

TRAGWERK UND RAUMABSCHLUSS

EINE ZUSAMMENFASSUNG HEUTIGER KONSTRUKTIONSMÖGLICH-
KEITEN DES HOCHBAUES IN HOLZ, STEIN, EISENBETON UND EISEN

VON DER EIDG. TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN
ZÜRICH ZUR ERLANGUNG DER WÜRDE EINES
DOKTORS DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
GENEHMIGTE

PROMOTIONSARBEIT NR. 609

VORGELEGT VON

ROLAND ROHN

DIPLOMIERTER ARCHITEKT AUS GENÈVE

REFERENT: HERR PROFESSOR H. JENNY - DÜRST
KORREFERENT: HERR PROFESSOR O. SALVISBERG



Leer - Vide - Empty

Inhaltsverzeichnis

Nachgeschlagene Literatur	V
Einleitung	1
I. <i>Das Tragwerk aus Holz und dessen Raumabschluß</i>	10
Das Holz als Baustoff	10
Die Holz-Verbindungen	14
Die Holzstütze	15
Die Holzwand	15
Der Holzunterzug	24
Die Holzdecke	25
Die Dach- und Hallenkonstruktionen aus Holz	27
II. <i>Das Tragwerk aus natürlichen und künstlichen Steinen und dessen Raumabschluß</i>	34
Der Naturstein als Baustoff	34
Der Ziegelstein als Baustoff	36
Der Mauermörtel	36
Der Beton als Baustoff	36
Die Steinmauer und -Stütze	38
Der Steinbalken	51
Die Mauerwölbung	51
Die Steindecke	53
Das räumliche Steingewölbe	53
III. <i>Das Tragwerk aus Eisenbeton und dessen Raumabschluß</i>	57
Der Eisenbeton als Baustoff	57
Die Eisenbetonmauer	61
Die Eisenbetonstütze	63
Der Eisenbetonunterzug	63
Die Eisenbetondecke	65
Der Eisenbetonskelettbau	69
Die Dach-, Hallen- und Kuppelkonstruktionen aus Eisenbeton	78
IV. <i>Das Tragwerk aus Eisen und dessen Raumabschluß</i>	83
Das Eisen als Baustoff	83
Verbindungsmittel des Eisenbaues	89
Die Eisenstütze	89
Der Eisenunterzug	91
Die Eisenträgerdecke	92
Der Eisenskelettbau	95
Die Dach-, Hallen- und Kuppelkonstruktionen aus Eisen	110
V. <i>Zusammenfassung</i>	114

Leer - Vide - Empty

Nachgeschlagene Literatur

Bücher:

- F. Block: Probleme des Bauens, 1928.
R. Brackmeyer: Das Stahlhaus, 1928.
A. Choisy: L'art de bâtir chez les Romains.
R. Döcker: Terrassen-Typ, 1929.
F. W. Dencer: Amerikanischer Eisenbau in Bureau und Werkstatt, 1928.
A. Feifel: Marksteine für technisches Bauen.
W. Fiedler: Das Fachwerkhaus, 1902.
M. Förster: Die Eisenkonstruktionen der Ingenieur-Hochbauten, 1924.
Th. Gesteschi: Hölzerne Dachkonstruktionen, 1923.
S. Giedion: Bauen in Frankreich, Bauen in Eisen, Bauen in Eisenbeton.
E. G. Gladbach: Die Holzarchitektur der Schweiz, 1885.
A. Gregor: Der praktische Eisenhochbau, 1928.
L. Hilberseimer & J. Vischer: Beton als Gestalter, 1928.
C. Kersten: Der Eisenhochbau, 1924.
C. Kersten: Freitragende Holzbauten, 1921.
A. Kleinlogel: Fertigungskonstruktionen im Beton- und Eisenbetonbau, 1929.
Linolium A.-G. Giubiasco, Schweiz: Deckenkonstruktionen und Schallsolierungen mit Linoleum.
P. Meyer: Moderne Architektur und Tradition, 1927.
Mitteilungen und Berichte der Reichsforschungsgesellschaft für Wirtschaftlichkeit im Bau- und Wohnungswesen.
E. Mörsch: Der Eisenbetonbau, 1926.
A. Nanning: Moderne Holzbauweisen, 1924.
R. J. Neutra: Wie baut Amerika? 1927.
L. Potterat: Das Holz, 1922.
H. & B. Rasch: Wie bauen? 1929.
R. Saliger: Der Eisenbeton, 1920.
K. W. Schulze: Der Stahlskelettbau, 1928.
F. Schumacher: Das Wesen des neuzeitlichen Backsteinbaues, 1917.
G. Spiegel: Stahl- und Eisenbeton im Geschoßbau. Ein wirtschaftlicher Vergleich 1928.
H. Spiegel: Der Stahlhausbau, 1928.
W. A. Starrett: Skyscrapers, 1928.
K. F. Stöhr: Amerikanische Turmbauten, 1921.
Sweet: Architectural Catalogue, 1927/28.
G. Ungewitter: Lehrbuch der gotischen Konstruktionen, 1903.

Zeitschriften:

Beton und Eisen, Das neue Frankfurt, Das Werk, Der Baumeister, Der Industriebau, Der Stahlbau, Beilage zur „Bautechnik“, Deutsche Bauzeitung, Die Bautechnik, Die Bauwelt, Die Schalltechnik, Engineering News-Record, Hoch- und Tiefbau, Schweizerische Bauzeitung, Stein, Holz, Eisen.

Lebenslauf

Ich wurde am 12. November 1905 in Sterkrade (Ruhrgebiet) geboren. Meine Eltern sind Prof. Dr. Arthur Rohn, Präsident des Schweizerischen Schulrates, und Alice Rohn-Frey, beide von Genf. Nach der Übersiedlung meiner Eltern nach Zürich im Jahre 1908 besuchte ich von 1912 bis 1920 die Primar- und Sekundarschule in Zürich; hierauf trat ich in die Industrieschule (Oberrealschule) Zürich ein, an der ich 1924 die Maturität erwarb. Von 1924 bis 1928 war ich Studierender an der Architekturabteilung der Eidg. Technischen Hochschule Zürich und absolvierte daselbst das Diplom mit dem Kern'schen Preis. Von 1928 bis 1929 war ich bei Herrn Prof. Dr. Gull als Assistent für Architektur tätig. Seit Januar 1930 arbeite ich im Architekturbureau von Herrn Prof. O. R. Salvisberg, Berlin und Zürich.

Studienreisen führten mich in die Schweiz, nach Frankreich, Deutschland, Österreich, Italien und nach den Vereinigten Staaten von Nordamerika.

Zürich, April 1931.

Roland Rohn.

Einleitung

Die Aufgabe der Erstellung eines bewohnbaren Bauwerkes besteht in der Schaffung eines *Raumabschlusses*, welcher die Bewohner vor äußeren und inneren Einwirkungen schützen soll. Dieser Schutz umfaßt, abgesehen von demjenigen der persönlichen Sicherheit und des Eigentums, in erster Linie die Sicherung gegen die Einwirkungen der Witterung — Regen, Schnee, Wind, Feuchtigkeit, Temperaturwechsel —, des Feuers, des Blitzes, sowie gegen Geräusche und Erschütterungen.

Die Lösung dieser Aufgabe bedingt die Schaffung von *Traggliedern*, bezw. *Tragwerken*, deren einzelne Bestandteile die auf das Bauwerk einwirkenden äußeren Kräfte: ständige Lasten — Eigenlasten, eventuell Erd- und Flüssigkeitsdruck —, ferner zufällige Lasten — Nutzlasten, Schneelasten, Winddruck, Erdbebenstöße —, sowie die inneren Kräfte, welche als Folge von Temperaturänderungen, des Schwindens und etwaiger ungleichmäßiger Setzungen entstehen, aufzunehmen haben.

Die *Ausbildung* des Tragwerkes und des Raumabschlusses wird einerseits durch allgemeine und besondere technische und wirtschaftliche Bedingungen der Aufgabe, sowie durch die zu deren Verwirklichung zur Verfügung stehenden bautechnischen Möglichkeiten, andererseits durch Erwägungen künstlerischer Natur bestimmt.

Die *allgemeinen technischen* und *wirtschaftlichen Bedingungen* sind im wesentlichen durch die örtlichen Verhältnisse — Umgebung, Verkehr, Bodenbeschaffenheit und Grundwasserverhältnisse, Klima (Art und Menge der Niederschläge, Windstärke, jährlicher Temperaturverlauf, Besonnung etc.), Erdbebengefahr, Bodenpreise etc. — bestimmt; die *besonderen technischen* und *wirtschaftlichen Bedingungen* hingegen beziehen sich auf die Eigenart des Bauwerkes, die Zweckbestimmung, welche in weitgehendem Maße die Grund- und Aufrißdisposition sowie die Anordnung der Maueröffnungen bedingt, die statischen Anforderungen des Tragwerkes, die Funktionen des Raumabschlusses, die Wirtschaftlichkeit im Bau und Betrieb, d. h. Erstellungs- und Unterhaltskosten, die Raumausnutzung, Lebensdauer, Bauzeit, Umbau- und Abbruchmöglichkeit etc.

Die verschiedenen zur Verfügung stehenden bautechnischen Mög-

lichkeiten, welche einerseits durch die Fortschritte der Bautechnik — Kenntnis, Gewinnung, bezw. Herstellung und Ausnutzung der Baustoffe, baustatische Methoden, wärme- und schalltechnische Erkenntnisse, Baumaschinen etc. — und andererseits durch örtliche Verhältnisse — ortsübliche Baustoffe, Zufahrtswege und Transportmittel, Arbeitskräfte etc. — gegeben sind, sind vom entwerfenden Architekten, unter Berücksichtigung der Bedingungen der Aufgabe, gegeneinander abzuwägen. In dieser Beziehung sind zu prüfen: die zu wählenden Baustoffe und Bauweisen, letztere insbesondere hinsichtlich ihrer statisch-konstruktiven Durchbildung, sowie der Bauvorgang.

Bei der Lösung der architektonischen Aufgabe sind jedoch nicht nur die bisher erwähnten zweckgebundenen Gesichtspunkte maßgebend, sondern es sind auch *künstlerische Erwägungen* wegleitend. Als solche sind unter anderen zu nennen: die Einfügung des Bauwerkes in die Umgebung, die plastische Gestaltung des Baukörpers, die Gestaltung der inneren räumlichen Beziehungen, die formale, dekorative und farbige Durchbildung der Fassaden und Innenräume, die Abwägung der Belichtung etc. Das vollendete architektonische Bauwerk entsteht deshalb nur dann, wenn der Architekt die erwähnten zahlreichen technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkte kraft seines Gestaltungsvermögens zu einer künstlerischen Einheit zusammenfassen kann. Die künstlerische Durchbildung der Aufgabe ist, obwohl sie von den irrationalen und rationalen Strömungen der Zeit beeinflusst und an die zeitlichen Grundlagen der Technik und Wirtschaft gebunden ist, in ihrem Wesen unmittelbar durch die Gestaltungskraft des Architekten gegeben. In der Durchdringung der technischen und wirtschaftlichen Aufgaben mit den künstlerischen Gestaltungsproblemen, wobei je nach der Bauaufgabe und den geistigen und materiellen Strömungen der Zeit das Gewicht der einen oder anderen Frage größer oder kleiner sein wird, liegt für den Architekten die Schwierigkeit, aber auch der einzigartige Reiz seines Schaffens.

Die Aufgaben rein technischer und wirtschaftlicher Natur können in hohem Maße vernunftmäßig ihre Lösung finden; die künstlerischen Probleme hingegen appellieren vor allem an das intuitive Gestaltungsvermögen und damit an die unmittelbare Persönlichkeit des Schaffenden. Während deshalb eine Auseinandersetzung mit

künstlerischen Problemen immer den Stempel der Persönlichkeit tragen und somit an ein stark subjektives Urteil gebunden sein wird, kann die Vertiefung in zweckgebundene Aufgaben objektiver erfolgen und allgemein gültigerer Natur sein.

In der vorliegenden Arbeit ist beabsichtigt, einige Grundlagen zur technisch-wirtschaftlichen, d. h. zur «objektiven» Seite der heutigen Bauaufgabe zusammenzustellen. Vorgängig sollen in der Einleitung die Gründe für die besondere Aktualität dieser Seite der Aufgabe des Architekten zusammengefaßt werden.

Bedingungen und Möglichkeiten technischer und wirtschaftlicher Art sind in der Mehrzahl eine Funktion der Zeit. Andere Zeiten besitzen andere Bedingungen, die neuen Mitteln rufen, wie andererseits neue Mittel neue Anwendungen ermöglichen.

Die technischen und wirtschaftlichen *Bedingungen unserer Zeit*, welche auf das architektonische Schaffen einen wesentlichen Einfluß ausüben, bestehen vor allem in der Notwendigkeit wirtschaftlichen Bauens, vermehrter Berücksichtigung hygienischer Faktoren, in der Anpassung von Stadt und Landschaft an den stets wachsenden Automobil-Verkehr, ferner in der Stellung neuer Aufgaben als Folge der Entwicklung der Großstadt und der Industrie.

Die technischen und wirtschaftlichen *Möglichkeiten unserer Zeit*, die zur Realisierung dieser Bedingungen zur Verfügung stehen, sind in erster Linie gegeben durch die heutigen Baustoffe, bzw. Bauelemente, die heutigen Bauweisen und die heutigen Methoden des Bauvorganges.

Zunächst seien vorgenannte Bedingungen kurz besprochen.

Das *wirtschaftliche Bauen* ist heute eine Notwendigkeit, deren Ursachen die durch den Krieg hervorgerufene Weltwirtschaftskrise, ferner die Stabilisierungskrise infolge des Überganges von einem entwerteten Gelde zu einem stabilen Geldwerte, desgleichen die durch die allgemeine Verarmung und nationalistische Strömungen begründete Schutzzollpolitik, endlich auch der gewerkschaftliche Zusammenschluß, bzw. die Kürzung der Arbeitszeit sind. Daneben ist nicht zu verkennen, daß das Streben nach einem gesteigerten «standard of life» gleichfalls das wirtschaftliche Bauen gefördert hat.

Die allgemeine Teuerung hatte eine Zeit lang in Verbindung mit den Mieterschutz- und anderen Gesetzen eine Stilllegung der Bau-

tätigkeit zur Folge, wodurch eine große Wohnungsnot entstand, welche besonders die wenig bemittelten Volksschichten traf. Die Aufgabe der schnellen Beschaffung billiger Wohnungen bildete deshalb nach dem Kriege und bildet heute noch für viele Länder Europas nicht nur eine wichtige Frage des Architekten und der Bauwirtschaft, sondern auch ein eminent soziales Problem. Es ist deshalb naheliegend, wenn auf Grund dieser Verhältnisse die mannigfaltigsten Mittel und Wege gesucht werden, um relativ zum Geldwert billiger als vor dem Krieg zu bauen. Ähnliche Gesichtspunkte gelten auch für die Erstellung von Geschäftshäusern, öffentlichen Gebäuden, Spital- und Schulhausbauten, Industriebauten etc. Die Voraussetzungen einer wirtschaftlichen Baugestaltung sind: eine zweckmäßige Grund- und Aufrißgestaltung, die den Ansprüchen des Betriebes möglichst vollkommen entspricht, eine technische Durchbildung, welche unter Benutzung der rationellsten Baustoffe und Bauweisen bei möglichst geringem Materialaufwand, bzw. niedrigen Kosten ein statisch klares Tragwerk wie auch einen vollwertigen Raumabschluß gewährleistet, sowie endlich eine rasche Bauausführung zur Verminderung der Bauzinsen.

Die weitgehende Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit zwingt den Architekten zu einer neuen Einstellung, welche in scharfem Kontrast zu seiner früheren Arbeitsweise steht. Während die Ingenieure seit vielen Jahrzehnten, besonders seit der Entstehung und dem Ausbau der Eisenbahnen und der damit zusammenhängenden Bedürfnisse eine wirtschaftliche und technische Denkart pflegten, verharrte der Architekt lange in einer historisch-dekorativen-formalen Einstellung. Wirtschaftliche und technische Probleme besaßen für ihn vielfach wenig Interesse; die alten Konstruktionen und Bauverfahren wurden trotz großer technischer Fortschritte beibehalten und eine Hauptaufgabe in der dekorativen Ausbildung der Grundrisse und Fassaden erblickt. Diese ausschließlich von übernommenen historisch-ästhetischen Gesichtspunkten ausgehende Architektur verlor aber mit der Zeit immer mehr den Kontakt mit den rein zweckmäßigen, wirtschaftlichen und konstruktiven Notwendigkeiten der lebendigen Bauaufgabe und näherte sich immer mehr einem gänzlichen Zustand der Erstarrung in toten Formen. Die Bedürfnisse des Auftraggebers wurden oft entweder ganz der ästhetischen Einstellung des Architekten geopfert oder zum mindesten in eine gewollte Form hinein-

gepreßt. Erst die unbedingte Notwendigkeit ökonomischen Bauens hat den Architekten gezwungen, die Wirtschaftlichkeit als einen bestimmenden Faktor für die Ausbildung der Bauwerke anzuerkennen.

Die vermehrte Berücksichtigung der *Hygiene* im Einzelbau wie auch im Städtebau ist eine unbedingte Forderung heutiger Baugestaltung. Die schlechten, ungesunden Wohnungs-, bzw. Arbeitsverhältnisse vieler älteren, engbebauten, städtischen Quartiere, ferner der Einfluß der medizinischen Wissenschaften, die den hohen Wert gesunden Wohnens und Lebens vermehrt betonen, haben die Wichtigkeit dieses letzteren Bedürfnisses erwiesen. Die Anordnung großer Fensterflächen, Terrassen, Balkone etc. zwecks vermehrter Besonnung, Belichtung und Belüftung, ferner die Berücksichtigung der Lichteinfallswinkel in den Straßen, die Rücksichtnahme der Orientierung der Häuser zur Sonne, die Neigung zum Flachbau inmitten großer Grünflächen fern von Staub und Lärm, die großen Grünanlagen der Städte etc. sind heute ein sichtbarer Ausdruck der hygienischen Erwägungen. Viele neue Siedlungen und Einzelwohnhäuser, Spital- und Schulhausbauten sind heute die bezeichnendsten Beispiele solcher, besonders unter Berücksichtigung hygienischer Faktoren gestalteter Bauwerke. Im Gegensatz hierzu stehen allerdings die schlechten hygienischen Verhältnisse jener Teile junger amerikanischer Großstädte, in welchen die konzentrierte Anordnung der Wolkenkratzer und Hochhäuser einen fühlbaren Licht- und Luftmangel zur Folge hat.

In bezug auf den Verkehr ist in erster Linie der gewaltige Aufschwung des *Automobilverkehrs* in den Städten von Bedeutung; er bestimmt im Zusammenhang mit den anderen Verkehrsmitteln — Straßenbahn, Autobus etc. — und dem Fußgängerverkehr in hohem Maße die Festlegung der Baulinien und die Platzbildungen. Wo früher formale Gesichtspunkte vorherrschten, ist heute die Frage der Verkehrsbewältigung einer der wichtigsten Faktoren geworden. Im Städtebau hat die Entwicklung des Automobilverkehrs einen analogen Einfluß ausgeübt wie die Einführung der Eisenbahnen im Ingenieurwesen.

Die *Großstadt*, deren Entstehung eine Folge des aus Erwerbsgründen geleiteten Zuges vom Lande zur Stadt, ferner des Dranges nach örtlicher Konzentration der Arbeitsstellen ist, und deren Entwicklung nur durch die Einführung neuer Transportmittel — Auto,

Autobus, Untergrund- und Hochbahn — ermöglicht wurde, hat neue Bauprobleme gestellt, und stellt deren heute noch. Als solche seien genannt: das Hoch-Geschäftshaus — in erster Linie eine Folge der teuren Bodenpreise und damit des Dranges nach örtlicher Konzentration der Arbeitsstätten —, dessen Erstellung nur unter den Bedingungen genügender natürlicher Belichtungs- und Belüftungsverhältnisse sowie genügenden Umschwunges zur Vermeidung von Verkehrsstauungen berechtigt ist; ferner die durch die hohe Bevölkerungszahl und -Dichte bedingten Großbauten — Warenhäuser, Bahnhöfe, Garagen, Markthallen, Lagerhäuser etc. —. In städtebaulicher Hinsicht verlangt das rasche Wachstum der Großstädte eine besondere Weitsicht in bezug auf die Festlegung der Wohn-, Geschäfts- und Industrieviertel und der entsprechenden Baulinien und Bauhöhen, sowie hinsichtlich der Anlage der Verkehrswege, der Grün- und Sportflächen.

Die zunehmende Industrialisierung der Produktion hat auch dem *Industriebau* neue Wege gewiesen, wobei besonders die Erstellung großer, weitgespannter, leichter Hallen mit einfacher Anpassungsfähigkeit an veränderliche Produktionsverhältnisse in Betracht fällt.

Die *Möglichkeiten* zur Verwirklichung der vorgenannten Bedingungen haben sich im letzten Jahrhundert und insbesondere in den letzten Jahrzehnten überaus rasch verändert. Stete Verbesserungen und Vervollkommnungen haben immer wieder neue Mittel und Möglichkeiten ergeben.

Die Einführung *neuer Baustoffe* ist auf Grund von praktischen Erfahrungen und Laboratoriumsversuchen erfolgt. Die vertiefte Kenntnis der statischen und raumabschließenden Eigenschaften der älteren Baustoffe — Holz, Naturstein, Ziegelstein etc. — einerseits, sowie die Herstellung künstlicher, den veränderten Bedürfnissen angepaßter Baustoffe eröffnete mannigfache neue Möglichkeiten. Auf wissenschaftlicher Basis baute sich eine Baustoffindustrie auf, mit dem Ziel der wirtschaftlichen Herstellung von Materialien, welche den mannigfachen Anforderungen, die an ein Tragwerk und an einen Raumabschluß zu stellen sind, gerecht werden. Waren die Möglichkeiten zur Ausbildung des Tragwerkes und Raumabschlusses in Naturstein, Ziegelstein, Beton und Holz relativ beschränkt und zudem mit großem Materialaufwand verbunden, so ermöglichen die hochwertigen Baustoffe Eisen und

Eisenbeton neuartige Anwendungen, die sich dadurch auszeichnen, daß sie aus biegungsfesten Traggliedern bestehen, die entweder feuerfest sind oder in einfacher Weise gegen Feuer gesichert werden können. Vor allem erlauben diese Baustoffe die Ausführung weitgespannter, schwer belasteter Tragwerke, welche dank der relativen Leichtigkeit der Tragwerksteile eine ausgiebige Belichtung zulassen, ferner eine zweckmäßige, von der Rücksichtnahme auf durchgehende, tragende Mauern befreite Grundrißgestaltung und endlich eine relativ rasche Herstellung ermöglichen.

Als Folge der Notwendigkeit, billige Kleinhäuser serienweise herzustellen, wurden neben den vorgenannten hochwertigen Baustoffen auch weniger tragfähige Baustoffe, bezw. Bauelemente auf den Markt gebracht. Einerseits wurden die altbekannten Ziegelsteine nach neuen isoliertechnischen Gesichtspunkten geformt, andererseits wurden neue Baustoffe, insbesondere Leichtbetonarten hergestellt, welche neben den tragenden auch gleichzeitig wärmeisolierende Funktionen zu erfüllen haben.

Endlich wurde auch die Entwicklung der nichttragenden, reinen Isolierbaustoffe gefördert; denn einerseits verlangten die durch wirtschaftliche Erwägungen gegebenen kleinen Abmessungen vieler raumabschließender Bauteile (nichttragende Außenmauern etc.), besondere isoliertechnische Vorkehrungen gegen Temperaturwechsel, Schallübertragung etc.; andererseits waren es die zusammenhängenden, schall- und wärmeleitenden Tragwerke aus Eisenbeton und Eisen, die zu vermehrter Berücksichtigung der Isolierfragen zwangen.

Die überaus rasche Entwicklung der künstlichen Baustoffe, bezw. Bauelemente war nur durch eine wirtschaftliche Arbeitsmethode — die *industrielle Fertigung* — möglich, in welcher die handwerkliche Herstellung und Bearbeitung der Baustoffe, bezw. der Bauelemente durch die weitgehende maschinelle Herstellung und Verarbeitung ersetzt und verbilligt wurde. Infolge der ausgiebigen Benutzung von Maschinen erfolgt die industrielle Produktion rasch und in großen Massen. Sie bedingt Normen und Typen. Die Verwendung in Massen hergestellter, normierter Bauelemente — Ziegelsteine, Betonsteine und -Platten, Eisentragglieder, Isolierplatten, wie ferner auch Fenster und Türen etc. — ist heute, sobald wirtschaftliche Bedingungen in erster Linie ausschlaggebend sind, eine Notwendigkeit.

Bei all diesen Industrialisierungs-Bestrebungen ist jedoch darauf zu

achten, daß trotz normierter Bauelemente die individuellen Wünsche des Bauenden so weit als möglich befriedigt werden können, andererseits auch den örtlichen Verhältnissen Rechnung getragen werden kann.

Die Verbesserung und Verbilligung der Transportmittel (Eisenbahn etc.) hat auf die Verwendung der Baustoffe und Bauelemente insofern einen großen Einfluß gehabt, als dadurch auch die Verwendung solcher Baustoffe und Bauelemente, deren Erzeugungs-, bezw. Gewinnungsort vom Bauplatz weiter entfernt ist, ermöglicht und somit eine größere Unabhängigkeit von den engeren örtlichen Verhältnissen erzielt wurde.

Parallel mit der Einführung der hochwertigen Baustoffe ging die vermehrte Berücksichtigung der *Baustatik* und die Anpassung der Konstruktion an die *Berechnung*, wodurch *neue Bauweisen* möglich wurden. Da, wo früher Tragwerke empirisch, vielfach sogar gefühlmäßig entworfen wurden, setzte jetzt die Rechnung des Bauingenieurs ein, der darnach trachtete, genau dimensionierte, leichte und wirtschaftliche Tragwerke mit übersichtlichem Kräftespiel zu schaffen. Die neuen Dach- und Hallenkonstruktionen aus Holz, die großen Hallen- und Geschoßbauten aus Eisen und Eisenbeton sind ein sichtbarer Ausdruck dieser Fortschritte. Wesentlich ist für manches Bauwerk die Wahl einer Bauweise, die in einfacher Anpassung an schnell veränderliche Produktions-, Verkehrs- oder Lebensbedürfnisse einen leichten Umbau, ja sogar Abbruch ermöglicht.

Ferner ist in den letzten Jahren auf dem Gebiete des *Wärme- und Schallschutzes* sowie der Bauhygiene, insbesondere bezüglich des Raumabschlusses, wissenschaftlich intensiv gearbeitet worden; neben den praktischen Erfahrungen an fertigen Bauwerken werden wissenschaftliche Forschungen in besonderen Laboratorien für Wärme- und Schallschutz, bezw. Raumakustik durchgeführt; diese Forschungen bezwecken vor allem die technisch einwandfreie und möglichst wirtschaftliche Ausbildung des Raumabschlusses im Anschluß an die durch die heutigen neuartigen Tragwerksausbildungen gestellten Aufgaben.

Die heutigen Methoden des *Bauvorganges* trachten nach möglicher Abkürzung der Bauzeit zwecks Bauzinsersparnis, nach Verminderung der Baufeuchtigkeit sowie weitgehender Unabhängigkeit von der Kälte und Hitze zur Ermöglichung eines durchgehenden,

nicht mehr saisonmäßigen Baubetriebes. Die Verwendung neuer Baustoffe, bzw. Bauelemente sowie die Anwendung neuer Bauweisen und die Zuhilfenahme von Baugeräten und Maschinen haben diese Bestrebungen unterstützt. Selbstredend müssen die für die Verzinsung und Tilgung der Baugeräte und -Maschinen aufgewendeten Beträge in einem angemessenen Verhältnis zum Umfang des Bauobjektes stehen.

Vorstehend wurde darauf hingewiesen, wie schnell sich die technischen und wirtschaftlichen Bedingungen und die bautechnischen Möglichkeiten der Erstellung eines architektonischen Bauwerkes in den letzten Jahrzehnten verändert haben. Darin möge die Begründung der vorliegenden Arbeit liegen. Im Hauptteil derselben wird versucht, im Anschluß an ältere Bauweisen, die wichtigsten neueren Ausbildungsmöglichkeiten zur Erstellung eines Tragwerkes und eines Raumabschlusses unter Berücksichtigung der Bedingungen unserer Zeit zusammenzustellen. In der gedrängten Darstellung dieser Zusammenfassung ist beabsichtigt, nur grundsätzliche Fragen, unter Ausschluß von Einzelheiten, deren Spezialstudium heute sehr weit führt, zu behandeln. Die theoretischen Voraussetzungen des Wärme- und Schallschutzes, der Wasserdichtigkeit etc. der raumabschliessenden Materialien und Konstruktionen, sowie die theoretischen Grundlagen der Berechnung und Konstruktion der Tragwerke werden im folgenden nicht näher erörtert.

Die Zusammenstellung ist in vier Abschnitte eingeteilt. Entsprechend den Eigenschaften der maßgebenden Baustoffe — Holz, natürliche und künstliche Steine, Eisenbeton und Eisen — wird versucht, die Möglichkeiten ihrer Verwendung zur Erstellung von Tragwerken und in Zusammenhang damit die Ausbildung des zugehörigen Raumabschlusses darzustellen. Das Tragwerk ist hierbei vorangestellt, weil dessen Ausbildung im allgemeinen für den Entwurf und die Ausführung vor allem maßgebend ist, während der Entwurf des Raumabschlusses oft eine sekundäre Aufgabe bedeutet, die sich dem Tragwerk anzupassen hat.

In der Schlußzusammenfassung soll anschließend auf Grund der heutigen Bauaufgaben und ihrer Bedingungen die Eignung der verschiedenen jeweils für die Lösung derselben in Frage kommenden bautechnischen Möglichkeiten der Ausbildung des Tragwerkes und Raumabschlusses untersucht werden.

I. Das Tragwerk aus Holz und dessen Raumabschluß

Das Holz
als Baustoff

Unter den praktisch wichtigen Baustoffen ist das Holz der einzige, der organischen Ursprunges ist. Er ist ein *natürlicher Baustoff*, dessen Qualität, im Vergleich zu den künstlichen Baustoffen, nur wenig von Menschenhand beeinflußt werden kann. Durch die möglichst günstige Wahl des Standortes der Bäume, die sorgfältige Pflege während des Wachstums, die Wahl des Zeitpunktes der Fällung sowie durch die Art der Bearbeitung ist eine Beeinflussung in qualitativer Hinsicht möglich. Während die Industrie der künstlichen Baumaterialien sich fortwährend zu vervollkommen und den zeitlichen Anforderungen anzupassen sucht, ist eine ähnliche Beeinflussung des Holzes nur in sehr beschränktem Maße und nur in viel längerem Zeitraum möglich. Hervorzuheben ist jedoch, daß im Gegensatz zu der Zement- und der Eisengewinnung die Baustoffgewinnung beim Holz keine Kohle benötigt.

Der *Bedarf an Holz* für mechanische und chemische Zwecke hat sich in den letzten Jahrzehnten so gesteigert, daß die natürliche Holzproduktion diesen Bedarf nicht mehr deckt, d. h. daß mehr Holz gefällt werden muß als wieder zuwächst. Da der normale jährliche Nutzertrag aus den Waldungen relativ klein ist — der Reinertrag beträgt heute für schweizerische Verhältnisse im Mittel 100—150 Fr./ha. d. h. pro 10000 m² —, müssen die Bodenpreise dementsprechend niedrig sein. Deshalb ist der Waldbau vorwiegend an denjenigen Orten ausbaufähig, wo eine anderweitige Verwertung des Grundes (Landwirtschaft, bauliche Verwertung etc.) auf lange Zeit nicht in Frage kommt. Waldschutzgesetze in Verbindung mit vermehrter und sachgemäßer Pflege des Waldes stellen die zweckmäßigen Mittel dar, die die gegenwärtige Produktion aufrecht zu erhalten und eventuell zu steigern vermögen.

Der Zellaufbau des Holzes bedingt ein ungleichmäßiges, *inhomogenes Gefüge*. Die Beschaffenheit und die Eigenschaften des Holzes sind deshalb nicht gleichartig in den verschiedenen Richtungen. Diese Verschiedenheit kann des weitern noch durch

Wuchsfehler, Astbildungen und Krankheitserscheinungen verstärkt werden.

Die *Festigkeiten des Holzes* werden aber trotz der Verschiedenheiten des Gefüges im Stammquerschnitt praktisch innerhalb des ganzen Querschnittes gleich groß angenommen. Die gebräuchlichen Festigkeitswerte: Druck-, bezw. Knick-, Zug-, Biegungs- und Schubfestigkeit weisen je nach der Holzart — Weich- oder Hartholz — große Unterschiede auf; sie sind unter Beachtung des geringen spezifischen Gewichtes des Baustoffes z. B. im Vergleich mit dem Baustoff Beton recht hoch, worauf die weitgehende Verwendung des Holzes in der Praxis hauptsächlich beruht. Als Folge des inhomogenen Holzgefüges sind die Festigkeiten wie obenstehend erwähnt in den Richtungen parallel, schräg und senkrecht zur Faser stark verschieden; sie ändern sich ferner mit dem Raumgewicht, d. h. mit dem Wassergehalt des Holzes. Der Holz-Konstrukteur ist beispielsweise genötigt, in seinen Entwürfen Beanspruchungen schräg, bezw. senkrecht zur Faser möglichst zu vermeiden, bezw. durch Hartholzzwischenlagen die zu übertragende Kraft auf eine größere Fläche zu verteilen.

Der *Dehnungskoeffizient des Holzes* — 0,00001 — ist im Vergleich zu demjenigen des Eisens — 0,0000005 — groß. Bei der Bemessung der Holzkonstruktion ist hierauf Rücksicht zu nehmen. Überlastungen einer Holzkonstruktion sind durch die damit verbundenen großen Formänderungen oft von bloßem Auge erkennbar.

Zwei für die Konstruktion sehr wesentliche Eigenschaften des Holzes sind ferner das *Schwinden und Quellen*, welche Vorgänge als «Arbeiten» des Holzes bezeichnet werden; es sind Erscheinungen, die mit der Abnahme des Wassergehaltes infolge Verdunstung, bezw. mit dem Wiederaufsaugen von Wasser in Verbindung stehen; das Schwinden beträgt z. B. in der Längsrichtung $\frac{1}{2}$ %, in der Querrichtung hingegen 5 %; ein außerordentlich großer Betrag, der die Konstruktionsweise des Holzbaues wesentlich bestimmt. Das «Sichwerfen» der Bretter, ferner die Radial-Rißbildungen in Vollbalken und die Lockerung der Holzverbindungen, die bei unsachgemäßer Verwendung des Holzes sich einstellen, sind hauptsächlich auf diese Eigenschaften zurückzuführen. Das Schwinden ist neben der Feuergefahr und den Holzkrankheiten ein Faktor, der bei der Verwendung des Holzes noch mehr als bis anhin berücksichtigt

werden muß. Die weitgehende Verwendung von Sperrholz im Schreinergerwerb ist ein sichtbarer Ausdruck solcher Bestrebungen.

Das Schwinden, bezw. Quellen des Holzes kann wesentlich vermindert werden dadurch, daß das Holz lange Zeit unter Feuchtigkeitsschutz an der Luft gelagert und getrocknet wird. Das zur Verarbeitung gelangende Holz sollte stets in der Nähe des Arbeitsplatzes einem geschützten, schon längere Zeit aufgestapelten Holzlager entnommen werden können.

Der *thermische Ausdehnungskoeffizient* des Holzes — 0,0000035 — ist relativ klein; er ist ungefähr dreimal kleiner als derjenige des Eisens.

Die organische Natur des Holzes bringt es mit sich, daß dieser Baustoff auch *Erkrankungen*, bezw. Angriffen tierischer und pflanzlicher Schädlinge ausgesetzt ist. Die wechselnde Feuchtigkeit ist für das Holz sehr schädlich und führt zu Fäulnis, während Holz, das sich ganz unter Wasser befindet, unbegrenzt hält. Die kurze Lebensdauer von Holz, das dem öfteren Wechsel von Trockenheit und Feuchtigkeit ausgesetzt ist, läßt sich an uneingedeckten Holzbauten, sowie besonders an den Längspfählen der Joche von Holzbrücken, die infolge des Wechsels des Wasserstandes rasch der Fäulnis erliegen, feststellen. Bei dem Entwurf einer Holzkonstruktion muß deshalb auf einen möglichst weitgehenden Schutz gegen Wasserzutritt (Vordächer etc.) und auf raschen Wasserablauf (glatte Flächen, keine Vorsprünge etc.) geachtet werden. Das Faulen kann auch durch Schutzanstriche oder Imprägnierung hintangehalten werden. So wichtig wie der Schutz vor Feuchtigkeit, ist die Zufuhr von Luft. Holz unter Luftabschluß ist zerstörenden Gärungsvorgängen ausgesetzt, es muß deshalb atmen können.

In Verbindung mit gutem Schutz vor Feuchtigkeit und guter Luftzufuhr steht zum Teil auch die Vermeidung der übrigen Krankheiten des Holzes, die bei Nichteinhaltung dieser beiden Vorschriften auftreten (Wurmfraß, Hausschwamm etc.). Das Entstehen dieser Krankheiten wird durch Rißbildungen im Holz, in welchen sich Pilze, Bakterien, Insekten und Feuchtigkeit ansammeln, erheblich gefördert. Der Erfolg, mit welchem die Wissenschaft und Praxis in stets vermehrtem Maße gegen diese Holzkrankheiten, beginnend im Walde und endend in der fertigen Konstruktion, ankämpfen, ist für die weitere Entwicklung des Holzbaues von großer Wichtigkeit.

Das Holz ist neben dem Eisen derjenige Baustoff, der durch *Feuer* ebenfalls seine Tragfähigkeit verliert. Ist die Temperatur nicht zu hoch, so kohlt das Holz erfahrungsgemäß nur an, während die tragenden Holzteile größtenteils erhalten bleiben, sofern die Dimensionen nicht zu dünn sind. Auf alle Fälle erfolgt dank der schützenden Wirkung der angekohlten Teile der Einsturz der Holzkonstruktion bei Brandausbruch nicht so rasch und plötzlich, daß nicht noch Zeit zur Bekämpfung des Brandes bleibt. Es ist heute vor allem die Feuersgefahr, die hemmend auf die Entwicklung des Holzbaues einwirkt. Der Wohnhausbau in Holz ist deshalb nur dort zulässig, wo das Haus als Einzelbau mit Umschwung gebaut wird (Berghaus, Bauernhäuser der Streusiedlungen im Flachland). Hierbei ist zu beachten, daß infolge der Feuersgefahr auch der Höhe des Holzbaues Grenzen gesetzt sind. Für alleinstehende landwirtschaftliche Bauten, für provisorische Bauten und für leichte, geschützte Hallen ist die Feuersgefahr nicht so maßgebend. Die Feuersicherheit des Eisenbetons kann allerdings nicht erreicht werden. Der vermehrte Schutz des Holzes vor Feuersgefahr ist heute, der Konkurrenz der feuerfesten, massiven Konstruktionen wegen, eine wichtige Frage, an deren Lösung bereits durch vielartige Versuche gearbeitet wurde. Bekannt sind die verschiedenen Imprägnierungs- und Anstrichmittel, welche hauptsächlich die Entflammung des Holzes verhindern sollen; ferner die Umkleidung des Holzes mit feuerfesten, isolierenden Platten; eine Maßnahme, die mit Schwierigkeiten verbunden ist, da der Luftzutritt stets gewährleistet sein muß. Bei Dach- und Hallenkonstruktionen kann durch eine feuerfeste Unterdecke (Rabitz, Eternit etc.) der Feuersgefahr entgegengetreten werden. Durch Hobeln der Sichtflächen wird der Angriff des Feuers ebenfalls gehemmt.

Unter den *raumabschließenden Eigenschaften des Holzes* ist vor allem der gute Wärmeschutz, welcher namentlich die Hölzer mit niedrigem Raumgewicht auszeichnet, wertvoll; als geschützter, raumabschließender Baustoff findet deshalb das Holz vor allem in Innenräumen als Bodenbelag, Wandverkleidung etc. mit Recht auch heute noch große Verwendung. Allerdings können Schwindrisse die gute Wärmehaltung der Holzkonstruktionen nicht unerheblich beeinträchtigen. Die Isolierfähigkeit des Holzes gegen Luftschall ist hingegen, als Folge der Porosität, gering.

Bei der *Projektierung und Ausführung* von Holzkonstruktionen ist

zu beachten, daß das Bauholz aus dem runden Stamm herausgearbeitet werden muß, d. h. die Querschnittsformen und -Abmessungen so gewählt werden müssen, daß der Verschnitt möglichst klein ausfällt; hierin unterscheidet es sich vom Eisen, bei welchem Stäbe großer Länge ohne wesentlichen Materialverlust mit beliebigen, statisch besonders zweckmäßigen Querschnittsformen gegossen oder ausgewalzt werden können, bezw. auch vom Beton, der gleichfalls in Formen ohne wesentlichen Materialverlust gestampft und gegossen werden kann.

Ein großer Vorteil der Holzkonstruktionen liegt in ihrer raschen Erstellungsmöglichkeit, da je nach der Konstruktion ein kleinerer oder größerer Teil der Arbeit auf dem Werkplatz unter Witterungsschutz vorbereitet werden kann, und der Zusammenbau in den häufigsten Fällen einfach ist. Das Eisen verlangt längere Lieferfristen, der Eisenbeton lange Schalungs- und Erhärtingszeiten. An- und Umbauten können in Holz leicht ausgeführt, ganze Bauteile rasch abgetragen und wiederaufgebaut werden.

Die Holz-
Verbindungen

Die Erstellung von Holztragwerken erfordert die Verbindung der einzelnen Tragglieder in den Knotenpunkten. Vielfach dienen diese *Holzverbindungen* in der Hauptsache nur dazu, die Unverschieblichkeit der einzelnen Tragglieder zu sichern, so z. B. beim Blockbau. Die Unverschieblichkeit wird durch Verbindungsmittel aus Hartholz (Dollen, Dübel, Keile etc.) oder Eisen (Nägeln, Schrauben, Klammern, Dollen, Dübel etc.) erzielt. Diese Holzverbindungen haben nur Beanspruchungen infolge des Winddruckes sowie infolge Schwindens, Temperaturänderungen, ungleicher Setzungen etc. aufzunehmen.

Dagegen bereitet die Ausführung von Holzverbindungen, welche der Übertragung von Druck- oder Zugkräften dienen, wegen der geringen Festigkeit des Holzes senkrecht zur Faser, der geringen Schubfestigkeit und der Schwinderscheinungen manche Schwierigkeiten. Die Holzverbindungen sind es, die die statische Ausnutzungsmöglichkeit der einzelnen Tragwerkteile betimmen.

Die Wirkung der alten zimmermannsmäßigen druck- oder zugfesten Holzverbindungen (Versatzung, Versatzung mit Zapfen, Schwalbenschwanzverbindung) beruht in der Hauptsache auf der geeigneten Formgebung der zu verbindenden Holztragglieder, während die hölzernen oder eisernen Verbindungsmittel hauptsächlich zu Heft-

zwecken beim Zusammenbau und später zur Sicherung des Zusammenhanges dienen. Demgegenüber weisen die neueren Holzverbindungen, welche vor allem in Fachwerkkonstruktionen Verwendung finden, insofern einen grundsätzlichen Unterschied auf, als die Übertragung der einzelnen Stabkräfte durch Eisenteile (ring- oder tellerförmige Dübel im Verein mit eisernen Schrauben, eiserne Gelenkknotenpunkte etc.), welche in maschinell hergestellte Nuten, Löcher etc. eingreifen, geschieht. Diese Verbindungen können sowohl Druck- als Zugkräfte übertragen und werden so ausgebildet, daß auch der Wirkung des Schwindens Rechnung getragen wird. Ein großer Vorteil besteht ferner darin, daß diese Verbindungen eine zentrische Anordnung der Stabaxen ermöglichen.

Unter Berücksichtigung der vorgenannten wesentlichsten Eigenschaften des Holzes und der Holzverbindungen sei nun untersucht, welche Möglichkeiten das Holz zur Verwendung als Tragwerk sowie als Raumabschluß bietet.

Dank der günstigen Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften erscheint das Holz in hohem Maße dazu geeignet, für Tragwerke Verwendung zu finden. Die wichtigsten *Tragglieder*, bezw. *Tragwerke aus Holz* sind: die Stütze, die Wand, der Unterzug, die Balkendecke sowie die balken- und bogenförmigen Binder.

Holzstützen besitzen vor allem in Verbindung mit den Wandkonstruktionen des Ständer- und Fachwerkbaues, sowie als Innensäulen größere Bedeutung. In letzterem Fall sind sie freistehende, auf Druck, bezw. Knicken und, je nach den Belastungen und der Ausbildung des Stützenkopfes und -Fußes, auch auf Biegung beanspruchte Stützen. Besondere Beachtung verdient die Ausbildung des lastübertragenden Stützenkopfes, da die Stützen zur Vermeidung des Schwindeinflusses durchgehend ausgeführt werden sollten. Das Schwinden wirkt sich bei Stützen aus Vollbalken besonders ungünstig aus, da eine Trennung des Querschnittes durch die unvermeidlichen Schwindrisse die Knickgefahr beträchtlich erhöht. In diesem Falle sind Stützen mit aufgelösten Querschnitten aus Halb-, Viertel- oder Rifthölzern vorzuziehen.

Die Holzstütze

Die einfachste Ausführung der Holzwand ist die *Blockwand* (vergl. Abb. 1). Durch Übereinanderschichtung und Verbindung einzelner

Die Holzwand

Hölzer — Rundhölzer, die an ihrer Unterseite zur Auflagerung geneigt werden, oder Balken rechteckförmigen Querschnittes — erfolgt der Bau dieser Blockhäuser und zwar meistens auf einem Unterbau aus Stein oder Beton, wodurch das Holz besseren Schutz vor Bodenfeuchtigkeit erhält. Die Verbindung der einzelnen Wandbalken geschieht entweder durch Dollen, durch Spundung oder durch Nut und Feder. Die Länge der Blockwand richtet sich nach der verfügbaren Stammlänge; selten werden Balken gestoßen. In ihrer Grundrißentwicklung ist also die Blockwandkonstruktion an kleine Dimensionen gebunden. Die Aussteifung, d. h. die wagrechte Unverschieblichkeit und Verhinderung der seitlichen Ausbiegung der Blockwand erfolgt an den Ecken, bzw. den Anschlußstellen der Zwischenwände durch Holzverbindungen (Überblattung, Verkämmung, Hakenüberkämmung und Schwalbenschwanz bei Kantholz und durch Abrundung aus dem Stamm und Verbindung durch Holznägel bei Rundholz). Zur weiteren Versteifung des Blockbaues dienen auch die Balkendecken oder die gewöhnlichen Bohlendecken.

Bei Blockhäusern ohne Zwischenwänden geschieht die Aussteifung zirka alle drei Meter durch Keilbretter, welche aufrecht stehend, zu beiden Seiten der Wand in kurze Blockbretter, die mit den Blockbalken verkämmt sind, eingreifen.

Die Stärken der Balken oder Bohlen für Dauerbauten sind sehr verschieden. In den Gebirgsgegenden sind die üblichen Stärken 12 bis 15 cm, während im Flachland, speziell in Deutschland, die Holzstärken aus Sparsamkeit in der Nachkriegszeit eingeschränkt wurden; hier finden sich Bohlenwände mit einer Stärke von nur 7 cm. Bauten mit so geringen Dimensionen eignen sich ohne weitere wärmetechnische Vorkehrungen nur mehr für landwirtschaftliche oder provisorische Bauten.

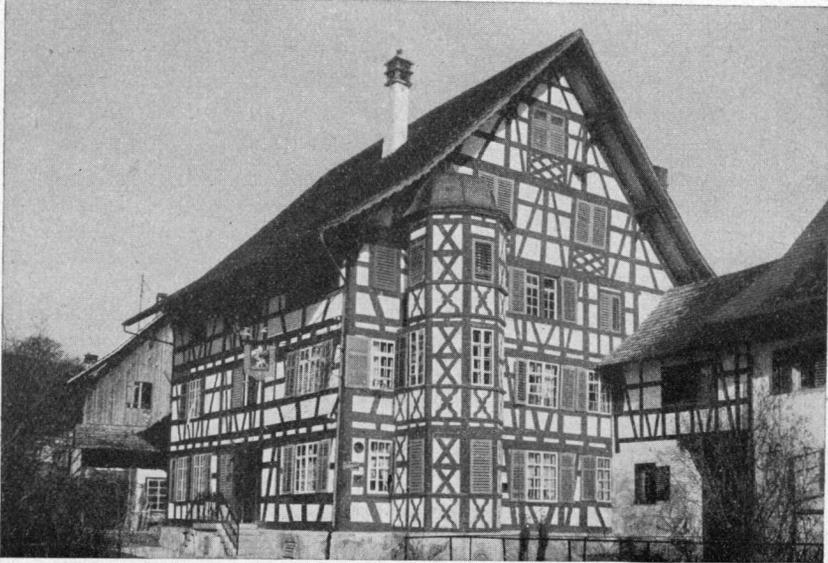
Als Tragwerk ist die Blockwand sehr massiv. Die Festigkeitseigenschaften des Holzes werden nicht gut ausgenutzt. Es ist ein Tragwerk, das nur bei billigen Holzpreisen konkurrenzfähig ist. Infolge des großen Holzbedarfes und der Schwierigkeit der Aussteifung ist das Blockhaus auch im Aufriß an kleine Dimensionen gebunden; Ausführungen mit mehr als zwei Geschossen sind selten. Als Vorteil ist gegenüber den später besprochenen aufgelösten Holzkonstruktionen (Ständer- und Fachwerkbau) besonders die einfache Bauart, die gute Zugänglichkeit sämtlicher Tragteile und

Abbildung No. 1



Blockbau in Holz
Haus in Oberiberg, Kanton Schwyz

Abbildung No. 2



Fachwerkbau in Holz
Haus in Oberstammheim, Kanton Zürich

Abbildung No. 3



Ständerbau in Holz
Rathaus in Eßlingen

sodann der Faktor zu werten, daß die Lastverteilung eine gute ist, die Pressungen auf den Untergrund deshalb klein sind und große konzentrierte Belastungen senkrecht zur Faser vermieden werden. Durch das Schwinden der einzelnen Blockbalken in Richtung der Jahrringe setzt sich die Wand jeweils um zirka $1\frac{1}{2}$ —3 %, was z. B. die Ausbildung von Schwebezapfen an den Tür- und Fensterpfosten bedingt.

Die Blockwand als Raumabschluß kann verschieden ausgebildet werden. Der einfachste Fall ist die Verwendung des Blockhauses für Bauten, die keinen weitgehenden Witterungsschutz verlangen (Futterspeicher etc.). Die Blockbalken werden dann entweder nur lose aufeinandergesetzt oder mit Zwischenräumen verlegt. Auf diese Weise ist zugleich eine gute Durchlüftung gewährleistet, was für landwirtschaftliche Bauten zweckmäßig ist.

Für Wohnzwecke genügt die Blockwand allein nur bei guter Dichtung der Fugen und guter Verbindung der Hölzer. Viel besser ist die Wärmehaltung jedoch, wenn die Blockwand innen mit Holzschalung, bezw. Täfelung auf Lattenrost und außen mit Schindelung, Eternitschuppen auf Pappunterlage etc. ausgestattet ist. So ausgeführt, ist die Blockwand vom hygienischen Standpunkt aus einwandfrei. Die Nachteile des Schwindens, welches namentlich bei Verwendung von Vollholzbalken die guten raumabschließenden Eigenschaften des Holzes mit der Zeit beeinträchtigt, ferner die Feuersgefahr, die Holzkrankheiten und damit die oft kürzere Lebensdauer haben jedoch das Blockhaus in städtischen Verhältnissen gegenüber dem zwar teureren, jedoch feuersicheren Massivbau zurückgedrängt.

Die wirtschaftliche Notwendigkeit, beim Holzbau an Baustoff zu sparen, führte zu der Auflockerung der Außenwände und damit zum Ständer- und Riegel-, bezw. Fachwerkbau. Das aufgelöste Holztragwerk geht bis in die frühesten Kulturzeiten zurück zum Pfahlbau und zu der griechischen Tempelarchitektur; es läßt sich in der römischen, altchristlichen, romanischen und vor allem in der gotischen Baukunst verfolgen, während es in der Renaissance an Bedeutung verliert.

Bei der heutigen *Ständerwand* werden folgende Tragelemente unterschieden: Schwelle, Ständer, Riegel, Winkel-, bezw. Kopf- oder Fußbänder (vergl. Abb. Nr. 3). Die stärker ausgebildete

Schwelle hat die nunmehr konzentrierten Wandlasten auf die Fundamentmauern zu übertragen, bezw. zu verteilen und außerdem den Holzaufbau zusammenzufassen. Zu letzterem Zweck sind die Schwellen an den Ecken überblattet, verzapft oder verkämmt. Oft auch werden sie der besseren Eckaussteifung wegen durch Winkelbänder verbunden, sodaß sie liegende Rahmen bilden.

Hauptständer befinden sich an allen Kreuzungsstellen der Wände; außerdem werden noch Zwischenständer angeordnet, um die Ausbiegung der Wand-Füllhölzer klein zu halten. Die Ständer sind mit den Schwellen mittelst Zapfen verbunden.

Die Riegel haben die Deckenbalken zu tragen und außerdem die Ständer seitlich festzulegen. Reichen die Ständer durch ein einziges Geschoß, so ist der Riegel als durchgehender Balken ausgebildet; reichen jene durch mehrere Geschosse, so sind die Riegel seitlich in diese eingezapft. Besteht die Decke aus Bohlen, so sind diese in die Riegel eingenetut. Die Verbindung der Riegel untereinander ist dieselbe wie diejenige der Schwellen. Die Ständer sind außerdem oft auch mittelst durchgehender Fensterbänke und -Stürze miteinander verbunden.

Die Winkelbänder, welche vor oder hinter den Füllhölzern angebracht sind, dienen dazu, zwischen den Schwellen, bezw. den Riegeln und den Ständern die besonders zur Aufnahme der horizontalen Kräfte nötige Eckversteifung herzustellen, d. h. biegungsfeste Rahmen zu schaffen. Die Verbindung, die zug- und druckfest sein muß, erfolgt durch Schwalbenschwanz-Verblattung.

Je nach der Stärke und der Art der Befestigung der Füllhölzer, welche in erster Linie raumabschließende Funktion haben, kann die Rahmenwirkung noch verstärkt werden.

Das Tragwerk des Ständerbaues ist statisch bereits entwickelter und auch leichter als dasjenige des Blockbaues. Die Festigkeitseigenschaften des Holzes werden hier besser ausgenutzt. Auch ist diese Konstruktionsweise nicht an die geringen Grundrißdimensionen des Blockbaues gebunden. Statisch werden infolge der Rahmenwirkung die Riegel hauptsächlich auf Biegung, die Winkelbänder hauptsächlich durch Axialkräfte und die Ständer auf Biegung und Druck beansprucht. Spezielles Gewicht muß zur Erzielung der Rahmenwirkung vor allem auf die Verbindung der Winkelbänder mit den Ständern, Schwellen und Riegel gelegt werden. Die übliche Schwalbenschwanz-Verbindung, die infolge des Schwindens des

Holzes ihre Wirkung mit der Zeit teilweise verliert, genügt den Anforderungen nicht restlos, sodaß Verschiebungen auftreten. Ein Nachteil des Ständerbaues ist die Beanspruchung der Schwellen normal zur Faserrichtung in den Auflagerstellen der Ständer durch die konzentrierten Lasten.

Während bei der Blockwand der Raumabschluß in der Hauptsache durch die Tragkonstruktion gebildet wird, muß in der Ständerwand der Raumabschluß durch besondere Füllhölzer, bezw. durch Ausmauerung der Rahmenfelder hergestellt werden. Es tritt erstmals eine Trennung in tragende und raumabschließende Teile ein. Die Füllhölzer werden in horizontaler, senkrechter oder schräger Lage in die rechteckigen Gefache eingefügt. Bei guter Konstruktion werden die horizontal verlegten Füllhölzer in die Ständer eingenetet, was eine gleichzeitige Errichtung des Tragwerkes und der Füllkonstruktion erfordert. Senkrecht verlegte Füllhölzer erfordern Versteifungsstreben. Die Fugendichtung zwischen den Füllhölzern geschieht bei Blockhölzern durch Moos, bei Bohlen und Brettern durch Überfälzung oder Spundung. Infolge des Schwindens können sowohl zwischen den Füllhölzern als auch zwischen der Rahmenkonstruktion und dem Füllwerk Fugen entstehen.

Für geringere Anforderungen genügt diese Wandausbildung; für dauernde Wohnzwecke ist eine Täfelung im Innern vorzusehen. Die Möglichkeit, große Fensterflächen auszubilden, ist als Vorteil für die Bewohnbarkeit dieser Räume hervorzuheben.

Die weitere Entwicklung der Holzwand führte zur *Riegel- oder Fachwerkwand* (vergl. Abb. 2). Das Tragwerk der Fachwerkwand besteht aus Schwelle, Ständer, Riegel wie beim Ständerbau und Streben. Statt Winkelbändern, wie im Ständerbau, werden im Fachwerkbau links und rechts steigende Streben zur Aussteifung der einzelnen Fache des Tragwerkes verwendet; statisch eine bedeutende Verbesserung, da dadurch unverschiebliche Dreiecke entstehen, deren Stäbe in der Hauptsache Axialkräfte zu übertragen haben. Da aber die Fachwerkwände der konstruktiven Schwierigkeiten wegen keine oder nur schlecht zentrierte Knotenpunktverbindungen zeigen, werden die Stäbe zusätzlich auch auf Biegung beansprucht. Die Streben sind mit den Riegeln und Schwellen durch Versatzung oder Verzapfung, d. h. nur druckfeste Verbin-

dungen verbunden, was wegen des Wechsels der Diagonalenrichtung zulässig ist. Außer den nicht-zentrischen Knotenpunkten stören auch die Zwischen-Riegel, die parallel zu Schwelle und Hauptriegel verlaufen und die Ständer untereinander verbinden, sowie die Deckenauflagerung und die Ausmauerung der freien Zwickel das Kräftespiel im Fachwerk. So sind die alten Fachwerkbauten eine Verbindung von Holz und Mauerwerk als Tragwerk, in welchem bald das eine, bald das andere Material mehr oder weniger beansprucht wird. Wie beim Ständerbau ist in statischer Beziehung auf die ungünstige Beanspruchung der Schwellen senkrecht zur Faserichtung hinzuweisen. Durch die in der Gesamtwirkung unsichere Verbindung zweier Materialien, deren Eigenschaften zumal in bezug auf Schwinden und auch auf Festigkeit sehr verschieden sind, zu einer Tragkonstruktion, entstehen Fugen, vor allem zwischen Ständern und Streben einerseits und dem Füllmauerwerk andererseits; ferner an der Unterfläche der Riegel infolge des Setzens des Füllmauerwerkes. Durch die oft rein dekorativ und willkürlich verwendeten, gelegentlich auch krummen Streben, wird natürlich die konstruktive Klarheit noch mehr verwischt.

Für die Erstellung des Baues ist wichtig, daß das Holztragwerk unabhängig vom Füllmaterial fertig zusammengebaut und unter Dach gebracht werden kann, was den Arbeitsprozeß wesentlich erleichtert und die Baufeuchtigkeit möglichst vermindert.

Die raumabschließende Wirkung der Fachwerkwand mit ausgefüllten Maschen ist in Anbetracht der eben beschriebenen Rißerscheinungen oft nicht einwandfrei. Ein äußerer Verputz, der mit Hilfe von Putzträgern aufgebracht wird, ist der Rißgefahr ebenfalls ausgesetzt. Ein doppelseitiger, durchgehender Verputz ist wegen der mangelhaften Durchlüftung der Holzkonstruktion nicht zweckmäßig; der Erstickungsgefahr wird neuerdings auch dadurch zu begegnen gesucht, daß bei Anordnung einer leicht über das Holztragwerk vorkragenden Maschenfüllung der Putzträger in einigem Abstand vor dem Holztragwerk durchgeführt, letzteres also mit Luft umspült wird.

Rißeerscheinungen sind nachteilig, da das Holz hierdurch der Feuchtigkeit ausgesetzt wird und rasch der Fäulnis verfällt. Ebenso leidet die Wärmehaltung durch die Rißeerscheinungen; leicht bilden sich an den Anschlußstellen von Mauerwerk und Holzwerk Kältebrücken. Hiergegen ist die Anordnung einer durchgehenden, fugen-

deckenden, inneren Isolierschicht (Papplage, Torfplatten etc.) oder einer Holztäfelung sehr empfehlenswert. Die ganze Wand kann ferner durch Vordächer oder vorkragende Obergeschosse geschützt werden.

Die *neueren Ausführungen* von Holzkonstruktionen verfolgen als Ziel: Holzersparnis durch bessere Ausnützung der guten Festigkeitseigenschaften mittelst zweckmäßiger Holzverbindungen in den Knotenpunkten, sachgemäße Konstruktion die das Kräftespiel unter Beachtung des Schwindens und der speziellen Holzeigenschaften möglichst klar gestaltet, sowie die Zugänglichkeit aller Teile und ihren Schutz vor Feuchtigkeit sicherstellt, Normierung der einzelnen Konstruktions-Elemente, Verkürzung der für den Zusammenbau nötigen Zeit, Verlegung der Hauptarbeit auf den Werkplatz zur Vermeidung des Saisonbetriebes, möglichst weitgehende maschinelle Bearbeitung. Die folgenden Beispiele mögen diese Bestrebungen belegen.

Die *Bauweise Frank D. R. P.*, Stuttgart: Das Tragwerk besteht aus Doppelpfosten, Schwellen und Riegeln, die zwischen den Pfosten durchlaufen, sowie zweiteiligen Windstreben; Decken und Dachausbildung weisen nichts durchgreifend neues auf. Durch die Verwendung durchgehender Doppelpfosten wird die Abstützung der Ständer auf die Schwellen, bezw. Riegel, somit die Beanspruchung senkrecht zur Faser, vermieden; als Beanspruchung der Riegel und Schwellen kommt nur noch die Deckenlast eines einzelnen Stockwerkes in Frage. Die Windstreben kommen nur an einigen Stellen der Wand vor; wo Fensterflächen vorhanden sind, müssen sie weggelassen werden. Die Tragelemente sind durch Schrauben, die teils als Heft-, teils als Kraftschrauben wirken, miteinander verbunden. Zur Übertragung von Zugkräften beim Anschluß der Streben an die Ständer dienen Flacheisenlaschen (Zugscheren); die Kraftübertragung der Riegel wird durch Flacheisen, die in die Doppelpfosten seitlich eingenetet sind, hergestellt. Die Verbindung durch Schrauben ist wohl wirtschaftlich, jedoch statisch nur für kleine Kräfte zulässig. Besser, allerdings teurer, wäre die Verwendung eiserner Dübel.

Als Wandfüllstoff dient ein Leichtbeton (Schlacken-, Bimsbeton etc.), der durch die mehrteiligen Pfosten und Streben hindurch und um die Horizontalverbindungen herumgeführt wird, also eine zusammenhängende Wandplatte bildet. Die Klarheit des Kräfte-

spieles wird durch diese Art der Wandbildung verwischt. Die Pfosten sind dabei auf drei Seiten, die Schwelle und die Riegel allseitig einbetoniert. Das Einbetonieren des Holzes soll, wie fünfjährige Proben ergeben haben, keine schädlichen Folgen nach sich ziehen. Ein endgültiges Urteil über die Wandausbildung wird erst nach längerer Zeit möglich sein; andere Erfahrungen mit Holz, das dauernd von der Luft abgeschlossen war, mahnen zur Vorsicht. Auch bezüglich des Schwindens der Wandfüllstoffe, des Traggerippes und ihrer gegenseitigen Auswirkung können nur längere Beobachtungen Aufschluß geben.

Durch die Einbetonierung des größten Teiles des Holzes ist die Feuergefahr auf ein Minimum beschränkt. Die Wärmeisolierung ist infolge der Anwendung durchgehender poröser Füllstoffe günstig; Kältebrücken sind vermieden. Die Wände werden innen und außen, unter Anwendung von Drahtgeflechten über den Holzteilen, verputzt; hierbei sind Risse an den Berührungsstellen der Holz- und Betonkonstruktion im Laufe der Zeit wohl unvermeidlich.

Die statisch klarste Konstruktion ist die *Fachwerk- oder Ständerwand ohne Ausfüllung der Maschen* (vergl. Abb. 4). Tragwerk ist hier ausschließlich die Holzkonstruktion, bestehend aus Ständern, Riegeln und Streben, bzw. Winkelbändern. Die Wandausbildung hat lediglich raumabschließende Funktion. Das Tragwerk muß bei den Wandöffnungen unterbrochen, bzw. die Streben durch Winkelbänder an Brüstung und Sturz ersetzt werden, wodurch immerhin eine gute Rahmenwirkung gesichert wird.

Der Raumabschluß wird in diesem Fall nicht durch ein Füllmauerwerk, sondern durch eine an der Außen- und Innenseite des Tragwerkes angebrachte *Verkleidung* gebildet. Die von der Verkleidung und dem Tragwerk eingeschlossenen Maschen werden des besseren Wärmeschutzes wegen oft mit Sägemehl, Bimsbeton, Zellenbetonschrot etc. ausgefüllt. Wird Holzschalung als äußere Verkleidung gewählt, so wird sie zweckmäßig mit Schindeln, Eternitschuppen etc. vor anfallendem Wind und Regen geschützt; als Innen-Verkleidung kann die Holzschalung mit einer feuer sichereren Platte, z. B. der Lignatplatte verkleidet werden.

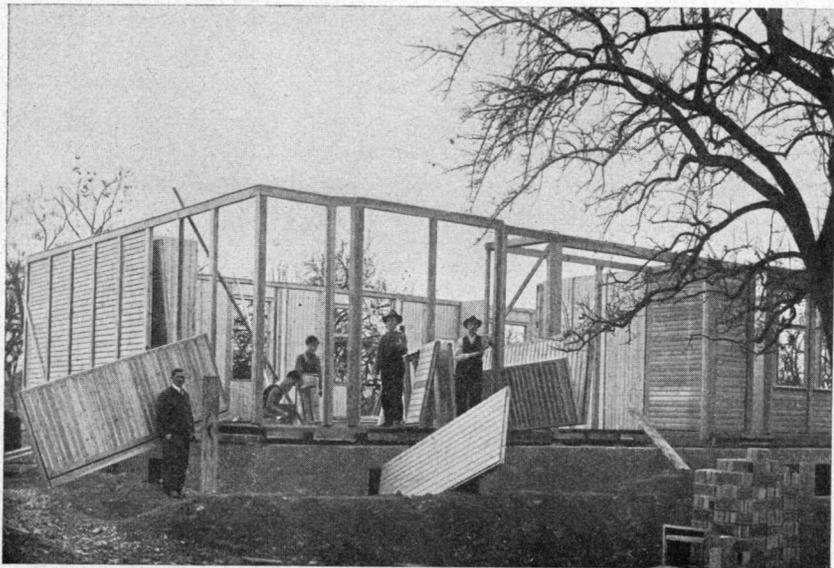
Die Verkleidung kann jedoch auch aus feuerfesten, nichtschwindenden, leichten, großen, nagel- und sägbaren Wandplatten, die einen genügenden Schutz gegen Witterung, Temperaturwechsel und

Abbildung No. 4



Fachwerkbau in Holz. Fachwerk mit äußerer und innerer Plattenverkleidung
Haus der Weißenhofsiedlung Stuttgart / Architekt Dr. Döcker

Abbildung No. 5



Tafelbau in Holz. System Christoph & Unmack
Haus in Niesky, Ober-Lausitz / Ausführung Christoph & Unmack

Schall bieten, hergestellt werden. Solche Platten sind z. B. die Heraklithplatten, die Tektondielen, die Fonitramplatten etc. In Stuttgart sind 1927 mit diesen Platten Versuche gemacht worden (Häuser Dr. Döcker und Prof. Pölzig), deren Resultate vollauf befriedigen. Spezielles Interesse ist der Frage entgegenzubringen, inwieweit die Durchlüftungsmöglichkeit genügt, um das Holzwerk vor dem Ersticken, d. h. der Zerstörung zu schützen; dies besonders im Hinblick darauf, daß die Holzkonstruktion im fertigen Bauwerk nicht mehr zugänglich ist.

Im Bestreben, den Holzhausbau weiter zu verbilligen, wurde in neuerer Zeit versucht, auf die Anordnung aussteifender Streben zu verzichten und die raumabschließende, aus Holzschalung oder Isolierplatten bestehende Wandverkleidung als Wandaussteifung zu benutzen. Das Tragwerk besteht hier aus einem *Skelett aus Ständern und Riegeln*, die miteinander durch Schrauben, oft nur durch Nägel verbunden sind, sowie der *aussteifenden Wandverkleidung*, welche die Aussteifung in horizontaler Richtung besorgen muß. Zur Erhöhung der aussteifenden Wirkung können, wie z. B. in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, die Verkleidungsbretter, bezw. -Platten in schräger Richtung verlegt werden. Diese Bauart ist sicherlich billig, statisch dagegen ist die vorher beschriebene Fachwerkkonstruktion mit Streben vorzuziehen, da der Anschluß der Wandverkleidung oft kein genügender ist, um die Unverschieblichkeit des Holzskelettes namentlich auch im Bauzustand, zu gewährleisten.

Zwecks Herabsetzung der Herstellungskosten und möglichst weitgehender Verlegung der Arbeit in die geschützte Werkstatt, bezw. den Werkplatz und zur Verkürzung der Bauzeit und Vereinfachung des Arbeitsprozesses auf dem Bauplatz werden die Wände dieser Bauart oft aus normierten Elementen (Ständern, Riegeln, Fenstern, Türen etc.) zu ganzen normierten *Wandtafeln* (Wandtafeln, Fenster- tafeln, Türtafeln) zusammengesetzt, auf den Bauplatz transportiert und dort in kürzester Zeit montiert. Diese Bauart ist vor allem in Amerika und Deutschland bekannt. Sie eignet sich besonders für den Serienbau, wobei indessen auch individuelle Wünsche und örtliche Verhältnisse berücksichtigt werden können. Diese Bauart wird namentlich dort angewendet, wo ein rascher Zusammenbau, ein rasches Abtragen und Wiederaufbauen an anderer Stelle gefordert wird.

Eine solche *Tafelwand*, wie sie z. B. die Fa. Christoph & Unmack, Niesky, herstellt, besitzt ein aus Ständern und Riegeln gebildetes Traggerippe; die äußere und innere Verkleidung besteht aus einer Holzschalung, deren gegen das Wandinnere zugekehrte Seiten mit Isolierpappen ausgekleidet sind. Die äußere Schalung wird durch eine Jalousiebekleidung vor eindringender Feuchtigkeit geschützt, während der Wärmeschutz durch Torfplatten erhöht werden kann (vergl. Abb. 5).

Bekannt sind auch die Holzkonstruktionen Prof. Schmitthenners, Stuttgart. Das Wand-Tragwerk setzt sich aus einzelnen mittelst Ständern und Riegeln gebildeten normierten *Rahmen*, die durch eine innere Bretterschalung ausgesteift sind, zusammen. Die Ausfachung der Wand besteht aus Bimshohldielen. Als äußere, wetterschützende Haut dient ein Verputz, während die innere Wandauskleidung durch nachträglich leicht verputzte Gipsdielen hergestellt wird, welche auf eine durchgehende, fugendeckende Isolierschicht, die ihrerseits auf der Holzschalung befestigt ist, aufgebracht werden.

Die Entwicklung der Holzwand zeigt, wie vom Blockbau über den Ständerbau, das Fachwerk mit ausgefüllten oder leeren Zwickeln und das durch die Verkleidung ausgesteifte, aus Ständern und Riegeln bestehende Skelett der Weg — im Hinblick auf wirtschaftliche Konstruktion und Herstellung der Holzwand — zur ständigen Verbesserung und Ausnützung der statischen und konstruktiven Eigenschaften des Tragwerkes einerseits und zur Vervollkommnung der raumabschließenden Eigenschaften der Wand andererseits führt.

Der Infolge der hohen Druck-, Zug- und Biegezugfestigkeit des Holzes leistet dasselbe auch für *Unterzüge*, bzw. Deckenbalken, welche Tragglieder hohe Biegebeanspruchungen aufzunehmen haben, gute Dienste. Die bei den Wandkonstruktionen aus Holz auftretenden nachteiligen Erscheinungen des Schwindens und der Erkrankung des Holzes treten in diesen wettergeschützten Konstruktionen naturgemäß in geringerem Maße auf. Die Lebensdauer hängt — abgesehen von der Feuergefahr — in erster Linie vom guten Schutz sämtlicher Holzteile, insbesondere der Auflagerteile ab.

Vollwandige Holzunterzüge, wie sie vor allem im Mittelalter, besonders in der Renaissance für große Saalüberdeckungen Verwendung fanden, erfordern wegen der hohen Belastungen und großen

Spannweiten große Dimensionen, sodaß meist mehrere Balken mittelst Dübeln miteinander verbunden werden müssen. Heute kommen solch schwer belastete Holzunterzüge in Anbetracht der Feuergefahr sowie der technisch zweckmäßigeren Ausbildungsmöglichkeiten in Eisen und Eisenbeton kaum mehr in Frage.

Die *Deckenkonstruktionen aus Holz*, die auch heute, trotz Feuergefahr und relativ schlechter Schallisolierung, je nach den örtlichen Verhältnissen besonders bei einfacheren Ansprüchen mit Recht im Vordergrund stehen, sind wohlbekannt. Die Ausführungsarten der Holzdecken sind örtlich stark verschieden. Bestehen die primitivsten, nicht weit gespannten und schwach belasteten Holzdecken lediglich aus einem Bretterbelag, so erfordern größere Spannweiten weitere Unterstützungen durch Balken, deren Abstände mit steigender Belastung vermindert werden. Die Zwischenräume werden alsdann mit Zwischendecken überspannt. Letztere können aus Holz, Gipsdielen etc. ausgebildet und mit wärme-, feuchtigkeits- und schallisolierenden Füllstoffen, z. B. aus Sand, Schlacken, Lehm etc. überdeckt werden. Neben den seltenen Ausführungen des ganzen oder halben Windelbodens und der Kreuzstakung ist heute vor allem die Einschubdecke gebräuchlich. Die Fußböden werden je nach Bedürfnis als gestoßener, gefälzter oder gespundeter Bretterboden sowie als Parkettboden mit Blindboden ausgebildet; bei letzterem kann durch Wahl kurzer Riemen, die einem besonderen Trocknungsverfahren unterzogen werden, das nachteilige Schwinden in hohem Maße beseitigt werden. In ihrer Untersicht kann die Decke entweder sichtbar gelassen werden oder durch eine an den Balken befestigte Unterdecke verkleidet werden. Letztere bezweckt neben der Erhöhung der Isolierfähigkeit der Decke gegen Wärme und Schall insbesondere die Sicherung gegen die Feuergefahr. Sie wird deshalb heute seltener in Form von Holzschalung, bezw. -Täfelung, sondern als Rabitzdecke oder aus feuerfesten, wärmeisolierenden Platten erstellt.

Eine dekorative Weiterbildung der üblichen Balkendecke stellt die *Kassettendecke* dar, welche jedoch in konstruktiver Hinsicht keine wesentliche Neuerung aufweist, da auch sie nur in einer Richtung trägt.

Als geschoßtrennender Raumabschluß besitzt die Holzdecke Vor- und Nachteile. Während die infolge der Porosität des Holzes und derjenigen der gebräuchlichen Füllmaterialien der Zwischendecken

gewährleistete gute Wärmeisolierung sehr viel zur Verbreitung der Holzdecke beigetragen hat, ist hingegen die Schallisolierung ohne besondere Vorkehrungen infolge der geringen Dichte und des geringen Gewichtes der Decke ungenügend; nachteilig ist ferner das dem Holz eigentümliche Knarren und die ebenfalls mit dem Schwinden zusammenhängende Fugenbildung. Die Übertragung von Körperschall kann durch Einfügung elastischer Isolierstoffe (Kork etc.) zwischen Balkenlage und Fußboden wesentlich herabgesetzt werden.

In den vorgenannten Holzhäusern stellt die Holzdecke die konsequente Weiterführung der hölzernen Wandkonstruktion dar. Auch im Massivbau war die Holzdecke bis zur Einführung der Massivdecken die übliche Deckenkonstruktion. Die Feuergefahr, welche trotz der Schutzmaßnahmen nicht völlig ausgeschaltet werden kann, ist jedoch heute in Anbetracht der höheren Geschoßzahl der Massivhäuser von größerem Nachteil als in den vorerwähnten Kleinhäusern. In konstruktiver Hinsicht sind zudem, besonders bei Einzellasten, einheitlich wirkende lastverteilende Massivdecken, vor allem Eisenbetondecken, den Holzdecken vorzuziehen. Ferner bietet auch die Ausführung einer einwandfreien luftumspülten Auflagerung der Holzbalken im Mauerwerk Schwierigkeiten, da hierdurch das aufgehende Mauerwerk unterbrochen, bezw. geschwächt wird. Bedeuteten bis vor kurzer Zeit die guten wärmeschützenden Eigenschaften der Holzdecke einen großen Vorteil gegenüber den wärmeleitenden Massivdecken, so können heute auch letztere isoliertechnisch einwandfrei ausgeführt werden.

Holzdecken dienten seit der Antike zur Überdeckung kleiner wie auch insbesondere großer Räume. Schon die Griechen führten ihre Tempeldecken in Holz aus; infolge der hohen Druck- und Zugfestigkeit und des geringen Gewichtes ermöglichte die Holzdecke gegenüber der Steinbalkendecke die Überbrückung viel größerer Spannweiten. In den späteren Zeiten sind vor allem die frühromanischen Basilika- wie auch die gotischen und Renaissance-Decken bemerkenswert. Die großen Räume wurden durch starke, schwere Unterzüge, welche entweder unmittelbar von Mauer zu Mauer gespannt oder durch Binder getragen wurden, überdeckt.

Holzbalkendecken können — sofern die nötigen Vorkehrungen getroffen werden — auch als *Flachdachkonstruktionen* benützt werden. In billigen Kleinhaus-Siedlungen Deutschlands wird das flache

Holzdach häufig ausgeführt. Die im Gefälle (4 bis 5 %) verlegten, mittelst Zwischendecken und Schalung verbundenen Balken oder Bohlen bilden die Tragkonstruktion. Besondere Maßnahmen verlangt die Ableitung des Wassers — Anordnung einer wasserundurchlässigen Schicht (verzinktes Eisenblech, Aluminiumblech, Armcoblech, Bronzeblech etc., ferner Dachpappen, bituminöse Anstriche, welche durch eine Sand- und Kiesschicht vor der direkten Sonnenwirkung geschützt werden, etc.) —; der Schutz gegenüber Temperaturwechsel und der Übertragung von Körperschall erfordert gleichfalls besondere Vorkehrungen — Anordnung poröser Isolierplatten (Kork, Torfoleumplatten, Tektondielen etc.), Einschaltung ruhender Lufträume etc.; endlich muß auch auf das durch das Schwinden und den starken Temperaturwechsel bedingte Arbeiten der Holzkonstruktion Rücksicht genommen werden.

In Vorstehendem wurden die einfachsten Holztragwerke in Verbindung mit der Ausbildung ihres Raumabschlusses untersucht; hierbei zeigt es sich, daß die Holztragwerke sich in erster Linie für kleinere bis mittelgroße Objekte eignen.

Anders verhält es sich hingegen für große, einstöckige, ein- oder mehrschiffige Konstruktionen, d. h. *Dach- oder Hallenkonstruktionen*, wo in der Hauptsache lediglich Eigen- und als zufällige Lasten nur Wind und Schneelasten aufzunehmen sind, das Holz also lediglich als Tragwerk auftritt und etwaige Setzungen, bezw. Verschiebungen oder Schwinderscheinungen nicht im selben Maße in Betracht fallen wie beim Wohnhausbau.

Die Dach- und Hallenkonstruktionen aus Holz

Auf diesem Arbeitsgebiet hat der Holzbau, nach langen Jahren mühsamer Entwicklung, vorzügliche Leistungen hervorgebracht. Das reine Tragwerk aus Holz, das früher der Architekt auf Grund von Erfahrungswerten, d. h. rein empirisch entwarf, ist heute in seinem rechnerischen und konstruktiven Teil eine Aufgabe des Bauingenieurs geworden. Durch die wirtschaftliche Notwendigkeit gezwungen an Material zu sparen, muß danach getrachtet werden, die Abmessungen der Tragglieder weitgehend zu vermindern, vornehmlich durch die Verbesserung der Wirkungsgrade der Holzverbindungen, was eine genaue statische Berechnung unter Zugrundelegung klar gegliederter Tragsysteme und eine einwandfreie, konstruktive Durchbildung voraussetzt. Nur auf diese Weise ist es dem Holzbau möglich geworden, bei geeigneten Aufgaben, d. h. nicht zu großen Spannweiten und Belastungen, sowie genügenden

Bauhöhen mit dem Eisen und Eisenbeton erfolgreich in Wettbewerb zu treten. Anschließend sei die Entwicklung dieser Dach- und Hallenkonstruktionen kurz skizziert, wobei zunächst die auch heute noch üblichen bekannten *zimmermannsmäßigen Dachkonstruktionen* des Wohnhausbaues erwähnt seien.

Das reine *Sparrendach* besteht aus einzelnen dreieckförmigen, in sich unverschieblichen Gespärren, wobei die Sparren auf Biegung und Axialdruck, die Fußbalken auf Biegung und Axialzug arbeiten. Die Längssteifigkeit wird durch Windlatten hergestellt. Das Sparrendach bedingt einen großen Holzaufwand; es ist dort am Platze, wo der Dachraum ausgenutzt wird. Von Vorteil ist die gleichmäßige Lastübertragung auf den Unterbau. Zwecks besserer Verbindung in den Knotenpunkten wie auch zwecks Verminderung der Durchbiegung der Sparren werden die Knotenpunkte oft durch Bügen ausgesteift; diese können mittelst Zapfen-Verbindung nur druckfest, oder besser mittelst Schwalbenschwanz druck- und zugfest ausgebildet werden.

Längere Sparren erfordern zwecks Verminderung ihrer Ausbiegung und zur Vermeidung zu großer Querschnitte die Anordnung von unterstützenden Kehlbalcken; da die letzteren in jedem Gespärre angebracht werden, können sie zugleich als Auflager des Kehlgebälckes dienen. Die statisch günstige Wirkung des Kehlbalckendaches tritt nur bei symmetrischer Belastung voll in Erscheinung, während bei einseitigen Schnee- und Windbelastungen zusätzliche Biegebbeanspruchungen infolge Rahmenwirkung des untern Dachteiles auftreten.

Längere Kehlbalcken benötigen Unterstützungen, die als senkrechte oder schräge Stützen — stehende und liegende *Stuhlkonstruktionen* — ausgebildet werden können. Die stehende Stuhlkonstruktion erfordert Zwischenwände; die liegende Stuhlkonstruktion stellt wegen des unvermeidlichen Trapezes, das durch Kopfbänder nur unvollkommen ausgesteift werden kann, ferner wegen der Schwierigkeit der Holzverbindungen eine statisch weniger zweckmäßige Konstruktion dar.

Die Stühle werden aus Gründen der Holzersparnis nicht in jedem Gespärre angebracht; die Unterstüzung der Kehlbalcken der Leerspärre erfolgt dann durch Unterzüge, welche in den Bindergespärren durch die Stuhlsäulen getragen werden.

Eine Trennung in Binder- und Leergespärre weist auch das *Pfettendach* auf. Die Unterstützung der Leergespärre geschieht direkt durch die Pfetten. Zur Abstützung der Pfetten dienen Binder, welche als Dreiecks-, Sprengwerk-, Hängewerk- oder reine Fachwerkbinder ausgebildet werden. Sind Zwischenwände vorhanden, so kann auch die stehende Stuhlkonstruktion zur Anwendung gelangen. Zur Erhöhung der Steifigkeit sollte das Rechteck zwischen Stuhlsäulen, Decken- und Kehlbalcken durch eine Diagonale und nicht bloß durch Bügen, die die Stuhlsäulen ungünstig beanspruchen, versteift werden. Die Anordnung liegender Dachstühle ist konstruktiv noch komplizierter als beim Kehlbalkendach.

Die *alten Kirchen- und Hallendächer* sind eine Weiterentwicklung des Sparren- und Pfettendaches. Sie wurden auf Grund bekannter Erfahrungsregeln gebaut; beliebt war die Ausbildung offener Dachstühle mit sichtbarer Binderkonstruktion. Ausgehend vom einfachen Dreieck wurden diese Binder meist in Form von ein- oder mehrfachen Hänge- oder Sprengwerken ausgebildet. Solche Binderkonstruktionen sind heute z. B. noch in den frühchristlichen Basilika-Überdeckungen, welche ihrerseits auf antike Tradition zurückgehen, erhalten. Diese Konstruktionen fallen auf durch die Abmessungen ihrer Tragglieder, d. h. den großen Materialaufwand, durch die teilweise komplizierten Holzverbindungen, besonders in denjenigen Knotenpunkten, in denen auch Zugkräfte abgegeben werden müssen. Das Kräftespiel ist meistens nicht klar; besonders die Aufnahme der Windkräfte in der Binderebene ist selten ohne vorherige Verformung des Tragwerkes möglich. Auch sind diese Konstruktionen oft schwer revidierbar, sodaß Schäden nur durch starke örtliche Setzungen oder Ausbiegungen erkannt werden können.

Diese Holzbauten wären heute infolge ihres großen Materialaufwandes sehr teuer. Schon früh wurden Versuche unternommen, diese schweren Dach- und Hallenkonstruktionen leichter zu gestalten. Die ersten Versuche in dieser Richtung gehen auf den französischen Architekten de l'Orme, 16. Jahrhundert zurück, der leichte *Bogenträger* aus hochkant gestellten, zusammengenagelten Brettern, die nach einer Schablone bogenförmig geschnitten wurden, herstellte. Später hat Emy Bogenträger aus horizontal aufeinandergelegten, gebogenen Brettern, die mit Schrauben oder Eisenbändern verbunden waren, ausgebildet.

Parallel mit der Entwicklung dieser leichten Bogenkonstruktionen ging die Entwicklung über das Spreng- und Hängewerk zunächst zum engmaschigen *Fachwerk*. Dieses besaß aber, sei es als Brücken-, Hallen- oder Dachkonstruktion, infolge der vielen Stäbe, die teilweise schwierige Holzverbindungen in den Knotenpunkten zur Folge hatten, immer noch den Nachteil statischer Unklarheit und großen Materialbedarfes.

So ist es begreiflich, daß um das Jahr 1850, als das Eisen mit dem Ausbau der Eisenbahnen für weitgespannte Konstruktionen und schwere Nutzlasten vermehrte Verwendung fand, das Holz als Baumaterial für solche Aufgaben mehr und mehr zurücktrat. Gegen die statisch klare und gut ausgenützte Eisenkonstruktion des Ingenieurs vermochten die alten Holzkonstruktionen nicht mehr aufzukommen.

Der Holzbau erhielt einen neuen Anstoß, als sich der Ingenieur die Aufgabe stellte, die Eigenschaften des Holzes wissenschaftlich zu untersuchen, seine Festigkeiten besser als bis anhin auszunutzen und statisch klare Tragwerke zu schaffen.

Die neuen Holzbinder werden als Vollwand- oder Fachwerkkonstruktionen ausgebildet. Bogen-, bzw. Rahmenbinder können auf beide Arten ausgeführt werden. Eine vollwandige Bogen-, bzw. Rahmenkonstruktion ist insbesondere dann geboten, wenn bei nicht zu großen Spannweiten und Belastungen die Bogenform möglichst der Drucklinie angepaßt werden kann, wobei die ruhige geschlossene Erscheinung des Vollwandbinders für die Raumwirkung vorteilhaft ist. Fachwerkförmige Binder kommen vor allem bei größeren Spannweiten und Belastungen in Frage.

Die vorerwähnten Vollwandbinder von de l'Orme hatten den Nachteil mangelnder Steifigkeit in seitlicher Richtung und zu großen Holzverlustes infolge des Ausschneidens der gebogenen Elemente; die Emysche Konstruktion hingegen begegnete der unvollkommenen Verbindungsmittel der einzelnen Teile wegen Schwierigkeiten in der Anwendung. *Neuere Vollwandbinder* besitzen häufig einen Querschnitt, dessen Stegausbildung dem System de l'Orme entspricht, während die Flanschenausbildung dem System Emy entnommen ist. Hierdurch wird eine größere seitliche Steifigkeit sowie eine bessere Ausnützung des Materials erreicht. Die Zusammensetzung der am Lager befindlichen Holzlängen und -Stärken zu einem I-

30

Querschnitt ermöglicht die wirtschaftlich günstigste Ausnützung der Hölzer ohne zu großen Verschnitt. Der Vorzug solcher zusammengesetzter Tragquerschnitte besteht darin, daß etwaige Ungleichheiten eines Holzgliedes durch die übrigen Holzlamellen ausgeglichen werden. Die Verbindung der Lamellen untereinander kann durch Leim (System Hetzer) oder durch eiserne Verdübelung (System Tuchscherer, Kübler etc.) erfolgen. Hetzer verleimte zunächst Lamellen zu einem rechteckigen Querschnitt, wobei er bei Balkenträgern für den Obergurt ein besonders druckfestes und für den Untergurt ein besonders zugfestes Holz verwendete, während der mittlere Teil aus Holz-Lamellen gewöhnlicher Festigkeit gebildet wurde (vergl. Abb. Nr. 6). Später ging Hetzer zu der wirtschaftlicheren I-Form über.

Einen in zwei Gurtungen und engmaschige Füllungsstäbe aufgelösten Bohlenbinder, der eine Weiterentwicklung des Systems de l'Orme darstellt, ist das System Stephan; ein *Übergang vom Vollwand- zum weitmaschigen Fachwerkbinder*.

Der Einfluß der statisch bestimmten Eisenkonstruktionen machte sich um 1900 auch im Holzbau geltend, sodaß auch hier versucht wurde, die alten, mehrfach statisch unbestimmten Konstruktionen durch statisch bestimmte zu ersetzen. Die statische Berechnung eines mehrfach statisch unbestimmten Holzfachwerkes nach den für die Eisentragwerke geltenden Grundsätzen ist mit Unsicherheiten bezüglich der Grundannahmen behaftet, indem Verschiebungen in den Knotenpunkten infolge des Schwindens einen beträchtlicheren Einfluß auf die Formänderungen des Tragwerkes ausüben können als die Längenänderungen der Stäbe. Praktisch wird man ein kompliziertes statisch unbestimmtes Holztragwerk immer auch so berechnen, bzw. bemessen, daß für jede Kraftwirkung das mutmaßlich in erster Linie wirksame statisch bestimmte Stabgebilde zur Übertragung der Kräfte genügt.

Die ersten Versuche, statisch bestimmte, mehrfeldrige Fachwerkkonstruktionen auszubilden, führten zunächst zu den *Holz-Eisen-Fachwerken*, in welchen dem Holz jeweils die Übertragung der Druckkräfte, dem Eisen diejenige der Zugkräfte, sowie die Kraftübertragung in den Knotenpunkten zukam. Auch in diesen Konstruktionen zeigt sich als Folge des Schwindens ein Lockerwerden der Knotenpunkte. Als Beispiel solcher Konstruktionen sei auf die im Hochbau beliebten Polonceau-Dachbinder verwiesen.

Da aber die hier viel verwendeten Eisenteile teuer waren, wurde versucht, alle Tragglieder aus Holz herzustellen und das Eisen hauptsächlich nur für Heftzwecke zu verwenden. Die Hauptschwierigkeit des *reinen Holzfachwerkes* besteht in der einwandfreien Ausbildung zentrischer Knotenpunkte. Diese Aufgabe muß unter Berücksichtigung des Schwindens, der geringen Festigkeit senkrecht zur Faser, der möglichst geringen Schwächung der Stabquerschnitte, der leichten mechanischen Herstellung und des einfachen Zusammenbaues gelöst werden. Durch Herstellung verschiedenartiger eiserner Dübelverbindungen (Ringdübel, doppelt konische Dübel, Tellerdübel, eiserne Gelenkknoten etc.) ist es gelungen, zentrische, mehr oder weniger gelenkartige Knotenpunkte, die den erwähnten Bedingungen genügen, herzustellen, wodurch sowohl die Druck- als auch die Zugfestigkeit des Holzes besser ausgenutzt werden können. Die so angeschlossenen Fachwerkstäbe werden in der Hauptsache nur durch Axialkräfte beansprucht. Die Schraubenverbindungen dienen in der Hauptsache nur Heftzwecken, d. h. sie werden nur axial beansprucht und haben keine Schubbeanspruchungen aufzunehmen. Infolge der einfachen Verbindung von Zug- und Druckstäben ermöglichen die neuen Bauweisen Binderformen, die bisher nur in Eisen hergestellt werden konnten, nunmehr auch ganz in Holz auszuführen (vergl. Abb. 7).

Die *Längssteifigkeit* der hölzernen Dach-, bzw. Hallenkonstruktionen wird zum Teil durch die aussteifende Dachhaut im Verein mit den Pfetten, bzw. durch die Außenwand übernommen; zur Sicherung einer einwandfreien Längssteifigkeit sind jedoch in der Dach-, wie auch in der Wandfläche besondere fachwerkartige Windverbände der vorerwähnten Lösung vorzuziehen, um die räumliche Festlegung der einzelnen Binderknotenpunkte zu gewährleisten. Diese Windverbände werden nicht immer auf der ganzen Dachlänge angeordnet, sondern oft auf die Giebfelder, von denen aus dann der Zusammenbau erfolgen muß, beschränkt. Gewöhnlich werden zu diesem Zweck die Endfelder fachwerk- oder rahmenartig ausgebildet.

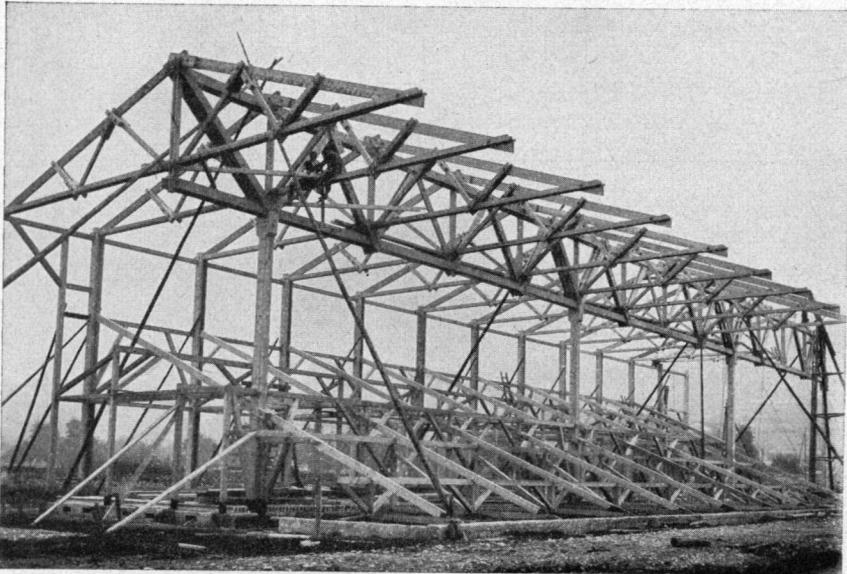
Die *raumabschließende Dachhaut* der Dach- und Hallenkonstruktionen hat neben der Übertragung der Lasten auf die Binder und der Erhöhung der Steifigkeit der Konstruktion in erster Linie den Witterungsschutz, eventuell auch den Wärmeschutz zu gewährleisten. Die bekannten Eindeckungsmittel: Steinplatten, Ziegel, Schiefer, 32

Abbildung No. 6



Hallenbau in Holz. Vollwandbinder in Hetzerkonstruktion /
Lagerschuppen in Niederurnen, Kanton Glarus / Ingenieure Terner & Chopard

Abbildung No. 7



Hallenbau in Holz. Fachwerkbinder in Bauweise Kübler
Fußballtribüne in Zürich / Ausführung Locher & Cie.

Eternit, armierte Leichtbetonplatten auf Hilfskonstruktionen: Latten, Sparren etc., die ihrerseits die Pfetten belasten, finden hierbei Verwendung. Für die Wandkonstruktion kommt Vor-, bezw. Ausmauerung der Holzkonstruktion oder die Ausbildung einer beidseitigen Verschalung aus Holz, feuerfesten, isolierenden Platten etc. wie bei den Holzhäusern in Betracht. Beim Entwurf der Dachhaut, bezw. der Wandausbildung ist vor allem darauf zu achten, daß sich die vorgenannten raumabschließenden Bauelemente gegenseitig bewegen können (Jalousiebekleidung, Überfälzung, Verschindelung, Ziegelbekleidung etc.). Nur so kann eine Fugenbildung, die sich sonst infolge des Schwindens des Holztragwerkes mit der Zeit einstellen würde, vermieden werden.

Eine aus dem de l'Ormeschen System entwickelte Konstruktionsweise, deren Tragwerk, im Gegensatz zu den vorgenannten Konstruktionen nicht nur aus ebenen, längsversteiften Bindern, sondern aus einem den Raum überwölbenden, aus einzelnen in der Dachfläche liegenden Lamellen bestehenden räumlichen Netzwerken gebildet ist, ist die *Zollbau-Lamellenbauweise*. Die lotrecht gestellten Lamellen werden zu einem Rauten-Netzwerk mit gleichmäßigen Feldern zusammengesetzt. Die Netzversteifung sowie die Aufnahme der Zusatzmomente infolge der Exzentrizität der Anschlüsse muß durch die Schalung und die Lattung erfolgen.

II.

Das Tragwerk aus natürlichen und künstlichen Steinen und dessen Raumabschluß

Der Naturstein
als Baustoff

Neben dem Holz ist der *Naturstein* das einzige Baumaterial, das in seinem natürlichen Vorkommen zu Bauzwecken verwendet werden kann. Die Natursteine können entweder aus Feldsteinen, Geröllen oder im Steinbruch gewonnen werden. Feldsteine und Gerölle eignen sich ihrer meist rundlichen, unregelmäßigen Formen wegen nicht zu einwandfreien Mauerkonstruktionen, wogegen die im Bruch gewonnenen, lagerhaften Steine angenähert ebene Lagerflächen aufweisen und deshalb zur Vermauerung gut geeignet sind. Die Eigenschaften der Natursteine — Gefüge, Festigkeit, Dichte, Wetter- und Feuerbeständigkeit — sind durch die geologischen und petrographischen Verhältnisse des Steinbruches bestimmt. Der Natursteinbau ist deshalb eine Bauweise, die in hohem Maße von den örtlichen Verhältnissen abhängt; weite Transporte schwerer Steinblöcke sind sehr kostspielig und erfordern bei Hausteinen wegen der Gefahr der Beschädigung besondere Vorkehrungen.

Wenn Natursteine heute im Hochbau gegenüber früher weniger verwendet werden, so liegt, abgesehen von technischen Erwägungen, ein Hauptgrund in den hohen Gesteinskosten wie auch in der teuren und mehr Arbeit erfordernden Ausführung der Natursteinbauten.

Die *Festigkeiten* der einzelnen Gesteinsarten sind sehr verschieden; immer ist jedoch die Zug- und damit die Biegezugfestigkeit sowie die Schubfestigkeit sehr klein, die Druckfestigkeit dagegen groß. Die letztere kann jedoch nur ausgenutzt werden, wenn der Fugenmörtel dieselbe Druckfestigkeit aufweist wie die Steine selbst. In jedem Fall muß mit einem hohen Sicherheitsgrad gerechnet werden, da die Auflagerung der einzelnen Steine meistens keine gleichmäßige ist. Durch die Beschränkung der praktisch verwertbaren Festigkeitswerte allein auf die Druckfestigkeit unterscheidet sich der Naturstein sowie der Kunststein wesentlich von den anderen Hauptbaustoffen wie Holz, Eisenbeton und Eisen, welche sämtliche sowohl eine gute Druck- als auch Zugfestigkeit besitzen.

Die *Lebensdauer* der Bauwerke aus Natursteinen hängt von der verwendeten Gesteinsart und von dem Schutze vor der Witterung ab. Die Abwitterung der Natursteine ist, abgesehen von den chemischen Einwirkungen der Atmosphäre hauptsächlich eine Folge der Einwirkung des Wassers, vor allem in Verbindung mit Frost. Sehr dichte Gesteine mit gleichmäßigem Gefüge und einer gewissen Zugfestigkeit sind am dauerhaftesten. Dieser Umstand spricht für ihre Verwendung an denjenigen Bauteilen, welche der Feuchtigkeit besonders ausgesetzt sind (Mauersockel etc.).

Die hohe Lebensdauer gut ausgewählter Bausteine wird durch die vielen gut erhaltenen antiken Baudenkmäler — Monumental-Gebäude, Brücken, Aquädukte — bestätigt. Es ist hierbei allerdings zu berücksichtigen, daß diese Bauwerke sich vorwiegend in frostarmen Gegenden finden, ferner ständig unterhalten und ausgebessert werden müssen.

Bei Temperaturwechsel ändert der Naturstein sein Volumen. Diese *Formänderungen* sind jedoch im Vergleich zu denjenigen anderer Materialien gering. Der thermische Ausdehnungskoeffizient des Granits z. B. beträgt nur 0,000008; derjenige des Eisens und des Betons hingegen 0,000125.

Die *Feuerfestigkeit* der Gesteine hängt ebenfalls mit der Gesteinsart zusammen. Ungleiche Ausdehnung der einzelnen Mauerwerksbestandteile kann Rißbildungen verursachen. Die Feuergefährlichkeit tritt besonders in den auf Biegung beanspruchten Treppenkonstruktionen, deren einzelne Stufen dem Feuer eine große Angriffsfläche bieten und der fehlenden Zugfestigkeit wegen plötzlich zu Bruche gehen, in Erscheinung. Wand- und Gewölbekonstruktionen gewährleisten bei gutem Steinverband dagegen infolge ihrer vorwiegenden Beanspruchung auf Druck gute Feuersicherheit.

Die zur Ausführung von Hausteinbauten dienenden Natursteine müssen vom Steinhauer nach den Regeln des *Steinschnittes* bearbeitet werden. Während die Erstellung ebener Mauerverbände lediglich die Berücksichtigung der einfachen Regeln der Mauerverbände erfordert, ist die Bearbeitung der in Gewölben, Gewölbendurchdringungen etc. vorkommenden Steine, welche ein- oder mehrfach gekrümmte Flächen aufweisen, erst auf Grund genauer Steinpläne, aus denen die Formgebung der Steine entnommen werden kann, möglich.

Der Ziegelstein
als Baustoff

Neben dem Naturstein war und ist der *Ziegelstein* das wichtigste Bauelement der massiven Bauweise. Während die Ziegelsteine der Babylonier und Ägypter aus Lehm, welcher an der Sonne gebrannt wurde, hergestellt wurden, werden dieselben heute durch künstliches Brennen in weit besserer Qualität gewonnen.

Auch die Ziegelbauweise ist an örtliche Verhältnisse gebunden; allerdings ist das Vorkommen der Ton-, bzw. Lehmmaterialien sehr verbreitet; ferner sind die Transportverhältnisse vom Produzenten zum Konsumenten einfachere als beim Naturstein.

Die *Eigenschaften* des Ziegelsteines hängen in hohem Maße von der Intensität und der Dauer des Brennprozesses ab. Je intensiver und länger die Ziegel gebrannt werden, desto größer wird ihre Festigkeit, Härte, Dichte, Wetterbeständigkeit und Feuersicherheit.

Die *Lebensdauer* der Ziegelkonstruktionen wird durch den Schutz vor Witterungseinflüssen bedingt, weshalb die Außenflächen üblicherweise verputzt oder mit wetterbeständigeren Verblendsteinen verkleidet werden.

Der Mauer-
Mörtel

Die Druckübertragung, bzw. -Verteilung in Naturstein- und Ziegelkonstruktionen geschieht durch den *Fugenmörtel*. Die Wahl des Fugenmörtels ist in erster Linie von der zu erreichenden Druckfestigkeit und ferner davon abhängig, ob die Erhärtung an der Luft oder im Wasser zu erfolgen hat. Zu rasches Abbinden und Erhärten erlaubt kein sorgfältiges, richtiges Versetzen der Steine; zu langsames Abbinden und Erhärten hat dagegen Setzungen zur Folge.

Unter den Mauer Mörteln nehmen der reine und der verlängerte Zementmörtel eine besonders wichtige Stellung ein. Vor allem ist der reine Zementmörtel infolge seiner hohen Druckfestigkeit in hochbeanspruchten Bauteilen sehr wertvoll. Während die natürlichen Zemente wegen ihrer geringen Festigkeit kaum mehr praktische Verwendung finden, ist der Portlandzement das gebräuchlichste Bindemittel zur Mörtelzubereitung.

Der Beton als
Baustoff

Neben der Verwendung gebrannter künstlicher Steine ist auch diejenige ungebrannter künstlicher Steine, unter welchen der *Beton* der wichtigste ist, schon alt. Vor allem waren es die Römer, welche kühne Gewölbekonstruktionen aus Beton schufen. Während nach der Römerzeit Betonkonstruktionen zunächst kaum mehr ausgeführt wurden, sind sie heute wieder zu großer praktischer Be-

deutung gelangt. Beton, der aus einer Mischung von Kies, Sand und einem Bindemittel (Zement, Kalk, Traß, Puzzolanerde etc.) mit Wasserzusatz zubereitet wird, ist heute ein im Bauwesen ganz unentbehrlicher Baustoff, da er sich ohne Materialverlust beliebig formen läßt. Die erfolgreiche Herstellung von guten Bindemitteln, unter welchen heute der Portland-Zement die größte Verwendung findet, hat die Entwicklung der Betonkonstruktionen besonders gefördert. Vor allem haben die frühesten Portland-Zemente infolge ihrer großen Anfangsfestigkeiten die Bauzeiten für Betonkonstruktionen wesentlich verkürzt, und die hochfesten Portland-Zemente die Verminderung der Abmessungen der Betonquerschnitte ermöglicht.

Die *Festigkeit* des Betons hängt außer von zahlreichen anderen Faktoren von der Qualität und Quantität des Zementes, von der Güte und dem Mischungsverhältnis der Zuschlagstoffe, der Größe des Wasserzusatzes sowie der Art der Verarbeitung des Betons ab; sie wächst mit zunehmendem Alter des Betons. Wie bei den Natur- und Ziegelsteinen kommt beim Beton vor allem die Druckfestigkeit als baulich ausnutzbare Festigkeit in Betracht, während die Zug- und damit die Biegefestigkeit ebenfalls gering ist. Für nicht-armierte Konstruktionen kommen je nach dem Umfang des Bauwerkes der erdfeuchte oder Stampfbeton, bzw. der Gußbeton in Frage, während im Eisenbeton vornehmlich plastischer Beton verwendet wird.

Von großer Wichtigkeit für die Ausbildung von Betontragwerken ist die Rücksichtnahme auf das *Schwinden* des Betons. Nachdem der Zement abgebunden hat, tritt beim Beton der Erhärtungsprozeß ein, während welcher Zeit der Beton Formänderungen unterworfen ist. Bei Erhärtung an der Luft zieht sich der Beton zusammen; unter Wasser quillt er. Das Schwinden des Betons ist vor allem in den ersten Wochen nach der Herstellung groß; das Schwindmaß des Betons beträgt 0,3—0,4 ‰.

Die Formänderungen des Betons sind nicht nur eine Folge des Schwindens, sondern ebenso der *Temperatur-Änderungen*; der thermische Ausdehnungskoeffizient des Betons — 0,0000125 — ist derselbe wie beim Eisen.

Diese kurz skizzierten allgemeinen Eigenschaften der natürlichen und künstlichen Steine befähigen diese in hohem Maße zur Bildung

von Tragwerken, wobei aber die Ausbildungsmöglichkeiten derselben dadurch eingeschränkt sind, daß die Tragwerkteile in der Hauptsache nur auf Druck beansprucht werden können. Zug-, Biegungs- und Schubbeanspruchungen können nur innerhalb sehr enger Grenzen aufgenommen werden. Die in Betracht fallenden *Tragglieder*, bezw. *Tragwerke* beschränken sich infolgedessen auf Mauern, Stützen und Gewölbe, während auf Biegung beanspruchte Tragglieder, d. h. balken-, bezw. plattenförmige Tragteile nur bei ganz kleinen Spannweiten und Belastungen ausgeführt werden können.

Die Steinmauer
und -Stütze

Steinmauern und -Stützen werden im allgemeinen nicht nur zentrisch auf Druck in allen Querschnitten beansprucht. Nur die Eigenlasten sind meistens zentrisch wirkende Lasten, während Decken-, Dach- und Gewölbenutzlasten meistens exzentrisch wirkende Lasten sind. Besonders ungünstig ist die Belastung durch die horizontal wirkenden Windkräfte. Bei Geschoßbauten muß der Winddruck zum größten Teil durch die Zwischendecken im Verein mit den Zwischen- und Giebelmauern aufgenommen werden; der Abstand dieser Zwischendecken und -Wände muß hierbei so festgelegt werden, daß das Mauerwerk imstande ist, die Windlasten auf dieselben zu übertragen. Die Steifigkeit eines Tragwerkes mit Steinmauern und -Stützen, jedoch freiaufliegenden Deckenkonstruktionen aus anderen Materialien (Holz, Eisenbeton oder Eisen) ist naturgemäß nicht so groß wie diejenige eines Tragwerkes, dessen sämtliche, gut untereinander verbundene Tragglieder aus einem einheitlichen Material bestehen (Eisenbeton- und Eisenskelettbau).

Um allen diesen Beanspruchungen genügen zu können, müssen die Steinmauern und -Stützen in Anbetracht dessen, daß sie nur auf Druck beansprucht werden dürfen, in erheblichen Stärken ausgebildet werden. Sollen Zugbeanspruchungen vermieden werden, so muß die Resultierende aller belastenden Kräfte durch den Kern des Mauer-, bezw. Stützenquerschnittes gehen, was namentlich bei freistehenden Mauern zu außerordentlich großen Querschnitten führt.

Mauern und gemauerte Stützen aus Naturstein entstehen durch Aufeinander-schichtung einzelner Steine unter Verbindung zu einem Steinverband. Die zwischen den einzelnen Steinen vorhandenen Lager-, bezw. Stoßfugen werden heute allgemein mit einem Bindemittel, dem Fugen-Mörtel, ausgefüllt; Trockenmauern, deren Fugen

nicht vermörtelt sind, finden nur mehr für untergeordnete Bauzwecke Verwendung, da die Druckübertragung eine sehr ungleichmäßige ist, und der Raumabschluß infolge der nicht durchgehenden Auflagerung der Steine ungenügend ist; die Ausführung von Trockenmauerwerk als trockenes Quadermauerwerk ist heute wirtschaftlich unmöglich.

Je nach der Ausbildung des Steinverbandes wird im Hochbau zwischen geschichtetem und ungeschichtetem Mauerwerk unterschieden. Unter den *ungeschichteten Mauerwerksarten* ist vor allem das Zyklopenmauerwerk, welches aus unbehauenen, nicht lagerhaften Bruchsteinen besteht, bekannt. Wegen der unsicheren Auflagerung der Steine, welche ihre Belastung in mehreren Seitenflächen weiterleiten, ferner wegen der zeitraubenden Herstellung und des schwierigen Verbandes mit anderen Konstruktionsteilen, z. B. Fenstern und Türen, wird es heute für solche Zwecke kaum mehr ausgeführt. Im Hochbau wird vorwiegend *geschichtetes Mauerwerk* ausgeführt. Dieses wird, je nach den Ansprüchen, welche in statischer Beziehung sowie in bezug auf den Raumabschluß gestellt werden, verschieden ausgebildet, wobei die mit der Schichtung des Mauerwerkes in Zusammenhang stehenden Grundsätze des Mauerverbandes: Anordnung der Lagerfugen senkrecht zur Richtung der größten Druckbeanspruchung, Vermeidung durchgehender Stoßfugen, Wechsel der Läufer- und Binderschichten, Lagerung der Steine auf ihren natürlichen Auflagerflächen etc. maßgebend sind. Unter den geschichteten Mauerwerksarten werden unterschieden: rauhes und häuptiges Bruchsteinmauerwerk, Spitzstein-, Schichten- und Quadermauerwerk. Das *rauhe Bruchsteinmauerwerk*, welches keiner steinhauermäßigen Bearbeitung bedarf, wird aus lagerhaften Bruchsteinen, d. h. Steinen mit möglichst ebenen und parallelen Bruchflächen hergestellt und dient vorwiegend als Fundamentmauerwerk; beim *häuptigen Bruchsteinmauerwerk* werden die einzelnen Steine zwecks Sicherung eines besseren Mauerverbandes mit dem Mauerhammer bearbeitet und möglichst Steine gleicher Größe verwendet. Das *Spitzsteinmauerwerk*, gleichfalls aus lagerhaften, mittelst Hammer und Spitz Eisen bearbeiteten Steinen hergestellt, weist rechtwinklige Anordnung der Stoß- und Lagerfugen auf; auch sind die Stoßfugen versetzt angeordnet; da die Höhe der einzelnen Steine jedoch verschieden ist, müssen zur Erzielung teilweise durchgehender Lagerfugen kleinere Steine so miteinander vermauert

werden, daß sie zusammen die Höhe der größeren Steine erreichen. Gegenüber dem Spitzsteinmauerwerk weist das *Schichtenmauerwerk* den Vorteil gleicher Stein-, bzw. Schichthöhe auf. Die Tragfähigkeit kann dadurch erhöht werden, daß Ausgleichschichten in Quadermauerwerk oder Beton zur Erzielung eines besseren Zusammenhanges und einer gleichmäßigeren Druckverteilung angeordnet, ferner auch die Mauerecken durch Quadermauerwerk eingefaßt werden.

Quadermauerwerk, welches aus einzelnen sorgfältig bearbeiteten Quadern besteht, bildet das beste Natursteinmauerwerk. Während Pfeiler, bzw. Säulen meistens lediglich aus einzelnen, mittelst Dollen etc. unverschieblich miteinander verbundenen, aufeinandergestellten Quadern bestehen, zeigt die Quadermauer einen vorzüglichen, einwandfreien Steinverband.

Die teure Ausführung des Quadermauerwerkes hat zur Folge, daß dasselbe in Mauerkonstruktionen meistens nur als äußere, eventuell auch als innere, verblendende Schicht verwendet wird, während die dahinter-, bzw. dazwischen liegenden Mauerteile aus Bruchsteinen, Ziegelsteinen oder Beton ausgeführt werden. Dieses gemischte Mauerwerk ist festigkeitstechnisch nicht einwandfrei, da die Mauerteile aus Steinen verschiedener Dimensionen bestehen, die deshalb recht ungleiche Mörtelmengen erfordern, sodaß ungleiche Setzungen unvermeidlich sind; auch werden die Lasten infolge der verschiedenen Elastizität nicht mehr gleichmäßig vom ganzen Mauerquerschnitt übertragen. Bei der heute üblichen Hintermauerung des Quadermauerwerkes mit Ziegelsteinen können die Setzungen der letzteren durch die Verwendung rasch erhärtender, hochwertiger Zement-Mörtel eingeschränkt werden. Wird Beton zur Ausbildung der Hintermauerung oder des Füllwerkes verwendet, so ist er mit Rücksicht auf die Schwinderscheinungen in nicht zu feuchtem Zustand einzubringen und gut festzustampfen.

Die genannten Nachteile, die aus der Kombination zweier oder mehrerer tragender Materialien zu einem Mauerquerschnitt resultieren, werden weitgehend ausgeschaltet, wenn statt der Quader nur dünne, nach Erstellung des Rohbaues aufgebrachte *Steinplatten* Verwendung finden. Diese besitzen als Verkleidung der dahinter befindlichen tragenden Mauer fast ausschließlich schützende, nicht aber tragende Funktion. Nicht alle Gesteinsarten ermöglichen — wegen der oft schiefriegen Textur — die Verwendung dünner,

aufs Haupt gestellter Platten. Die Befestigung der Platten kann je nach Größe und Gewicht durch die Haftfestigkeit des Mörtels allein oder besser durch Verwendung von Metallankern bewirkt werden.

Die *Lebensdauer der Natursteinmauer* ist schon in hohem Maße von der Ausbildung des sichtbaren Teiles des Raumabschlusses, d. h. der Außenfassade abhängig. Vorsprünge, horizontal abgedeckte Gurtungen und Gesimse, tiefe Bossen zwischen den einzelnen Quadern etc., sind die Stellen, an denen infolge Wasseransammlung die Verwitterung beginnt. Die Ermöglichung eines vollständigen und raschen Wasserablaufes ist deshalb für regenreiche und frostgefährliche Gegenden eine unumgängliche, für die Lebensdauer der Natursteinmauern ausschlaggebende Bedingung.

Die *Wasserdurchlässigkeit der Natursteinmauern* ist im allgemeinen infolge der Dichte des Materials gering. Die Porosität ist erfahrungsgemäß immer genügend, um die Ausdunstung der in der Mauer befindlichen Feuchtigkeit (Baufeuchtigkeit, hygroskopische Feuchtigkeit etc.) zu ermöglichen. Die durch die große Dichte gewährleistete Trockenheit ist hygienisch günstig. Andererseits ist aber die große Dichte der Grund für die gute Wärmeleitfähigkeit der Natursteinmauern. Letztere können deshalb nur dann genügenden Wärmeschutz bieten, wenn sie in großen Stärken, welche meist auch aus statischen Gründen zur Vermeidung von Zugspannungen zugleich gefordert werden, ausgebildet werden. In der ganzen Stärke durchgehende Steine werden zwecks Verhütung von Schwitzwasser, welches bei einem Temperaturgefälle von innen nach außen an der Innenseite sich bilden würde, möglichst vermieden. Starke Mauern wirken als Wärmespeicher; nach einer intensiven und langen Sonnenbestrahlung, bezw. Beheizung behalten sie ihre Wärme noch lange. In neuerer Zeit wird häufig der Wärmeschutz schwach belasteter, relativ dünner Natursteinmauern durch Verkleidung der Mauer-Innenseite mit Isolierplatten (Kork-, Schlacken-, Torfplatten etc.) wesentlich erhöht.

Nicht nur diese erwähnten rein technischen Eigenschaften, sondern auch die Schönheit des Natursteines, die plastisch-dekorative Bearbeitungsmöglichkeit und die Größe der Bauelemente stempeln ihn als wertvollen Baustoff für den Raumabschluß.

Da die Natursteine je nach den örtlichen Verhältnissen gelegentlich sehr kostspielig sind, versucht die Baustoff-Industrie diese durch

Kunststeine aus Beton zu ersetzen. Letztere bestehen gewöhnlich aus einer inneren Kernzone und einem Mantel aus Vorsatzmaterial, wobei die Kernzone aus Portlandzement-Beton, der äußere Mantel aus Portlandzement-Mörtel unter Beigabe von Steinmehl hergestellt sind. Das Korngefüge des Vorsatzmaterials muß zur Erzielung einer genügenden Wetterbeständigkeit möglichst dicht sein. Zu dichtes Gefüge, welches viel Zement aufweist, ist dagegen der Gefahr der Rißbildung infolge Schwindens ausgesetzt. Da die Kunststeine nach ihrer Herstellung ebenfalls dem Schwinden unterworfen sind, ist eine längere Lagerung in beständig feuchtem Zustand vor der Verwendung unbedingt erforderlich.

Die Verwendungsmöglichkeiten der Kunststeine sind insofern gegenüber denjenigen der Natursteine noch größere, als die Kunststeine armiert werden können, was auch den Transport und das Versetzen derselben erleichtert. Die Frage der Lebensdauer der Kunststeine ist in Anbetracht ihrer erst jungen Anwendung noch nicht völlig abgeklärt und hängt jedenfalls sehr stark von der sorgfältigen Herstellung, insbesondere von der Auswahl und zweckmäßigen Mischung der Zuschlagstoffe ab.

Neben dem Natursteinmauerwerk kommt im Hochbau dem *Ziegelmauerwerk*, vor allem als Mauer, weniger als Pfeiler, bzw. Säule, eine hohe Bedeutung zu. Die eingangs erwähnten Eigenschaften der Ziegelsteine — gute Druckfestigkeit, Feuerbeständigkeit und hohe Lebensdauer — ferner der einfache Arbeitsvorgang des Mauerns, der durch das handliche, anpassungsfähige Format des Normal-Ziegelsteines in hohem Maße erleichtert wird, haben sie als Bauelement von jeher in den Vordergrund gerückt. Als Schattenseiten des kleinen Formates sind zu nennen: hohe Anzahl der Fugen und dadurch bedingter relativ hoher Anfangs-Feuchtigkeitsgehalt der Mauer.

Als Raumabschluß kann die Ziegelmauer roh belassen oder verputzt, bzw. verkleidet werden.

Der *Verputz* hat in erster Linie wasserabweisende Funktion; er muß also sehr dicht, zugleich aber auch luftdurchlässig sein, um die Ausdunstung der in der Mauer enthaltenen Feuchtigkeit zuzulassen, andernfalls Schwitzwasserbildung unvermeidlich ist. Als Verputzmörtel werden Kalk-, Zement-, verlängerte Zement- und farbige Trockenmörtel verwendet.

Noch besseren Schutz als ein Verputz bietet eine *Verkleidung*, bzw. Verblendung mit Klinkern; diese Ausbildungsweise des Raumabschlusses ist als «Ziegelrohbau» besonders in Deutschland verbreitet (vergl. Abb. 8). In Norddeutschland fordert das rauhe Klima, welches Putzfassaden rasch der Verwitterung entgegenführt, eine sehr wetterbeständige Außenhaut, für deren Ausbildung die Klinker sowohl in technischer wie auch in ästhetischer Hinsicht (Farbe, Gefüge) ein sehr wertvolles Bauelement darstellen.

In bezug auf den *Wärmeschutz* bietet eine Ziegelmauer von 38 cm Stärke für Mittel- und Nordeuropa für nicht besonders exponierte Bauwerke einen Mindestwert. Infolge der durch den Krieg bedingten Kohlennot, bzw. Verteuerung der Heizmaterialien wurden unter besonderer Berücksichtigung des Kleinhausbaues während und nach dem Krieg mannigfache Versuche zur Verbesserung des Wärmeschutzes der Ziegelmauer unternommen. Hierbei wurde versucht, einerseits den Wärmedurchgang herabzusetzen, andererseits die Wärmespeicherefähigkeit, welche beim Wohnungsbau mit unterbrochener nächtlicher Heizung zwecks Vermeidung von Schwitzwasserbildung besonders wichtig ist, so hoch als möglich zu halten. Unter Beibehaltung des üblichen Normalsteines haben sich zwei Möglichkeiten zur Erhöhung der Isolierfähigkeit einer Ziegelmauer herausgeschält. Die eine besteht darin, die nurmehr 25 cm starke Ziegelmauer an ihrer Innenseite mit einer *Wärme-Isolierplatte* (Schlacken-, Bimsbeton-, Torfplatte etc.) zu verkleiden. Durch diese Anordnung werden allerdings die Kosten erhöht und der Arbeitsvorgang gleichzeitig komplizierter. Der Vorteil dieser Mauer besteht, namentlich bei unterbrochenem Heizbetrieb, in der raschen Aufheizmöglichkeit, da die Isolierschicht ein Eindringen der Wärme in die Mauer erschwert. Die andere Möglichkeit besteht darin, die Mauer aus zwei getrennten Schichten von je 12 cm Stärke, die durch eine Luftschicht von 6 cm getrennt sind, zu erstellen. Zur Sicherung der Stabilität der Mauer sind Durchbinder, Eisenanker etc. in gewissen Abständen erforderlich. Eine solche «*Sparmauer*» erreicht aber wegen der zu großen Lufträume, deren Isolierwert infolge Wärmeabgabe durch Strömung und Strahlung stark reduziert wird, nicht den Isolierwert der normalen 38 cm starken Ziegelsteinmauer; ferner kann durch eventuelle Mauerrisse die isolierende Wirkung der Luftschicht vollständig aufgehoben werden. Weitere Versuche zielen dahin, die Isolierfähigkeit des Ziegelsteins

selbst durch *Anordnung innerer Lufträume* zu steigern. Der Isolierwert dieser Luftschichten darf aber — wie Versuche zeigen — nicht überschätzt werden. Da die Luft an der einen Begrenzungsseite der Kammer eine Erwärmung, an der anderen Seite eine Abkühlung erfährt, geraten die einzelnen Luftteilchen durch natürlichen Auftrieb in Bewegung, wobei sie ihre Wärme abgeben. Ebenso wird die Isolierfähigkeit dieser Luftschichten durch direkte Strahlung zwischen der wärmeren und kälteren Begrenzungsfläche vermindert. Wie Versuche zeigen, ist es ratsam, die Kammern möglichst klein zu gestalten und möglichst viele für sich abgeschlossene Luftkammern hinter- und übereinander anzuordnen.

Die Möglichkeiten der Ausbildung der Hohlräume sind durch den Herstellungsprozeß der Steine, welcher beim üblichen Herstellungsverfahren nur die Anordnung durchgehender Hohlräume erlaubt, eingeschränkt. Es bestehen somit die beiden Möglichkeiten, die Hohlräume entweder horizontal oder vertikal durchgehend anzuordnen. Vertikal durchgehende Hohlräume sind im Hinblick auf die ermöglichte Wärmeströmung nachteilig; die Anordnung möglichst enger Kammern, bzw. Löcher ist deshalb günstig. Der beim Vermauern in die Löcher hineinfallende Mörtel füllt dieselben oben zum Teil und kann auf diese Weise die Wärmeströmung vermindern. Die Ausbildung durchgehender vertikaler Hohlräume besitzt den Vorteil, durchgehende Lagerfugen auszuschalten. Werden die vertikalen Öffnungen nach jeder Steinschicht abgeriegelt, so ist die Wärmeströmung unterbunden; hingegen können durchgehende Lagerfugen nicht vermieden werden. Horizontal durchgehende Hohlräume sind statisch weniger günstig. In letzter Zeit sind für die Herstellung der Ziegelsteine Formpressen verwendet worden, die es erlauben, Ziegelhohlsteine auszuführen, deren Hohlräume, statt wie üblich von vier Seiten, von fünf Seiten umschlossen sind. Auf diese Weise wird es möglich, abgeschlossene Hohlräume, deren Isolierwert entsprechend hoch ist, zu schaffen.

Durchgehende Fugen, vor allem durchgehende, unbelastete, unvollkommen ausgemörtelte Stoßfugen, setzen den Wärmeschutz einer Ziegelmauer herab.

Neuere Ziegelhohlsteine werden mit Rücksicht auf den Arbeitsvorgang — bei niedrigem Gewicht und handlichem Format — möglichst großformatig ausgebildet. Diese Maßnahme erreicht neben

Abbildung No. 8



Ziegelrohbau
Finanzdeputationsgebäude Hamburg / Architekt Prof. Dr. F. Schumacher

der Beschleunigung des Arbeitsprozesses die Verminderung der Fugenzahl, bezw. die Herabsetzung der Mauerfeuchtigkeit.

Ein Beispiel eines neueren Hohlsteins ist der B. K. S.-Stein. Seinen Vorteilen: großes, leichtes, handliches Format, kleine Luftkammern, Vermeidung direkt durchgehender Stege sowie durchgehender Stoßfugen, guter Verband der Steine, geringer Mörtelverbrauch etc. steht als Nachteil gegenüber: die Erfordernis besonderer Formsteine an den Ecken, Fenstern, Türen etc., d. h. verschiedener Steinformate.

Ein anderer Ziegelstein, welcher statt durch innere Hohlräume im Stein, den gesuchten Wärmeschutz durch besondere äußere Formung zu erreichen sucht, ist der Feifelstein: handliches Format, Vermeidung direkt durchgehender Teile sowie keine durchgehende Stoß- und Lagerfugen, Ermöglichung innerer, horizontal durchgehender Luftkammern, Mörtelersparnis, etc. sind seine besonderen Vorzüge.

Die hier geschilderten Eigenschaften der Ziegelmauer — ihre Vorzüge sowohl als Tragwerk (Festigkeiten, Verband etc.) wie auch als Raumabschluß (Wärmeschutz, Wetterschutz etc.) — charakterisieren sie als eine Konstruktion, die dank ihrer technischen Eigenschaft, ihrer Billigkeit und ihrer einfachen Erstellungsweise neben der Verwendung als Hintermauerung, Füllwerk etc. vor allem als tragende Außenmauer kleinerer Bauaufgaben des täglichen Lebens (Wohnhäuser etc.) vorzügliche Dienste leistet. Für größere Bauten hingegen tritt sie einerseits bei monumentalen Anforderungen mit dem Naturstein, andererseits bei wirtschaftlichen Erwägungen, je nach den örtlichen Verhältnissen, mit den hochwertigen Materialien Eisenbeton und Eisen in Wettbewerb.

Während bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts die tragenden Mauerkonstruktionen vorwiegend aus Natur- und Ziegelsteinen hergestellt wurden, kamen von jener Zeit an die schon den Römern bekannten *Betonmauern* wieder zu vermehrter Anwendung.

Im Hochbau wird heute das Kellergeschoß meist in Stampfbeton, welcher infolge des geringeren Wasserzusatzes und Zementgehaltes auch relativ wenig schwindet, ausgeführt. Der Wärme- und Feuchtigkeitsschutz erfordert große Mauerdicken, sodaß die Festigkeit nicht maßgebend wird; immerhin empfiehlt sich auch hier die sorgfältige Zusammensetzung der Zuschlagstoffe mit Rücksicht auf die Dichtigkeit.

Mauern aus Gußbeton werden im Hochbau wegen ihrer starken Schwinderscheinungen, der verhältnismäßig geringen Kubatur, der verlangten höheren Festigkeit und der teuren Gieß-Vorrichtungen selten ausgeführt.

Schwinden sowie Temperaturänderungen sind häufig die Ursache von Rißbildungen. Letztere sind bei großen, zusammenhängenden Mauern nur dann zu vermeiden, wenn Ausdehnungsfugen oder eine besondere Bewehrung vorgesehen werden. Die Disposition und Ausbildung der Fugen bietet besonders bei Vorhandensein von Grundwasser technische Schwierigkeiten, welche bezüglich der Fassaden durch ästhetische Rücksichten oft noch erhöht werden.

Als Raumabschluß kann die Betonmauer, je nach den Forderungen, verschieden ausgebildet werden. Die Schwinderscheinungen des Betons sowie die infolge seiner Porosität bedingte Luft- und Wasserdurchlässigkeit lassen diesen zunächst nicht als vollwertigen, wetterabweisenden Raumabschluß erscheinen. Die Wasserdurchlässigkeit der Betonmauer kann jedoch auf viele Arten vermindert werden. Schon durch die Verwendung eines feineren Sand- und Kiesgemisches, in welchem das in größerer Menge vorhandene Bindemittel alle Bestandteile möglichst satt umschließt, kann die Dichte der äußeren Schutzschicht, allerdings unter Vergrößerung des Schwindens, wesentlich erhöht werden.

Die *rohen Betonflächen* weisen häufig Ausblühungen auf; ferner zeichnen sich, vor allem bei Verwendung gewöhnlicher, ungehoelter, astreicher Schalung, die Schalbretter, Holzfasern und Äste ab; auch die Arbeitsfugen sind sichtbar. Diese Erscheinungen haben vielfach dazu geführt, die Betonoberfläche einer nachträglichen, steinmetzmäßigen Bearbeitung (Stocken etc.), wobei jedoch die schützende Zementhaut entfernt wird, zu unterziehen. Bekannt ist auch das *Contex-Verfahren*, welches die Struktur des Betons deutlich zeigt.

Oft wird auch die Betonoberfläche zwecks Verminderung der Wasserdurchlässigkeit mit einem *wasserdichten Verputz* (Sika-Verputz etc.) oder *Anstrich* (Sika-Anstrich, Keimsche Mineralfarben etc.) versehen. Bei dem erst nachträglich aufzubringenden Verputz ist vor allem auf gutes Haften desselben auf der möglichst rau zu gestaltenden Betonoberfläche zu achten.

Besser als Verputz haftet der *Vorsatzbeton* am Beton. *Vorsatzbeton* ist ein feinkörniger, dichter Mörtel, welcher durch gemah-

lenen Natursteinsand gefärbt werden kann; er verbindet sich beim gleichzeitigen Einbringen mit dem übrigen Mauerbeton vollkommen und kann gestockt werden.

Die sicherste Gewähr für weitgehende Wasserdichtigkeit bildet eine *Verkleidung* der Betonoberfläche mit Naturstein-Quadern oder -Platten. Die Anordnung von verkleidenden Quadern erfordert einen Verband mit der Betonmauer mittelst Läufern und Bindern; Quader und Betonmauerwerk müssen deshalb gleichzeitig hergestellt werden. Dies hat insofern Nachteile, als das Schwinden des Betons zu Rißbildungen in den Steinen führen kann, und zufolge der verschiedenen Elastizitätsmasse von Verkleidung und Hinterfüllung, die auf diese entfallenden Lastanteile verschieden groß sind. Zwischen tragenden und verkleidenden Teilen besteht keine klare Trennung. Die Plattenverkleidung hingegen ist in der Hauptsache nur Verkleidung; sie kann nachträglich auf die Betonmauer, deren Schwinderscheinungen nach einiger Zeit nur noch gering sind, aufgebracht werden. Die Befestigung ist je nach Größe, Stärke, Gewicht und Form der Platten verschieden. Gewöhnlich werden dazu Metallanker verwendet.

Oft erfolgt die Verkleidung des Betons mit Ziegeln, welche gleichfalls nach Erstellung des Rohbaues aufgebracht werden.

Der *Wärmeschutz der Betonmauer* nimmt mit abnehmender Dichte zu. Der normale, eine große Festigkeit aufweisende, relativ dichte Beton bietet nur geringen Wärmeschutz. Sollen die Betonmauern einen für Wohnräume genügenden Wärmeschutz bieten, so bedürfen sie einer Verkleidung mit Isolierstoffen (Kork-, Torfplatten, Hohlsteine etc.), welche an der Mauer-Innen- oder -Außenseite angebracht werden kann. Eine äußere Isolierung wird bei ständig warmen Räumen infolge der wärmespeichernden Wirkung der Mauer, eine innere Isolierung dagegen bei normalerweise kalten, nur selten und rasch zu erwärmenden Räumen, bezw. bei unterbrochenem Heizbetrieb von Vorteil sein.

Die Nachteile in bezug auf Feuchtigkeits- und Wärmeschutz haben bis heute im eigentlichen Hochbau nur selten zur Anwendung von Stampf- oder Gußbetonmauern geführt. Es ist jedoch vorauszu- sehen, daß mit zunehmender Verbesserung der Isolierungs-, bezw. -Schutzmittel Betonmauern, besonders auch mit Rücksicht auf ihre Armierungsmöglichkeit, als äußerer Raumabschluß immer mehr an Bedeutung gewinnen werden.

Im Bestreben, die Betonmauer auch als Außenmauer bewohnter Räume heranzuziehen, sind viele Versuche zwecks Sicherung einer geringeren Wasserdurchlässigkeit und eines höheren Wärmeschutzwertes unternommen worden. Die verschiedenen *Leichtbetonmauern* stellen die heutigen Ergebnisse dieser Versuche dar. Die Festigkeit des normalen Betons ist hierbei zugunsten einer größeren Porosität, bezw. eines verbesserten Wärmeschutzes soweit herabgesetzt worden, daß die Ausbildung einer zwei- bis dreigeschossigen Tragwand — entsprechend dem Kleinhaustyp des Flachbaues — noch möglich ist.

Die bekanntesten Leichtbetonarten sind Bimsbeton, Zellenbeton und Gasbeton.

Bimsbeton, hergestellt aus einem Gemisch von Zement, Sand, Bimskies und Wasser ist ein Leichtbeton, der vor allem dort, wo große Bimssteinlager sich finden, zur Verwendung gelangt. Der Bimskies verleiht diesem Beton gegenüber dem gewöhnlichen Kiesbeton ein geringeres Raumgewicht und eine höhere Isolierfähigkeit gegen Kälte und Wärme. Die Schallsicherheit gegen Luftschall ist infolge der Porosität gering; ferner ist die Feuchtigkeitsaufnahme bedeutend. Die Mischung kann verschieden hergestellt werden; dementsprechend sind auch die Festigkeits- und Isolierverhältnisse andere. Die Bimsbetonsteine und -Platten werden fabrikmäßig hergestellt.

Die Formen der für tragende Mauerkonstruktionen verwendeten *Bimsbetonsteine* sind mannigfaltig. Die Verhütung durchgehender Stoß- und Lagerfugen, die Vermeidung von Durchbindern sowie die Bildung isolierender Luftkammern wird hier, wie im Ziegelbau, angestrebt. Besonders günstige Eigenschaften zeichnen den Lupescu-Bimsbetonstein der Firma Wayß & Freytag aus. Die nicht-durchgehenden Lagerfugen vermindern einerseits die Wirkung von Wind und Regen, andererseits erhöhen sie den Wärmeschutz. Auch die Stoßfugen sind mit Fälzen ausgebildet; ein eingelegter Schwemmstein vermittelt den Verband. Die Isolierfähigkeit der Mauer wird durch horizontale, nach jedem Stein abgeriegelte Luftschichten noch gesteigert.

Das Bestreben, die Anzahl der Fugen zur Erzielung größerer Trockenheit zu vermindern, den Arbeitsprozeß auf dem Bauplatz unter Zuhilfenahme von Baumaschinen zu beschleunigen und möglichst unabhängig von der Witterung zu gestalten, führte zu einer

Vergrößerung der Mauerelemente. Besonders bekannt sind die diesbezüglichen Versuche des städtischen Hochbauamtes in Frankfurt a. M. mit *Bimsbetonplatten*, die eine Größe von 300/110/20 cm aufweisen (vergl. Abb. 9). Diese Platten, welche fabrikmäßig hergestellt und nach Fertigstellung lange Zeit feucht gelagert werden müssen, werden auf dem Bauplatz mit Hilfe von Kränen versetzt. Durch die Verwendung von Bims Mörtel wird ein gleichmäßiges Verhalten von Mörtel und Platte in bezug auf Feuchtigkeitseinflüsse erzielt. Zwecks besserer Verbindung werden die Platten nach der Montage mit Eisenklammern verbunden. Im Querschnitt durchgehende horizontale Lagerfugen sind gefälzten Fugen wegen des einfacheren Versetzens vorgezogen worden. Die Platten werden nach fertiger Montage verputzt, oder, wie dies in Frankfurt häufig der Fall ist, schon in der Fabrik einseitig mit einem Torkreputz versehen. Innen werden die Platten gleichfalls verputzt.

Dieses Bausystem hat naturgemäß seinen bestimmten Anwendungsbereich; denn einerseits erfordert das in den Kränen und zugehörigen Einrichtungen investierte Kapital eine möglichst ununterbrochene Verwendung, die nur bei großen Massensiedlungen gewährleistet ist, andererseits darf das Terrain nicht zu uneben sein. Die Haustypen sind in bezug auf ihre Grundrißgestaltung an die großen Maße der Platten gebunden, d. h. die Variationsmöglichkeit in der Typengestaltung ist beschränkt.

Das Streben nach großformatigen, isolierenden, leichten und dennoch tragfähigen Bauelementen führte auch zu Versuchen, die ganze Wand in einem Stück zu montieren. Die bei der vorerwähnten Plattenbauweise auftretende beschränkte Anwendungsmöglichkeit ist in diesem Fall naturgemäß noch ausgeprägter. Feste Haustypen, in großer Zahl auf ebenem Terrain, sind hierbei Voraussetzung, wobei jedoch die Art des Bauvorganges eine Bewehrung der Platten erfordert.

Da die Verwendung der Bauelemente aus Bimsbeton durch die Schwierigkeit und die hohen Kosten der Beschaffung des Rohproduktes örtlich begrenzt ist, versucht die Industrie, *künstlichen Leichtbeton* aus den gewöhnlich überall leicht zu beschaffenden Sand-, bzw. Kiesmaterialien herzustellen. Die bekanntesten künstlichen Leichtbetonarten sind der Zellen- und Gasbeton. Dieselben finden infolge ihrer hohen Isolierfähigkeit in erster Linie Anwen-

ding für nichttragende, nur raumabschließende Konstruktionen. Als isolierende, zugleich auch tragende Mauerelemente leisten Leichtbetonsteine indessen bei kleinen Belastungen gleichfalls gute Dienste.

Zellenbeton ist ein Leichtbeton, der aus Zement, Kies und Sand unter Einwirkung von Schaum hergestellt wird. Die Bläschen des Schaumes durchsetzen den Beton gleichmäßig mit kleinen, in sich geschlossenen Luftzellen, welche dem Zellenbeton große Porosität verleihen. Die Zellenbetonbaukörper dürfen des Schwindens wegen erst nach langer Lagerung für Bauzwecke verwendet werden.

Gasbeton wird mit Hilfe chemischer Zuschlagstoffe hergestellt. Die letzteren erzeugen beim Mischvorgang ein Gas, welches ebenfalls im Beton Hohlräume schafft. Gasbetonbauten haben sich bis heute in Schweden, Kanada und den U. S. A. gut bewährt.

Je nach Bedürfnis kann die Porosität dieser künstlichen Leichtbetonarten vergrößert oder verkleinert werden, wobei die Festigkeit zu Gunsten des Wärmeschutzes, bezw. der Wärmeschutz zu Gunsten der Festigkeit vermindert werden kann.

In Zusammenhang mit diesen Versuchen stehen auch diejenigen der *Guß-Leichtbetonbauten* (vergl. Abb. 10). Eine Gefahr bildet hier jedoch das hohe Schwindmaß des nassen, gegossenen Leichtbetons. Hohe Baufeuchtigkeit, Rißerscheinungen, welche den Wärmeschutz beeinträchtigen, weitgehende Abhängigkeit von der Witterung, lange Austrocknungszeit etc. sind die Nachteile, welche dieser Bauweise eine weitgehende Verbreitung versagt haben. Immerhin kann diese Bauweise bei kleineren Bauten, in Anbetracht der geringeren Schwindrißgefahr, gute Dienste leisten.

Die kurze Darlegung über den Leichtbeton als Baustoff bezweckt, die bis heute gemachten Versuche auf diesem Gebiete anzuführen. Ein endgültiges Urteil über die Eignung dieses Baustoffes zu tragenden und raumabschließenden Zwecken sowie seine Konkurrenzfähigkeit gegenüber den herkömmlichen gebrannten Tonprodukten, welche auch von örtlichen Verhältnissen abhängig ist, kann erst nach längerer Erfahrung abgegeben werden.

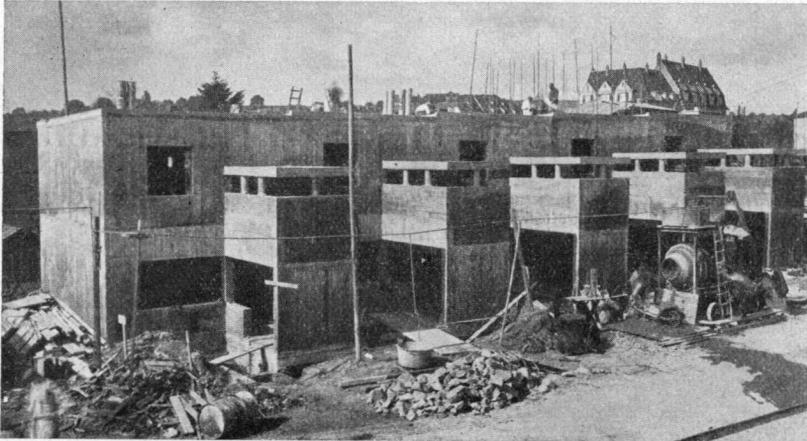
Die *Maueröffnungen* können in Stein durch Balken oder Gewölbe überdeckt werden. Der Balken übt bei lotrechter Belastung auf seine Auflager in der Hauptsache nur lotrechte Kräfte, das Gewölbe hingegen außerdem noch einen Gewölbeschub aus.

Abbildung No. 9



Plattenbau. Kleinhäuser mit Bimsbeton-Plattenwänden Häuser in Frankfurt am M. / Architekt Stadtbaurat E. May

Abbildung No. 10



Betonbau. Kleinhaus mit gegossenen Leichtbetonwänden Haus der Weißenhofsiedlung Stuttgart / Architekt J.J.P. Oud

Natursteinbalken sowie nicht-bewehrte Kunststeinbalken sind infolge der geringen Biegezugfestigkeit an kleine Spannweiten und Lasten gebunden. Erstere überschreiten für unsere Steinmaterialien im allgemeinen kaum 2 m. Es ist hierbei zu beachten, daß das über einem Steinbalken ruhende, im Verband ausgeführte Mauerwerk, auch wenn keine Entlastungsbögen vorhanden sind, infolge Gewölbewirkung einen großen Teil der Belastung auf die seitlichen Widerlager überträgt und auf diese Weise den Steinbalken zum Teil entlastet.

Bei größeren Spannweiten und Belastungen dienen halbkreis- oder segmentförmige *Entlastungsbögen* zur Entlastung der Steinbalken; mit Rücksicht auf den Steinschnitt werden dieselben in Quadermauern nicht direkt über den Steinbalken, sondern etwas höher angeordnet. In Ziegelsteinmauern ist die Ausbildung von Entlastungsbögen zur Entlastung des meist aus Kunststein bestehenden Fenstersturzes, die Regel. Der zwischen Sturz und Entlastungsbogen befindliche Zwischenraum wird später, sofern es sich um verputzte Mauern handelt, nach dem Setzen des Bogens mit Mörtel, Steinbrocken etc. ausgefüllt. Durch den Verputz wird das tragende Gewölbe verdeckt, während der nichttragende Balken sichtbar bleibt; im Ziegelrohbau ist hingegen der sorgfältig mit dem Mauerverband verbundene Entlastungsbogen sichtbar.

Ist die Verwendung eines Natursteinbalkens infolge zu großer Spannweite oder zu hoher Belastung nicht möglich, so muß die Öffnung durch ein *Gewölbe* überspannt werden (vergl. Abb. 14). Die senkrecht wirkenden Eigen- und Nutzlasten werden hierbei gewöhnlich durch keilförmige Wölbsteine, deren verlängert gedachte Lager-Fugen sich je nach der Gewölbeform in einem oder in mehreren Punkten schneiden, auf die Widerlager der Gewölbe übertragen. Die primitivere Gewölbekonstruktion mit Hilfe vorkragender Steine, wie sie z. B. die mykenische Baukunst aufweist, bedingt zur Vermeidung größerer Scherkräfte in den Horizontalfugen große Pfeilhöhen, d. h. einen steilen Verlauf der Drucklinie; diese Ausführungsweise kommt heute kaum mehr zur Anwendung.

Als wichtigste Gewölbeformen werden unterschieden: das Halbkreis-, das Korbbogen-, das Spitzbogen- und das Segmentgewölbe. Die Mitwirkung des vollen Aufbaues über dem Gewölbe, der oft mit dem Gewölbe selber im Steinverband ausgeführt wird, vermindert die

Klarheit der statischen Wirkung. Namentlich bei kleinen Spannweiten wird bereits eine deutliche Balkenwirkung auftreten, wogegen bei großen Spannweiten die Gewölbewirkung überwiegen wird.

Die Wahl der Gewölbeabmessungen erfolgt vorwiegend auf Grund von Erfahrungswerten; eine statische Untersuchung stößt auf mannigfache Schwierigkeiten; sie wird daher meist graphisch in stark vereinfachter Weise unter Berücksichtigung allein des Einflusses der ständigen und Nutzlasten und Zugrundelegung eines Dreigelenkgewölbes vorgenommen. Die in diesem Tragwerk für die verschiedenen Belastungsfälle einzuzzeichnenden Drucklinien sollen in keinem Gewölbequerschnitt aus dem Kern heraustreten, ansonst Zugspannungen und damit Risse im Gewölbe nicht zu vermeiden sind. Demzufolge hat die Gewölbeachse bei annähernd gleichmäßig verteilter Belastung über die Horizontalprojektion parabolische, bei vermehrter Belastung an den Bogenkämpfern elliptische und bei großer lokaler Scheitelbelastung Spitzbogenform.

Besonderes Augenmerk ist der Übertragung des Gewölbeschubes auf das Widerlagermauerwerk zu schenken. Besteht keine Möglichkeit, den Schub durch ein anschließendes Gewölbe auszugleichen und damit die Mauerpfeiler in der Hauptsache nur lotrecht zu belasten, so sind breite, volle Mauerpfeiler im Verein mit starker Übermauerung nötig, um die Gewölbereaktion nicht aus der Mauer heraustreten zu lassen. Bei den vielfach ausgeführten, sehr leichten Bogenstellungen sichern bei großen Nutzlasten eiserne Zugbänder die schlanken Mittelpfeiler vor der Beanspruchung durch Horizontalkräfte, End- und Gruppenpfeiler müssen bei fehlenden Zugbändern stärker ausgebildet werden, um den Schub übernehmen zu können. Die Überdeckung von Maueröffnungen durch Gewölbe bedingt im Gegensatz zu den geraden Balkenkonstruktionen breitere horizontale Mauerbänder, und macht wegen der erforderlichen Pfeilhöhe die Anlage bis zur Decke reichender Fensterreihen unmöglich. Im Eisenbeton und im Eisen stehen zwei Baustoffe zur Verfügung, die die Überdeckung der Maueröffnungen mit geraden Balkenträgern auch bei großer Spannweite ermöglichen.

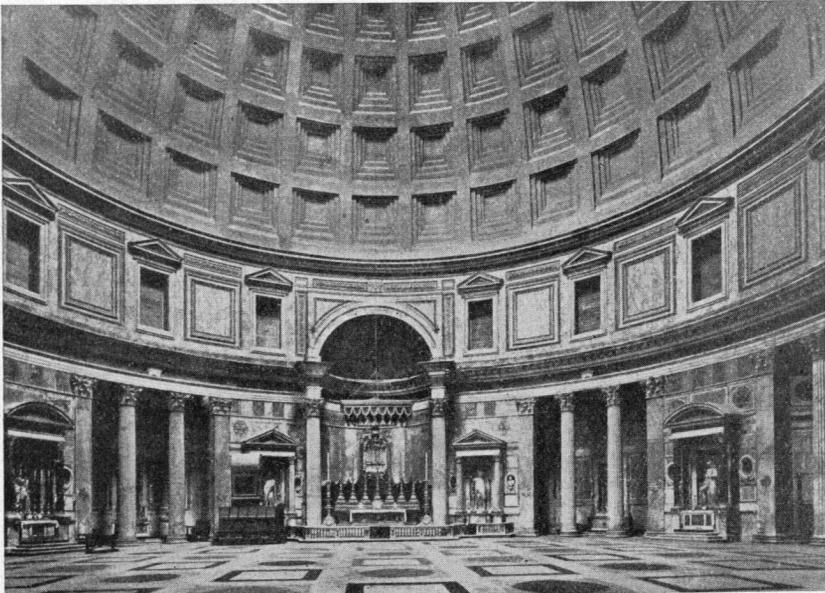
Sollen ganze Räume in Steinkonstruktion überdeckt werden, so kann dies — wie bei den Maueröffnungen — mittelst Steinbalken oder Gewölben geschehen.

Abbildung No. 11



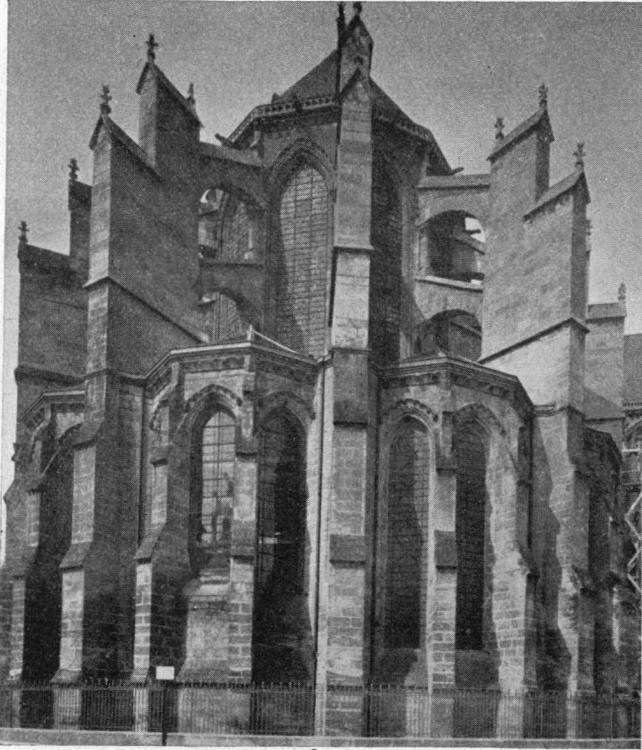
Natursteinbau. Ägyptischer Tempel mit enger Säulenstellung und schweren Steinbalken
Hof Amenophis III., Luxor

Abbildung No. 12



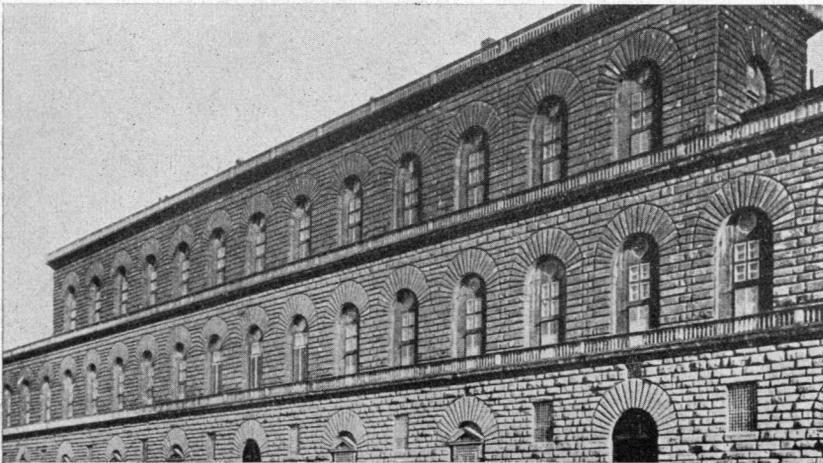
Steinbau. Römischer Kuppelbau
Pantheon, Rom

Abbildung No. 13



Natursteinbau.
Gotisches Bau-
werk mit Strebe-
pfeilern
Kathedrale in
Soissons

Abbildung No. 14



Natursteinbau. Renaissancebau mit Quadermauerwerk und überwölbten Fensteröffnungen
Palazzo Pitti, Florenz

Flache Steindecken, bzw. Steindächer aus Steinbalken und -Platten sind naturgemäß an kleine Spannweiten gebunden. Die bekannten antiken Beispiele solcher Ausbildungen, z. B. die ägyptischen Säulentempel, die griechischen Tempel-Vorhallen etc. weisen beträchtliche Spannweiten (über 6 m) auf, wobei die Dimensionen der Tragkonstruktion außerordentlich groß sind (vergl. Abb. 11). Derartige Tragelemente werden heute technisch weit einfacher und wirtschaftlicher aus den biegungsfesten Baustoffen Stahl oder Eisenbeton erstellt.

Die
Steindecke

Soll ein Raum mit einem Gewölbe aus Stein überdeckt werden, d. h. soll ein *räumliches Steingewölbe* erstellt werden, so kommen als Gewölbeformen neben den vorgenannten Halbkreis-, Korbogengewölben, Spitzbogen- und Segmentgewölben, welche zu tonnenartigen Raumüberdeckungen führen, vor allem das Kuppelgewölbe sowie ferner die Durchdringungen von Tonnengewölben, unter welchen das Kloster- und Kreuzgewölbe die bekanntesten Formen darstellen, in Betracht. Letztere bildeten eine wertvolle Möglichkeit zur Überdeckung großer Räume bei geringer Raumhöhe, während die Kuppelgewölbe insbesondere für die monumentale Überdeckung großer Räume bei großer Höhenentwicklung Verwendung fanden.

Das räumliche
Steingewölbe

Die Ausbildung eines Raumgewölbes aus Stein kann auf zwei Arten geschehen: entweder werden die Gewölbe, in allen ihren Teilen tragend, als Schalengewölbe ausgebildet, oder sie werden in besondere tragende Rippen und hauptsächlich getragene, leichte, raumabschließende Zwickel zerlegt, bzw. als Rippengewölbe hergestellt. *Schalengewölbe* sind charakterisiert durch die großen Schalenstärken und damit durch die großen Eigengewichtslasten, die insofern nötig sind, als damit der Einfluß zufälliger Lasten, wie Wind, einseitige Lasten etc. sich nur in geringem Maße bemerkbar macht, und nennenswerte Zugbeanspruchungen in dem nur druckfesten Wölbmaterial vermieden werden können. Der Gewölbeschub wird entweder durch volle, durchgehende Mauern oder durch einzelne Pfeiler aufgenommen; letztere Anordnung bedingt die Ausbildung lastübertragender, in der Mantelfläche des Gewölbes liegender Bögen. Die aufgelösten *Rippengewölbe* sind leichter als die Schalengewölbe. Der Gewölbeschub wird hierbei direkt durch die Rippen auf einzelne Pfeiler, bzw. die Fundamente übertragen; die raumabschließenden Zwickel zwischen den Rippen wirken lastübertragend und aussteifend (vergl. Abb. 13).

Räumliche Steingewölbe bilden in der Regel nur einen inneren Raumabschluß, während der äußere Raumabschluß meistens durch besondere Dachkonstruktionen aus Holz gebildet wird (gotische Dome mit Holzdächern, französische Kuppeln mit Schutzkuppeln aus Holz etc.). Haben die Steingewölbe — was selten ist — auch die raumabschließenden Schutzfunktionen gegen äußere Einflüsse zu übernehmen, so werden sie mit den gebräuchlichen Dachdeckungsmaterialien gegen die Witterungseinflüsse geschützt.

Gewölbekonstruktionen aus natürlichen und künstlichen Steinen spielten von den Römern bis ins 19. Jahrhundert eine bedeutende Rolle, da sie die einzige konstruktive Möglichkeit zur Überdeckung großer Räume in massiver Bauart darstellten. Die Wölbkonstruktionen von den Römern bis zur Gotik zeigen den steten Fortschritt in der Beherrschung der Wölbkunst und der Wölbtechnik; zugleich zeigen sie die Entwicklung vom massigen Schalengewölbe der Römer über die byzantinischen und romanischen Gewölbe zu den leichten, kühnen Rippen-Gewölben der Gotik.

Die Herstellungsweisen der römischen Gewölbe, welche vor allem als Tonnen-, Kreuz- und Kuppelgewölbe ausgeführt wurden, waren mannigfaltig. Für kleinere, tonnenartige Gewölbe errichteten die Römer auf leichter Holzschalung eine dünne Schale aus Steinplatten im Verband, auf welche sodann von beiden Widerlagern aus das Füllmauerwerk oder der Füllbeton in horizontalen Schichten aufgebracht wurde. Für große, tonnenförmige Raumüberdeckungen genügte dieses System jedoch nicht. Hier kam das römische Zellen-system zur Anwendung. Mit Hilfe einer leichten Holzschalung wurde ein netzförmiges Skelett aus Ziegel- oder Natursteinen hergestellt; die Zellen dieses Steingerüsts wurden nach Erhärtung des Mörtels mit Beton ausgefüllt. Statt der Zellen wurden bei einfachen Ausführungen nur Gurtbögen, deren Zwischenräume nachher gleichfalls mit Beton ausgefüllt wurden, aus Stein erstellt.

Auch bei Kreuzgewölben beschränkten sich die Römer auf die eigentliche Wölbung der Schild- und Gratbögen in Form von Zellenbögen, während die dazwischenliegenden Gewölbefelder mit Beton ausgefüllt wurden.

Kuppelkonstruktionen, welche unter den Römern zu hoher Vollendung gelangten, wurden in ähnlicher Weise durch ein System von Rippen, die durch wagrechte Ringe verbunden waren, ausgebildet

(vergl. Abb. 12). Die entstehenden Felder wurden hernach gleichfalls mit Beton ausgefüllt.

Alle diese Gratkonstruktionen bedeuteten ein konstruktives Hilfsmittel für die Ausführung der Gewölbe. Gräte und Füllmaterial bildeten nach der Erhärtung ein Ganzes, das den Charakter einer zusammenhängenden Schale besaß.

Die byzantinischen Wölbungen weisen gegenüber den massigen römischen Gewölben eine Auflockerung der Mauermassen auf. Vor allem beliebt war der Kuppelbau auf Zwickeln, in welchem die Last der Kuppel nur auf vier Eckpfeiler abgegeben wurde. Die Herstellung der byzantinischen Wölbungen war sehr verschieden von derjenigen der römischen. Statt des Gußmauerwerkes verwendeten sie Steine in dicken Mörtelfugen, auch wurde das freihändige, ringförmige Wölben mit leichten Bausteinen ohne eigentliche Lehrgerüste viel betrieben; die Stabilität der im Bau begriffenen Wölbung wurde hierbei durch die Art der Schichtung gewährleistet. Eine weitere Auflockerung zeigen auch die spätromanischen Basilika-Gewölbe, in welchen, nach vielfachen Versuchen mit tonnenartigen Überdeckungen, das Kreuzgewölbe eingeführt wurde. Während in der frühromanischen Zeit die Wölbungen meist vollständig eingeschalt wurden, begann man in der spätromanischen Baukunst nur die Gurten mit Hilfe eines Lehrgerüsts zu unterstützen und die Kappen freihändig auszufüllen. Eine Übergangskonstruktion bildete sich aus, deren volle Entwicklung der Gotik vorbehalten war.

Die Rippenkonstruktionen entwickelten sich immer mehr; nicht nur die Quer- und Längsgurten, sondern auch die Diagonalgurten wurden aus Haustein errichtet. Die Gewölbe ruhten jetzt auf dem Gerippe dieser Gurten; die Kappen konnten aus leichtem Material (Ziegel, leichte Tuffe) ohne jede Schalung ausgeführt werden. Das überhöhte Kreuzgewölbe mit halbkreisförmigen Schild- und Kreuzbögen wurde bald zugunsten des spitzbogigen Kreuzgewölbes verlassen. Dieses hatte den Vorzug, einen geringeren Schub auszuüben und war zur Aufnahme von Lasten, besonders von Scheitellasten vorzüglich geeignet. Durch die Einführung der leichten Kappen wurde der Schub wesentlich verringert. Auch die Kappen hatten insofern eine gewisse konstruktive Bedeutung, als sie den Rippen als Aussteifung dienten. Der Schub dieser leichten, spitzbogen-

förmigen Gewölbe wurde mittelst kräftig nach außen springender Strebepfeiler aufgenommen. Die Außenmauern, nunmehr nur als Raumabschluß dienend, wurden in dünne Pfeiler und große Glasflächen aufgelöst. Während in den früheren Steinkonstruktionen dieselben Bauelemente sowohl tragende als auch raumabschließende Funktionen gehabt hatten, wurde in der Gotik eine Trennung in tragende und raumabschließende, lastübertragende Bauelemente vorgenommen. Der gotische Architekt verwandelte damit den Massenbau der römischen, monolithartigen Konstruktionen in einen kühnen, elastischen Gliederbau, der sich durch die Leichtigkeit der Konstruktion, welche auch durch dekorative Mittel unterstrichen wurde, ferner durch die Auflösung der Wände des Mittelschiffes in Arkaden, Triforien und Fenster, die Anordnung großer Fenster in den Außenwänden, durchbrochener Füllmauern mit Maßwerk etc. auszeichnet (vergl. Abb. 13).

Die späteren Zeiten — Renaissance, Barock, Rokoko, die französischen Königsstile — boten keine grundlegende konstruktive Weiterentwicklung des Gewölbebaues in Stein.

Heute ermöglichen Eisen- und Eisenbetonbau die Ausbildung auch biegungfester Raumtragwerke mit ganz kleinen Schalenstärken, so daß der Bau von Gewölben in Natursteinmauerwerk sowohl aus statischen, wie auch vor allem aus wirtschaftlichen Gründen nur noch selten in Betracht kommen wird.

III.

Das Tragwerk aus Eisenbeton und dessen Raumabschluß

Eisenbeton ist ein *zusammengesetzter Baustoff*, bestehend aus Beton und Eiseneinlagen, der um die Mitte des 19. Jahrhunderts zum erstenmal praktisch erprobt wurde und heute, nach vielen Verbesserungen, gestützt auf die praktischen Erfahrungen und wissenschaftlichen Versuche, für die Bautechnik unentbehrlich geworden ist. Die bautechnisch wertvollen Eigenschaften des Betons: hohe Druckfestigkeit, Feuer- und Wetterbeständigkeit, Rostschutz der Eiseneinlagen, weitgehende Gestaltungs- und Anpassungsfähigkeit, monolitische Verbindungsmöglichkeit der einzelnen Tragglieder etc., sowie diejenigen des Eisens: hohe Zug- und Druckfestigkeit sind in diesem Baustoff vereinigt. Er erhält dadurch sowohl raumabschließende Eigenschaften ähnlich den Natursteinen, wie auch tragwerkbildende Eigenschaften ähnlich denjenigen von Holz und Eisen. Gegenüber diesen letztgenannten Baustoffen unterscheidet sich Eisenbeton durch seine inhomogene Zusammensetzung.

Der Eisenbeton
als Baustoff

Die einheitliche statische Wirkung von Beton und Eisen ist Voraussetzung für die Eisenbetontragglieder. Sie ist sowohl von der Art der Zusammensetzung und der Zubereitung des Betons wie auch von der Anordnung der Eiseneinlagen in hohem Maße abhängig.

Der Beton wird nicht wie im reinen Betonbau hauptsächlich als Stampfbeton, sondern als *plastischer Beton* zubereitet, da die Eiseneinlagen ein richtiges Stampfen selten ermöglichen, während Gußbeton wegen seiner starken Schwinderscheinungen und relativ geringeren Festigkeiten nur bei ganz großen Objekten unter Beachtung besonderer Vorsichtsmaßregeln verwendet wird. Für besondere Aufgaben des Eisenbetonbaues, wenn z. B. nur geringe Beton-Stärken in möglichst dichtem Baustoff auszuführen sind, kann auch das *Beton-Spritzverfahren* verwendet werden, d. h. das Auftragen, bezw. Aufschießen von Beton unter Druck.

Die gute Umhüllung der Eiseneinlagen ist sowohl zur Sicherung der einheitlichen Wirkung derselben mit dem Beton wie auch zur Erzielung eines genügenden Feuchtigkeits- und Rostschutzes unerlässlich.

Die *Eiseneinlagen*, welche vorwiegend aus Stahl bestehen, haben in

Europa runde Querschnittsform, während sie in den Vereinigten Staaten häufig zur Vergrößerung der Haftfestigkeit mit Wülsten, Einkerbungen etc. versehen werden. Mit Rücksicht auf eine einheitliche Wirkung der Eiseneinlagen und des Betons ist die Haftoberfläche der Eisen möglichst groß vorzusehen; d. h. möglichst viele, dünne Rundeseisen in kleinen Abständen sind wenigen, dicken und weit entfernten vorzuziehen. Walzträger, bzw. steife Bewehrungen werden infolge der Zerstückelung des Betonquerschnittes selten als Eiseneinlagen verwendet.

Neben den zur Aufnahme der Zug-, eventuell auch der Druckspannungen nötigen geraden und abgebogenen Trageisen sind noch Verteilungseisen erforderlich. Die Verteilungseisen (vor allem in Deckenkonstruktionen) haben die Aufgabe, den Zusammenhang großer Betonflächen zur Erzielung einer einheitlichen Wirkung zu sichern. Eine kräftige Verteil-Armierung ist vor allem auch dann nötig, wenn Einzellasten auftreten. Die Bügel sichern den Zusammenhang von Druck- und Zugzone und dienen auch zur Aufnahme der schrägen Zughauptspannungen. Neben diesen statisch wirksamen Eiseneinlagen werden noch weitere Eiseneinlagen zur Montage und gegenseitigen Festlegung der ersteren benötigt.

Die Einflüsse des *Schwindens*, der *Temperaturänderungen* und etwaiger *Setzungen* des Baugrundes führen im Eisenbeton wie im Betonbau häufig zu Rißerscheinungen. Diesen Erscheinungen ist beim Entwurf erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken, indem entweder durch Trennungsfugen die Einflüsse kleiner gehalten werden, oder indem ihnen durch besondere Bewehrung und Ausbildung des Tragwerkes Rechnung getragen wird.

Die *Ausführung der Eisenbetonkonstruktion* umfaßt das Abbinden und Aufstellen der Rüstung und Schalung, das Biegen, Verlegen und Flechten der Eisen, das Mischen, Einbringen und Verarbeiten des Betons, die sorgfältige Überwachung der langsam erhärtenden Konstruktion, das Ausschalen und Ausrüsten sowie eventuelle Nacharbeiten der Sichtflächen.

Die Schalungen werden vorwiegend aus Holz hergestellt. Die Stützung der Schalung erfordert oft umfangreiche Rüstungen; für größere Bogen- und Rahmenkonstruktionen sind sorgfältig vorbereitete, planmäßig hergestellte Lehrgerüste erforderlich.

Statt der Holzschalung wird mancherorts auch die Blechschalung verwendet, da diese eine größere Lebensdauer besitzt, ferner glat-

tere Untersichten gewährleistet. Die Wahl des einen oder anderen Schalungsmaterials ist vor allem eine wirtschaftliche Frage, die in hohem Maße von den örtlichen Verhältnissen abhängt. Mit der zunehmenden Schwierigkeit der Beschaffung der nötigen Holzmen-gen wird sich das Anwendungsgebiet der Blechschalung zweifellos erweitern.

Nachdem die Schalung fertiggestellt ist, werden die Eiseneinlagen mit Hilfe von Montageeisen in der planmäßigen Lage eingelegt. Ist die Lage der Eiseneinlagen einer genauen Kontrolle unterworfen worden, was in Anbetracht der späteren Unzugänglichkeit derselben von großer Wichtigkeit ist, so wird der maschinell gemischte und mit Hilfe mechanischer Einrichtungen (Aufzüge, Kräne, Gießbrin-nen etc.) an den Ort seiner Verwendung gebrachte Beton einge-füllt und möglichst gut eingestampft. Kann die Eisenbetonkon-struktion nicht in einem Tage fertiggestellt werden, so sind bei Wie-derbeginn der Arbeit die nötigen Vorkehrungen zu treffen, um den Zusammenhang des frischen mit dem bereits erhärteten Beton sicherzustellen. Diese Arbeitsfugen bleiben später sichtbar und sind für den Betonbau charakteristisch.

Je nach den Witterungsverhältnissen und der Betonzusammenset-zung beginnt früher oder später der Abbinde- und Erhärtungspro-zeß, während welchem die Konstruktion einer sorgfältigen Be-obachtung und Nachbehandlung unterworfen werden muß. Ist die Erhärtung genügend fortgeschritten, d. h. hat der Beton die nötige Festigkeit erreicht, wozu je nach der Witterung verschiedene Fri-sten einzuhalten sind, so kann die Schalung entfernt werden.

Die Mannigfaltigkeit dieser Arbeiten und die zum Teil schwierige Ausführung verlangen eine besondere Sorgfalt; bei schlechter Ausführung können alle Feinheiten der Projektierung und Be-rechnung verloren gehen; es entstehen Risse und andere Schäden, deren Ausbesserung schwierig und teuer ist. Die Arbeiten werden dadurch noch erschwert, daß sie in weitgehendem Maße von der Witterung abhängig sind. Vor allem kann Frost den Fortgang der Betonierungsarbeiten hemmen, sogar unterbinden; auch große Trockenheit verlangt besondere Vorsichtsmaßregeln.

Die Bauzeit für die Ausführung von Eisenbetonbauten ist in den letzten Jahren durch Einführung verbesserter Schalungsweisen und vor allem durch die Verwendung frühfester Zemente stark verkürzt worden.

Der monolitische Zusammenhang eines Eisenbetonbauwerkes besitzt neben dem Vorteil hoher Steifigkeit den Nachteil, daß an fertigen Bauten größere Änderungen nur mit Schwierigkeiten und hohem Kostenaufwand vorgenommen werden können, und der Abbruch von Eisenbetonbauten schwierig und kostspielig ist.

Während bei Holz- und Eisenkonstruktionen ein großer Teil der Arbeit in der Fabrik, bezw. auf dem Werkplatz unabhängig von der Witterung vorbereitet werden kann, und auf dem Bauplatz kaum mehr als ein Zusammensetzen fertig-vorbereiteter Teile in genau festgelegter Weise erfolgt, entsteht die Eisenbetonkonstruktion in der Mehrzahl der Fälle als monolitische Konstruktion vollständig auf der Baustelle. Die Witterungsabhängigkeit kann jedoch auch im Eisenbeton durch die Verwendung von Traggliedern, welche vorher in der Fabrik oder auf dem Bauplatz hergestellt und gelagert wurden, deshalb an Ort und Stelle lediglich noch des Zusammenbaues bedürfen, eingeschränkt werden. Die Bauweise aus *Eisenbeton-Fertigteilen* weist neben diesem Vorzug noch andere günstige Eigenschaften technischer Art auf, z. B. Verminderung der Schwinderscheinungen, relative Trockenheit des Bauwerkes, sorgfältige Herstellungsmöglichkeit der Bauteile unter Witterungsschutz; Vorzüge wirtschaftlicher Art sind z. B. der Wegfall der Schalungen und teilweise auch der Rüstungen, welche letztere besonders bei hohen Räumen kostspielig sind, die sofortige Benutzbarkeit der Räume, die Billigkeit fabrikmäßiger Herstellung, vor allem bei Serienfabrikation. Diesen Vorzügen stehen als Nachteile gegenüber: der Verlust des monolithischen Zusammenhanges und die häufig schwierige Verbindung der einzelnen Tragglieder.

Die erwähnten Vor- und Nachteile lassen darauf schließen, daß diese Bauweise — abgesehen von örtlichen Faktoren — sich nur für wenige, besondere Arbeitsgebiete eignen wird. Als ein solches fällt in erster Linie die industrielle, fabrikmäßige Herstellung normierter, kleiner Eisenbeton-Bauelemente, z. B. Deckenbalken, Dachpfetten und -Sparren, Wandständer und -Platten etc. in Betracht. Diese durch Dorne oder Schrauben verbundenen Tragteile können als Tragwerk wie auch als Raumabschluß kleiner, leichter Bauwerke — Eisenbetonständer- oder -Fachwerkbauten — Verwendung finden.

Die fabrikmäßige Herstellung größerer Eisenbetontragglieder für schwere Tragwerke setzt — wie im Eisenbau — eine einwandfreie

und einfache Verbindungsmöglichkeit der Tragglieder voraus, welche vor allem in Hinsicht auf den Eisenbetongeschoßbau wichtig ist, sich praktisch indessen kaum verwirklichen läßt. Die im Eisenbau leicht mögliche Verlängerung, Verkürzung und Verstärkung der Tragglieder ist im Eisenbetonbau schwieriger auszuführen; ferner können Stützen und Träger nicht wie im Eisenbau aus denselben Elementen hergestellt werden. Auch der Transport der schweren Eisenbetontragglieder gestaltet sich infolge der Reißgefahr schwieriger. Lagerbestände in Eisenbeton-Fertigteilen kommen hauptsächlich für die vielgebräuchlichen Decken- und Wandteile, weniger für Stützen in Frage.

Die technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen für eine weitgehende industrielle Herstellung von Eisenbeton-Traggliedern sind somit ungünstiger als im Eisenbau. Die monolitische Ausführung wichtigerer Eisenbetonbauten an Ort und Stelle wird deshalb, mit wenigen Ausnahmen, voraussichtlich die Regel bleiben.

Die hier kurz erwähnten Eigenschaften des Eisenbeton lassen die überaus große bauliche Verwendbarkeit desselben erkennen. Da seine Druck- und Zugfestigkeit sowie Feuersicherheit ihn vor allem als Baustoff für die Ausbildung von Traggliedern und ganzen Tragwerken geeignet erscheinen lassen, während seine raumabschließenden Eigenschaften — Witterungsbeständigkeit, Wärme- und Schallschutz — für höhere Ansprüche zunächst ungenügend sind, ist es begreiflich, daß er vorerst nur im reinen Ingenieurbau — Tiefbau, Brücken-, Wasser- und Industriebau — Verwendung fand, während er im Geschoßbau erst später, nach Überwindung mancher Schwierigkeiten und Vorurteile, praktische Bedeutung gewann.

Tragglieder, bezw. *Tragwerke* in Eisenbeton sind: die Mauer, die Stütze, der Balken, der Bogen, die Platte und die Schale, ferner die balken-, bogen- und rahmenförmigen Binder.

Die Ausbildung einer *Eisenbetonmauer* hat ihre besonderen Vorteile, wenn horizontale Kräfte — Erddruck, Wasserdruck oder Wind — die Mauer belasten und die Mauerabmessungen klein gehalten werden müssen, also sogenannte Schwergewichtsmauern nicht in Frage kommen. Als Stützung der Mauern können Quermauern oder lotrechte Rippen, bezw. Pfeiler dienen. Sind die horizontalen Belastungen sehr groß, so kann statt einer Platte auch ein Gewölbe zur Aufnahme derselben vorgesehen werden.

Die Eisen-
betonmauer

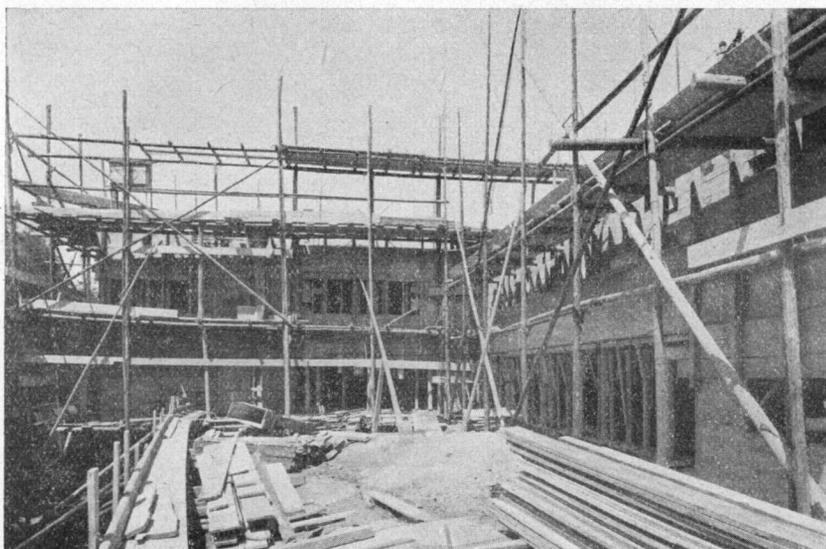
Naturgemäß müssen diese dünnen Platten oder Gewölbe je nach den Umständen gegen Feuchtigkeit, eventuell auch gegen Wärme und Kälte isoliert werden.

Eine Eisenbetonmauer kann ferner auch in all jenen Bauwerken sehr wertvolle Dienste leisten, in denen viele auf Zug, bezw. Biegung beanspruchte Bauteile — große Fensterstürze, Auskragungen etc. — vorkommen; die hierbei relativ wenigen nur auf Druck beanspruchten Bauteile brauchen mit Rücksicht auf das Schwinden, die einheitliche Zusammenarbeit etc. nur schwach armiert zu werden. So ergibt sich ein vorzüglicher, einheitlicher äußerer Raumabschluß wie auch ein statisch einwandfreies, einheitliches Tragwerk (vergl. Abb. 15 und 16).

Der Schutz des Betons gegen eindringende Feuchtigkeit kann durch einen wasserdichten Verputz, Anstrich, Vorsatzbeton oder eine Verkleidung erfolgen (vergl. Abschnitt 2, Seite 46 u. f.). Der Wärmeschutz wird durch Isolierplatten — Korkplatten etc., bezw. gegossene Isolierbaustoffe — Bimsbeton etc. —, die je nach der Benützung des Raumes und der konstruktiven Ausbildungsmöglichkeit eine innere oder äußere isolierende Verkleidung bilden, gewährleistet. Ist der Raum ständig warm, so wird die Isolierschicht mit Vorteil an der Außenfläche angebracht, da hierdurch die Mauer selber gegen die Einflüsse der Außentemperatur in hohem Maße geschützt wird, ferner die wärmespeichernde Wirkung der Mauer ausgenutzt werden kann. Da diese Isolierstoffe porös sind, bedürfen sie noch eines guten Witterungsschutzes, welcher am besten durch eine Plattenverkleidung aus Naturstein, Kunststein etc. gewährleistet wird. Die Anbringung der Isolierschicht an der Innenseite ist oft, z. B. bei unverputzter Fassade, aus konstruktiven Gründen die einzige Möglichkeit. Wärmetechnisch ist diese Anordnung nur dann günstig, wenn der Raum nicht ständig bewohnt, d. h. nur selten geheizt wird. Ein rasches Anheizen eines solchen Raumes geschieht dann leicht, da die in der Mauer aufgespeicherte Kältemenge einen nur geringen Einfluß ausübt. Sind die Belastungen der Mauer gering, so kann dieselbe zur Erzielung eines genügenden Wärmeschutzes auch aus armiertem Leichtbeton hergestellt werden (vergl. Abschnitt 2, Seite 48 u. f.).

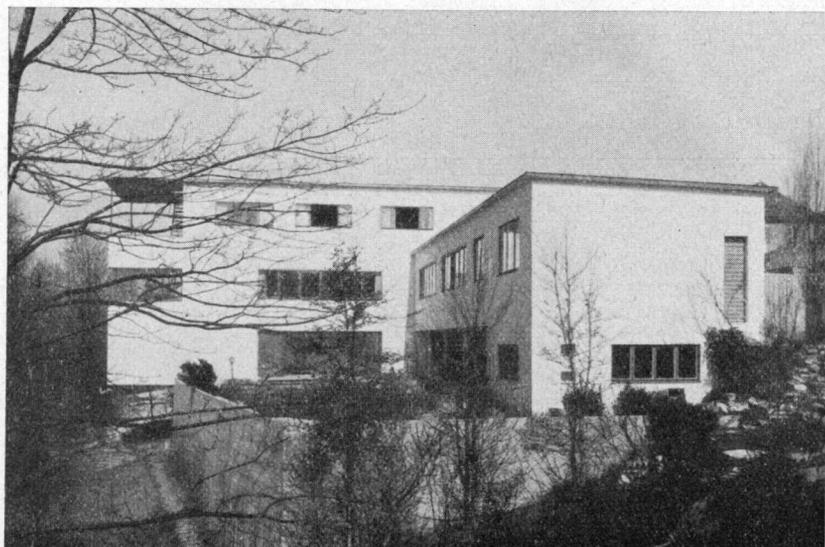
Der Schutz der Eisenbeton-Außenmauer gegen die Einwirkung von Luftschall muß durch ihre Dichte, bezw. ihr großes Gewicht gewährleistet werden.

Abbildung No. 15



Eisenbetonbau. Wohnhaus mit Eisenbetonaußenwänden und innerer Bimsbetonplattenverkleidung
Wohnhaus Prof. O. R. Salvisberg, Zürich

Abbildung No. 16



Eisenbetonbau. Rohe Eisenbetonaußenwand mit wetterschützendem Anstrich: Sika-Zement-schlemme und nachheriger Mineralfarbanstrich
Wohnhaus Prof. O. R. Salvisberg, Zürich

Eisenbetonstützen werden in denjenigen Fällen vorgesehen, in welchen hohe Belastungen aufzunehmen sind und die Stützen auch auf Biegung beansprucht werden. Biegebungsbeanspruchungen sind bei der üblichen monolithen Verbindung der Stützen und Unterzüge infolge unsymmetrischer Dach-, Decken- und Windlasten unvermeidlich.

Die Eisen-
betonstütze

Die Bewehrung besteht aus einer Längs- und einer Querbewehrung. Letztere hat in erster Linie das Ausknicken der Längseisen zu verhindern. Die Anordnung der Querbewehrung längs einer Schraubenlinie steigert die Druckfestigkeit des Betons und ermöglicht die Ausbildung sehr kleiner Stützenquerschnitte.

Die Stützen dienen zur Aufnahme der *Unterzüge*, welche ihrerseits direkt oder mittelst Nebenunterzügen die Decken zu tragen haben. Die Unterzüge können als einfache oder durchlaufende Balken auf den Stützen oder Mauern aufgelagert werden. Die Anordnung von frei drehbaren End-, bzw. Zwischenauflagern oder Mittelgelenken wird in Anbetracht der konstruktiven Schwierigkeiten, sowie der hohen Kosten wegen, selten getroffen.

Der Eisen-
betonunterzug

Die Verbindung von Eisenbetonbalken und -Stützen ist vorwiegend eine monolithische; dies bewirkt an den End- und Zwischenauflagern eine teilweise Einspannung des Unterzuges. Entsprechend den dadurch entstehenden geringeren positiven Feldmomenten kann der Querschnitt und die Armierung des Balkens in Feldmitte kleiner gehalten werden. An den Auflagern verlangen die auftretenden negativen Momente sowie die schrägen Zughauptspannungen obere, bzw. aufgebogene Eiseneinlagen, ferner eine Vergrößerung der Betondruckzone, was zu einer Verbreiterung oder Erhöhung des Balkenquerschnittes, d. h. zu Voutenausbildung führt. Die Querschnittsform des Eisenbeton-Unterzuges ist meistens rechteckig oder T-förmig. Letztere Querschnittsform ergibt sich aus der monolithen Verbindung des Unterzuges mit der Decke. Wird ein Teil der angrenzenden vollen Deckenplatte in den Querschnitt des tragenden rechteckigen Unterzuges einbezogen, so ergibt sich eine sehr erwünschte Vergrößerung der Druckzone an den Stellen positiver Momente. Die Breite dieser einbeziehenden Druckplatte ist von der Spannweite und der Deckenstärke abhängig. Eine besondere Art Unterzüge sind die Zwillingsträger — zwei nebeneinanderliegende, getrennte, mit den angrenzenden Deckenteilen

verbundene Unterzüge — welche in hohem Maße die Vermeidung von Schwindrissen gewährleisten.

Die Armierung der Unterzüge besteht aus Längseisen zur Aufnahme der Zugspannungen, aus abgebogenen Eisen und Bügeln zur Aufnahme der schrägen Zughauptspannungen und Sicherung der einheitlichen Wirkung des Steges mit der Druckplatte.

Bei größeren Spannweiten und Belastungen wird der balkenförmige Unterzug hoch und schwer; kann er nicht, wie z. B. in Geschoßbauten, als voller Wandträger ausgebildet werden, so treten aus wirtschaftlichen Gründen der Fachwerkträger und der diagonallose Rahmenträger an seine Stelle. Die Auflagerung dieser Träger auf einem festen und einem beweglichen Auflager ist nur dann möglich, wenn die horizontalen Kräfte (Wind etc.) durch die Auflagermauern, bezw. Mauer-Pfeiler oder durch angrenzende Mauern übernommen werden. Ist dies nicht oder nur teilweise der Fall, so müssen die Träger biegungsfest mit Eisenbetonstützen verbunden werden, um die horizontalen Kräfte aufnehmen und in die Fundamente ableiten zu können.

Der *Fachwerkträger* aus Eisenbeton verlangt vor allem eine zweckmäßige Ausbildung der Knotenpunkte zur guten Verbindung der Eiseneinlagen der Gurtstäbe und Füllungsglieder sowie zur Vermeidung größerer Biegemomente wegen der nichtgelenkigen Knotenpunkte. Sowohl Zug- wie Druckstäbe werden in Eisenbeton ausgeführt, obwohl die Zugkräfte besser nur durch Eisenstäbe aufgenommen würden; Rost- und Feuergefahr erklären jedoch diese Maßnahmen.

Wird ein solcher Träger zur Überdeckung eines in einem Geschoßbau befindlichen Saales verwendet, so kann er als tragende Zwischenmauer des darüber befindlichen Stockwerkes ausgebildet werden. Da in einer Fachwerkwand aber Wandöffnungen (Türen etc.) für den Querverkehr schwierig anzubringen sind, wird in diesen Fällen der *Rahmenträger* (Vierendeelträger), welcher keine Diagonalen sondern nur Vertikalen besitzt, eher zur Anwendung gelangen. Während im Fachwerkträger, abgesehen von den infolge starrer Knotenpunktsausbildung entstehenden Biegemomenten, nur Längskräfte auftreten, so treten beim Rahmenträger in den Vertikalen und in den Gurtungen des weitern noch große Biegemomente und Querkräfte zu den Längskräften hinzu.

Ist die Anordnung von Unterzügen als verbindendes Tragglied zwischen Stütze und Decke die übliche, so hat sich daneben für besondere Zwecke die *Pilzdecke* als technisch zweckmäßige und wirtschaftliche Konstruktion ausgewiesen. Die Übertragung der Deckenlast auf die Stützen geschieht hierbei durch allseitige, pilzartige Verbreiterung derselben, wobei infolge Wegfalles der Unterzüge eine ebene Deckenuntersicht entsteht, die günstige Beleuchtungsverhältnisse schafft und das Verlegen von Leitungen erleichtert. Diese Ausbildung kommt bei großen Grundrißflächen vor allem dann in Frage, wenn die einzelnen Deckenfelder angenähert quadratisch, ferner wenn hohe Nutzlasten aufzunehmen und niedrige Stockwerkhöhen (Wegfall der Unterzüge) einzuhalten sind. Die Pilzdecken haben bis heute vorwiegend für Bauten, deren Wärme- und Schallschutz keine besonderen Anforderungen stellt, Anwendung gefunden (Lagerhäuser, Fabriken etc.). Bei dem Stand der heutigen Isoliertechnik, welche die Wärme- und Schallisolierung der Decken mit zweckmäßig zusammengesetzten Boden- und Wandbelägen allein zu gewährleisten sucht, kann die Pilzdecke auch für isoliertechnisch anspruchsvolle Bauwerke Verwendung finden.

Da die pilzförmigen Stützen in der Fassade einen direkten Fensteranschluß erschweren würden, wird die Decke vielfach ausgekragt, sodaß die Außenmauer frei von jeder Stütze ausgebildet werden kann.

Die *Deckenkonstruktionen* in Eisenbeton sind sehr mannigfaltig. Die Größe und Verteilung der aufzunehmenden Lasten, der Abstand der Stützen und Unterzüge, sowie die gewünschte Isolierfähigkeit gegen Wärme und Schall sind die für die Ausbildung der Decke bestimmenden Faktoren.

Die Eisen-
betondecke

Abgesehen von den mit steifen Eisenträgern kombinierten Eisenbetondecken (vergl. Abschnitt 4, Seite 92 u. f.), werden die Eisenbetondecken als volle, Rippen-, bzw. Hohlstein- oder als Plattenbalkendecken ausgebildet.

Die *volle Deckenplatte* wird bei schweren, konzentrierten Lasten ausgeführt, weil ihre gute einheitliche, lastverteilende Wirkung hierbei ausgenutzt werden kann. Je nach dem Längenverhältnis der Seiten des rechteckigen Deckenfeldes wird die Decke nur in einer Richtung oder in beiden Richtungen bewehrt; ist dieses Ver-

hältnis größer als 1,5, so wird die Decke nur in Richtung der kürzeren Seite bewehrt, wobei durch Verteilungseisen die einheitliche Wirkung der ganzen Decke gesichert wird; je mehr sich die Felderform hingegen einem Quadrat nähert, desto mehr ist die allseitige Lagerung der Platte, welche dementsprechend in zwei Richtungen armiert wird, wobei auch die Verteilungsarmierung als Hauptarmierung wirkt, geboten.

Die Hauptarmierung der vollen Platte, welche aus geraden und aufgebogenen Eisen besteht, sowie die Verteilarmierung wird üblicherweise an Ort und Stelle geflochten; sie kann aber auch — wie dies z. B. in den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika der Fall ist — schon vorher zum Zwecke raschen Arbeitsvorganges als dichtes, aus dünnen Eisen oder Streckmetall bestehendes Netzwerk bereitgestellt werden.

Das Material der vollen Deckenplatte ist insofern statisch nicht gut ausgenützt, als der Beton der Zugzone statisch nicht mitarbeitet. Beschränkt man den Beton der Zugzone auf ein Minimum, d. h. auf die zur Umhüllung der Zugeisen nötige Menge, so entsteht die *Rippendecke*, welche gegenüber der vollen Deckenplatte eine bedeutende Gewichtsermäßigung aufweist. Im Bereiche negativer Momente und hoher Schubspannungen (Auflagerstellen durchgehender oder eingespannter Rippendecken etc.) müssen oft die Rippen voutenförmig vergrößert oder die Zwischenräume zwischen den Rippen zur Vergrößerung des Querschnittes vollständig ausgefüllt werden. Bilden im letzteren Falle Unterzüge die Auflager, so kann das volle Deckenstück als Druckgurt der Unterzüge in die Rechnung einbezogen werden; es entsteht dann für die Unterzüge ein T-förmiger Balkenquerschnitt.

Rippendecken werden oft als solche gezeit; manchmal erhalten sie aus isolier- und belichtungstechnischen Gründen eine ebene Untersicht in Form einer Rabitzdecke; letztere wird an den Rippen mittelst einbetonierter Holzlatten befestigt oder an Haken, die in den Rippen eingelassen sind, aufgehängt. Letztere Anordnung ist in bezug auf Wärmeisolierung besser, da keine durchbindenden Stellen vorhanden sind; ein späteres Abzeichnen der Rippen ist hier nicht zu befürchten.

Eine ebene Untersicht der Decke kann auch durch die Ausfüllung der Rippenzwischenräume mit *wärmeisolierenden Hohlkörpern* aus gebranntem Ton, Leichtbeton oder anderen Baustoffen erzielt wer-

den. Statisch werden die Hohlkörper meist nicht mitgerechnet. Die Deckensysteme, welche durch die Wahl druckfesten Materials einen Teil der Steine als Druckzone der Decke einbeziehen, benötigen eine fugenlose Überbeton- oder Zwischenbetonschicht zur Sicherung der einheitlichen Wirkung, d. h. der gleichmäßigen Druckübertragung. Mit Rücksicht auf gute Wärmeisolierung sowie auf eine gleichmäßig zu verputzende Untersicht ist es von Vorteil, wenn die Hohlkörper so geformt sind, daß sie die Rippenuntersicht vollständig umschließen; andernfalls werden sich, infolge der verschiedenen Wärme- und Feuchtigkeitsisolierung der Rippen und Hohlsteine, dieselben auf dem Verputz streifenartig abzeichnen. Sichtbare Rippen ermöglichen dagegen eine bessere Kontrolle der Betonierungsarbeit.

Nähert sich die Form des Deckenfeldes einem Quadrat, so wird bei großen Spannweiten — entsprechend der in beiden Richtungen armierten, allseitig gelagerten vollen Platte — die Decke als *Kassettendecke* mit zwei oder mehr Rippenbahnen ausgebildet. Die Kassettendecke über quadratischem Grundriß mit mehreren Tragrichtungen stellt vom statischen Standpunkt aus eine sehr zweckmäßige Konstruktion dar; die Ausführung der sich kreuzenden Rippen ist in Eisenbeton besonders einfach, wogegen die Schalung vermehrte Arbeit erfordert.

Neben diesen allgemein gebräuchlichen vollen, Rippen-, Hohlkörper- und Kassettendecken, welche alle an Ort und Stelle betoniert werden, können für besondere Aufgaben, welche weder größere Lasten und Spannweiten aufweisen, noch eine monolitische Verbindung erfordern, auch *fertig-verlegbare Eisenbetonträger* aus Kies- oder Leichtbeton verwendet werden. Die Eisenbetonträger können aneinander gereiht werden, wobei die Querverbindung durch seitliche Fälze, Nuten etc. sichergestellt wird; die Eisenbetonträger können aber auch in kleineren Abständen verlegt werden; die Deckenober- und -Untersicht wird hierbei durch armierte Leichtbeton-Platten, Hohlkörper etc. gebildet. Die Quersteifigkeit dieser Decken wird meistens durch eine an Ort und Stelle aufgebrachte Überbetonschicht verbessert. Die Balken werden im Hinblick auf Gewichts- und Materialersparnis als I-Träger oder Gitterträger ausgebildet.

Eisenbetondecken können statisch als einfache, durchlaufende oder auskragende Decken ausgebildet werden. Während die einfache

Decke meist nur eine geringe End-Einspannung infolge der Mauer-
auflasten etc. aufweist, ist für die durchlaufende Decke infolge der
monolithen Verbindung der einzelnen Deckenfelder und des Tor-
sionswiderstandes der meist kräftigen Unterzüge, bezw. Tragwände
die Einspannung recht beträchtlich. Die Einspannung auskragender
Decken wird entweder durch die Auflasten über dem Auflager oder
besser durch die monolitische Verbindung mit den angrenzenden
Deckenfeldern gesichert (Balkone, Perrondächer etc.).

Erscheinen die technischen und wirtschaftlichen Fragen der Eisen-
betondecken in hohem Maße als gelöst, so sind hingegen noch
manche isoliertechnische Fragen abzuklären. Kann im allgemeinen
durch geeignete isolierende Bodenbeläge und Unterlagen sowie
durch Hohlkörper ein genügender Wärmeschutz erreicht werden,
so ist hingegen die *Schallsicherheit* oft gering. Die gute Leitfähig-
keit des Betons und die kleinen Dimensionen der Decken und
Wände, welche Schwingungen derselben ermöglichen, sind die ent-
scheidendsten Faktoren für diese Hellhörigkeit.

Vor allem ist die Isolierung der Decken gegen *Bodenschall* erfor-
derlich. Um einerseits die Fortleitung des Bodenschalls in der
Eisenbetondecke, andererseits die Schwingungen der letzteren zu
vermeiden, muß die Eisenbetondecke mit nachgiebigen, elastischen
Baustoffen, welche die Wirkung der Schallwellen vernichten, iso-
liert werden. Diese Stoffe, zu welchen z. B. Kork in Form von
Platten oder Schrot, Torf etc. zählen, dienen als Unterlage für den
Bodenbelag, bezw. dessen armierten oder nichtarmierten Estrich.
Der Bodenbelag selber muß gegen konzentrierte Belastung, Stöße
etc. genügenden Widerstand leisten können, weshalb er nicht zu
nachgiebig sein darf; hingegen kann die schallisolierende Zwischen-
lage, die infolge der druckverteilenden Wirkung des Belages und
des Estrichs nicht so konzentriert belastet wird, eine größere Nach-
giebigkeit und Elastizität aufweisen. Die Fortleitung der Schall-
wellen vom Bodenbelag, bezw. dem Estrich in die Wände, muß
durch seitliche Schall-Isolierung verhindert werden.

Gegen den *Luftschall* besteht die Abwehr lediglich in der Ausfüh-
rung schwerer, dichter, nicht schwingender Decken. Hohlkörper-
decken sind deshalb in schalltechnischer Beziehung von Nachteil,
da sie das Gewicht und die Steifigkeit der Decke vermindern, also
leichter Schwingungen derselben ermöglichen. Auch die mit Rabitz-

decken verkleideten leichten Rippendecken isolieren nur ungenügend gegen Luftschall.

Werden diese Maßnahmen gegenüber Boden- und Luftschall eingehalten, wird demnach das Eindringen jeden Geräusches oder jeder Erschütterung in die Eisenbetonkonstruktion möglichst verhindert, so erübrigt sich eine Isolierung der Deckenaufleger.

Besondere Anforderungen stellen die Decken, welche als *flache Dächer oder Terrassen* zu dienen haben. Die Ausbildungsweise der flachen Dächer richtet sich nach den gestellten Forderungen — Ableitung des Wassers, Wärme- und Kälteschutz, Schallschutz, Begehbarkeit, Gartenausbildung etc. —. Die Ableitung des Wassers nach außen oder innen bedingt die Anordnung einer wasserundurchlässigen Schicht — Kupferblech, Tecutablech, verzinktes Eisenblech, Aluminiumblech, Bronzeblech, ferner Dachpappen und Anstriche, welche durch Sand und Kies vor Verletzung und vor der Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützt werden müssen —, mit genügend Gefälle; der Schutz gegen Temperaturwechsel und Körperschall verlangt die Einschaltung poröser Isolierplatten — Kork-, Torfoleum-, Tektonplatten etc., die gegen eindringende Baufeuchtigkeit durch Pappen etc. geschützt sein müssen —; die Übertragung des Luftschalles wird durch eine möglichst dichte Betonkonstruktion unterbunden; die Begehbarkeit des Daches erfordert einen besonderen Schutz der Dachhaut — Steinplatten, armierte Zementplatten etc. in Sand oder Mörtel verlegt, mit offenen oder geschlossenen Fugen —. Besondere Aufmerksamkeit verlangt das durch den starken Temperaturwechsel, das Schwinden etc. bedingte Arbeiten des Betons, da letzteres ohne Gegenmaßnahmen zu Rißbildungen führen kann. Risse werden vermieden, wenn von vornherein Dilatations-, bzw. Kontraktionsfugen vorgesehen werden. Technisch sind flache, bzw. flachgeneigte Dächer, wie die Erfahrung lehrt, in einwandfreier Ausführung möglich. Während die Anlage flacher Dächer bei kleineren Dimensionen relativ wenig Schwierigkeiten bietet, ist die Ausführung größerer Flachdächer, entsprechend den größeren Formänderungen schwieriger.

Die vorgenannten Tragglieder — Stütze, balkenförmiger Unterzug und Decke — bilden, vereinigt, das Tragsystem des *Eisenbetonskelettbau*s. Das Eisenbetonskelett ist heute für Geschoßbauten — Bureau- und Wohnungshochhäuser, Banken, Hotels, Warenhäuser,

Der Eisenbeton-
Skelettbau

Garagen, Krankenhäuser etc. — eines der meist verwendeten Tragwerke. In all jenen Fällen, wo einerseits wegen großer Stockwerkhöhe, d. h. hoher Lasten, eine Ausführung in Natur- oder Kunststein wegen der Stärke der entstehenden Mauern, dem damit zusammenhängenden Verlust an Raum und Licht und der mangelnden Quersteifigkeit nicht in Betracht fällt, andererseits infolge zu geringer Lasten eine Eisenskelettkonstruktion noch unwirtschaftlich wäre, da deren überaus hohe Festigkeiten nicht genügend ausgenutzt werden könnten, kommt der Eisenbetonskelettbau in Frage. Neben seinen Vorzügen in bezug auf Feuersicherheit und Konstruktion ermöglicht er auch eine freie Grundrißgestaltung sowie eine gute Belichtung und Belüftung.

Die Grundrißdisposition wird durch den Wegfall durchgehender tragender Mauern wesentlich erleichtert; jedes Stockwerk kann mittelst leichter Zwischenwände frei und unabhängig von dem darunter befindlichen disponiert werden; lediglich die Stützen sind die wenigen gegebenen Festpunkte.

Die gute Belichtung und Belüftung wird durch die Anlage großer Fensteröffnungen zwischen den schmalen Pfeilern wesentlich gefördert.

Stützen und Unterzüge bilden bei monolithischer, biegungsfester Verbindung einheitlich wirkende Rahmen. Im Geschoßbau entsteht infolge der neben- und übereinandergestellten Einzelrahmen ein sogenannter *Stockwerkrahmen*. Infolge der biegungsfesten Verbindung der Stützen und Unterzüge und der dadurch bedingten einheitlichen Wirkung ist die Steifigkeit der Rahmen eine sehr große. Dieselbe ist vor allem im Hinblick auf die Aufnahme horizontaler sowie bewegter Lasten von Wichtigkeit. Wind, Erdbebenstöße und Erschütterungen können durch zweckmäßige Rahmenanordnung in sicherer Weise aufgenommen werden, was bei Tragwerken, deren Stützen, Unterzüge und Decken keine monolithische Verbindung besitzen, nicht möglich ist. Eine möglichst gleichmäßige allseitige Steifigkeit, welche vor allem mit Rücksicht auf Erdbebenstöße und Windbelastungen sehr wertvoll ist, wird bei rechteckigem Grundriß durch Rahmenanordnung parallel den beiden Seiten, d. h. durch Anordnung von Quer- und Längsrahmen zugleich, erzielt. Sind nur in einer Richtung Rahmen vorgesehen, so wird im allgemeinen die Anordnung von Querrahmen parallel der kürzeren Rechteckseite das Gegebene sein. Hat hierbei das Gebäude auch noch in der

Längsrichtung größere Windkräfte aufzunehmen, so können die Endfelder auch im Längsschnitt als Rahmen ausgebildet werden. Auch Treppenhauswände, Aufzug-Gehäuse etc. können zur Versteifung des Tragwerkes herangezogen werden.

Neben den statischen Anforderungen sind noch andere Momente für die Disposition der Rahmen maßgebend; z. B. die Grund- und Aufrißdisposition im Hinblick auf die Zweckbestimmung der Räume, die Unterbrechungen des Tragwerkes durch Freitreppen, Aufzüge etc., die Fassadenauflösung und damit die Belichtung, die zur Verfügung stehende Bauhöhe und besonders die Wirtschaftlichkeit.

Die einzelnen Teile der Rahmen werden gleichzeitig durch Biegemomente und Axialkräfte sowie Querkräfte beansprucht. Je steifer die Eckverbindungen ausgebildet werden, desto größer sind bei unsymmetrischer Belastung der Decken die Biegungs-Beanspruchungen der Stiele, wodurch die Riegel zum Teil entlastet und die Bauhöhen kleiner gehalten werden können. Infolge der unsymmetrischen Belastungen sowohl infolge der Eigen- als auch der Nutzlasten werden namentlich die Randsäulen der Stockwerkrahmen stark auf Biegung beansprucht.

Die Stockwerkrahmen stellen *mehrfach statisch unbestimmte Tragwerke* dar. Die statische Berechnung derselben ist durch die Entwicklung der baustatischen Methoden, besonders derjenigen der Momentenfestpunkte sowie derjenigen der drei- und mehrgliedrigen Elastizitätsgleichungen praktisch durchführbar, wenn auch zuzugeben ist, daß der Rechnungsaufwand hierbei ein recht bedeutender ist; namentlich ist die Verfolgung des Einflusses horizontaler Kräfte zeitraubend.

Bei großen zusammenhängenden Eisenbetontragwerken sind, wenn nicht in besonderer Weise durch eine Bewehrung gegen die Einflüsse des Schwindens, der Temperaturänderungen und allfälliger Setzungen vorgekehrt wird, Trennungsfugen anzuordnen. Die Fugen können schmal gehalten werden, da die Kontraktion infolge des Schwindens im allgemeinen größer ist als die Ausdehnung infolge der Temperaturerhöhung über die Herstellungstemperatur. Sind keine ungleichen Setzungen zu befürchten, so genügt es, wenn die Fugen oberhalb des Fundamentes beginnen, da letzteres gewöhnlich weder starken Schwinderscheinungen, noch nennenswerten Temperaturänderungen ausgesetzt ist. Sind hingegen infolge

ungleichmäßiger Bodenverhältnisse, ungleicher Belastungen infolge verschiedener Höhe der einzelnen Baukörper etc. ungleiche Setzungen zu erwarten, so muß die Fugenausbildung das gesamte Tragwerk, einschließlich der Fundamente, umfassen.

Bei der meist üblichen Ausbildungsart werden die Trennungsfugen in der Rahmenachse, neben den Stützen oder in einem Deckenfeld angeordnet. Erstere Disposition erfordert Doppelsäulen, bezw. Doppelunterzüge, letztere Disposition hingegen Konsolen an den Stützen, bezw. konsolartig ausgebildete Unterzüge und Decken.

Die Fugen erschweren die Fassadenausbildung. Sowohl die technischen Fragen (einwandfreie Fugenausbildung, sodaß ein unbehindertem Spielen derselben möglich ist, Wasserundurchlässigkeit etc.) wie namentlich die ästhetischen Erwägungen verursachen meistens Schwierigkeiten; vor allem dann, wenn die Bauflucht keinerlei Vor- und Rücksprünge aufweist.

Die *Fundamentausbildung* des Eisenbetonskelettes ist abhängig von den Boden- und Grundwasserverhältnissen, den Belastungen und der Entfernung der Stützen, wogegen die Lage des niedrigsten Grundwasserspiegels, die bei Gründung auf Holzpfehlen oder Holzrost maßgebend ist, hierbei weniger wesentlich ist.

Bei großen Stützenentfernungen und gleichmäßigen Bodenverhältnissen ist die Ausbildung von *Einzelfundamenten* die einfachste und billigste Lösung. Auch bei kleinen zulässigen Bodenbeanspruchungen können diese — im Gegensatz zu gemauerten, nicht biegungsfesten Fundamenten, die viel tiefer versenkt werden müssen — infolge der durch die Biegungsfestigkeit des Eisenbetons ermöglichten großen Breite und Länge, große Lasten übertragen.

Stehen in einer Richtung stark belastete Säulen nahe beieinander, so können die Fundamente zu einem gemeinsamen *Streifenfundament* zusammengezogen werden. Die Ausbildung von Streifenfundamenten ist bei Rahmenkonstruktionen recht zweckmäßig, da die Gefahr verschiedener Setzungen einzelner Stützpunkte dadurch vermindert wird.

Streifenfundamente finden auch als Fundamente belasteter Mauern (Umfassungsmauern etc.) Anwendung. In diesen Fällen kann die ganze Kellermauer durch geeignete Bewehrung als Träger ausgebildet werden, wodurch sie eine große Längsbiegungssteifigkeit erhält.

Bei wenig tragfähigem, gleichmäßigem und wasserhaltigem Bau-

grund und hohen, wenig verschiedenen und gleichmäßig verteilten Einzellasten ist die Ausbildung einer zusammenhängenden *Fundamentplatte* in Eisenbeton die beste Lösung. Die biegungsfeste, sehr steife Platte überträgt hierbei die Belastung der Stützen angenähert gleichmäßig auf den Baugrund. Statt der vollen Fundamentplatte können, ähnlich wie in den Deckenkonstruktionen, Unter-, bezw. Überzüge oder Pilzköpfe die Übertragung der Stützenlasten auf die Platte und den Baugrund vermitteln. Auch die im Steinbau gelegentlich gewählte Anordnung liegender Gewölbe, die aber zu außerordentlich großen Abmessungen führt, ist im Eisenbeton mit kleinerem Materialaufwand ausführbar.

Befindet sich der tragfähige Boden in größerer, jedoch praktisch erreichbarer Tiefe, und bietet die Ausbildung von Kellergeschossen wirtschaftlich keinen besonderen Nutzen, so kann eine *Pfahlgründung* in Frage kommen. Auch auf diesem Gebiet hat der Eisenbeton grundsätzlich Neues geschaffen. Eisenbetonpfähle haben gegenüber Holzpfehlern den großen Vorteil, vom Wechsel des Wasserspiegels unabhängig zu sein. Die Pfehle können entweder auf dem Werkplatz erstellt und auf der Baustelle eingerammt oder aber an Ort und Stelle im Baugrund selber ausgeführt werden.

Erstere Methode erfordert zur Bestimmung der Pfehlzahl und -Länge vorherige Sondierungen; gelegentlich kann jedoch die gewählte Pfehllänge zu klein oder zu groß sein, sodaß die Pfehle aufgepfropft oder verkürzt werden müssen.

Die *Pfehlung an Ort und Stelle* geschieht durch Schaffung eines konischen oder zylindrischen Hohlraumes im Erdkörper mit besonderen Bohr-, bezw. Rammeinrichtungen. In dem so geschaffenen, meist mit einem Blechrohr ausgekleideten Hohlraum, werden die Bewehrungen und der Beton eingebracht. Der Beton kann dabei festgestampft oder festgepreßt werden. Gegenüber den Fertig-Pfehlern haben diese Pfehle den Vorzug, daß die Gründungen sofort begonnen und die Pfehle den Bodenverhältnissen angepaßt werden können. In stark wasserhaltigem Boden ist bei Ortspfählern mit rückgewonnenen Rohren die Erhärtung des Betons im Grundwasser erschwert und deshalb Fertig-Pfehlern der Vorzug zu geben.

Sind sehr große Einzellasten aufzunehmen, z. B. in Hochhäusern, und findet sich tragfähiger Felsboden erst in großer Tiefe, sodaß das gewöhnliche Ausschachten nicht in Frage kommt, so kann die

Gründung auch mittelst *Caissons* oder *Eisenbeton-Senkbrunnen* erfolgen. Die Caissons, bezw. die zylindrischen Rohrbrunnen werden durch Untergraben der Auflagerung abgesenkt. Wird Grundwasser angetroffen, so muß durch Pumpanlagen oder Einführung von Preßluft der Arbeitsraum trocken gehalten werden. Nach erfolgter Absenkung werden die Arbeitskammern mit Beton ausgefüllt. Die Caissongründung ist die übliche Gründungsmethode der Wolkenkratzer in New-York, deren Gründungssohle teilweise bis 40 Meter unter Straßenniveau liegt.

Das *Dachtragwerk* der Eisenbetonskelettkonstruktionen wird meistens aus Gründen der Feuersicherheit gleichfalls in Eisenbeton ausgeführt. Am zweckmäßigsten wird es, sowohl bei flachem wie auch bei schrägem Dach, in die Rahmenkonstruktion einbezogen. Schwierigkeiten verursachen die vielerorts baupolizeilich verlangten Rückstaffelungen der oberen Geschosse. Bei guter Raumausnutzung gelingt es oft nicht, die zurückgestaffelten Außenwände auf eine hintere Säulenreihe abzustützen, sodaß diese Außenmauern die Rahmenriegel recht ungünstig belasten, falls nicht durch eine Aufhängung, die indessen dem Wesen des Eisenbetons wenig entspricht, an einem besonders gestalteten Dachrahmen diesem Nachteil begegnet wird.

Der monolitische Zusammenhang sämtlicher Eisenbetontragglieder vom Fundament bis zum Dachtragwerk hat außer den vielen konstruktiven Vorteilen den Nachteil guter *Schall- und Wärmeleitung*; insbesondere verlangt die Schallisolierung entsprechende Schutzmaßnahmen. Da Unterbrechungen des Tragwerkes dasselbe in seinen konstruktiven Funktionen wesentlich stören würden, muß vor allem jedes Eindringen von Schallwellen in das Eisenbetonskelett verhindert werden. Die Isolierung des Fundamentes gegen Erschütterungen, die Isolierung der Decken und Wände gegen eindringenden Bodenschall, die Vermeidung leichter, poröser und schwingender Decken und Wände sind Maßnahmen, welche im Interesse guten Schallschutzes unbedingt erforderlich sind. Zu leichte, dünne und poröse Konstruktionen sind schalltechnisch ungenügend. Der Wärmeschutz wird auf bekannte Art und Weise durch Auskleidung der Eisenbetonkonstruktion mit wärmeisolierenden Baustoffen gewährleistet.

Die Ausbildungsweise der *raumabschließenden Außenwand* des Eisenbetonskelettes hängt zunächst davon ab, ob das Skelett nur

im Gebäude-Innern oder auch in den Außenmauern durchgeführt wird.

Erstere Bauweise, welche ein *Eisenbetonskelett im Innern*, jedoch *tragende Außenmauern* aus Naturstein, Ziegelstein etc. vorsieht, ist nur bei geringen Belastungen, also kleiner Geschoßzahl, ausführbar; hohe Belastungen würden zu große, bezw. unwirtschaftliche Mauerstärken bedingen; besonders an den Trägersauflagerpunkten müßten zur Druckverteilung Eisenbetonschwellen vorgesehen werden. Die Nachteile dieser gemischten Bauweise gegenüber der reinen Eisenbetonskelettbauweise sind: geringe Steifigkeit infolge nichtmonolithischer Verbindung der Unterzüge mit den Mauern, Gefahr der Ribbildung wegen ungleicher Setzungen der Stein- und Eisenbetonkonstruktion infolge verschiedener Festigkeit und Elastizität, erschwerter und verlangsamter Bauvorgang. Die Gründe für die Ausführung solcher gemischter Tragwerke sind wohl in erster Linie in der monumentalen Wirkung und den geringen Unterhaltskosten der massiven Steinfassaden zu suchen; daneben mag für besondere Aufgaben auch die Grundrißgestaltung, welche durch keine festen Stützen gebunden sein will, zu einer vom übrigen Tragwerk unabhängigen Ausbildung der Außenwand führen. Dieses gemischte Tragwerk stellt einen Übergangstypus dar zwischen dem massiven Steinbau, in welchem lediglich die feuersicheren Eisenbetondecken Eingang gefunden hatten und dem reinen Eisenbetonskelettbau.

Für hohe Belastungen infolge großer Geschoßzahl ist die Durchführung des *reinen Eisenbetonskelettes* technisch und wirtschaftlich günstiger (vgl. Abb. 17 und 18). Das Vorhandensein nur eines Materials ist einerseits für das Tragwerk von Vorteil, da damit ungleiche Setzungen vermieden werden, andererseits für den Arbeitsvorgang, da derselbe unabhängig von anderen Arbeiten rasch erfolgen kann. Die gesamten Lasten werden von einem einheitlichen, in sich steifen Tragskelett aufgenommen. Die raumabschließende Außenwand ist in diesem Fall in der Hauptsache nichttragend, d. h. sie hat außer ihrem Eigengewicht keine vertikalen Belastungen aufzunehmen; dagegen hat sie die Windkräfte auf die Stützen zu übertragen und soll gegen Horizontalkräfte, insbesondere Erdbebenstöße in ihrer Lage gesichert sein.

Die Wand kann gleichzeitig mit dem Skelett ebenfalls aus Eisen-

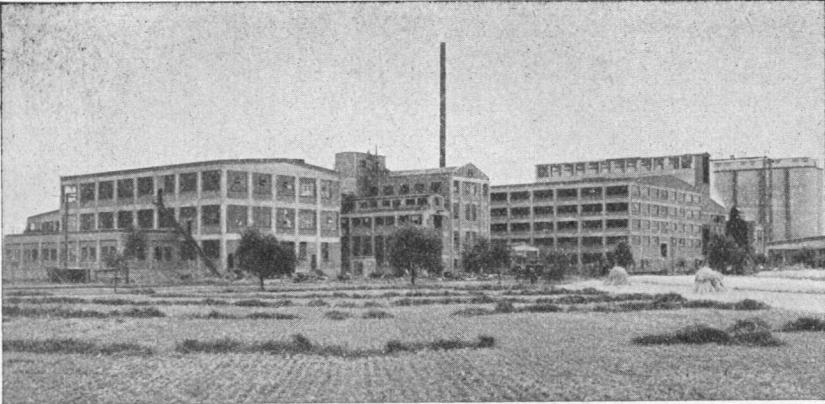
beton ausgeführt oder als Füllmauerwerk nachträglich zwischen die Stützen eingesetzt werden.

In ersterer Ausführung sind die konstruktiven Verhältnisse insofern gut, als die dünne, biegungsfeste *Eisenbetonaußenwand* die Übertragung der horizontalen Belastungen, insbesondere der Windkräfte, auf die Stützen einwandfrei übernehmen kann; ferner ist die Einheitlichkeit des raumabschließenden Materials von großem Vorteil (vergl. Abb. 19). Die Eisenbetonbrüstungsmauer kann, falls keine Balkonaustritte vorzusehen sind, als Überzug ausgebildet, den Fassaden-Unterzug ersetzen, wodurch eine gute Belichtung der Räume bis zur Decke ermöglicht wird. Die zur Erzielung eines genügenden Feuchtigkeits-, Wärme- und Schallschutzes der Mauer zu ergreifenden Maßnahmen wurden schon früher erwähnt. Besonderes Augenmerk ist, in Anbetracht der Schwindriß-Gefahr, der Verbindung der dünnen Wände mit den starken Stützen zu schenken. Die benötigte, umfangreiche Schalung, die im Hinblick auf die Ausführung nicht einfache Verbindung von Wand- und Stützenarmierung und die große Baufeuchtigkeit sind wesentliche Nachteile dieser Anordnung.

Wird die *Mauer* nachträglich aus *Füllmauerwerk*, bzw. aus Ziegel-, Leichtbetonsteinen etc. zwischen die Eisenbetonstützen eingesetzt, so besteht die Gefahr, daß zwischen Stützen und Füllmauerwerk infolge der verschiedenen Beanspruchungen bei den ungleichen Materialeigenschaften Risse entstehen. Die Gefahr der Rißbildung wird umso geringer, je später die Füllwände eingemauert werden, d. h. je mehr das Schwinden des Eisenbetonskelettes sich bereits ausgewirkt hat. Gegenüber der ersten Lösung (Eisenbetonwand) ist bei der zweiten das Fehlen dieses Verbandes von Füllmauerwerk und Tragsystem nachteilig.

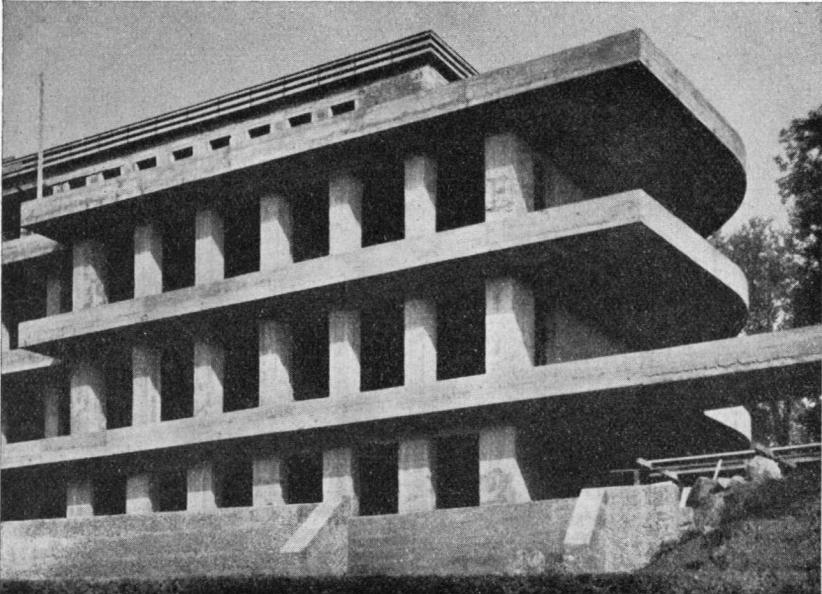
Das rohe Eisenbetonskelett mit gemauerten Füllwänden wird an Fabrikgebäuden, Lagerhallen etc. oft sichtbar gelassen (vergl. Abb. 17). Soll das Bauwerk jedoch vermehrten ästhetischen und technischen Ansprüchen genügen, so ist die Anordnung eines durchgehenden äußeren Verputzes oder einer *Plattenverkleidung* (vergl. Abb. 20) zweckmäßig. Ein bloßer Verputz bietet wegen der vorerwähnten Rißerscheinungen nur einen unvollkommenen Schutz; ferner werden sich das Tragskelett und das Füllwerk infolge ihres verschiedenen Feuchtigkeits- und Wärmeleitvermögens durch verschiedene Tönung abzeichnen. Die relativ gute Feuchtig-

Abbildung No. 17



Eisenbetonskelettbau. Unverkleidetes Skelett mit ausgemauerten Brüstungen
Fabrik der Deutschen Maizena Gesellschaft Barby / Ausführung Wayß & Freytag

Abbildung No. 18



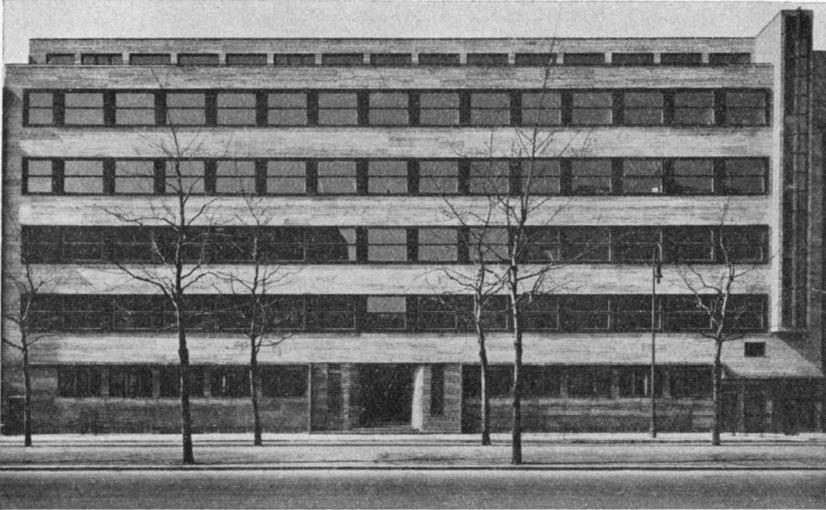
Eisenbetonskelettbau. Spitalbau mit ausgekragten Decken
Lorryspital Bern / Architekten Salvisberg & Brechbühl

Abbildung No.19



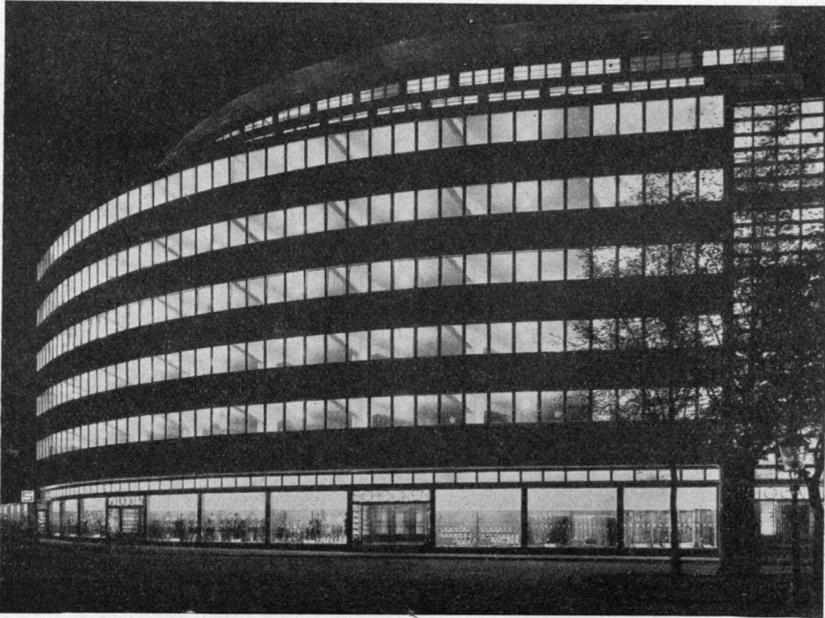
Eisenbetonskelettbau. Hochhaus mit unverkleideter, gestockter Eisenbetonaußenwand
Tagblatthaus Stuttgart / Architekt E. O. Oswald

Abbildung No. 20



Eisenbetonskelettbau. Mehrgeschoßbau mit äußerer Travertinplattenverkleidung der durchgehenden Brüstungen und Kupferabdeckung der Stützen
Deutsche Krankenversicherung Berlin / Architekt Prof. O. R. Salvisberg

Abbildung No. 21



Eisenbetonskelettbau mit ausgekragten Decken und zurückgesetzten Stützen
Warenhaus Schocken, Chemnitz / Architekt E. Mendelsohn

keits- und Wärmeleitung der Eisenbetonstütze kann auch die Bildung einer Kältebrücke verursachen, welche, bei starkem Temperaturgefälle von innen nach außen, an der Innenseite der Mauer zu Schwitzwasserbildung führt. Eine Verkleidung der Stütze mit einem Isolierbaustoff, welcher je nach Benutzung des Raumes und konstruktiver Möglichkeit innen oder außen angebracht werden kann, ist deshalb günstig. Bei wenig isolierendem Füllmauerwerk kann auch dieses mit der Isolierschicht überzogen werden.

Besteht das Füllmauerwerk aus Ziegelsteinen, so wird oft aus technischen Gründen (Milderung der Kältebrücke) die Füllkonstruktion in der Tiefe eines halben oder ganzen Steines vor dem Skelett durchgeführt, die Stützen somit mit Ziegeln verkleidet. Das vollständig raumabschließende Ziegelmauerwerk kann verputzt werden oder bei Verwendung guter Klinker auch unverputzt bleiben.

Statt einer Ausmauerung, bezw. Ausbetonierung kann auch eine *doppelseitige Verkleidung* des Tragskelettes einen genügenden Raumabschluß gewährleisten. Als äußere, durchgehende Verkleidung dienen hierbei wetterbeständige, eventuell zugleich wärmeisolierende Platten — Beton-, bezw. Leichtbetonplatten, verputzte Heraklithplatten etc. —, welche das Tragskelett vor den Einwirkungen der Temperaturänderungen schützen; als innere, durchgehende Verkleidung dienen gleichfalls wärmeisolierende Platten; hierbei ist besonders auf eine zweckmäßige Verbindung der äußeren und inneren Verkleidungsplatten mit dem Tragskelett zu achten. Eine Ausfüllung der Gefache mit leichtem, porösen Material — Zellenbeton, Kesselschlacken etc. —, wobei Füllstoffe wie Hobelspäne, Sägemehl etc., infolge Fäulnisgefahr vermieden werden sollen, ist zwecks Unterbindung der Luftzirkulation innerhalb der Gefache zweckmäßig.

Die Schwierigkeiten der Verbindung der Stützen mit dem Füllmauerwerk, bezw. der Verkleidung fallen weg, wenn die Außenwände bei leichter, weitgehend aufgelöster Ausbildung auf die *auskragenden Decken* aufgesetzt werden (vergl. Abb. 21). Die Außenwand hat hierbei neben ihrem Eigengewicht wiederum die Windkräfte und eventuelle weitere Horizontalkräfte aufzunehmen. Diese horizontalen Kräfte spielen hier eine umso größere Rolle, als die Wand als Auflager in wagrechter Richtung nur die Decken besitzt. Soll von einer zu schweren Wandausbildung, wobei die Wand als Schwergewichtsmauer wirken müßte, abgesehen werden,

so muß die Wand in lotrechter Richtung biegeugsfest sein und die einzelnen Geschoßdecken zur Aufnahme dieser Kräfte heranziehen. Diese Konstruktionsweise eignet sich vor allem für nichtunterteilte, einräumige Geschosse (Warenhäuser, Lagerhäuser etc.).

Neben den monolithen, in zusammenhängender Schalung auf der Baustelle ausgeführten Eisenbetonskelettbauten, welche in erster Linie für die Ausführung hoher Geschoßbauten in Betracht fallen, werden in jüngster Zeit auch kleinere Eisenbetonskelettbauten — ein- bis zweigeschossige Bauten — aus *Eisenbeton-Fertigteilen* zusammengebaut. Solche Tragwerke können entweder als Ständer- oder als Fachwerkbauten ausgebildet werden.

Die Ständerwand besteht aus Pfosten und Riegeln, welche je nach dem System mittelst Schrauben, Flacheisen etc. verbunden werden. Da diese Verbindungen nur in geringem Maße biegeugsfest sind und eigentliche Rahmenecken fehlen, ist eine Aussteifung des Tragwerkes durch die Außenmauern erforderlich.

Beim Eisenbeton-Riegelbau oder Fachwerkbau, welcher ebenfalls aus Ständern und Riegeln besteht, erfolgt die Wandaussteifung durch Eisenbetonstreben, sodaß die Außenwand in diesem Falle nur raumabschließende Funktion hat.

Alle diese Eisenbetontragglieder sollen erst nach längerer feuchter Lagerung verwendet werden. Nachträgliche Schwinderscheinungen des Traggerippes wären mit Rücksicht auf die in der Außenwand entstehenden Risse sehr nachteilig.

Die Zukunftsaussichten dieser Eisenbetonskelettbauten aus Fertigteilen hängen — bei technisch guter Lösung — in erster Linie von wirtschaftlichen Faktoren, bezw. von ihrer Konkurrenzfähigkeit gegenüber Mauerkonstruktionen und anderen Skelettkonstruktionen ab. Die Vorteile dieser Bauweise kommen naturgemäß erst bei Bauten in großen Serien, welche die Herstellung normierter Einzeltragglieder in größeren Massen ermöglichen, voll zur Geltung.

Die Dach-,
Hallen- und
Kuppel-
Konstruktionen
aus Eisenbeton

Nicht nur im Geschoßbau, sondern auch im ein- und mehrgeschossigen Hallen-, Kirchen- oder Saalbau spielt der Eisenbeton heute eine maßgebende Rolle. Während im Steinbau die für die Überdeckung großer Spannweiten erforderlichen Gewölbe infolge der fehlenden Zugfestigkeit in ihrer Formgebung stark eingeschränkt sind, können diese weitgespannten Tragwerke in Eisenbeton viel

mannigfaltigere Formen annehmen, da sie auch Zugkräfte aufzunehmen imstande sind.

Diese Mannigfaltigkeit in der Formgebung ist auch aus dem Grunde günstig, weil die verschiedenen konstruktiven Möglichkeiten eine weitgehende Berücksichtigung der Zweckbestimmung und der Belichtung dieser Räume zulassen.

Das Tragwerk dieser Räume besteht entweder aus einzelnen *Bindern*, welche mittelst biegungsfester Decken, Wände oder Schalen verbunden sind, oder aus einer einzigen *tragenden Schale*. In ersterem Falle besteht eine Trennung von Tragwerk und Raumabschluß. Die Binder haben sämtliche vertikalen und horizontalen Lasten aufzunehmen und sie unmittelbar in die Fundamente, bezw. den Erdboden überzuleiten. Die Binder können als *Rahmen* mit vertikalen Ständern und geraden, polygonalen oder bogenförmigen Riegeln oder als *Bögen* ausgeführt werden. Die Benützungart des Raumes (Funktion der Wände, Galerien etc.), die Belichtung (Seiten-, Ober-, Nordlicht etc.), die Belastungen (Dach-, Schnee- und Windlasten, Lasten von Obergeschossen etc.) sind für die Wahl des einen oder anderen Tragwerkes die maßgebenden Faktoren. Die Binder sind in der überwiegenden Anzahl Vollwandbinder; Fachwerkbinder werden wegen der schwierigen und teuren Ausführung selten verwendet.

Statisch bestimmte Konstruktionen sind relativ selten. Da die Schwind- und Temperatureinflüsse besonders bei hohen Bindern, d. h. großer Pfeilhöhe, wie sie im Hochbau meistens ohne Schwierigkeit gewählt werden kann, infolge der größeren Elastizität weniger groß sind, bietet die freie Formänderungsmöglichkeit der statisch bestimmten Binder in diesem Falle keine besonderen Vorteile.

Zweigelenkbogen und -Rahmen sind häufiger. Bei satteldach- oder bogenförmigem Querriegel können beim Zweigelenkrahmen die Biegemomente durch Einführung eines Zugbandes in Traufhöhe wesentlich vermindert werden.

Wird der Bogenschub durch Auflagermauern, bezw. -Pfeiler oder durch angrenzende Mauern, Decken etc. aufgenommen, so ist auch die Ausbildung eines als Balken wirkenden Zweigelenkbogens mit Zugband möglich, welche Konstruktion die verschiedenen Festigkeitseigenschaften des Betons und des Eisens klar zeigt.

Die Form des Eisenbetonbogens wird möglichst der Drucklinie für

die Eigengewichts-Lasten angepaßt; der verhältnismäßig dünne Bogen wird zur Aufnahme von Zugspannungen, die durch unsymmetrische vertikale oder horizontale Belastungen, Schwinden und Temperaturänderungen entstehen können, armiert. Je nach dem vorgeschriebenen Lichtraumprofil und der Art der Belastung des Binders kann statt des stetig gekrümmten Bogens ein polygonaler Rahmen mit Zugband zweckmäßiger sein. Die Einbetonierung des eisernen Zugbandes und der Hängestangen, d. h. reiner Zugglieder, ist nur bei ausgesprochener Feuers- und Rostgefahr begründet, indem der Beton hierbei keine statische Funktion mehr hat.

Bei gutem Baugrund wird wegen der teuren Ausbildung möglichst vollkommener Fußgelenke oft der *gelenklose, eingespannte Rahmen* ausgeführt.

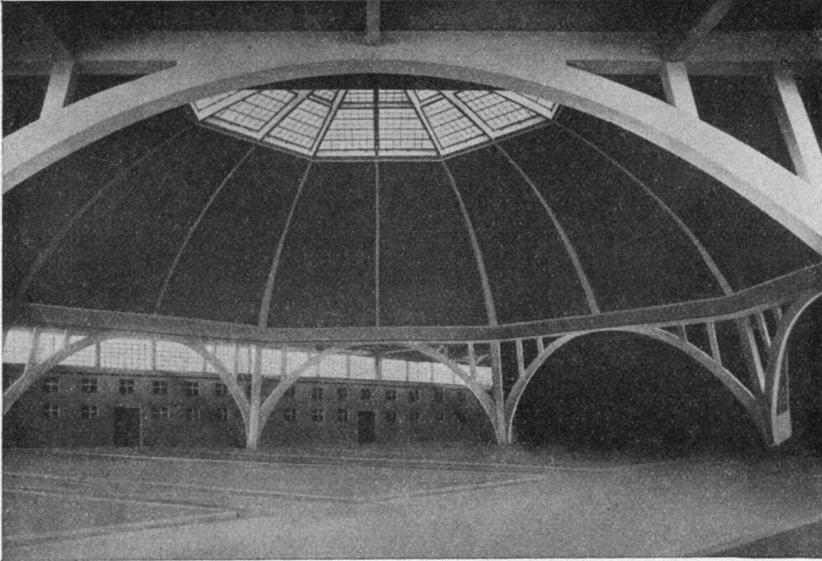
Besteht der Raum aus mehreren Schiffen, so können die entsprechenden Rahmen als einheitliches, zusammenhängendes, mehrfach statisch unbestimmtes System oder durch Einführung von Gelenken (Fußgelenke, Zwischengelenke, Pendelstützen etc.) als statisch bestimmtes System ausgebildet werden.

Der *Raumabschluß*, welchem neben der Lastübertragung (Eigengewicht, Wind- und Schneelast) noch die Aufgabe des Wärmeschutzes zukommt, wird durch Platten, Wände oder Schalen erzielt. Sind die Abstände der Binder groß, so müssen Pfetten zur Vermeidung großer Deckenstärken und zur Sicherung der Längssteifigkeit angeordnet werden. Die Dachhaut selbst kann zur Erhöhung ihrer Steifigkeit auch rippen- oder kassettenförmig ausgebildet werden. In Anbetracht der geringen Belastung dieses Raumabschlusses können auch größere Öffnungen zur Belichtung leicht ausgeführt werden.

Bei Ausbildung des Tragwerkes als Zylinder-Schale entsteht eine Einheit zwischen Tragwerk und Raumabschluß. Diese Ausführung eignet sich für kleinere und mittlere Spannweiten; bei großen Spannweiten würde die Schalenstärke und damit die Eigenlast zu groß. Zur Erzielung geringerer Dimensionen werden die Axen dieser Schalengewölbe der Drucklinie für die Eigenlasten möglichst genau angepaßt. Der Gewölbeschub muß entweder durch Zugstangen oder durch besondere Tragglieder aufgenommen werden. Einen wesentlichen Fortschritt im Bau von Zylinder-Schalen in Eisenbeton stellen die Zeiß-Dywidag-Tonnengewölbe dar. Letztere

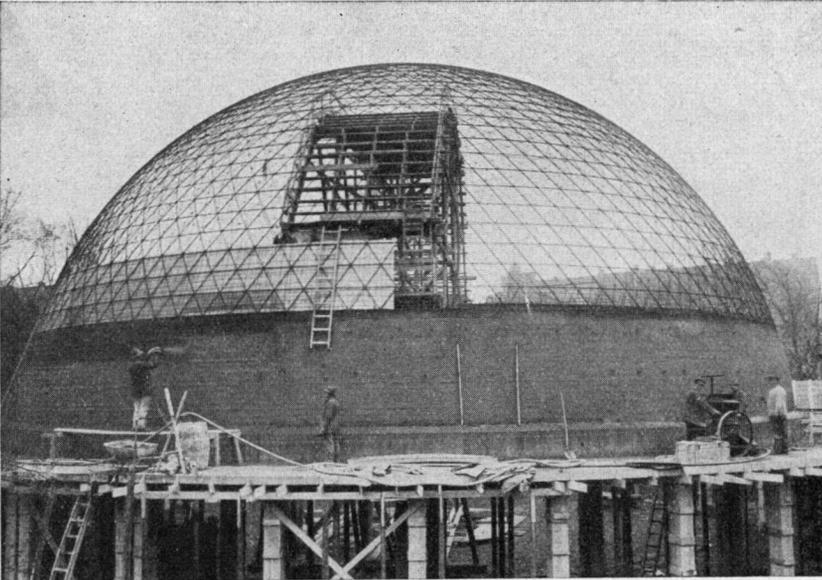
80

Abbildung No. 22



Hallenbau in Eisenbeton. Rippenkuppel
Großmarkthalle in Leipzig / Ausführung Dyckerhoff & Widmann A. G.

Abbildung No. 23



Kuppelbau in Eisenbeton. Schalenkuppel
Planetarium Jena / Ausführung Dyckerhoff & Widmann A. G.

unterscheiden sich von den bisherigen Tonnengewölben dadurch, daß sie nicht nur in Richtung des Gewölbes, sondern auch senkrecht dazu tragen. Dies wird bei großer Gewölbe- und Trägerspannweite erreicht durch Überhöhung der Gewölbeachse gegenüber der Drucklinie für die Eigenlasten und Verstärkung der Gewölbekämpfer durch Randbalken. Größere Lichtöffnungen sind in den Schalengewölben schwierig anzubringen, da die Schalen in allen ihren Teilen tragend sind.

Eine besondere Art der Raumüberdeckung bei großen Spannweiten stellen die *doppeltgekrümmten Kuppelkonstruktionen* dar. Eisenbetonkuppeln haben in letzter Zeit für verschiedene Bauaufgaben wie Ausstellungshallen, Markthallen, Planetarien etc. weitgehend Anwendung gefunden. Die horizontalen Komponenten der Meridiankräfte infolge symmetrischer Belastungen werden hierbei am Scheitel durch einen Druckring, am Fuß durch einen Zugring aufgenommen. Sind Tragwerk und Raumabschluß getrennt, so entsteht die *Rippenkuppel*, deren Tragwerk aus Meridianen und wagrechten Rippen, und deren Raumabschluß aus einer über diese Tragglieder gespannten, lastübertragenden, dünnen Schale besteht. Bilden Tragwerk und Raumabschluß hingegen eine Einheit, so entsteht die *rippenlose Schalenkuppel*.

Die Ausführung einer *Rippenkuppel* ist insbesondere dann zweckmäßig, wenn die Felder zwischen Rippen und Meridianen zur Belichtung benötigt werden (vergl. Abb. 22).

Konstruktiv werden die statischen Vorteile der doppeltgekrümmten Form besonders in der *Schalenkuppel* ausgenutzt. Schalenstärke und Gewicht der letzteren können sehr klein gehalten werden. Die Ausführung der Schalenkuppel kann ohne Rüstung erfolgen, wenn die Armierung aus einem genügend tragfähigen Eisengeflecht besteht. Bekannt sind vor allem die Kuppelkonstruktionen nach dem Zeiß-Dywidag-Verfahren. Ein Eisentragwerk, vom Zugring aus mit einem leichten Holzdrehgerüst montiert, wird nachträglich mit Spritzbeton, zu dessen Herstellung schnell erhärtender Zement verwendet wird, überzogen (vergl. Abb. 23).

Die skizzierten Beispiele von Eisenbetontragwerken, denen noch manch andere beigelegt werden könnten, zeigen das außerordent-

lich große Anwendungsgebiet des Eisenbetons im Hochbau. Für die große Entwicklung dieser Bauweise waren neben den rein technischen Faktoren noch eine Reihe *wirtschaftlicher Erwägungen* entscheidend. Unter letzteren sind vor allem die Fragen der Erstellungs- und Unterhaltskosten, der Bauzeit und der Abhängigkeit von der Witterung von Wichtigkeit.

Während die Erstellungskosten je nach dem Bauobjekt und örtlichen Verhältnissen stark variieren, sind die *Unterhaltskosten* immer gering.

Die *Bauzeit* für die Ausführung von Eisenbetonbauten ist in den letzten Jahren durch Einführung geeigneter Schalungsweisen und vor allem durch die Verwendung frühfester Zemente in hohem Maße verkürzt worden. Allerdings ist die Abhängigkeit von der Witterung für den Fortgang der Eisenbetonarbeiten hemmend. Die Ausführung der Eisenbetonarbeiten wird daher immer günstiger in der warmen Jahreszeit erfolgen.

Ein weiterer Faktor, welcher, obwohl wirtschaftlich maßgebend, kaum in eine Wirtschaftlichkeitsberechnung einbezogen werden kann, ist die *schwierige nachträgliche Änderung bestehender Eisenbetonbauten*. Es besteht wohl die Möglichkeit der nachträglichen Änderungen oder Verstärkungen dieser Bauten; doch sind sie praktisch mit großen Schwierigkeiten verbunden. Fabrikanlagen mit wechselnden Produktionsmethoden, sowie Geschoßbauten im Zentrum großer Städte stellen Aufgaben dar, bei deren Projektierung diese Umstände zu berücksichtigen sind.

In *technischer Hinsicht* veranschaulichen die erwähnten Anwendungsgebiete jedoch die Unentbehrlichkeit des Eisenbetons für die heutige Bautechnik. Die Vereinigung hoher Festigkeitseigenschaften mit guten raumabschließenden Eigenschaften hat dem Eisenbeton zu seiner weiten und raschen Verbreitung im Bauwesen verholfen.

IV.

Das Tragwerk aus Eisen und dessen Raumabschluß

Die Verwendung des Eisens im Hochbau ist relativ jung. Während es in der Antike unmittelbar aus den Eisenerzen, im Mittelalter hingegen auf dem Herde gewonnen wurde und zunächst nur für kleinere Objekte — Kriegsgeräte, Ackerbaugeräte, Beschläge etc. — Verwendung fand, begann es Ende des 18. Jahrhunderts durch die Einführung des Hochofens besondere technische und wirtschaftliche Bedeutung zu erhalten. Die Hochofenanlage, welche erst nach der Erfindung der Dampfmaschine möglich wurde, gestattete die Herstellung des *Roh- und Gußeisens*. Diese beiden Eisensorten waren jedoch infolge ihrer Härte und Sprödigkeit, bzw. ihrer geringen Zug- und Biegezugfestigkeit für die Ausführung größerer Tragwerke ungeeignet. Später, zu Beginn des 19. Jahrhunderts, ermöglichte die Einführung des Puddelverfahrens, welches in einer Oxydation der im Roh- und Gußeisen befindlichen Verunreinigungen besteht, die Herstellung von *Schweiß Eisen* und *Schweißstahl*; diese beiden Eisensorten besaßen gegenüber dem Roheisen die Vorteile höherer Festigkeit und Zähigkeit sowie der Schmiedbarkeit. Während die Gewinnung des Schweiß Eisens noch umständlich war, ermöglichten die gegen das Ende des 19. Jahrhunderts erfundenen Verfahren von Bessemer, Thomas und Siemens-Martin die rasche Herstellung schmiedbaren Eisens in *flüssigem Zustand*. In diesen drei Verfahren, von welchen je nach der Zusammensetzung des zu verarbeitenden Roheisens das eine oder andere zur Anwendung gelangt, wird das Roheisen durch Oxydation von Kohlenstoff sowie durch saure oder basische Bindung der anderen Verunreinigungen wie Phosphor, Silicium, Mangan etc. gereinigt. Wird bei diesem Herstellungsprozeß des Flußeisens die Entkohlung in geringem Maße durchgeführt, oder wird der Kohlenstoffgehalt des Flußeisens durch nachträgliche Zuführung von kohlenstoffreichem Eisen erhöht, so entsteht *Flußstahl*. Letzterer besitzt gegenüber Flußeisen wesentlich höhere Festigkeiten; allerdings hat er den Nachteil geringerer Dehnbarkeit und schwierigerer Bearbeitung. Die Wirtschaftlichkeit des Flußeisens und des Flußstahls als Folge des rationelleren Herstellungs-

Das Eisen als
Baustoff

prozesses hatte in Verbindung mit den hohen erreichten Festigkeitseigenschaften die beinahe völlige Verdrängung des Schweißeisens zur Folge. Seit dem Beginn des 19. Jahrhunderts wurden, nach anfänglichen Bedenken, das Flußeisen und der Flußstahl die einzigen für Hoch- und Brückenbauten verwendeten Eisensorten. Um die Abmessungen sehr großer, stark beanspruchter Eisentragglieder aus technischen und wirtschaftlichen Gründen möglichst klein halten zu können, wurden im Laufe der letzten Jahre neben dem gewöhnlichen Flußstahl noch besondere *hochwertige Stähle*, welche bei möglichst großer Dehnbarkeit hohe Festigkeiten besitzen, hergestellt. Diese Hochwertigkeit wird entweder durch Vergrößerung des Kohlenstoffgehaltes oder durch den Zusatz weiterer Elemente — Metalle und Nichtmetalle — erzielt. Unter letzteren Stahlsorten sind vor allem der im Großbrückenbau verwendete legierte Nickelstahl sowie der Siliciumstahl bekannt; Versuche mit anderen Zusätzen, z. B. mit Kupfer, Chrom etc. haben in letzter Zeit zu weiteren hochwertigen Stählen geführt. Unter den Stählen, deren Hochwertigkeit eine Folge relativ hohen Kohlenstoffgehaltes ist, haben vor allem der Stahl 48 und Stahl 52 Anklang gefunden.

Heute werden nach den deutschen Normen nur noch Roheisen und Stahl unterschieden. Letzterer gliedert sich in Fluß-Stahl (Abkürzung St.) verschiedener Güte (St. 37, St. 48, St. Si., St. 52 etc.) und in Schweiß-Stahl, welcher nur noch in seltenen Fällen Verwendung findet.

Endlich sei als neue Herstellungsart des Stahles auch auf den Elektroofen hingewiesen.

In der kurzen Zeit seiner technischen Verwendung weist das Eisen als Baustoff eine außerordentlich schnelle Entwicklung auf. Stete Verbesserung der Struktur und Erhöhung der Festigkeitseigenschaften haben diesen Baustoff in kurzer Zeit zu einer hohen technischen Vollkommenheit geführt.

Neben der technischen Vervollkommnung des Eisens haben auch dessen wirtschaftliche Herstellungsmethoden die Entwicklung des Eisenbaues stark gefördert. Die Eisengewinnung, welche bis zur Einführung der Hochöfen handwerklich betrieben wurde, konnte sich auf Grund der vorerwähnten Verfahren zur Herstellung des Stahls in flüssiger Form auf *industrieller Basis* entwickeln. Rasch entstanden die gewaltigen Hüttenwerke, welche neben den Hoch-

ofenanlagen die Werke für Stahlveredelung umfassen; oft sind diesen Hüttenwerken weitere Werke für Stahlverarbeitung (Walzwerke etc.), in welchen die einzelnen Konstruktionselemente (Normal-Profile, Bleche, Drähte, Verbindungsmittel etc.) durch walzen, pressen, schmieden oder gießen hergestellt werden, sowie auch Konstruktionswerkstätten, in welchen ganze Tragwerke planmäßig hergestellt, bezw. montagefähig vorbereitet werden, angegliedert.

In der heutigen vollständigen Industrialisierung sowohl der Stahlherstellung sowie auch der Verarbeitung liegen außerordentlich große technische und wirtschaftliche Vorteile; als wichtigste seien erwähnt: sorgfältige, kontrollierbare Herstellung des Baustoffes unter Witterungsschutz, welche die Grundlage für eine genaue Berechnung der Konstruktion darstellt; weitgehende Vorbereitung der Konstruktion in der Werkstatt; einfacher, rasch erfolgender, von der Witterung unabhängiger Zusammenbau auf dem Bauplatz unter Verwendung von Baumaschinen; durchgehender Jahresbetrieb, d. h. Vermeidung der Saisonarbeit; wirtschaftliche Produktionsmethoden durch weitgehende Normalisierung, d. h. Massenherstellung gleicher Elemente.

Diesen großen Vorteilen stehen nachteilige Faktoren gegenüber: die geringe Anzahl der Hüttenwerke und die Gebundenheit der Weiterverarbeitung des Baustoffes an ortsfeste, maschinell gut eingerichtete Werkstätten; eine Tatsache, welche auf die Abhängigkeit der Hüttenwerke vom Vorkommen der beiden Rohstoffe — Eisenerz und Kohle — zurückzuführen ist. Die günstige Entwicklung eines Hüttenwerkes ist nur dann möglich, wenn entweder die vorgenannten beiden Rohstoffe in nächster Nähe bergwerksmäßig gewonnen, bezw. auf billige Weise zugeführt werden können, oder wenn Eisenerz und billige Wasserkräfte zur Verfügung stehen. Da Kohle und Eisenerz selten am selben Orte gewonnen werden können, entstehen die Hüttenwerke gewöhnlich an jenen Stellen, wo der eine Rohstoff unmittelbar gewonnen werden kann, während für die Anfuhr des anderen die Ausnutzungsmöglichkeit günstiger Transportwege, bezw. -Mittel (Flußschiffahrt etc.) besteht. Die Gewinnung des Eisens unter Verwendung der Wasserkraft ist selten; sie findet vorwiegend in Skandinavien statt.

Die örtliche Beschränkung der Gebiete der Eisenindustrie bedingt für abgelegene Absatzgebiete hohe Transportkosten. Während die

normierten Walzprofile im Handel auch in abgelegenen Gegenden erhältlich sind, müssen größere zusammenhängende Konstruktionen in der Werkstatt angefertigt werden.

Im Hochbau wird vorwiegend der Baustahl St. 37 verwendet. Ausführungen in hochwertigeren Stählen wie Stahl 48, Silicium- oder Nickelstahl sind im Hochbau, abgesehen vom Großhallenbau, selten, da in Anbetracht der üblichen Spannweiten und Belastungen die Mehrkosten für das teurere Material größer wären als die infolge der geringeren Dimensionen, bezw. des geringeren Eisengewichtes erzielte Ersparnis.

Der Baustahl St. 37 besitzt gegenüber den anderen Hauptbaustoffen — Holz, Stein, Eisenbeton — bedeutend bessere und gleichmäßigere *Festigkeitseigenschaften*. Sowohl Zug-, Druck-, Biegungs- als auch Schubfestigkeit besitzen hohe Werte. Diese hochwertigen Festigkeitseigenschaften sind im Verein mit der homogenen Struktur des Materials der Grund dafür, daß die Abmessungen der Stahltragglieder — im Gegensatz zu denjenigen anderer Baustoffe — wesentlich kleiner gehalten werden können.

Neben den durch äußere Belastungen hervorgerufenen Formänderungen sind auch diejenigen infolge von *Temperaturänderungen* zu berücksichtigen. Der Einfluß des Temperaturwechsels macht sich naturgemäß vor allem in unverkleideten Konstruktionen bemerkbar; eine wärmeisolierende Ummantelung, welche zugleich als Feuer- und Rostschutz dienen kann, schützt die Stahlkonstruktion wesentlich vor diesen Einflüssen.

Die Lebensdauer einer Stahlkonstruktion hängt außer von der Güte des Baustoffes, der zweckmäßigen statischen und konstruktiven Ausbildung sowie der guten Ausführung der Konstruktion in der Werkstatt in erster Linie vom Rost- und Feuerschutz derselben ab. Der *Rostschutz* des Stahls bedingt einen Schutz desselben vor atmosphärischen Einwirkungen — Wasser im Verein mit dem Sauerstoff der Luft, Säuren, heiße Gase und Dämpfe etc. —. Rosterscheinungen treten dementsprechend am ungeschützten Stahl je nach der Zusammensetzung der Luft in kleinerem oder größerem Maße auf.

Die gewöhnlichen Baustähle sind alle der Rostgefahr mehr oder weniger ausgesetzt. Versuche, nichtrostende Stähle herzustellen, haben bis heute wohl zu technisch günstigen, wirtschaftlich jedoch

für die Bauindustrie noch nicht in Betracht fallenden Stahlsorten geführt.

Der konstruktive Entwurf verlangt insofern Rücksichtnahme auf die Rostgefahr, als alle Teile leicht revidierbar sein sollen und Wasseransammlungsstellen (Trauf-, First-Auflagerpunkte etc.) möglichst vermieden werden müssen. Die fertig zusammengebaute Stahlkonstruktion kann je nach den besonderen Verhältnissen durch Farbanstrich, Metallüberzug oder Einmauerung, bezw. Ummantelung vor Rostangriff geschützt werden. Bei unverkleideten Konstruktionen gelangen vor allem die Farbanstriche zur Ausführung; letztere verlangen jedoch einen sorgfältigen Unterhalt, der in steten Ausbesserungen sowie periodischen Neuanstrichen besteht. Die gute Zugänglichkeit aller Konstruktionsteile ist hierbei von großer Wichtigkeit. Demgegenüber werden heute die metallischen Überzüge trotz ihrer technischen Eignung, ihrer Kostspieligkeit wegen noch selten verwendet.

Verkleidete, d. h. ummantelte Konstruktionen haben den Nachteil der Unzugänglichkeit der Eisenkonstruktion. Die Verkleidung kann, wie z. B. die Einhüllung in Beton, Mauerwerk etc. überall anschließend sein, wodurch gleichzeitig eine gute Aussteifung gegen Knicken sich ergibt; sie kann auch, wie z. B. die bloße Ummantelung mit Rabitz, Eternit etc. das Eisen im Innern zum Teil frei lassen. Bei letzterer Ausführung können auf relativ einfache Art spätere Umänderungen, Verstärkungen etc. vorgenommen werden. Die Erfahrungen, welche in den Vereinigten Staaten von Nordamerika mit verkleideten Stahlkonstruktionen im Wolkenkratzerbau in den letzten fünfzig Jahren gemacht wurden, sind so günstig, daß bei sorgfältiger Ausführung der durch die Ummantelung insbesondere mit Beton oder Mauerwerk gewährleistete Rostschutz als durchaus genügend betrachtet werden kann.

Neben dem Rostschutz verlangt der *Feuerschutz* weitgehende Vorkehrungen. Der Stahl dehnt sich bei einer Temperaturänderung stärker aus als Holz — der thermische Ausdehnungskoeffizient des Stahls beträgt 0,0000125 und ist somit gegenüber demjenigen des Holzes und des Natursteines hoch; bei ca. 500° C. verliert der Stahl mehr als die Hälfte seiner Tragfähigkeit. Die großen Formänderungen haben in Massivbauten, deren Dach- und Deckenkonstruktionen ungeschützte stählerne Tragglieder aufweisen, im Brandfalle ein Herausdrücken der Auflager-Mauern oder -Pfeiler, wie auch den

Einsturz der Eisenkonstruktion selbst zur Folge. Ein guter Feuerschutz der einzelnen Tragglieder ist deshalb bei Feuersgefahr unerlässlich. Der Feuerschutz wird durch eine der vorgenannten rostschützenden, zugleich feuersicheren und wärmeisolierenden Ummantelungen der Stahltragglieder sichergestellt. In hohen Hallen ohne nennenswerte brennbare Stoffe wird infolge geringer Feuersgefahr üblicherweise von einer Ummantelung abgesehen. Kleine Raumhöhen, das Vorhandensein brennbarer Materialien etc. steigern naturgemäß die Feuersgefahr. In Geschoßbauten steigt die Gefahr bei Brandausbruch mit zunehmender Geschoßzahl. So ist es begreiflich, daß insbesondere in Wolkenkratzern, bezw. Hochhäusern die möglichste Herabsetzung der Feuersgefahr eine unbedingte Forderung darstellt.

Stahl eignet sich als Baustoff infolge seiner homogenen Struktur und seiner vorzüglichen Festigkeitseigenschaften in allererster Linie zur Ausbildung von Traggliedern und Tragwerken. Da die einzelnen Tragglieder sehr kleine Abmessungen aufweisen, muß der Raumabschluß im allgemeinen durch nachträglich angebrachte, isolierende Baustoffe ausgebildet werden. Es ergibt sich damit für die übergroße Mehrzahl der Stahlkonstruktionen eine Trennung von Tragwerk und Raumabschluß.

Als eigentlicher Raumabschluß erscheint der Stahl lediglich in Form von Blechtafeln. Neben den Vorteilen des guten Witterungsschutzes, der durch die Wasser- und Luftundurchlässigkeit gewährleistet ist, stellen Blechtafeln jedoch infolge der hohen Materialdichte und der knappen Blechstärke eine ungenügende Wärme- und Schallisolierung dar; ferner erfordern sie einen steten Unterhalt. Ein Raumabschluß aus Blechtafeln ist deshalb nur bei untergeordneten Bauwerken oder aber in Verbindung mit besonderen Isolierbaustoffen möglich.

Die normierten Walzprofile und die Grobbleche bilden die Grundelemente für die Ausbildung von Traggliedern und damit Tragwerken. Diese Normalprofile sind für die Stahlbauweise ganz besonders charakteristisch; ihre Formgebung beruht im Unterschied zu den älteren Gußeisenbauteilen rein auf statisch-wirtschaftlicher Zweckmäßigkeit und der Rücksicht auf den Herstellungsprozeß. Diese Elemente können einzeln oder zu besonderen Querschnitten zusammengesetzt Verwendung finden.

Die Verbindung vorgenannter Tragelemente zu Traggliedern, wie auch die Vereinigung letzterer zu ganzen Tragwerken geschieht vorwiegend durch Vernietung, Verschraubung oder Schweißung, während Gelenk-Bolzenverbindungen heute seltener zur Ausführung gelangen. Die Nieten sind das heute üblichste Verbindungsmittel eiserner Tragelemente.

Verbindungs-
Mittel des
Eisenbaues.

In neuerer Zeit hat, namentlich in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, neben der Nietung auch die *Schweißung* für die Verbindung von Tragelementen im Stahl-Hochbau vermehrten Eingang gefunden. Neben der autogenen Schweißung wird die elektrische Schweißung, vor allem die Lichtbogenschweißung angewendet. Ein Hauptvorteil der Schweißung liegt in der Gewichtsersparnis, die dadurch möglich wird, daß die den Querschnitt schwächenden Nietlöcher wegfallen und der volle Querschnitt ausgenützt werden kann. Ein weiterer Vorteil der Schweißung liegt in der Geräuschlosigkeit der Ausführung.

Tragglieder aus Stahl sind die Stütze und der Träger; die Vereinigung dieser Tragglieder führt zu balken-, bogen- und rahmenförmigen Bindern.

Eisen-Stützen wurden früher häufig aus Gußeisen hergestellt, da dasselbe, weil es in Formen gießbar ist, die Möglichkeit bot, die im Steinbau dekorativ gestalteten Kapitäle und Sockel auch im neuen Baustoff auszubilden. Daher konnte sich auch im Bauwesen das Gußeisen, dessen Festigkeitseigenschaften hinter denen des Baustahles zurückstehen, weit länger halten als im Brückenbau, bei welchem dekorative Zutaten schon bald hinter die wichtigeren Erfordernisse bester Qualität zurücktraten. Da Gußeisen-Stützen jedoch in der Hauptsache nur Druckbeanspruchungen übernehmen können und gegen dynamische Einflüsse wenig widerstandsfähig sind, werden heute größtenteils Stahl-Stützen, die dank ihrer hohen und gleichmäßigen Zug-, Druck- und Biegefestigkeit allen auftretenden Beanspruchungen genügen, verwendet. Müssen gelegentlich besonders geformte Stützen ausgeführt werden, so steht im Stahlguß ein Baustoff zur Verfügung, der hierfür besser geeignet ist als das Gußeisen, allerdings bei höherem Preis.

Die Eisen-
stütze

Während bei der selten auftretenden gelenkigen Ausbildung des Stützenkopfes und -Fußes die Stütze statisch auf reinen Druck, bezw. zentrisches Knicken zu untersuchen ist, treten bei den allge-

mein üblichen steifen Verbindungen von Stütze und Unterzug noch Biegungsbeanspruchungen hinzu, die auch für die Knicksicherheit der Stütze zu berücksichtigen sind.

Für die Wahl des Stützen-Querschnittes sind maßgebend: Art und Größe der Belastungen, Knicklänge, Ausbildungsmöglichkeiten der Träger-Anschlüsse an die Stütze, Verstärkungsmöglichkeit des Querschnittes, Art der Stoßausbildung, Rost- und Feuerschutz und die Kosten. Zur Ausbildung der Stützen dienen sowohl einfache Walzprofile als auch zusammengesetzte Querschnitte. Unverkleidete Stützen werden mit Rücksicht auf den Unterhalt mit Vorteil vollwandig ausgeführt. Verkleidete Stützen, wie sie im Geschoßbau üblich sind, werden sowohl aus Walzprofilen, vor allem breitflanschigen I-Profilen, welche letztere in beiden Achsenrichtungen große Trägheitsmomente besitzen, sowie aus zusammengesetzten Querschnitten ausgeführt. Letztere werden bei großer Biegungsbeanspruchung mittelst durchgehender Stege oder durch Gitterwerk verbunden, während bei vorwiegender Druckbeanspruchung meist nur Bindebleche angeordnet werden. Die Ausbildung zusammengesetzter Querschnitte ermöglicht die Erzielung größerer Trägheits- und Widerstandsmomente, erfordert aber viel teure Nietarbeit.

Neben diesen häufigsten Stützenquerschnitten werden für kleinere Bauwerke noch Röhren, bzw. Kastenquerschnitte ihrer guten Knicksicherheit und einfachen Herstellung wegen verwendet. Diese Querschnitte sind jedoch der Rostgefahr ausgesetzt, da der Innenraum nicht zugänglich ist; auch bei Ausbetonierung des Innern wird infolge der Schwunderscheinungen des Betons die Rostgefahr nicht voll beseitigt.

In neuerer Zeit werden, vor allem in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, für die Ausbildung nicht sehr hoch belasteter Stahl-Tragglieder besondere Leicht-Profile verwendet. Letztere werden entweder als kleine Walzträger in *I-Form* mit breiten Flanschen und dünnen Stegen, oder als Bandeisen-, bzw. Blechprofile hergestellt.

Die *Auflagerung der Eisenstützen* auf den Fundamenten erfordert besondere Maßnahmen, um die großen Stützenkräfte aus dem statisch hochwertigen Baustahl auf die weniger druckfesten Auflagersockel aus Mauerwerk, Beton oder Eisenbeton und von da auf den noch viel weniger tragfähigen Baugrund zu übertragen. Treten in einzel-

nen Auflagerpunkten infolge starken Windangriffes auch Zugkräfte auf (z. B. bei turmartigen Bauwerken, leichten Hallen etc.), so ist eine Verankerung der Eisenstützen im Fundament erforderlich. Je nach der statischen Ausbildung des Tragsystems wird die Auflagerung gelenkartig mit Punkt- oder Linienberührung ausgebildet, oder es werden Flächenlager, die eine teilweise Einspannung der Stützenfüße gewährleisten, angeordnet. Letztere Ausbildung ist namentlich im Geschoßbau gebräuchlich, da einwandfreie Gelenke konstruktiv schwierig auszubilden und teuer sind. Die weitgehende Verteilung der konzentrierten Stützenlasten auf das bedeutend weniger druckfeste Beton- oder Eisenbetonfundament verlangt die Ausbildung breiter, auf Biegung und Schub beanspruchter Stützenfüße, sowie bei ganz großen Lasten außerdem besondere Trägeroste in der Längs- und Querrichtung. Zur Sicherung einer einheitlichen Wirkung des gesamten Tragwerkes, d. h. zur Verminderung der Gefahr ungleicher Setzungen einzelner Stützenfüße können dieselben zweckmäßig durch Gurtbänder verbunden werden.

Die Stützen haben die Lasten der *Unterzüge*, bezw. des Dachtragwerkes aufzunehmen. Die Unterzüge werden je nach der Größe der Belastungen und der zur Verfügung stehenden Raumhöhe als Vollwand-, Fachwerk- oder Rahmenträger ausgebildet.

Der Eisen-
Unterzug

In statischer Beziehung sind sie entweder einfache oder durchlaufende Träger, letztere mit oder ohne Mittelgelenke. Die Anordnung von Gelenken ist im Geschoßbau wegen der konstruktiven Schwierigkeiten selten; in Hallenbauten werden hingegen Balkenbinder oft mit Auflager- und Mittelgelenken ausgebildet, da einerseits die Einflüsse ungleicher Setzungen dadurch vermieden werden, andererseits auch der Zusammenbau vereinfacht wird.

Als *Vollwandträger* kommen bei kleinen Spannweiten und Belastungen Walzträger, bei weitgespannten und schwerbelasteten Trägern hingegen genietete Träger in Frage. Unter den Walzträgern sind vor allem die Normal-I-Profile sowie die Breitflansch-Träger gebräuchlich. Letztere sind besonders vorteilhaft, weil sie bei geringer Profilhöhe ein hohes Widerstandsmoment besitzen. Werden die Biegebungsbeanspruchungen sehr groß, d. h. ist ein großes Widerstandsmoment erforderlich, so bietet, sofern die Raumhöhe dies zuläßt, eine Vergrößerung der Trägerhöhe die wirtschaftlichere Lösung. Falls Walzträger den auftretenden Beanspruchungen nicht

mehr genügen, werden genietetete Träger, welche aus Stehblech, Gurtwinkeln und Kopfplatten zusammengesetzt sind, verwendet.

Werden Spannweiten und Belastungen so groß, daß infolge der großen Biegungsbeanspruchung genietetete Träger unwirtschaftlich werden, so kommt die Ausbildung von *Fachwerkträgern*, deren Tragstäbe in der Hauptsache nur durch Axialkräfte beansprucht werden, und die daher vorgenannten Trägern gegenüber ein kleineres Gewicht aufweisen, in Betracht. Um Biegungsbeanspruchungen möglichst zu vermeiden, sind die Füllstäbe zentrisch mit den Gurtungen zu verbinden. Gelenkige Stabanschlüsse, wie sie der Berechnung zugrunde gelegt werden, sind jedoch nicht üblich; vielmehr bilden die gebräuchlichen genieteteten Verbindungen mit oder ohne Verwendung von Knotenblechen eine steife Verbindung, die Nebenspannungen hervorruft.

Fachwerkträger kommen im Hochbau vor allem als freitragende, auf Außenmauern gelagerte Dachtragwerke in Betracht. Die mannigfachen Möglichkeiten in der Formgebung der Fachwerkbauten sind hierbei von großem Vorteil, da sie die Berücksichtigung wichtiger Faktoren, wie Beleuchtung (Oberlicht, hohes Seitenlicht, Nordlicht), Belüftung etc. gestatten. Letztere Faktoren bestimmen oft weitgehend die Form des Obergurtes, welcher gerade, polygonal oder bogenförmig ausgebildet werden kann.

In Geschoßbauten werden Fachwerkträger oft als Wandträger ausgebildet. Da die für den Querverkehr erforderlichen Öffnungen der Wand jedoch die Ausbildung eines klaren Fachwerkes erschweren, kommt hier — wie im Eisenbetongeschoßbau — die Anordnung eines druck-, zug- und biegungsfesten *Rahmenträgers* als zweckmäßigere Konstruktion eher in Frage.

Die Eisenträger-
Decke

Eisenbalken werden hauptsächlich als Tragwerk von *Deckenkonstruktionen* verwendet. Mit Ausnahme sehr leichter Konstruktionen, für welche spezielle Leichtprofile aus Blech, oder Gitterträger aus Rundeisen Verwendung finden, werden für die üblichen Belastungen meistens Walzprofile, vor allem Normal-I- oder Breitflanschträger verwendet. Die Lastübertragung auf die Träger kann entweder durch nur druckfestes Material oder durch druck- und zugfestes Material geschehen.

Erstere Ausbildungsart, d. h. die Verwendung nur druckfesten Materials, führt zu der Anordnung kleiner *Gewölbe-Kappen*; diese

können an Ort und Stelle ausgeführt werden (Beton-, Ziegelgewölbe etc.) oder als fertige Gewölbeelemente (Hourdis) zwischen die Träger verlegt werden. Die Verwendung verlegbarer Hourdis besitzt mannigfache Vorteile; sie gewährleistet eine rasche, schalungsfreie, von der Witterung unabhängige Ausführung sowie große Trockenheit und sofortige Begehbarkeit der Decke; dagegen sind die Abstände der Träger durch die Abmessungen der Hourdis festgelegt. Demgegenüber erscheint die Ausführung der Gewölbe an Ort und Stelle aus Ziegelsteinen etc. umständlicher; auch verursacht sie eine größere Baufeuchtigkeit, läßt dagegen eine größere Freiheit in der Disposition der Träger zu.

Da die druckfesten Gewölbe bei größeren Spannweiten eine große Deckenhöhe erfordern würden, werden die Trägerabstände klein gehalten. Zur Sicherung der einheitlichen Wirkung der Deckenbalken werden diese Decken mit Vorteil mit einer durchgehenden Überbetonschicht, welche leicht bewehrt ist, versehen.

Die Feuersicherheit der Decke wird durch Umkleidung der Träger mit besonderen Auflager-Formsteinen oder durch Rabitzkonstruktionen erzielt.

In statischer Hinsicht ist die *Decke mit Betonausfüllung* den vorerwähnten Decken ähnlich, da die Betonfüllung als flach segmentiertes Gewölbe wirkt. Eine leichte Verteilarmierung ist zur Vermeidung der Schwindrisse längs und quer zu den Trägern von Vorteil. Gegenüber den vorerwähnten Hourdisdecken weist diese Decke den Nachteil größerer Baufeuchtigkeit und komplizierterer Ausführung (Schalung etc.) auf.

Die Übertragung der Lasten auf die Deckenträger kann auch unter Verwendung druck- und zugfester, d. h. biegungsfester Materialien erfolgen, wobei die Trägerabstände bedeutend größer gewählt werden können, ohne daß sich zu große Deckenstärken ergeben. Während Holzbalken infolge ihrer Feuergefährlichkeit heute in diesem Zusammenhang selten mehr Verwendung finden, kommt der Ausführung in Ziegeln mit Eiseneinlagen und vor allem derjenigen in Eisenbeton erhöhte Bedeutung zu.

Die *bewehrten Steindecken* bestehen aus wärmeisolierenden Ziegelhohlsteinen, Schwemmsteinen etc. mit Rund- oder Bandeisen-Einlagen in den Mörtel-Fugen zwischen den Steinen oder in den Hohlräumen der Steine selbst. Hierdurch entsteht eine mehr oder weniger einheitlich wirkende biegungsfeste Platte, die zwecks Er-

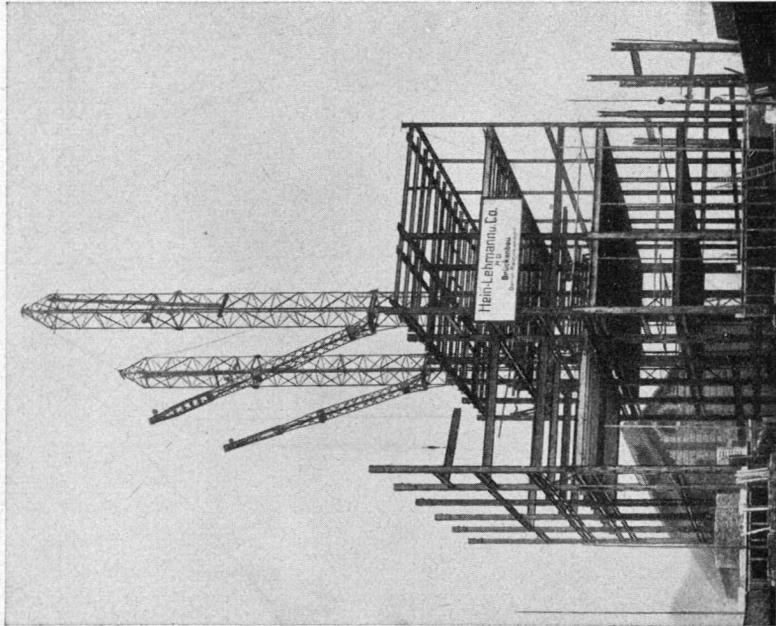
höhung des Zusammenhanges und Vergrößerung der Druckzone noch mit einer durchgehenden Überbetonschicht überdeckt werden kann. Die Untersicht wird verputzt; die Eisenträger werden zur Erzielung voller Feuersicherheit feuerfest umkleidet.

Die Ausführung dieser Decken erfordert eine durchgehende Schalung und sorgfältige Arbeit; die Baufeuchtigkeit ist relativ klein.

Bei der heute wohl üblichsten Deckenausbildung werden werkmäßig hergestellte balken- oder bogenförmige *Eisenbeton-Hourdis* zwischen den Deckenträgern verlegt, oder es wird an Ort und Stelle eine Eisenbetonplatte zwischen und über den Deckenträgern erstellt. Die Ausführung einer *Eisenbetonplatte* an Ort und Stelle ermöglicht eine freiere Anordnung der Träger, sichert eine einheitliche Wirkung der ganzen Decke und erhöht die Steifigkeit in wagrechter Richtung. Die Wahl der Trägerabstände ist vornehmlich eine Frage der Wirtschaftlichkeit. Die Eisenbetondecke kann bei knappen Bauhöhen teilweise zwischen den Trägern versenkt werden, wobei die oberen Eisen über den Deckenträgern durchlaufen, oder sie kann als vollständig über den Trägern durchgehende Platte ausgebildet werden. Die Träger werden hierbei des Feuerschutzes wegen und zur Verbesserung des Zusammenhanges einbetoniert. Statt die Eisenträger als getrennte Träger für die durchgehende Eisenbetondecke zu betrachten, können erstere auch zusammen mit der Eisenbetonplatte als Druckplatte, als T-förmiger Eisenbetonquerschnitt in Rechnung gesetzt werden, was eine wesentliche Materialersparnis und Verminderung der Durchbiegung zur Folge hat. Voraussetzung ist bei dieser Annahme jedoch die gute Verbindung des Trägers mittelst Bügeln etc. mit der Betonkonstruktion. Diese Ausführungsweise ist besonders in den Vereinigten Staaten von Nordamerika gebräuchlich.

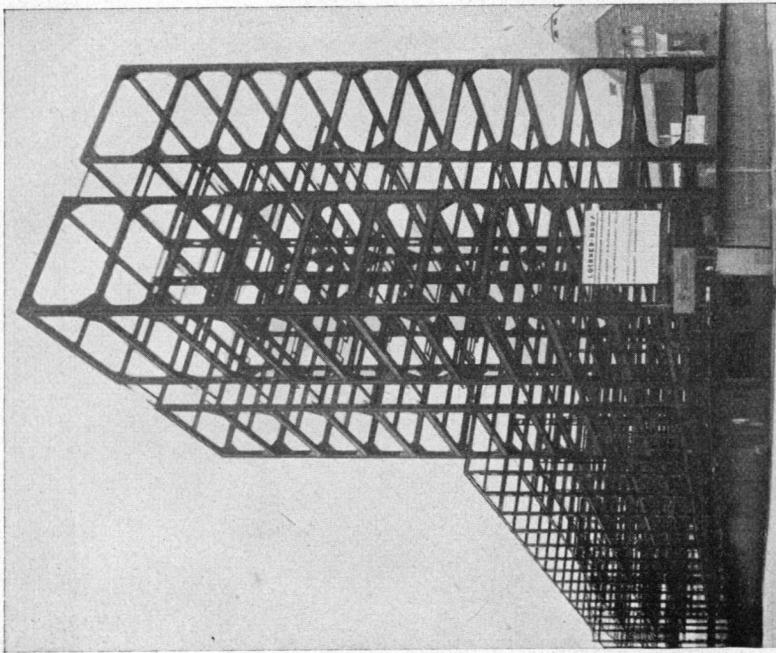
Die Ausführung der Eisenbetondecken geschieht mit Hilfe von Schalungen, welche an den Eisenträgern aufgehängt sind. Auf diese Weise werden hohe Gerüstkosten vermieden, und der Verkehr auf den unteren Geschossen wird freigehalten. Ein Nachteil der an Ort und Stelle betonierten Decke ist ihre hohe Baufeuchtigkeit. Die Erzielung genügenden Wärme- und Schallschutzes geschieht wie bei den Eisenbetondecken durch die Anordnung poröser, nachgiebiger Unterlagen des Bodenbelages als Isolierung gegen Temperaturwechsel und Bodenschall; ferner durch die Unterbindung

Abbildung No. 24



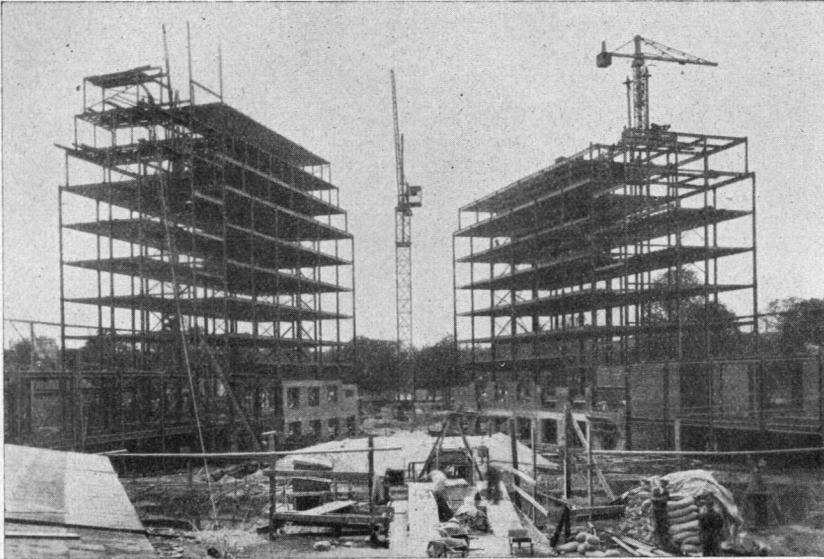
Eisenskelettbau. Verkürzung der Bauzeit durch Montage mit Derrick-
Kränen
Umspannwerk Scharnhorst, Berlin
Ausführung Hein-Lehmann & Co. A. G.

Abbildung No. 25



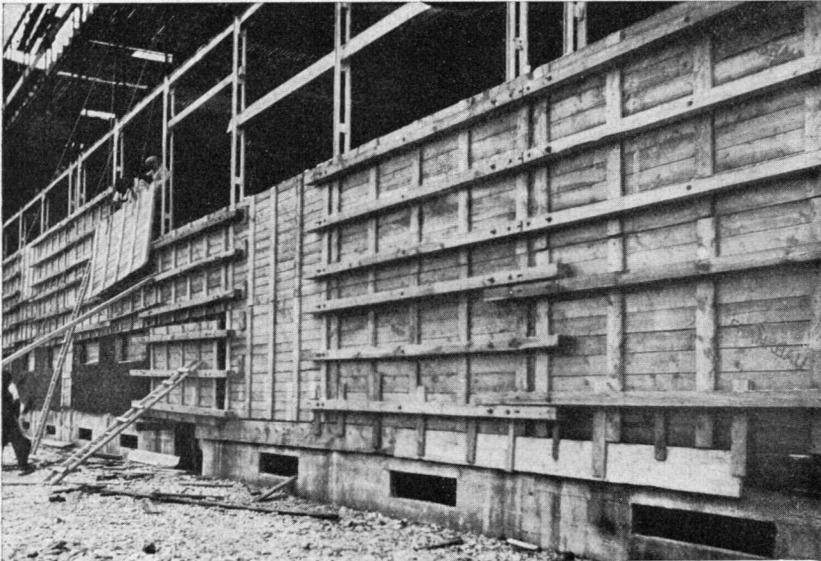
Eisenskelettbau. Skelett mit kräftig ausgebildeten Rahmenecken
Lochner-Haus, Aachen
Ausführung Ges. Harkort

Abbildung No. 26



Eisenskelettbau. Montagezustand mit fertig eingebauten Decken vor der Ausmauerung
Hochhaus in Paris / Ausführung Ges. Harkort

Abbildung No. 27



Eisenskelettbau. Bauweise Frank
Wohnhaus in München / Ausführung Frank

der Luftschallübertragung durch eine möglichst dichte und schwere Deckenausbildung.

Werden Eisenträgerdecken als Flachdachkonstruktionen ausgebildet, so sind dieselben Vorkehrungen wie bei dem Eisenbeton-Flachdach (vergl. Abschnitt 3, Seite 69) zu treffen.

Stützen und Unterzüge bilden zusammen die Haupttragelemente des Geschoßbaues in Eisen, d. h. des *Eisenskelettbaues* (vgl. Abb. 24, 25 und 26). Der Eisen-
skelettbau

Die ersten Geschoßbauten aus Stahl wurden gegen das Ende des 19. Jahrhunderts in den Vereinigten Staaten von Nordamerika ausgeführt. Die teuren Bodenpreise in den großen Städten wie zum Teil auch die Konzentrierung der Arbeitsstätten, zwangen zu weitgehender Höhenentwicklung der Bauten. Da die Abmessungen von Stein- und Eisenbetonmauern und -Stützen bei hoher Geschoßzahl, d. h. sehr hohen Belastungen sehr groß, deshalb unwirtschaftlich geworden wären, wurde für diese Hochhäuser — Wolkenkratzer genannt — ein Material mit höheren Festigkeitseigenschaften herangezogen: der Baustahl. Zunächst wurde das Eisenskelett — ähnlich der heutigen Entwicklung der Eisenbetonkonstruktionen — nur im Gebäudeinnern ausgeführt, während die Außenwände als tragende Mauern ausgebildet wurden. Die dieser Bauweise innewohnenden Nachteile: schwere, massive Außenmauern mit kleinen Fenstern, mangelnde Steifigkeit infolge ungenügender Verbindung der Außenmauer mit dem innern Stahlskelett, ungleiche Setzungen der einzelnen Materialien infolge verschiedener Festigkeit und Elastizität, langsamer, umständlicher, ineinandergreifender Bauvorgang etc. führten später zur Ausbildung von Wandunterzügen und Wandstützen. Indem hierbei die Außenwand jeweils geschoßweise auf die Wandunterzüge und Säulen abgestützt wurde, hatte sie nurmehr ihr Eigengewicht zu tragen. Die Trennung von Tragwerk und Raumabschluß im Stahlskelettbau war damit durchgeführt. Die hauptsächlichen Tragfunktionen waren dem Stahlskelett übertragen, während hingegen den nachträglich hergestellten Außenwänden und Decken in erster Linie die Aufgabe des schützenden Raumabschlusses, ferner die Aufgaben der Lastübertragung und der Aussteifung des Tragskelettes zufielen.

Neben der Möglichkeit weitgehender Höhenentwicklung bietet der Stahlskelettbau, abgesehen von der großen Erleichterung der

Grundrißgestaltung infolge der Beschränkung auf wenige gegebene Festpunkte und der guten Belichtungs- und Belüftungsmöglichkeit, welche Vorteile auch schon dem Eisenbetonskelettbau eigen sind, noch mannigfache andere technische und wirtschaftliche Vorteile.

Ein erster technischer Vorzug besteht in der Güte der Konstruktion, welche durch die sorgfältige Materialherstellung und die weitgehende Vorbereitung der Konstruktion in wettergeschützten Werkstätten gewährleistet ist. Letzterer Faktor ermöglicht im Verein mit guter Organisation des Bauvorganges auf dem Bauplatz einen sehr raschen Zusammenbau des Stahlskelettes, bzw. die Einhaltung einer sehr kurzen Bauzeit, wodurch einerseits eine große Bauzinsersparnis, andererseits eine weitgehende Unabhängigkeit von der Witterung erzielt wird. Die Errichtung von Stahlskelettbauten kann deshalb auch im Winter vorgenommen werden. In diesem Fall werden die zur Aussteifung des Skelettes erforderlichen Deckenkonstruktionen mit Vorteil aus Fertigteilen (Hourdis etc.) ausgebildet, um die bei Frost schwierigen Betonierungsarbeiten möglichst einzuschränken. Ein solcher Bau kommt dem idealen Trockenbau sehr nahe.

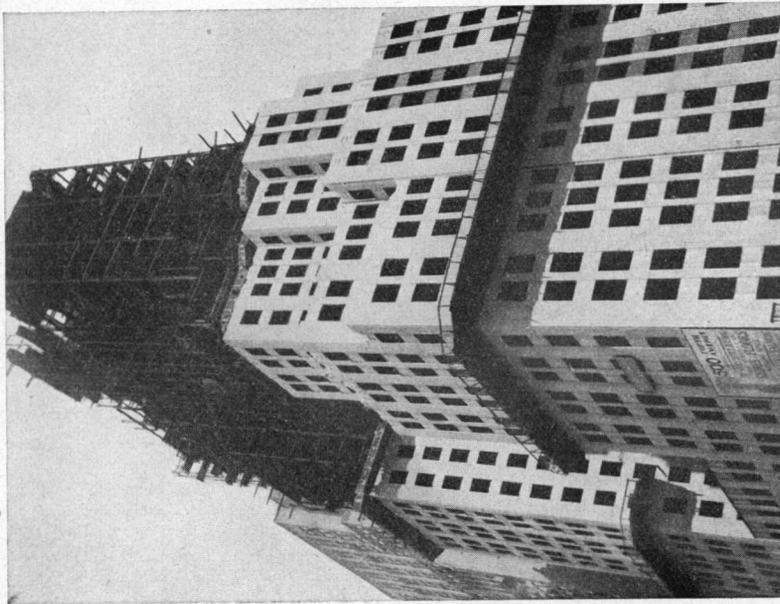
Wertvoll ist auch, besonders bei hohen Bodenpreisen, der durch die knappen Abmessungen der Stützen und Unterzüge trotz der üblichen Ummantelung derselben erzielte Raumgewinn, welcher naturgemäß bei hohen, schwer belasteten Bauwerken stärker in Erscheinung tritt als bei kleinen.

Während der Errichtung des Stahlskelettes können bauliche Änderungen oder Verstärkungen und Aufstockungen, welche infolge Entwurfsänderungen, Erhöhung der Nutzlasten etc. bedingt sein können, noch ausgeführt werden.

Die eingangs erwähnte Feuers- und Rostgefahr verlangt einen weitgehenden Schutz des Stahlskelettes. Mit zunehmender Höhe des Gebäudes, d. h. mit der Erhöhung der Gefahr müssen strengere Maßnahmen getroffen werden, die zu der vollständigen feuersicheren Einkleidung des ganzen Stahlskelettes führen.

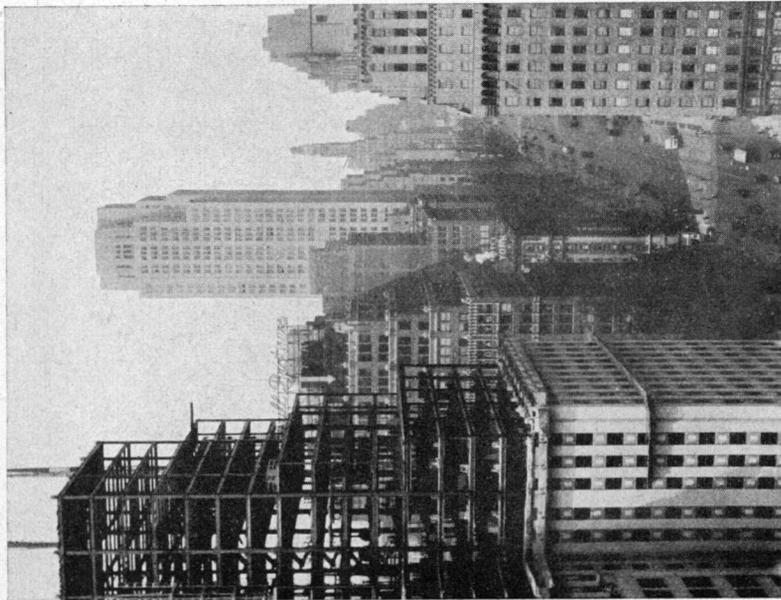
Heute sind in den Vereinigten Staaten von Nordamerika *Wolkenkratzerbauten* mit fünfzig, sechzig und mehr Geschossen keine Seltenheit mehr (vgl. Abb. 28, 29 und 30). Die aufzunehmenden Lasten sind hierbei so hohe, daß die Querschnitts-Abmessungen der

Abbildung No. 29



Eisenskelettbau
Wolkenkratzer mit Ausmauerung in Ziegelmauerwerk
Bureauhaus in New-York

Abbildung No. 28



Eisenskelettbau
Wolkenkratzer mit rückgestaffelter Fassade im Bauzustand
Blick in die Seventh Avenue, New-York

Abbildung No. 30



Eisenskelettbau. Wolkenkratzer an der Wallstreet, New-York
In Bildmitte die Bank of Manhattan

Stahlstützen sehr groß ausfallen und die zweckmäßige konstruktive Durchbildung im Hinblick auf die Werkstattarbeit und den Montagevorgang ein eingehendes Studium verlangt.

Je nach dem Verhältnis von Höhe, Breite und Länge des Baukörpers spielt neben der Aufnahme der vertikalen Belastungen die Aufnahme der Windkräfte eine wichtige Rolle. Je größer das Verhältnis von Höhe zu Breite ist, desto größer wird die Wirkung der Windkräfte. Nach den New-Yorker Baubestimmungen werden die Windkräfte erst dann berücksichtigt, wenn das Gebäude dreimal so hoch als breit ist.

Das Stahlskelett besteht aus einzelnen, in parallelen Ebenen liegenden Bindern, welche mittelst quer dazu verlaufender Windverbände räumlich festgelegt werden; es liegt somit ein räumliches System vor, welches auch horizontale Belastungen aufnehmen muß.

Als statisches Grundsystem für die Ausbildung des Stahlskelettes dient das Fachwerk oder der biegungsfeste Rahmen. In Wirklichkeit kommt jedoch weder das eine noch das andere System in reiner Ausbildung vor, da Fachwerke infolge der die Wandfelder zerschneidenden Diagonalen eine zweckmäßige Fensteranordnung verunmöglichen, während Stockwerkrahmen, deren Steifigkeit durch die biegungsfeste Ausbildung der Rahmenecken im Übergang der Stiele in die Riegel gewährleistet werden muß, teure Arbeit und mehr Material erfordern, ferner die Verbindung mit dem verkleidenden Mauerwerk erschweren, und infolge der Eckausbildungen die freie Anordnung der Fenster einschränken.

Die gewöhnlich aus Stehblech, Gurtwinkeln und Kopfplatten zusammengesetzten genieteten Stützen werden durchgehend angeordnet; sie reichen meistens durch zwei Stockwerke durch. Die durchgehende Ausbildung der Stützen gewährleistet eine direkte Weiterleitung der großen Axialkräfte. Die Stützenstöße befinden sich in der Regel 50 cm über dem Fußboden; eine Anordnung, welche für den Bauvorgang zweckmäßig ist. Die Stöße sämtlicher Stützen werden mit Rücksicht auf den Arbeitsvorgang auf derselben Höhe angeordnet.

Die Unterzüge werden bei hohen Belastungen als genietete Träger, im allgemeinen jedoch als schwere Walzprofile ausgebildet. Die als einfache Balken ausgebildeten Unterzüge werden in den Binder-ebenen an die durchgehenden Stützen angeschlossen. Seitliche Anschlüsse durchlaufender Unterzüge, welche die Durchführung der

vertikalen Leitungen erleichtern, sind heute, da letztere in einem Schacht gemeinsam hochgeführt werden, nicht mehr üblich. Die Verbindung des Unterzuges mit der Stütze geschieht unter Verwendung von Auflagerkonsolen für die Montage gewöhnlich mittelst lotrechter Anschluß-Winkeleisen. Muß die Verbindung auch biegungsfest sein, so müssen Eckaussteifungen angeordnet werden, welche eine Rahmenwirkung gewährleisten. Die Anordnung von Eckblechen ist vor allem in den unteren Geschossen, welche größere Windmomente aufzunehmen haben, erforderlich.

Eine besondere Ausführung erfahren die Fassadenunterzüge. Da sie das aufgehende, verkleidende und vor dem Stahlskelett durchgehende Mauerwerk zu tragen haben, werden sie oft exzentrisch an die Stützen angeschlossen. Sind die Fassadenunterzüge zentrisch angeschlossen, so werden auf den unteren Flanschen derselben auskragende Winkeleisen oder Flacheisen, welche letztere mittelst Zuggliedern mit dem Unterzug verbunden sind, angebracht, auf welche Weise gleichfalls eine Auflagerung für das verkleidende Mauerwerk geschaffen wird. Die Fassadenunterzüge dienen bei großer Höhe oft zugleich als Fenstersturz; meistens jedoch werden die Fensterstürze aus besonderen, auf das Mauerwerk aufgelagerten Winkel-eisen, deren Untersicht sichtbar bleibt, gebildet.

Die Unterzüge werden durch die Deckenbalken, gewöhnlich Walzträger, welche in Abständen von ca. 2 Meter verlegt werden, belastet. Diese werden als einfache Balken in der Weise zwischen die Unterzüge eingesetzt, daß die oberen Flanschen der Deckenträger unter denjenigen der Unterzüge liegen und nicht in die Profilausrundung hineingreifen. Die Anordnung von Deckenbalken, welche über den Unterzügen durchlaufen, ist wegen des damit verbundenen Raumverlustes sehr selten.

Die Decken werden in den New-Yorker Wolkenkratzern heute als über den Deckenträgern durchlaufende, das Stahlskelett vorzüglich aussteifende volle Eisenbetonplatten, welche an den Trägereinflagern voutenartig mit denselben verbunden sind, ausgebildet. Bei niedriger Temperatur wird die Ausführung durch die bekannten Vorsichtsmaßnahmen, sowie durch lokale Anheizung der Betonierungsstellen ermöglicht. Die Isolierung der Decken gegen Wärme und Schall geschieht mittelst isolierender, poröser und nachgiebiger Fußbodenunterlagen, welche direkt auf die Eisenbetonplatte aufgebracht werden; es wird vornehmlich Schlackenauffüllung in an-

sehnlicher Stärke verwendet. An die tragende Deckenkonstruktion wird meist eine Rabitzdecke mit starker Drahtnetz-, bzw. Streckmetall-Einlage angehängt. Diese Unterdecke hat den Feuerschutz der eisernen Deckenträger und Unterzüge zu gewährleisten, ferner die Isolierung gegen Wärme und Schall zu erhöhen, wie auch den für die Verlegung der mannigfachen Leitungen nötigen Hohlraum zu schaffen.

Die New-Yorker feuerpolizeilichen Bestimmungen verlangen die feuersichere Verkleidung sämtlicher Stahltragglieder; die Innenstützen und die Unterzüge, bzw. Deckenbalken müssen ca. 5 cm stark, die Außenstützen ca. 20 cm mit Ausnahme der Innenseite, für welche 10 cm genügen, verkleidet werden. Im übrigen wird zur Verminderung der Feuersgefahr jegliche Verwendung von Holz vermieden; weder in Fußböden, Decken, Wänden noch in Fenster- und Türkonstruktionen wird Holz, bzw. brennbares Material verwendet. Die Gefahr der Verqualmung des Treppenhauses bei Brandausbruch wird durch Anordnung eines neben der Feuertreppe angeordneten durchgehenden Luftschachtes herabgesetzt. Die Wolkenkratzer sind des weiteren mit automatischen Feuerlösch-einrichtungen ausgestattet.

Das Ummantelungsmaterial der Stützen besteht aus Beton, wobei oft Ziegelsteine als Schalung dienen, oder nur aus Ziegelhohlsteinen; letztere werden so angeordnet, daß zunächst der Zwischenraum zwischen den Flanschen ausgefüllt wird, während alsdann die ganze Stütze noch eine Umkleidung in Stärke eines halben Steines erfährt.

Durch die Ummantelung wird zugleich auch der Rostschutz gewährleistet; während des Zusammenbaues wird das unverkleidete Stahlskelett durch Schutzanstriche vor Rostangriff geschützt.

Die raumabschließende Außenwand wird vornehmlich in Mauerwerk ausgeführt. Die äußerste, wetterschützende Schicht besteht in den oberen Geschossen meistens aus hartgebrannten Ziegelsteinen, welche in der Stärke von ca. 20 cm vor dem Stahlskelett durchlaufen, geschoßweise auf die Wandunterzüge aufgesetzt werden und mittelst Bindersteinen mit der Hintermauerung verbunden sind. Die Sockelgeschosse erhalten üblicherweise zudem eine Verkleidung mit Marmorplatten. Diese äußerste wetterschützende Schicht hat vor allem das Stahlskelett vor den atmosphärischen Einwirkungen (Wasser, Luft etc.) zu schützen; sie wird so stark

ausgebildet, daß Kältebrücken an den Anschlußstellen des Mauerwerkes und des Stahlskelettes vermieden werden. Die Hintermauerung besteht in der Regel aus wärmeisolierenden Ziegelhohlsteinen. Die ganze Wand besitzt eine Stärke von 30 bis 40 cm.

Die Fassaden werden heute ganz glatt, unter Verzicht auf horizontale Gesimse etc. ausgeführt; auf diese Weise werden Ansammlungsstellen für Staub und Schmutz, welche mit Rücksicht auf die ungenügenden Belichtungs- und Belüftungsverhältnisse nachteilig wären, vermieden.

Die inneren Zwischenwände werden aus Ziegelhohlsteinen in Stärken von 10 bis 20 cm ausgeführt.

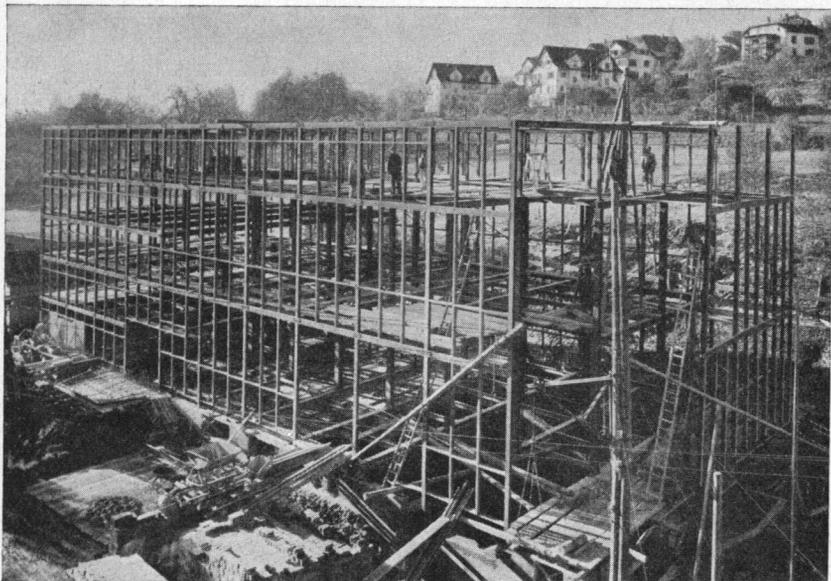
Die *Ausführung der Wolkenkratzer* erfolgt dank weitestgehender Vorbereitung der Arbeit in den Werkstätten und vorzüglicher Organisation des Bauplatzes in der denkbar kürzesten Zeit.

Während der Erstellung der Fundamente (Caissons, Senkbrunnen etc.) und Umfassungswände, welche unter weitestgehender Verwendung von Baumaschinen wie Dampfschaufeln, bezw. Bagger für den Aushub, ferner Aufzügen, Betonmischern etc. in mehrschichtiger Arbeitsweise erfolgt, wird das Stahlgerippe in der Eisenbauwerkstätte vorbereitet.

Die Aufrichtung des Stahlskelettes erfolgt mit Hilfe zweiarmiger Derrick-Krane, welche auf dem Bauplatz zusammgebaut werden. Zunächst erfolgt das Versetzen der Stützen; hernach werden die Unterzüge auf die schon in der Werkstatt an der Stütze befestigten Auflager-Winkel aufgesetzt, provisorisch verschraubt, ausgerichtet und vernietet. Heute wird in den neuesten Wolkenkratzerbauten New-Yorks (Chryslerbuilding, Bank of Manhattan) das Tragskelett eines einzelnen Stockwerkes in einem Tag zusammgebaut. Nach Fertigstellung je zweier Geschosse wird, entsprechend den durch zwei Geschosse reichenden Stützen, der Derrick auf das oberste Geschoß versetzt und die Montage in gleicher Weise fortgeführt.

Hat der Bau schon eine gewisse Höhe erreicht, so werden in verschiedenen Höhenstufen Derricks aufgestellt, die die aus der Fabrik gelieferten Stahltragglieder auf das jeweilige Geschoß aufziehen, wo erstere nachgeprüft und bis zum Zeitpunkt ihrer Verwendung aufgestapelt werden. Diese Maßnahme ist vor allem aus dem Grunde nötig, weil wegen der knappen Platz- und Verkehrsverhältnisse keine Materialien auf den Straßen, bezw. Gehwegen gelagert werden können.

Abbildung No. 31



Eisenskelettbau. Lagerhaus und Röstereigebäude der A. G. Lindt & Sprüngli bei Zürich
Entwurf und Ausführung W. Koch & Co., Eisenbau

Abbildung No. 32



Eisenskelettbau. Unverkleidetes Skelett mit ausgemauerten Gefachen
Lagerhaus und Röstereigebäude der A. G. Lindt & Sprüngli bei Zürich
Entwurf und Ausführung W. Koch & Co., Eisenbau

Gleichzeitig mit dem Stahlskelett werden auch die Decken und Wände ausgeführt. Ungefähr drei Stockwerke unterhalb des obersten Geschosses werden bereits die Eisenbetondecken eingezogen; hierdurch wird eine gute Aussteifung des Tragskelettes im Bauzustand, sowie der Schutz vor herabfallenden Objekten erzielt; ferner wird dadurch auch die Möglichkeit frühzeitigen Ausbaues geboten. Die Ausmauerung der Außenwände, welche mit Hilfe von Hängegerüsten, auf welchen die Maurer stehend arbeiten können, erfolgt, wird einige Stockwerke unterhalb der höchsten fertigen Decke vorgenommen. So wird es möglich, daß die verschiedenen Arbeiten des Zusammenbaues des Stahlskelettes, der Betonierung der Decken, der Ausmauerung der Wände und des Innenausbauens gleichzeitig in verschiedenen Stockwerken vorgenommen werden können, wodurch eine außerordentliche Schnelligkeit der Bauausführung erzielt wird.

Neben den Wolkenkratzern werden in Amerika auch «kleinere» Gebäude in Stahl ausgeführt; der Stahlskelettbau wird im allgemeinen dem Eisenbetonskelettbau vorgezogen. Neben den technischen und wirtschaftlichen Erwägungen spielt hierbei auch die weitgehende Normalisierung der Einzelteile, sowie ganzer Konstruktionen, einschließlich ihrer statischen Berechnung, eine große Rolle.

In *Europa* ist der *reine Stahlskelettbau* noch verhältnismäßig jung. Obwohl Hochhäuser in Europa bei den zurzeit noch nicht so engen Platz- und Verkehrsverhältnissen heute noch selten sind, somit das Baugebiet, auf welchem der Stahlskelettbau am wirtschaftlichsten und unentbehrlichsten ist, fehlt, gestalten die mannigfaltigen Vorteile der schnellen Bauausführung, der weitgehenden Unabhängigkeit von der Witterung, des Raumgewinnes, der Möglichkeit, nachträgliche Änderungen anzubringen etc., auch seine Anwendung bei Bauwerken mittlerer Höhe technisch und wirtschaftlich günstig.

Schon in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden in Europa, namentlich in Frankreich, die ersten Geschoßbauten, vor allem Warenhäuser, mit Stahlskelett erstellt. Bestanden die einzelnen Tragglieder auch aus Gußeisen, welches in Anlehnung an historische Stile in plastisch-dekorative Formen gegossen wurde, so, besteht nichtsdestoweniger das Tragwerk ähnlich den heutigen Stahlskelettbauten aus einem leichten Gerippe statisch hochwertiger Trag-

glieder. Heute hat, namentlich in Deutschland, die Stahlskelettbauweise schon starke Wurzeln gefaßt; insbesondere hat sie sich für Bauten, welche mindestens sechs Geschosse besitzen, als wirtschaftlich erwiesen.

Diese in kleinem Maßstab den Wolkenkratzern nachgebildeten Stahlskelettbauten sind, entsprechend den geringeren Belastungen, leichter konstruiert; immerhin fallen die Ausführungen im allgemeinen infolge strenger Baupolizeibestimmungen, welche auch eine weitgehende Berücksichtigung der Windkräfte verlangen, relativ schwer aus.

Je nach den örtlichen Verhältnissen können die Außen- und Innenmauern sowie die Geschoßdecken als weitere Aussteifung berücksichtigt werden.

Die Stützenprofile sind vorwiegend Walzprofile; besonders beliebt sind I-Breitflanschträger sowie aufgelöste Querschnitte aus [-Eisen, die einen einfachen Anschluß der Unterzüge und die Durchführung derselben in einer Richtung ermöglichen. Vorgenannte Stützenquerschnitte besitzen in beiden Axenrichtungen große Trägheits- und Widerstandsmomente. Die Stützen werden durchgehend ausgebildet; durchgehende Unterzüge, welche die Stützen unterbrechen, sind wegen der dadurch verursachten unsicheren Weiterleitung der großen Stützenkräfte selten anzutreffen.

Das Dachtragwerk wird meistens auch aus Stahl ausgeführt und in das Skelettsystem einbezogen.

Die Ausbildung der *raumabschließenden Außenwand* erfolgt, wie bei den Eisenbetonskelettbauten, je nachdem das Skelett nur im Innern oder auch in der Außenmauer durchgeführt wird, auf verschiedene Weise. In letzterem Falle kann die Wand als nichttragende Füllwand zwischen die Stützen eingesetzt, oder unabhängig vom Stahlskelett, auf auskragenden Decken aufgestützt, vor demselben durchgeführt werden.

Erstgenannte Ausführungsmöglichkeit mit tragender, massiver Außenmauer gelangt in Anbetracht der früher erwähnten Nachteile auch in Europa heute wenig mehr zur Anwendung.

Wird in einem reinen Stahlskelettbau die Außenwand nachträglich als nichttragende Füllmauer aus Voll- oder Hohlziegeln, Beton etc. ausgeführt, so muß einerseits die infolge des verschiedenen Arbeitens des Tragskeletts und des Füllmauerwerkes bestehende Rißgefahr möglichst vermindert, andererseits müssen bei dünner Wand-

ausbildung Kältebrücken zwischen den Stützen und dem Füllmauerwerk vermieden werden.

Werden an die Außenwand keine hohen Anforderungen in bezug auf ihre Wärmeisolierfähigkeit gestellt, so genügt — wie dies im Fabrikbau oft gebräuchlich ist — die Ausbildung einer dünnen Ziegelmauer, welche bündig zwischen die Profilflanschen der Stützen und Riegel eingesetzt wird (vgl. Abb. 31 und 32). Die Wand bleibt entweder roh oder sie wird unter Verwendung von Putzträgern über den nach außen freiliegenden Profil-Flanschen verputzt. Bei größeren Temperaturänderungen sind hierbei Risse im Verputz längs der Profil-Flanschen nicht zu vermeiden; sowohl Wärmeisolierung wie auch Feuerschutz sind unvollkommen.

Werden höhere Anforderungen an die Wärme-Isolierfähigkeit der Wand gestellt, so müssen auch die Stützen umkleidet werden. In diesem Fall erfolgt die Ausbildung der Füllmauer, bzw. der Stützenumkleidung in Ziegelsteinen oder in Beton.

Die diesbezügliche Verwendung von Ziegelsteinen ist — ähnlich wie in den Vereinigten Staaten von Nordamerika — auch in Europa üblich; besonderes Interesse kommt hierbei einzelnen Formsteinen zu, welche im Verband vermauert, keine durchgehenden Fugen aufweisen.

Neben den Ziegelsteinen wird auch häufig Beton, speziell isolierender Leichtbeton, zu diesem Zwecke verwendet. Diese Ausbildung führt zu einer monolithartigen Verbindung von Stahlskelett und Füllmauerwerk, bzw. Verkleidung, sodaß keine klare Trennung zwischen Tragwerk und Raumabschluß besteht. Da das Schwinden des Betons Rißerscheinungen zur Folge hat, eine Armierung also zu empfehlen ist, ferner mit einer großen Baufeuchtigkeit und Abhängigkeit von der Witterung zu rechnen ist, tritt die Verwendung von Beton, bzw. Leichtbeton gegenüber den anderen Möglichkeiten zurück.

Ein Beispiel für eine solche Verbindung eines Stahlskelettes mit einer Betonaußenwand, wobei ähnlich den Eisenbetonkonstruktionen, sowohl das Eisen als auch der Beton tragende Funktion besitzen, bildet die Bauweise Frank, Stuttgart (vgl. auch die Frank'sche Holzskelettbauweise, Abschnitt 1).

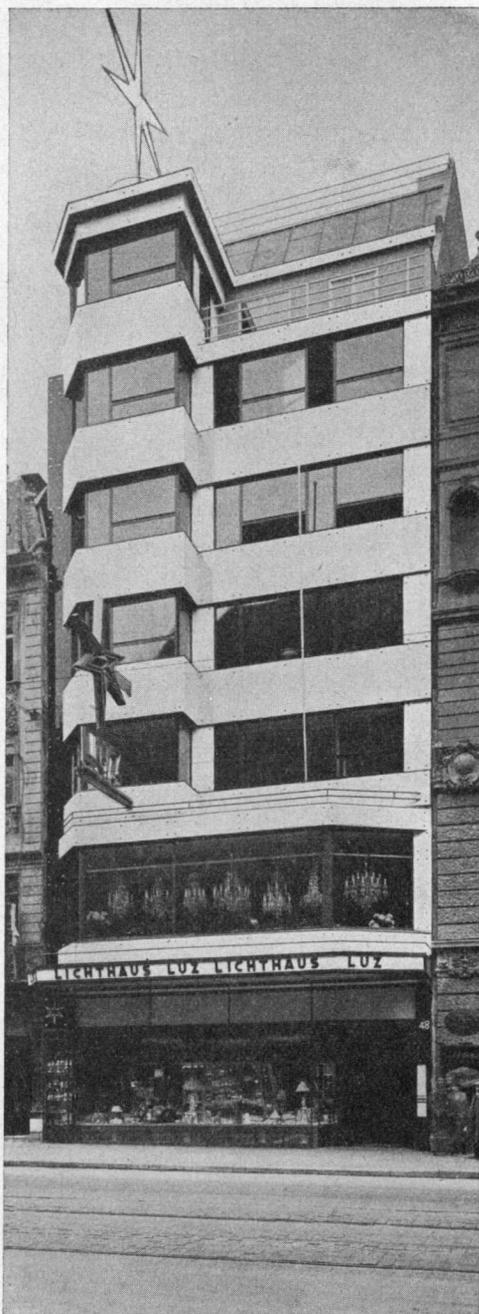
Das aus Stützen und Unterzügen bestehende Stahlskelett, welches während des Bauzustandes mit Diagonalen teilweise ausgesteift

wird, ist so dimensioniert, daß es während der Ausführung zur Aufnahme sämtlicher Lasten, einschließlich der Lasten der noch nicht erhärteten Betonkonstruktionen genügt; die nachträglich hinzukommenden Nutzlasten beanspruchen auch die Betonkonstruktion, welche gleichzeitig als Aussteifung des Tragskelettes dient. Die Außenwand besitzt isolierende und tragende Funktion. Die somit vorausgesetzte Zusammenarbeit des Stahlskelettes und der Außenwand wird — ähnlich wie im Eisenbetonbau — durch eine möglichst weitgehende Verbindung des ersteren mit dem letzteren erreicht. Die durchgehenden Stützen bestehen aus Doppelstielen mit schwalbenschwanzförmigem Querschnitt, welche je nach Belastung in verschiedener Anzahl zu einer Gitterstütze vereinigt werden. Die Unterzüge können auf einfache Weise zwischen die einzelnen Doppelstielpaare eingesetzt werden. Die betonierte Außenwand wird bündig mit den Außenkanten der Pfosten ausgeführt; die wagrechten Stahltragglieder werden hierbei allseitig, die senkrechten Stahltragglieder hingegen dreiseitig vom Beton eingehüllt. Die Außenwand bildet eine zusammenhängende, vertikale, tragende Platte, welche ihre Eigenlast, nach Erhärtung des Betons, selbständig auf die Fundamente überträgt, also das Stahlskelett nicht belastet (vgl. Abb. 27).

Die Ausnützung der statischen Funktion der Außenwand ermöglicht die Verwendung kleinerer Stützenquerschnitte und bewirkt eine Verminderung des Eigengewichtes, besitzt somit wirtschaftliche Vorteile. Ob hingegen der Verbund zwischen Stahltragwerk und Betonkonstruktion genügt, um ein einheitliches Zusammenarbeiten beider Materialien sicherzustellen, bezw. Rißbildungen zu vermeiden, kann nur durch weitere Erfahrungen erwiesen werden.

Risse wären insbesondere für den Raumabschluß von Nachteil. Die Bildung von Kältebrücken wird durch die Wahl kleiner, nicht-durchgehender Profile erschwert. Der äußere Verputz erhält, indem er in die schwalbenschwanzförmigen Profilöffnungen der Stützen einbindet, eine relativ gute Verbindung mit denselben.

Bezüglich der Ausführung dieser Bauweise ist auf die einfache Schalungsmethode hinzuweisen. Die Schaltafeln werden an den Pfosten mittelst Schrauben, deren Köpfe in die schwalbenschwanzförmigen Querschnitte passen, befestigt und können, entsprechend dem Arbeitsfortschritt, hochgezogen werden.



Eisenskelettbau mit äußerer auf-
geschraubter Glasplatten-
Verkleidung
Lichthaus Luz, Stuttgart / Architekt
Dr. R. Döcker

Um Schwindrisse des Betons zu vermeiden, können auch fertige Betonplatten für die Ausbildung des Füllmaterials, bezw. der Stützenverkleidung herangezogen werden. Eine solche Bauweise vertritt die Aerokret-Skelettbauweise, Berlin. Hierbei werden wetterbeständige und wärmeisolierende Aerokretplatten aus Gasbeton in relativ großen Formaten unter Verwendung eines besonderen Mörtels eingebaut. Die Stützenverkleidung geschieht mittelst einer besonderen, an der Innenseite mit einer Korksteinplatte bekleideten Aerokretplatte, welche dank ihrer hohen Wärme-Isolierfähigkeit die Bildung einer Kältebrücke verhindert. Die Verbindung dieser Platte mit der Stütze erfolgt gleichfalls mit Aeromörtel, welcher gleichzeitig rostschtzend wirkt. Um eine gute gegenseitige Verbindung der Platten zu sichern, bezw. Rißerscheinungen zu verhüten, wie auch eine möglichst einheitliche Wirkung derselben mit dem Stahlskelett zu bewirken, was besonders für die Aufnahme der Windkräfte von Nutzen ist, werden in der Längsrichtung Eiseneinlagen in die Fugen eingelegt.

Je nach den Anforderungen können die Aerokretplatten außen roh belassen, verputzt oder verkleidet werden sowie innen eine weitere isolierende Hintermauerung erhalten.

Streben die vorerwähnten Konstruktionsweisen nach einer weitgehenden Verbindung von Tragskelett und Außenwand, so wird deren Trennung erreicht, wenn die Außenwand vor den Stützen, unabhängig von denselben durchgeführt wird; die Stützen stehen somit frei im Rauminnern. Um die Benutzung des Raumes nicht zu stören, wird oft der Abstand zwischen Stütze und Außenwand klein gehalten. Die Nachteile ungleichen Arbeitens sowie der Bildung von Kältebrücken treten hier nicht auf. Als Beispiel solcher Ausführungsarten seien erwähnt: das Lichthaus Luz in Stuttgart (vgl. Abb. 33), das Kühlhaus Behr und Mathew in Hamburg, die Müllverwertungsanstalt in Köln. In ersterem Bauwerk sind die brüstungstragenden Stahlträger an den Außenflanschen der Stützen befestigt; die äußere Wandverkleidung besteht aus Lupak-Glasplatten, welche auf vorerwähnte Träger aufgeschraubt sind, während die Wärmeisolierung durch innen angebrachte Isolierplatten gewährleistet wird. In den beiden letzteren Beispielen besteht insofern eine noch weitgehendere Trennung, als die in Stahlfachwerk eingesetzte, in kleinem Abstand vor den Stützen durchgeführte

Ziegelmauer nur an wenigen Punkten mit dem Tragskelett verbunden ist.

Neben den Wolkenkratzern, großen und mittelgroßen Stahlskelettbauten sind in jüngster Zeit auch *Kleinhäuser mit Stahl-Tragwerk*, bezw. Stahlraumabschluß erstellt worden. Der Gedanke, den Stahl in weitgehendem Maße als Baustoff im Kleinwohnungsbau zu verwenden, geht — neben dem Versuch, dem Stahlbau ein weiteres Absatzgebiet zu eröffnen — in der Hauptsache auf das Streben zurück, den Wohnungsbau zu industrialisieren. Durch serienmäßige Herstellung normierter Konstruktionselemente, die entweder zu individuellen oder zu typisierten Bauten zusammengesetzt werden können, ferner durch schnellen, möglichst witterungsunabhängigen Zusammenbau wird eine Verbilligung bezweckt.

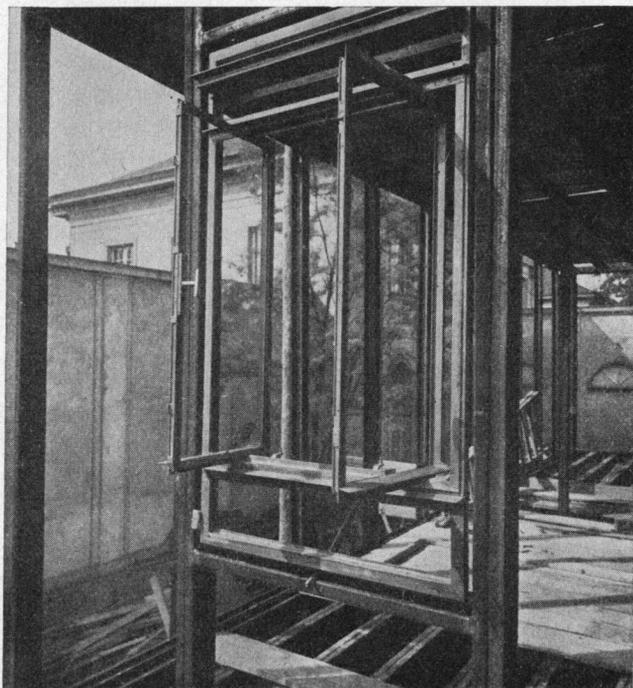
Unter den verschiedenen Konstruktionstypen sind einerseits diejenigen mit Stahltragwerk, andererseits die Konstruktionen mit Stahlhaut zu unterscheiden.

In den Stahlskeletthäusern hat die Stahlkonstruktion sämtliche Lasten in die Fundamente abzuleiten, während der Außenwand fast ausschließlich raumabschließende Funktionen zufallen. Es besteht eine Trennung zwischen tragenden und raumabschließenden Bauteilen.

In den Stahlskelettbauten kommen infolge der geringen Belastungen nur kleine Stützenprofile, z. B. kleine Breitflanschträger oder Leichtprofile aus Bandeisen, welche zu einem][-Querschnitt zusammengeschweißt sind, zur Verwendung. Als Unterzüge kommen Normal-I- oder Breitflanschträger in Betracht; als Deckenbalken neben den Normalprofilen auch Leichtprofile. In der Stahlrahmenbauweise (vgl. Abb. 34) werden statt der Stützen und Riegel normierte Einzel-Rahmen verwendet, welche aus Bandstahl in speziellen Profilen hergestellt sind; die Rahmen besitzen die Höhe eines Geschosses, während deren Breite 0,78 m oder 1,44 m beträgt. Auf diese Rahmen werden die Deckenträger, bezw. wird das Dachtragwerk abgestützt.

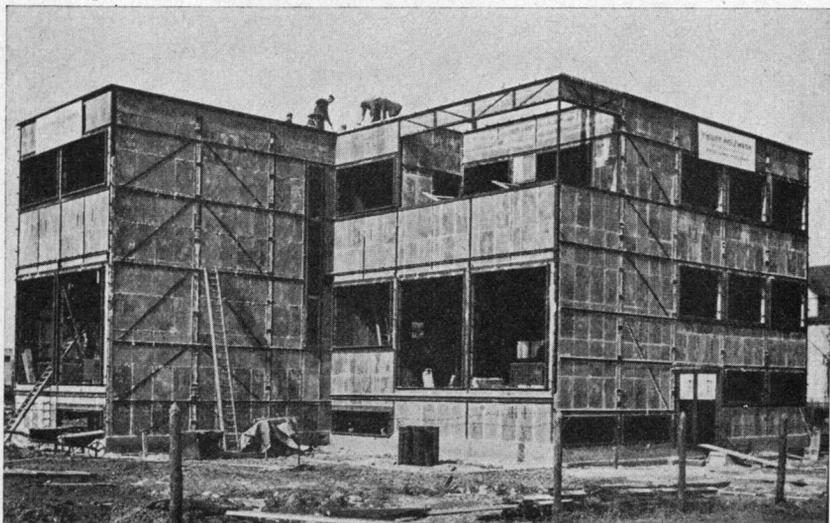
Die Ableitung der Windkräfte in die Fundamente geschieht in den niedrigen Stahlskelett- und Stahlrahmenbauten nicht durch besondere Windverbände, welche die Disposition der Fenster erschweren und das Skelett verteuern würden, sondern durch die Decken in die teilweise massiven Längs-, Quer- und Giebelwände. Die An-

Abbildung No. 34



Stahlrahmenbau.
System Spiegel.
Haus In Düsseldorf
Architekt H. Spiegel

Abbildung No. 35



Eisenskelettbau. Kleinhaus mit Bimsbetonplattenausfachung des Skelettes
Wohnhaus in Berlin-Dahlem / Ausführung Philipp Holzmann A. G.

schlüsse der Stützen und Unterzüge sind bei der üblichen Ausbildung nicht in der Lage, die Steifigkeit der Konstruktion in wagrechter Richtung zu gewährleisten.

Bietet die Erstellung des Tragskelettes keine Schwierigkeiten, so ist hingegen die Ausbildung der nichttragenden Außenwand insofern schwierig, als ihre Stärke, um wirtschaftlich zu sein, sehr knapp gehalten werden muß, was in Anbetracht der mannigfaltigen Anforderungen, die an den Raumabschluß gestellt werden, sehr schwierig ist.

Eine Ausmauerung der Gefache mit wärmeisolierenden Steinen (Bimsbetonsteine, Bimsbetonplatten, Gashetonsteine etc.), wobei zwecks Verminderung der Baufeuchtigkeit möglichst große Wandelemente vorzuziehen sind, mit nachträglichem äußeren, wetterfesten Verputz ist auch in diesen Kleinbauten eine oft zur Ausführung gelangende Konstruktion (vgl. Abb. 35). Werden diese Steine oder Platten lediglich zwischen die Stützen eingesetzt, so muß der Verputz auf netzartigen Putzträgern (Drahtnetz, Streckmetall etc.), welche entweder nur über den Stützen oder über die ganze Wand gespannt werden, aufgebracht werden. Dient in letzterem Falle das relativ starke und elastische Streckmetall als Putzträger, so ist die Einschaltung eines Zwischenraumes zwischen demselben und den Füllsteinen, bezw. Füllplatten zur Vermeidung von Rissen zweckmäßig. Besser als ein starrer Verputz, der doch immer der Gefahr der Rißbildung ausgesetzt ist, ist eine wetter- und feuerbeständige Plattenverkleidung. Letztere muß mit Rücksicht auf die bei Temperaturänderungen mögliche Rißgefahr gegenüber der eigentlichen Mauer verschiebbar ausgebildet sein.

Besonders interessant ist in dieser Beziehung der Versuch von Prof. Gropius an der Stuttgarter Ausstellung 1926 (vgl. Abb. 36). Das Ziel: der industrielle Trockenbau, wird dadurch zu erreichen versucht, daß das aus normierten Teilen zusammengesetzte Stahlskelett mit leichten, trocken-verlegbaren Platten ausgesetzt und verkleidet wird. Die Außenhaut ist durch Eternitplatten gebildet; der Wärmeschutz wird in der Hauptsache durch starke Korkplatten, welche in die Skelett-Gefache eingesetzt sind, gesichert, während die Innenbekleidung der Wand aus Lignatplatten besteht. Die Außen- und Innentafeln sind auf Latten, welche mittelst Schrauben mit dem Stahlgerippe verbunden sind, befestigt.

Bei anspruchslosen Bauten kann die Ausfachung des Gerippes weg-

gelassen werden; in diesem Falle setzt sich die Wand lediglich aus einer äußeren, wetterschützenden Haut — z. B. Isolierplatten oder Putz auf Streckmetall in mehreren Lagen von innen und außen her beworfen —, ferner einer schwach isolierenden Luftschicht zwischen dem Stahlgerippe, und endlich einer inneren, wärmeisolierenden Verkleidung zusammen.

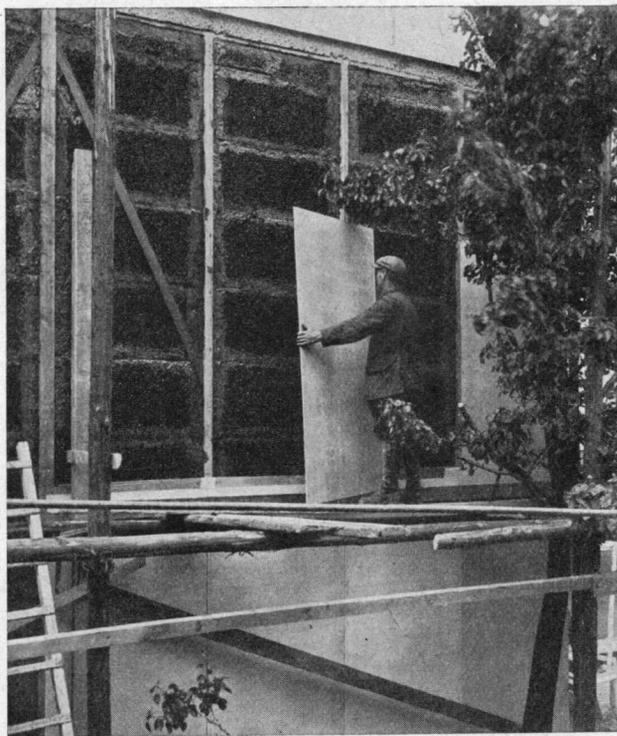
Wird in den vorgenannten Ausbildungsmöglichkeiten der Raumabschluß mittelst poröser, luftdurchlässiger Baustoffe gebildet, so besitzen im Gegensatz hierzu die *Häuser mit Stahlhaut* eine luft- und wasserundurchlässige Außenhaut. Solche Stahlblechtafeln werden als äußerer oder innerer Raumabschluß oder als Putzträger in Form von Haftblech verwendet. Sie können tragend oder nichttragend ausgebildet werden. Die Anordnung einer Stahlhaut birgt viele Schwierigkeiten. Die Verhinderung der Atmung der Wand, bezw. ihrer Durchlüftung ist von großem Nachteil, da hierdurch die in der Mauer befindliche Feuchtigkeit (Baufeuchtigkeit, Luftfeuchtigkeit, Schlagregen, Schnee etc.) nicht ausdunsten kann. Die Vermeidung der Schwitzwasserbildung, welche letztere zu Rosterscheinungen führt, verlangt besondere Vorkehrungen.

Eine äußere Stahlhaut besitzen die *Stahllamellenhäuser* der Stahlhaus G. m. b. H. Duisburg (vgl. Abb. 37). Die Stahlhaut besteht hierbei aus 3 mm starken, 2,80 m hohen und 1,15 m breiten Tafeln aus gekupferten Thomas-Stahlblech, welche allseitig mit 8 cm hohen umgekrempten Borden versehen sind. Die verschraubten Borden werden zur Erzielung einer genügenden Dichtung mit einer Asbestwolleinlage ausgefüllt. Diese zusammengesraubten Borden bilden im Verein mit den Tafeln T-förmige Tragelemente zur Lastaufnahme und wirken gleichzeitig als versteifende Rippen der Tafeln. Die Tafeln bilden somit sowohl das Tragwerk wie auch den äußeren Raumabschluß; ein Tragskelett ist nicht erforderlich.

Die Gefahr der Schwitzwasserbildung, bezw. der Durchfeuchtung der Wand wird dadurch vermindert, daß zwischen der inneren Wandkonstruktion, welche aus Isolierplatten (Tektondielen, Heraklithplatten etc.) gebildet wird, und den Stahllamellen eine Luftschicht eingeschaltet wird, welche mit der äußeren Luft mittelst Öffnungen in der Stahlhaut in Verbindung steht, wodurch allerdings die wärmeisolierende Wirkung der Luftschicht verloren geht.

Als äußerer Raumabschluß ist eine Stahlhaut sehr empfindlich.

Abbildung No. 36



Eisenskelettbau mit äußerer wetterschützender Plattenverkleidung und wärmesollierender Korkplattenausfächung des Skelettes. Haus der Weißenhofsiedlung Stuttgart / Architekt Professor W. Gropius

Abbildung No. 37



Stahlhausbau. Kleinhaus mit äußerer Stahlhaut und innerer wärmesollierender Verkleidung
Stahlmellenhaus in Duisburg / Ausführung Stahlhaus G. m. b. H.

Vor allem haben die Temperaturänderungen starke Dehnungen zur Folge, die auch einen Schutzanstrich der Platten in Mitleidenschaft ziehen. Die Unterhaltskosten dieser Konstruktion werden deshalb relativ hohe sein.

Der Wärmeschutz einer solchen Stahllamellenwand mit inneren isolierenden Platten ist — eine trockene Konstruktion vorausgesetzt — genügend; bei durchfeuchteter Wand wird ersterer naturgemäß erheblich herabgesetzt.

Die Sicherheit gegen Körperschall wird wegen der leicht in Schwingung zu versetzenden, gespannten Stahlhaut gering sein; die Luftschallsicherheit hingegen ist infolge des dichten Stahlblech-Abschlusses gut.

Eine innere Stahlhaut besitzt außer dem Nachteil, daß sie nicht nagelbar ist und gegen Körperschall empfindlich ist, die vorerwähnten Nachteile der Schwitzwasserbildung.

Auch bei Verwendung von Haftblech als Putzträger wird die Durchfeuchtung der Mauer eine stete Gefahr bilden.

Dieser kurze Überblick der Bauten mit Stahltragwerk zeigt die Verwendung des Stahles im Wolkenkratzer-, Mehrgeschoß- und Kleinhausbau. Die wirtschaftlichen und technischen Vorbedingungen für seine Verwendung sind hierbei für die großen, schwer belasteten Tragwerke ungleich günstiger als für die kleinen, schwach belasteten. Während die Verwendung des Stahlskelettes bei den Wolkenkratzern die einzige konstruktive Möglichkeit darstellt und bei den Geschoßbauten mittlerer Größe des öfteren große Vorteile aufweist, ist sie im Kleinhausbau nur selten begründet. Da die Wand dieser Keinhäuser zur Sicherung des Wärmeschutzes gewisse Minimalabmessungen erfordert, in vielen Fällen daher die Wand allein, bezw. durch leichte Verstärkung so tragfähig sein wird, daß sie für die Aufnahme der Belastungen genügen wird, ist ein Stahlskelett oft überflüssig. Es sind die zu geringen Lasten, die die Verwendung des Stahlskelettes als unwirtschaftlich erscheinen lassen. Die Wirtschaftlichkeit dieser Kleinhäuser wird naturgemäß von den örtlichen Verhältnissen abhängig sein; insbesondere werden die Transportkosten der Stahlkonstruktion eine maßgebende Rolle spielen; die Gegenden in der Nähe der heimischen verarbeitenden Eisenindustrie werden deshalb die hauptsächlichsten Absatzgebiete dieser Konstruktionen sein.

Wie im Eisenbetonskelettbau ist auch im Stahlskelettbau die *Wärme- und Schallisolierung* von großer Wichtigkeit. Während, wie schon früher erwähnt, die Wärmeisolierung der Decken durch geeignete Bodenbeläge und Bodenbelagsunterlagen gesichert wird, ist bei der Wandausbildung besonders auf die Vermeidung von Kältebrücken zu achten. Die Schallisolierung der Stahlskelettbauten wird heute auf verschiedenartige Weise versucht. Einerseits wird das Eindringen von Schall in das stark leitungsfähige Stahlskelett möglichst zu verhindern getrachtet, andererseits werden die einzelnen Tragglieder des letzteren gegenseitig isoliert. Die Maßnahmen zur Verhütung der Fortpflanzung des Schalles — Isolierung der Fundamente gegen Straßen- und Maschinen-Erschütterungen, Isolierung der Decken gegen eindringenden Bodenschall, Vermeidung leichter, poröser und schwingender Decken und Wände — sind die Voraussetzungen für die Erzielung genügenden Schallschutzes.

Weitere Schutzmaßnahmen, deren Wirkungen in isoliertechnischer und konstruktiver Beziehung infolge erst kurzer Erfahrung noch nicht endgültig abgeklärt sind, bestehen in der Isolierung der eingesetzten Füllwände gegenüber dem rohen oder dem ummantelten Stahlskelett durch nachgiebige Stoffe (Kork etc.), sowie in der gegenseitigen Isolierung der einzelnen Tragglieder des Stahlskelettes durch Zwischenlagen nachgiebigen und doch festen Materials, z. B. von Hartblei, Gewebepplatten etc.

Die Ausbildung dünner Wände, wie sie in Stahlskelettbauten als nichttragende Zwischenwände oft vorkommen, verlangt besondere schalltechnische Maßnahmen. Bekannt sind die heutigen Versuche mit kombinierten Wänden, die aus zwei äußeren, selbsttragenden dünnen Schichten (Bimsbetonplatten, Gipsdielen etc.) und einer inneren nachgiebigen und arbeitsfähigen Schicht (Absorbitplatten etc.) bestehen.

Die Dach-,
Hallen- und
Kuppelkon-
struktionen
aus Eisen

Bildet heute der Stahlskelettbau ein Hauptverwendungsgebiet des Stahls im Geschoßbau, so gilt und galt seit Beginn der Einführung des Stahls im Hochbau dasselbe für die *Dach-, Hallen- und Kuppelkonstruktionen*.

Das Tragwerk der eisernen Dach- und Hallenkonstruktionen besteht in der Regel aus einzelnen, in parallelen Ebenen angeordneten Bindern, welche durch besondere Quer- und Windverbände in der

Richtung senkrecht zu diesen Ebenen ausgesteift sind, somit ein räumliches System bilden. Die auf dieses Tragwerk aufgebrachte Dachhaut hat in der Hauptsache die Funktion des Schutzes vor äußeren Einwirkungen wie auch der Übertragung der Deckenlasten auf die Binder; daneben kann sie mit zur Aussteifung des Tragwerkes herangezogen werden. Es besteht somit eine weitgehende Trennung von Tragwerk und Raumabschluß.

Infolge der hohen und gleichmäßigen Material-Festigkeiten ist für die Ausbildung großer Hallenkonstruktionen mit weitgespannten Bindern die Stahlkonstruktion besonders geeignet, während bei kleinen Spannweiten Holz und Eisenbeton mit in Betracht fallen. Der Dach- und Hallenbau in Stahl ist gekennzeichnet durch die große Mannigfaltigkeit der Lösungen, die er in statischer Hinsicht bietet. Die hochentwickelte Eisenstatik läßt die Wahl zwischen statisch bestimmten und hochgradig statisch unbestimmten Systemen, wobei als maßgebende Faktoren in erster Linie die örtlichen Verhältnisse, namentlich diejenigen des Baugrundes, die Art der Aufstellung der Konstruktion, die zur Verfügung stehende Bauzeit und die Kostenfrage in Erscheinung treten.

Die Binder können einheitlich bis auf die Fundamente hinabreichen oder aber sie werden auf einen Unterbau aus Mauerwerk, Eisen oder Eisenbeton (vgl. Abb. 39) aufgesetzt. Im letzteren Fall wird die Eisenkonstruktion, zur Vermeidung wagrechter Auflagerreaktionen bei lotrechter Belastung, als Balken ausgebildet, während im ersteren Fall Bogentragwerke bei gutem Baugrund wirtschaftlicher sind.

Die Formgebung der Binder hängt in erster Linie von dem erforderlichen Lichtraumprofil, der Belichtung sowie den aufzunehmenden Belastungen ab (vgl. Abb. 38).

Wie die Balken können auch die Bogen als Vollwand- oder als Fachwerkbinder ausgebildet werden. Vollwandige Bogenbinder kommen vornehmlich für jene Fälle in Betracht, in denen die Bogenform möglichst der Drucklinie aus den hauptsächlichsten Lasten angepaßt werden kann, sodaß keine großen Biegemomente auftreten. Fachwerkartige Bogenbinder sind in der Formgebung freier; sie können sich einem vorgeschriebenen Lichtraumprofil leichter anpassen und ermöglichen daher im allgemeinen sehr günstige Belichtungsverhältnisse. Infolge der leichteren Konstruktion ist insbesondere bei großen Spannweiten und Belastungen die

Ausführung von Fachwerkbogen aus wirtschaftlichen Gründen zweckmäßiger als diejenige von Vollwandbogen.

Die *Längssteifigkeit*, d. h. die räumliche Festlegung der Binder wird, abgesehen von der aussteifenden Wirkung der Dachhaut, durch die Pfetten und die Windverbände gewährleistet. Letztere übertragen auch die senkrecht zu den Binderebenen wirkenden Windkräfte.

Die je nach Spannweite und Belastung vollwandig oder fachwerkartig ausgebildeten *Pfetten* werden senkrecht zum Obergurt oder lotrecht gestellt. Die Pfette wird sowohl von lotrechten Lasten (Eigengewicht, Schnee etc.) wie auch von senkrecht zur Dachfläche wirkenden Lasten (Wind) beansprucht. Die parallel zur Dachfläche verlaufenden Komponenten werden hierbei durch Aufhängen an der First- oder Abstützung auf die Traufpfette aufgenommen. Durchlaufende Pfetten werden mit Rücksicht auf die Ausdehnungsmöglichkeit und statische Gründe mit Mittelgelenken versehen.

Der *Windverband* hat gemeinsam mit den Bindern die senkrecht zu den Binderebenen wirkenden Windkräfte in die Fundamente zu übertragen. Der Windverband wird gewöhnlich als durchgehender Fachwerk- oder Rahmenträger in die Ebene der gedrückten Obergurte, d. h. in die Dach- oder Wandfläche gelegt; die vorhandenen horizontalen und vertikalen Wandglieder bedürfen hierbei noch der Diagonalverbindung oder der Eckaussteifung. Der Windverband kann in allen Feldern ausgebildet werden; es genügt jedoch die Verstrebung der Endfelder, bzw. derjenigen Felder, an welche Felder mit Pfettengelenken anstoßen; die übrigen Binder stützen sich mittelst der horizontalen Tragglieder (Pfetten, Riegel) auf diese räumlich festgelegten Binder.

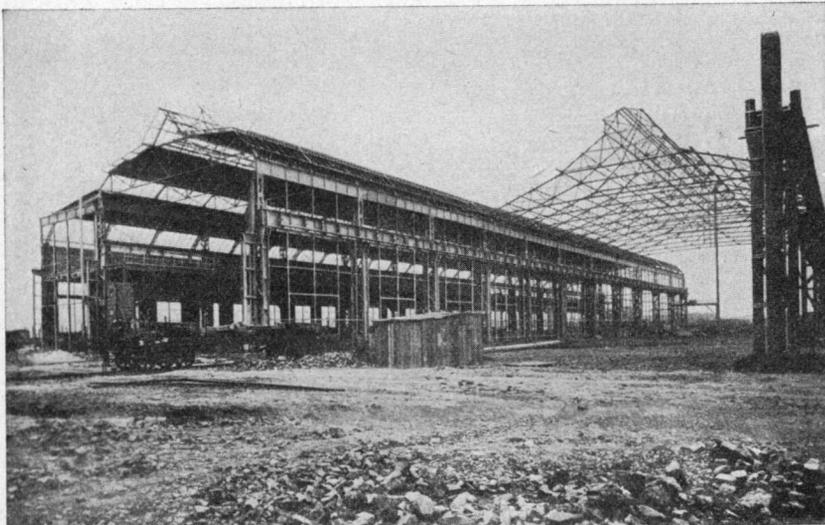
Die *Längssteifigkeit* kann je nach der Ausbildung der *Dachhaut*, bzw. der Längswand in kleinerem oder größerem Maße durch dieselbe erhöht werden. Da die übliche Ausmauerung oder Ausbetonierung der Wände wie auch die Ausbildung der Dachhaut eine nur druckfeste Aussteifung darstellt, ist jedoch ein eigentlicher druck- und zugfester Windverband immer notwendig; letzterer ist schon während des Zusammenbaues anzubringen, da sonst ein Umkippen der Binder bei Windangriff zu befürchten wäre. Je nach den Bedürfnissen in bezug auf Wärmeisolierung und Wetterschutz wird unter den bekannten Eindeckungsarten (Ziegel, Schiefer, Eternit, armierte Leichtbetonplatten, Metallplatten, Wellblech, Glas etc.),

Abbildung No. 38



Hallenbau in Eisen. Vollwandbinder
Markthalle in Berlin / Ausführung Hein-Lehmann & Co. A. G.

Abbildung No. 39



Hallenbau in Eisen. Fachwerkbinder
Werkstätten und Hofkranbahn der Aug. Thissen-Hütte in Hamborn
Ausführung Ges. Harkort

welche mittelst Hilfskonstruktionen (Sparren, Latten etc.) auf die Pfetten aufgesetzt werden, die Wahl zu treffen sein.

Eine neuere Hallenkonstruktion aus Stahl ist das *Junkersche Lamellendach*, dessen Tragwerk im Gegensatz zu vorgenannten Konstruktionen nicht aus einzelnen tragenden ebenen Bindern und deren Längsaussteifung, sondern aus einem den Raum gleichmäßig überwölbenden, aus Lamellen zusammengesetzten Netz besteht (vgl. Zollbauweise in Holz). Die Lamellen werden aus dünnem Eisenblech maschinell gepreßt und gelocht. Die Verbindung der einzelnen Lamellen geschieht biegungsfest. Infolge der vielen Stäbe und Auflagerpunkte ist diese Konstruktion in hohem Maße statisch unbestimmt; die Berechnungen erfolgen deshalb auf Grund vereinfachender Annahmen.

Die Beschränkung der Konstruktionselemente auf ein einziges Element — die Lamelle — ist wirtschaftlich günstig; der Transport der in Bündeln vereinigten Lamellen ist einfach.

Die raumabschließende Dachhaut dient sowohl als Schutz wie auch als Aussteifung des Lamellennetzes. Sie kann aus fertigverlegten Platten oder im Spritzverfahren an Ort und Stelle hergestellt werden. Außen und innen werden je nach Bedürfnis noch weitere isolierende Stoffe angeordnet.

Neben diesen Hallenkonstruktionen sei noch auf die *Kuppelkonstruktionen* aus Stahl hingewiesen, welche statisch bestimmte oder unbestimmte räumliche Tragwerke bilden. Dieselben können entweder aus einzelnen meridianartig angeordneten, durch Querverbände (Pfetten, Diagonalen etc.) ausgesteiften, ebenen Bindern bestehen oder ein zusammenhängendes räumliches Netz, dessen sämtliche Knotenpunkte auf der raumabschließenden Mantelfläche liegen, bilden. Im allgemeinen erfordert die Schubaufnahme infolge der lotrechten Lasten einen zugfesten Fußring, während am Scheitel gewöhnlich ein Druckring angeordnet wird.

V. Zusammenfassung

In den vorstehenden vier Abschnitten ist versucht worden, im Anschluß an ältere Konstruktionen einen Überblick über die heutigen bautechnischen Ausbildungsmöglichkeiten eines Tragwerkes und dessen Raumabschlusses zu geben.

In den nachfolgenden Betrachtungen soll — ausgehend von den heutigen Bauaufgaben, bzw. den für den Entwurf, die bautechnische Durchbildung und die Ausführung derselben maßgebenden Bedingungen — versucht werden, die verschiedenen, für die Lösung dieser Bauaufgaben jeweils in Betracht fallenden bautechnischen Ausbildungsmöglichkeiten zusammenzustellen und ihre Eignung zu untersuchen.

Die *heutigen Bauaufgaben* sowie die für deren Lösung maßgebenden Gesichtspunkte sind durch die — in der Einleitung dieser Arbeit erwähnten — Bedingungen und Möglichkeiten unserer Zeit gegeben.

Eine der ersten und wichtigsten Aufgaben ist für die durch den Krieg betroffenen Länder Europas die serienmäßige Herstellung billiger, gesunder *Kleinhäuser* zu Wohnzwecken; eine für den Architekten neuartige Aufgabe, die auch von neuen Gesichtspunkten aus betrachtet und mit anderen Mitteln gelöst werden muß. Dieser Aufgabe gegenüber tritt die Herstellung relativ teurer, individueller Einzelhäuser an Bedeutung zurück; ferner ist letztere Aufgabe, obwohl sie unter veränderten Anschauungen bezüglich Wohnform, Hygiene etc. zu lösen ist, eine Aufgabe, die an eine lange Tradition anschließen kann.

Die übrigen heutigen Bauaufgaben des Architekten — Mietshäuser, Bureau-, Geschäfts- und Warenhäuser, öffentliche Gebäude, Hotels, Spital- und Schulhausbauten etc. —, welche in europäischen Städten in der Mehrzahl als vier- bis siebenstöckige Geschoßbauten, seltener als Hochhäuser ausgeführt werden, während in den amerikanischen Großstädten die Hochhaus-, bzw. Wolkenkratzerbauten immer mehr überhandnehmen, lassen sich für die nachstehende Betrachtungsweise, in welcher die bautechnische Ausbildung untersucht werden soll, als *Mehrgeschoßbauten* zusammenfassen. Selbstredend werden die mehr oder weniger ausgesprochenen Sonderbedürfnisse

dieser Bauten, insbesondere die durch die besondere Zweckbestimmung bedingte Grund- und Aufrißanordnung, die Belichtung und Fensterdisposition etc. sowie ästhetische Erwägungen neben den rein technisch-konstruktiven und wirtschaftlichen Bedingungen auf die bautechnische Ausbildung einen großen Einfluß ausüben.

Als dritte grundsätzliche Bauaufgabe ist der *Hallen-, bzw. Saal- und Kuppelbau* zu nennen, dessen Ausbildung in Anbetracht der großen Spannweiten im allgemeinen stark durch statisch-konstruktive Überlegungen festgelegt wird.

Nachstehend seien — auf Grund dieser drei grundsätzlichen Bauaufgaben — die heute bestimmenden grundsätzlichen Bedingungen für den Entwurf derselben und die Eignung der heute bekannten, jeweils in Betracht fallenden bautechnischen Lösungsmöglichkeiten untersucht. Bezüglich der letzteren sollen nur allgemeingültige Gesichtspunkte erwähnt werden; daneben sind die besonderen örtlichen Verhältnisse für die Wahl der bautechnischen Ausbildung von großer Wichtigkeit. Insbesondere sind, neben dem Einfluß des Baugrundes, des Klimas, der zur Verfügung stehenden Arbeitskräfte etc., die ortsüblichen Baustoffe, d. h. die in der nahen Umgebung des Bauplatzes gewonnenen oder billig zu beschaffenden Baustoffe für die konstruktive Durchbildung in hohem Maße mitbestimmend. Die Abhängigkeit von den örtlichen Baustoffen wird die Verwendung von Ziegeln und Beton, deren Rohstoffe ein relativ gleichmäßiges Vorkommen aufweisen, ferner die Verwendung von Holz und Naturstein, welche Baustoffe auf einfache Weise baulich verwertet werden können, im allgemeinen begünstigen. Demgegenüber werden Baustoffe, deren Erzeugungs-, bzw. Gewinnungs- und Verarbeitungsgebiete örtlich beschränkt sind — Eisen, Kunststein, Bimsbeton etc. —, der Mehrbelastung durch die Transportkosten und der Beschädigungsgefahr auf dem Transport wegen an ein örtlich enger begrenztes Verwendungsgebiet gebunden sein. Die stetige Entwicklung, Verbesserung und Verbilligung der Transportmittel wird hier jedoch mit der Zeit einen ausgleichenden Einfluß ausüben.

Der *Kleinhausbau*, unter welchem der meist ganz oder teilweise unterkellerte ein- und zweigeschossige Bau, mit teilweise ausgebautem oder eventuell vollem dritten Geschoß vorausgesetzt sei, fällt

in erster Linie für Wohnhausbauten in Betracht. Die billige Herstellung von Klein-Wohnhäusern ist in Anbetracht der in der Einleitung skizzierten wirtschaftlichen Lage und der veränderten sozialen Verhältnisse in den letzten Jahren eines der wichtigsten Bauprobleme geworden.

Die auf ein bis drei Stockwerke verteilte Kleinwohnung wird heute im allgemeinen der Wohnung in einer «Mietskaserne» vorgezogen. Hierfür sind hygienische und soziale Faktoren maßgebend. Während die älteren Mietskasernen in relativer Nähe des Stadtzentrums in enger Bebauung erstellt wurden, und der durch die hohen Bodenpreise bedingte Mangel an Raum, Licht und Luft ungesunde Wohnverhältnisse schuf, sind die meisten neuen Klein-Wohnhaus-Siedlungen außerhalb der Städte und Großstädte, fern von Staub und Lärm, als mehr oder weniger selbständige Trabanten-Städte, unter günstigen hygienischen Voraussetzungen erbaut worden. Die billigeren Bodenpreise gestatten hierbei die Zuteilung eines Gartens zu jedem Kleinhaus, was für die Gesundheit der Bewohner wertvoll ist. Die Trabanten-Stadt muß selbstredend mit der Hauptstadt, bzw. dem Arbeitsort durch gute und billige Verkehrsmittel verbunden sein. Eine allzuweite Entfernung der Wohnung vom Arbeitsort bedingt wirtschaftlich ungünstige Zeitverluste. In New-York z. B. verlieren die in den als Gartensiedlungen gebauten Vorstädten wohnenden Arbeiter, Angestellten etc. auf diese Weise pro Tag mehrere Stunden.

Die Erzielung möglicher Wirtschaftlichkeit der Häuser, d. h. die Herabsetzung der Erstellungs-, Unterhalts- und Betriebskosten wird auf verschiedene Art versucht. Dem teuren Einzelhaus wird im allgemeinen das wirtschaftlichere *Reihenhaus* vorgezogen; letzteres weist infolge der Ersparnis einer Mauer geringere Herstellungskosten, wie auch dank der verminderten Heizungskosten, ferner der geringeren Außenfläche geringere Betriebs-, bzw. Unterhaltskosten auf. Die Belichtung und Belüftung läßt sich bei geeigneter Orientierung und Grundrißanordnung einwandfrei gestalten. Die Grund- und Aufrißdisposition erfolgt unter Berücksichtigung einfachster Wohnbedürfnisse, weitgehender Beachtung hygienischer Faktoren — Orientierung zur Sonne und zum Wind, Anordnung und Größe der Fenster zwecks genügender Belichtung und Belüftung etc. — unter dem Gesichtspunkt der möglichen Ersparnis an Raum, bzw. an Arbeit und Baustoff, ferner der Einschränkung der späteren Be-

triebskosten, insbesondere der Heizkosten. Die Wirtschaftsräume — Küche, Waschküche etc. — werden unter genauer Beachtung des Arbeitsvorganges und der möglichsten Vermeidung unnützer Verkehrsflächen in der knappesten Weise dimensioniert, während der Wohnraum als hauptsächlichster Aufenthaltsraum relativ groß gehalten wird. Ferner werden durch zweckmäßige Anordnung von Küche, Bad, Abort und Waschküche die Kosten für Installationen, bezw. Leitungen möglichst vermindert.

Zusammen mit dem Entwurf dieser Kleinhäuser muß auch die bautechnische Durchbildung unter rationellen Gesichtspunkten durchgedacht werden. Die starke Gebundenheit der Grund- und Aufrißdisposition durch die Forderungen der Zweckmäßigkeit verlangt im allgemeinen eine sehr anpassungsfähige Konstruktionsweise. Die Erfüllung der durch den Architekten gestellten Forderungen ist oft schwierig mit den Forderungen einwandfreier Konstruktion zu vereinigen. Im allgemeinen sollten die Forderungen der Wohnbarkeit, Bewirtschaftung etc., da sie das eigentliche Endziel darstellen, die primären sein, welchen sich die Forderungen des Konstrukteurs unterzuordnen haben; denn die Konstruktion ist wohl Mittel zum Zweck, nicht aber Endzweck. Wenn somit Vergewaltigungen des Entwurfs durch konstruktive Überlegungen möglichst vermieden werden sollten, so soll andererseits auch schon beim Entwurf auf die konstruktive Durchbildung Rücksicht genommen werden, um eine saubere Konstruktion überhaupt in den Bereich der Möglichkeiten zu stellen.

Die große Anzahl der Häuser legt es im Serienbau nahe, durch serienmäßige Herstellung der Bauelemente eine Verbilligung derselben anzustreben. Die serienmäßige Anfertigung der Bauelemente — Wand- und Deckenelemente, Fenster, Türen, Türzargen etc. — geschieht auf Grund von Normen unter möglichster Zuhilfenahme maschineller Arbeitskräfte und -Methoden in Fabriken, bezw. auf Werkplätzen. Je nach der Art der Bauelemente, insbesondere der Wandelemente, verbleibt eine größere oder kleinere Freiheit für den Zusammenbau derselben. Einige der normierten Bauelemente gestatten sehr verschiedenartige Möglichkeiten des Zusammenbaues; letzterer läßt dann die Berücksichtigung individueller Wünsche und besonderer örtlicher Verhältnisse zu; andere normierte Bauelemente hingegen erlauben nur wenige Möglichkeiten, bezw. nur eine einzige Art der Zusammensetzung;

möglichkeiten der Häuser sind dann auf wenige Typen, bzw. auf einen festen Typ beschränkt; hierbei besteht naturgemäß die Gefahr der Verödung des Kleinhausbaues. Trotzdem werden mit Recht zunächst unter dem Zwang der Notwendigkeit die Wirtschaftlichkeit und die technische Güte der Häuser als ausschlaggebende Faktoren betrachtet, denen besondere individuelle Wünsche und örtliche Rücksichten sich unterzuordnen haben.

Neben der Verbilligung der Bauelemente sind die Verkürzung der Bauzeit, ferner die möglichste Trockenheit der Bauten und endlich die möglichste Unabhängigkeit des Bauvorganges von der Witterung, insbesondere dem Frost, die weiteren Ziele der technisch-konstruktiven Ausbildung der Kleinhäuser.

Die Verkürzung der Bauzeit im Hinblick auf die Verminderung der Bauzinsen sowie den verzögernden Einfluß schlechter Witterung wird dadurch ermöglicht, daß die handwerkliche Arbeit auf dem Bauplatz eingeschränkt wird; diese Forderung wiederum führt zu größeren, in der Fabrik, bzw. dem Werkplatz fertiggestellten Bauelementen, deren Zusammenbau je nach Gewicht mit oder ohne Hilfe von Kränen, Förderanlagen etc. rasch erfolgen kann.

Die Vergrößerung der Bauelemente, insbesondere der Wandelemente, gestattet zugleich auch infolge der kleineren Anzahl der Mörtelfugen eine Verminderung der Baufeuchtigkeit, gewährleistet somit eine größere Trockenheit und eine schnellere Bewohnbarkeit der Wohnungen. Die Verwendung fertig-verlegbarer Decken- und Dachelemente unterstützt diese Bestrebungen in hohem Maße.

Die Unabhängigkeit der Ausführung von der Witterung, insbesondere dem Frost, zwecks Ermöglichung eines ununterbrochenen Baubetriebes im Gegensatz zur Saisonarbeit, bedingt die möglichste Einschränkung der Mauer- und Betonarbeiten, da letztere bei tiefen Temperaturen nicht oder nur unter erschwerenden Umständen ausgeführt werden können.

Nachdem vorstehend kurz die wesentlichsten, für den Entwurf, die bautechnische Durchbildung und die Ausführung der Kleinhäuser, insbesondere der billigen, serienmäßig hergestellten Kleinhäuser maßgebenden Gesichtspunkte erwähnt worden sind, sei anschließend versucht, die heute für die Lösung dieser Aufgaben in Betracht fallenden konstruktiven Möglichkeiten auf ihre Eignung hin zu untersuchen.

Von den in den vier Abschnitten dieser Arbeit erwähnten Ausbildungsmöglichkeiten fallen in Betracht: das Kleinhaus aus Holz, das Kleinhaus mit Naturstein-, Ziegelstein-, Leichtbeton- oder Eisenbetonwänden, das Eisenbeton- und Stahlskelett-Kleinhaus und endlich das Stahlhaus mit Stahlblechhaut.

Das *Kleinwohnhaus aus Holz* (vgl. Abschnitt 1, Seite 15 u. f.) wird in Europa nurmehr in beschränktem Maße gebaut, während es in den Vereinigten Staaten von Nordamerika sehr verbreitet und beliebt ist. Obwohl der Holzhausbau in holzreichen Gegenden sehr billig ist und mit weiteren großen Vorzügen, wie z. B. der weitgehenden Arbeitsvorbereitung in der Werkstatt, dem raschen Zusammenbau auf dem Bauplatz, der großen Trockenheit, der guten anfänglichen Wärmehaltung etc. verbunden ist, ist seine Anwendung infolge der Nachteile, worunter die Feuersgefahr, das Schwinden und Quellen sowie die Holzkrankheiten die wichtigsten sind, eine beschränkte. Kann die Feuersgefahr auch durch Verkleidung mit feuersicheren Platten, Rabitzkonstruktion etc. erheblich vermindert werden, so setzt sie doch den Entwicklungsmöglichkeiten des Holzhauses Grenzen; vor allem beschränkt sie zusammen mit den Schwinderscheinungen die Höhenentwicklung; ferner verunmöglicht sie die Erstellung von Reihenhäusern. Wird das Holzhaus hingegen als Einzelhaus mit weitem Umschwung erbaut, so ist die Feuersgefahr bei Brandausbruch auf das einzelne Haus beschränkt. Die Schwinderscheinungen, welche besonders bei Verwendung nur kurz gelagerten Holzes groß sind, haben ein fortwährendes Arbeiten der Konstruktion zur Folge, was zu Rißbildungen führt und neben der Bekämpfung der Holzkrankheiten besonderen Unterhalt verlangt; die Güte des Raumabschlusses leidet erheblich unter diesen Rißerscheinungen.

In holzreichen Gegenden, wo keine anderen oder nur teurere Bauweisen möglich sind, wird das Holzhaus, namentlich als normiertes, serienmäßig hergestelltes, billiges, freistehendes Einzelwohnhaus willkommen sein. Darüber hinaus ist es infolge seiner raschen Erstellungs- und Abbruchmöglichkeit für die Errichtung von Wohn- und anderen Kleinhäusern vorübergehenden Charakters besonders geeignet.

Die Ausbildungsart der Holzwand: Block-, Ständer-, Fachwerkwand, bzw. Skelett aus Ständern und Riegeln, bzw. Rahmen, wird in erster Linie von wirtschaftlichen Erwägungen abhängig sein. Bei

niedrigem Holzpreis kommt die warme, innen verschalte, bezw. getäfelte Blockwand in Frage, während bei höherem Holzpreis die aufgelösten Konstruktionen neuerer Ausbildung in Betracht fallen.

Als Decken kommen nur Holzdecken — Balken-, bezw. Bohlen- oder Kasettendecken —, deren Feuersicherheit, Wärme- und Schallisolierfähigkeit sowie Erstellungskosten je nach Ausführung recht verschieden sind, in Frage (vergl. Abschnitt 1, Seite 25 u. f.).

Als Dachtragwerk kommt gleichfalls nur eine Holzkonstruktion in Betracht, sei es in Form eines flachen oder eines schrägen Daches. Die Kosten eines technisch einwandfreien Daches, die Benützbarkeit des Dachraumes oder dessen eventueller Ausbau werden für die Wahl des einen oder anderen Daches maßgebend sein.

Das *Kleinwohnhaus mit Natursteinmauern* (vgl. Abschnitt 2, Seite 38 u. f.) stellt heute in Anbetracht des sehr hohen Preises der Natursteine und der teuren Erstellung des Natursteinmauerwerkes eine seltene Ausführung dar. Natursteinmauerwerk kommt einerseits bei teuren Einzelwohnhäusern, meistens als geschichtetes Mauerwerk mit Hintermauerung aus Ziegelsteinen etc. vor; andererseits wird es in abgelegenen Gegenden, wo der Naturstein das einzige ortsübliche Material ist — Berggegenden oberhalb der Baumgrenze, Tessin, Bretagne etc. —, meistens als nicht oder wenig bearbeitetes Bruchstein- oder Zyklopenmauerwerk verwendet.

Hohe allgemeine Bedeutung kommt hingegen dem *Klein-Wohnhaus mit Ziegelsteinwänden* zu (vgl. Abschnitt 2, Seite 42 u. f.). Bis vor wenigen Jahren das beinahe ausschließliche Bauelement für die Mauern der Kleinwohnhäuser, ist der Ziegelstein auch heute noch ein überaus beliebtes Bauelement des Kleinhausbaues. Die technische Weiterbildung der Ziegelkonstruktionen, die dank guter Festigkeitseigenschaften und genügender Wärmeisolierfähigkeit (Hohlziegel, Hohlmauern etc.) der neuzeitlichen Ziegel die Erstellung von Mauern und Pfeilern geringerer Abmessungen als früher ermöglichen, haben im Verein mit der Wirtschaftlichkeit der Konstruktion, dem einfachen Bauvorgang, dem ausgedehnten Vorkommen des Baustoffes, bezw. der weitverbreiteten Herstellung der Bauelemente und nicht zuletzt der großen Anpassungsfähigkeit des kleinen Bauelementes an die Forderungen des Grund- und Aufrisses immer wieder die Konkurrenzfähigkeit der Ziegelbauweise gegenüber anderen Baustoffen, bezw. Bauweisen sichergestellt.

Den mannigfachen Vorzügen der Ziegelmauer steht jedoch hauptsächlich der Nachteil der durch die große Zahl der Mörtelfugen bedingten hohen Baufeuchtigkeit, die für das Beziehen der Wohnungen eine längere Wartefrist bedingt, gegenüber.

Dieser Nachteil wirkt sich besonders im Serienbau, bei welchem die möglichst sofortige Beziehbarkeit der Wohnungen eine sehr wichtige Bedingung darstellt, aus. Bei reihenmäßig angeordneten Kleinhäusern kann eine Verbesserung dadurch vorgenommen werden, daß nur die zur Fassade quergestellten Innenmauern als tragende Ziegelmauern ausgebildet werden, während die Fassaden aus größeren, isolierenden, nur sich selbst tragenden Steinen, bzw. Platten hergestellt werden können (vgl. Bauart der Siedlung Dessau-Törten von Prof. Gropius). Immerhin ist für den Serienbau damit zu rechnen, daß neben dem Ziegelbau eine neue Bauweise, welche die besonderen Bedingungen des serienmäßigen Kleinhausbaues — Verkürzung der Bauzeit durch Verwendung größerer Bauelemente und Verlegung eines großen Teiles der Arbeit in die Werkstatt, verbunden mit großer Trockenheit und Unabhängigkeit des Bauvorganges von der Witterung — in höherem Maße berücksichtigt, zu noch wirtschaftlicherem Bauen führt.

Für den individuellen Einzelbau, bei welchem die Bauzeit sowie die ein frühzeitiges Beziehen der Häuser hindernde Baufeuchtigkeit eine kleinere Rolle als im Serienbau spielen, werden die Ziegelsteine üblichen Formates infolge ihrer technisch-wirtschaftlichen Eigenschaften und ihrer großen Anpassungsfähigkeit an besondere individuelle Wünsche und örtliche Verhältnisse immer ein wertvolles Bauelement darstellen.

Als Deckenkonstruktionen kommen beim Kleinhaus mit Ziegelsteinwänden alle bekannten Ausführungsarten in Betracht. Die Wahl hängt von örtlichen Verhältnissen (zur Verfügung stehende Baustoffe, Deckensysteme und deren Kosten), ferner von den Eigenschaften der Decken (statische, schall-, feuchtigkeits- und wärmetechnische Eignung), sowie dem Bauvorgang (Bauzeit, Baufeuchtigkeit etc.) ab.

Die bekanntesten Deckensysteme, die hierbei in Frage kommen, sind: die Holzbalkendecke (vgl. Abschnitt 1, Seite 25 u. f.), die Eisenbetondecke — auf dem Bauplatz erstellte Voll-, Rippen- oder Hohlkörperdecken sowie Eisenbetonträgerdecken aus fertig-verlegten trockenen Bauelementen — (vgl. Abschnitt 3, Seite 65 u. f.)

sowie die Eisenträgerdecken mit Betonausfüllung oder Hourdisaussetzung (vgl. Abschnitt 4, Seite 92 u. f.).

Die billigen Holzdecken werden infolge der Feuers- und Krankheitsgefahr des Holzes mehr und mehr durch die in diesen Punkten einwandfreieren Massivdecken ersetzt. Bei den Massivdecken bildet die hohe Baufeuchtigkeit der an Ort und Stelle hergestellten Eisenbetondecken, bzw. Decken mit Betonfüllung, sowie die Verzögerung des Bauvorganges durch Rüstungen und Schalungen stets einen Nachteil gegenüber den Eisen- und Eisenbetonträgerdecken aus fertig verlegten Werkstücken. Die Trägerdecken finden für diese kleinen Bauaufgaben eine immer größere Verwendung. Zufolge der meist sehr elastischen Konstruktionen ist den Fragen der Rißgefahr zwischen den einzelnen Tragelementen, bzw. im Verputz, sowie der Schall- und Wärmeisolierung große Beachtung zu schenken; durch Ummanteln in Zementbeton kann die lotrechte Durchbiegung wesentlich verkleinert und der Eisenträger vor Rost geschützt werden.

Das Dach der Kleinhäuser mit Ziegelsteinmauern, bis vor einigen Jahren durchwegs als Schrägdach mit Holzdachstuhl und Ziegel-, Schieferbedeckung etc. hergestellt, wird heute namentlich in den neueren Groß-Siedlungen Deutschlands oft als Flachdach ausgeführt, wobei als Tragkonstruktion Holz-, Eisenbeton- oder Eisenträger, ferner Eisenbetonplatten gewählt werden können.

Die Frage Schräg- oder Flachdach für den Kleinwohnungsbau — wobei vom ausgebauten Schrägdach mit abgeschrägten Zimmern, mangelhaftem Schutz gegen Temperaturänderungen, schwieriger konstruktiver Ausbildung und hohen Kosten etc. abgesehen sei — wird neben der technischen Bewährung des Flachdaches, in der Hauptsache eine Frage der Wirtschaftlichkeit sein. Die Erstellungskosten des schrägen, nicht ausgebauten Daches, die Benutzungsmöglichkeit des Dachraumes als Trockenraum, Estrich etc. werden den Erstellungs- und Unterhaltungskosten des Flachdaches sowie den eventuellen Kosten für einen besonderen Trockenraum, bzw. Estrich gegenüberzustellen sein. Die Ausbildungsmöglichkeit des Flachdaches als Dachgarten ist wertvoll, jedoch teuer und in Anbetracht dessen, daß im billigen Kleinwohnungsbau nur die nötigsten Bedürfnisse berücksichtigt werden, ferner diese Kleinhäuser meistens auf dem freien Land gebaut und mit Gärten ausgestattet

122

sind, als Luxus zu betrachten. Im individuellen teuren Einzelhausbau hingegen mag das Flachdach eine wertvolle Bereicherung darstellen; auch kann es die Disposition des Grundrisses unter Umständen erleichtern. Ganz besonders ist das Flachdach bei am Hang gelegenen Häusern angebracht, da hierdurch die Aussicht von den dahinter und höher befindlichen Häusern, bezw. Straßen möglichst gewahrt bleibt.

Das *Kleinwohnhaus mit Leichtbetonwänden* (vgl. Abschnitt 2, Seite 48 u. f.) wird heute vornehmlich aus Bims-, Zellen- oder Gasbetonsteinen gemauert, ferner aus Bimsbetonplatten zusammengebaut, seltener hingegen aus Leichtbeton gegossen.

Die Ausführung der Wände mit Bims-, Zellen- oder Gasbetonsteinen weist grundsätzlich gegenüber der Ausführung mit Ziegelsteinen keinen Unterschied auf. Während die Bimsbetonsteine in den vielen Jahren ihrer Verwendung sich über ihre technische und wirtschaftliche Eignung hinlänglich ausgewiesen haben, sind hingegen die künstlichen Leichtbetonsteine erst in den Anfängen ihrer Entwicklung; weitere Versuche und Erfahrungen werden zweifellos zur Vervollkommnung dieser Bauelemente führen.

Ein für die heutige Verbreitung der Leichtbetonsteine in Betracht fallender Nachteil gegenüber den Ziegelsteinen besteht darin, daß die Verwendung sowohl der Bimsbetonprodukte infolge des örtlich beschränkten Vorkommens der Rohstoffe als auch der künstlichen Leichtbetonprodukte infolge ihrer erst geringen Verbreitung und des patentamtlichen Schutzes vorerst noch an örtliche Grenzen gebunden ist.

Bezüglich der Decken- und Dachausbildung gelten dieselben Grundsätze wie für das Haus mit Ziegelsteinwänden.

Von besonderem Interesse für den serienmäßigen Kleinwohnhausbau sind die großformatigen Bimsbetonplatten, wie sie z. B. in den großen Siedlungen der Stadt Frankfurt a. M. weitgehend zur Verwendung gelangen (vgl. Abschnitt 2, Seite 49). Die Verkürzung der Bauzeit sowie die Erzielung großer Trockenheit sind die Ziele, welche diese Bauweise verfolgt. Sie stellt einen der ersten Versuche dar, die wirtschaftlichen Vorteile, welche die Erstellung einer großen Anzahl typisierter Häuser ermöglicht, auszunutzen. Fabrikmäßige, geschützte Herstellung großformatiger Wandplatten, ferner rascher Zusammenbau auf dem Bauplatz mit Hilfe von Kränen,

Förderanlagen etc., bei möglicher Einschränkung der handwerklichen Arbeit sind die Mittel, mit welchen die Erzielung einer wirtschaftlichen und zugleich technisch zweckmäßigen Bauweise versucht wird. Wenn auch die technische Durchbildung der Plattenwand mit manchen Schwierigkeiten — fehlerlose Herstellung der Platten, Fugenausbildung, Wasserdichtigkeit etc. — zu kämpfen hatte und die besondere Wirtschaftlichkeit zunächst noch nicht einwandfrei erwiesen wurde, zeigt diese Bauweise trotzdem einen Weg, auf welchem sich der Bau großer, billiger Kleinhaussiedlungen weiter entwickeln kann.

Die Voraussetzungen für eine rationelle Anwendung dieser Bauweise im Bau billiger und großer Kleinhaussiedlungen sind mannigfaltig. Außer der vorläufigen Bindung an das örtliche Vorkommen des Bimsbetons, ist vor allem die Erstellung der Platten in der Nähe des Bauplatzes notwendig, andernfalls sich infolge des hohen Gewichtes derselben zu hohe Transportkosten — abgesehen von der Bruchgefahr — ergeben würden. Diese örtliche Beschränkung des Absatzgebietes und die ganz spezialisierte Verwendung des Produktes als Wandbauelement typisierter Häuser schließt einen eigentlichen, durchgehenden Fabrikbetrieb, wie er z. B. in der Ziegel- oder Eisenindustrie möglich ist, beinahe aus, bzw. läßt sie nur in Ausnahmefällen temporär als wirtschaftlich erscheinen. Aus diesem Grunde werden die Kosten der Plattenherstellung, bzw. die Anlage- und Betriebskosten der Plattenfabrik immer stark ins Gewicht fallen. Eine weitere Bindung entsteht dadurch, daß das Verfahren des Kranes ein möglichst ebenes Terrain verlangt. Selbstredend eignet sich diese Bauweise nur bei großen Siedlungen, da das in den Kränen und den zugehörigen maschinellen Einrichtungen investierte Kapital eine möglichst dauernde, intensive Verwendung erfordert.

Für die Herstellung typisierter Einzelhäuser kommt eine solche Plattenwand kaum in Betracht, da die Kosten der maschinellen Bauplatzeinrichtung zu hoch wären. Für den individuellen Hausbau würden ferner die großen Plattenabmessungen eine nur geringe Berücksichtigung der besonderen Wünsche zulassen.

Als Deckenkonstruktion werden entsprechend dem Grundsatz des Trockenbaues vor allem die fertig-verlegbaren Eisenträgerdecken (Leichtträger etc.) und Eisenbetonträgerdecken (aneinandergereihte oder in kleinen Abständen verlegte Balken), wobei die Zwischen-

räume durch Hourdis oder Hohlkörper überdeckt werden, verwendet. Für die Dachkonstruktion, sofern sie als Flachdach ausgeführt wird, ist die Verwendung der vorgenannten Eisen- und Eisenbetonträgerdecken sowie auch der Holzbalkendecken als Tragkonstruktion zweckmäßig.

Die Ausführung der Mauern von Kleinwohnhäusern aus *Gußbleicht-beton* (vgl. Abschnitt 2, Seite 50) tritt wegen der technischen Nachteile, vor allem wegen des Schwindens und der hohen Baufeuchtigkeit, ferner der Abhängigkeit von der Witterung trotz wirtschaftlicher Herstellungsmethoden — Verwendung mehrfach benutzbarer normierter Schalungen aus Holz oder Blech — für die Ausführung von Siedlungs- und Einzelhäusern zurück.

Die Ausbildung der Wände von Wohnhäusern aus *Eisenbeton* mit innerer wärmeisolierender Auskleidung (vgl. Abschnitt 3, Seite 62) kommt vorläufig erst nur in besonderen Fällen individueller Baugestaltung, wo infolge großer Öffnungen, Auskragungen etc. der Eisenbeton sehr willkommen ist, in Betracht.

Kleinhäuser mit Eisenbetonskelett (vgl. Abschnitt 3, Seite 78) sind bis heute noch selten ausgeführt worden. Während die Erstellung des tragenden Skelettes auf dem Bauplatz infolge der Schalungen und der Betonierungs-Einrichtungen in Anbetracht der kleinen Ausmaße und damit kleinen Maßen unwirtschaftlich, ferner die Ausführung auch von der Witterung stark abhängig ist, kommt für kleine Bauwerke, welche des vollkommenen monolithen Zusammenhanges weniger bedürfen, die Verwendung von Eisenbeton-Fertigteilen — Stützen, Riegel, Streben etc. — eher in Frage.

Die Vermeidung hoher Transportkosten sowie die Beschädigungsgefahr bedingt die Herstellung dieser Eisenbeton-Tragglieder in der Nähe des Bauplatzes. Eine fabrikmäßige Herstellung dieser Tragglieder ist infolge der örtlichen Beschränkung des Absatzgebietes, ferner auch wegen der bestimmten Ablängung der Tragteile — im Gegensatz zu den in der Länge leicht veränderlichen Stahltraggliedern — weniger lohnend.

Gegenüber der Anordnung eines Eisenbetonskelettes ist die Ausbildung eines *Stahlskelettes* im Kleinwohnhausbau (vgl. Abschnitt 4, Seite 106 u. f.) eher günstiger. Abgesehen von der Rost- und eventuellen Feuergefahr besitzt dasselbe den wirtschaftlichen Vorteil der industriellen Herstellung der Tragglieder — Stützen, Träger, Streben etc. —, da dieselben allgemein gebräuchliche, normierte

Bauelemente sind. Die Wirtschaftlichkeit der Verwendung solcher Stahltragglieder kann allerdings, je nach den örtlichen Verhältnissen, durch die Transportkosten vom Erzeugungszum Verwendungsort herabgesetzt werden.

Die Anwendung von Skelettbauweisen im Kleinhausbau ist oft in bezug auf die Grundrißdisposition von Nachteil, da das starre, durchgehende Stützensystem die Möglichkeiten der Grundrißgestaltung einengt. Die Wahl einer Skelettbauweise im Kleinhausbau ist somit von den besonderen Grund- und Aufriß-Forderungen abhängig.

In statisch-konstruktiver Beziehung erscheint für den Kleinhausbau die Anordnung eines Tragskelettes aus Eisenbeton oder Stahl im Gegensatz zu den reinen Mauerbauten aus Ziegelseinen, Leichtbeton etc. infolge der relativ geringen Lasten zunächst nicht angebracht. Dieser Einwand ist dann richtig, wenn das tragende Skelett mit relativ massiven, gemauerten, beinahe tragfähigen Füllwänden, deren Herstellung zudem eine hohe Baufeuchtigkeit mit sich bringt, ausgesetzt wird. Die Verwendung eines Tragskelettes ist deshalb nur dann begründet, wenn die Außenwand aus leichten, großen, feuer- und fäulnissicheren Isolierplatten rasch und trocken hergestellt werden kann. Diese Platten haben den Schutz vor den Einwirkungen der Witterung und des Temperaturwechsels sowie die Unterbindung der Schallübertragung zu gewährleisten. Die äußeren Verkleidungsplatten werden hierbei mit Vorteil gegenseitig verschiebbar angeordnet, da sonst Rißbildungen zu befürchten sind. Die Platten müssen fabrikmäßig hergestellt werden können und infolge ihrer Leichtigkeit auch noch bei größeren Distanzen wirtschaftlich sein (vgl. den Versuch von Prof. Gropius an der Stuttgarter Ausstellung 1926, Abschnitt 4, Seite 107). Die Zukunft der Skelettbauweisen im Kleinwohnbau hängt in hohem Maße von der Ausbildung dieser Außenwand ab. Die bis heute verwendeten Platten, insbesondere die äußeren Verkleidungsplatten, haben bei großen Plattenformaten noch zu keinen voll befriedigenden Resultaten geführt; jedoch wird auch hier die Baustoffindustrie sicherlich neue Lösungen schaffen.

Eine solche Skelettbauweise würde besonders für den industriellen Großsiedlungsbau vorteilhaft sein. Die industrielle Herstellung der Bauelemente, die Verlegung der Hauptarbeit in die Fabrik, bezw. die Werkstatt, die Verkürzung der Bauzeit, die weitgehende Unab-

hängigkeit des Bauvorganges von der Witterung und die Trockenheit, welche Forderungen das Ziel des industriellen Hausbaues sind, würden hier erreicht. Daneben würde diese Bauweise, da sie keiner umfangreichen maschinellen Hilfsmittel (Kräne etc.) bedarf, auch für den typisierten wie auch für den individuellen Einzelhausbau in Frage kommen.

Für die Decken- und Flachdachkonstruktionen der Stahl- und Eisenbetonskelett-Kleinhäuser werden, namentlich in der vorgenannten Trockenbauweise, die fertig-verlegbaren Eisen- und Eisenbetonträgerdecken bevorzugt werden.

Die Entwicklung der *Stahlhäuser*, d. h. der Häuser, deren Außenwand mit einem tragenden oder nur raumabschließenden Stahlblech ausgekleidet ist, wird in erster Linie von dem Erfolg abhängen, mit welchem, ohne zu hohem Kostenaufwand, gegen die mannigfachen technischen Schwierigkeiten — Schwitzwasserbildung, Rostschutz etc. — angekämpft werden kann.

Ein Überblick über die hier kurz zusammengestellten wichtigsten Möglichkeiten der Erstellung eines Klein-Wohnhauses veranschaulicht die verschiedenen Bedingungen und entsprechenden Lösungsmöglichkeiten des serienmäßigen, billigen Siedlungshauses, des billigen typisierten Einzelhauses und des individuellen Wohnhauses.

Das Ziel der Entwicklung des Serienhauses ist das in der Werkstätte, bezw. der Fabrik vorbereitete, aus großen, leichten, normierten Bauelementen bestehende Haus, welches in kurzer Zeit, unabhängig von der Witterung, zusammengebaut werden kann. Bei Massensiedlungen können hierbei Baumaschinen zu Hilfe gezogen werden; bei typisierten Einzelhäusern hingegen ist die Verwendung von Baumaschinen nur in kleinerem Umfange möglich.

Die Bauweisen, die diesen Zielen heute am nächsten kommen, sind zweifellos der Bau mit tragenden, zugleich raumabschließenden, großformatigen Leichtbetonplatten und fertig-verlegbaren Trägerdecken und Dächern, andererseits die mit leichten, großen Platten verkleideten, bezw. ausgesetzten Skelettbauweisen aus Holz, Eisenbeton und Eisen, unter welchen die Eisenskelettbauweise mit Rücksicht auf die technische Eignung und die industrielle Herstellung der Tragglieder besonders große Erfolgsaussichten hat. Während die Plattenbauweise nur im Groß-Siedlungsbau wirtschaftlich sein kann, kommt die Skelettbauweise sowohl für den Groß-Siedlungs-

bau, den typisierten Einzelhausbau wie auch für den individuellen Einzelhausbau in Frage.

Der individuelle Einzelhausbau zeigt — abgesehen von den wenigen Versuchen mit Skelettkonstruktionen — keine namhaften konstruktiven Neuerungen. Der mehr Arbeit erfordernde, mit großer Baufeuchtigkeit verbundene, jedoch sehr anpassungsfähige Bau aus tragenden und zugleich wärmeisolierenden Kleinsteinen (Ziegel-, Betonhohlsteine etc.) ist hier noch immer die gebräuchlichste Herstellungsart.

Der *Mehrgeschoßbau*, als welcher, im Anschluß an den Kleinhausbau, der Bau von vier-, fünf- und mehrgeschossigen Bauten bis hinauf zum Hochhaus-, bzw. Wolkenkratzerbau gedacht ist, ist der Bautypus des Kernes europäischer Städte. Vor allem ist der zirka vier- bis siebengeschossige Bau in den mittleren und großen europäischen Städten üblich; nur in den Zentren einiger europäischer Großstädte, deren Horizontalausdehnung gehemmt ist, wächst der Geschoßbau heute über diese Höhen hinaus zum Hochhaus. Demgegenüber ist in den amerikanischen Großstädten der Hochhaus- und Wolkenkratzerbau infolge der hohen Bodenpreise sehr verbreitet. In Europa ist zurzeit das Tagblatthaus in Stuttgart mit 16 Stockwerken das höchste Hochhaus, während in den Vereinigten Staaten von Nordamerika der höchste Wolkenkratzer, das Chryslerbuilding in New-York, 77 Stockwerke aufweist.

Die Bedingungen, die beim Entwurf eines solchen Geschoßbaues zu erfüllen sind, können mannigfacher Natur sein. Die bauliche Umgebung bestimmt die zulässige Bauhöhe, bzw. die Baulinien; die Bodenpreise können gleichfalls im Rahmen der Bauvorschriften die Bauhöhe beeinflussen; der Straßen-Verkehr kann eine starke Auflösung des Erdgeschosses zwecks Erhöhung der Übersichtlichkeit und Vergrößerung des Straßenraumes bedingen; die Bodenbeschaffenheit ist insofern bestimmend, als von ihr die zulässige Höhe des Baues abhängt. Neben diesen Forderungen allgemeiner Natur, die weitgehend von den örtlichen Verhältnissen abhängig sind, sind die besonderen Bedingungen der Aufgabe von großer Wichtigkeit. Vor allem ist die Zweckbestimmung des Gebäudes für die Grund- und Aufrißdisposition maßgebend. Die besonderen Bauaufgaben — Mietshaus, Geschäfts-, Bureau- und Warenhaus, Hotel, Schulhaus- und Spitalbauten etc. — verlangen ein eingehendes

des Studium. Im einen Fall wird die Zweckbestimmung eine ganz bestimmte Grundrißdisposition mit festgelegter Raumfolge und Größe vorschreiben — Mietshaus, Spital, Schulhaus etc. —, im anderen Fall wird eine Disposition verlangt, die eine möglichst große Freiheit in der Aufteilung der Räume zuläßt, also wenig feste Stützen oder Mauern vorsieht — Bureau-, Geschäfts-, Warenhaus etc. —. Die häufige Ausbildung des Erdgeschosses als Ladengeschosß bedingt große Stützenentfernungen sowie eine möglichst leichte Ausbildung der Stützen.

Gesundes Wohnen verlangt vor allem eine gute Belichtung und Belüftung. Diese Forderungen beziehen sich sowohl auf die Gesamtanlage wie auch auf die Anordnung der Maueröffnungen. Enge Bebauung, enge Höfe etc., wie sie in den älteren Mietskasernen und den heutigen Wolkenkratzern amerikanischer Städte üblich sind, schaffen ungesunde Wohnverhältnisse. Eine lockere Bebauung mit guter Besonnung und Belüftung in Verbindung mit Grünanlagen ist Voraussetzung für hygienische Baugestaltung. Die Bemessung der Maueröffnungen ist je nach der Aufgabe sehr verschieden; neben der Belichtung und Belüftung sind auch die Heizungskosten, ferner eventuell erwünschte Stellflächen etc. zu berücksichtigen. Eine weitere Forderung, die sowohl durch die Zweckmäßigkeit wie auch die Gesundheit der Bewohner, namentlich der älteren gegeben ist, ist die Anlage guter Vertikalverbindungen, d. h. guter Aufzüge und Treppen.

Zusammen mit dem Entwurf muß auch die bautechnische Ausbildung unter rationellen Gesichtspunkten durchgedacht werden. Im Gegensatz zum serienmäßigen Kleinhausbau ist ein Mehrgeschosßbau in der Regel ein Einzelbau. Die Verwendung in Massen hergestellter, normierter Bauelemente — Stützen, Träger, Fenster, Türen etc. — ist hier mit Ausnahme ganz großer Bauobjekte erschwert, da sich einerseits die gleichen Bauelemente nicht so oft wiederholen, andererseits die Verwendung von Normen infolge der Berücksichtigung bestimmter örtlicher Verhältnisse oft verunmöglicht wird.

In statisch-konstruktiver Beziehung stellt ein solcher Mehrgeschosßbau besondere Anforderungen. Neben den aufzunehmenden hohen Vertikallasten ist insbesondere der Aufnahme der Horizontallasten — Wind, Erdbebenstöße etc. — vermehrte Aufmerksamkeit zu schenken. Die Ableitung der Windkräfte bedingt vor allem eine

gute Verbindung der Decken, Unterzüge, Pfeiler und Mauern zwecks Erhöhung der Steifigkeit. Eine eingehende statische Untersuchung durch den Bauingenieur ist hier im Hinblick auf eine konstruktiv zweckmäßige und wirtschaftliche Durchbildung unerlässlich.

Die Wirtschaftlichkeit der Ausführung verlangt — gleich wie beim Kleinhausbau — die möglichste Verkürzung der Bauzeit durch Verwendung von Baumaschinen sowie weitgehend vorbereiteter großer Bauelemente, die Unabhängigkeit des Bauvorganges von der Witterung, die möglichste Trockenheit sowie, namentlich bei hohen Facharbeiterlöhnen, einen möglichst einfachen Arbeitsvorgang, um auch ungelernete Arbeiter beschäftigen zu können.

Die Fragen der Lebensdauer, ferner der Umbau- und Abbruchmöglichkeit spielen im Geschoßbau gleichfalls eine große Rolle. Während in Europa noch viele Geschoßbauten «für die Ewigkeit» gebaut, d. h. sehr massiv erstellt werden, wird in den Vereinigten Staaten von Nordamerika in der Regel, namentlich bei teurem Baugrund, mit einer kurzen Lebensdauer — wenige Jahrzehnte — gerechnet, da die Entwertung des Baues infolge der stetigen bautechnischen Neuerungen, wie auch wegen der raschen Änderungen der Verkehrsverhältnisse sehr rasch vor sich geht. Deshalb sind dort jene Bauweisen, die einen leichten Umbau oder Abbruch ermöglichen, beliebt. In Europa sind diese Verhältnisse heute noch nicht bestimmend; jedoch können sie es bei der Raschheit, mit der sich manche europäischen Großstädte entwickeln, auch hier bald werden.

So sehr auch die zahlreichen angeführten Bedingungen und Gesichtspunkte für die bautechnische Ausbildung verschieden sein mögen, so wird die bautechnische Lösung eines Geschoßbaues immer doch ein gewisses *Konstruktionsschema* aufweisen. Letzteres ist gegeben durch die durchgehenden Stützen oder Mauern, welche — wenn immer möglich — bei gleichen Abständen in zwei zueinander senkrecht verlaufenden Bahnen angeordnet und in den verschiedenen Geschoßhöhen durch Unterzüge und Decken verbunden sind.

Dieses Schema wird — abgesehen von den Unregelmäßigkeiten, die sich aus örtlichen Verhältnissen ergeben —, durch Treppen, Aufzüge etc., ferner durch größere, stützenlose Räume, die ein Abfangen der darüber stehenden Stützen mittelst starker Unterzüge

bedingen, unterbrochen. Solche Fälle kommen insbesondere in Hotels mit großen Speisesälen, Vestibülen etc., ferner auch in Kino- und Theaterbauten, d. h. Saalbauten mit darüber befindlichen Geschossen, vor.

Als grundsätzliche bautechnische Möglichkeiten zur Erstellung eines Mehrgeschoßbaues sind zu nennen: der Geschoßbau mit Steinmauern, bezw. -Pfeilern, ferner der Eisenbeton- und Eisenskelettbau. Übergangsformen zwischen diesen drei Möglichkeiten besitzen ein Skelett aus Eisen oder Eisenbeton im Innern und tragende Außenmauern aus Stein.

Der *Mehrgeschoßbau mit Steinmauern* (vgl. Abschnitt 2, Seite 38 u. f.) war bis zur bautechnischen Einführung des Eisenbetons und des Eisens die ausschließliche Bauart für Mehrgeschoßbauten. Neben dem Ziegelbau — dem verputzten und Ziegelrohbau —, war insbesondere für repräsentative Bauwerke der massive Natursteinbau mit stark dekorativer Gestaltung beliebt, während tragende Betonmauern im Mehrgeschoßbau nur für untergeordnete Zwecke (Kellermauern, Hintermauern von Natursteinmauern etc.) zur Ausführung gelangten. Neben der aus einem einzigen Steinmaterial aufgebauten Tragmauer war jedoch und ist teilweise auch heute noch die Ausbildung der aus verschiedenen, hintereinander angeordneten, durch Mauerverband verbundenen Mauerwerksarten (Verkleidungs-, Hintermauerungs-, Füllmauerwerk etc.) zusammengesetzten Mauern, die infolge der verschiedenen Materialeigenschaften, dem ungleichmäßigen Verbrauch an Mörtel etc. in technischer Beziehung nicht einwandfrei ist, häufig.

Die Ausführungsmöglichkeiten tragender Mauern und Pfeiler in Naturstein- oder Ziegelmauerwerk sind insofern beschränkt, als in Anbetracht der geringen zulässigen Druck-Beanspruchungen, besonders aber der fehlenden Zugfestigkeit des Mauerwerkes wegen die erheblichen Abmessungen der Mauern und Pfeiler bei großer Belastung, bezw. Stockwerkzahl, einen großen Verlust an Raum und Licht zur Folge haben; ferner ist auch die Entfernung der Stützen begrenzt, da einerseits die Steinbalken nur kleine Spannweiten überdecken können, andererseits die Überwölbung der Öffnungen bei großer Spannweite zu große Bauhöhen verlangen würde. Weitere technische und wirtschaftliche Nachteile sind der mangelhafte Zusammenhang der Mauern und Decken, welcher mit Rücksicht auf die Übertragung der Horizontal-Belastungen namentlich bei relativ

schwachen Mauern nachteilig ist; ferner der langsame und von der Witterung abhängige Bauvorgang und die hohe Baufeuchtigkeit sowie endlich die massige Ausbildung der durchgehenden Fundamente, d. h. die Schwierigkeit der Anlage genügender Maueröffnungen zur Belichtung der Kellergeschosse. Als technische Vorteile des Mauerbaues sind hingegen zu nennen: die gute Steifigkeit der Mauer in lotrechtem Sinne sowie die gleichmäßige und deshalb relativ kleine Belastung des Baugrundes, ferner sind in den aus einem einzigen Steinmaterial bestehenden Tragmauern die Einheitlichkeit des Materials, d. h. das gleichmäßige Arbeiten desselben, und die geringen Unterhaltskosten hervorzuheben.

Die heute seltene Ausführung von Natursteinmauern im Mehrgeschoßbau ist, abgesehen von den vorgenannten allgemeinen Nachteilen des Mauerbaues, in der Hauptsache durch den überaus hohen Preis guten Steinmaterials und die hohen Erstellungskosten eines guten Natursteinmauerwerkes bedingt. Können somit Natursteine aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nur selten verwendet werden, so wird heute nichtsdestoweniger die vorzügliche Wetterbeständigkeit des Natursteinmaterials weitgehend ausgenutzt, indem dasselbe in Form dünner, gesägter Platten als nichttragende, nur schützende Fassadenbekleidung verwendet wird. Selbstredend ist auch die Schönheit des Natursteinmaterials ein wesentlicher Grund für die wachsende Beliebtheit dieser Platten.

Der *Mehrgeschoßbau mit Ziegelmauern*, obwohl in statisch-konstruktiver Beziehung, wie erwähnt, nicht einwandfrei, ist infolge des meist niedrigen Preises der Ziegelsteine, ferner wegen des einfachen und altbekannten Bauvorganges für kleinere bis mittlere Bauhöhen und Belastungen, namentlich in den Gegenden mit gutem Ziegelmaterial immer noch eine konkurrenzfähige Bauweise.

Die Decken vorgenannter Mehrgeschoßbauten werden heute wegen der Feuers- und Fäulnisgefahr selten mehr in Holz ausgeführt. Unter den zur Anwendung gelangenden Massivdecken sind die an Ort und Stelle erstellten Eisenbetonplatten infolge der durch den monolithen Zusammenhang gewährleisteten Steifigkeit in statisch-konstruktiver Beziehung von Vorteil. Die Decken aus vorbetonierten Elementen in Eisenbeton und aus Walzprofilen in Eisen hingegen ermöglichen eine raschere, einfachere und trockenere Herstellung. Im Vergleich zu den plattenförmigen Deckenkonstruktionen sind gewölbartige Raumüberdeckungen in Geschoßbauten

heute selten; sie sind meist nur noch etwa in Kellergeschossen vorzufinden. Der Verlust an Licht und Raum, die zur Aufnahme des Gewölbeschubes benötigten starken Widerlager und der umständliche Arbeitsvorgang sind die Gründe für die Beschränkung dieser Ausbildung auf wenige Fälle.

Das Dach eines solchen Geschoßbaues mit Steinmauern kann in Holz, Eisenbeton oder Eisen als Flach- oder Schrägdach ausgeführt werden. Der Grundriß des Baues hat einen wesentlichen Einfluß auf die Ausbildung des Daches; insbesondere erschwert ein aufgelöster Grundriß die Anlage eines Schrägdaches. Die Benutzbarkeit eines Dachraumes (Lagerräume etc.) oder eines Flachdaches (Dach-Restaurant, Tennisplätze etc.) ist ebenfalls bei der Wahl der Dachausbildung ein weiterer entscheidender Faktor. In technischer Beziehung verlangen die Fragen der Wasserdichtigkeit und des Wärmeschutzes des Flachdaches, unter besonderer Berücksichtigung der Formänderungen bei großer Ausdehnung der Dachfläche, besondere Aufmerksamkeit (Fugenausbildung etc.).

Bei größeren Geschoßzahlen und Belastungen werden *Mehrgeschoßbauten* heute häufig mit einem *Tragskelett aus Stahl oder Eisenbeton* ausgebildet (vgl. Abschnitt 3, Seite 69 u. f. und Abschnitt 4, Seite 95 u. f.). Die Scheidung in tragende und raumabschließende Teile wirkt sich mit zunehmender Belastung in technisch-wirtschaftlicher Beziehung immer günstiger aus; sie bietet bei sehr hohen Belastungen die einzige praktische Möglichkeit der Herstellung. Neben den Vorteilen der Ersparnis an Raum und der Erhöhung der Übersichtlichkeit infolge der knappen Dimensionen der Tragglieder, der ausgiebigen Belichtungs- und Belüftungsmöglichkeit, insbesondere auch der Kellergeschosse, ferner der Erleichterung der Grundrißdisposition durch den Wegfall durchgehender Tragmauern, sind in technisch-wirtschaftlicher Beziehung vor allem auch folgende Vorzüge erwähnenswert: die einwandfreie statisch-konstruktive Ausbildungsmöglichkeit des Tragwerkes unter besonderer Beachtung der Windkräfte, bezw. die Sicherung einer großen lotrechten und wagrechten Steifigkeit, der rasche Aufbau des Tragskelettes sowie die leichte Ausbildungsmöglichkeit der raumabschließenden Außenwände. Als allgemeine, besonderes Studium verlangende Punkte des Skelett-Mehrgeschoßbaues seien erwähnt: die relativ hohe, auf wenige Stellen konzentrierte Belastung des Baugrundes,

die Verbindung der nichttragenden Außenwand mit dem Tragskelett und der Schutz der Tragkonstruktion.

Neben den allgemeinen Vorteilen des Skelettbaues ist als spezieller Vorzug des Eisenbetonskelettes der gute, relativ einfach zu erzielende monolithische Zusammenhang, der eine große Steifigkeit gewährleistet, zu nennen; als Nachteile fallen hingegen in Betracht: die Baufetchtigkeit, die umfangreichen Rüstungen und Schalungen zur Erstellung des Skelettes, die Erhärtingszeiten, die Abhängigkeit des Bauvorganges von der Witterung sowie die erschwerten Umbau- und Abbruchmöglichkeiten. Beim Eisenskelettbau hingegen sind als besondere Vorteile anzusehen: die weitgehende Vorbereitung in der Werkstatt, die Schnelligkeit des Zusammenbaues und dessen Unabhängigkeit von der Witterung, die Trockenheit, ferner die gegenüber Eisenbetonbauten noch knapperen Abmessungen der Tragglieder, die sich insbesondere bei hohen Belastungen vorteilhaft auswirken, sowie die einfachere Veränderungsmöglichkeit. Als Nachteile fallen hingegen in Betracht: die Lieferfristen für die Walzprodukte, welche eine frühzeitige detaillierte Festlegung des Skelettes bedingen, ferner die notwendigen Vorkehrungen bezüglich des Feuer- und Rostschutzes.

Trotz der mannigfachen Vorzüge der Skelettbauten sind die letzteren erst spät, nachdem die Bauingenieure bereits kühne, leichte Brückentragwerke aus Eisen und Eisenbeton hergestellt hatten, im Mehrgeschoßbau eingeführt worden. Dem Auge des Architekten fehlte zunächst in diesen gerippeartigen Bauten die Massigkeit der Steinarchitektur. Vom reinen Mauerwerksbau zum Skelettbau wurde deshalb zunächst ein heute noch bestehender Übergangstypus geschaffen, welcher im Innern des Bauwerkes ein tragendes Skelett, bestehend aus Stützen und Unterzügen aus Eisen oder Eisenbeton vorsieht, während die Außenmauern als massive, schwere Steinmauern ausgeführt werden. Da letztere tragend sind, ist die Ausbildung solcher Geschoßbauten wie diejenige der reinen Mauerwerksbauten infolge der geringen zulässigen Beanspruchungen auf kleine und mittlere Bauwerke beschränkt. Die Nachteile der reinen Mauerwerksbauten gelten auch für diese gemischte Bauweise. Der Hauptgrund für das Aufkommen dieser Bauweise ist wohl im Streben nach traditioneller Außenerscheinung zu suchen; daneben mögen auch zunächst die Schwierigkeiten in der technischen und ästhetischen Ausbildung der Fassaden der Skelettbauten eine Rolle ge-

spielt haben. Insbesondere sind es die Schwierigkeiten der Anschlüsse des Füllmauerwerkes an das Skelett infolge des verschiedenen Arbeitens der verwendeten Baustoffe und der Vermeidung von Kältebrücken längs der Außenstützen und -Träger, welche hemmend auf die Entwicklung des reinen Skelettbaues gewirkt haben.

Heute wird diese gemischte Bauweise für Geschoßbauten mittlerer Belastungen noch häufig ausgeführt. Immerhin nimmt die Zahl der reinen Skelettbauten stetig zu. Die Vorteile der reinen Skelettbauten gegenüber den gemischten Bausystemen: größere Steifigkeit, Vermeidung ungleicher Setzungen infolge verschiedener Tragmaterialien, rascherer und einfacherer Bauvorgang etc. lassen die Überlegenheit der reinen Skelettbauten in statisch-konstruktiver und wirtschaftlicher Hinsicht erkennen.

Die Deckenkonstruktionen der Skelettbauten weisen gegenüber denjenigen der Mauerwerksbauten keine Unterschiede auf. Sowohl die gut aussteifenden monolithen Eisenbetonplatten wie auch die leicht und trocken verlegbaren Eisen- und Eisenbetonträgerdecken finden hier Verwendung.

Die konstruktive Durchbildung der Skelettbauten ist heute — namentlich wenn wirtschaftliche Gründe ausschlaggebend sind — noch nicht einwandfrei gelöst. Besonders die Frage der Ausbildung der nichttragenden Außenwand (vgl. Abschnitt 3, Seite 74 u. f. und Abschnitt 4, Seite 102 u. f.) und diejenige der Erzielung des unerläßlichen Wärme- und Schallschutzes bedürfen noch der Abklärung.

Die Struktur der Skelettbauten ist je nach der Ausbildung derselben mehr oder weniger klar ersichtlich. Sie ist bei unverkleidetem Skelett (Fabrikbauten mit sichtbarem Eisenbeton- oder Eisen-Skelett und gemauerten Füllwänden etc.) selbstredend leichter erkennbar als in verkleideten Bauten. Vor allem maßgebend ist jedoch die Ausbildung der einzelnen Fassaden-Felder. So lange die Felder zwischen den Skelettstützen nicht durch gemauerte Zwischenpfeiler unterteilt werden, sondern durch große einheitliche Fenster gebildet werden, ist das Skelett klar ersichtlich. Dies ist namentlich oft der Fall im Erdgeschoß, welches, meistens als Ladengeschoß ausgebildet, große nicht-unterteilte Fensterflächen besitzt; auch in Bauwerken mit großen, nicht-unterteilten Geschossen, z. B. Warenhäusern, Fabrikbauten etc. ist das Tragskelett gut erkennbar.

Oft müssen jedoch die Felder aus grundrißtechnischen Gründen (Bureau-Häuser mit kleinen Raumeinheiten etc.) oder wegen der Fensterausbildung durch Zwischenpfeiler unterteilt werden. Werden letztere deutlich als schwächere, dünne Zwischenpfeiler gekennzeichnet, wie dies z. B. in den amerikanischen Wolkenkratzern meistens üblich ist, so bleibt das skelettartige Tragwerk deutlich fühlbar. Werden hingegen die Zwischenpfeiler gleich stark wie die Tragpfeiler gehalten, so wird die Klarheit der Struktur verwischt. Werden die einzelnen Geschosse vorgekragt, so tritt die in der Hauptsache auf den Raumabschluß beschränkte Funktion der Außenwand, welche stützenfrei mit durchgehendem Fensterband ausgebildet werden kann, klar in die Erscheinung.

Mauerwerksbau, Skelettbau und gemischte Bauweise veranschaulichen die heutigen bautechnischen Möglichkeiten der Erstellung eines Mehrgeschoßbaues. Während für den Hochhausbau nur die Skelettbauten aus Eisen und Eisenbeton in Betracht fallen, kommen für den mittleren und kleineren Mehrgeschoßbau alle drei Bauweisen in Frage. Die allgemeinen und besonderen technischen und wirtschaftlichen Bedingungen der Aufgabe sowie die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten werden unter besonderer Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse für die Wahl des einen oder anderen Tragsystems maßgebend sein.

Der *Hallen-, bzw. Saalbau*, dessen Hauptaufgabe in der stützenlosen Überdeckung großer Räume besteht, hat in den letzten Jahrzehnten eine ungeahnte Entwicklung erfahren. Einerseits waren es die neuen Aufgaben: Industriebauten (Konstruktionswerkstätten, Lagerhallen etc.), ferner Markthallen, Luftschiffhallen, Ausstellungshallen, endlich auch die allerdings in kleineren Abmessungen gehaltenen Theater-, Konzert-, Kino-, Versammlungssäle und Planetarien, andererseits waren es die neuen bautechnischen Möglichkeiten in Holz, Eisenbeton und Eisen, welche diese Entwicklung gefördert und ermöglicht haben.

Die großen Fortschritte der Bautechnik lassen sich auf diesem Gebiet weitgespannter Konstruktionen ohne Innenstützung neben dem Hochhausbau am deutlichsten nachweisen. Unter den allgemeinen, durch örtliche Verhältnisse gegebenen Bedingungen, die die Ausbildung eines solchen großräumigen, stützenlosen Baues be-

stimmen, sind vor allem die Bodenbeschaffenheit und die Kosten zu nennen.

Die besonderen Anforderungen der Aufgaben sind selbstredend, in Anbetracht der verschiedenartigen Probleme, sehr ungleicher Natur. Die Forderungen der Grund- und Aufrißdisposition, welche z. B. im Industriebau für den einzelnen Raum meistens einfache sind, sind z. B. in Theater- und Konzerträumen viel komplizierterer Art, da eine Reihe von Faktoren wie z. B. die Akustik, die Raumwirkung etc. zu beachten sind. Die Belichtungsfragen sind besonders im Industriebau, Ausstellungsbau, Markthallenbau etc. von großer Bedeutung; die Art der Beleuchtung — Nordlicht, Oberlicht, Seitenlicht — bestimmt sehr weitgehend die konstruktive Durchbildung. Die statisch-konstruktiven Bedingungen — Bauhöhe, Quersteifigkeit, Längssteifigkeit beeinflussen den Aufriß des Raumes. Die Forderungen des Raumabschlusses sind je nach den Aufgaben ganz verschiedene; während das eine Bauproblem, z. B. der Industriebau, vor allem einen Witterungsschutz verlangt, bedingt ein Konzert- oder Versammlungssaal daneben die weitgehende Berücksichtigung des Schall- und Wärmeschutzes, abgesehen von den selbstverständlichen Vorkehrungen gegen Feuersgefahr. Die Wirtschaftlichkeit im Bau und Betrieb, die Fragen der Lebensdauer, der Bauzeit etc. sind weitere maßgebende Faktoren für die Wahl der bautechnischen Ausbildung. Ferner ist, speziell beim Industriebau, darauf zu achten, daß infolge der mit der Zeit wechselnden Bedürfnisse das Tragwerk leicht veränderlich sei.

Die bautechnischen Möglichkeiten, die unter Berücksichtigung der vorgenannten Gesichtspunkte heute für die Lösung des Hallen-, bezw. Saalbaues in Betracht fallen, betreffen sowohl die Holz-, Eisenbeton- und Eisenkonstruktionen.

Die Anwendungsmöglichkeiten von *Holzkonstruktionen für weitgespannte Raumüberdeckungen* (vgl. Abschnitt 1, Seite 27 u. f.) sind infolge der Eigenschaften des Baustoffes beschränkt. Wird eine weitgehende Ausschaltung der Feuersgefahr verlangt, ist ferner das unvermeidliche Arbeiten der Konstruktion infolge starken Wechsels der Luftfeuchtigkeit besonders für die Dichtigkeit des Raumabschlusses nachteilig, und hat das Bauwerk bleibenden Charakter, so ist die Verwendung von Holz wohl zu überlegen. Wenn auch die technischen Eigenschaften der Hallenkonstruk-

tionen aus Holz nicht immer voll befriedigen, so sind hingegen bei günstigen örtlichen Verhältnissen deren Erstellungskosten sehr niedrig. Ein besonderer Vorteil der hölzernen Hallen ist die rasche Aufbau- und Abbruchmöglichkeit. Große freigespannte Holzkonstruktionen eignen sich deshalb vor allem für provisorische Bauten — Ausstellungs- und Festhallen, Lagerhallen etc. —. Auch Hallenbauten bleibenden Charakters können bei weniger strengen Anforderungen in Holz ausgeführt werden — landwirtschaftliche Bauten, Reithallen, Bahnsteighallen, Depoträume etc. —. Die niedrigen Erstellungskosten sind hierbei für die Wahl dieses Baustoffes vor allem maßgebend.

Hallen werden heute sehr häufig in *Eisenbeton* ausgeführt (vgl. Abschnitt 3, Seite 78 u. f.). Die statisch-konstruktiven Möglichkeiten des Eisenbetons infolge seiner hohen Festigkeiten und seiner Gießfähigkeit, in Verbindung mit seinen raumabschließenden Eigenschaften und der Feuersicherheit, haben ihn heute mit Recht für weitgespannte, einräumige Hochbauten mit rippenartiger Struktur (ebene und räumliche Bindersysteme) wie auch für flächen- und gewölbartige Tragwerke (Schalen, Decken, Wände) in den Vordergrund gerückt. Das weitverbreitete Vorkommen von Sand und Kies sowie die hochentwickelte Industrie der Bindemittel schaffen auch allgemein günstige örtliche Voraussetzungen. Die Nachteile: relativ lange Bauzeit, hohe Baufeuchtigkeit, Schwinden, Schwierigkeit eines nachträglichen Umbaues fallen je nach der Aufgabe mehr oder weniger ins Gewicht. In neuerer Zeit sind zur Behebung dieser Nachteile des öfteren Versuche mit fertig-vorbereiteten, relativ trockenen, kaum mehr schwindenden Eisenbetontraggliedern, welche an Ort und Stelle lediglich des Zusammenbaues bedürfen, gemacht worden. Eisenkonstruktionen sind in denjenigen Fällen, wo wechselnder Betrieb stete bauliche Änderungen mit sich bringt, vorzuziehen.

Hallen aus Stahl (vgl. Abschnitt 4, Seite 110 u. f.) werden namentlich bei sehr großen Grundrißabmessungen ausgeführt. Da die Feuergefahr in solch weiten und hohen Hallen gegenüber den Geschoßbauten wesentlich geringer ist, sind die meisten eisernen Hallen — Bahnhofshallen, Industriewerkstätten, Festhallenkuppeln, Ausstellungshallen — unverkleidet. Die durch die hohen Festigkeiten des Stahls ermöglichten kleinen Dimensionen der Tragglieder haben eine weitgehende Verminderung der Eigengewichtslasten zur Folge;

sie gewährleisten ferner eine gute Übersichtlichkeit sowie Raumerparnis und ermöglichen infolge ihrer großen Anpassungsfähigkeit eine weitgehende Berücksichtigung der Zweckbestimmung, der Belichtung etc. In technischer Beziehung sind die besonderen Vorzüge dieser weitgespannten Stahlkonstruktionen: die sorgfältige Ausführung und der schnelle, von der Witterung unabhängige Zusammenbau, ferner auch die leichte Veränderlichkeit, Revisionsmöglichkeit sowie die relativ leichte Abbruchmöglichkeit.

Während bei den ganz großen Spannweiten der Stahlbau — wie beim Hochhaus- und Wolkenkratzerbau — die einzige technisch-wirtschaftliche Möglichkeit der Herstellung großer, stützenloser Räume darstellt, tritt er bei kleineren Spannweiten in Konkurrenz mit dem Eisenbeton und dem Holz. Die allgemeinen und besonderen technisch-wirtschaftlichen Bedingungen der Aufgabe werden hierbei unter besonderer Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse die Wahl der einen oder anderen Bauweise bestimmen.

Der in vorliegender Arbeit gegebene Überblick über die Ausbildungsmöglichkeiten eines Tragwerkes und Raumabschlusses zeigt, daß die Lösung dieser beiden Probleme auf zwei grundsätzliche Arten erfolgen kann. Die eine Lösungsweise besteht in der Trennung, die andere in der Vereinigung von Tragwerk und Raumabschluß.

Besteht eine *Trennung von Tragwerk und Raumabschluß*, so können tragende und raumabschließende Bauteile, bezw. auch Baustoffe unterschieden werden. Das Tragwerk besteht hierbei aus dem zur Aufnahme der Lasten berechneten und dimensionierten Gerippe, während der Raumabschluß eine durch dieses Traggerippe getragene, lastübertragende, schützende und aussteifende leichte Hülle darstellt.

Als Beispiel dieser Bauart wurden angeführt: der Holz-, Eisenbeton- und Eisenskelettbau; ferner die Holzbalken-, Eisenbetonträger- und Eisenträgerdecken.

Die Trennung in tragende und raumabschließende Bauteile, bezw. Baustoffe ist heute an die Verwendung hochwertiger Materialien gebunden. Eisen, Eisenbeton, in einfacheren Fällen auch Holz kommen hierbei als tragwerkbildende Baustoffe in Frage, während

rippenartige Steinkonstruktionen, wie sie vornehmlich die Gotik aufweist, heute kaum mehr in Betracht fallen.

Der Raumabschluß gegen außen besteht in dieser Bauart aus möglichst hochwertigen raumabschließenden, d. h. gut wetterschützenden, schall- und wärmeisolierenden, feuer- und fäulnissicheren, leichten Baustoffen. Dieser nichttragende Raumabschluß besteht manchmal, namentlich dann, wenn nur die Forderung des Witterungsschutzes besteht, während der Wärme- und Schallschutz untergeordnet sind, aus einem einzigen Baustoff. Dies ist insbesondere bei Hallenbauten der Fall. In skelettartigen, bewohnten Geschoßbauten hingegen ist eine Unterteilung des nichttragenden Raumabschlusses in eine äußere wetterfeste und eine innere wärmeisolierende Schicht — z. B. Natursteinplatten mit Ziegelhohlstein-Hintermauerung üblicher.

Kennzeichnend für einen solchen neuzeitlichen Bau ist vor allem die Leichtigkeit des Tragwerkes. Neben der Ersparnis an Raum, Baustoff und Arbeit ermöglicht das leichte Tragwerk eine ausgiebige natürliche Belichtung und Belüftung sowie eine freie Grundrißdisposition. Ein Nachteil der Skelett-Konstruktion liegt in der auf wenige Punkte konzentrierten hohen Belastung des Baugrundes, dem aber durch besondere Maßnahmen begegnet werden kann. Die schnelle Errichtung des Tragwerkes ist ein besonderes Merkmal der Skelettbauten, während der Raumabschluß erst nachträglich erstellt wird. Der rasche Zusammenbau des Tragwerkes ist vor allem bei den Skelettbauten aus Holz und Eisen möglich, da dieselben weitgehend in den Konstruktionswerkstätten vorbereitet werden können. Demgegenüber werden die Eisenbeton-Skelettbauten, mit Ausnahme vereinzelter, aus Fertigteilen zusammengesetzter Kleinhäuser, ganz auf dem Bauplatz hergestellt. Die Nachteile dieser Bauweise gegenüber den vorgenannten Eisen- und Holz-Tragwerken sind: relativ langsamer Bauvorgang, hohe Baufeuchtigkeit, Abhängigkeit der Ausführung von der Witterung, ferner auch die Unveränderlichkeit der Konstruktion.

Die Schwierigkeiten bei der vorgenannten Trennung von Tragwerk und Raumabschluß liegen vor allem in der Verbindung der verschiedenen tragenden und raumabschließenden Baustoffe zu einer einheitlichen Konstruktion. Eine weitgehende Rücksichtnahme verlangt das verschiedene Arbeiten der Baustoffe; besondere Aufmerksamkeit ist deshalb der Ausbildung der Anschlußstellen, ferner

der Vermeidung von Kältebrücken, der Unterbindung der Schallübertragung durch das zusammenhängende Tragwerk etc. zu schenken. Zu beachten ist ferner, daß das Traggerippe wegen der Feuergefahr oft verkleidet ist, d. h. unzugänglich und nicht revisionsfähig ist. Nur in seltenen Fällen — Fabriken, Industriebauten — bleibt das Traggerippe frei und sichtbar, bezw. unverkleidet und zugänglich.

Besteht zwischen *Tragwerk und Raumabschluß* statt einer Trennung jedoch *eine Einheit*, so sind die tragenden Bauteile zugleich auch raumabschließend. Das Tragwerk — als tragende Wand, Platte oder Schale ausgebildet — ist hierbei im Gegensatz z. B. zu den Skelettbauten oder Rippentragwerken ein Flächentragwerk. Üblicherweise bedarf ein solches Tragwerk, damit es einen vollwertigen Raumabschluß bildet, noch der Verkleidung mit besonderen, nur raumabschließenden, bezw. schützenden Isolierbaustoffen. Die Verwendung nur eines Baustoffes zu tragenden und zugleich raumabschließenden Funktionen ist selten. Da das Tragwerk hohe Festigkeiten, also eine große Materialdichte verlangt, womit auch die Forderungen des Witterungsschutzes und der Luftschallisolierung erfüllt werden, während der Schutz gegen die Einwirkungen des Temperaturwechsels und des Körperschalls nur durch poröse Stoffe erzielt werden kann, können diese Forderungen nicht in einem Baustoff vereinigt werden. Die Verwendung nur eines Baustoffes beschränkt sich deshalb — bei möglichster Einschränkung des Materialaufwandes — auf diejenigen Aufgaben, in welchen infolge geringer Beanspruchungen keine hohe Festigkeiten verlangt werden, andererseits auf diejenigen, meist untergeordneten Bauten, in welchen an den Raumabschluß, insbesondere den Wärmeschutz, keine hohen Ansprüche gestellt werden. Zu ersterer Bauweise gehört z. B. die Holzblockwand, ferner die unverputzte Naturstein-, Ziegelstein- und Leichtbetonwand, wobei relativ poröse Baustoffe zur Aufnahme der geringen Lasten genügen, während als Beispiel für die letztgenannten Bauaufgaben das Wellblechhaus angeführt sei, in welchem kein Schutz gegen den Temperaturwechsel geboten wird.

Ein Hauptvorteil der Verwendung nur eines Baustoffes liegt in der guten Zugänglichkeit, bezw. Revisionsmöglichkeit der Konstruktion.

Sobald die Ansprüche steigen, d. h. sowohl an das Tragwerk als

auch an den Raumabschluß höhere Anforderungen gestellt werden, ist bei wirtschaftlicher Bauweise, d. h. Vermeidung zu großen Materialaufwandes, die Verwendung mehrerer spezialisierter Baustoffe notwendig. Als Beispiele solcher Bauten, welche — ohne ein Tragskelett zu besitzen — doch aus verschiedenen Baustoffen zusammengesetzt sind, seien genannt: das verputzte, bezw. verkleidete Ziegelsteinhaus, die verputzten, verkleideten, bezw. abgedeckten Beton- und Eisenbetonschalen, die gegen Wärmedurchgang und Schallübertragung isolierten Eisenbetonplatten, die Stahllamellenwand mit wärmeschützender Innenverkleidung.

In diesen Flächentragwerken sind — im Gegensatz zu den Skelettbauten — die Beanspruchungen relativ gering. Die Festigkeiten der Baustoffe werden meistens nicht vollständig ausgenutzt. Als Baustoff kommen Naturstein, Ziegelstein, Leichtbeton, Eisenblech, Holz etc. in Frage; Eisenkonstruktionen in Form dünner Decken und Schalen sind gleichfalls üblich, während Konstruktionen mit Stahlprofilen nicht in Betracht fallen. Auch die Beanspruchungen des Baugrundes sind infolge der gleichmäßig verteilten Lasten relativ klein.

Die Erzielung einer vollständigen, bezw. weitgehenden Einheit zwischen Tragwerk und Raumabschluß ist — bei besonderen Ansprüchen an den Raumabschluß und bei wirtschaftlicher Bauweise — namentlich bei Tragwerken mit kleineren bis mittleren Beanspruchungen angebracht. Mit zunehmender Belastung, bezw. Beanspruchung wird der Materialaufwand und der Raumverlust groß, sodaß die aufgelösten, skelettartigen Tragwerke technisch und wirtschaftlich geeigneter sind.

Heute ist im Großbau, d. h. im großen, weitgespannten Hallen- und im Hochhausbau, bezw. im Mehrgeschoßbau die Trennung von Tragwerk und Raumabschluß aus technischen und wirtschaftlichen Gründen allgemein durchgeführt.

An der raschen, ungeahnten Entwicklung des Großbaues ist der Bauingenieur in besonderem Maße beteiligt. Die Vervollkommnung der bis anhin üblichen baustatischen Methoden und ihr weiterer Ausbau, unter Einbezug auch des elastischen Verhaltens der Tragwerke, haben es ermöglicht, die Abmessungen der Tragwerke ohne Gefährdung der Sicherheit zu verkleinern, d. h. das Material besser auszunützen und damit wirtschaftlicher zu bauen. Die Abmessungen der alten Bauwerke aus Stein, Holz und diejenigen der

ersten Bauten in Eisen sind entweder rein empirisch oder auf Grund einfacher statischer Überlegungen, wobei das Tragwerk allgemein als statisch bestimmtes, frei deformierbares System aufgefaßt wurde, ermittelt worden. Während diese Grundannahme des starren Tragwerkes in zahlreichen Fällen richtige Resultate liefert, wird in anderen Fällen der wirkliche Spannungszustand nur sehr angenähert erfaßt, und eine Reihe maßgebender Einflüsse wie Schwinden, Temperaturänderungen und die Formänderungen des Tragwerkes unter der Einwirkung der äußeren Lasten bleibt ganz unberücksichtigt. Neben den statisch bestimmten, frei deformierbaren Tragwerken sind die statisch unbestimmten nicht mehr frei deformierbaren Tragwerke, besonders im Eisenbetonbau ganz unentbehrlich. Die Statik der Platten und Schalen, der Gewölbe und Kuppeln stützt sich auf das elastische Verhalten dieser Tragwerke unter der Belastung.

Außer der Erweiterung der baustatischen Methoden im vorstehend besprochenen Sinne wird heute das Raumproblem an Stelle des ebenen Problemes zu stellen versucht. Statt der vielfach üblichen statischen Untersuchung räumlicher Tragwerke durch Zerlegung in ebene Teilsysteme und deren getrennte Untersuchung, sucht der Bauingenieur das ganze Tragwerk als räumliches System zu behandeln, um damit namentlich die gegenseitige Beeinflussung der Tragwerksteile unter einer Belastung, d. h. bei einer elastischen Formänderung des Tragwerkes zu verfolgen. Die einschneidendsten Fortschritte in der Baustatik sind in der letzten Zeit in dieser Richtung erfolgt; der ebene Spannungszustand wird durch die räumliche Betrachtung ersetzt. Es sei diesbezüglich nur auf die Theorie der Platten bei allseitiger und bei punktförmiger Lagerung und auf die Schalentheorie verwiesen. Diese theoretischen Fortschritte haben zu Konstruktionen geführt, deren Leichtigkeit dank der sachlichen Durchbildung selbst beim Fachmann Bewunderung erweckt.

Als weiterer einschneidender baustatischer Fortschritt sei noch die Erweiterung der Methoden auch auf die inhomogenen Baustoffe, speziell den Eisenbeton erwähnt.

Theorie und Versuchspraxis haben die Unterlagen geschaffen, auf denen die Baukonstruktionen, ohne Empirie, den einwirkenden Lasten entsprechend statisch berechnet und dimensioniert werden können und zwar unter besonderer Beachtung der wirtschaftlichen Seite.

Selbstredend kann nicht vom Architekten verlangt werden, daß er in den statisch-konstruktiven Fragen die Arbeit des Bauingenieurs übernehme. Er sollte sich indessen soweit mit diesen Fragen befassen, daß er in der Lage ist, ein statisch brauchbares Tragwerk zu entwerfen, bevor es dem Bauingenieur zum Detailstudium übergeben wird.

Die wirtschaftliche Notwendigkeit verlangt, die statischen Berechnungen so knapp und klar als möglich zu halten. In besonders unübersichtlichen schwierigen Fällen, ferner, wenn die Kosten einer genauen statischen Untersuchung unverhältnismäßig hoch wären, sowie zur Abklärung umstrittener Fragen, leisten Modellversuche gute Dienste.

Heute sind die statisch-konstruktiven Fragen des Hochbaues zum Teil gelöst. Zum Teil werden sie durch Vertiefung der statischen Untersuchung und Anpassung der konstruktiven Durchbildung einer einwandfreien Lösung schrittweise nähergerückt. Während die frühere Baukunst, insbesondere die Steinarchitektur, mit vielen konstruktiven Schwierigkeiten zu kämpfen hatte und namentlich die Überdeckung der Maueröffnungen und Räume schwierig war, sind heute die konstruktiven Möglichkeiten viel mannigfaltigere.

Die Schwierigkeiten liegen viel weniger in der Ausbildung des statischen Tragwerkes, welches dank der Fortschritte des Bauingenieurwesens einen hohen Grad technisch-wirtschaftlicher Vollkommenheit erreicht hat, als vielmehr in der Ausbildung des Raumabschlusses. Der vollwertigen Ausbildung von Wand, Decke und Dach ist in bautechnischer Hinsicht bezüglich des einwandfreien Raumabschlusses unter Beachtung der wirtschaftlichen Faktoren die besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Während die Schutzforderungen des Raumabschlusses bei der früheren Ausbildung starker Steinmauern, -Gewölbe etc. infolge des großen Materialaufwandes keine weiteren Maßnahmen bedingten, sind heute bei der durch die Notwendigkeit wirtschaftlichen Bauens gegebenen knappen Dimensionierung die Schwierigkeiten bedeutend größere. Insbesondere sind die Fragen des Wärme- und Schallschutzes zum Teil noch ungelöst.

Von großem Einfluß auf die Lösung dieser Fragen wird die Entwicklung der noch jungen Industrie der künstlichen Baustoffe sein. Neben diesen bautechnischen Fragen ist das Interesse heute auch der Rolle der Industrie im Bauwesen zu schenken. In Anbetracht

der wirtschaftlichen Vorteile, die die weitgehende Industrialisierung des Bauwesens mit sich bringt — Verkürzung der Bauzeit, weitgehende Unabhängigkeit des Bauvorganges von der Witterung, d. h. Befreiung des Bauwesens vom Saisoncharakter — wird der Einfluß der Industrie im Bauwesen, d. h. die serienmäßige Herstellung normierter Bauelemente in der Fabrik, ferner die weitgehende Vorbereitung der Konstruktion in der Werkstätte, bezw. die Verlegung eines Großteiles der Arbeit vom Bauplatz in die Fabrik zweifellos noch zunehmen.

Die Grenzen dieser technisch-wirtschaftlichen Entwicklung im Bauwesen werden dadurch gegeben sein, daß — sobald es die wirtschaftlichen Verhältnisse gestatten werden — die individuellen Wünsche wie auch die örtlichen Verhältnisse wieder eine größere Berücksichtigung finden müssen.

Die in vorliegender Arbeit berührten technisch-wirtschaftlichen Fragen sind in Anbetracht der veränderten Bedingungen und Mittel vielfach neu und ungelöst. Sie beschäftigen heute den Architekten, den Bauingenieur, den Schall- und Wärmetechniker, den Hygieniker, den Bauunternehmer u. a. in hohem Maße. Wenn auch heute ein großer Teil des Interesses diesen vorgenannten Fragen technisch-wirtschaftlicher Art gilt, und die Lösung derselben eine Grundlage für die Durchbildung eines architektonischen Bauwerkes darstellt, ersieht der Architekt sein Ziel dennoch erst in der Durchdringung dieser technisch-wirtschaftlichen Fragen mit seinem künstlerischen Gestaltungsvermögen. Ist die Technik auch eine der maßgebendsten Grundlagen für die Gestaltung, so ist sie doch immer nur Mittel zum Zweck, nie aber Selbstzweck. Mit zunehmender Kenntnis und Beherrschung der bautechnischen Möglichkeiten wird der gestaltungskräftige Architekt seine Aufgabe immer sicherer bewältigen und auf diese Weise immer mehr seine ganze Kraft der Lösung der künstlerischen Probleme schenken können.
