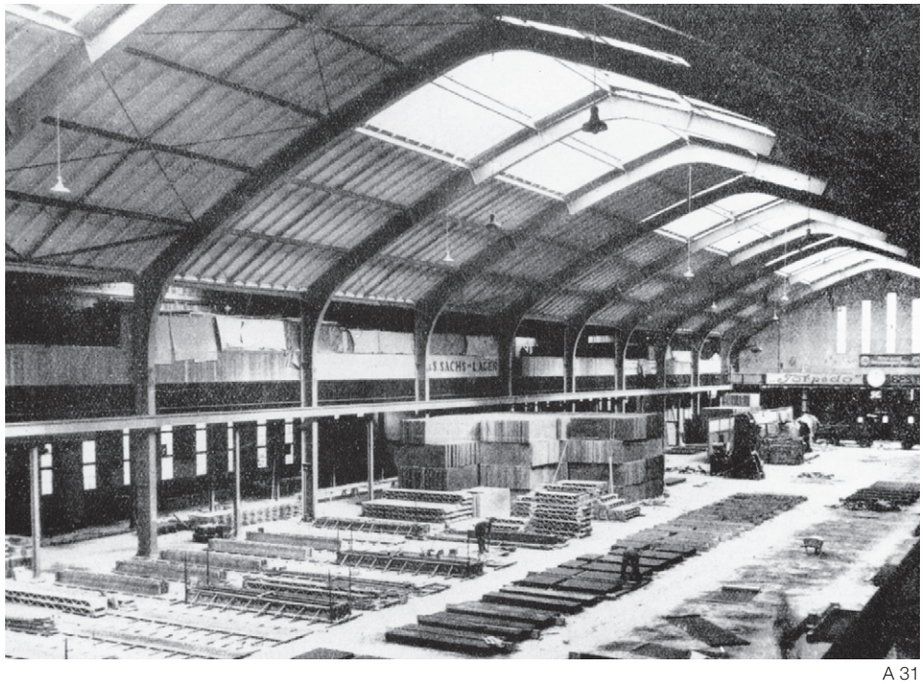
Beim Bau der Siedlungen Britz und »Onkel Toms Hütte« in Berlin wurde zwar die Bauabwicklung durch den Einsatz

A 29

A 29 Luftbild Siedlung Westhausen, Ernst May, Frankfurt am Main (D) 1932
A 30 Plattenbauweise »System Stadtrat Ernst May« der Häuserfabrik Ernst May, Frankfurt am Main (D) 1926
A 31 Fertigungshalle der Häuserfabrik Ernst May, Frankfurt am Main (D) 1926
A 32 Werkbundausstellung Stuttgart 1927, Einfamilienhaus Nr. 17, Walter Gropius, Stahlskelett
A 33 Haus Nr. 17, Grundriss Erdgeschoss
A 34 Haus Nr. 17, Grundriss Obergeschoss



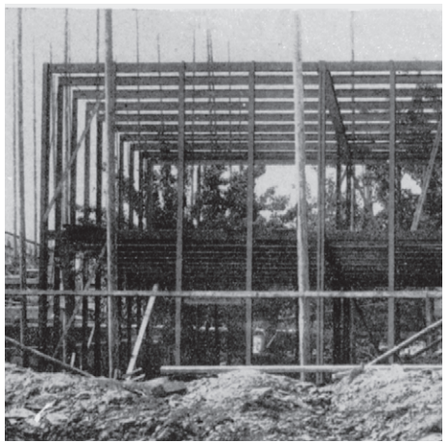
A 30



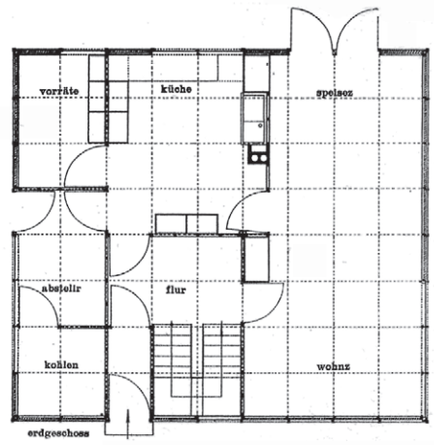
A 31

von Förderbändern und Baggern verbessert und durch Reihung von nur vier Wohnungstypen Kosten eingespart, die Baumethoden waren jedoch nach wie vor traditionell. Eine Ausnahme bildete die Siedlung von Berlin-Friedrichsfelde. Dort setzte man 1926 geschosshohe Betonplatten nach dem »Occident-Verfahren« ein. Diese in Holland patentierte Großplattenbauweise war in einer Amsterdamer Gartenstadtsiedlung bereits angewendet worden. Die 25 cm dicken zwischen 25 und 40 m² großen Platten mit einer maximalen Abmessung von 10 × 4 m mussten aufgrund ihrer Größe vor Ort hergestellt und mit einem Kran versetzt werden. Die Außenwandplatte bestand aus drei Schichten – außen Kiesbeton, innenseitig Schlackenbeton und die Zwischenschicht aus Schlacke –, die Innenwandplatte war beidseitig aus Schlackenbeton. Die Herstellung war sehr aufwendig, und im Laufe der Zeit traten erhebliche bauliche Mängel auf.

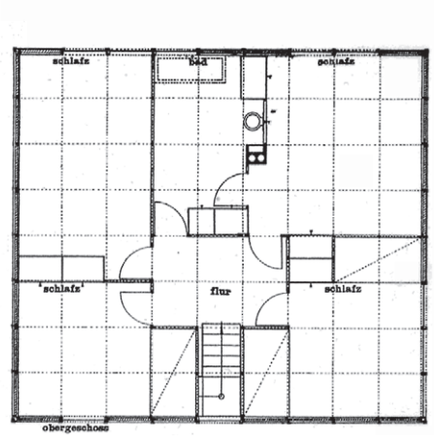
Als Vorreiter für rationalisiertes und industrialisiertes Bauen gilt besonders Frankfurt am Main. Ernst May, Stadtbaurat in Frankfurt, schrieb 1929 in seinem Artikel »Die Wohnung für das Existenzminimum«:»Es sind in hinreichender Zahl Wohnungen zu bauen, die […] Mieten ergeben, die den Wochenlohn eines Arbeiters nicht übersteigen.« Und in seinen »Leitsätzen zur Rationalisierung des Wohnungsbaues für das Existenzminimum« schrieb er hinsichtlich der »Wohnungserzeugungs-Methode«: »Die Wohnungserzeugung sollte so organisiert sein, wie die Produktion aller Massenartikel im Wirtschaftsleben organisiert ist, das heißt mustergültig durchgearbeitete Modelle (Typen) sollten serienweise, an möglichst wenigen Stellen konzentriert, fabriziert werden. Insbesondere ist auch die



A 32



A 33



A 34

Mechanisierung des Wohnungsbaues zu betreiben. Das Ziel muss die einschließlich Einrichtung fabrikmäßig erzeugte, fertig lieferbare, in wenigen Tagen montierbare Wohnung bleiben.« [9]
In der von ihm gegründeten Frankfurter Häuserfabrik (Abb. A 31) entstanden 1926 erstmals in Deutschland industriell produzierte Platten mit dem Namen »System Stadtrat Ernst May« (Abb. A 30). Im Unterschied zur »Occident-Bauweise« waren Fenster- und Türrahmen nicht bereits integriert. Die Wand bestand aus drei Schichten Leichtbeton – Bimskies, feiner Bimssand und Portlandzement – der Fensterplatte, der unbewehrten Brüstungsplatte mit den Maßen 3,0 × 1,1 × 0,2 m und der bewehrten Sturzplatte von 3,0 × 0,4 × 0,2 m. Sie wurden mithilfe eines Turmdrehkrans in Bimsmörtel versetzt, die Stoßfugen anschließend ausgegossen. Die Geschoss- und Dachdecken wurden aus fabrikfertigen Stahlbetonhohlbalken zusammengesetzt. Pro Haus benötigte man eineinhalb Tage für den Rohbau. Die Platten konnten aufgrund ihrer Größe für unterschiedliche Haustypen verwendet werden. Türen, Fenster, Beschläge, eiserne Türrahmen und Öfen wurden nach Normblättern in großer Serie hergestellt. Insgesamt dauerte es 26 Tage ab Baubeginn, bis zum bezugsfertigen Zustand. Die Siedlungen und Wohnungen sollten die neuen Produktions- und Baumethoden in ihrer Gestalt zum Ausdruck bringen. Diese Form des Wohnungsbaus war jedoch die Ausnahme, die Regel blieben die traditionellen Bauweisen.

Angesichts der Rationalisierungs- und Industrialisierungsmaßnahmen in Amerika, hatte sich auch Walter Gropius 1909/10 im Büro Behrens mit der Standardisierung von Bauteilen befasst. Aber erst 1922, angeregt durch Le Corbusiers Schriften und dessen »Domino-Haus«, wandte er sich erneut dieser Bautechnik zu und forderte einen »Baukasten im Großen, aus dem sich je nach Kopfzahl und Bedürfnis der Bewohner verschiedene Wohnmaschinen zusammenfügen lassen« und »ein Haus, das aus variablen Versatzstücken, die auf Vorrat hergestellt werden und kombinativ zusammensetzbar, [...] in der Art eines Anker-Baukastens im Großen zusammengebaut wäre.« [10] Dieser »Baukasten« wurde 1922 für eine geplante Bauhaussiedlung entwickelt. Sein 1923 formuliertes Anliegen, dass auf der Baustelle montagefähige Einzelteile »wie Maschinen […] im Trockenbauverfahren montiert werden«, wurde erst später Wirklichkeit [11]. Als großer Bewunderer Fords und Taylors scheint es Gropius Ziel gewesen zu sein, ein »Wohn-Ford« zu werden [12].

Das vorgefertigte Haus – der Baukasten

Neben dem Massenwohnungsbau der Siedlungen gab es einen großen Bedarf an Einzelhäusern. Die Wohnungsnot und das Fehlen gängiger Baustoffe nach dem Ersten Weltkrieg erforderten Versuche mit neuen Bautechniken. Die brach liegende ehemalige Rüstungsindustrie nahm, angeregt durch die Stahlarchitektur in Amerika und England, ab 1925 die Entwicklung von industriellen Systemen für den Wohnbau auf. Bis 1932 entstanden viele Bausysteme in Stahl und Holz wie z.B. das »Kupferhaus« von Walter Gropius, wobei in Deutschland im Gegensatz zu England relativ wenige Wohnhäuser in Stahl errichtet wurden. Hier bot sich für die Stahl- und Holzindustrie und für Architekten ein wichtiges Versuchsfeld, um auch Einzelhäuser als komplette »Baukästen« im Katalog anbieten zu können. Nachdem sich die wirtschaftliche Situation nach dem Ersten Weltkrieg wieder verbessert hatte, widmete sich ab Mitte der 1920er-Jahre auch die Stahlindustrie dem Stahlhausbau. Die Konstruktionen waren entweder als Skelett ausgeführt oder mit geschosshohen Platten in Tafelbauweise, die sich bereits in England bewährt hatte.

Walter Gropius wollte 1927 in der Werkbundausstellung »Die Wohnung« am Weißenhof in Stuttgart an zwei Häusern »neue Lösungen im Montagebau« demonstrieren [13]. Während Haus Nr. 16 noch nahezu ein traditionell hergestellter gemauerter Massivbau war, wurde Haus Nr. 17 in der Bruckmannstraße im trockenen Montagebauverfahren aus industriell vorgefertigten Einzelteilen montiert (Abb. A 32–34). Auf einer vor Ort hergestellten Betonplatte wurde ein Stahlskelett aus Z-Profilen mit einem Grundmodul von 1,06 m erstellt, dessen Zwischenräume mit 8 cm dicken Expansitkorkplatten ausgefüllt waren. Außenseitig wurden sie mit 6 mm Eternit- (Asbestschiefer), innenseitig mit Lignatplatten beplankt, die je nach Nutzung zusätzlich mit Celeotex-, Zuckerrohr- oder Asbestplatten verkleidet wurden.

Der Wunsch nach Wohnen im Grünen und der Mangel an Baustoffen wie Stahl, Ziegel und Beton führte nach dem Ersten Weltkrieg zu einer starken Nachfrage nach Holzfertighäusern. Führende Firmen auf diesem Gebiert waren die bereits erwähnte Christoph & Unmack und die Deutschen Werkstätten Hellerau/München. Seit den 80er-Jahren des 19. Jahrhunderts wurden bei Christoph & Unmack nicht mehr nur fabrikgefertigte Baracken produziert, sondern auch Wohnhäuser,