

## Vorfertigung – Hightech und Handarbeit

### Prefabrication – High-Tech and Manual Production

Christian Schittich

Fotos:  
fotolia, seele holding GmbH & Co. KG,  
BDF/ Vennenbernd, Zaha Hadid Architects,  
Javier Callejas, E-Sevilla, Christian Schittich

»Die menschliche Behausung ist eine Angelegenheit des Massenbedarfs. Genau so, wie es heute 90 Prozent der Bevölkerung nicht mehr einfällt, sich ihre Beschuhung nach Maß anfertigen zu lassen, sondern Vorratsprodukte bezieht, die infolge verfeinerter Fabrikationsmethoden die meisten individuellen Bedürfnisse befriedigen, so wird sich in Zukunft der einzelne auch die ihm gemäße Behausung vom Lager bestellen können... Die grundlegende Umgestaltung der gesamten Bauwirtschaft nach der industriellen Seite hin ist daher zwingendes Erfordernis für eine zeitgemäße Lösung des wichtigen Problems.«<sup>1</sup>

So wie Walter Gropius sehen fast alle herausragenden Architekten der frühen Moderne in der seriellen Vorfertigung die Lösung der großen Probleme ihrer Zeit, gleichzeitig aber auch die Zukunft im Bauwesen. Wohnraum für alle ist das Motto der Ära nach dem Ersten Weltkrieg und es sind überwiegend soziale und wirtschaftliche Aspekte, die die Planer zur industriellen Massenproduktion und zur Rationalisierung der Bauprozesse verleiten. In einer Zeit großer Euphorie für das Automobil sind Architekten und Ingenieure davon überzeugt, dass dessen Herstellungsmethoden auch in der Architektur Einzug halten werden. Die systematischen industriellen Fertigungsprinzipien, wie sie Frederick Winslow Taylor und Henry Ford eingeführt haben, dienen ihnen als Beispiel dafür, wie in absehbarer Zukunft nicht nur Wand- und Deckenbauteile, sondern komplette Gebäudeeinheiten vorfabriziert werden sollen – für alle Standardbaufgaben, die weit über den Wohnungsbau hinausgehen.

Zwischen der damaligen Zeit, den 1920er-Jahren, und heute liegt fast ein ganzes Jahrhundert. Dazwischen liegen aber auch Konrad Wachsmann, der mit seinem Postulat für einen Wendepunkt im Bauen 1959 den Weg zu einer vollkommenen von Technik und Industrie bestimmten Architektur aufweist, oder die anschließende System-Euphorie der 1960er-Jahre. Dazwischen liegen die ersten Flüge zum Mond und die Entwicklung

von Baurobotern in Japan und später von komplett automatisierten Baustellen. Und schließlich liegt dazwischen auch die Einführung der computergestützten Planung und Fertigung. Doch trotzdem: Sieht man sich im Jahr 2012 auf einer kleineren Baustelle irgendwo in Europa um, so drängt sich schnell der Eindruck auf, dass sich seit damals gar nicht so viel verändert hat. Noch immer trifft man auf Zimmerleute, die Schalungen manuell fertigen oder kann beim Gießen von Unmengen von Ortbeton zusehen, der anschließend langwierig abbinden und austrocknen muss. Noch immer findet man Maurer, die von Hand Stein auf Stein schichten, sieht Dachdecker im Regen stehen oder Elektriker und Sanitärinstallateure in tosendem Lärm Schlitzte in zuvor von anderen errichtete Wände stemmen. Wie also steht es um Vorfertigung und automatisierte Bauprozesse im Jahr 2012?

#### *Kein Bauwerk ohne Vorfertigung*

Trotz des gerade geschilderten Bilds heutiger Baustellen ist die Vorfertigung aus unseren Bauprozessen nicht mehr wegzudenken. Neben den industriell hergestellten Produkten und Halbzeugen finden sich präfabrizierte Elemente in so gut wie jedem Gebäude, mit zunehmender Tendenz – als Teile des Tragwerks in Form von Stützen, Trägern und Deckenplatten, als Wand- oder Fassadentafeln, oder als Elemente der vorgehängten Gebäudehülle oder des Innenausbaus. Doch Präfabrikation, was streng genommen zunächst einmal nur die Verlagerung der Fertigungsprozesse von der Baustelle in die geschützte Werkstatt meint, ist nicht automatisch gleichbedeutend mit systematisiertem Bauen oder gar serieller Produktion. Gemessen an der Kaufkraft ist das Bauen an sich trotz des stetig steigenden Anteils vorgefertigter Bauelemente in den vergangenen Jahren auch nicht wirklich günstiger geworden. Das gilt sogar dann, wenn man die stetig steigenden Standards, beispielsweise für den Wärmeschutz, in die Betrachtung einbezieht. Vor allem eines fällt beim Blick auf die heutigen Bau- und auch Vorfertigungsprozesse auf: Auch in den



hochentwickelten Ländern Europas ist der Anteil an menschlicher Arbeitskraft nach wie vor relativ groß. Ein gutes Beispiel dafür gibt der Holzbau, der hierzulande den höchsten Grad an Vorfertigung erreicht.

#### *Holzbau*

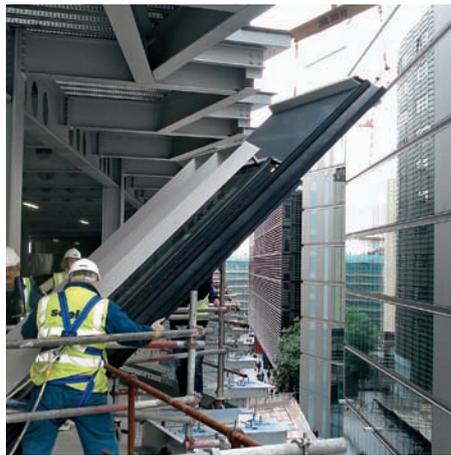
Der Holzbau hat in den vergangenen 20 Jahren technologisch einen Entwicklungsschub durchgemacht wie kaum ein anderes Material – vom Skelett- über den Holzrahmenbau der 1990er-Jahre bis hin zu den aktuellen Tafelbauweisen. Diese erlauben es, komplette Wand- oder Deckenelemente mit allen bauphysikalisch erforderlichen Schichten in der Werkstatt zu fertigen (Abb. 4) und dann in einem Stück auf die Baustelle zu transportieren, wo sie in wenigen Tagen zum Gebäude zusammengesetzt werden. Holzbauten aber kommen bislang überwiegend bei kleineren Bauaufgaben zum Einsatz, die stark auf individuelle Kundenwünsche zugeschnitten sind. Deshalb bleibt der Produktionsprozess weitgehend handwerklich geprägt. Eine Ausnahme bildet die Fertigung von Raumzellen wie etwa bei dem Hotel bei Reutte (s. S. 614ff.).

#### *Stahlbau*

Auch Stahlbauten sind für die Vorfertigung prädestiniert, schließlich bestehen sie zum Großteil aus industriell hergestellten Profilen und anderen Halbzeugen. Diese werden in der Werkstatt zu größeren Tragwerkseinheiten zusammengefügt, deren Maße durch die Transportmöglichkeiten bestimmt wird, und dann vor Ort auf der Baustelle montiert. Die Verarbeitung von Standardelementen und Blechen erfolgt in vielen größeren Stahlbauwerken weitgehend automatisiert, vom Schneiden durch die CNC-gesteuerte Laserschneidemaschine bis hin zum Verbinden mittels Schweißautomaten. Das aufwändige Zusammenfügen der räumlichen Verbindungsknoten kann die Maschine dem Menschen aber noch nicht abnehmen. Deshalb trifft man auch im Stahlbau nach wie vor auf relativ viel Handarbeit. Gleiches gilt für den gehobenen, individualisierten Fassadenbau (Abb. 2).



2



3

- 1 Maurer beim Anrühren von Mörtel
  - 2, 3 Fertigung von Elementfassaden an einer Fertigungsstraße in der Produktionshalle und Einbau an der Baustelle
  - 4 Produktion von Fertighäusern aus Holz an der Fertigungsstraße
- 
- 1 *Bricklayer mixing mortar*
  - 2, 3 *Fabrication of facade elements on a production line in a workshop; assembly on site*
  - 4 *Fabrication of timber houses on a production line*

Literatur:

- <sup>1</sup> Walter Gropius, Ein Versuchshaus des Bauhauses in Weimar, München 1924
- <sup>2</sup> Konrad Wachsmann, Bauen in unserer Zeit, Salzburg 1958

Beton

Laut Statistik liegt der Anteil an Betonfertigteilen im Hochbau in Deutschland aktuell nur bei etwa 30 Prozent, in einigen anderen europäischen Ländern wie Finnland oder den Niederlanden dagegen bereits deutlich höher. Vor allem dem Einsatz von Arbeitern aus dem Niedriglohnbereich hierzulande ist es zu verdanken, dass der arbeitsintensive Ortbeton noch immer konkurrenzfähig ist. Dabei bieten Fertigteile auch sonst zahlreiche Vorteile, von der gleichbleibenden Betonrezeptur über die bessere Oberflächenqualität oder die Zugriffsmöglichkeit von Maschinen zur Oberflächenbearbeitung bis hin zur Zeitersparnis auf der Baustelle durch das Abbinden im Werk. Neben Wandtafeln in kleiner Serie sind es vor allem Teile des Tragwerks, Stützen, Träger oder Deckenplatten sowie Treppenläufe, bei denen sich die Vorfertigung durchsetzt. Einen wirklichen Sonderfall bilden die Ausbauelemente für den Londoner Roca-Showroom von Zaha Hadid. Für die in zwei Richtungen

gekrümmten, hauchdünnen und glasfaserbewehrten Sichtbetonelemente wurden ein absolut exaktes Fugenbild und vollkommen gleichmäßige Oberflächen gefordert, so dass sich für dieses aufwändige Spezialprodukt der Transport vom Hersteller im oberbayerischen Raubling bis in die über 1000 Kilometer entfernte britische Hauptstadt tatsächlich lohnte (Abb. 6).

Mauerwerk

Der Mauerwerkbau ist traditionell eher zeitintensiv und mit aufwändiger Handarbeit auf der Baustelle verbunden. Um die Bauweise konkurrenzfähig zu halten, treibt die Ziegelindustrie die werkseitige Präfabrikation seit einigen Jahren stark voran. Neben den wirtschaftlichen Vorteilen stehen dabei die Unabhängigkeit von der Witterung und eine höhere Verarbeitungsqualität im Mittelpunkt. Im Fertighausbau ist die Produktion von Mauerwerk bereits weitgehend automatisiert, daneben besteht die Möglichkeit, Mauerscheiben für individuelle Bauten ent-

sprechend den Vorstellungen der Architekten zu fertigen – komplett, einschließlich den erforderlichen Aussparungen und Installationskanälen sowie für den Transport bewehrt. Hierbei bleiben Mauerroboter, die ausgefallene Verbände oder Muster zusammensetzen, noch exklusive Prototypen. Die Realität ist auch beim vorgefertigten Mauerwerk stark von Handarbeit geprägt (s. S. 637ff.).

Einen Sonderfall hinsichtlich der Präfabrikation stellt naturgemäß das Fertighaus dar. Hier ist Industrialisierung in der Produktion – abhängig von Material und Hersteller – am weitesten fortgeschritten. Fertighäuser findet man überwiegend im Einfamilienhausbau mit seinem relativ standardisierten Raumprogramm. Insgesamt gesehen aber liegt der Anteil an Fertighäusern unter den Einfamilienhäusern in Deutschland bei gerade einmal 15 Prozent, während beispielsweise Schweden mit der stolzen Zahl von 96 Prozent aufwarten kann.



4

Bauen – ein heterogenes Geflecht

Der kurze Überblick über die verschiedenen Bauweisen kann in diesem Zusammenhang nur relativ grob und unvollständig bleiben. Er verdeutlicht aber, dass der Grad an Vorfertigung tatsächlich weiter fortgeschritten ist, als es der flüchtige Eindruck auf mancher Baustelle erwarten lässt. Gleichzeitig führt er uns den hohen Anteil an menschlicher Arbeitsleistung vor Augen, der trotz Präfabrikation in vielen Bereichen noch immer notwendig ist. Doch werden die Prozesse beim alltäglichen Bauen jemals zu hundert Prozent automatisch ablaufen können? Kritiker bemängeln immer wieder die im Vergleich zur Automobilindustrie rückständigen Prozesse im Bauwesen – eine Feststellung, die in der Tat nicht von der Hand zu weisen ist. Trotzdem darf dabei nicht übersehen werden, dass das Angebot an verwendeten Konstruktionen und Materialien in der Architektur um ein Vielfaches größer ist als dort. Ein Gebäude ist ein vielfältiges, extrem heterogenes Geflecht und muss auf individuelle Nutzungsanforderungen ebenso



5

reagieren wie auf städtebauliche Vorgaben. Darüber hinaus verlangt die enorme Größe eines Gebäudes, dass vorgefertigte Bauwerke in transportable Einheiten zerlegt und später vor Ort unter Baustellenbedingungen und dem Wetter ausgesetzt zusammengefügt werden. Gleichzeitig wird das Bauen in manchen Teilen immer ein archaisch anmutender Prozess bleiben. Das beginnt bei der Gründung, wenn riesige Bagger das Erdreich ausheben und die braune Masse auf Lastwagen verladen, und setzt sich beim Gießen oder Rütteln des breiigen Ortbetons fort, ohne den nach wie vor kein größeres Bauwerk auskommt, sei es für die Fundamente, für Teile des Tragwerks oder schließlich auch für das Vergießen der Fertigteile. Genau das aber macht unsere heutigen Baustellen so faszinierend – das stete Zusammentreffen von Hochtechnologie mit überlieferten Techniken, von Hightech und Lowtech.

#### CAD-CAM-Koppelung – die Lösung aller Probleme?

»Die Existenz der Maschine bestimmt das Bauen unserer Zeit«<sup>2</sup> verkündete Konrad Wachsmann, der große Pionier des seriellen Bauens, Ende der 1950er-Jahre. Modernität in der Architektur hatte für ihn nichts mit formalen Aspekten zu tun, sondern allein mit der Konstruktion. Diese sollte dem Stand der maschinellen Fertigung entsprechen. Heute, ein halbes Jahrhundert später, haben sich die Vorzeichen umgedreht. Die ausgefallenen formalen Vorstellungen von Architekten und Bauherren determinieren die Art der Fertigung. CAM – Computer Aided Manufacturing – oder Individual Customization lauten die Zauberworte. Mit der digitalen Kette im Planungs- und Bauprozess (CAD-CAM-Koppelung) und der computergestützten Umsetzung lassen sich scheinbar auch die ausgefallensten Vorstellungen rechtfertigen.

Doch wird das Bauen damit wirklich günstiger oder gar besser? Vor allem die parametrischen Entwurfswerkzeuge haben zu einer regelrechten Flut von Experimenten mit aus-

- 5 Handlaminieren von zweifach gekrümmten GFK-Lamellen
- 6 Roca London Gallery, 2011, Architekten: Zaha Hadid Architects
- 7 Wohnhaus in einer flexiblen, industriell vorgefertigten Systembauweise, 2011, Architekten: Herreros Arquitectos
- 8, 9 vollautomatisiertes Plasmaschneiden von ebenen Blechen in einem Stahlbaubetrieb und Zusammenfügen der räumlichen Tragwerksknoten von Hand

- 5 *Manual lamination of glass-reinforced plastic (GRP) strips curved in two directions*
- 6 *Roca Gallery in London, 2011; architects: Zaha Hadid Architects*
- 7 *House in a flexible, industrially prefabricated system, 2011; architects: Herreros Architects*
- 8, 9 *Fully automatic plasma cutting of flat metal sheeting in a steel production firm; manual jointing of three-dimensional structural nodes*

gefallenen Formen geführt, die die aktuelle Architektursprache nachhaltig prägen. Beinahe alle der spektakulären, mit dem Computer generierten Projekte aber, die in jüngster Zeit Staunen und Beachtung der Fachwelt hervorriefen, konnten nur mit einem enormen Aufwand realisiert werden. Oftmals scheint es, als wäre der rechnergestützte Entwurf der Herstellung um Längen voraus. Wie weit Theorie und Praxis gelegentlich noch auseinander liegen, verdeutlichen etwa die gerade aufkommenden mehrfach gekrümmten Fassadenpaneele oder Lamellen aus glasfaserverstärktem Kunststoff. Gerade bei einigen der aufsehenerregendsten Beispiele in diesem Bereich wurden die am Rechner generierten komplexen Geometrien von Hand in osteuropäischen Billiglohnländern laminiert (Abb. 5).

Die für eine automatisierte Unikatsfertigung erforderliche CAD-CAM-Koppelung funktioniert also nur in den seltensten Fällen lückenlos, auch wegen der noch immer be-

stehenden Schnittstellenprobleme zwischen den einzelnen Planern wie Architekten und Ingenieuren, vor allem aber zwischen den unterschiedlichen am Bauprozess beteiligten Gewerken. Denn die bei uns übliche Regelung der Gewährleistung führt zu Brüchen im Bauprozess, wobei jeder Beteiligte eher sein eigenes Metier und nicht das Gesamtprojekt im Auge hat.

Ein weiterer Grund ist der enorme Kapitalaufwand, den der höhere Grad an Technisierung bei den Produktionsverfahren verlangt. Noch ist die Baubranche von einer überwiegend kleinteiligen Unternehmensstruktur geprägt. Der erforderliche Investitionsaufwand indes führt beinahe zwangsweise zur Verlagerung der Bauleistungen vom lokalen Handwerk hin zur Industrie – ein Prozess, der in seiner letzten Konsequenz gesellschaftlich nicht unbedingt gewollt sein kann, weil er nicht nur soziale Strukturen verändern, sondern auch das Aussterben überlieferter Handwerkstradition beschleunigen würde.



6



7

Mit den gerade angeführten Feststellungen sollen keineswegs das enorme Potenzial und die kommenden Chancen, die die rechnergestützte individuelle Fertigung eröffnen, infrage gestellt werden. Studien in den USA sehen ein zukünftiges Einsparpotenzial von bis zu 50 Prozent der Kosten. Aktuell sieht die Praxis allerdings noch anders aus. Die viel beschworene CAD-CAM-Koppelung führt im Moment eher dazu, dass Architekten und ihre Bauherren immer größere Freiheiten bekommen, ausgefallene formale Ideen überhaupt und zu noch einigermaßen erträglichen Preisen zu realisieren. Die wirklichen Probleme aber – der bezahlbare Wohnraum für jedermann oder gut nutzbare Schulen und Kindergärten zu vertretbaren Kosten – werden damit zumindest im Moment noch nicht gelöst.

*Bauen mit System*

Um die teuren Fertigungskosten beim Bauen zu reduzieren, ist es deshalb unabdingbar, wieder über einen höheren Grad an Standardisierung sowie die Entwicklung flexibler Systeme nachzudenken. Dabei sind offene variable Strukturen gefragt, die auf seriell erzeugten Elementen basieren, denn nur mit der Serie rentiert sich in vielen Bereichen die Automatisierung oder aufwändige Programmierung der Maschinen. Gleichzeitig sollten derartige Systeme so flexibel sein, dass sie sich innerhalb eines bestimmten Spektrums den individuellen Bedürfnissen der jeweiligen Nutzer anpassen lassen, ein gewisses Maß an Gestaltungsvielfalt gewährleisten, sowie die Weiterbeschäftigung der lokal ansässigen Handwerksbetriebe bei der Montage ermöglichen. Sinnvoll angewandt, könnten systematisierte Bauweisen dann auch zu einem effizienteren Einsatz von Rohstoffen und Energie führen, zu einer Verminderung des Transportaufwands, aber auch zur Reduzierung von Abfällen durch gezieltes Recycling. Ein überliefertes Beispiel für sehr frühe Systembauten, bei denen dieses Prinzip seit ewigen Zeiten funktioniert, geben die Jurten der Mongolen und verschiedener Turkvölker in Zentralasien, deren Konstruktion, Form und Größe

sich über Jahrtausende kaum verändert haben. Das ermöglichte nicht nur einen stetigen Know-how-Transfer von einer Generation zur nächsten, sondern erlaubte es den Hirten auch, beschädigte Elemente auf einfache Art auszutauschen bzw. die noch brauchbaren Teile aus dem in der Steppe ausgesprochen kostbaren Material Holz immer wieder zu verwenden, gegebenenfalls auch an einem anderen Zelt. Doch heute stehen systematisierte Bauweisen auch in der Öffentlichkeit in einem schlechten Ruf. Zu viele Fehler aus der Vergangenheit – wie etwa die Bauschäden der Anfangszeit oder die Monotonie der Plattenbauten im Osten – haben sich in den Köpfen festgesetzt und prägen nun das Bild. Beinahe noch größer aber ist der Widerstand unter den Architekten. Die Mehrheit unter ihnen sieht die individuelle Urheberschaft am eigenen Werk und die stete Innovation – noch ganz im Sinne des Renaissancekünstlers – nach wie vor als höchstes Gut und fühlt sich in ihren kreativen Entfaltungsmöglichkeiten allzu sehr eingeschränkt.

Ein Plädoyer für ein stärker systematisiertes Bauen jedoch meint nicht, dass es in Zukunft keine Ikonen oder gar Luxusbauwerke mehr geben darf. Natürlich soll und muss es auch weiterhin eine besondere Architektur dort geben, dort wo sie angemessen ist – als Erlebnisraum oder Marketinginstrument etwa von Automobilkonzernen, mehr noch aber für besondere Orte, die Identifikation stiften wie Sakralbauten und Theater, Opernhäuser und Kunstmuseen. Neben solchen Ikonen existieren aber auch unzählige Standardbautypen, deren Exponenten sich ohnehin oftmals überraschend ähnlich sehen. Hier eröffnet sich ein breites Spektrum sinnvoll eingesetzter Systeme und seriell gefertigter Elemente, beispielsweise im Geschosswohnungs- oder im Bürobau, wo sich konstruktiv und auch hinsichtlich der Grundrisssaufteilung viele nebeneinander stehende Gebäude kaum voneinander unterscheiden – außer durch ihre Fassade, die ohnehin weitgehend präfabriziert und vorgehängt wird.



8

Dass Systembauten nicht langweilig sein müssen, verdeutlichen zahlreiche gelungene Beispiele aus der jüngeren Zeit (Abb. 7). Wenn sie offen und flexibel genug angelegt sind, können sie auch dem gesellschaftlichen Wunsch nach Individualität weitgehend Rechnung tragen. Wie die daraus entwickelte Architektur letztendlich in Erscheinung tritt, hängt wesentlich von den Wünschen und dem Geschmack seiner Nutzer ab, und natürlich auch von den Fähigkeiten seiner Entwerfer. Professionell gestaltet wären die zugrundeliegenden Elemente in diesem Fall ohnehin. Nach wie vor jedoch wird die Feststellung, jeder Bau sei ein Unikat, als Hauptargument gegen die Serie und gegen Standardisierung angeführt. Natürlich ist dieses Argument in gewisser Weise richtig. Die Frage ist nur: Warum sieht man die vermeintliche Individualität so vielen Einfamilien- und Geschosswohnungshäusern, so vielen Verwaltungs- oder Industriebauten dann nicht wenigstens auch an?



9



10

Like Walter Gropius, who saw housing as a mass demand that could be satisfied only by mass production, most architects of the Modern Movement regarded industrial prefabrication as the solution to the major problems of their time. "Housing for everyone" was the slogan after the First World War, and it was mainly for social reasons that planners advocated serial production and the rationalization of building. Euphoria for the automobile and the methods used in its manufacture suggested parallels in the fabrication of housing. Nearly a century has passed since then, a period in which Konrad Wachsmann pointed the way to a new form of architecture dominated by technology and industrial processes; an age that has also witnessed the development of construction robots in Japan and fully automated building sites, as well as the emergence of computer-aided planning and fabrication. Looking at smaller sites in Europe, however, one might easily gain the impression that little has changed in the meantime. Carpenters still cut and fix boarding by hand, and walls are built by laying one brick on another. Nevertheless, construction today would be unimaginable without prefabricated elements for both internal and external situations, from structural members to cladding and finishings.

There are strong arguments for prefabrication: it takes place under workshop conditions, protected from the elements and with greater access to automatic machines than on site. Standardization also leads to higher quality in the execution and to lower costs. Greater flexibility is possible; working conditions and security are improved; and the construction period on site is reduced. Prefabrication does not automatically mean system building or serial production, however; and despite increased automation, construction has not really become more economical. There is still a large manual input. Although it may be desirable to reduce the volume of this expensive form of work in some countries, the opposite may be the case for ecological reasons and also in developing nations, where the local workforce, know-how and responsibility will remain intact, and industry in distant cities

will profit less from construction projects than small and medium-size regional concerns. In Europe, the material with which the highest degree of prefabrication has been achieved so far is wood. It is easy to work and light in weight compared with bricks, concrete and steel. As a renewable resource, it also enjoys political support and has witnessed a greater boost in its technological development in the past 20 years than almost any other material. But because the majority of timber structures are based on the individual wishes of clients, there is still a large manual input in the production process.

The fabrication of spatial cells, as in the case of the Hotel near Reutte by Oskar Leo Kaufmann and Albert Rűf (page 614ff.), is something of an exception. Here, the relatively great number of identical units facilitated a largely mechanical production process in which the individual rooms were manufactured complete with sanitary cells and furnishings. Prefabrication with steel is based mainly on industrially produced sections and other semi-finished goods. These are assembled to form large-scale elements, the maximum size of which is determined by transport constraints. In bigger concerns, the processing of standard units and sheet metal is largely automated. Even so, steel construction still involves a lot of manual work. Computer-aided planning and calculations allow the production of increasingly complex structural forms, but the elaborate nodes that then occur often require manual welding and other work, unless cast elements are used.

Nowadays, precast concrete units compete more and more with in-situ concrete work. Especially in industrial and commercial construction, standardized systems and prefabrication have long gained the upper hand. A striking example of the application of precast concrete can be seen in the finishing elements for the Roca showrooms in London by Zaha Hadid Architects (ill. 6). For the wafer-thin, glass-fibre-reinforced units, which are curved in two directions, precise jointing and a perfectly even surface were required. The special character of this product made it viable to transport it a distance of more than 1,000 km

from the manufacturer in Bavaria to its final location in England.

Brickwork is traditionally a laborious form of construction. To make it more competitive, the brick industry has been propagating prefabrication at works for some years now. In addition to the fully automated production of housing, wall elements are now manufactured for individual buildings (page 637ff.). Robots are occasionally used to create special brick bonds. Prefabricated units are reinforced for transport and supplied complete with openings and service ducts. Where the brickwork will not be visible, blocks with smooth-ground bearing surfaces and thin bedding joints offer an alternative to prefabricated elements. Curtain-wall facades are almost exclusively manufactured at works. Standard elements allow a high degree of automation, whereas better quality design usually implies a larger proportion of manual work and individual profiles. The number of units required for any one site in this type of construction is usually limited, with special elements specified for corner situations, for example.

Sandwich facade elements with metal cladding and core insulation are one area where a high degree of prefabrication is possible, but industrialized production is furthest advanced in the single-family-house sector, where the spatial programme is relatively standardized. In Germany, the proportion of such houses that are prefabricated is a mere 15 per cent, whereas in Sweden it is 96 per cent. Will the processes involved in everyday construction ever allow fully automated fabrication? Although critics often lament the backwardness of the building sector in comparison with the automobile industry, they overlook the fact that many more materials and forms of construction are involved in the former. Building construction is a very heterogeneous set of relationships, ranging from the constraints of urban planning to individual user requirements. Furthermore, the sheer size of buildings makes it necessary to divide them into transportable units that then have to be assembled and jointed on site. For Konrad Wachsmann, modern building had nothing to do with formal aspects, but



- 10 Traggerüst einer Jurte in Usbekistan als Beispiel für einen jahrtausendealten Systembau
- 11–13 King's Cross Station, London 2012  
Architekten: John McAslan + Partners  
Tragwerksplaner: Arup
- 11 Vorfertigung des Stahltragwerks im Werk
- 12 Blick in das gewölbte Dach
- 13 Einbau der vorgefertigten Dachpaneele
  
- 10 *Load-bearing framework of a yurt in Uzbekistan: an example of system construction that is thousands of years old*
- 11–13 *King's Cross Station, London, 2012; architects: John McAslan + Partners  
Structural engineers: Arup*
- 11 *Prefabrication of steel load-bearing structure at works*
- 12 *View of curved roof*
- 13 *Assembly of prefabricated roof panels*

11

12

solely with the construction, which he felt should reflect the state of mechanical production. Today, more than 50 years later, the situation has been reversed: often it is the unusual formal concepts of architects and clients that determine the nature of the production. Computer-aided manufacturing (CAM) and individual customization are the magic formulae. The most outlandish concepts can be justified if there is a digital chain in the planning and construction process and computerized implementation. But nearly all the computer-generated projects at which professional circles marvel involve an enormous outlay. Studies made in the US see a potential for savings of up to 50 per cent of the costs. At

present, though, it would seem that architects and clients are claiming ever greater licence to implement unusual formal ideas. In the final analysis, what seem like relatively sustainable costs prove to be at the top end of the scale. The crucial problems, therefore, namely building mass housing, schools and kindergartens to a reasonable price, are not resolved. To reduce production costs in building, the system concept must be revived; for automation is viable only where series of objects are involved. Within certain limits, systems should be flexible to meet the individual needs of users. At the same time, standardization would mean a more efficient use of raw materials and energy. There is still a strong resistance

among architects to systematized forms of construction, however. The majority of them see individual authorship and constant innovation as the highest goals. In addition, too many mishaps in system construction in the past have left their mark on public opinion. There will always be a need for unique architecture, but there are a large number of standard situations where systems and serial fabrication would make sense. They do not have to be dull and restrictive, as many recent examples, like the house (ill. 7), show. "Every structure is a unique object" is the argument commonly levelled against standardization. Why, then, is this not perceptible in so many buildings constructed today?



13