

Baurobotik

Mass Customization im Bauwesen

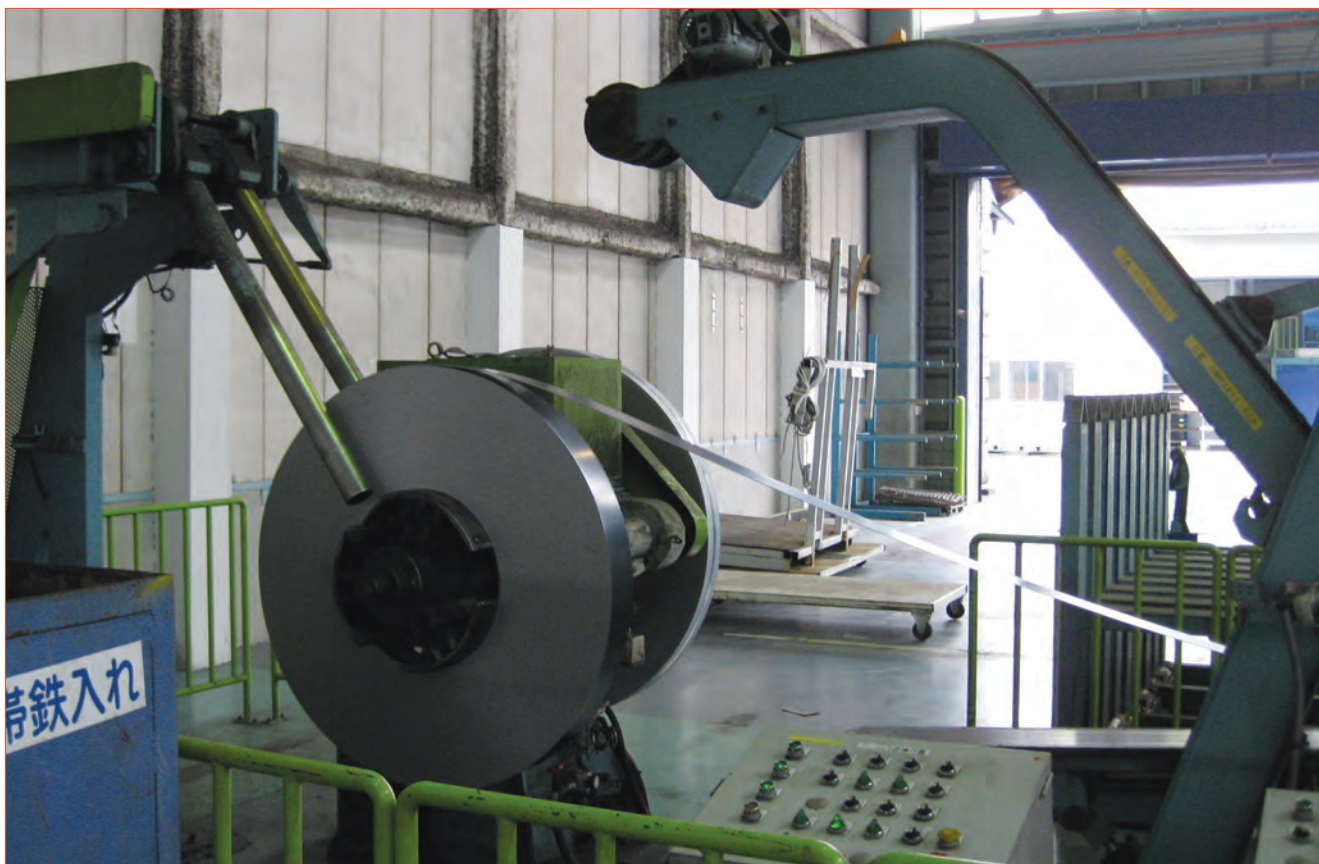


Bild 1: Erste Fertigungsstation bei Sekisui House. Insgesamt lässt der gesamte Fertigungsprozess immer wieder Ähnlichkeiten zur Automobilindustrie erkennen.

Einen radikal neuen Ansatz zur Erhöhung von Ressourceneffizienz und zur Ausweitung des Verständnisses von Nachhaltigkeit in der Bauindustrie verfolgen Forscher der TU München. Ein komplementäres Zusammenspiel von innovativen modularen Bausystemen, Lebenszyklusmanagement und industrialisierten automatisierten Fertigungsstrukturen in Verbindung mit einem Kreislaufsystem soll die Bauindustrie einen Schritt näher an hocheffiziente Schlüsselindustrien wie den Automobil- oder Flugzeugbau heranführen.

In verschiedenen Projektgruppen haben die Forscher bisher an Lösungen zur Gewerke übergreifenden Modularisierung von Bausystemen und Gebäudetechnikkomponenten gearbeitet. Ebenso beschäftigen sich die Forscher bereits seit Jahren mit der Übertragung von verbrauchsorientierten IKT-basierten Prozessstrategien (z.B. Mass

Customization) der industriellen Produktfertigung in die Bauindustrie sowie mit der Entwicklung von skalierbaren Hightech-Lösungen zur Unterstützung von kontrolliertem und damit ressourcenschonendem Auf- und Rückbau auf der Baustelle.

Einen wichtigen Anhaltspunkt für die reale Implementierung bietet den Forschern der japanische Baumarkt. Hier hat seit den 1960er Jahren schrittweise eine Systematisierung und Automatisierung vor allem im Wohnbausektor stattgefunden. Die Unternehmen modularisieren individuell gestaltete Ein- und Mehrfamilienhäuser und fertigen die Module anschließend auf dem Fließ-

band unter Zuhilfenahme von flexiblen und gleichzeitig hoch automatisierten Fertigungsprozessen. Bei manchen Baukonzernen wurde das industrielle Fertigungsverfahren sogar noch weiterentwickelt und schlussendlich konsequenter angewendet als in der Automobilindustrie:

Obwohl die Teilevielfalt größer ist als bei Autos, können Häuser mit individuellen und immer neuen Grundrissen und Gestaltungsmerkmalen industriell gefertigt werden. Dies kann vor allem auf die Verwendung von Entwicklungs- und Fertigungsstrategien zurückgeführt werden die aus dem Bereich Mass Customization (zu Deutsch: kundenindividuelle

	Sekisui House	Daiwa House	Sekisui Heim	Toyota Home
Erzielter Höchstoutput	78.275 (1994)	44.500 (2007)	34.560 (1997)	5.024 (2006)
2009	55.088	42.847	14.550	4.302

Massenfertigung) kommen. Vorstehende Tabelle zeigt die jährliche Produktion von Häusern im Fließfertigungsverfahren der größten Vorfertigungsunternehmen in Japan.

Zweidimensionale Fertigung

Sekisui House ist der derzeit größte japanische Hersteller von industriell vorgefertigten individuellen Wohnhäusern (ca. 55.000 Wohneinheiten/Jahr). Im Gegensatz zu den Systemen von Sekisui Heim und Toyota Home, die mit dreidimensional bestückbaren Units arbeiten, verwendet Sekisui House kompakte und schnell montierbare Stahlrahmen. Die Stahlrahmen werden aus standardisierten Stahlprofilen durch Roboter (Bild 1) zusammengesetzt. Sowohl die vorangehende Logistik und Materialzufuhr als auch der anschließende Schweißvorgang sind vollautomatisiert. Da eine begrenzte Anzahl unterschiedlicher Stahlrahmen genügt, um eine fast unendliche Variantenvielfalt zu erzeugen, werden insbesondere durch die Fertigung der Rahmen selbst enorme Skaleneffekte erzielt.

Die Stahlrahmen können anschließend mit Ausbaukomponenten (Fenster, Türen etc.) verschiedenster Hersteller und auch z.B. komplett individuell designten Oberflächenelementen (Bild. 02) bestückt werden. Hier zeigt sich sehr gut, dass die Voraussetzung für die hohe und durch Automatisierung erreichte Effektivität in einem zu den angewendeten Herstellungsverfahren komplementären Produktdesign liegt.

Durch Modularisierung wird ähnlich wie in der Automobilindustrie aus der Koppelung von Plattformen (Stahlrahmen), Systemteilen (Ausbaukomponenten) und Hutteilen (Oberflächen) eine Komplexitätsreduktion erreicht, welche Variantenvielfalt und sogar Individualität in einem der Massenfertigung ähnlichen System ermöglicht.

Industrialisierte Fertigung dreidimensionaler Subsysteme

Die industrielle Subsystemfertigung von Bad- und Küchenraumzellen begann um ca. 1920 in den skandinavischen Ländern (Schweden, Finnland, Norwegen). Lang andauernde Winter setzten die Architekten und Bauherrn unter Druck, in den kurzen Sommerphasen so effizient wie möglich zu bauen.

In Deutschland setzte sich die industrielle Herstellung hochinstallierter drei-



Bild 2: Vollautomatisiertes Teilelager der Firma Sekisui House.

dimensionaler Subsysteme seit Beginn der 60er Jahre durch. Die Erstellung von Nassräumen bildet auf Baustellen bis heute oft ein Nadelöhr, da bis zu 10 Gewerke auf oft knappem Raum koordiniert werden müssen und gleichzeitig Präzisionsarbeit leisten sollen; die Vorfertigung hingegen kann ohne Reibungsverluste parallel zum normalen Bauablauf stattfinden. Vorgefertigte Subsysteme kamen anfangs insbesondere bei der Erstellung von Hotels, Krankenhäusern, Alten- und Pflegeheimen zum Einsatz, also überall dort, wo ein möglicher Ausfall von Belegungszeiten eine hohe Effizienz bei der Bauerstellung fordert.

Insbesondere in Japan wurden sie auch im Hochhausbau gern in der sogenannten Turmlösung eingesetzt. Heute ist der Einsatz von vorgefertigten Subsystemen nicht mehr auf einen bestimmten Bereich beschränkt: Modularisierte Highend-Baukästen verschiedenster Hersteller und Ausstattungen (z. B. Inax, Toto) sind nicht mehr von konventionell erstellten Bädern zu unterscheiden.

Hinsichtlich der Bauweise sind einerseits die sich immer mehr durchsetzende Sandwichbauweise und andererseits verschiedene Mischbauweisen zu unterscheiden. Die dreidimensionalen Subsysteme können als kompakte Moduleinheiten oder bei entsprechenden Bauwängen als elementiertes System just in time geliefert werden. Dreidimensionale Subsysteme werden meist in der

Werkstattfertigung ähnlichen teilautomatisierten Herstellungsverfahren auf den individuellen Bedarfsfall hin gefertigt.

In Japan werden durch Zulieferer gefertigte Bad- und Küchenraumzellen wiederum als Großmodule (ähnlich wie z.B. bei der Fertigung des Smart in Hambach) in die Vorfertigung von ganzen Gebäuden z.B. durch Sekisui Heim und Toyota Home eingebunden.

Umsetzung komplexer dreidimensionaler Fertigungsverfahren

Einen Schritt weiter als die vergleichsweise einfache lineare oder zweidimensionale Fertigung von Komponenten, aus denen schließlich vor Ort in immer noch zahlreichen Montageprozessen Gebäude montiert werden, geht die Fließfertigung von Häusern aus Raumzellen, wie sie von den japanischen Herstellern Sekisui Heim und Toyota Home seit nun fast einem halben Jahrhundert praktiziert wird. Auch die beschriebenen dreidimensionalen Subsysteme kommen hier als Einbauten zum Zuge.

Diese Herstellungsweise hat viele Analogien zur Automobilherstellung und zeigt, dass eine Fließfertigung erst dadurch möglich wird, dass ein dreidimensionaler Stahlrahmen sozusagen als Chassis benutzt wird. Diese Trägerstruktur wird auf einem ca. 400 m langen Fließband mit 1,4 m/min über 45 Stationen durch die Fabrik geschickt und hierbei von



Bild 3: Fließfertigung von Badraumzellen (Subsystemen) auf Unterboden als Trägerstruktur, Firma: Inax, Nagoya.



Bild 4: Individueller Ausbau eines Gebäudemoduls auf dem Fließband, Sekisui Heim.

allen Seiten subsequentiell mit Komponenten bestückt, die entweder just in time angeliefert werden oder parallel auf anderen Ebenen (z.B. Wandpaneele) in der Fabrik erstellt wurden.

Das Ziel von Sekisui Heim und Toyota Home ist es, die Komplexität des Erstellungsprozesses weitgehend in die Fabrik zu verlagern, hier bereits ein möglichst „fertiges“ Produkt zu erzeugen und die weniger kontrollierbaren Montageprozesse auf der Baustelle zu minimieren. Die Raumzellen, die schließlich von einer der zahlreichen über ganz Japan verstreuten Fabriken geliefert werden, sind soweit ausgebaut und installiert, dass sie an einem Tag zu einem witterungs-festen Bau zusammengesetzt werden können. Die endgültige Fertigstellung auf der Baustelle inklusive Erstellung der Außenanlagen und schlüsselfertige Übergabe nehmen anschließend nur ca. 4 Wochen in Anspruch. Die benötigten Verbindungen und Verfugungen sind konstruktiv so vorbereitet, dass auf der Baustelle selbst nicht mehr als 4 ausgebildete Monteure notwendig sind.

Die Produktivität dieser Herstellungsweise ist so hoch, dass je nach Auslastung der Kapazitäten jährlich pro Mitarbeiter 3 bis 4 Gebäude erstellt werden. Weiter zeigen Analysen, dass vorgefertigte Häuser meist sogar höheren Preiskategorien angehören als konventionell gefertigte: Sie sind insbesondere bei den besser verdienenden Gesellschaftsschichten aufgrund ihrer hohen Qualität sehr beliebt.

Als wichtiger Faktor für das positive Image spielt in der Technologie begeisterten Kultur Japans neben der oft zitierten garantierten Erdbebensicherheit der nach strikten Qualitätsvorgaben gefertigten Häuser auch die Tatsache eine Rolle, dass die Produkte mithilfe von Hightech gefertigt wurden.

Sekisui Heim M1: Design for Production

Kazuhiko Ohno entwickelte 1968 im Rahmen seiner Masterarbeit an der Tokyo University für Sekisui Heim das legendäre M1-System. Dieser dreidi-

mensionale Baukasten zeichnete sich insbesondere durch seine geniale Einfachheit aus und war in der Lage, die Komplexität so weit zu reduzieren, dass eine industrielle Fließfertigung in den Bereich des Möglichen rückte. Das M1 vereinigte so Qualitäten, die bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht zusammengeführt wurden. Zum einen war das erstmals auf Units (Stahlrahmen) basierende System perfekt geeignet für die (subsequenzielle) industrielle Herstellung mit einem hohen Vorfertigungsgrad. Auch konnte durch die Modularisierung und die hierarchische Staffelung der Bauteilwertigkeiten (Units-Infills-Oberflächen) mit hoher Effizienz eine anfangs geringe Variantenanzahl erzeugt werden. Weiter war beim M1 die architektonische Ausdrucksweise charakterisierend, die den modularen Aufbau als gestaltendes Element nutzte; dieses Merkmal ging bei späteren Sekisui Modellen aufgrund von Kundenwünschen und Marktzwängen verloren.

In den 70er Jahren erreichte das M1 über lange Strecken eine sensationelle

Jahresproduktion von über 3.000 WE/Jahr. Erst diese hohe Jahresproduktion ermöglichte die Investition in teure Herstellungssysteme (Automatisierung, Robotik, Logistiksysteme), die heute die Eigenheit der gesamten japanischen Vorfertigungsindustrie bilden.

Insgesamt wurde beim System M1 noch eine hohe Anzahl standardisierter Raummodule verwendet, die Wahlmöglichkeiten und die Integration des Kunden in den Erstellungsprozess waren noch vergleichsweise gering, was sich im Folgenden jedoch bald ändern sollte.

Toyota Home: Kundenindividuelle Fertigung und japanische Industriekultur

Eine wichtige Weiterentwicklung zur großindustriellen kundenindividuellen Fertigung wurde durch Toyota und dessen Übertragung des legendären Toyota Production Systems auf die Herstellung von Gebäuden in Raumzellenbauweise vollzogen. Nach dem zweiten Weltkrieg

suchte die Toyota Motor Corporation zunächst nach einem Weg, ihre Produktivität zu vervielfachen. Man wollte mit den US-amerikanischen Ikonen der Massenproduktion mithalten können.

Ein Besuch bei Ford und General Motors führte die Verantwortlichen von Toyota aber zu der Einsicht, dass eine Fertigungsstrategie basierend auf Massen- oder Variantenproduktion und Economies of Scale niemals mit großem Erfolg in einem japanischen Gesellschafts- und Wirtschaftssystem funktionieren könnte, das auf ständigen Wandel ausgerichtet ist. Bereits zur damaligen Zeit gab es in Japan ausgesprochen differenzierte und schnell wechselnde Märkte, die eine Produktion im Rahmen von Kleinserien erforderten. Auch fürchtete man die Auswirkungen einer möglichen weltweiten Rezession. Man vermutete, dass industrielle Unternehmungen, die auf die Herstellung großer Mengen eines standardisierten Produkts abzielen, eine Wirtschaftskrise nur mit gewaltigen Verlusten überstehen könnten (Taichi Ohno).

Wie sehr Toyota Weitblick bewiesen hat mit einer Strategie, die auf Nachhaltigkeit und Schonung der Ressourcen setzt, zeigt sich gerade jetzt: Die befürchtete Krise ist tatsächlich eingetreten und sie fordert genau den Tribut, den man in Japan nicht bereit war zu zahlen.

Aus diesen Umständen heraus wurde das Toyota Production System (TPS) entwickelt. Die grundlegende Idee war es, Material- und Informationsströme der Massenproduktion (Pushing Production) substantiell zu reformieren und dadurch zu einer industrialisierten Fertigung zu gelangen, die konsequent den Bedarf zum Ausgangspunkt macht (Pulling Production). Mit einem Wirtschafts- und Herstellungssystem, das kompromisslos mit Informationstechnologie durchdrungen ist, hat sich Toyota eine Infrastruktur aufgebaut, die sich dynamisch an den individuellen Wünschen vieler einzelner Kunden ausrichten kann.

Von diesem Stand der Entwicklung ausgehend war die Einführung industrieller

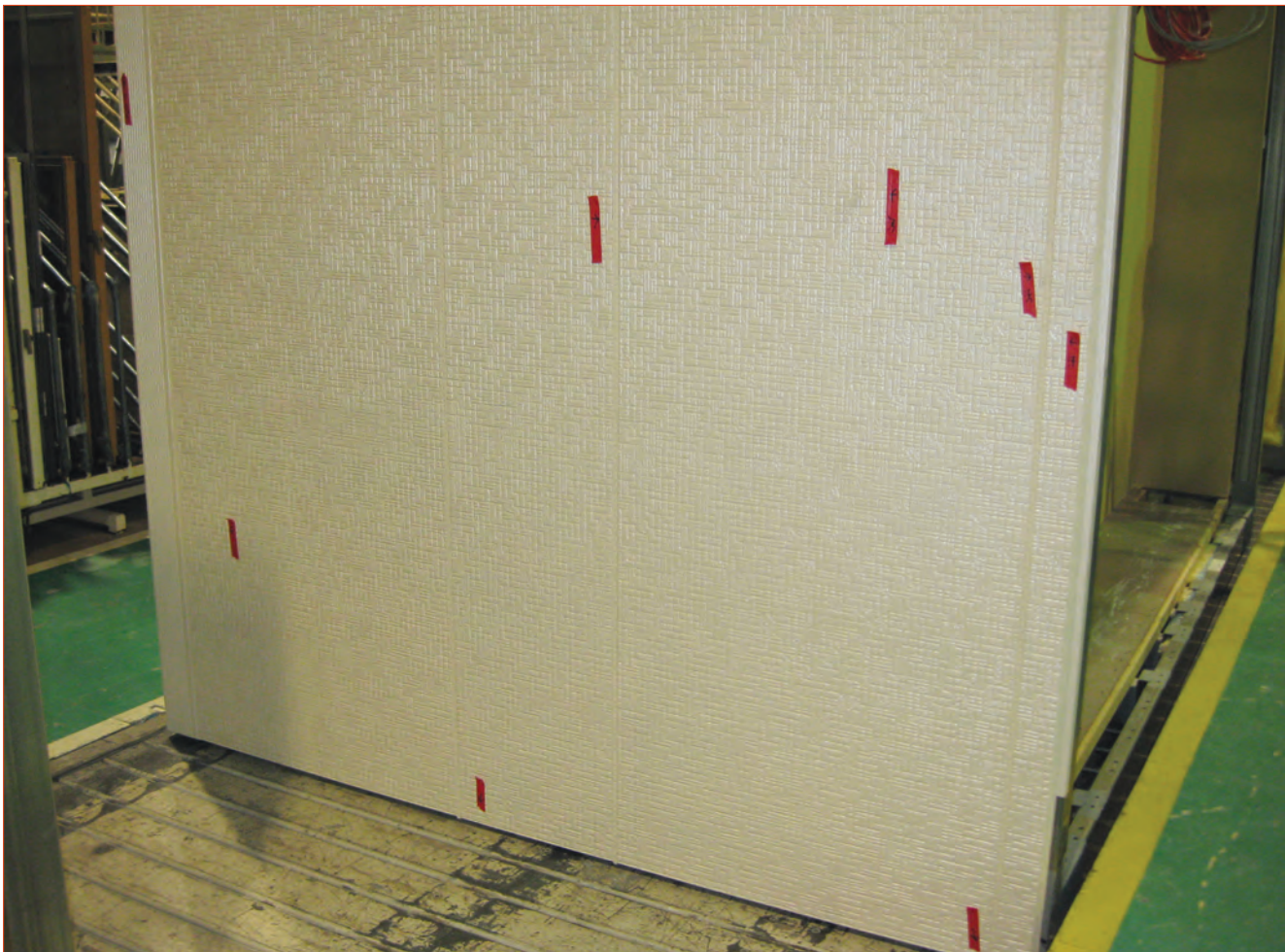


Bild 5: Entsprechend der japanischen Industriekultur werden alle Produkte in der Fabrik zwischen den einzelnen Fertigungsstationen penibel überprüft: Fehlerhafte Produkte gelangen gar nicht erst zur nächsten Station.



Bild 6: Kontrolle der Ressourcenströme und 0-Waste-Fabriken sind in der japanischen Bauindustrie bereits Realität.

Abläufe in das japanische Bauwesen ein relativ leicht zu nehmender Schritt: In Japan ebenso wie in Europa sind Gebäude stark mit dem Gedanken der Individualität verknüpft, aber speziell in Japan war die Kluft zwischen Rationalisierung der Abläufe und gleichzeitiger Individualisierung der Endprodukte bereits überwunden. Die Einführung dieses Systems Mitte der 70er Jahre in die aufstrebende Prefab Industrie war ein wichtiger Schritt in der weiteren Entwicklung und so bewegen sich jetzt nicht nur in den Hallen von Toyota Home Stahlrahmen (Skeleton) auf einem Fließband durch die Fabrik, wo sie just in time just in sequence den geforderten Lösungen angepasst werden.

Alle Häuser – zusammengesetzt aus einer variablen Anzahl von Komponenten

und bis zu einem gewissen Grad individualisierbaren Einzelmodulen – erhalten so eine eigene Identität.

Sekisui Heim: Expertensysteme zur Produktivitätssteigerung

Nach der Einführung einer auf den einzelnen Kunden ausgerichteten Herstellung in die industrielle Herstellung durch Toyota Home wurde dieses System in angepasster Weise auch bald von Sekisui Heim übernommen und weiterentwickelt. In den 80er Jahren war es dann die Firma Sekisui Heim, die mit der Nutzbarmachung erster komplexer Expertensysteme für die industrielle Bauproduktion eine weitere entscheidende Innovation einbrachte. Sekisui Chemical, ein großer breit aufgestellter Konzern mit zahlreichen Geschäftsfel-

dern (Kunststoffe, Infrastruktur, Wohnungsbau, Umwelt- und Energietechnologien), zu dem auch Sekisui Heim gehört, ließ sich unter Mitwirkung des MIT ein Konzept für ein Computer gestütztes Expertensystem entwickeln, welches bei der Steuerung von Herstellung und Logistik helfen sollte.

Das System wurde schließlich auch bei Sekisui Heim eingeführt, in zahlreichen Generationen weiterentwickelt und ist heute als HAPPS (Heim Automated Parts Pickup System) bekannt. HAPPS war eines der ersten Parameter basierten Systeme, die es erlaubten, die von Architekten und/oder Kunden gewünschten Grundrisse und Gestaltungswünsche direkt in Produktions- und Logistikpläne zu übersetzen. Weiter kann HAPPS heute auch dazu verwendet werden, neue Produktplattformen und Varianten aus bestehenden Komponenten zu entwickeln. Mit Hilfe des HAPPS werden heute jährlich ca. 15.000 Wohnhäuser gefertigt, was bedeutet, dass eine große Fabrik am Tag in etwa 135 der komplett ausgebauten und installierten Units herstellt (= eine Unit alle 3 Minuten). Bei der Erstellung müssen aus ca. 300.000 gelisteten Komponenten für ein Haus ca. 30.000 Teile ausgewählt werden und mit den ca. 70 verschiedenen Unit-Typen, den Zulieferern, den Arbeitsvorgängen auf verschiedenen Ebenen und der Taktung (ca. 1,3 m/min) und Beschickung des ca. 400 m langen Fließbands in optimierter Weise und just in time just in sequence synchronisiert werden.

0-Waste und Re-Customization

Da die Unternehmen die Vorteile der Fertigung von Gebäuden im Fabrikumfeld auch zur effizienten Kontrolle der Ressourcenströme nutzen, konnten diese bereits 0-Waste-Fabriken realisieren – angesichts der immer wertvoller werdenden Rohstoffe zudem ein klarer Marktvorteil. Überdies hat Sekisui Heim bereits vor einigen Jahren ein Konzept mit dem Namen System Reuse House eingeführt und nimmt bei Veränderungen von Wohnsituationen bzw. Um-/Auszug die gefertigten Module zurück.

Die Module werden in der Fabrik in einer Art Umkehrung des Herstellungsprozesses bis auf das Grundgerüst kontrolliert zerlegt und anschließend neu konfiguriert. Subkomponenten und Einzelteile werden dabei entweder direkt in die Recyclingkreisläufe eingespeist, als Ersatzteile aufbereitet oder aber als Komponenten für Käufer von Reuse Houses neu aufbereitet.

Vom Bauunternehmen zum Serviceunternehmen

Derzeit werden in Japan jährlich weit über 100.000 Gebäude industriell durch die beschriebenen Verfahren vorgefertigt. Der Vorfertigungsgrad beträgt bei Sekisui Heim ca. 80% und bei Toyota Home sogar 85%. Gerade bei Toyota Home fällt heute in den Fabriken der ausgesprochen hohe Anteil an automatisierten und roboterisierten Prozessen von der Materialsortierung über das Schweißen der Raumzellen bis hin zu Qualitätskontrollen und der Logistik auf.

Durch immer ausgereifere IT-Systeme gelingt es beiden Firmen zunehmend, die Kunden bis tief in den Erstellungsprozess und sogar in die individuelle Gestaltung einzelner Module und Subsysteme zu integrieren, ohne dadurch Mehrkosten zu erzeugen. Weiter wird mehr und mehr versucht, den Mehrwert der modularen Bauweise gerade über den Lebenszyklus von Gebäuden zu nutzen. So werden nach einigen Jahren beispielsweise systematisch Updatepakete und Rearrangement Services angeboten. Sekisui Heim baut mit seinem System Reuse House derzeit sogar ein System auf, bei dem ganze Module zurück in die Fabrik gebracht und rekonfiguriert werden können. Alle japanischen Vorfertigungsunternehmen versuchen sich heute auf ähnliche Weise als Serviceunternehmen neu zu definieren.



Referenzen:

1. Fujimoto, T. (1999) "The Evolution of a Manufacturing System at Toyota", Oxford University Press, New York, Oxford
2. Ohno, T. (1988) "Toyota Production System – Beyond Large Scale Production", Massachusetts Productivity Press, Massachusetts
3. Piller, F.T. (2006) "Mass Customization", Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag
4. Linner, T., Bock, T. (2010) "Mass Customization in a Knowledge-Based Construction Industry for Sustainable High Performance Building Production", CIB World Congress 2010, Salford, May

Alle Bilder von T. Bock und T. Linner

**Prof. Prof. h. c./SRSTU Dr.-Ing./
Univ. Tokio Thomas Bock**

Thomas Linner

Lehrstuhl für Baurealisierung und
Baurobotik Fakultät für Architektur
Technische Universität München
Arcisstrasse 21
80290 München
Tel.: (0)89–289 28650
Fax: (0)89–289 22102
E-Mail: thomas.linner@bri.ar.tum.de
Internet: www.bri.ar.tum.de

FRANKFURTER
BAUTAGE
2011

Programme und weitere Informationen auf Seite 28 und 29