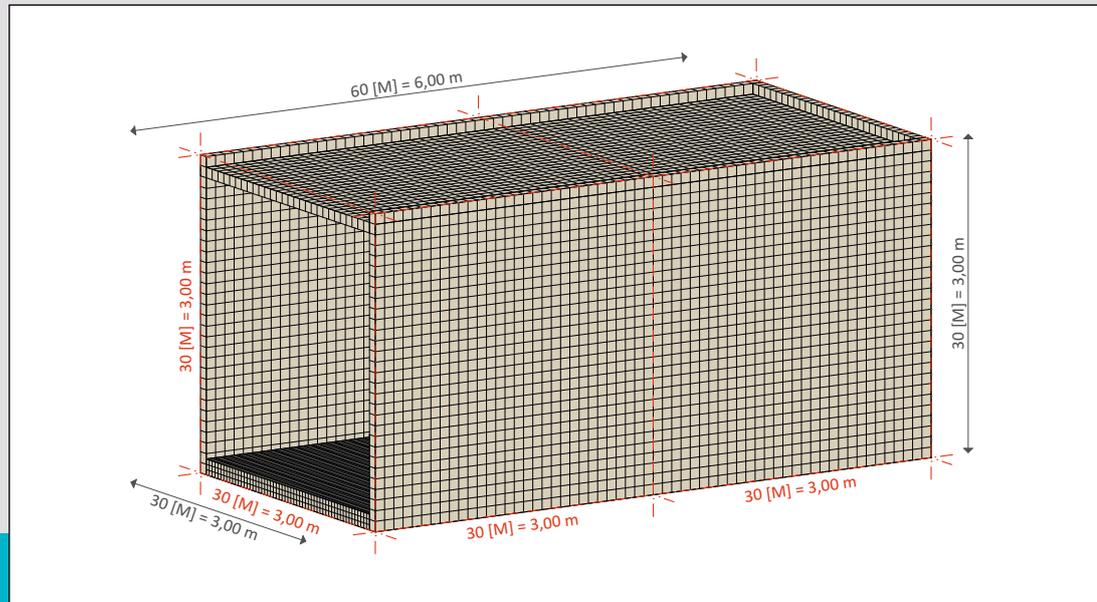


# Vorfertigen und Modularisieren im Holzbau mit Fokus auf die Raumzellenbauweise in Brettsper Holz



M-4-08/2020

**Stefan Wetscher**  
Institut für Holzbau und Holztechnologie  
Technische Universität Graz





Dipl.-Ing. Stefan Wetscher, BSc BSc

**Vorfertigen und Modularisieren im Holzbau  
mit Fokus auf die Raumzellenbauweise  
in Brettsperrholz**

**MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften – Konstruktiver Ingenieurbau

eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Betreuer

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Schickhofer  
Institut für Holzbau und Holztechnologie

Dipl.-Ing. Konstantin Ganster, BSc  
Institut für Holzbau und Holztechnologie

Fakultät für Bauingenieurwissenschaften



## **EIDESSTÄTLICHE ERKLÄRUNG**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

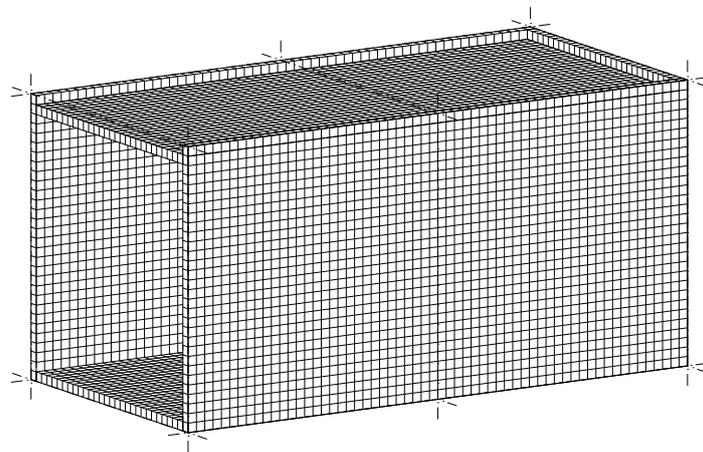
---

Datum

---

Unterschrift





## Vorfertigen und Modularisieren im Holzbau

---

mit Fokus auf die Raumzellenbauweise in Brettsperrholz



## **DANKSAGUNG**

Bedanken möchte ich mich bei allen, die mir während meiner Arbeit mit gutem Rat und kritischen Anmerkungen beiseite gestanden sind. Mein besonderer Dank gilt meiner Familie und meiner Freundin für die Unterstützung während des gesamten Studiums.

Herzlichen Dank auch an Herrn Professor Schickhofer für die fachliche Betreuung und die abschließende Begutachtung der Masterarbeit. Zudem möchte ich mich an dieser Stelle für die Möglichkeit bedanken, dieses weitgefaste Thema durch die zur Verfügung gestellte Literatur selbstständig bearbeiten zu können.

Weiterer Dank gebührt Konstantin Ganster für die Bereitstellung diverser Abbildungen in dieser Arbeit sowie für die abschließende Durchsicht.

Danke!



## PROLOG

Diese Masterarbeit entstand durch mein persönliches Interesse an der *Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz*. Seit einigen Jahren gewinnt die Bauweise in der Praxis zunehmend an Bedeutung. Mittlerweile sind zahlreiche, mitunter herausragende Projekte mit dem Holzprodukt realisiert worden. Im Allgemeinen spricht heute vieles für die Verwendung vom Baumaterial *Holz* als Ersatz von nicht-erneuerbaren Rohstoffen. Dabei spielt der materialgerechte Einsatz des Baustoffes eine besonders große Rolle. Gegenwärtig besteht gerade in dieser Hinsicht sowohl bei Fachplanern als auch bei den ausführenden Firmen häufig noch ein Aufholbedarf. Nicht überall, wo *Brettsperrholz* derzeit Anwendung findet, werden die konstruktiven Möglichkeiten des Materials auch zur Gänze ausgeschöpft.

Vom interessierten Leser werden allgemeine Vorkenntnisse im Bereich des konstruktiven Holzbaus, speziell in der *Brettsperrholzbauweise*, vorausgesetzt. Um den Lesefluss aufrecht zu erhalten, wird in dieser Arbeit auf eine geschlechterspezifische Schreibweise verzichtet.



# KURZFASSUNG

Üblicherweise findet der gegenwärtige Bauprozess immer noch zum größten Teil auf der Baustelle statt. Heute erlaubt der *moderne Holzbau* aufgrund des hohen Vorfertigungsgrades jedoch einen alternativen Bauablauf. Im Vergleich zu anderen Baustoffen ist *Holz* wegen seines geringen Eigengewichtes geradezu prädestiniert für eine werksmäßige Vorfertigung von einzelnen Bauelementen bis hin zu vollständig ausgebauten Raumzellen. Die Grundlage für eine Vorfabrikation stellt die umfassende *Standardisierung* und *Modularisierung* von Bauteilen dar. Die Verlagerung der Ausführungsarbeiten von der Baustelle in die Werkshalle erfordert allgemein eine modulare und interdisziplinäre Denkweise in den Bereichen der Planung, Fertigung, Logistik und Montage.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte befasst sich die vorliegende Masterarbeit mit der *Vorfertigung und Modularisierung im Holzbau*. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der sogenannten *Raumzellenbauweise in Brettsperrholz* (BSP). Diese zeichnet sich besonders durch ihren hohen Vorfertigungsgrad aus. Der erste Teil der Arbeit setzt sich mit *Begriffsdefinitionen*, den Grundsätzen der *Vorfertigung im modernen Holzbau* sowie den allgemeinen Grundlagen der *Modularisierung* auseinander. Dabei wird auf die Bedeutung der Festlegung eines *Grundmaßes* [M] eingegangen, welches als Basis für die gesamte Planung und Ausführung eines Bauwerks herangezogen werden kann. Anschließend wird die Anwendung *modularer Raster* in der Planung am Beispiel der *USM-Stahlbausysteme* von *Fritz Haller* vorgestellt. Der nachfolgende Abschnitt widmet sich dem *Cubical Modular Concept* von *A. F. Bemis*.

Der zweite Teil der Arbeit behandelt die *historische Entwicklung der Raumzellenbauweise*. Anhand von ausgewählten Beispielen seit Anfang des 20. Jahrhunderts erfolgt ein umfassender Überblick über den *Raumzellenbau aus Kunststoff, Stahl, Beton und Holz*. Das große Potenzial und die Besonderheiten dieser Bauweise werden dabei ersichtlich. Ab den 1990er-Jahren befasst sich diese Arbeit ausschließlich mit dem *Raumzellenbau aus Holz*. Zu Beginn des 21. Jahrhunderts entstehen die ersten Gebäude in *Raumzellenbauweise aus Brettsperrholz*. Die umgesetzten Projekte in den vergangenen Jahren veranschaulichen die enorme Variabilität und Flexibilität der Bauweise. Mittlerweile werden Raumzellenbauten aus BSP im Bereich der Hochhausgrenze und sogar darüber hinaus errichtet.

Das abschließende Kapitel widmet sich den spezifischen Aspekten der *modularen Raumzellenbauweise in Brettsperrholz*. In diesem Abschnitt werden die Einsatzbereiche von Raumzellen sowie unterschiedliche Raumzellentypen betrachtet. Zudem wird thematisiert, was es bei der Planung, der Berechnung, der Fertigung, dem Transport und der Montage bis hin zum Rückbau von Raumzellenbauten zu beachten gilt. In Form von BSP steht heute ein flächiges Holzprodukt zur Verfügung, das sich hervorragend für eine serielle Vorfabrikation von dreidimensionalen Raumzellen im Fließbandbetrieb eignet. Die Arbeit zeigt, dass sich mit der *Raumzellenbauweise in Brettsperrholz* viele Chancen und Möglichkeiten eröffnen. Jedoch lassen sich nicht alle Projekte damit auch angemessen umsetzen. Für gewisse Bauvorhaben sind andere Bauweisen prinzipiell besser geeignet.



# ABSTRACT

As is customary, most of the very process of housebuilding still takes place on the construction site. However, due to a higher degree of prefabrication, *modern timber construction* nowadays allows for a different construction process. Because of its low deadweight, *wood* - compared to other common construction materials - appears to be predestined for pre-manufacturing, be it single construction components or complete building units. The basis of this type of fabrication is a full *standardisation and modularisation* of construction components. Obviously, relocating the process of construction from construction sites towards factory halls calls for a modular as well as an interdisciplinary way of thinking when it comes to planning, production, logistics and assembly. Taking the aforementioned aspects into consideration, this master thesis deals with the *prefabrication and modularisation in timber construction*. The focus is on the so-called *modular volumetric system in cross-laminated timber* (CLT), which is characterised by a high degree of prefabrication.

The first part of this thesis deals with the *definition of terms*, the principles of *prefabrication in modern timber construction* as well as the general basics of *modularisation*. In doing so, this work will touch upon the importance of the *basic module* [M], which can be used as a basis for the planning and construction of a building. Following this, the focus shifts towards the application of *modular grids* in planning, exemplified by *Fritz Haller's USM-Stahlbausysteme*. The subsequent part is dedicated to *A. F. Bemis' Cubical Modular Concept*.

The second part of this thesis addresses the *historical development of the modular volumetric system*.

Based on specific examples since the beginning of the 20<sup>th</sup> century, the paper gives a comprehensive overview of the construction of *modular building units with plastic, steel, concrete and wood*, showing the enormous potential and the specific peculiarities of this construction method. From the 1990s onwards, the paper exclusively concentrates on the construction of *building units with wood*. At the beginning of the 21<sup>st</sup> century, the first buildings are built using *modular volumetric systems in cross-laminated timber*. The projects realised throughout the past years have demonstrated the huge variability and flexibility of this construction method. Meanwhile, *modular volumetric systems in cross-laminated timber* are applied on buildings reaching the high-rise building limit and even beyond.

The final chapter covers *specific aspects of modular volumetric systems in cross-laminated timber*. Focus lies on fields of application as well as different types of building units. Moreover, the paper shows which factors need to be considered when it comes to planning, calculating, manufacturing, shipping, assembling and dismantling modular buildings. The form of CLT provides a flat timber product, which is perfectly suited for a serial assembly line production of three-dimensional building units. This thesis demonstrates the many possibilities and chances a *modular volumetric system in cross-laminated timber* provides. However, it also takes account of the fact that not every project can be reasonably realised throughout this method: certain construction projects call for alternative methods.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>Danksagung</b>	<b>I</b>
<b>Prolog</b>	<b>III</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>V</b>
<b>Abstract</b>	<b>VII</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>VIII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>Begriffsbestimmungen</b>	<b>5</b>
<b>Vorfertigen und Modularisieren</b>	<b>13</b>
<b>Vorfertigung im modernen Holzbau</b>	<b>14</b>
<b>Modular Coordination - Grundmaß [M]</b>	<b>16</b>
Allgemeines	16
ISO-Normen	16
Raster	18
Maßtoleranzen	21
<b>Anwendung modularer Raster in der Planung am Beispiel der USM-Stahlbausysteme von Fritz Haller</b>	<b>22</b>
<b>Cubical Modular Concept (CMC) und Cubical Modular Design (CMD) von A. F. Bemis</b>	<b>25</b>
Potenzial des Volumens	25
Potenzial der Symmetrie	27
Potenzial der Oberfläche	28
<b>Historische Entwicklung der Raumzellenbauweise</b>	<b>31</b>
<b>Überblick</b>	<b>32</b>
<b>Frühe Entwicklungen</b>	<b>32</b>

<b>USA</b>	<b>37</b>
<b>Sowjetunion und DDR</b>	<b>39</b>
<b>Japan</b>	<b>40</b>
<b>Sanitärraumzellen</b>	<b>43</b>
<b>Raumzellenbau aus tragendem Kunststoff</b>	<b>44</b>
<b>Der Seefracht-Container als standardisierte Raumzelle</b>	<b>46</b>
<b>Raumzellenbau aus Stahl nach dem Container-Prinzip</b>	<b>48</b>
<b>Raumzellenbau aus Stahl von Kisho Kurokawa</b>	<b>52</b>
<b>Raumzellenbau von Archigram</b>	<b>56</b>
<b>Raumzellenbau aus Stahlbeton von Moshe Safdie</b>	<b>58</b>
<b>Raumzellenbau aus Leichtbeton von H. B. Zachry Comp.</b>	<b>60</b>
<b>Raumzellenbau aus Leichtbeton von Fritz Matzinger</b>	<b>62</b>
<b>Raumzellenbau mit dem Variel-System von Fritz Stucky</b>	<b>66</b>
Variel-Beton-System	72
<b>Raumzellenbau von Paul Rudolph</b>	<b>76</b>
<b>Raumzellenbau aus Holz</b>	<b>88</b>
Raumzellenbau von Bauart Architekten	88
Raumzellenbau in Vorarlberg	90
Raumzellenbau von Hubert Rieß	93
Raumzellenbau von Holzbox	94
Raumzellenbau von sps÷architekten	95
Raumzellenbau von NKBAK	96
Raumzellenbau von Sauerbruch Hutton	97
Raumzellenbau von Dietger Wissounig	98
Weitere Raumzellenbauten aus Holz	99

<b>Modulare Raumzellenbauweise in Brettsperrholz</b>	<b>101</b>
<b>Allgemeines</b>	<b>102</b>
<b>Einsatzbereiche von Raumzellen aus Brettsperrholz</b>	<b>103</b>
<b>Differenzierung von Raumzellen aus Brettsperrholz</b>	<b>104</b>
Strukturtypologie	104
Lage im Gebäude	104
Typisierte Raumzellengrößen	104
Bauweise	106
Tragwerkshierarchie	107
Vorfertigungsgrad	108
Funktion	108
Ausstattung	108
Oberflächengestaltung	108
<b>Planung und Berechnung</b>	<b>109</b>
Entwurf	109
Statik und Bauphysik	112
Technische Gebäudeausrüstung (TGA)	116
<b>Fertigung</b>	<b>118</b>
<b>Transport und Montage</b>	<b>119</b>
<b>Instandhaltung - Rückbau - Wiederverwendung</b>	<b>120</b>
<b>Fazit und Ausblick</b>	<b>122</b>
<b>Endnoten</b>	<b>124</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>129</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>136</b>

# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>BSH</b>	Brettschichtholz
<b>BSP</b>	Brettsperrholz
<b>CLT</b>	Cross-laminated timber, englische Bezeichnung für Brettsperrholz
<b>CMC</b>	Cubical Modular Concept
<b>[E]</b>	Englisch
<b>FSH</b>	Furnierschichtholz
<b>GKB</b>	Gipskarton-Bauplatte
<b>HLB</b>	Holz-Leichtbauweise
<b>HMB</b>	Holz-Massivbauweise
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>KVH</b>	Konstruktionsvollholz
<b>[M]</b>	Grundmaß, Basismaß, Grundmodul
<b>[M<sub>3</sub>]</b>	Sanitärmodul
<b>n x [M]</b>	Vielfaches des Grundmaßes [M], Multimodul
<b>OED</b>	Oxford English Dictionary
<b>SLS</b>	Serviceability Limit State
<b>TGA</b>	Technische Gebäudeausrüstung
<b>ULS</b>	Ultimate Limit State



***"WE OFTEN REFER TO HUMAN CIVILISATIONS BY THE PRINCIPAL MATERIALS THEY EMPLOY, SUCH AS THE BRONZE AGE, IRON AGE ETC. IN THIS VEIN, THE 20<sup>TH</sup> CENTURY CAN BE VERY MUCH CALLED THE CONCRETE AGE AND IT SEEMS VERY LIKELY THAT THE 21<sup>ST</sup> CENTURY WILL BE THE TIMBER AGE."***<sup>1</sup>

Waugh Thistleton Architects

## Einleitung

Wirft man einen Blick auf den heutigen Bauprozess, zeigt sich zumeist ein unbefriedigendes Bild. Bei der Errichtung von Gebäuden erfolgt die Fertigung und Montage von Bauteilen großteils nach wie vor direkt auf der Baustelle. Die Ausführung von Rohbau, Technik und Ausbau findet in der Regel separat hintereinander statt. Witterungseinflüsse sowie unvorhergesehene Ereignisse können dabei zu Komplikationen im Bauablauf führen. Häufig werden bereits fertiggestellte Bauteile wegen notdürftig ausgeführter Wetterschutzvorkehrungen oder durch Arbeiten nachfolgender Gewerke noch während der Bauphase beschädigt. Zudem führt vielfach eine mangelnde Koordination der ausführenden Handwerker zu Verzögerungen des Baufortschritts. Die Unberechenbarkeit der Fertigung auf der Baustelle hat oftmals die typischen Kosten-, Termin- und Qualitätsabweichungen zur Folge. Die Tatsache, dass Planungsfehler bei einem konventionell errichteten Gebäude durch Improvisation auf der Baustelle bis zu einem gewissen Zeitpunkt noch nachträglich ausgebessert werden können, dient in der Branche häufig als Rechtfertigung für eine insgesamt unzureichende Vorbereitung in der Planung. Dieses Vorgehen führt auch unweigerlich zu zahlreichen Gerichtsverfahren, welche im Nachhinein den vermeintlichen Verursacher eines Baumangels zu ermitteln versuchen. Aufgrund der derzeitigen Struktur des Bauwesens ist heute beinahe ausnahmslos jedes Gebäude ein Prototyp. Eine systematisierte Produktentwicklung und koordinierte Fertigung findet in der Regel nicht statt. Diese Situation ist zum Teil bedingt durch die handwerklich geprägten Strukturen der Baubran-

che. In Mitteleuropa werden Bauleistungen fast ausschließlich von klein- und mittelständischen Betrieben erbracht, welche den Weg für ein *individualisiertes Bauen* frei machen. Es scheint somit, als wären die angeführten Unwegbarkeiten charakteristisch für das gesamte System. Allerdings muss auch eine Unterscheidung zwischen dem Bauprozess und dem fertigen Ergebnis getroffen werden, da ein wenig zufriedenstellender Bauablauf ebenso zu einem hochqualitativen Gebäude führen kann. Meistens wäre dies mit einem optimierten Bauprozess jedoch weitgehend wirtschaftlicher und mit weniger Reibungsverlusten möglich. Zwischen dieser Optimierung und dem Vorfertigungsgrad eines Bauwerks lässt sich ein Zusammenhang herstellen. Verglichen mit anderen Materialien eignet sich der *moderne Holzbau* besonders gut für einen alternativen Bauablauf.<sup>2</sup>

Heute ist die Holzverarbeitende Industrie zunehmend auf dem Weg von einer reinen Holzproduktindustrie hin zu einer kombinierten Produktions- und Bauindustrie. Neben der *industriellen Produktion* von Holz als Baumaterial scheint daher, die altbekannte Idee des *industriellen Bauens* auch für den modernen Holzbau angebracht zu sein. Gerade das Holzprodukt *Brettsperrholz* (BSP) ist für eine rationelle werksmäßige Vorfertigung von flächigen Bauelementen bis hin zu dreidimensionalen Raumzellen ausgesprochen gut geeignet. Dies zeigt sich auch an der wachsenden Zahl an BSP-Werken mit einer Produktionskapazität von rund 100.000 m<sup>3</sup> pro Jahr.<sup>3</sup> Im Jahr 2019 sind laut Angaben des *Holzkuriers* weltweit schätzungsweise zwischen 1,6 und 1,8 Millionen Kubikmeter BSP produziert worden. Mit

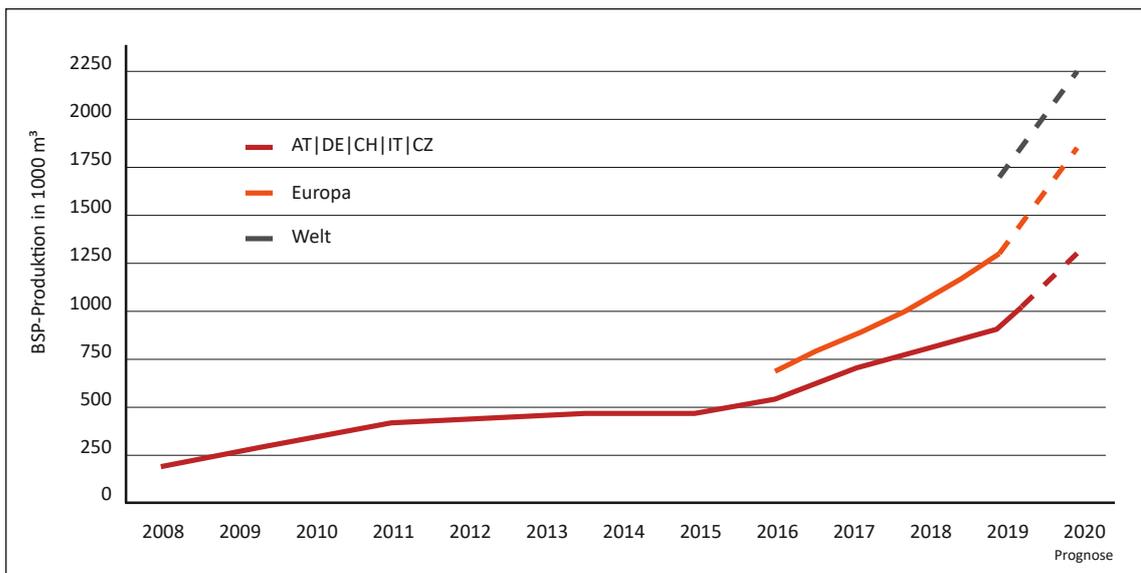


Abb. 1: Entwicklung der globalen BSP-Produktion

den zusätzlich geplanten Fertigungskapazitäten soll der globale BSP-Ausstoß bis Ende 2020 auf über 2 Millionen Kubikmeter anwachsen, wobei der überwiegende Teil davon auch künftig aus Mitteleuropa stammen wird.<sup>4</sup> Wirft man einen Blick zurück in die Vergangenheit, hat es bei industriellen Bausystemen immer wieder nachfragebedingte Höhepunkte gegeben. Der enorme Wohnraumbedarf nach den beiden Weltkriegen kann hier als Beispiel genannt werden. Aufgrund von Migration und zunehmender Urbanisierung besteht heute wieder ein erhöhter Bedarf an Wohnungen, welcher bereits auf Lösungen wartet. In letzter Zeit spielt neben dem *industriellen Bauen* auch das *automatisierte und digitalisierte Bauen* eine wichtige Rolle. Wird dabei der Planungs-, Produktions- und Bauprozess gleichermaßen erfasst, ist auch vom *industrialisierten Bauen* die Rede. Eine serielle Vorfabrikation im Fließbandbetrieb in Verbindung mit einer prozessoptimierten Arbeitsteilung verlangt zudem nach einer modularen und interdisziplinären Denkweise bei der Planung, Fertigung, Logistik und Montage.<sup>5</sup>

Mit diesem Hintergrund widmet sich die vorliegende Masterarbeit dem Thema *Vorfertigen und Modularisieren im Holzbau*. Im Fokus steht dabei die *Raumzellenbauweise in Brettsperrholz*. Diese spezielle Bauweise zeichnet sich durch einen hohen Vorfertigungsgrad aus und scheint gerade deswegen, als mögliche Lösung des angesprochenen Wohnungsmangels hervorragend geeignet zu sein. Zu Beginn werden für diese Arbeit relevante Begriffe und ihre Bedeutung erläutert. Das anschließende Kapitel behandelt die *Vorfertigung im modernen Holzbau* sowie allgemeine Grundlagen zum Thema *Modularisierung*. Im nachfolgenden Abschnitt wird ein ausführlicher Blick auf die *historische Entwicklung der Raumzellenbauweise* geworfen. Dieser Teil betrachtet ausgewählte Protagonisten, welche sich mit vorgefertigten Bausystemen beschäftigten und Raumzellen aus Kunststoff, Stahl, Beton und Holz entwickelten. Das abschließende Kapitel bietet eine gesamtheitliche Betrachtung der *Raumzellenbauweise in Brettsperrholz* und versucht, die spezifischen Aspekte dieser Bauweise zu veranschaulichen.

MODUL

ELEMENT

KOMPONENTE

BAUSTEIN

BAUTEIL

CONTAINER

BOX

**RAUMZELLE**

BAUWEISE

**RAUMZELLENBAUWEISE**

FERTIGHAUS

VORFERTIGUNG

SYSTEM

BAUSYSTEM

BAUKASTEN

BAUKASTENSYSTEM

SYSTEMBAUKASTEN

SERIELLES BAUEN

INDUSTRIELLES BAUEN

INDUSTRIALISIERTES BAUEN

**BRETTSPERRHOLZ**

**BEGRIFFSBESTIMMUNGEN**

---

## Begriffsbestimmungen

Heute trifft man im Bereich des Bauwesens im täglichen Sprachgebrauch auf eine Vielzahl von Begriffen und Bezeichnungen, die oftmals nicht präzise verwendet werden. Da dies im Allgemeinen zu Problemen in der Kommunikation zwischen allen Beteiligten am Bauprozess führen kann, ist eine einheitliche Definition der verwendeten Begriffe von grundlegender Bedeutung. In diesem Kapitel werden für diese Arbeit relevante Begriffe und ihre Bedeutung genauer betrachtet.

### **Modul**

*Modul* stammt laut *Stowasser et al.* vom lateinischen Wort "*modulus*"<sup>6</sup> und bedeutet "*Maß*", "*Maßstab*" bzw. "*Grundmaß*".<sup>7</sup>

Der römische Architekt *Markus Vitruvius Pollio* (1. Jhdt. v. Chr.) beschrieb in seinem Werk *De architectura libri decem* den Begriff "*Modulus*" in der antiken Baupraxis als "*die Hälfte des unteren Durchmessers eines Säulenschaftes*." Der "*Modulus*" konnte in 30 "*Partes*" unterteilt werden und stellte das Grundmaß bzw. die Proportionseinheit für den Gesamtbau (z. B. für einen Tempel) dar.<sup>8</sup>

Nach einem Beitrag von *A. L. Russel* finden sich im *Oxford English Dictionary (OED)* drei Definitionen für den englischen Begriff "*module*", wobei für diese Arbeit zwei davon bedeutend sind. Zum Einen wird die technische und mathematische Verwendung des Begriffes für "*Maß*" und "*Proportion*" angeführt, welche vor dem 20. Jahrhundert im englischsprachigen Raum geläufig war. Dazu *A. L. Russel*: "[...] *speakers of the English language before the twentieth century used the noun 'module' to refer to a size or unit of measurement, usually with some sense of proportion and an implied*

*relation to a larger system.*"<sup>9</sup> Bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts kam es durch Veränderungen in der Technologie und Sprache des Industriezeitalters zu einer Bedeutungsver-schiebung des Begriffes.<sup>10</sup> Im *OED* wird dazu unter anderem Folgendes für den Begriff "*module*" angeführt: "*A length chosen as the basis for the dimensions of the parts of a building, esp. one to be constructed from prefabricated components, all the dimensions being integral multiples of it.*"<sup>11</sup>

Als Ursprung für die spezielle Verwendung des Begriffes als *Grundmaß* [M], welches als Grundlage für die Dimensionierung von vorgefertigten Bauteilen dient, verweist das *OED* auf das 1936 erschienene Werk "*The Evolving House, Vol. III, Rational Design*" des Amerikaners *Albert Farwell Bemis* (1870-1936).<sup>12</sup> Mit seinem patentierten "*four-inch cubical module*" wollte *Bemis* damals die amerikanische Bauindustrie modernisieren und gleichzeitig rationalisieren.<sup>13</sup> Durch die Einbeziehung der Maßeinheit "*inch*" im Begriff "*four-inch cubical module*" wird auch die damalige Bedeutung von "*module*" als maßliche Einheit eindeutig dargestellt. Im weiteren Verlauf des 20. Jahrhunderts hat sich die Bedeutung des Begriffes *Modul* gewandelt und er ist in verschiedenen Disziplinen aufgenommen und entsprechend adaptiert worden.<sup>14</sup>

Heute wird unter "*module*" laut dem *OED* auch Folgendes verstanden: "*Each of a set of standardized parts or independent units that can be used to construct a more complex structure, such as an item of furniture or a building*",<sup>15</sup> oder allgemeiner formuliert: "*any more or less self-contained unit which goes to make up a complete set, a finished article, etc.*"<sup>16</sup>

Gemäß *Staib/Dörrhofer/Rosenthal* beschreibt der Begriff "Modul" im Bauwesen einerseits "das Grundmaß für ein geometrisches Ordnungssystem", andererseits "ein Element, das auf Grundlage eines Ordnungsprinzips in einem System positioniert wird."<sup>17</sup>

### **Element**

*Element* stammt vom lateinischen Wort "*elementum*" und bedeutet "Grundstoff" bzw. "Urstoff".<sup>18</sup> Im *OED* wird unter "*element*" Folgendes angeführt: "An essential or characteristic part of something abstract."<sup>19</sup>

Laut *Duden* ist ein *Element* ein "[Grund]bestandteil", eine "Komponente", ein "Bauteil" oder ein "Einzelteil, aus dem mit anderen zusammen etwas konstruiert, aufgebaut wird, sich etwas zusammensetzt." Synonyme für *Element* sind unter anderem "Bestandteil", "Baustein", "Komponente", "Bauteil", "Bauelement" oder "Teilstück".<sup>20</sup>

### **Komponente**

*Komponente* stammt laut *Duden* vom lateinischen Wort "*componere*".<sup>21</sup> Nach *Stowasser et al.* bedeutet "*com-pōnō*" auf Deutsch übersetzt "zusammensetzen" bzw. "aneinander fügen"<sup>22</sup> (von: "*com*" = "zusammen"<sup>23</sup> und "*pōnō*" = "setzen, stellen, legen"<sup>24</sup>). Im *OED* wird unter "*component*" Folgendes angeführt: "A part or element of a larger whole."<sup>25</sup>

### **Baustein**

Laut *Duden* versteht man unter einem *Baustein* einen "Stein zum Bauen", ein "Bauklötzchen" sowie einen "kleinen, aber wichtigen Bestandteil von etwas" bzw. "einen von vielen Bestandteilen, aus denen etwas zusammengesetzt ist oder zusammengesetzt werden kann."<sup>26</sup>

### **Bauteil**

Laut *Duden* ist ein *Bauteil* ein "Teil eines Bauwerkes"<sup>27</sup> bzw. ein "vorgefertigtes Teilstück für den Bau von Häusern, Maschinen und Ähnlichem".<sup>28</sup>

### **Container**

Das *OED* beschreibt den englischen Begriff "*container*" folgendermaßen: "An object for holding or transporting something." Weiters wird angeführt: "A large metal box of a standard design and size used for the transport of goods by road, rail, sea, or air."<sup>29</sup> Ein *Container* ist demnach ein Gegenstand, der für den Transport oder die Lagerung von Gütern bestimmt ist. In dieser Arbeit werden darunter genormte *Seefracht-Container* (sogenannte "*ISO-Container*") und *Bau-Container* verstanden.

### **Box**

Das *OED* beschreibt den englischen Begriff "box" folgendermaßen: "A container with a flat base and sides, typically square or rectangular and having a lid."<sup>30</sup> Eine Box entspricht demnach einem, typischerweise quadratischen oder rechteckigen Behälter, welcher einen Deckel besitzt. Definitionsgemäß ist damit eine einfache Schachtel gemeint.

### **Raumzelle**

Im *Atlas Mehrgeschossiger Holzbau* ist unter dem Begriff *Raumzelle* Folgendes angeführt: "Vorgefertigter, transportierbarer Gebäudeteil, üblicherweise bestehend aus Wänden, Boden und Decke. Oft sind Raumzellen als ausgebaute Räume vorgefertigt. Bisweilen werden auch Raumzellen hergestellt, aus denen sich durch Addition größere Räume zusammensetzen lassen. [...]"<sup>31</sup>

Laut *Duden* ist eine *Raumzelle* ein, "nach einem einheitlichen Schema vollständig vorgefertigter Teil eines Hauses [...]"<sup>32</sup>

Um den Begriff besser zu verstehen, werden die Wörter *Raum* und *Zelle* getrennt voneinander betrachtet. *Raum* stammt laut *Duden* vom althochdeutschen Wort "rūmi" und bedeutet "weit" bzw. "geräumig". Ein *Raum* ist eine, "in Länge, Breite und Höhe fest eingegrenzte Ausdehnung"<sup>33</sup> und steht somit für ein definiertes Volumen mit bestimmten Abmessungen.

Nach *Stowasser et al.* stammt der Begriff *Zelle* vom lateinischen Wort "cella" bzw. "cellula" ab und bedeutet "Kammer" bzw. "kleine Kammer".<sup>34</sup> Das *OED* beschreibt den Begriff "cell" folgendermaßen: "A small room in which a prisoner is locked up or in which a monk or nun sleeps." Gemeint ist ein kleiner Raum, der für Häftlinge in einem Gefängnis (Gefängniszelle) oder für einen Mönch bzw. eine Nonne

in einem Kloster (Mönchszelle) bestimmt ist. Weiters wird im biologischen Sinn unter "cell" Folgendes angeführt: "The smallest structural and functional unit of an organism [...]"<sup>35</sup>

Unter einer *Zelle* wird in der Biologie die kleinste lebende Einheit von Organismen verstanden. Es wird zwischen "Einzeller" und "Mehrzeller" unterschieden. Bei Lebewesen, die aus vielen Zellen bestehen, wird auch von sogenannten "Vielzellern" gesprochen.<sup>36</sup>

In der Praxis sind derzeit eine Vielzahl von weiteren Bezeichnungen für die *Raumzelle* geläufig, die jedoch nicht immer präzise verwendet werden. Im Zuge der Recherche zu dieser Arbeit fand man in der Literatur unter anderem die Begriffe "Raummodul"<sup>37</sup>, "Zimmermodul"<sup>38</sup> oder "Raumelement".<sup>39</sup> Im täglichen Sprachgebrauch wird in der Baubranche häufig unpräzise vom Bauen mit "Boxen", "Kisten", "Schachteln" oder "Containern" gesprochen. Teilweise wird auch der Begriff "Modulbau" missverständlich verwendet, welcher ebenso für den Einsatz von vorgefertigten eindimensionalen oder flächigen Bauteilen angewandt wird. Wie bereits zuvor beschrieben, bezeichnet der Begriff "Modul" nach seiner ursprünglichen Bedeutung jedoch lediglich die maßliche Einheit. Nach Ansicht des Verfassers ist der Begriff *Raumzelle* daher sprachlich am besten geeignet und wird deshalb in dieser Arbeit vorzugsweise verwendet. Im englischsprachigen Raum werden vorgefertigte *Raumzellen* unter anderem als "prefabricated building units",<sup>40</sup> "factory-made 3D modules"<sup>41</sup> oder "room modules"<sup>42</sup> bezeichnet.

### **Bauweise**

"Im Bauwesen versteht man unter *Bauweise* die Art und Weise, in der ein Bauwerk errichtet wird. *Bauweisen* werden nach verschiedenen

*Merkmale kategorisiert*":<sup>43</sup>

- **Material:** Holzbauweise, Mauerwerksbauweise, Hybridbauweise, etc.
- **Baukonstruktion:** Massivbauweise, Leichtbauweise, etc.
- **Montage der Bauteile:** Fertigteilbauweise, Großtafelbauweise, Raumzellenbauweise, etc.
- **Art der Herstellung:** Nass- oder Trockenbauweise
- **Tragwerk:** Skelettbauweise, Schottenbauweise, etc.

Auf den Holzbau bezogen, kann im Wohn- und Kommunalbau eine Einteilung nach der Art der *Baukonstruktion* folgendermaßen erfolgen:<sup>44</sup>

- **Holz-Massivbauweise (HMB):**
  - Blockbauweise
  - Brettstapelbauweise
  - Brettsperrholzbauweise
- **Holz-Leichtbauweise (HLB):**
  - Holzfachwerkbauweise
  - Holzrahmenbauweise

Bei der *Holz-Massivbauweise* erfolgt eine klare Trennung von Tragstruktur und Dämmebene. Im Gegensatz dazu liegt bei der *Holz-Leichtbauweise* die Trag- und die Dämmebene in derselben Ebene. Es kann auch eine Kombination der Bauweisen zum Einsatz kommen. Im mehrgeschoßigen Wohnbau findet man die Ausführung von Wänden in *Holzrahmenbauweise (Holz-Leichtbauweise)* sowie Geschoßdecken aus *Schallschutzgründen* in *Brettsperrholzbauweise (Holz-Massivbauweise)*.<sup>45</sup>

### **Raumzellenbauweise**

Unter der *Raumzellenbauweise* wird das *"Bauen mit bedarfs-, nutzer- und größenoptimierten Volumen [verstanden], welche durch horizontale und vertikale Stapelung zu mehr oder weniger großen Einheiten kombinierbar sind."*<sup>46</sup> In der englischsprachigen Literatur findet man die Begriffe *"modular construction"*<sup>47</sup> oder *"modular volumetric system"*.<sup>48</sup> In Japan wiederum spricht man von einem *"unit system"*.<sup>49</sup>

### **Fertighaus**

Nach *ÖNORM B 2310:2009* versteht man unter einem *Fertighaus* ein, *"auf vorbereitetem Unterbau errichtetes Bauwerk aus vorgefertigten, geschoßhohen Wandelementen, Raumzellen sowie aus vorgefertigten Decken- und Dachelementen, die in Produktionsstätten witterungsunabhängig hergestellt, auf die Baustelle transportiert und dort zusammengebaut werden."* Weiters wird angeführt: *"Abweichend davon können Dachkonstruktionen einschließlich ihrer Deckenkonstruktionen aufgrund besonderer Bauwerksgestaltung ohne Vorfertigung sein."*<sup>50</sup>

### **Vorfertigung**

*"Als Vorfertigung wird die fabriks- oder serienmäßige Produktion von Bauteilen verstanden, die erst später zum Endprodukt zusammengebaut werden."*<sup>51</sup>

### **System**

*"Ein System ist ein, aus mehreren Teilen bestehendes, geordnetes Ganzes."*<sup>52</sup>

### **Bausystem**

*"In einem Bausystem wird die Summe aller Elemente sowie deren Kombination planmäßig festgelegt." <sup>53</sup> Innerhalb eines Bausystems können Bauelemente unter Anwendung systemspezifischer Regeln zu einem komplexen Bauwerk zusammengefügt werden. Voraussetzung dafür ist eine systematische Abstimmung der verwendeten Bauelemente und deren Fügung. Dies wird durch eine Typisierung und Maßkoordination der Elemente erreicht. Grundsätzlich kann zwischen geschlossenen Bausystemen und offenen Bausystemen unterschieden werden. Bei einem geschlossenen Bausystem werden alle Elemente vom gleichen Hersteller gefertigt. Diese sind genau aufeinander abgestimmt und können daher nicht beliebig ausgetauscht, ergänzt oder erweitert werden. Deshalb sind sie nur innerhalb desselben Systems einsetzbar. Die meisten industriell und seriell hergestellten Produkte beruhen auf geschlossenen Systemen. Im Gegensatz dazu können bei offenen Bausystemen auch Elemente verschiedener Hersteller verwendet werden. Diese müssen austauschbar, addierbar und variabel sein. Offene Bausysteme bieten daher eine höhere Flexibilität als geschlossene Bausysteme. <sup>54</sup>*

### **Baukasten**

*"Ein Baukasten ist eine Sammlung einer gewissen Anzahl verschiedener Elemente, aus welchen sich verschiedene Dinge zusammensetzen lassen." <sup>55</sup>*

### **Baukastensystem**

*"Ein Baukastensystem besteht aus einer Anzahl von Bausteinen, die anwendungsspezifisch ausgewählt und unter Beachtung von Verträglichkeiten miteinander kombiniert werden, um in einem begrenzten Anwendungsbereich Baukastenprodukte zu konfigurieren." <sup>56</sup>*

*lichkeiten miteinander kombiniert werden, um in einem begrenzten Anwendungsbereich Baukastenprodukte zu konfigurieren." <sup>56</sup>*

### **Systembaukasten**

*"Ein Systembaukasten ist ein Baukastensystem eines spezifischen Systems, beispielsweise eines speziellen Bausystems. [...] Ein Systembaukasten ist [...] ein mögliches Baukastensystem in einer Bauweise." <sup>57</sup>*

### **Seriell Bauen**

*"Überbegriff für Bauweisen, die auf Grund von Standardisierungen einen Wiederholungsfaktor implizieren mit dem Versprechen von Vereinfachung und damit Kostenersparnis." Im Gegensatz dazu steht das individualisierte Bauen. <sup>58</sup>*

### **Industrielles Bauen**

*"Industrielles Bauen wird auch als die Kombination von verfahrenstechnischen und strategischen Maßnahmen bezeichnet. Verfahrenstechnisch lässt sich dies durch standardisierte Bauteile und Baustoffe, den Einsatz vorgefertigter Bauteile und auch durch die zunehmende Automatisierung auf Baustellen [...] realisieren. In strategischer Hinsicht besteht industrielles Bauen aus einem optimierten Produktions- und Angebotsprogramm, der Unterstützung bei der Planung neuer Bauprojekte und einer verstärkten Vorbereitung der Arbeitsprozesse." <sup>59</sup>*

### **Industrialisiertes Bauen**

*Beim industrialisierten Bauen findet eine "Standardisierung sowohl des Planungs-, Produktions-, als auch Bauprozesses mit dem Ziel maximaler Rationalisierung" statt. <sup>60</sup>*

**Brettsperrholz**

Als *Brettsperrholz* (BSP) werden flächige Massivholzplatten bezeichnet, die aus mehreren, kreuzweise miteinander verklebten Brettern bestehen und üblicherweise einen zur Mittelebene symmetrischen Querschnittsaufbau besitzen. Durch den orthogonalen Platten- aufbau und die vollflächige Verklebung verfügt das Holzprodukt über ein reduziertes Quell- und Schwindverhalten. Für die Herstellung kommen hauptsächlich Nadelhölzer wie Fichte, Tanne, Lärche oder Kiefer zum Einsatz. Die Abmessungen von Brettsperrholzplatten variieren je nach Hersteller.<sup>61</sup> Beispielsweise sind heute Längen bis ca. 20 m und Breiten bis ca. 3,5 m erhältlich.<sup>62</sup> Auf Anfrage sind auch Sondermaße mit Längen bis ca. 30 m und Breiten bis ca. 4,5 m verfügbar. In der *Brettsperrholzbauweise* (*Holz-Massivbauweise*) wird BSP als tragendes und/oder aussteifendes Bauelement eingesetzt, welches sowohl horizontale als auch vertikale Lasten (je nach Belastungssituation als Scheibe und/oder Platte) abtragen kann. Ebenso ist die Verwendung als raumabschließendes, jedoch nichttragendes Bauteil, möglich.<sup>63</sup>



***"HOLZ WAR UND IST UNTER ALLEN BAUMATERIALIEN DASJENIGE,  
DAS AUFGRUND SEINER EIGENSCHAFTEN DIE BESTEN VORAUS-  
SETZUNGEN FÜR EINE VORFERTIGUNG MIT SICH BRINGT."*** <sup>64</sup>

Hermann Kaufmann

## **VORFERTIGEN UND MODULARISIEREN**

---

## Vorfertigung im modernen Holzbau

Holz bietet aufgrund seiner Eigenschaften hervorragende Voraussetzungen für eine Vorfabrikation. Bereits in der Vergangenheit fertigte der Zimmermann eine Holzkonstruktion weitestgehend vor. Der historische Abbund kann somit als die erste Form einer Vorfertigung gesehen werden. Das Material lässt sich sehr gut bearbeiten und weist zudem ein geringes Eigengewicht auf. Aus diesem Grund ist die Herstellung von vorgefertigten Elementen im Werk sehr einfach durchführbar. Das geringe Transportgewicht ist außerdem der entscheidende Faktor für einen zweckmäßigen Einsatz von vorgefertigten Bauteilen. Das Tragwerk eines Holzbaus wird heute praktisch immer vorgefertigt. Die einzelnen Elemente werden im Werk abgebunden, die Verbindungsmittel bereitgestellt und teilweise auch schon vormontiert. Dadurch kann die Montagezeit des Tragwerks auf der Baustelle erheblich verkürzt werden. Bei flächigen Bauteilen kann zudem die Hüllkonstruktion bereits werkseitig vorgefertigt werden, wodurch der Vorfertigungsgrad insgesamt deutlich höher ausfällt. Gerade bei der Vorfertigung der Gebäudehülle hat der *moderne Holzbau* in den vergangenen Jahren überzeugen können. Diese wird heute neben der industriellen Produktion von Fertighäusern auch bei allen Zimmereibetrieben, die auf handwerkliche Vorfertigung setzen, bereits durchgeführt. Ein umfassender Vorfertigungsprozess ist erst durch die Entwicklung computergesteuerter Fertigungsmaschinen sowie den Einsatz von entsprechenden Transportfahrzeugen und Hebezeugen im Werk und auf der Baustelle möglich geworden. Die industrielle Vorfabrikation im Bauwesen wird in diesem Zusam-

menhang auch häufig mit der Automobilproduktion verglichen. Global gesehen entspricht die *Fertighausindustrie* den "Idealen" der Automobilindustrie am meisten. Während beispielsweise in Japan eine weitgehend automatisierte Produktion von Gebäuden heute bereits besteht, dominiert im europäischen Raum weiterhin die handwerkliche Fertigung. Abgesehen vom Bau von Einfamilienhäusern findet praktisch keine umfassende industrielle Vorfertigung statt. Aber auch hier sind lediglich standardisierte Haustypen die Grundlage der Fertigung. Gleichartige, modularisierte Bauteile, welche die Basis von *offenen Bau-systemen* bilden, findet man dagegen kaum. Verschiedene Betriebe bieten zwar bereits eine industrialisierte Vorfertigung von Wand-, Decken- und Dachelementen (zum Beispiel aus BSP), diese werden jedoch bisher nur als Einzelteile ausgeliefert. Die Umsetzung einer seriellen Vorfabrikation von ganzheitlich gedachten Systemlösungen im mehrgeschoßigen Holzbau bedarf zukünftig noch weiterer Entwicklungen.<sup>65</sup>

Eine Sonderstellung nimmt an dieser Stelle die serielle Vorfabrikation von *Raumzellen* ein, welche sich durch einen besonders hohen Vorfertigungsgrad auszeichnet.<sup>66</sup> Der Grad der Vorfertigung beschreibt bei einem Bauwerk "*das Verhältnis von vorgefertigter Bauleistung zur gesamten Bauleistung.*" Aus einem hohen Vorfertigungsgrad resultiert ein geringer Montageaufwand sowie eine verkürzte Ausführungszeit auf der Baustelle. Während beispielsweise der Vorfertigungsgrad von Gebäuden in *Holzrahmenbauweise* im Durchschnitt bei etwa 60 % liegt, kann dieser bei der *Raumzellenbauweise* bis zu 90 %

**"HOLZ UND HOLZWERKSTOFFE EIGNEN SICH WEGEN IHRER EINFACHEN BEARBEITBARKEIT, DER FÜGETECHNIK UND VOR ALLEM AUFGRUND DES GERINGEN TRANSPORTGEWICHTS DER ELEMENTE UND RAUMZELLEN BESONDERS GUT ZUR VORFERTIGUNG GROSSER BAUELEMENTE UND GEBÄUDETEILE."** <sup>68</sup>

Wolfgang Huß

betragen. <sup>67</sup> Gerade die Verlagerung von Fertigungsprozessen in die Werkshalle bietet für den Holzbau entscheidende Vorteile. Einerseits kann ein Großteil der Produktion und Vormontage in der Fabrik unabhängig von der Witterung erfolgen. Dadurch wird für das feuchtigkeitsempfindliche Baumaterial Holz die kritische Phase der Baustellenmontage stark verkürzt und das Risiko einer wetterbedingten Feuchtebelastung während der Bauphase auf ein Minimum reduziert. Auf der anderen Seite kann mit einem hohen Vorfertigungsgrad von Haustechnik, Ausbau und Hüllkonstruktion die Gesamtbauzeit deutlich verkürzt werden, wodurch projektspezifisch auch wirtschaftliche Vorteile erzielt werden können. Dies trifft insbesondere beim Ersatz von Neubauten sowie bei Erweiterungen oder Aufstockungen von Bestandsgebäuden zu. Die optimalen Bedingungen in der geschützten Werkstätte führen zudem zu einer hohen Ausführungsqualität und vereinfachen auch die Kontrolle bereits ausgeführter Bauleistungen, wodurch eine bessere Qualitätssicherung gewährleistet werden kann. Weiters führen verkürzte Montagewege sowie die dauernde Anwesenheit der Montagepartie zu einer erhöhten Effizienz. Ebenso findet man in der geschützten Werkshalle im Vergleich zur Baustelle bessere Arbeitsbedingungen vor. Die Vorfertigung ermöglicht einen reduzierten Ma-

terialverbrauch, da Verschnitte mit Hilfe von CNC-gesteuerten Abbundanlagen optimiert werden können. Dies schont nicht nur Ressourcen, sondern erleichtert auch die Sammlung und Verwertung von Reststoffen, verglichen mit der Baustellenfertigung. Als Nachteil der Vorfertigung kann der erhöhte Aufwand in der Planungsphase genannt werden. Die Gesamtdauer von Planungs- und Ausführungsprozess verkürzt sich nicht zwangsläufig gegenüber konventionellen Baumethoden, da die Planung in der Regel mehr Zeit beansprucht. Vom Bauherrn und Planer sind Entscheidungen bereits sehr früh zu treffen und Korrekturen sind nur bis zu einem gewissen Zeitpunkt möglich. Änderungen auf der Baustelle haben normalerweise große Auswirkungen auf die Ausführungsqualität sowie die Kosten- und Terminplanung. Heute sind beinahe alle mehrgeschoßigen Holzbauten Prototypen, da Bauteilaufbauten und Verbindungsknoten zumeist projektspezifisch entwickelt werden. Dies führt in der Praxis zwar mitunter zu innovativen und qualitätvollen Detaillösungen, welche aber stark auf das jeweilige Projekt zugeschnitten sind. In dieser Hinsicht wäre ein insgesamt höherer Standardisierungsgrad wünschenswert, was sich insbesondere auf die Effizienz eines Bauvorhabens positiv auswirken würde. Hier kann speziell die *Raumzellenbauweise* als potenzielle Lösung dienen. <sup>69</sup>

## Modular Coordination - Grundmaß [M]

### Allgemeines

Unter dem im englischsprachigen Raum ge-läufigen Begriff "*modular coordination*" kann die Bezugnahme auf ein *Grundmaß* [M] (auch als *Basismaß* oder *Grundmodul* bezeichnet) verstanden werden, welches im gesamten Planungs- und Ausführungsprozess eines Bauwerks Anwendung findet. Mit dem *Grundmaß* [M] sowie mit Vielfachen von [M] ( $n \times [M]$ ) kann die Größe und Lage von Bauelementen in einem Gebäude eindeutig bestimmt werden. Dadurch soll die Variation der zum Einsatz kommenden Bauteilgrößen reduziert und gleichzeitig die Flexibilität der Anordnung der Bauteile erhöht werden. Ebenso kann damit eine Verbesserung des Austausches zwischen Planung und Fertigung erzielt werden. Voraussetzung dafür ist die Anwendung von *Modulen* in Kombination mit einem *Bezugssystem*, um koordinierte Bereiche für die verwendeten Bauelemente festlegen zu können.<sup>70</sup>

In diesem Zusammenhang sind die Begriffe "*Modul*" und "*Modularisierung*" von wesentlicher Bedeutung. "*Unter dem Begriff 'Modul' versteht man den Teil eines Ganzen und unter 'Modularisierung' die Aufteilung des Ganzen.*"<sup>71</sup> Mittels der Methode der *Modularisierung* werden Systeme in einzelne *Module* unterteilt, um sie später auf möglichst einfache Art und bestens aufeinander abgestimmt, zum fertigen Objekt zusammenfügen zu können.<sup>72</sup> Nach A. L. Russel beschreibt der Begriff *Modularität* die spezifischen Beziehungen zwischen dem Gesamtsystem und seinen Bestandteilen. Ein modulares System besteht aus kleineren Teilen, die sich in eine vordefinierte Systemarchitektur einfügen.<sup>73</sup>

### ISO-Normen

In der Norm *ISO 1006:1983 [E]: "Building construction - Modular coordination - Basic Module"* ist das *Grundmaß* für die Planung und Ausführung von Gebäuden aller Art festgelegt. Das international gültige *Grundmaß* mit der Bezeichnung [M] entspricht dabei dem standardisierten Wert von  $1 [M] = 100 \text{ mm}$ . Für Länder, die "*imperial units*" als Maßeinheit verwenden, gilt der standardisierte Wert von  $1 [M] = 4'' = 101,6 \text{ mm}$ .<sup>74</sup>

*ISO 2848:1984 [E]: "Building construction - Modular coordination - Principles and rules"* beschreibt allgemeine Prinzipien und Regeln bezüglich der Abmessungen von Gebäuden sowie der Dimensionierung und Anordnung von Bauelementen, der Infrastruktur und der Montage. Diese können für die Planung und Ausführung von Gebäuden aller Art, für die Stadtplanung, sowie für den Entwurf und die Herstellung von Bauelementen aller Art angewandt werden. Das Hauptziel der Normenreihe zum Thema "*modular coordination*" liegt in der Unterstützung der Bauindustrie und ihr zugehöriger Industrien durch Schaffung einheitlicher Vorgaben hinsichtlich Standardisierung, Abstimmung und Austauschbarkeit von Elementen, um damit eine höhere Wirtschaftlichkeit beim Bauen zu erreichen. Dabei liegt der Fokus unter anderem auf der Verwendung einer limitierten Anzahl von standardisierten Modulgrößen, mit denen unterschiedliche Bauwerksarten möglichst flexibel konstruiert werden können, sowie auf einer optimierten Pass- und Fügegenauigkeit, in Hinblick auf eine einfache und reibungslose Montage auf der Baustelle.<sup>75</sup>

In ISO 2848:1984 [E] wird zwischen drei verschiedenen *Modularten* unterschieden. Die Basis der "modular coordination" bildet das *Grundmodul* [M] gemäß ISO 1006:1983 [E].<sup>76</sup>

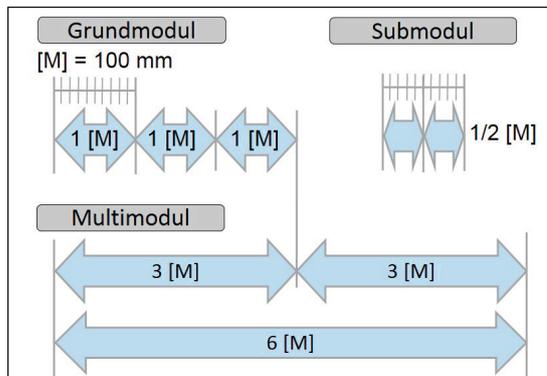


Abb. 2: Schematische Darstellung von Grundmodul, Multimodul und Submodul, Basis [M] = 100mm

Das *Multimodul* wird aus ganzzahligen Vielfachen des *Grundmoduls* gebildet. Die Werte von *Multimodulen* sollen dabei nicht beliebig gewählt werden.<sup>77</sup> In ISO 1040:1983 [E] werden deshalb standardisierte Werte für *Multimodule* mit 3 [M], 6 [M], 12 [M], 30 [M] und 60 [M] empfohlen.<sup>78</sup> Durch die Verwendung von *Multimodulen* kann die Anzahl verschiedener modularer Größen von Bauelementen erheblich reduziert werden, speziell wenn zumindest eine Abmessung der verwendeten Elemente der Abmessung eines zusammengesetzten Systems, welches aus diesen Elementen gebildet wird, entspricht. Für eine weitere Reduktion dieser Anzahl kann auf eine Reihe ausgewählter Größen von *Multimodulen*

*modulen* zurückgegriffen werden.<sup>79</sup> Bevorzugt zu verwendende Reihen von *Multimodulen* für horizontale Abmessungen sind in ISO 6513:1982 [E] angeführt.<sup>80</sup>

Das *Submodul* entspricht einem Bruchteil des *Grundmoduls* und wird dort angewandt, wo eine geringere Schrittweite als die des *Grundmoduls* erforderlich ist.<sup>81</sup> Nach ISO 6514:1982 [E] beträgt der international standardisierte Wert des *Submoduls*  $[M]/2 = 50$  mm. Werden kleinere Schrittweiten benötigt, sind die Werte  $[M]/4 = 25$  mm und  $[M]/5 = 20$  mm bevorzugt zu verwenden. *Submodule* sollten nicht zur Festlegung eines modularen Rasters zur Anwendung kommen. Sie können aber für den Versatz zwischen unterschiedlichen Rasterarten, als Unterbrechung eines Rasters sowie zur Lagebestimmung von haustechnischen Installationen oder von Elementen (mit Abmessungen kleiner als 1 [M]) in Querschnitten zusammengesetzter Bauteile eingesetzt werden.<sup>82</sup> Als Beispiele können die Aufbauten einer Decke oder einer Wand aus *Brettspertholz (BSP)* mit Lamellenstärken von  $[M]/2,5 = 40$  mm und  $[M]/5 = 20$  mm genannt werden. Bei einem Deckenquerschnitt bestehend aus 5 Lamellen (40-20-40-20-40) ergibt sich somit eine Gesamtdicke von  $1,6 [M] = 160$  mm. Ein Wandquerschnitt aus 5 Lamellen (20-20-20-20-20) erreicht eine Gesamtdicke von  $5 [M]/5 = 1 [M] = 100$  mm.<sup>83</sup>

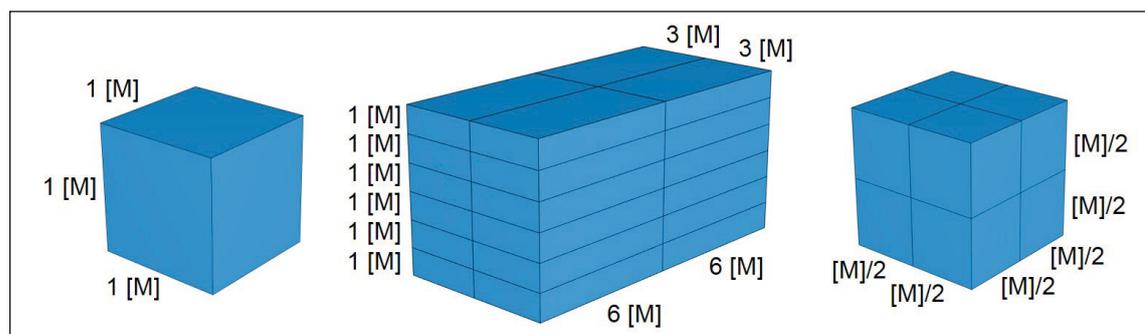


Abb. 3: Modularten nach ISO 2848:1984 [E] | Grundmodul (links), Multimodul (Mitte), Submodul (rechts)

## Raster

Unter einem *Raster* (auch als *Bezugssystem* bezeichnet) versteht man ein geometrisches System, welches sich aus Linien, Punkten und Ebenen zusammensetzt. Ein *Raster* kann zur Dimensionierung und Positionierung von Bauelementen oder Baugruppen herangezogen werden.<sup>84</sup> Mithilfe von regelmäßig oder unregelmäßig angeordneten *Maßlinien* (auch als *Achslinien* bezeichnet) wird ein ebenes oder räumliches Netz gebildet, das zumeist auf einer quadratischen oder rechteckigen Form beruht.<sup>85</sup>

*Achsraster* und *Bandraster* bilden dabei die geometrische Grundlage. Mit einem *Achsraster* lässt sich die Lage eines Bauteils genau bestimmen, während die Bauteilabmessungen bei der Zuordnung unberücksichtigt bleiben. Dabei decken sich die *Achslinien* des Bauteils mit den *Maßlinien* des *Rasters*. Beim *Bandraster* wird sowohl die Lage als auch die tatsächliche Größe des Bauteils bestimmt. Ebenso kann eine *Kombination aus Achs- und Bandraster* zum Einsatz kommen. Die verschiedenen Rasterarten müssen dabei in einem geometrischen Ordnungsprinzip koordiniert werden.<sup>86</sup>

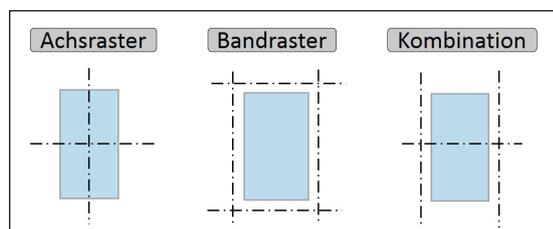


Abb. 4: Achsraster, Bandraster und Kombination aus Achs- und Bandraster

In der Planung kann eine Einteilung in *Konstruktions-*, *Ausbau-* und *Installationsraster* erfolgen. Während das *Konstruktionsraster* die Lage und Beziehungen der tragenden Bauteile festlegt, bestimmt das *Ausbauraster* die Po-

sition der raumabschließenden Bauteile. Für hochinstallierte Gebäudebereiche ist zudem ein eigenes *Installationsraster* für den technischen Ausbau sinnvoll, mit welchem sich beispielsweise Installationsräume in abgehängten Decken, Vorsatzschalen oder vertikalen Schächten definieren lassen.<sup>87</sup>

Im Jahr 2000 veröffentlichte die *Building and Construction Authority (BCA)* unter dem Titel "*modular coordination*" einheitliche Vorgaben für die modulare Planung und Ausführung von Bauwerken, welche auch international angewandt werden können. Darin werden beispielsweise grafische Konventionen für die Darstellung von Bemaßungslinien, Koordinationszonen und Koordinationsräumen angeführt. Dadurch lassen sich modulare Komponenten und Bereiche von nicht modularen sehr einfach grafisch unterscheiden.<sup>88</sup>

	System von Bezugsebenen für einzelne Konstruktionselemente und deren angegliederte Nutzflächen.
	System von Bezugsebenen für zusätzliche Konstruktionselemente.
	System von Bezugsebenen, welche sich mit Achsen von anderen Konstruktionselementen decken.
	Darstellung der Abmessungen zwischen zwei relevanten Bezugsebenen.

	Bezeichnung modularer Zonen (z.B. für Gebäudetechnik) mittels zwei paralleler Linien und nur einem Kreis.
	Bezeichnung für zusätzliche Informationen oder andere Zwecke (z.B. Produktinformationen).
	Bezeichnung für nicht-modulare Zonen, welche den Modulraster unterbrechen.
	Bezeichnung für Komponenten, welche beispielsweise in Katalogen, Handbüchern oder Normenwerken angegeben sind.

Abb. 5: Grafische Darstellung von Bemaßungslinien (a) und Koordinationszonen (b) gemäß BCA

In ISO 2848:1984 [E] wird zwischen dem sogenannten "modular space-grid" (modulares 3D-Raster) und dem "modular grid" (modulares 2D-Raster) unterschieden. Beim "modular space-grid" wird ein Gebäude, das aus modularen Bauelementen besteht, innerhalb des dreidimensionalen Rasters angeordnet. Der Abstand der Maßlinien entspricht dabei immer dem Grundmodul [M] oder einem Vielfachen davon (Multimodul  $n \times [M]$ ). Falls erforderlich, kann in den drei Dimensionen des Rasters (x-, y- und z-Richtung) auch ein unterschiedlicher Maßlinienabstand gewählt werden.<sup>89</sup>

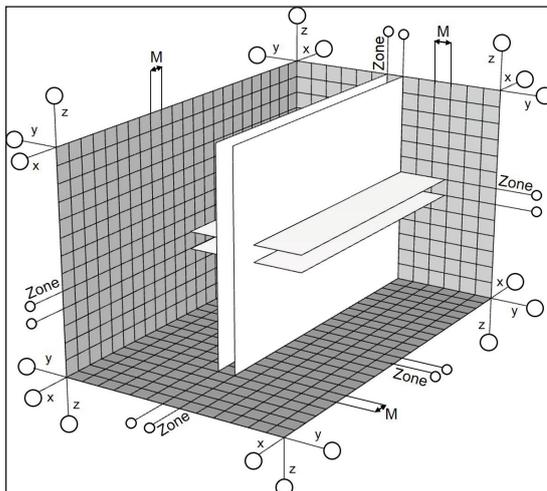


Abb. 6: Modulares 3D-Raster (modular space-grid) nach ISO 2848:1984 [E]

Ein sogenanntes "modular grid" entspricht einem zweidimensionalen Raster, das aus der horizontalen oder vertikalen Projektion vom "modular space-grid" abgeleitet wird. Durch die Anwendung modularer Raster kann ein durchgängiges Bezugssystem für ein ganzes Gebäude geschaffen werden. Als Grundlage jeder modularen Planung kann das "basic modular grid" (Grundmaß-Raster) herangezogen werden, bei welchem der Abstand der Maßlinien dem Grundmodul [M] entspricht. Bei sogenannten "multimodular grids" beträgt der

Maßlinienabstand einem Vielfachen von [M] ( $n \times [M]$ ). Die Maßlinien decken sich üblicherweise mit denen des Grundmaß-Rasters und es sind wiederum unterschiedliche Abstände in den zwei Dimensionen des Rasters (x- und y-Richtung) möglich. Ebenso kann eine Überlagerung von Rastern mit unterschiedlichen Maßlinienabständen im gleichen Grund- oder Aufriss für diverse Zwecke sinnvoll sein.<sup>90</sup>

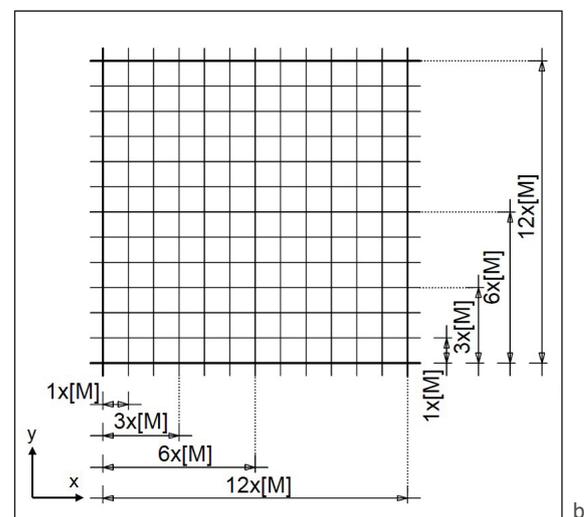
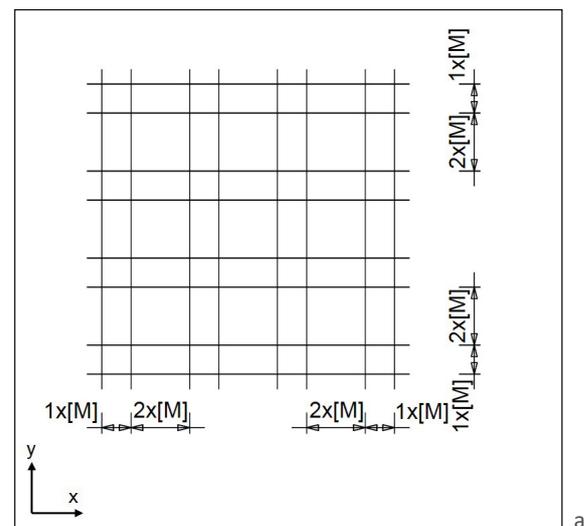


Abb. 7: Modulare 2D-Raster (modular grids) nach ISO 2848:1984 [E]:  
 a Karoraster (tartan grid)  
 b überlagerte Raster

Die Unterbrechung modularer Raster durch sogenannte "zones of interruptions of modu-

lar grids" kann beispielsweise zur Integration eines nicht-modularen Trennelementes erforderlich sein. Die Breite der Unterbrechung kann dabei sowohl modular ( $n \times [M]$ ) als auch nicht-modular ( $n' \times [M]$ ) gewählt werden.<sup>91</sup>

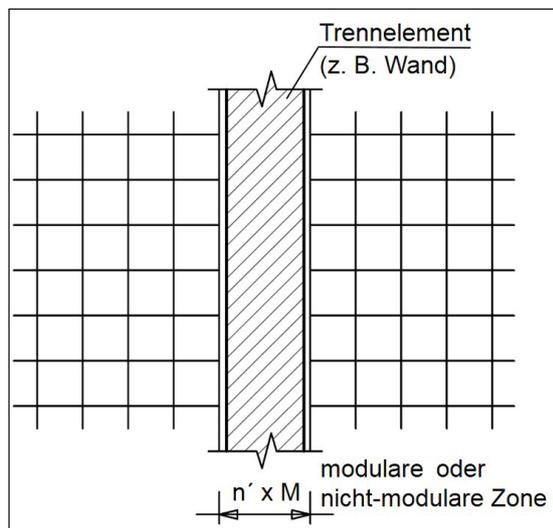


Abb. 8: Unterbrechung eines modularen Rasters durch eine nicht-modulare Zone ( $n' \times [M]$ ) nach ISO 2848:1984 [E]

Bei der Überlagerung mehrerer modularer Raster kann zudem ein Versatz einzelner Raster zur Positionierung unterschiedlicher Bauelemente von Vorteil sein. Die jeweiligen Raster stehen dabei durch das Grundmaß [M] in Bezug zueinander.<sup>92</sup> Als Beispiel kann das in der nachfolgenden Abbildung dargestellte Raster der vorgesetzten Wandelemente in Bezug zum Raster der tragenden Stützen eines Gebäudes gesetzt werden.<sup>93</sup>

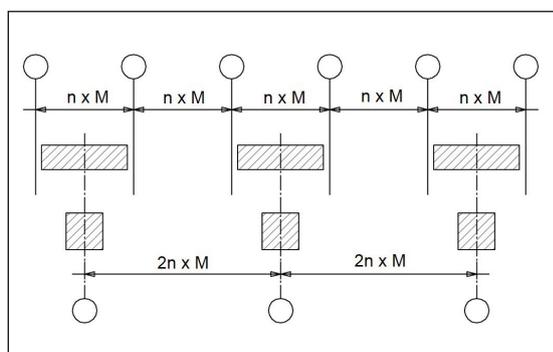


Abb. 9: Versatz und Überlagerung von zwei modularen Rastern nach ISO 2848:1984 [E]

Eine Unterbrechung beim Wechsel zweier modularer Raster kann auch durch die Verwendung eines Submoduls erfolgen. In der nachfolgenden Abbildung ist eine Rasterunterbrechung eines Standardrasters (Grundmaß-Raster) [M] durch ein Karoraster und Verwendung des Submoduls  $[M]/2$  dargestellt.<sup>94</sup>

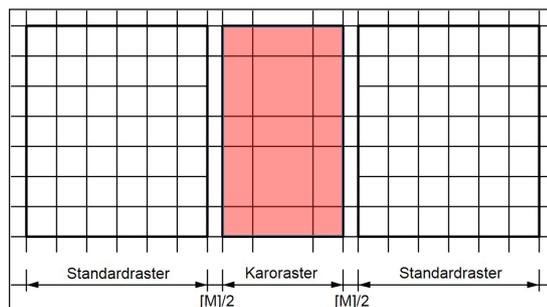


Abb. 10: Unterbrechung des Standardrasters durch ein Karoraster unter Verwendung eines Submoduls

In der Planung wird angenommen, dass sich jedes modulare Bauelement in einer zugewiesenen räumlichen Zone innerhalb des modularen Rasters befindet. Diese räumliche Zone beinhaltet bereits den erforderlichen Platz für die zulässigen Maßabweichungen eines vorgefertigten Bauteils sowie die fertigungsbedingten Fugen zwischen den Bauteilen. Die Festlegung der Lage und Größe eines modularen Bauteils wird auch als Grenzbezug bezeichnet. Wird die Achslinie eines Elementes zur Achslinie des Rasters in Bezug gesetzt, ist auch vom Achsbezug die Rede.<sup>95</sup> Während sich Bandraster für regelmäßig verteilte modulare Bauteile eignen, die in der Stoßfuge zusammentreffen, bieten sich Achsraster beispielsweise für Skelettkonstruktionen an. Die Beziehung zwischen den einzelnen Bauelementen wird durch Bezugslinien, welche die Bezugsebene aufspannen, definiert. Die Schnittpunkte der Bezugslinien werden auch als Bezugspunkte bezeichnet.<sup>96</sup> Die Grenzbezugslinien berücksichtigen wiederum die erforderlichen Maßtoleranzen.<sup>97</sup>



## Anwendung modularer Raster in der Planung am Beispiel der USM-Stahlbausysteme von Fritz Haller

In diesem Abschnitt wird der Einsatz modularer Raster in der Planung anhand der, vom Schweizer Architekten *Fritz Haller* (1924-2012) entwickelten *USM-Stahlbausysteme*, exemplarisch dargelegt. Die durchgängige Anwendung von einem festgelegten *Grundmaß* [M] und darauf aufbauenden modularen Rastern wirkt sich nicht nur auf die Planung des Tragwerks vorteilhaft aus, sondern erleichtert auch die Konzeption von Gebäudetechnik und Ausbau.<sup>105</sup>

Neben dem weltbekannten *Möbelbausystem USM Haller* (Patent im Jahr 1967) entwickelte *Fritz Haller* in Zusammenarbeit mit *Paul Schärer* (Inhaber der Firma *USM Ulrich Schärer Söhne AG* in Münsingen, CH) in den 1960er-Jahren die *Stahlbausysteme "Mini", "Midi"* und *"Maxi"*. Die vorgefertigten *Baukastensysteme* bauen auf einem *Grundmaß* von 1 [M] = 1,2 m auf, welches als Grundlage für ein *dreidimensionales Planungsraster* (x-, y- und z-Richtung) dient. Das *Grundmaß* ist dabei in Hinblick auf die bereits bestehende Standardisierung bei *"Platten-Halbfabrikaten"* gewählt worden. Die *Baukastensysteme* sind als *offene Systeme* konzipiert, welche im Unterschied zum *Möbelbausystem*, auch den Einsatz von systemfremden Elementen anderer Hersteller erlauben.<sup>106</sup> *"In dieser konstruktiven Offenheit liegt eine der wesentlichen Qualitäten von Hallers Stahlbausystemen."*<sup>107</sup> Das *Stahlbausystem "Maxi"* (siehe Abb. 13 a, b) ist für eingeschossige Hallenbauten entwickelt worden und besteht aus den Elementgruppen *"Tragwerk", "Dachhaut", "Außenwand"* und *"Innenwand"*. Laut *Haller* stellt das System

eine *"Gesamtlösung von der Tragkonstruktion bis zur Fassadenhaut"* dar. Dem Tragwerk liegt ein Rastermaß von 12 [M] = 14,4 m zu Grunde, welches einem Vielfachen des *Grundmaßes* von 1 [M] = 1,2 m entspricht. Die symmetrischen, eingespannt gelagerten Stützen werden jeweils aus vier Winkelprofilen gebildet, welche kreuzförmig angeordnet sind. Durch Öffnungen an den vier Seiten sowie dem Freiraum im Zentrum des Querschnitts kann die vertikale Leitungsführung innerhalb der Stahlstützen erfolgen. Zudem ist ein einfacher Anschluss der Dachträger an jeder Seite möglich. Aufgrund der Symmetrie und der konstruktiven Beschaffenheit der Stützen kann das Tragwerk in alle Richtungen erweitert werden, wodurch nachträgliche Zubauten jederzeit flexibel möglich sind. Das Dachtragwerk wird durch einen quadratischen Trägerrost, bestehend aus 1 [M] = 1,2 m hohen Fachwerkträgern, gebildet. Zusätzlich wird der Rost durch Zwischenträger in neun quadratische Felder unterteilt.<sup>108</sup>

Das *Stahlbausystem "Mini"* eignet sich für kleinere Bauaufgaben wie Wohnhäuser, Ateliers, Büros oder Pavillons mit maximal zwei Geschoßen. Die Spannweite kann bei eingeschossigen Bauten bis zu 7 [M] = 8,4 m betragen, bei einer zweigeschoßigen Ausführung sind höchsten 5 [M] = 6,0 m möglich (siehe Abb. 14 a). Die Stützen bestehen bei diesem System aus quadratischen Hohlprofilen. Anstelle von Fachwerkträgern kommen für das primäre Tragsystem sogenannte *"Gitterträger"* mit kreisförmigen Öffnungen zum Einsatz, die eine einfache Leitungsdurchführung

in der Trägerebene ermöglichen. Dazwischen sind sekundäre "Kastenträger" eingehängt, an denen die Boden- und Deckenplatten befestigt werden. Alle Tragwerkselemente sind vorgefertigt, wodurch die Montage auf der Baustelle sehr schnell erfolgen kann. Das *Wohnhaus Schärer* in Münsingen (siehe Abb. 13 c, d) stellt ein eindrucksvolles Beispiel für die enorme Flexibilität des *Stahlbausystems USM Haller "Mini"* in der Grundrissgestaltung dar.<sup>109</sup>

Bei der Entwicklung des dritten *Stahlbausystems "Midi"* ist neben einer reinen Standardisierung von Bauteilen auch eine Systematisierung von allen gebäudetechnischen Installationen angestrebt worden. Die konfliktfreie Organisation der Leitungsführung für die Gebäudetechnik wird bei diesem System durch ein zusätzliches *Installationsraster* gewährleistet, welches zusammen mit dem *Tragwerks-* und *Ausbauraster* einem übergeordneten *dreidimensionalen Planungsraster* unterstellt ist (siehe Abb. 14 b-d). Das *Baukastensystem* ist für mehrgeschoßige und hochinstallierte Gebäude konzipiert worden. Die Tragstruktur besteht aus runden Stützen und einem Trägerrost aus Fachwerk-Doppelträgern, die zusammen einen biegesteifen Stockwerksrahmen bilden. Damit lassen sich Spannweiten von maximal 14 [M] = 16,80 m überbrücken. Neben der Modularisierung der Tragkonstruktion erfolgt hier auch die horizontale und vertikale Organisation aller anderen Elemente des Systems. Mit dem *Stahlbausystem "Midi"* hat *Fritz Haller* ein ganzheitlich gedachtes Bausystem geschaffen, das "*allgemein gültigen Ordnungsprinzipien*" unterliegt und bei dem jedes Teilsystem als *Baukasten* ein Bestandteil des übergeordneten *Gesamtbaukastens* ist.<sup>110</sup>

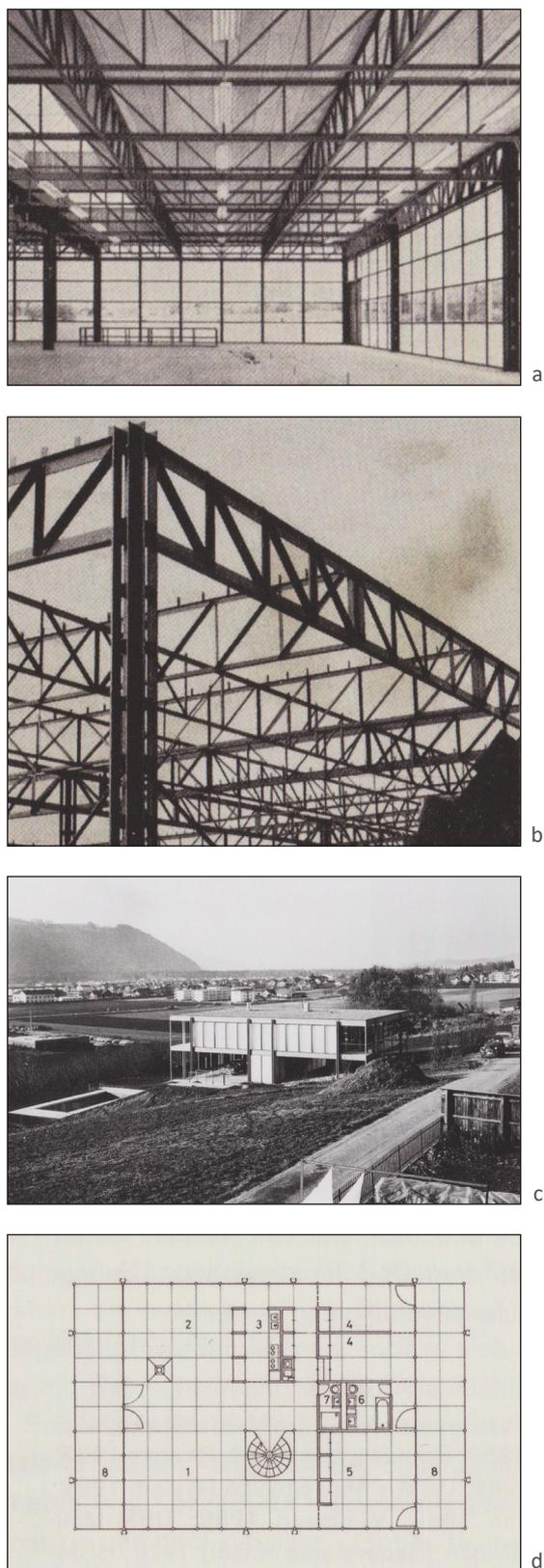


Abb. 13: a, b USM-Stahlbausystem Maxi | Fritz Haller  
c, d Außenaufnahme und Grundriss vom Wohnhaus Schärer in Münsingen, CH | USM-Stahlbausystem Mini | Fritz Haller 1968-1969

# Vorfertigen und Modularisieren

Anwendung modularer Raster in der Planung am Beispiel der USM-Stahlbausysteme von Fritz Haller

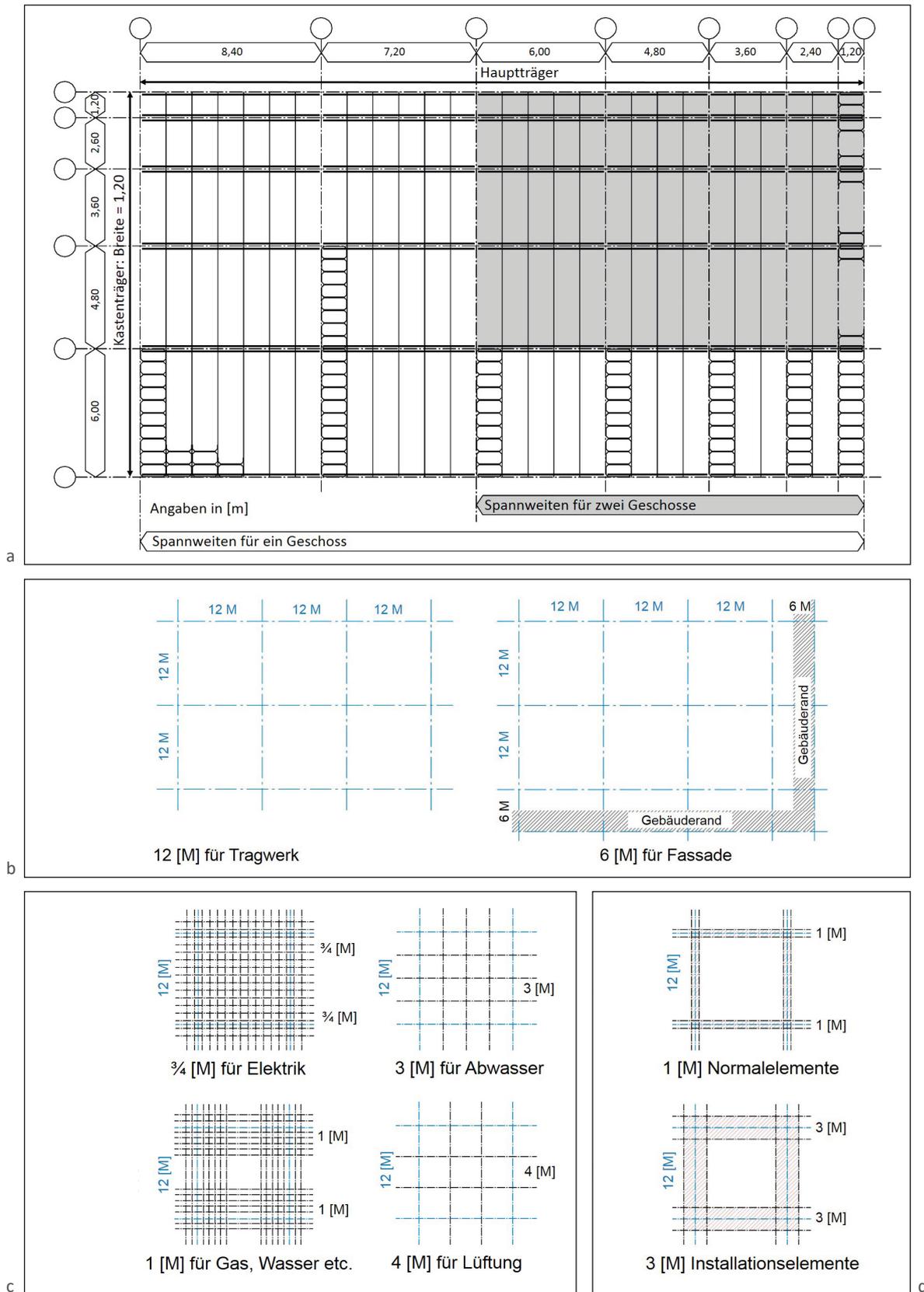


Abb. 14: a USM-Stahlbausystem Mini | Fritz Haller | Modulares Raster in Bezug auf Geschößanzahl u. Spannweite  
 b-d USM-Stahlbausystem Midi | Fritz Haller | b Achsraster für Tragwerk (links) u. Fassade (rechts),  
 c Achsraster für die Gebäudetechnik, d Bandraster für Ausbauten, 1 [M] = 100 mm

## Cubical Modular Concept (CMC) und Cubical Modular Design (CMD) von A. F. Bemis

Albert Farwell Bemis (1870-1936) versuchte in den 1920er- und 1930er-Jahren mit seiner Forschungsarbeit die Vorfertigung von Bauelementen in der amerikanischen Bauindustrie durch *Standardisierung* und *Rationalisierung* voranzutreiben. In seinem 1936 erschienenen Werk *"The Evolving House, Vol. III, Rational Design"* beschreibt Bemis die von ihm entwickelte Theorie vom *"Cubical Modular Concept"* (CMC) sowie deren praktische Anwendung beim architektonischen Entwurf eines Gebäudes anhand vom *"Cubical Modular Design"* (CMD).<sup>111</sup> Die Grundlage vom CMC bildet das sogenannte *"four-inch cubical module"*, welches auf einem *Grundmaß* [M] aufbaut und sowohl Größe als auch Proportionen berücksichtigt. Die konsequente Anwendung dieser Basisgröße von der Planung bis hin zur Ausführung sollte eine rationelle Vorfertigung von modularen Bauelementen im Werk ermöglichen, wodurch man sich eine Kostenreduktion im Vergleich zur traditionellen Baustellenfertigung erhoffte. Bemis legte das *Grundmaß* mit  $1 [M] = 4''$  fest, da sich dieses Maß bereits durch die damals in den USA häufig eingesetzte *"2-by-4"-Holz-Leichtbauweise* in der Bauindustrie etablieren konnte. Es stellt sozusagen den *"größten gemeinsamen Divisor"* für alle Dimensionen der Tragstruktur eines Gebäudes dar. Ebenso erwähnte er ein *Grundmaß* von  $1 [M] = 100 \text{ mm}$  für die Anwendung seines Konzeptes im metrischen System.<sup>112</sup>

Bemis forderte die Zusammenarbeit zwischen Architekten, Herstellern und ausführenden Bauarbeitern bei der Schaffung einheitlicher Standards für die Abmessungen von werksmä-

ßig vorgefertigten Bauteilen.<sup>113</sup> Das Ziel seiner Bemühungen war nicht etwa die Entwicklung von fertigen Bausätzen mit einer bestimmten Anzahl modularer Komponenten, sondern die Standardisierung der Beschaffenheit und Funktionalität modularer Bauelemente, angefangen vom Entwurf bis hin zur Montage auf der Baustelle. *"Houses will not be built of modules, but the module must be a practical unit for the specific design of structural parts."*<sup>114</sup>

Durch Anwendung des *Grundmaßes* auf den dreidimensionalen Raum entstand das *"four-inch cubical module"*. Bemis hat den *Kubus* gewählt, da er seiner Ansicht nach drei wesentliche Potenziale für eine umfassende Standardisierung von Bauelementen aufweist. Dazu zählt das *"Potenzial des Volumens"*, das *"Potenzial der Symmetrie"* sowie das *"Potenzial der Oberfläche"*.<sup>115</sup>

### Potenzial des Volumens

Grundsätzlich kann mit dem *Grundmaß* eine *Einheitslänge* [M], eine *Einheitsfläche*  $[M] \times [M] = [M^2]$  oder ein *Einheitsvolumen*  $[M] \times [M] \times [M] = [M^3]$  beschrieben werden (siehe Abb. 15). Das Volumen wird durch den *Kubus* definiert und die Kantenlänge des *Kubus* entspricht dem gewählten *Grundmaß*.<sup>116</sup>

Die *Modularisierung* eines quaderförmigen Bauwerks wird nachfolgend am Beispiel vom *Pavillon "lightspace"* (Biennale 2016) veranschaulicht. Zuerst wird das umhüllende Volumen mit der sogenannten *"total matrix"* (auf Deutsch: *Gesamtmatrix*) gebildet, welche durch Aneinanderreihung von ganzzahligen Vielfachen des *Einheitsvolumens* in allen drei

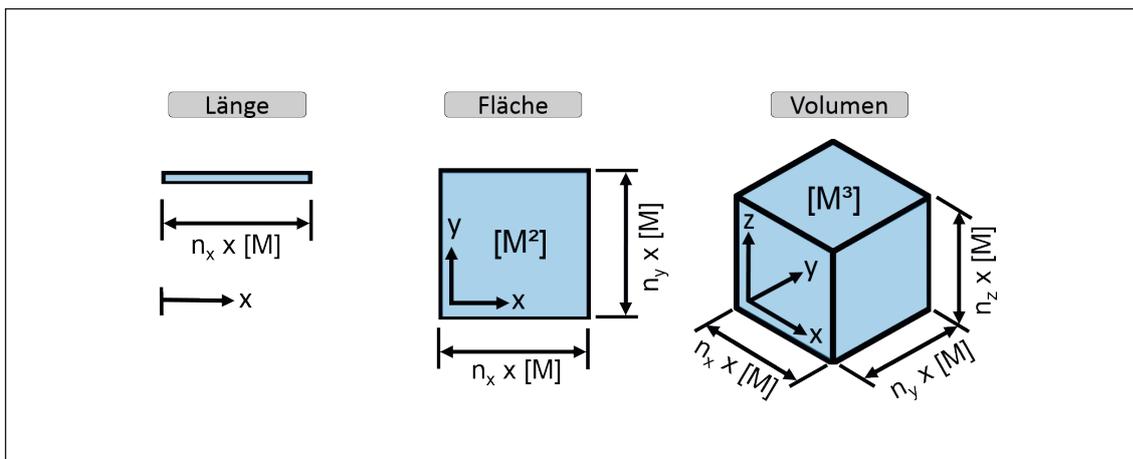


Abb. 15: Schematische Darstellung von Längen-, Flächen- und Volumeneinheit

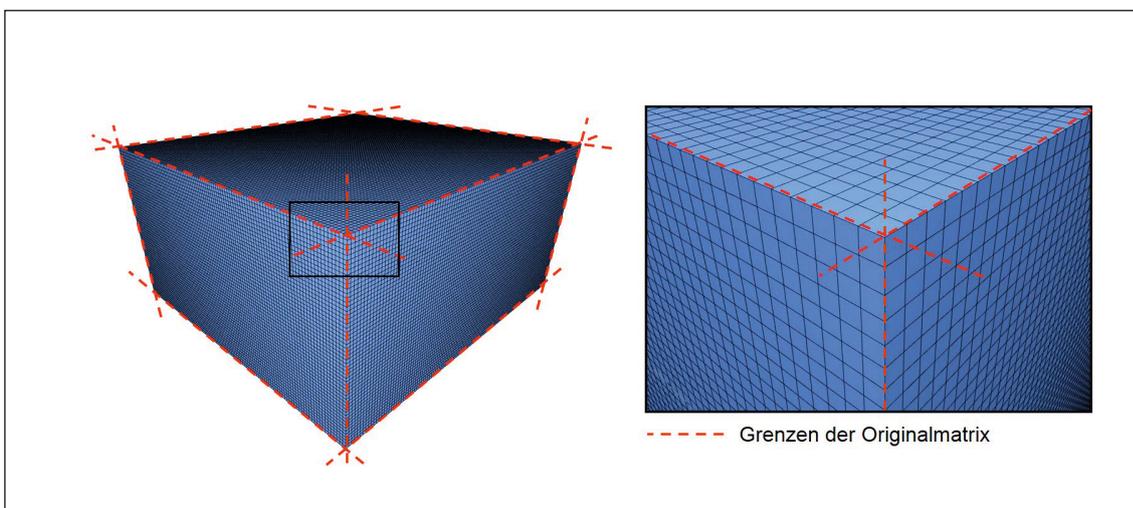


Abb. 16: Darstellung der Gesamtmatrix am Beispiel des Pavillons "lightspace" auf der Biennale 2016

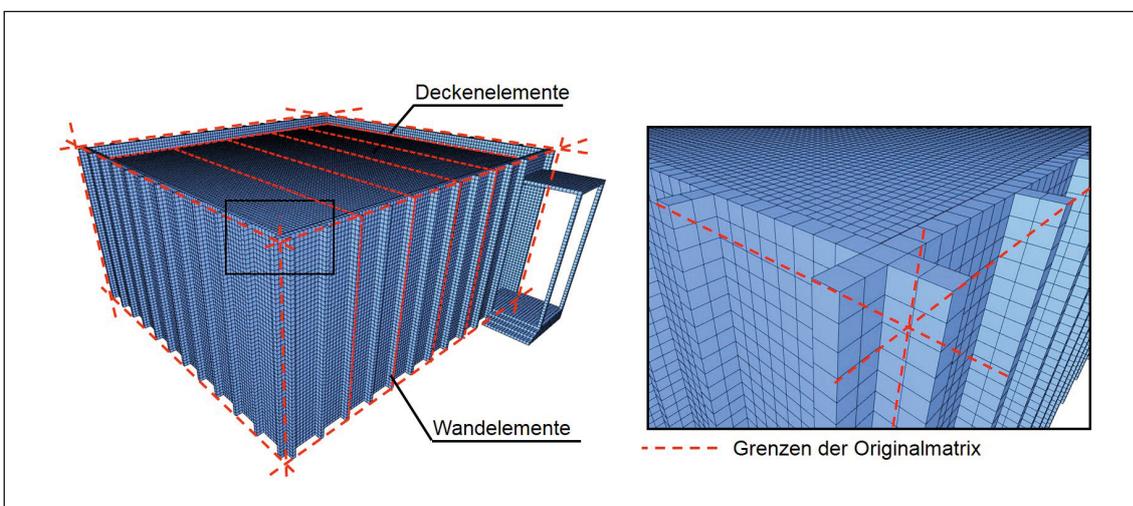


Abb. 17: Darstellung der Strukturmatrix am Beispiel des Pavillons "lightspace" auf der Biennale 2016

Dimensionen ( $n_x \times [M] \times n_y \times [M] \times n_z \times [M] = n_x \times n_y \times n_z \times [M^3]$ ) entsteht (siehe Abb. 16). Innerhalb der *Gesamtmatrix* befinden sich alle Elemente der Tragstruktur des Gebäudes. Als nächstes werden jene *Volumenelemente* entfernt, welche sich außerhalb der Tragstruktur befinden und nicht Teil des Bauwerks sind. Bei diesem Schritt wird das Volumen des Baukörpers definiert. Anschließend erfolgt durch Entfernen der *Volumenelemente* innerhalb dieses Baukörpers die Festlegung von Öffnungen (Fenster, Türen etc.) und Räumen. Die Positionierung von Öffnungen in der Tragstruktur ist unter Berücksichtigung der modularen Gliederung beliebig möglich. Die dadurch entstandene, sogenannte "*Strukturmatrix*" ist ein exaktes Abbild der Tragstruktur des Gebäudes, welche durch jeweils gleich große *Kuben* unterteilt ist. Die Wandstärke der Tragstruktur entspricht dabei mindestens dem *Grundmaß*  $[M]$ , alle übrigen Abmessungen wiederum ganzzahligen Vielfachen von  $[M]$ . Durch Entfernen und/oder Hinzufügen von *Kuben* kann die Größe von Öffnungen sowie die Form und Dimension von Räumen beliebig innerhalb der Grenzen der *Gesamtmatrix* verändert werden. Im nächsten Schritt werden den *Kuben* zur Differenzierung der einzelnen Elemente des Gebäudes (Wand, Decke etc.) verschiedene Funktionen innerhalb der Tragstruktur zugewiesen (siehe Abb. 17). Der Vorteil der *Modularisierung* mittels *Kuben* besteht darin, dass alle Elementabmessungen eines Gebäudes als ein Vielfaches von  $[M]$  in allen drei Hauptrichtungen (x-, y- und z-Richtung) eindeutig beschrieben werden können.<sup>117</sup>

"It is the potentiality of the cube as [...] volume that [...] controls the layout of the house within the total matrix of cubes and defines the main parts of the structure."<sup>118</sup>

## Potenzial der Symmetrie

"The cube possesses the highest and most flexible order of theoretical symmetry and also the means of combining within it complex features which perform functions essentially asymmetrical in character."<sup>119</sup>

Die Symmetrie des *Kubus* ist durch seine drei *Axialebenen* gegeben (siehe Abb. 18). Durch Festlegung der Position dieser *Axialebenen* kann die Lage jedes Punktes, jeder Fläche und jeder Ebene auf dem *Kubus* eindeutig bestimmt werden. Die durchgängige *Modularisierung* eines Gebäudes verlangt auch nach einer modularisierten Fügung der einzelnen Elemente. Dazu wird bei einem *Strukturelement* zwischen innenliegenden, *strukturbildenden Kuben* mit dem *Grundmaß*  $[M]$  und *Verbindungskuben*, welche an den Verbindungsstellen liegen, unterschieden (siehe Abb. 19).

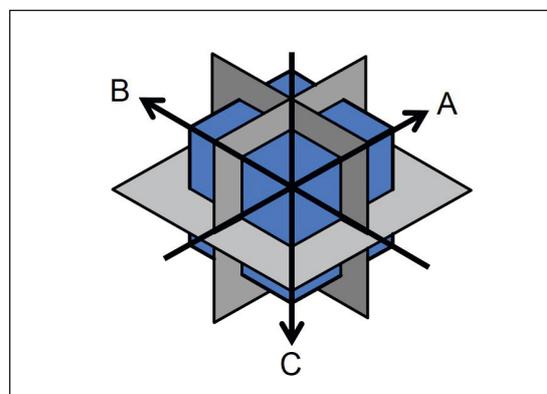


Abb. 18: Isolierter Kubus mit seinen drei Axialebenen A, B und C

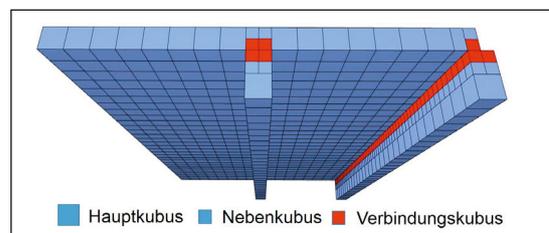


Abb. 19: Darstellung von Haupt-, Neben- und Verbindungskuben am Beispiel eines zusammengesetzten Wandelementes (BSH-BSP-Rippen-element) vom Pavillon "lightspace" auf der Biennale 2016

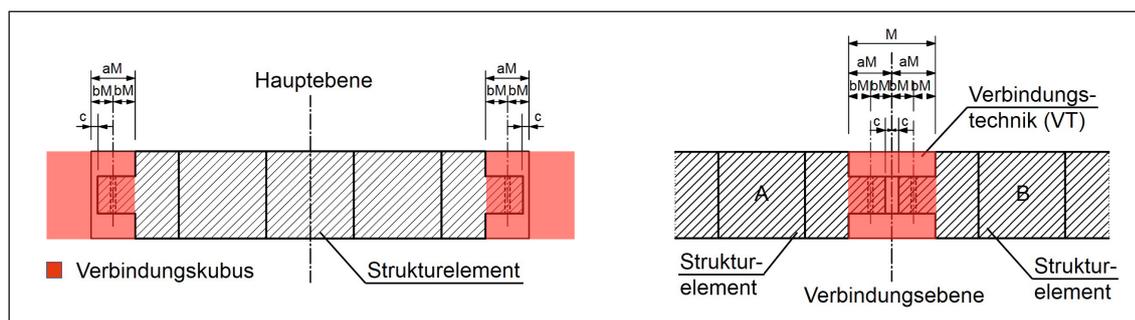


Abb. 20: Darstellung der Symmetrie der Verbindungskuben, welche die Verbindungstechnik aufnehmen (links) Übertragung der Modularität zwischen zwei Strukturelementen durch die Verbindungstechnik (rechts)

Letztere nehmen die erforderliche *Verbindungstechnik* zur Fügung der einzelnen Elemente auf. Um das modulare Prinzip elementweise übertragen zu können, werden die *Verbindungskuben*, bezogen auf das Einzelelement, symmetrisch angeordnet. Durch diese Symmetrie kann eine allseitig standardisierte Fügung der *Strukturelemente* erfolgen (siehe Abb. 20). Die Ausbildung der *Verbindungstechnik* ist dabei von besonderer Bedeutung. Die *Verbindungskuben* basieren ebenfalls auf dem *Grundmaß*  $[M]$  und liegen immer mittig zwischen zwei benachbarten *Strukturelementen* und symmetrisch zur *Verbindungsebene*. Daraus folgt, dass die *Verbindungstechnik* maximal ein Ausmaß von  $[M]/2$  auf jeder Seite des Elementes annehmen kann. Da die minimale Dicke der Tragstruktur mindestens dem *Grundmaß*  $[M]$  entsprechen muss, ist für den Bereich der *Verbindungstechnik* auch dieses Maß einzuhalten. Die Wahl eines kleineren *Kubus* als *Grundmaß* für die Tragstruktur würde, nebenbei bemerkt, die Vielfalt der Kombinationsmöglichkeiten erhöhen und dadurch gleichzeitig den erreichbaren Standardisierungsgrad reduzieren. Die *Verbindungskuben* lassen sich durch die drei *Axialebenen* in acht gleich große *Nebenkuben* gliedern. Diese können wiederum in 64 *Tertiär-Kuben* unterteilt werden (siehe Abb. 21 und Abb. 22). Die weitere symmetrische Gliederung dieser *Ku-*

*ben* kann beliebig fortgesetzt werden, wobei ein praktisches Ausmaß schnell erreicht wird. Durch diese systematische Unterteilung ist bei der Konzeption der *Verbindungstechnik* ein maximaler Grad an Symmetrie und Standardisierung möglich. Wirft man einen Blick auf die derzeitig verwendete *Verbindungstechnik* in der *Holz-Massivbauweise*, wird diese in den seltensten Fällen den Anforderungen an ein hohes Maß an Symmetrie gerecht. Weitere Entwicklungen in diesem Bereich wären daher wünschenswert.<sup>120</sup>

## Potenzial der Oberfläche

Der *Kubus* weist sechs identische Oberflächen mit denselben Abmessungen auf. Dabei sind die an den außenliegenden Seiten der Tragstruktur befindlichen Flächen der *Kuben* für die Anordnung von flächenförmigen Ausbauelementen von Bedeutung (siehe Abb. 23). Solche Elemente können in Form von Bepflanzungen mit verschiedenen Funktionen ausgestattet sein (Oberflächengestaltung, Brandschutz, Wärmeschutz, Aussteifung etc.). Die Flächen der *Verbindungskuben* (auch *Verbindungsflächen* genannt) lassen sich durch zwei *Axialebenen* in vier gleich große *Sekundär-Flächen* unterteilen, die wiederum den von *Bemis* geforderten Ansprüchen an Symmetrie und Funktionalität gerecht werden.<sup>121</sup>

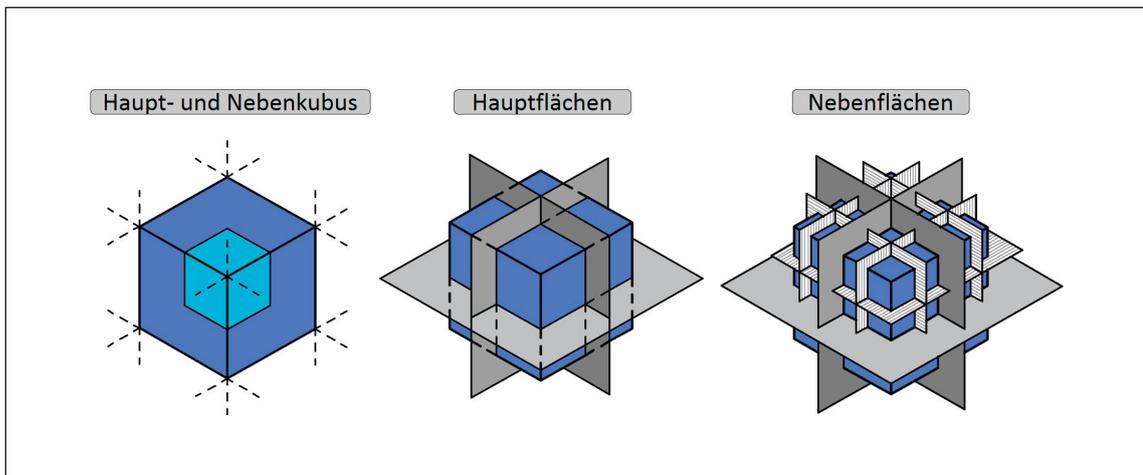


Abb. 21: Schematische Darstellung der Haupt- und Nebenkuben mit Haupt- und Nebenflächen

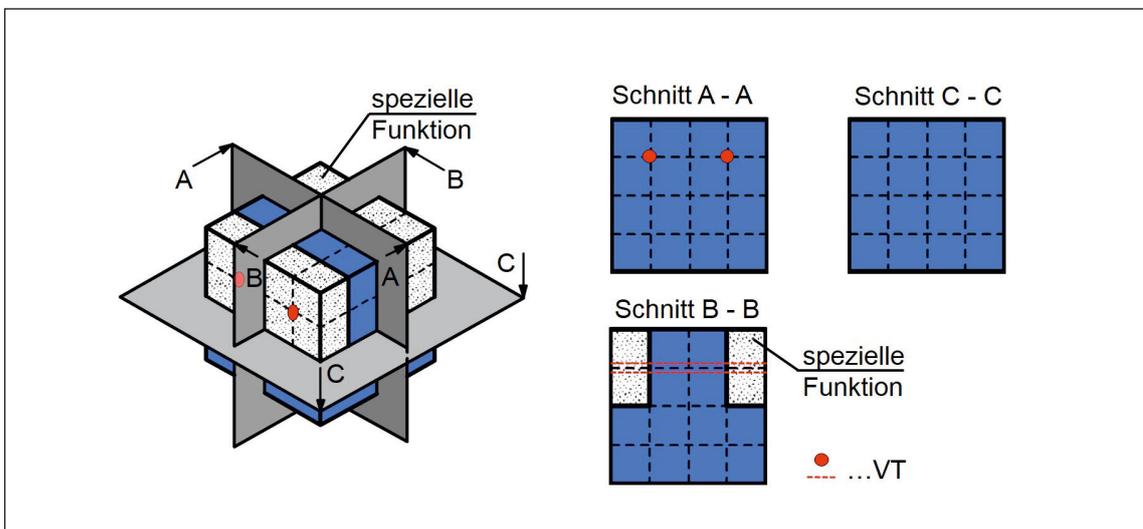


Abb. 22: Gliederung des Hauptkubus durch die drei Axialebenen und weitere Unterteilung der acht Neben-Kuben zur Festlegung der Lage der Verbindungstechnik

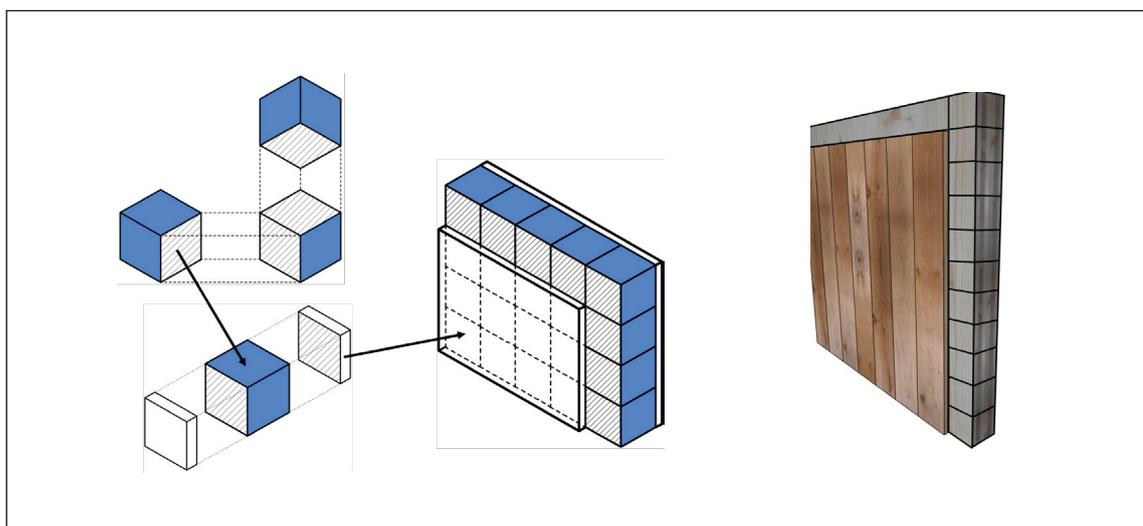


Abb. 23: Die, an den außenliegenden Seiten der Tragstruktur befindlichen Flächen der Kuben, sind für die Anordnung von flächenförmigen Elementen von Bedeutung (links) | BSP-Element mit Oberflächenbeplankung (rechts)

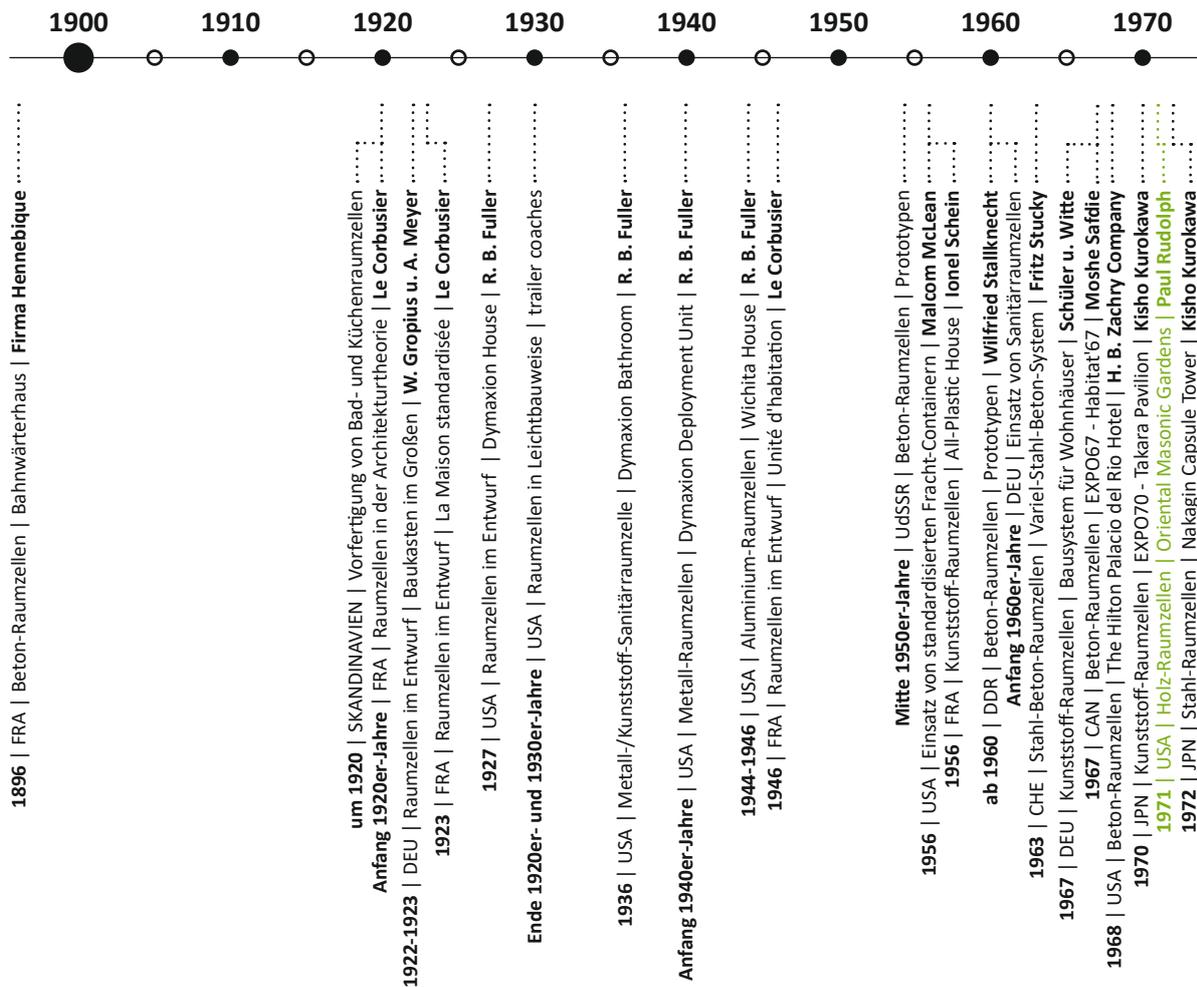
## LÄNDERKÜRZEL

AUT	Österreich
CAN	Kanada
CHE	Schweiz
DDR	ehem. Deutsche Demokratische Republik
DEU	Deutschland
FIN	Finnland
FRA	Frankreich
GBR	Großbritannien
JPN	Japan
NLD	Niederlande
NOR	Norwegen
SWE	Schweden
UdSSR	ehem. Sowjetunion
USA	Vereinigte Staaten von Amerika

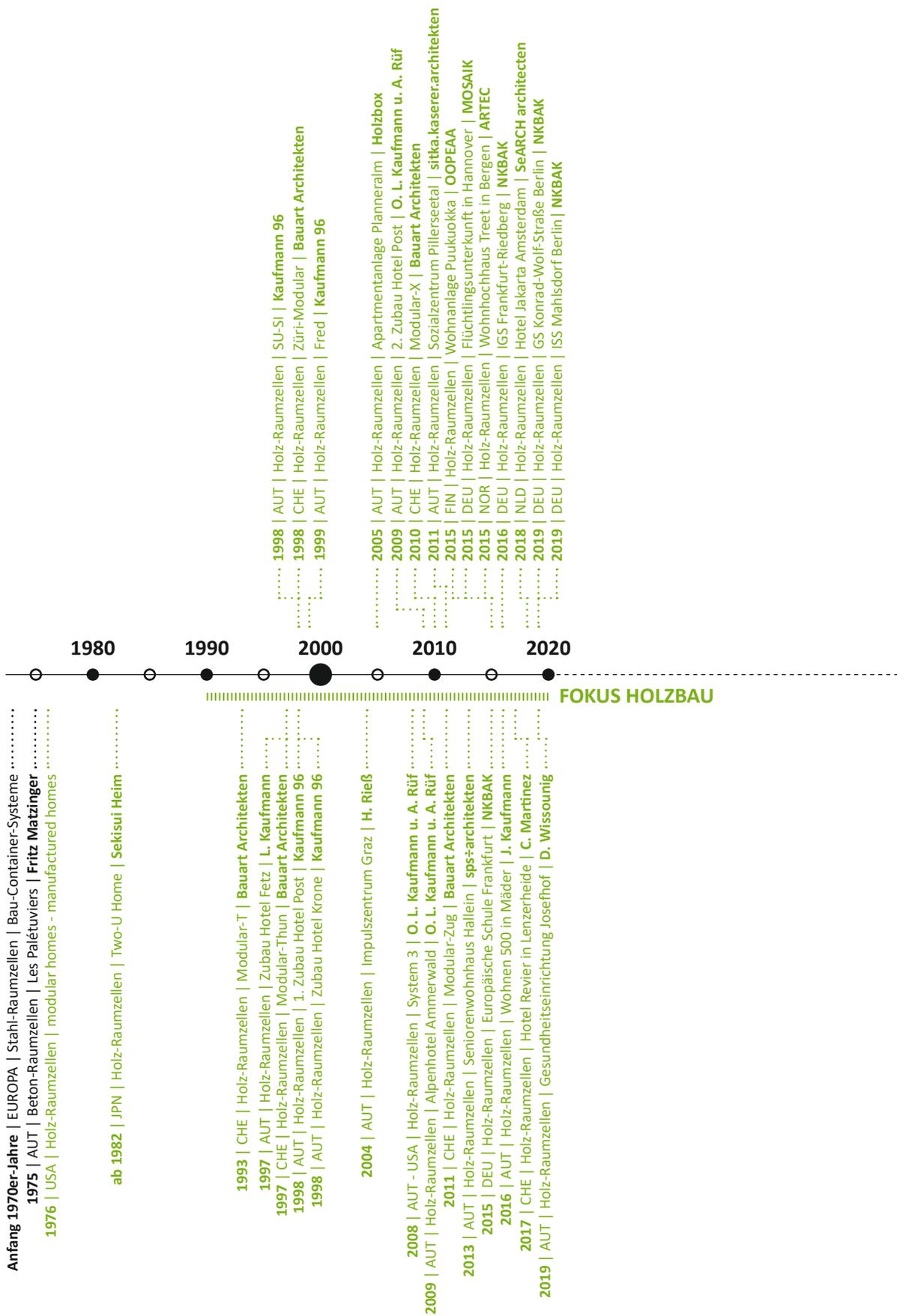
## TRAGSTRUKTUR DER RAUMZELLEN

überwiegend aus Holz

überwiegend aus anderen Werkstoffen



..... Mitte 1950er-Jahre | USA | Holz-Raumzellen | Beginn der Ära der mobile homes  
 ..... 1956 | CHE | Holz-Raumzellen | Schulpavillon | Fritz Stucky  
 ..... 1958 | CHE | Stahl-Raumzellen | Variel-Stahl-System | Fritz Stucky  
 ..... ab 1960 | JPN | Raumzellen im Entwurf | Kapselarchitektur | Metabolisten  
 ..... ab 1962 | GBR | Raumzellen im Entwurf | Plug-in City | Archigram  
 ..... 1964 | INTERNATIONAL | ISO-Container | verbindliche Maße für Fracht-Container | ISO  
 ..... 1965 | CHE | Beton-Raumzellen | Variel-Beton-System | Fritz Stucky  
 ..... 1967 | USA | Stahl-Raumzellen im Entwurf | Graphic Arts Center NYC | Paul Rudolph  
 ..... 1968 | FIN | Kunststoff-Raumzellen | Futuro House | Matti Suuronen  
 ..... 1971 | CHE | Beton-Raumzellen | Variel-E-System | Fritz Stucky  
 ..... ab 1971 | JPN | Stahl-Raumzellen | Sekisui Heim M1 | Sekisui Heim  
 ..... ab 1972 | DEU | Holz-Raumzellen | Firma Holtmann



# HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER RAUMZELLENBAUWEISE

## Überblick

In diesem Kapitel erfolgt ein spezifischer Überblick über historische Entwicklungen im Bereich des Raumzellenbaus. Ebenso werden ausgewählte Wegbereiter der industriellen Vorfertigung von Häusern beschrieben. Einige Pioniere der Raumzellenbauweise werden aufgrund ihrer herausragenden Beiträge ausführlicher betrachtet. Die gezeigten Beispiele stellen eine Auswahl des Verfassers dar und es werden keine Ansprüche auf Vollständigkeit erhoben.

Im Laufe der Zeit versuchten immer wieder eine Vielzahl von Architekten, Ingenieuren, Forschern und Unternehmern mit der Entwicklung von diversen Bausystemen die Vorfertigung im Bauwesen voranzutreiben. Aus unterschiedlichen Gründen scheiterten auch so manche mit ihren Vorhaben. Eine vertiefte Literaturrecherche zu diesem Thema brachte folgende Erkenntnis: Während sich der überwiegende Teil von ihnen mit vorgefertigten flächigen Elementen auseinandersetzte, verschrieben sich einige dem Bauen mit dreidimensionalen Raumzellen.

Vor allem in den 1950er-, 1960er- und 1970er-Jahren gab es zahlreiche ambitionierte Versuche, Gebäude in Raumzellenbauweise zu errichten. Prototypen mit *Raumzellen aus Kunststoff, Stahl, Beton* und *Holz* wurden in dieser Zeit realisiert. Ab den 1990er-Jahren richtet sich der Fokus dieser Arbeit auf den Holzbau. Damals entstanden im deutschsprachigen Raum die ersten mehrgeschoßigen *Raumzellenbauten aus Holz*. In den letzten Jahren konnten schließlich Projekte mit Holz-Raumzellen im Bereich der Hochhausgrenze und sogar darüber hinaus geplant und realisiert werden.

## Frühe Entwicklungen

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts griff die Industrialisierung zunehmend auch auf das Bauwesen über. Während die großen Entwicklungen im Bereich der Vorfertigung in Europa beinahe ausschließlich auf die Materialien Stahl und Stahlbeton beschränkt waren, spielte das Material Holz anfangs keine nennenswerte Rolle.<sup>122</sup>

Bereits 1896 fertigte die französische Firma *Hennebique* ein Bahnwärterhaus in Serie und stellte damit vermutlich die erste transportable Raumzelle aus Stahlbeton her.<sup>123</sup>

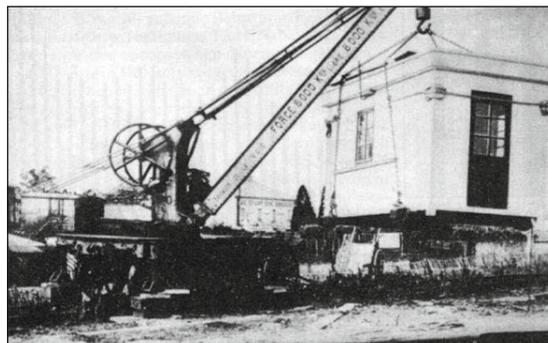


Abb. 24: Ein seriell hergestelltes Bahnwärterhaus der Firma Hennebique war 1896 vermutlich die erste transportable Raumzelle aus Stahlbeton.

Die Besessenheit vom Automobil folgte bei den Architekten der Moderne unmittelbar nach der Einführung der Fließbandfertigung durch *Henry Ford* im Jahr 1907. Vor allem die 1920er-Jahre waren geprägt von der Analogie zwischen Auto und Haus als Produkt desselben rationalisierten Konstruktionsprozesses mit standardisierten Bauteilen und Typen. Allen voran sah der schweizerisch-französische Architekt *Le Corbusier* (1887-1965) die Lösung der Wohnungsnot nach dem ersten Weltkrieg bei der Massenproduktion von Autos.<sup>124</sup> Im Jahr 1921 verkündete er in der

Zeitschrift "L'Esprit Nouveau" <sup>125</sup>: "Das Haus ist eine Wohnmaschine." <sup>126</sup> Die Zukunft der Architektur sah er in den funktionalistischen Konstruktionen der Industrie und in den Mechanismen der industriellen Arbeitsabläufe, das heißt bei den Maschinen und bei der Logistik. *Le Corbusier* forderte, dass sich die Architektur in Richtung von Dampfschiffen, Automobilen und Flugzeugen entwickeln sollte. Die Raumzelle stellte seit Beginn der 1920er-Jahre ein zentrales, wiederkehrendes Motiv seiner Architekturtheorie dar. Wenn er von "Zellen als den kleinsten und allgemeinen Elementen modernen Bauens" sprach, meinte er damit einerseits die architektonische Zelle, wie die Gefängnis- oder Mönchszelle, als den kleinstmöglichen Lebensraum für den Menschen. Andererseits verwendete *Le Corbusier* den Begriff auch bewusst als Anspielung auf die biologische Bedeutung der Zelle als Grundbaustein des Lebens. Unter dem Titel "La Maison standardisée" erfolgte im Jahr 1923 die Veröffentlichung von Zeichnungen und Überlegungen zu einem standardisierten Haus, das aus unterschiedlichen Kombinationen von zwei Raumzellen gebildet werden konnte. Im Rahmen einer Reihe von Vorträgen, die *Le Corbusier* 1929 in Südamerika hielt, fasste er seine, bis dahin entwickelten zellularen Konzepte, schriftlich zusammen. <sup>127</sup>

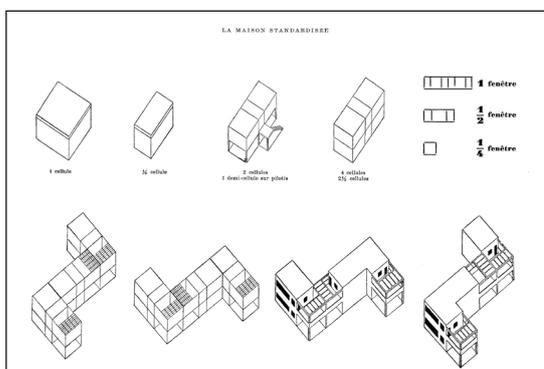


Abb. 25: La Maison standardisée | Le Corbusier 1923

Unter anderem schrieb er: "Wir werden das Fertighaus haben, das ab Fabrik verkauft wird, das vollkommen maschinell - wie die Karosserie eines Autos - hergestellt und am Ort von Monteuren aufgebaut wird. [...] Die Zelle im menschlichen Maßstab dient als Grundlage. [...] Das Haus wird in der Fabrik hergestellt, es ist standardisiert, industrialisiert, taylorisiert, es wird auf einem Waggon transportiert - ganz gleich wohin. [...] Diese Zellen müssen zu Millionen zusammenfügbar sein. [...]" <sup>128</sup>

Das von ihm festgelegte Maß für die "Zelle im menschlichen Maßstab" betrug 15 m<sup>2</sup>. Diese Zellen sollten bei der Planung von einfachen Wohnhäusern bis hin zum "Wolkenkratzer" Anwendung finden. Die Form des Letzteren hätte laut *Le Corbusier* durch "Aufeinandersetzen der Zellen" bestimmt werden sollen. <sup>129</sup> Die Größe der Zelle wählte er wohl nicht rein zufällig, da sie fast genau der Dimension seiner Luxuskabine (5,25 m x 3,00 m = 15,75 m<sup>2</sup>) <sup>130</sup> auf der zuvor unternommenen Schiffsreise von Europa nach Südamerika entsprach. <sup>131</sup> Die erste Möglichkeit, ein Gebäude nach den genannten Prinzipien und im großen Maßstab umzusetzen, ergab sich erst nach dem zweiten Weltkrieg. 1946 erhielt er mit der *Unité d'habitation* den Auftrag zur Planung eines Wohnkomplexes in Marseille für rund 1600 Personen. <sup>132</sup> Das Gebäude sollte laut den ursprünglichen Plänen des Architekten aus einer tragenden Stahl-Skelettkonstruktion und selbsttragenden, eingefügten Raumzellen bestehen. Dazu merkte *Le Corbusier* Folgendes an: "Jedes Apartment besteht aus Zellen, die aus vorgefertigten Paneelen [sic!] zusammengesetzt und in den Rahmen eingehängt werden [...]" <sup>133</sup> Mit insgesamt drei vorgefertigten Raumzellen, der "Küchenzelle", der "Elternschlafzimmerzelle" und der

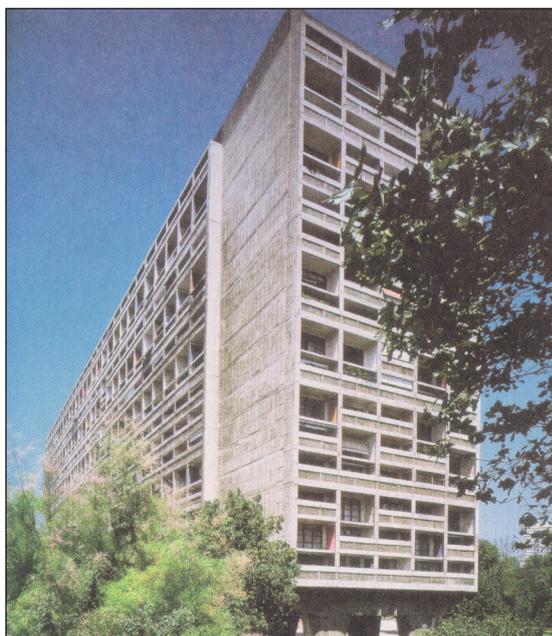
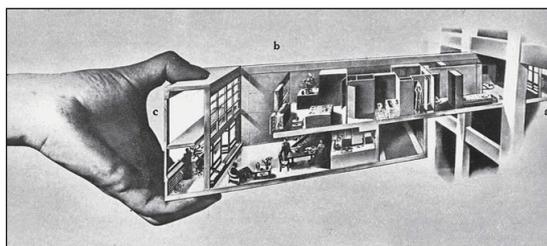
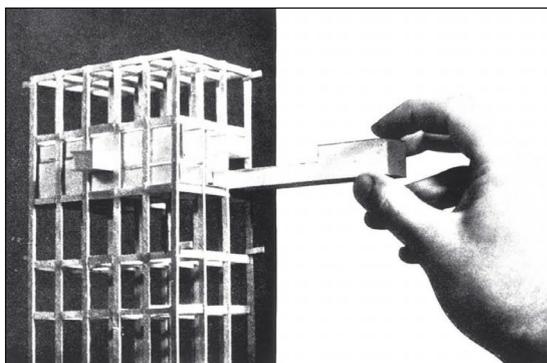


Abb. 26: Unité d'habitation in Marseille | Le Corbusier 1946-1952



a



b

Abb. 27: a, b Visualisierung und Konstruktionsmodell zur Veranschaulichung des ursprünglich zellularen Prinzips der Unité d'habitation in Marseille

"Kinderschlafzimmerzelle", hätten laut *Le Corbusier* unterschiedliche Wohnungstypen realisiert werden können.<sup>134</sup> Um das zellulare Prinzip des Entwurfes zu demonstrieren, fertigte er ein eigenes Modell an.<sup>135</sup> Da sich jedoch Stahl aus Kostengründen und mangels fehlender Kontrolle über die Ausführungstoleranzen damals für das Projekt als ungeeignet herausstellte, erfolgte die Errichtung des zwölfgeschoßigen Wohnblocks als Skelettkonstruktion aus Stahlbeton. *Le Corbusier* verglich das Tragwerk des Gebäudes mit einem "Weinregal", in das die Apartments wie "Flaschen" eingeschoben werden. Anfänglich noch als Raumzellen konzipiert, wurden sie letztendlich aber auch nicht in dieser Weise ausgeführt. Die Fertigstellung des Gebäudes erfolgte schließlich im Jahr 1952. Das ursprüngliche Konzept des primären Traggerüsts mit eigenständigen, eingefügten Raumzellen gilt als ein Vorreiter für die später entstandenen "Megastrukturen" der folgenden Jahrzehnte.<sup>136</sup>

Durch *Le Corbusier* inspiriert, beschäftigte sich auch *Walter Gropius* (1883-1969), Leiter des *Bauhauses* in Deutschland, damals mit zellenartigen Raumkonzepten.<sup>137</sup> Zwischen 1922 und 1923 entwickelte er zusammen mit *Adolf Meyer* (1881-1929) ein räumliches Bausystem aus sechs rechteckigen, teilweise abgewinkelten Volumen, das als "Baukasten im Großen" bekannt wurde. Dieses bestand aus einer Palette von standardisierten, industriell vorgefertigten "Einzelraumkörpern", die individuell miteinander kombiniert werden konnten. Gropius bezeichnete das System als "Set von überdimensionalen Bauklötzen", das abhängig von der Anzahl der Bewohner und ihrer Bedürfnisse, zu unterschiedlichen Typen von "Wohnmaschinen" konfiguriert werden konnte. Obwohl lediglich ein Modell entstand und das System aus Kostengründen niemals realisiert wurde, diente der prototypische Entwurf später am Bauhaus als Vorlage für Häuser aus industriell vorgefertigten, flächigen Betonelementen.<sup>138</sup>

"Gropius [...] schuf mit der Verwendung wiederkehrender Raumzellen die Grundlage für die Typisierung einzelner Bauteile und damit für eine industrielle Produktion."<sup>139</sup> Es sollten nicht ganze Häuser, sondern lediglich einzelne Bauteile standardisiert werden, um eine größtmögliche Variabilität der Hausgrundrisse zu erreichen.<sup>140</sup>

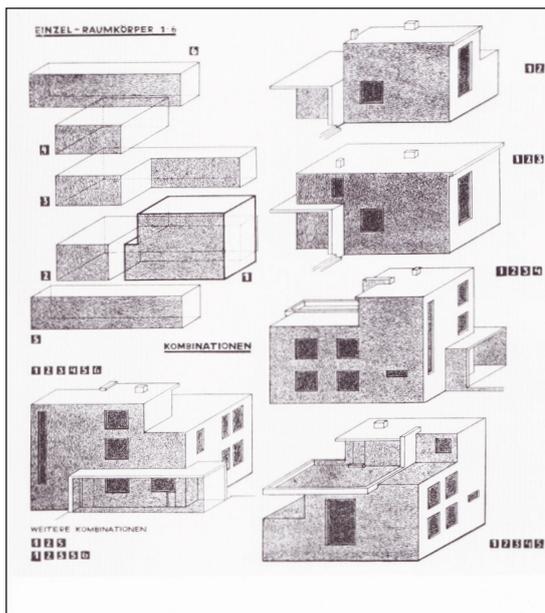


Abb. 28: Baukasten im Großen | Walter Gropius und Adolf Meyer 1922-1923

Ab 1927 arbeitete *Richard Buckminster Fuller* (1895-1983) an den Plänen für ein werksmäßig vorgefertigtes Wohnhaus, das sogenannte *Dymaxion House*. Der Konstrukteur und Erfinder war damals bereits fest davon überzeugt, dass Häuser wie Autos in einer Fabrik produziert werden könnten. Fuller glaubte, dass vorgefertigte Gebäude das Potenzial hätten, die Art wie Menschen wohnen, weltweit zu verändern.<sup>141</sup> Er wollte dabei die Vorteile der Massenproduktion nutzen, die er zuvor beim Automobil- und Flugzeugbau studiert hatte.<sup>142</sup> Das sechseckige *Dymaxion House* bestand aus einem zentralen Mast aus Edelstahl, ab-

gespannten Kabeln sowie Wand-, Dach- und Bodenelementen aus Aluminiumblechen. Die fabrikmäßig vorgefertigten Einzelteile hätten vor Ort am Boden zusammengefügt und anschließend am Mast hochgezogen werden sollen. Bemerkenswert sind auch die nachhaltigen Überlegungen zur Badezimmereinheit, welche durch ihre Ausstattung und Nutzung von Grauwasser den Wasserverbrauch der Bewohner reduzieren hätte sollen. Die Umsetzung vom *Dymaxion House* scheiterte jedoch damals aus finanziellen Gründen, und der Entwurf schaffte es nicht bis in die Produktion.<sup>143</sup> Fuller entwarf später, im Jahr 1936, mit dem *Dymaxion Bathroom* eine eigenständige Version des Badezimmers als vollständig vorgefertigte Sanitärzelle aus Metall oder Kunststoff.<sup>144</sup>

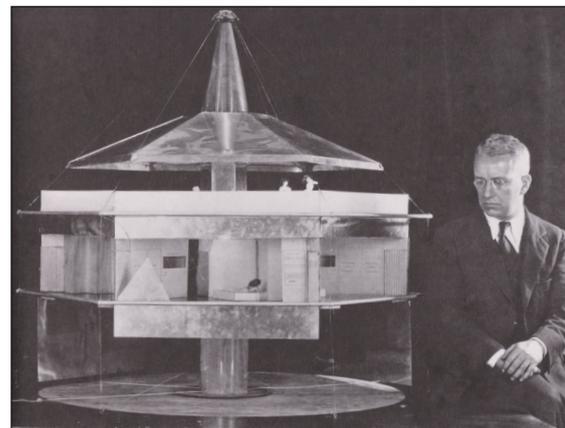


Abb. 29: Modell vom Dymaxion House | Richard Buckminster Fuller 1927

Während des zweiten Weltkrieges erhielt Fuller schließlich seinen ersten Großauftrag. Anfang der 1940er-Jahre entwickelte er für die britische Armee die *Dymaxion Deployment Unit* als Prototyp eines industriell vorgefertigten Hauses. Hunderte Rundbauten aus galvanisiertem Blech wurden als Notbehausung für die Bevölkerung gefertigt. Die Kriegsbewirtschaftung von Metallen setzte der Produktion jedoch ein rasches Ende.<sup>145</sup>



Abb. 30: Dymaxion Deployment Unit während einer Ausstellung im Museum of Modern Art in New York City vom 10.10.1941-01.04.1942

Gegen Ende des Krieges griff Fuller erneut seine Pläne vom *Dymaxion House* auf. Zwischen 1944 und 1946 arbeitete er in der *Beech Aircraft Factory* in Wichita an der Weiterentwicklung seiner Idee. Wegen der rückläufigen Nachfrage an Flugzeugen, wollte die *Beech Company* mit der Produktion von Häusern aus Aluminium am Wohnungsmarkt Fuß fassen. Man hoffte 50.000 bis 60.000 Wohnhäuser jährlich produzieren zu können und plante, sie um \$6.500 (entspricht ca. \$75.000 im Jahr 2008) pro Einheit zu verkaufen. Alle Bestandteile vom sogenannten *Wichita House* sollten vollständig in der Fabrik vorgefertigt werden. Der überarbeitete Entwurf sah einen kreisrunden Baukörper mit annähernd halbkugelförmiger Kuppel samt aufgesetzter Kappe vor. Fullers patentierte, vorgefertigte Sanitärzelle wurde ebenfalls im Grundriss integriert. Wie das *Dymaxion House* war auch das *Wichita House* als "*dwelling machine*" gedacht. Jedoch war nach dem Bau von zwei Prototypen bereits Schluss und somit kam es nie zur Serienfertigung. Die *Beech Company* wollte letztendlich das Gebäude nicht produzieren, da man davon ausging, dass die Öffentlichkeit noch nicht bereit war, in einem "*maschinenartigen*

*Objekt*" zu leben.<sup>146</sup> Trotz allem gilt Fuller heute als ein Pionier der industriellen Vorfertigung von Häusern und kann damit durchaus auch als ein Wegbereiter der Raumzellenbauweise betrachtet werden.<sup>147</sup>

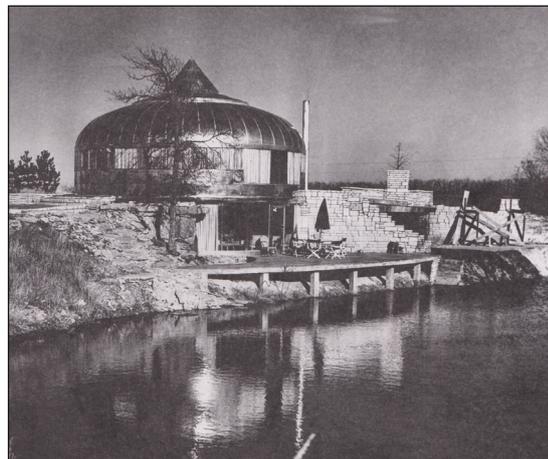


Abb. 31: Prototyp vom Wichita House | Richard Buckminster Fuller 1944-1946

Während sich *Konrad Wachsmann*, "*der Pionier des industriell vorgefertigten Bauens mit Holz*", in seinem Werk "*Holzhausbau - Technik und Gestaltung*" aus dem Jahr 1930 mit vorgefertigten Holzrahmenelementen beschäftigte, spielte die Vorfertigung von Raumzellen aus Holz damals noch keine Rolle. Ebenso wird die räumliche Vorfertigung von Holzbauten im 1959 erschienen Buch "*Wendepunkte im Bauen*" nicht erwähnt.<sup>148</sup> Das *General Panel System*, auch bekannt als "*The Packaged House*", wurde ab 1941 von *Konrad Wachsmann* zusammen mit *Walter Gropius* in den USA entwickelt. Es bestand aus einem eigens entwickelten Verbindungsknoten und einer Palette aus vorgefertigten, flächigen Holzrahmenelementen. Diese hatten eine Größe von 40" x 120" und wurden in einem dreidimensionalen Raster von 40" x 40" x 40" angeordnet. In der Nachkriegszeit wurde die *General Panel Corporation* mit dem Ziel gegründet, 8.500 Häu-

ser pro Jahr zu fertigen. Unter anderem kam es wegen Toleranzproblemen in der Produktion und daraus resultierenden Verzögerungen jedoch dazu, dass das Unternehmen 1952 bankrott ging und letztlich keine Serienfertigung im großen Stil statt fand. Somit reiht sich auch das *Packaged House* als gescheiterter Versuch in die Geschichte der vorgefertigten Häuser ein.<sup>149</sup> Dennoch stellt das Vorhaben aus heutiger Sicht einen der wichtigsten Meilensteine des industriell vorgefertigten Bauens im 20. Jahrhundert dar.<sup>150</sup>



Abb. 32: General Panel System | Konrad Wachsmann und Walter Gropius 1941

## USA

Die Fahrzeugindustrie in den USA fertigte in den späten 1920er- und 1930er-Jahren mit den aerodynamischen *trailer coaches* schon sehr früh mobile Raumzellen. Hinter der Entwicklung stand die Idee der individuellen, unabhängigen Erholung, die in der aufbruchbereiten amerikanischen Bevölkerung sehr viel Zuspruch fand. Jedoch wurde die Hälfte aller verkauften Wohnwägen aufgrund der Großen Depression sehr schnell zur dauerhaften Behausung von vielen Arbeitslosen.<sup>151</sup>

In Nordamerika wurden während des zweiten Weltkrieges Wohnwägen als kurzlebige und erschwingliche Wohnmöglichkeit von Einwan-



Abb. 33: Airstream trailer coach | USA 1930er-Jahre

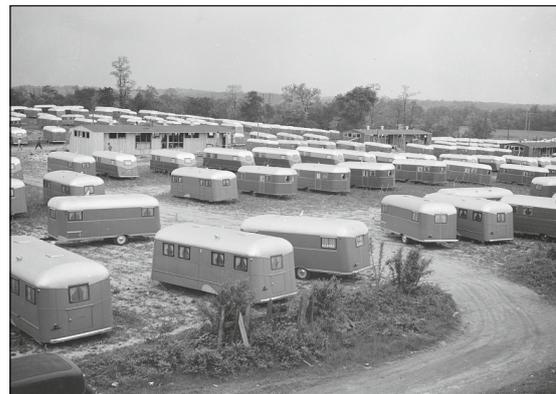


Abb. 34: Trailer Park in den USA in den 1940er-Jahren

derern und Wanderarbeitern genutzt, was ihre weiträumige Verbreitung förderte. Nach dem Krieg stellten viele Firmen, die als Automobilhersteller begonnen hatten, ihre Produktion allmählich auf die Fertigung von dauerhaft bewohnbaren *mobile homes* um. Diese wurden als vollständig eingerichtete Raumzellen auf einem Fahrgestell in einer Fabrik vorgefertigt. Anschließend musste die fertige Einheit nur noch zu ihrem Bestimmungsort gebracht werden und die Bewohner konnten sofort einziehen. *Mobile homes* behielten ihre Räder, wodurch sie transportabel blieben. In den meisten Fällen wurden sie jedoch nach der erstmaligen Aufstellung nicht mehr bewegt. Als sich diese ursprünglich temporäre Wohnform immer mehr als permanente etablierte, und die Nachfrage zunehmend stieg, expandierte die *mobile home industry* Mitte der 1950er-Jahre.<sup>152</sup> Hier begann die eigentliche Ära der *mobile homes*.<sup>153</sup> Die angebote-

nen Modelle wurden geräumiger und komfortabler. 1968 machten *mobile homes* bereits rund ein Viertel aller Einfamilienhäuser in den USA aus. Die Standardbreite wurde bis 1969 schrittweise von 8' auf 10', 12' und 14' vergrößert.<sup>154</sup> Die Vorfertigung der Raumzellen erfolgte, wie in der nachfolgenden Abbildung ersichtlich, in *Holzrahmenbauweise*.<sup>155</sup>

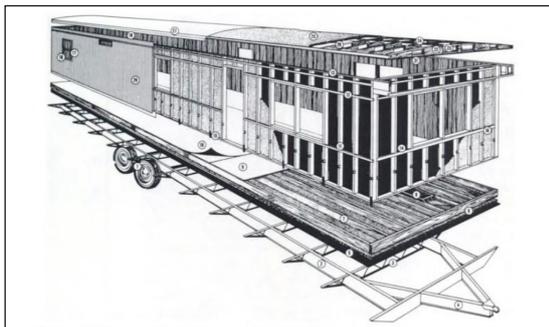


Abb. 35: Konstruktion eines *mobile homes* in Holzrahmenbauweise

1976 wurden schließlich die sogenannten "*double-wides*" eingeführt, die aus zwei separat angelieferten Raumzellen bestanden und zusammen ein 28' breites Haus ergaben. Im gleichen Jahr fand auch eine Änderung der Gesetzeslage statt und es wurde fortan zwischen *permanent homes (modular homes)* und *mobile homes (manufactured homes)* unterschieden. Im Gegensatz zum mobilen *manufactured home*, das geringere Standards erfüllen musste, entsprach die Ausführung der dauerhaft errichteten *modular homes* den lokalen Bauvorschriften. Sie wurden ohne



Abb. 36: *Double-wide mobile home* vor dem Transport vom Fabrikgelände zum Bauplatz

Fahrgestell hergestellt und konnten aus mehreren Raumzellen bestehen, die einzeln mit einem LKW zum Bauplatz transportiert und anschließend zusammengefügt wurden.<sup>156</sup>

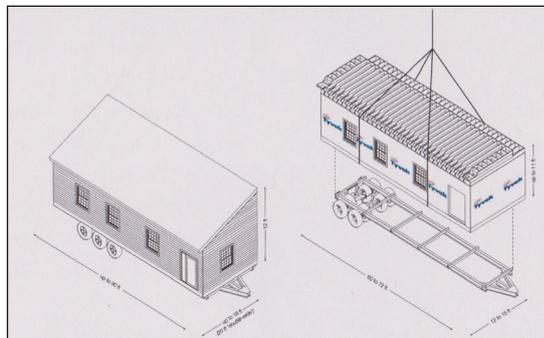


Abb. 37: *manufactured home* (links) und *modular home* (rechts)

Wegen ihres monotonen Erscheinungsbildes und der mangelhaften konstruktiven Ausführungsqualität werden die *mobile homes* heute in den USA von Architekten und der Gesellschaft allgemein als insignifikant betrachtet. Viele mobile Wohneinheiten fielen in der Vergangenheit auch Tornados oder Hurrikans zum Opfer. Trotzdem besteht die Industrie bis heute, da das *mobile home* nach wie vor die Grundbedürfnisse des Wohnens erfüllt, und umgerechnet auf den Preis pro Quadratmeter, die günstigste Wohnmöglichkeit darstellt.<sup>157</sup> Ryan E. Smith schrieb dazu im Jahr 2010: "*The manufactured home does not profess to be more than it is and its owners do not expect more of it. It is built to a lower code. Because of this, prefabrication, the method by which manufactured housing is realized, has come under attack as a subpar method of construction of all housing.*"<sup>158</sup>

Neben der weltweit größten Industrie für *mobile* und *manufactured homes* finden sich heute in den USA schätzungsweise rund 200 Hersteller von *modular homes*. Eine Vielzahl von ihnen ist im Nordosten des Landes angesiedelt. Der überwiegende Teil produziert

Raumzellen in Holzrahmenbauweise, während ein paar wenige Hersteller Raumzellen in *Stahlbeton-* oder *Stahl-Leichtbauweise* fertigen. Die staatlich regulierte *manufactured housing industry* produzierte etwa konstant über das letzte Jahrzehnt ungefähr 10 Prozent aller Neubauten (Stand 2017), bezogen auf den gesamten nordamerikanischen Immobilienmarkt. Der Anteil der *modular housing industry* betrug im Jahr 2016 nach Schätzungen des *Modular Building Institute (MBI)* rund 3 Prozent und sollte laut Prognosen in den folgenden Jahren auf bis zu 5 Prozent anwachsen. In den vergangenen Jahren produzierte ein typischer Hersteller durchschnittlich rund 330 Raumzellen pro Jahr und beschäftigte dabei zwischen 100 und 200 Arbeiter.<sup>159</sup>



Abb. 38: Die Fertigung von Raumzellen in den USA erfolgt heute zumeist in Holzrahmenbauweise.



Abb. 39: Raumzellen in Stahlbetonbauweise oder in Stahl-Leichtbauweise (hier abgebildet) werden in den USA nur von wenigen Herstellern fabriziert.

## Sowjetunion und DDR

Auch in den ehemaligen sozialistischen Staaten, wie der Sowjetunion und der DDR, gab es in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts experimentelle Versuche mit Raumzellen für den Massenwohnungsbau.<sup>160</sup> In der Sowjetunion kam es Mitte der 1950er-Jahre zu ersten Überlegungen, Raumzellen aus Stahlbeton herzustellen. Ab 1959 wurden Prototypen aus bis zu fünf Meter breiten Raumzellen mit fünf bis neun Geschossen errichtet. Das Programm zielte darauf aus, diese Bauweise mit der gleichzeitig aufkommenden *Großtafelbauweise* (umgangssprachlich als *"Plattenbauweise"* bezeichnet), hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Effektivität, zu vergleichen.<sup>161</sup> Da die Raumzellen aus Stahlbeton aufgrund des hohen Gewichtes schwierig zu transportieren waren und die Einrichtung oftmals noch vor Ankunft auf der Baustelle beschädigt oder gestohlen wurde, konnte sich diese Bauweise jedoch nicht durchsetzen.<sup>162</sup> Etwa zur gleichen Zeit fanden in der ehemaligen DDR nach dem Vorbild der Sowjetunion ebenfalls Bemühungen statt, Alternativen zu der später dominierenden *Großtafelbauweise* zu erproben. An erster Stelle stand damals das Ziel der Kostenreduzierung im Wohnungsbau. Am Institut für Hochbau an der *Deutschen Bauakademie* wurden unter der Leitung des Architekten *Wilfried Stallknecht* ab 1960 Entwürfe für Gebäude in Raumzellenbauweise erstellt. Im Fokus standen die Entwicklung von Herstellungs-, Transport- und Montagemöglichkeiten für Raumzellen aus Stahlbeton. Bereits damals war die vollständige Vorfertigung der Einheiten inklusive Innenausbau im Werk vorgesehen. Die Herstellung der Beton-Raumzellen mit Aussparungen für Türen und Fenster er-

folgte "in einem Guss" mit dem sogenannten Glockengussverfahren. Anschließend wurden Fenster, Türen, Fußböden, Trennwände, Kücheneinrichtungen, Sanitär- und Elektroinstallationen ebenfalls im Werk montiert. Mit zwei verschiedenen Raumzellengrößen von 4,2 m x 4,8 m und 2,4 m x 4,8 m konnten unterschiedlich große Wohnungstypen gebildet werden. Durch Nebeneinanderreihung und Stapelung sollten Bauten mit vier bis fünf Geschossen entstehen. Nachdem eine Musterwohnung aus vier Raumzellen auf der *Deutschen Bauausstellung* in Ost-Berlin Ende April 1960 der Öffentlichkeit präsentiert wurde, entstand 1965 ein Musterwohnbau in Hoyerswerda im Bezirk Cottbus. Das Gebäude bestand aus 180 vorgefertigten Beton-Raumzellen, die jeweils bis zu 12 Tonnen wogen. Jedoch blieb dieser Raumzellenbau ein experimenteller Versuch. Das zu hohe Gewicht der Beton-Raumzellen und die daraus resultierenden hohen Transportkosten ließen trotz der Einsparungen durch die Vorfertigung keine rentablen Produktionsbedingungen zu. Ab 1968 fanden im Bezirk Dresden weitere experimentelle Versuche mit der Raumzellenbauweise statt. Ab 1971 entstanden Kindergärten, Schulen und Verwaltungsgebäude mit ein bis fünf Geschossen.<sup>163</sup>

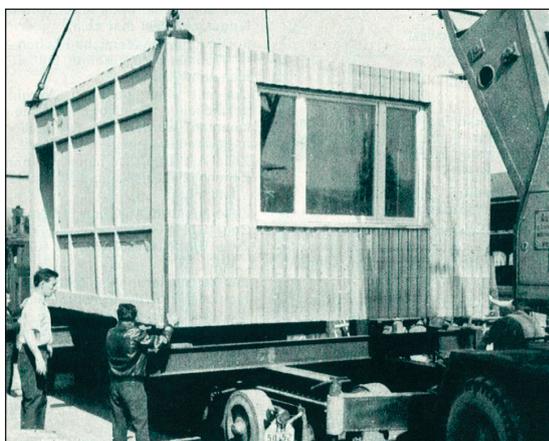


Abb. 40: Raumzelle aus Stahlbeton in der ehemaligen DDR in den 1960er-Jahren

## Japan

Die japanische Fertighausindustrie ist heute eine der größten und erfolgreichsten auf der ganzen Welt. Ihre Wurzeln gehen zurück auf die Jahrzehnte nach dem zweiten Weltkrieg. Seitdem expandierte die Industrie kontinuierlich und der Aufstieg der Fertighaushersteller wurde durch die Entstehung anderer Fertigungsindustrien wie der Automobilindustrie und der Unterhaltungselektronik begünstigt. Durch Übernahme von Technologien und Techniken wie dem "lean manufacturing" entwickelte sie sich zu einer der organisiertesten und technologisch fortgeschrittensten Industrien weltweit. Auch das Image von vorgefertigten Häusern hat sich durch maßgebliche Errungenschaften der Hersteller bis heute stark gewandelt. Wurden sie früher häufig als minderwertig betrachtet, gelten sie mittlerweile als Premiumprodukte auf dem japanischen Markt. Die Hersteller setzen heute vor allem auf Qualität, individuelle Fertigung und Kundenservice.<sup>164</sup>

Der Start der Fertighausindustrie erfolgte 1955, als *Daiwa House* mit dem *Pipe House* das erste vorgefertigte Haus Japans auf den Markt brachte. Mit dem *Midget House* folgte 1959 ein seriell vorgefertigtes Gebäude, das sehr erfolgreich vermarktet wurde und große Aufmerksamkeit sowohl von der Regierung als auch von privaten Unternehmen erregte. Mit diesen frühen Prototypen erfolgte die Grundsteinlegung für die heutige Fertighausindustrie Japans.<sup>165</sup> 1963 wurde die *Japan Prefabricated Construction Suppliers and Manufacturers Association* mit dem Ziel gegründet, einheitliche Standards bei der Entwicklung der industriellen Fertigung von Wohnhäusern zu setzen, sowie die Modernisierung und Rationalisierung

der Bauindustrie zu fördern. Die Organisation unterscheidet heute hinsichtlich der Bauweise von vorgefertigten Häusern in "*iron and steel prefab housing and buildings*" (vorgefertigte Gebäude mit einem Tragwerk aus Stahl), "*wooden prefab housing and buildings*" (vorgefertigte Gebäude mit einem Tragwerk aus Holz), "*concrete prefab housing and buildings*" (vorgefertigte Gebäude mit einem Tragwerk aus Stahlbeton) und "*unit prefab housing and buildings*" (vorgefertigte Gebäude in Raumzellenbauweise mit einem Tragwerk aus Stahl oder Holz, die im Werk hergestellt und auf dem Bauplatz zusammengefügt werden).<sup>166</sup> Die meisten, der heute führenden Hersteller von vorgefertigten Häusern, wurden zwischen 1955 und 1975 gegründet und kamen ursprünglich aus anderen Branchen wie der Unterhaltungselektronik, Chemie- oder Stahlindustrie.<sup>167</sup> Die acht größten sind *Sekisui House*, *Daiwa House*, *PanaHome*, *Sekisui Heim* (*Sekisui Chemical*), *Asahi Kasei Homes*, *Mitsui Home* und *Sumitomo Forestry*. Im Jahr 2014 entstanden in Japan insgesamt 892.261 Wohnhäuser, wovon schätzungsweise 140.501 (entspricht 15,7%) mit "*post-and-beam*", "*panelised*"- oder "*unit*"-Systemen industriell vorgefertigt wurden. Ein volumetrisches Bausystem aus modularen Raumzellen wird im japanischen Raum als "*unit system*" bezeichnet. Schon sehr früh sind in der Fertighausindustrie einzelne Elemente, zusammengesetzte Bauteile oder komplette Raumzellen standardisiert worden. Die Endprodukte entstehen in Massenfertigung mit großen Stückzahlen, wodurch die Kosten für Material und Arbeit im Vergleich zur Einzelfertigung reduziert werden können. Heute setzen die Hersteller zunehmend auf kundenindividuelle Massenproduktion ("*mass customisation*"). Bei diesem Kon-

zept kann der Kunde sein Haus beispielsweise aus einer bestimmten Anzahl von modularisierten Raumzellen, die in zahlreichen Varianten miteinander kombiniert werden können, selbst konfigurieren. Die hochtechnologische Produktion von vorgefertigten Häusern, die aus der Automobilproduktion übernommen und sukzessive adaptiert wurde, findet weitgehend automatisiert statt und viele Abläufe werden mittlerweile von Robotern ausgeführt.<sup>168</sup> In diesem Zusammenhang haben die japanischen Hersteller *Le Corbusiers Vision* der "*Wohnmaschine*" aus den 1920er-Jahren bereits erfolgreich umgesetzt. Nirgendwo sonst konnte sich der Traum vom vorgefertigten Haus aus der Fabrik, das wie ein Automobil vermarktet wird, so stark etablieren wie in Japan.<sup>169</sup>

Vorgefertigte Häuser gelten heute als Premiumprodukte und die Hersteller gewähren ihren Kunden zusätzlich umfangreiche Garantie- und Serviceleistungen für eine Dauer von bis zu 25 Jahren. Auch wenn viele Firmen damit werben, dass die Kosten für ein vorgefertigtes Haus mit denen eines konventionell errichteten Gebäudes vergleichbar sind, ist dies nur sehr selten der Fall. Durchschnittlich sind diese nämlich rund acht Prozent höher als beispielsweise bei einem herkömmlich auf der Baustelle errichteten, traditionellen Holzhaus.<sup>170</sup> Die Qualität von werksmäßig vorgefertigten Häusern liegt jedoch deutlich über der von konventionell gebauten. Erhoffte man sich, mit der Vorfertigung in der Fabrik einst noch Kostenvorteile durch Rationalisierung und Massenfertigung zu verschaffen, ist die Industrie seit den 1970er-Jahren auf die Produktion von qualitativ hochwertigen Gebäuden ausgerichtet.<sup>171</sup> Heute werden rund 80 Prozent aller vorgefertigten Häuser in Japan

aus Stahl errichtet. Neben Rahmenbauweisen aus Stahl-Leichtprofilen, wie dem "panel-frame-system" von Sekisui House oder dem "framing-panel combined system" von Daiwa House, kommen auch biegesteife Skelettkonstruktionen aus warmgewalzten Stahlprofilen, wie das "rigid frame system" von Asahi Kasei Homes, zum Einsatz.<sup>172</sup>

1971 brachte Sekisui Heim (Sekisui Chemi-

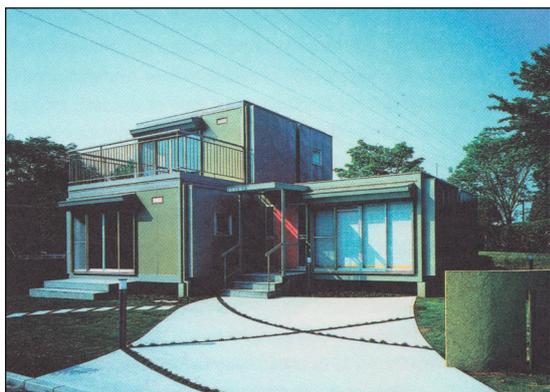


Abb. 41: Das Sekisui Heim M1 kam 1971 als erstes unit system auf den japanischen Markt.

cal) das erste "unit system" auf den Markt. Beim Sekisui Heim M1 handelt es sich um ein zweigeschößiges Einfamilienhaus, welches in Raumzellenbauweise aus biegesteifen Stahlrahmen in der Fabrik vorgefertigt worden ist. Zur damaligen Zeit, als in Japan ein großer Bedarf an neuen Wohnungen bestand, konnte durch den hohen Vorfertigungsgrad des Raumzellensystems qualitativ hochwertiger Wohnraum in hoher Anzahl und kurzer Zeit geschaffen werden. Für das erste System wurde ein Grundmaß von 800 mm (später auf 900 mm geändert) festgelegt. Die Raumzellen waren 2400 mm breit, 5600 mm lang und 2700 mm hoch, und konnten horizontal und vertikal regelmäßig angeordnet werden. Der höheren Belastung der Raumzellen im Erdgeschoß wurde durch eine Anpassung der Querschnittsfläche und der Wandstärke der verwendeten Stahl-Hohlprofile entsprochen.<sup>173</sup> Aufgrund

des großen Erfolges des M1-Systems konnte Sekisui Heim bereits in den 1970er-Jahren jährlich über 3000 Häuser produzieren. Trotz der geringen Anzahl von standardisierten Elementen, konnten dem Kunden mit dem Raumzellensystem einige verschiedene Hausvarianten angeboten werden.<sup>174</sup> Um den unterschiedlichen Kundenansprüchen gerecht zu werden, ergänzte man das Sortiment später mit weiteren Standardlängen und sogenannten "sub-units" (Raumzellen mit halber Standardbreite), sowie mit räumlichen Dachelementen für die Ausführung von Steildächern.<sup>175</sup> Als Alternative zu den Raumzellen in Stahlrahmenbauweise wurden mit dem Two-U Home ab 1982 auch Raumzellen in Holz-Leichtbauweise angeboten. Heute werden bei Sekisui Heim Stahl-Raumzellen zu 80 Prozent im Werk vorgefertigt, wogegen der Vorfertigungsgrad von Holz-Raumzellen etwas niedriger ausfällt. Über 80 Prozent der Häuser werden dabei aus Stahl hergestellt. Der Rest wird aus Holz gefertigt, wobei erwartet wird, dass dieser Anteil in Zukunft durch zunehmendes Umweltbewusstsein in der Bevölkerung weiter ansteigen wird.<sup>176</sup> Neben Sekisui Heim produzieren heute auch noch andere Hersteller wie Toyota Home (Vorfertigungsgrad 85%)<sup>177</sup> oder Misawa Homes (Vorfertigungsgrad 90%) vorgefertigte Häuser aus Stahl-Raumzellen.<sup>178</sup>



Abb. 42: Hochtechnologisierte industrielle Vorfertigung von Stahl-Raumzellen in Japan | Sekisui Heim

## Sanitärraumzellen

Die ersten industriell vorgefertigten Bad- und Küchenraumzellen entstanden ungefähr um 1920 in Skandinavien. Aufgrund der langen Winterperiode in dieser Region, versuchte man die kurze Bauphase im Sommer durch die Verwendung von vorgefertigten Subsystemen bestmöglich zu nutzen. In Deutschland konnten sich vorgefertigte Sanitärraumzellen seit Anfang der 1960er-Jahre etablieren. Sie wurden vor allem in Neubauten von Hotels, Pflegeheimen und Krankenhäusern eingesetzt, um eine möglichst hohe Effizienz in der Bauausführung zu erzielen. In Japan kommen übereinandergestapelte Sanitärraumzellen im Hochhausbau als *"Turmlösung"* zum Einsatz. Vollständig vorgefertigte Bad- und Küchenraumzellen werden heute von spezialisierten Herstellern wie *Inax* oder *Toto* produziert und als Subsysteme in die Vorfertigung von Gebäuden in Raumzellenbauweise wie beispielsweise bei *Sekisui Heim* integriert.<sup>179</sup>

Modularisierte Sanitärraumzellen in diversen Ausstattungsvarianten lassen heute optisch keinen Unterschied zu herkömmlich auf der Baustelle gefertigten Bädern erkennen und ihre Anwendung ist nicht mehr auf konkrete Gebäudetypen beschränkt. Sie werden zu meist in Sandwichbauweise aus Kunststoff oder in verschiedenen Mischbauweisen hergestellt. Die Errichtung von Nassräumen auf der Baustelle stellt auch heutzutage noch eine Schnittstelle von mehreren, gleichzeitig anwesenden Gewerken dar, die oftmals auf engem Raum zusammenarbeiten müssen. Der Vorteil der industriellen Vorfertigung von Sanitärraumzellen liegt in der, parallel zum Bauablauf stattfindenden Fertigung im Werk, die ohne allfällige Reibungsverluste stattfinden kann.<sup>180</sup>



Abb. 43: Vorgefertigte Sanitärraumzellen werden in Österreich von der Firma Insta-Bloc in Stahl-Leichtbauweise (hier abgebildet), Leichtbetonbauweise oder in GFK-Sandwichbauweise gefertigt.



Abb. 44: Fließfertigung von Sanitärraumzellen als Subsysteme für vorgefertigte Gebäude in Raumzellenbauweise | Inax, Nagoya, Japan

## Raumzellenbau aus tragendem Kunststoff

Der rumänisch-französische Architekt *Ionel Schein* (1927-2004) gilt als ein Pionier der experimentellen Architektur in Frankreich. In den 1950er-Jahren widmete er seine Forschung der industriellen Herstellung von Wohneinheiten aus Kunststoffen. Seine Entwicklungsarbeit mit dem damals revolutionären Material ermöglichte den Einsatz völlig neuer architektonischer Formen, welche den Wohnraum und die Lebensqualität der Menschen verbessern hätten sollen. Unter anderem entwarf er Raumzellen, die komplett aus Kunststoffen bestanden, und als Wohneinheit, Hotelzimmer oder mobile Bibliothek eingesetzt werden konnten. Ionel Schein beeinflusste mit seinem Werk eine gesamte Architektengeneration auf der ganzen Welt, darunter beispielsweise auch die *Metabolisten* in Japan.<sup>181</sup> Das bedeutendste seiner Projekte war das *"All-Plastic House"*, ein eingeschößiger Pavillon, welcher im Februar 1956 auf dem *"Salon des Arts Ménagers"* in Paris unter dem Titel *"Maison tout en plastiques"* ausgestellt wurde. Der Entwurf für das Gebäude entstand bereits im April 1955 in Zusammenarbeit mit dem Architekten *René Coulon* und dem Ingenieur *Yves Magnant*. Insgesamt kamen für die Konstruktion 14 verschiedene Kunststoffe zum Einsatz.<sup>182</sup> Das schneckenförmige Haus setzte sich aus acht einzelnen Segmenten zusammen, die als Kunststoff-Raumzellen vollständig vorgefertigt und separat mit dem LKW angeliefert wurden. Im Inneren befand sich ein zentraler Installationskern, an dem, aus einem Stück geformte Badezimmer- und Kücheneinrichtungen, direkt anschlossen. Der Wohnraum und das Schlafzimmer konnten somit außenliegend an der Fassade angeordnet werden. Die Anwen-

dung von Kunststoffen in der Architektur war zur damaligen Zeit insofern herausragend, da sich der Einsatzbereich dieser Materialien bis dahin ausschließlich auf den industriellen Bereich beschränkte. Auch wenn sich Kunststoffe damals bereits als günstige Alternative zu herkömmlichen Baustoffen erwiesen hatten, betrachteten sie nur wenige Architekten als Konstruktionsmaterial für Gebäude.<sup>183</sup> Das mag auch daran liegen, dass sich das Einsatzgebiet aufgrund der Tragfähigkeit und dem Brandverhalten der Materialien zumeist auf eingeschößige Bauten beschränkte.<sup>184</sup>



Abb. 45: Modell vom All-Plastic House aus Kunststoff-Raumzellen | Ionel Schein 1956



Abb. 46: Modell eines mobilen Hotelzimmers aus Kunststoff-Raumzellen | Ionel Schein 1957

Ein weiteres Beispiel für den Einsatz von Raumzellen aus Kunststoff stellt die Entwicklung eines Bausystems der deutschen Architekten *Ralf Schüler* (1930-2011) und *Ursulina Schüler-Witte* (geb. 1933) aus dem Jahr 1967 dar. Dieses bestand aus einem Typenkatalog, welcher insgesamt zehn verschiedene räumliche Bauelemente und vier Zusatzbauteile beinhaltete. Mit den Raumzellen konnten unterschiedliche Konfigurationen freistehender Wohnhäuser gebildet werden. Sie bestanden aus glasfaserverstärkten Polyester-Schichtplatten mit einer Zwischenlage aus Polyurethan-Hartschaum und wurden durch Schraubverklammerungen an den jeweils gleich langen Anschlussstellen miteinander verbunden. Bei mehrgeschoßigen Gebäuden hätten die Raumzellen um einen sechseckigen, lastabtragenden Stahlbetonkern auf auskragenden Trägern gelagert werden sollen.<sup>185</sup> Mit dem innovativen Material konnten völlig neue Architekturformen geschaffen werden, die sich nicht mehr an den Maßen genormter Bauteile orientierten, sondern den Materialeigenschaften des neuen Werkstoffs folgten. Zur damaligen Zeit sah man in der industriellen Herstellung von Raumzellen aus Kunststoff die Möglichkeit, in kurzer Zeit und im großen Stil neuen Wohnraum für die stark wachsende Bevölkerung zu schaffen. Nach der Entwicklung von Prototypen für Wohnhäuser aus Kunststoff und einem darauffolgenden Forschungsvorhaben zu der Thematik, setzte jedoch die Ölkrise im Jahr 1973 den Überlegungen ein rasches Ende. Letztendlich konnte keines der geplanten Projekte umgesetzt werden. Bis heute hat sich das gesellschaftliche Verständnis für den Einsatz erdölabhängiger Kunststoffe als Konstruktionsmaterial vollständig gewandelt. Eine Realisierung der, damals zukunftsweisenden Idee,

würde laut Ursulina Schüler-Witte in der heutigen Zeit wohl kaum noch Zuspruch finden.<sup>186</sup>

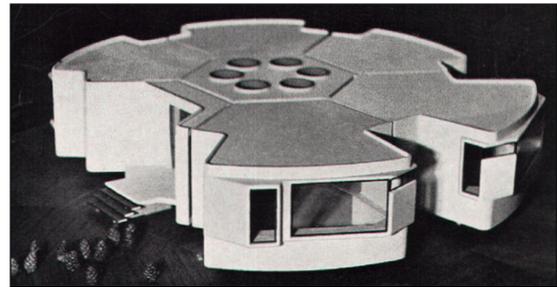


Abb. 47: Modell eines freistehenden Einfamilienhauses aus tragenden Kunststoff-Raumzellen | Ralf Schüler und Ursulina Schüler-Witte 1967

Das *Futuro House* des finnischen Architekten *Matti Suuronen* (1933-2013) war eines der wenigen Kunststoffhäuser, das in Serienproduktion ging. Ursprünglich wurde das Gebäude als schnell beheizbare Skihütte mit einem Gesamtgewicht von 2,5 t bzw. 4 t inklusive Einrichtung konzipiert. Das Rotationsellipsoid hatte einen Durchmesser von rund 8 m und eine Höhe von rund 4 m.<sup>187</sup> Die selbsttragende Raumzelle wurde von der finnischen Firma *Polykem* produziert und bestand aus 16 identischen radialen Segmenten aus glasfaserverstärktem Kunststoff, die auf einer Unterkonstruktion aus Stahl aufgelagert wurden. Als vollständig vorgefertigte Raumzelle konnte das Gebäude inklusive Einrichtung und Nasszelle aus Kunststoff mit dem LKW oder Hubschrauber zum Bauplatz transportiert werden und war anschließend sofort bezugsfertig. Schätzungsweise wurden zwischen 1968 und 1978 rund 100 *Futuros* gefertigt.<sup>188</sup>

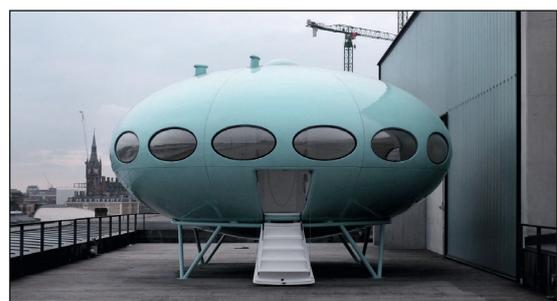


Abb. 48: Futuro House | Matti Suuronen 1968

## Der Seefracht-Container als standardisierte Raumzelle

Die Entwicklung des Fracht-Containers revolutionierte den Transport und die Lagerung von Gütern im 20. Jahrhundert. Heute findet man Container auf der ganzen Welt und das gesamte moderne Transportwesen ist auf sie abgestimmt. Bereits seit Anfang des letzten Jahrhunderts wurden Metallbehälter für den Warentransport verwendet. 1937 kam der Amerikaner *Malcom McLean* (1913-2001) als einer der Ersten auf die Idee, einen universellen Container für Lastwägen, Schiffe und Züge einzuführen. Bis es jedoch zur Umsetzung seiner Vision kam, vergingen noch rund weitere 20 Jahre. 1956 setzte er schließlich für sein LKW-Transportunternehmen in den USA erstmals 35' lange, standardisierte Container ein, welche direkt von einem Lastwagen auf ein Schiff verladen werden konnten. Auch das amerikanische Militär nutzte bereits im zweiten Weltkrieg rechteckige Container zur Bewältigung von Logistikproblemen in Krisengebieten und führte später 20' große Container ein, die auf dem Wasser- und Landweg transportiert werden konnten. Diese Entwicklungen wurden dann in den 1960er-Jahren weltweit übernommen.<sup>189</sup>

Bereits im Jahr 1961 bildete die *International Organization for Standardization (ISO)* ein technisches Komitee, das die Standardisierung der, bis dahin unterschiedlichen Transportsysteme in den USA und Europa, übernahm. Das Ziel der Normierung war es, die Funktionalität und Kompatibilität des Container-Transportsystems international zu gewährleisten.<sup>190</sup> 1964 beschloss man die ersten verbindlichen Containermaße<sup>191</sup> und 1968 erfolgte schließlich die Veröffentlichung der ersten *ISO-Norm* für Seefracht-Container.<sup>192</sup>

In den 1970er-Jahren schaffte man mit der "*ISO Freight Container*"-Normenreihe die Voraussetzungen für die weltweite Vorherrschaft des Containers. Seitdem wurden die Normen laufend überarbeitet und ergänzt.<sup>193</sup>

Fracht-Container werden als "*ISO-Container*" bezeichnet, wenn sie den, zum jeweiligen Zeitpunkt der Fertigung gültigen Spezifikationen, laut *ISO 668* entsprechen. In dieser Norm werden neben der Definition und Klassifikation von Standard-Containern weitere Angaben zu allen relevanten inneren und äußeren Abmessungen, Fertigungstoleranzen, sowie zur Lage und Geometrie der Eckbeschläge gemacht. Weitere Normen regeln die wesentlichen Definitionen verschiedener Container-Typen (*ISO 830*), die Kodierung, Identifizierung und Kennzeichnung von Fracht-Containern (*ISO 6346*) sowie die Spezifikationen der Eckbeschläge (*ISO 1161*).<sup>194</sup> Heute haben sich 40'-Container (Nenngröße 12 m) und 20'-Container (Nenngröße 6 m) aufgrund der einfachen Kombinationsmöglichkeiten der beiden Größen im Transportwesen etabliert. Der 20'-Container ist am weitesten verbreitet und liegt der Maßeinheit "*TEU*" ("*twenty-feet equivalent unit*") zu Grunde, die zur Angabe von Transport- und

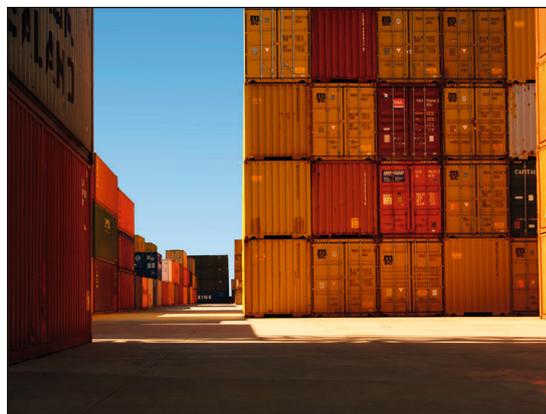


Abb. 49: Seefracht-Container (ISO-Container)

Ladefähigkeiten von Containerschiffen dient. Um die Kompatibilität von unterschiedlich großen Containern zu gewährleisten, ist die Länge von Standard-Containern modularisiert. Ausgangspunkt ist dabei der 40'-Container (Typ A). Weitere Größen werden als Bruchteile der Ausgangslänge mit folgenden Nenngrößen angegeben: 30' (Typ B), 20' (Typ C) und 10' (Typ D). Damit das Manipulieren und Stapeln der Container reibungslos erfolgen kann, werden bei der Herstellung Toleranzmaße in der Größenordnung von 1/4" je 10' berücksichtigt (1' = 12" = 0,30479 m). Dadurch ist ein Container mit einer Nenngröße von 20' tatsächlich nur 19' 11 1/2" (6,058 m) lang. Ein 40'-Container oder zwei 20'-Container passen somit auf die Ladefläche eines Lastwagens. Die Breite von Standard-Containern ist hinsichtlich den Beschränkungen des Straßentransportes einheitlich auf 8' (2,438 m) festgelegt. Weiters kommen unterschiedliche Höhen zum Einsatz, welche jedoch nicht modularisiert sind. Neben der Standardhöhe von 8' 6" (2,591 m) sind Container mit Höhen von 9' 6" (2,896 m) und 8' (2,438 m) im Umlauf. Alle Maße beziehen sich dabei auf die größten Außenabmessungen. Zusätzlich zu den angeführten Dimensionen werden auch verschiedene Sondergrößen mit Überlängen bis zu 53' (16,154 m) für spezielle

Anwendungen eingesetzt. Basierend auf den Abmessungen des Standard-Containers gibt es eine Vielzahl weiterer Fracht-Container-Typen wie "coffee container" (belüftete Container), "reefer container" (Kühl-Container), "bulk container" (Schüttgut-Container) oder "tank container" (Container für Flüssigkeiten), sowie spezielle Bauformen wie "hard top"-, "open top"-, "open side"-, "platform"- oder "flat container".<sup>195</sup> Fracht-Container werden heute üblicherweise aus wetterfestem COR-TEN-Stahl hergestellt und zusätzlich mit einer Oberflächenbeschichtung versehen. Eine biegesteife Rahmenkonstruktion aus Stahlprofilen mit einer Wandstärke von bis zu 4,5 mm bildet die primäre Tragstruktur. Der Boden wird mit einem sekundären Trägerrost aus Stahl verstärkt. Standardisierte Eckbeschläge aus Stahlguss bilden die acht Ecken des Containers. Die Wände bestehen aus 2 mm dickem Trapezblech und werden wie das Dach umlaufend an den Stahlrahmen geschweißt. Neben ihrer raumbildenden Funktion werden die Füllungen auch zur Lastabtragung sowie zur Aussteifung des Rahmens herangezogen. Der Bodenbelag besteht aus 28 mm dickem, imprägniertem Sperrholz. Standardmäßig verfügt ein Container über eine stirnseitig angeordnete Doppeldrehflügeltür.<sup>196</sup>

Designation	Nominal size	Nominal height	External length		External width		External height		Minimum internal dimensions			Door opening dimensions	
			ft	mm	ft	mm	ft	mm	height	width	length	height	width
IAAA	40' / 12m	High cube	40'	12,192 mm	8'	2,438 mm	9' 6"	2,896 mm	2,655 mm	2,330 mm	11,998 mm	2,566 mm	2,286 mm
IAA	40' / 12m	Standard cube	40'	12,192 mm	8'	2,438 mm	8' 6"	2,591 mm	2,350 mm	2,330 mm	11,998 mm	2,261 mm	2,286 mm
IA	40' / 12m	Low cube	40'	12,192 mm	8'	2,438 mm	8'	2,438 mm	2,197 mm	2,330 mm	11,998 mm	2,154 mm	2,286 mm
1AX	40' / 12m	—	40'	12,192 mm	8'	2,438 mm	~8'	~2,438 mm	—	2,330 mm	11,998 mm	—	2,286 mm
1BBB	50' / 9m	High cube	29' 11 1/4"	9,125 mm	8'	2,438 mm	9' 6"	2,896 mm	2,655 mm	2,330 mm	8,951 mm	2,566 mm	2,286 mm
1BB	50' / 9m	Standard cube	29' 11 1/4"	9,125 mm	8'	2,438 mm	8' 6"	2,591 mm	2,350 mm	2,330 mm	8,951 mm	2,261 mm	2,286 mm
1B	50' / 9m	Low cube	29' 11 1/4"	9,125 mm	8'	2,438 mm	8'	2,438 mm	2,197 mm	2,330 mm	8,951 mm	2,154 mm	2,286 mm
1BX	50' / 9m	—	29' 11 1/4"	9,125 mm	8'	2,438 mm	~8'	~2,438 mm	—	2,330 mm	8,951 mm	—	2,286 mm
1CC	20' / 6m	Standard cube	19' 11 1/2"	6,058 mm	8'	2,438 mm	8' 6"	2,591 mm	2,350 mm	2,330 mm	5,867 mm	2,261 mm	2,286 mm
1C	20' / 6m	Low cube	19' 11 1/2"	6,058 mm	8'	2,438 mm	8'	2,438 mm	2,197 mm	2,330 mm	5,867 mm	2,154 mm	2,286 mm
1CX	20' / 6m	—	19' 11 1/2"	6,058 mm	8'	2,438 mm	~8'	~2,438 mm	—	2,330 mm	5,867 mm	—	2,286 mm
1D	10' / 3m	Low cube	9' 9 3/4"	2,991 mm	8'	2,438 mm	8'	2,438 mm	2,197 mm	2,330 mm	2,802 mm	2,154 mm	2,286 mm
1DX	10' / 3m	—	9' 9 3/4"	2,991 mm	8'	2,438 mm	~8'	~2,438 mm	—	2,330 mm	2,802 mm	—	2,286 mm

Abb. 50: Standardisierte Abmessungen von ISO-Containern

## Raumzellenbau aus Stahl nach dem Container-Prinzip

Wie bereits in den *Begriffsbestimmungen* erläutert, handelt es sich bei einem Container laut *OED* um einen Gegenstand, der für den Transport oder die Lagerung von Gütern bestimmt ist.<sup>197</sup> Aus diesem Grund werden *ISO-Container* standardmäßig so gefertigt, dass sie praktisch luft-, wasser- und dampfdiffusionsdicht sind. Durch ihre Bauweise sind sie zudem sehr leicht und weisen gleichzeitig eine extrem hohe Tragfähigkeit auf. Ein 20'-Container hat ein Eigengewicht von 2330 kg und kann bis zu einem Gesamtgewicht von maximal 24000 kg beladen und achtfach übereinandergestapelt werden. Ein 40'-Container wiegt 4000 kg, kann jedoch nur bis zu einem Gesamtgewicht von 30480 kg beladen werden. Hier wird die zulässige Belastung der vier Eckbeschläge, die für alle Container identisch ausgeführt sind, maßgebend. Ebenso müssen Fracht-Container ein vorgeschriebenes Minimalgewicht erreichen, welches direkt auf die verwendete Stahlmenge schließen lässt und somit die erforderliche Stabilität des Containers gewährleistet.<sup>198</sup> Die Übertragung von horizontalen und vertikalen Kräften zwischen übereinandergestapelten Containern erfolgt ausschließlich punktuell über die vier Eckbeschläge.<sup>199</sup> Beim Transport auf Containerschiffen werden sogenannte *"twistlocks"* eingesetzt, um Container miteinander zu verbinden und gegen vertikales Abheben zu sichern. Mit Hilfe von *"bridge fittings"* werden sie horizontal gekoppelt. Freistehende Containerstapel sind zusätzlich mit *"lashing systems"* (Verbände aus diagonal angeordneten Zugstäben) gesichert. Die genannten Verbindungsmittel können auch bei der baulichen Verwendung von Containern eingesetzt werden.<sup>200</sup>

Seit einiger Zeit werden Fracht-Container abweichend von ihrem ursprünglichen Verwendungszweck als Transportbehälter auch im Bereich der Architektur verwendet.<sup>201</sup> Aufgrund der Begehbarkeit und den nutzbaren Raumabmessungen erfüllt ein Container durchaus die Voraussetzungen für den Einsatz als Raumzelle.<sup>202</sup> Zuerst wurden Fracht-Container in unveränderter Form zweckentfremdet und beispielsweise als Geräteschuppen oder Lager eingesetzt. In einem weiteren Schritt erfolgte die Nutzung von Containern für Wohnzwecke, wofür Adaptierungen und Umbaumaßnahmen notwendig wurden. Prinzipiell weisen Fracht-Container konstruktionsbedingt eine hohe Tragfähigkeit auf. Wird jedoch von der systemkonformen Stapelung mit Lastübertragung an den Eckpunkten abgewichen oder werden zusätzliche Öffnungen in den Umhüllungsflächen vorgesehen, sind statisch-konstruktive Verstärkungsmaßnahmen erforderlich. Zudem sind bauphysikalische Anforderungen (speziell Wärmeschutzanforderungen) mit umfunktionierten Fracht-Containern nur schwierig zu erfüllen. Aus diesen Gründen werden sie fast ausschließlich für temporäre Bauten eingesetzt. Vor allem im Bereich der *"Eventarchitektur"* kommen sie bevorzugt als Imagerträger zur Anwendung. *"Building using containers has by now acquired something of a 'cult status'."*<sup>203</sup> Nach dem Vorbild der genormten Seefracht-Container wurden ab den 1970er-Jahren auch Bau-Container in *Stahl-Leichtbauweise* für Büro-, Gewerbe- und Wohnbauten hergestellt. Dadurch kam es allgemein zu einem erneuten Aufschwung im Bereich der Raumzellenbauweise.<sup>204</sup> Vor allem in Europa konnten

sich Bau-Container als fertige Systemlösungen für temporäre Bauaufgaben etablieren. Diese werden entsprechend ihrem vorwiegend stationären Verwendungszweck wesentlich leichter ausgeführt. Anfangs wurden sie ebenfalls gemäß den standardisierten ISO-Abmessungen produziert. In einem weiteren Schritt erfolgte zusätzlich die Entwicklung herstellereinspezifischer Maßordnungen im metrischen System. Anlagen aus Bau-Containern findet man häufig als Baustellenbüros, Notunterkünfte für Flüchtlinge oder als temporäre Unterkünfte in Katastrophengebieten. Zumeist sind die Systeme bis zu drei Geschosse hoch stapelbar. Durch zusätzliche Verstärkungsmaßnahmen sind in Ausnahmefällen auch bis zu vier Geschosse möglich. Bau-Container erfüllen standardmäßig lediglich die bauphysikalischen Mindestanforderungen. Sie werden in der Regel ohne Anspruch auf architektonische Qualität gestapelt und gereiht, und sind systembedingt nicht mit vergleichbaren Produkten anderer Hersteller kombinierbar (*geschlossene Bausysteme*).<sup>205</sup> Wie der Fracht-Container ist auch der Bau-Container ein standardisiertes Massenprodukt. Der Vorfertigungsgrad kann dabei bis zu 100 Prozent betragen.<sup>206</sup>

Nach *Slawik et al.* kann der Raumzellenbau in Stahl-Leichtbauweise nach dem sogenannten "Container-Prinzip" in Form von "container frames" als Weiterentwicklung der Bau-Container-Systeme gesehen werden. Abhängig vom Vorfertigungs- und Standardisierungsgrad des jeweiligen Systems ist bei Raumzellen aus tragenden Stahlrahmen eine weitere Unterscheidung in "modular frame systems" und "container frame systems" möglich.

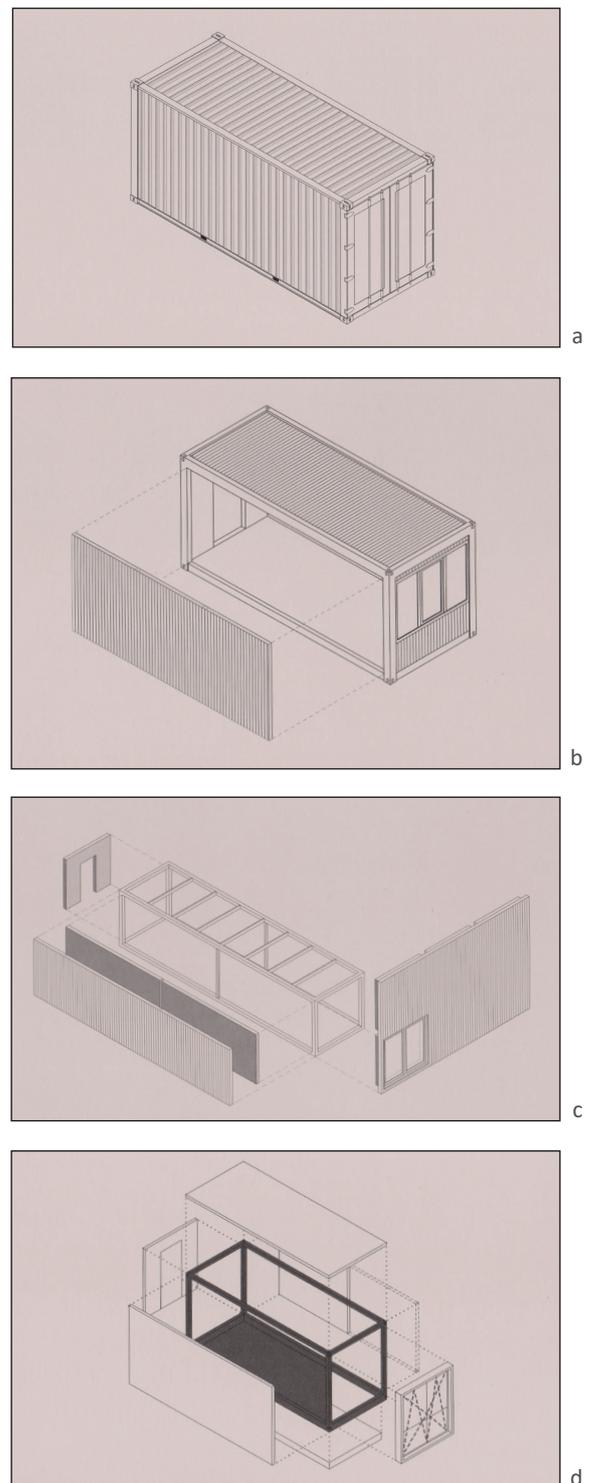


Abb. 51: Vom Container zum Raumzellenbau in Stahl-Leichtbauweise nach dem Container-Prinzip:  
 a Seefracht-Container  
 b Bau-Container  
 c Modular frame system  
 d Container frame system

Beim "*modular frame system*" wird die primäre Tragstruktur der Raumzelle wie beim Bau-Container-System durch einen tragenden Stahlrahmen aus Hohl- oder Walzprofilen gebildet. Bei diesem System sind die Füllungen aus Stahlleichtprofilen als sekundäre Tragstruktur ebenfalls an der Lastabtragung beteiligt und als Aussteifung für den Rahmen zwingend erforderlich. Im Gegensatz zum Bau-Container erfolgt die Fertigstellung eines Gebäudes (Fassade, Dach, Bodenbeläge etc.) planmäßig auf der Baustelle, wodurch die sichtbaren Endoberflächen auch raumzellenübergreifend hergestellt werden können. Dadurch kann das äußere Erscheinungsbild wie bei einem herkömmlich errichteten Gebäude unabhängig von der Raumzellengröße gestaltet werden. Im Durchschnitt liegt der Vorfertigungsgrad des gesamten Gebäudes deswegen nur mehr bei 60 Prozent. Die Demontage und der Wiederaufbau an einem neuen Standort ist bei diesem System durch die Kombination mit vor Ort gefügten Bauteilen jedoch nur sehr eingeschränkt möglich. Für die Raumzellen wird keine Standardisierung der Abmessungen nach den *ISO-Normen* gefordert, wodurch eine wesentlich größere Flexibilität hinsichtlich der Gestaltung von Raum, Grundriss und Fassade möglich ist. Die Maximalabmessungen richten sich vielmehr nach den Transportbestimmungen und den produktionsbedingten Vorgaben der Hersteller. Die Dimensionen sind nicht an ein vorgegebenes Raster gebunden und werden jeweils objektspezifisch festgelegt. Im Allgemeinen sind Längen bis 18,00 m, Breiten zwischen 2,50 m und 4,50 m sowie Raumhöhen bis 3,50 m möglich. Häufig bieten die Hersteller sogenannter "*Modulgebäude*" [gemeint sind Raumzellengebäude] auch vordefinierte Größen in einem Typenkatalog

zur Auswahl an. Die Raumzellen sind zumeist quaderförmige, statisch typisierte Einheiten, die längs- und stirnseitig zu einem komplexen Tragwerk variabel zusammengefügt werden können. Sie erfüllen alle bauphysikalischen Anforderungen für dauerhaft errichtete Gebäude und können im Gegensatz zu Bau-Containern wirtschaftlich bis zu sechs Geschoße hoch übereinandergestapelt werden. Die nachträgliche Veränderung von Wänden oder Decken im Zuge von Umbauarbeiten ist bei diesem System nur bedingt möglich, da hierbei immer ein Eingriff in die statisch wirksame, sekundäre Tragstruktur erfolgt. Bedingt durch die Reihung und Stapelung der Raumzellen kommt es bei den bisher genannten Systemen zu doppelschaligen Wand- und Deckenkonstruktionen. Dies führt einerseits zu einem erhöhten Materialbedarf sowie zu einem Raumverlust gegenüber konventionell errichteten Gebäuden. Andererseits lassen sich mit den abgeschlossenen Raumzellen bauphysikalische Anforderungen (speziell *Schallschutzanforderungen*) dadurch leicht erfüllen.<sup>207</sup>

Das "*container frame system*" wurde vom Architekten *Han Slawik* (geb. 1944) als modulares Bausystem mit größtmöglicher Flexibilität und Variabilität entwickelt. Die Maßordnung der Raumzellen entspricht den standardisierten ISO-Abmessungen. Der wesentliche Unterschied zum "*Modular Frame System*" liegt darin, dass eine konsequente Trennung von Tragwerk und Ausbau erfolgt. Das System besteht aus stärker dimensionierten, tragenden Rahmen und nichttragenden Füllungen, die unabhängig von der Tragstruktur nachträglich verändert werden können. Eine Doppelung von flächigen Bauteilen entfällt und die Kombination mit systemfremden Bauelementen ist ebenso möglich (*offenes Bausystem*).<sup>208</sup>



a



b



c



d



e

Abb. 52: a Gebäude aus umfunktionierten Fracht-Containern | Platoon Kunsthalle, Seoul | Platoon & Graft Architects  
b, c Temporäres Bürogebäude und Baustellenbüro aus Bau-Containern | Fa. PROCONTAIN, D  
d, e Fertigung und Montage von Raumzellen in Stahl-Leichtbauweise (modular frame system) | Fa. ALHO, D

## Raumzellenbau aus Stahl von Kisho Kurokawa

Der japanische Architekt *Kisho Kurokawa* (1934-2007) rückte erstmals ins Licht der Öffentlichkeit, als er bei der *World Design Conference* 1960 in Tokyo zusammen mit den Architekten Fumihiko Maki, Masato Otaka, Kiyonori Kikutake sowie dem Kritiker Noboru Kawazoe die *Metabolismus-Bewegung* gründet hatte. Die Architekten, die sich selbst als *Metabolisten* bezeichnen, entlehnten den Begriff *Metabolismus* aus der Biologie<sup>209</sup>, welcher den Stoffwechsel im Organismus von Lebewesen bezeichnet.<sup>210</sup> Das Prinzip des regelmäßigen Ersetzens von "Altem" durch "Neues" übertrugen sie auf Städtebau und Architektur. Nach metabolistischen Grundsätzen errichtete Strukturen ermöglichen es, nur jene Teile auszutauschen, welche das Ende ihrer Brauchbarkeit erreicht haben. Dadurch können Ressourcen geschont und Gebäude insgesamt länger genutzt werden.<sup>211</sup>

Der Wiederaufbau der zerstörten japanischen Städte nach dem zweiten Weltkrieg dauerte etwas mehr als zehn Jahre und die Stadtentwicklung stieß, bedingt durch das starke Bevölkerungswachstum und der zunehmenden Bodenknappheit, rasch an ihre Grenzen.<sup>212</sup> Der wirtschaftliche Aufschwung in den 1960er-Jahren und der damit einhergehende Bauboom stellte die Architekten vor neue Herausforderungen. Die *Metabolisten* entwarfen in diesem Kontext zahlreiche visionäre Stadtkonzepte, die aus industriell vorgefertigten Elementen bestanden und je nach Bedarf ausgetauscht, umgebaut oder erweitert werden konnten. Es kamen großmaßstäbliche Tragstrukturen zum Einsatz, in denen kleinere Einheiten in Form von austauschbaren Raumzellen als sogenannte "*Kapseln*" eingefügt wurden. Der

*Helix City Plan für Tokyo* und die *Floating City Kasumigaura* waren 1961 die ersten metabolistischen Studien *Kurokawas*. Der helixförmige Aufbau der beiden *Megastrukturen* war dem der DNA-Stränge nachempfunden.<sup>213</sup> Tatsächlich realisiert wurde letztlich keines der ambitionierten Stadtprojekte der *Metabolisten*. Sie erzielten mit ihren Visionen jedoch international große Aufmerksamkeit und nahmen damit Einfluss auf Gruppen wie *Archigram* in England oder *Superstudio* in Italien. Den Höhepunkt und gleichzeitig das Ende der *Metabolismus-Bewegung* stellten die Bauten auf der *Weltausstellung 1970 in Osaka* dar. Geblieben ist jedoch das Gedankengut der *Metabolisten*. Themen wie Flexibilität, Austauschbarkeit oder Rückbaubarkeit spielen heute im Sinne der Nachhaltigkeit wieder eine übergeordnete Rolle.<sup>214</sup>

*"Die Architektur des Metabolismus basierte auf dem Bild der lebenden Zelle [...] und beinhaltete Thesen von Wachstum, Teilung, Austausch, Transformation, autonomen Teilen, Dekonstruktion, Provisorien, Recycling, Kreisläufen und von dynamischer Stabilität. Kapselarchitektur war ein architektonischer Ausdruck der lebenden Zelle."*<sup>215</sup>

1962 erstellte *Kurokawa* mit dem *Box Type Mass-Production Apartment Project* seinen ersten "*Kapselentwurf*". Für den Wohnbau sollten vorgefertigte Raumzellen aus Beton zum Einsatz kommen. Das Projekt blieb aber eine Studie. Für die *EXPO70 in Osaka* setzte er insgesamt drei temporäre "*Kapselbauten*" um. Einer davon war der *Takara Pavilion*, welcher aus einer primären Tragstruktur und dazwischen eingefügten Kunststoff-Raumzellen bestand. Die technische



Abb. 53: Helix City Plan für Tokyo | Kisho Kurokawa, 1961

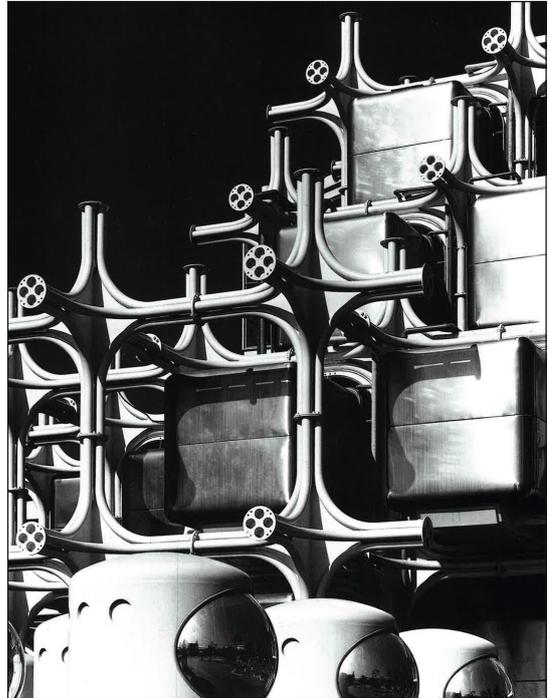


Abb. 54: Takara Pavilion auf der EXPO70 in Osaka | Kisho Kurokawa, 1968-1970



Abb. 55: Nakagin Capsule Tower in Tokyo | Kisho Kurokawa, 1970-1972

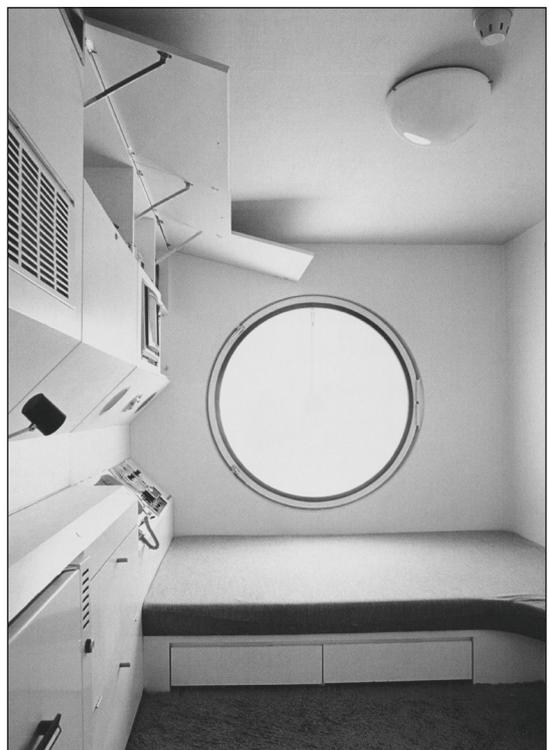


Abb. 56: Innenansicht einer Kapsel des Nakagin Capsule Tower

# Historische Entwicklung der Raumzellenbauweise

## Raumzellenbau aus Stahl von Kisho Kurokawa

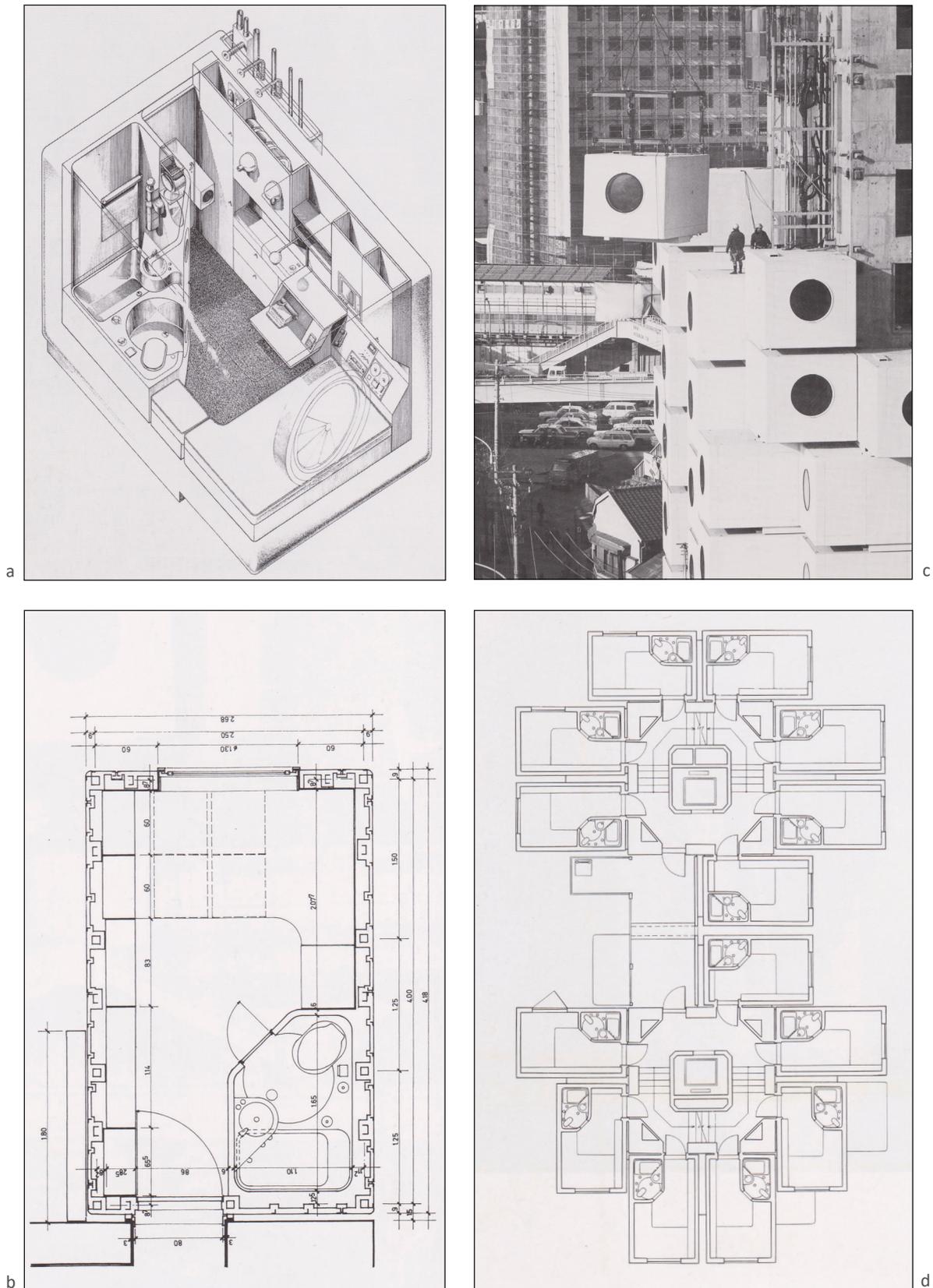


Abb. 57: Nakagin Capsule Tower | Kisho Kurokawa  
a Axonometrie einer Kapsel | b Grundriss einer Kapsel mit integrierter Nasszelle  
c Aufnahme während der Bauphase | d Regelgeschoßgrundriss

Infrastruktur des Gebäudes wurde außenliegend angeordnet und sichtbar belassen.<sup>216</sup> Der 53,5 m hohe *Nakagin Capsule Tower* in Tokyo war 1972 der weltweit erste "Kapselbau", welcher für eine dauerhafte Nutzung errichtet wurde. Die beiden zusammenhängenden Türme weisen eine Bruttogeschoßfläche von 3091 m<sup>2</sup>, verteilt auf 11 bzw. 13 Stockwerke, auf. Insgesamt 140 werksmäßig vorgefertigte Raumzellen sind an zwei tragenden Erschließungskernen angebracht. Diese wurden vor Ort in Hybridbauweise aus Stahlrahmen und Stahlbeton hergestellt. Die Raumzellen bestehen aus einer beton-ummantelten Stahlskelettkonstruktion und einer Hülle aus feuerverzinkten Stahlpaneelen, die mit Rostschutzfarbe und Glanzlack besprüht wurden. Auch der Innenausbau und die Möblierung der rund 10 m<sup>2</sup> großen Kapseln erfolgte bereits vollständig in einer Fabrik. Auf der Baustelle wurden die fertigen Raumzellen anschließend mit einem Kran an ihre endgültige Position gehoben und mit jeweils vier hochfesten Stahlbolzen an den Kernen punktuell befestigt. Durch diese Konstruktionsweise sollten die einzelnen Raumzellen jederzeit wieder abgenommen und ausgetauscht werden können. Die Kapseln wurden als Apartment für eine Person konzipiert und konnten durch Verbindung mehrerer Einheiten auch einer Familie Platz bieten. Eine Raumzelle hat ein Achsmaß von 4,0 m x 2,5 m im Grundriss und beinhaltet eine minimalistische Nasszelle mit Badewanne, Toilette und Waschbecken. *Kurokawa* verwirklichte bei diesem Gebäude erstmals die abstrakten Vorstellungen von "Metabolismus", "Austauschbarkeit" und "Recycling" als Prototyp einer nachhaltigen Architektur.<sup>217</sup> Der *Nakagin Capsule Tower* gilt als das bedeutendste Objekt der metabolistischen Bewegung.<sup>218</sup> Heute befindet sich

das Gebäude jedoch in einem desolaten Zustand, da die Kapseln seit den 1970er-Jahren nicht ausgetauscht wurden. Nur noch rund die Hälfte von ihnen ist derzeit bewohnbar und 2007 sollte das Gebäude sogar abgerissen werden, was aber aufgrund der folgenden Finanzkrise nicht geschah.<sup>219</sup>

Mit dem *Kapselhaus K* entstand 1973 in der Präfektur Nagano eine kleinere Version des Kapselturmes, welches der Architekt als sein privates Wochenendhaus errichtete. Die verwendeten Kapseln sind bis auf die Hülle aus Corten-Stahl identisch mit denen des *Nakagin Capsule Towers*. Insgesamt vier vorgefertigte Raumzellen gruppieren sich um einen zentralen Kern aus Stahlbeton. Die einzelnen Einheiten unterscheiden sich in ihrer jeweiligen Funktion und sind als Schlafzimmer, Küche und Teezeremonieraum im Stil des 17. Jahrhunderts eingerichtet.<sup>220</sup>

Ein weiterer Meilenstein folgte 1976 mit dem *Sony Tower* in Osaka, bei dem ebenfalls Kapseln mit denselben Dimensionen zum Einsatz kamen. Treppen, Aufzüge und technische Installationen wurden im Sinne der Austauschbarkeit als eigenständige Elemente an die Fassade gelegt und bewusst zur Schau gestellt. Die Toilettenräume sind in acht Kapseln untergebracht und nur vom Treppenhaus aus zugänglich. Anders als beim *Nakagin Capsule Tower* wurden sie bei diesem Projekt mit einer Hülle aus Edelstahl versehen.<sup>221</sup>

Die genannten Raumzellenbauten *Kurokawas* wurden zwar alle nach metabolistischen Prinzipien geplant, jedoch brechen sie mit einem konzeptionellen Grundsatz des Metabolismus: Sie sind bis zum heutigen Zeitpunkt weder ausgetauscht, entfernt oder erweitert worden, werden aber weiterhin entsprechend ihres ursprünglichen Verwendungszweckes genutzt.<sup>222</sup>

## Raumzellenbau von Archigram

Die Architektengruppe *Archigram* wurde 1960 von *Peter Cook*, *Warren Chalk*, *Ron Herron*, *Dennis Crompton*, *Michael Webb* und *David Greene* in London gegründet. Der Name setzt sich aus den englischen Wörtern "*architecture*" und "*telegram*" zusammen. Bekanntheit erlangten sie durch ihre utopischen und fantastischen Entwürfe und Ideen, welche im gleichnamigen Magazin ab 1961 erschienen. Auch wenn ihre Projekte nie realisiert wurden, führten sie in der Fachwelt zu kontroversen Diskussionen und inspirierten dabei eine neue Generation von jungen Architekten. Zwischen 1960 und 1974 entstanden über 900 Zeichnungen, darunter auch die Pläne für die "*Plug-in City*".<sup>223</sup> "*Die Grundidee von Archigram ist die Stadt als mobile Megastruktur, die Technologie und Gesellschaft miteinander verschmelzen lässt.*" Die von *Peter Cook* zwischen 1962 und 1965 entworfene "*Plug-in City*" vereinte gleich mehrere zentrale Motive von *Archigram*: "*Die funktionale Trennung von Konstruktion, die Schaffung von Wohnraum, eine modulare Bauweise, Austauschbarkeit, Standardisierung, Variabilität von Gestalt, Größe und Dichte der Stadt sowie beliebige Möglichkeiten der Erweiterung, was Höhe und Breite betrifft.*" Die wesentlichen Elemente der "*Plug-in City*" waren vorfabrizierte, stapelbare Raumzellen aus Metall oder Kunststoff und "*kommunizierende Röhrensysteme*", welche sich um einen zentralen Mast anordneten. Daher stammt auch der Name "*plug-in*", was übersetzt auf Deutsch "*einstecken*" oder "*einstöpseln*" bedeutet. Der Erschließungskern diente als Tragstruktur für die Raumzellen und nahm zugleich alle Versorgungsleitungen auf. Die angedockten Raumzellen waren beliebig austauschbar und

konnten somit jederzeit dem neuesten Stand der Technik angepasst werden. Mit Hilfe von riesigen Kränen auf den Dächern der Türme ließen sich die sogenannten "*Kapseln*" nach Wunsch bewegen oder auswechseln.<sup>224</sup> Der Wohnturm *Capsule Tower* von *Warren Chalk* entstand 1964 im Rahmen einer Studie über vorfabrizierte und stapelbare Raumzellen für die Baufirma *Taylor Woodrow Construction*. Er bestand ebenfalls aus Metall- oder Kunststoffkapseln, die wie Maiskörner um einen tragenden Kern angeordnet waren. Der begrenzte Innenraum der Zellen war ähnlich einer Raumkapsel ergonomisch durchgeplant. Die Wohnkapseln standen als "*ideale Kleinsteinheit*" auch in enger Verbindung mit der "*Plug-in City*".<sup>225</sup> *Sturm und Schmal* zeigten in ihrem Buch *Zukunft von Gestern* Ähnlichkeiten zwischen den Projekten von *Archigram* und dem Entwurf "*Cluster in the Air*" des japanischen Architekten *Arata Isozaki*, welcher den *Metabolisten* nahe stand, auf: "*Die großmaßstäblichen und auf Vorfabrikation basierenden Stadtprojekte von Archigram, wie City Interchange und viel mehr noch Plug-in City, können ihre Anleihen bei den Megastrukturen von Yona Friedmans Paris Spatiale (1959) oder Arata Isozakis Cluster in the Air (1962) nicht verbergen.*" Die aufgehängten Kapseln der "*Turmstädte*" hätten zehntausenden Bewohnern einen Platz zum Wohnen, Arbeiten und für Freizeitaktivitäten bieten sollen. Die Entwürfe von *Archigram* stammen aus einer Zeit, in der sich die Welt in rasanter Veränderung befand. Diese war geprägt vom Wettlauf ins All sowie von einem gesellschaftlichen Umfeld, das sich zwischen Fortschrittsoptimismus und Angst vor einem Atomkrieg bewegte.<sup>226</sup>

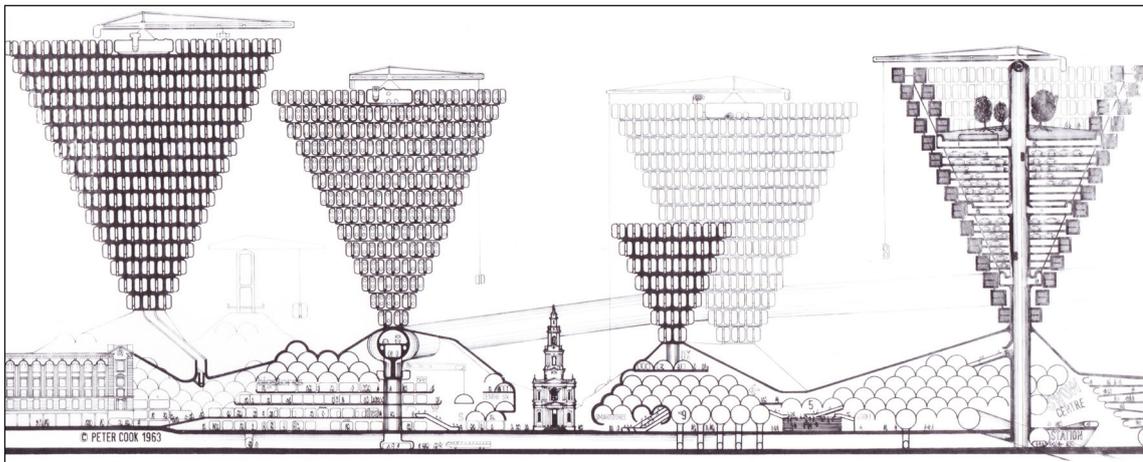
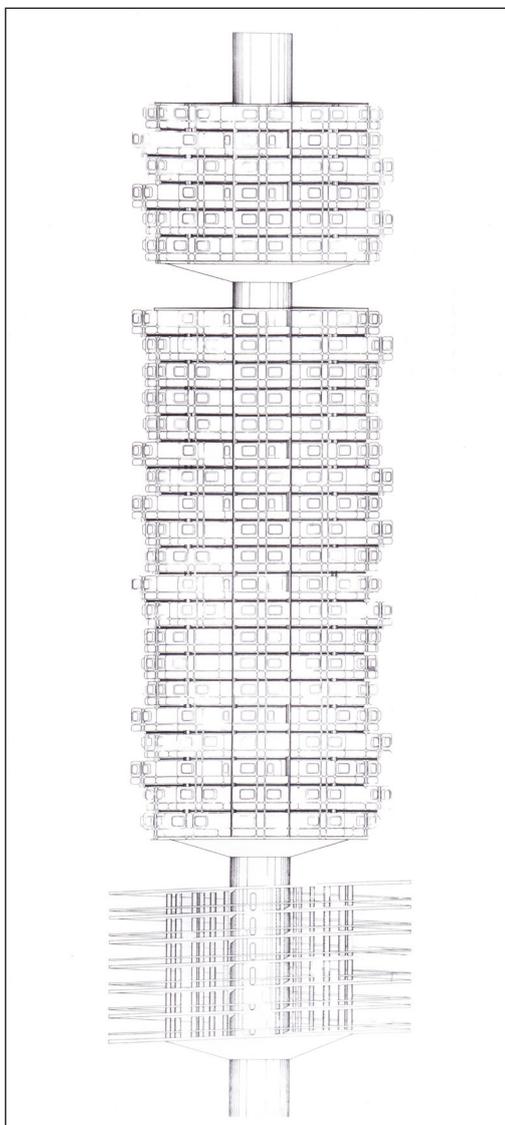
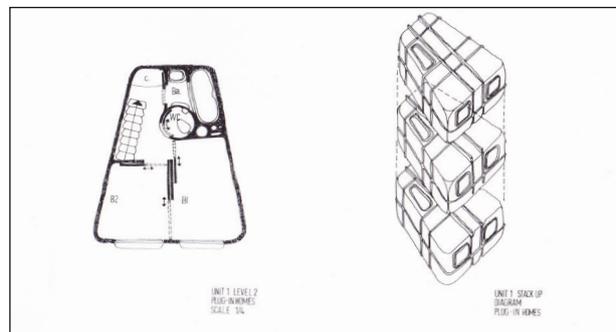


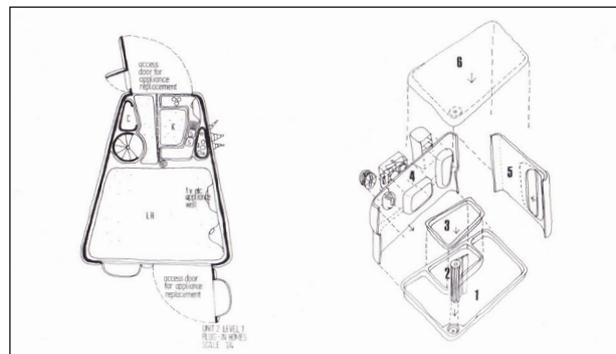
Abb. 58: Plug-in City | Peter Cook, Archigram 1963



a



b



c



d

Abb. 59: a-c Capsule Tower | Warren Chalk, Archigram 1964

d Cluster in the Air | Arata Isozaki 1962 | Das Modell zeigt einen von zwei Entwürfen, die Arata Isozaki zur Überbauung von Stadtzentren im Großraum Tokio mit baumartigen Kapseltürmen angefertigt hat.

## Raumzellenbau aus Stahlbeton von Moshe Safdie

Der aus Israel stammende *Moshe Safdie* (geb. 1938) studierte Architektur an der *McGill University* in Montréal, Kanada. In den 1960er-Jahren verfolgte er aufmerksam die *Metabolismus-Bewegung* in Japan sowie die Arbeiten von *Archigram* in Großbritannien. Einige Prinzipien der *Metabolisten* flossen in seine Abschlussarbeit ein, welche ein paar Jahre später ausgewählt wurde, um als kanadischer Beitrag auf der Weltausstellung 1967 in Montréal gebaut zu werden. Sein Konzept sah einen großmaßstäblichen Wohnkomplex aus werksmäßig vorgefertigten Beton-Raumzellen vor. Nach einigen Änderungen des ursprünglichen Entwurfes wurde ein Teil davon auf einer künstlich angelegten Insel im Saint Lawrence River errichtet. Der, *Habitat'67* genannte Pavillion, wurde während der *EXPO67* von tausenden internationalen Besuchern inspiziert und teilweise auch als Unterkunft genutzt. Als eines der wenigen Objekte, die nach der Weltausstellung noch erhalten blieben, diente es anschließend der wachsenden Stadt als Wohnraum für Personen mittleren Einkommens. Das Gebäude besteht bis auf die notwendigen Stiegenhauskerne und horizontalen Erschließungswege aus orthogonal versetzt übereinandergestapelten Raumzellen. Jede Wohneinheit verfügt über eine eigene Terrasse sowie über einen Ausblick in Richtung Stadt und Hafen an mindestens drei Seiten. Im Gegensatz zu den Arbeiten der *Metabolisten*, bei denen vorgefertigte Raumzellen als sogenannte *Kapseln* in ein strukturelles Gerüst eingefügt werden, kommt *Safdies* finaler Entwurf ohne eine solche Tragstruktur aus. Die einzelne Raumzelle bleibt als Einheit von außen ablesbar, wird aber gleichzeitig klar als unverzichtba-

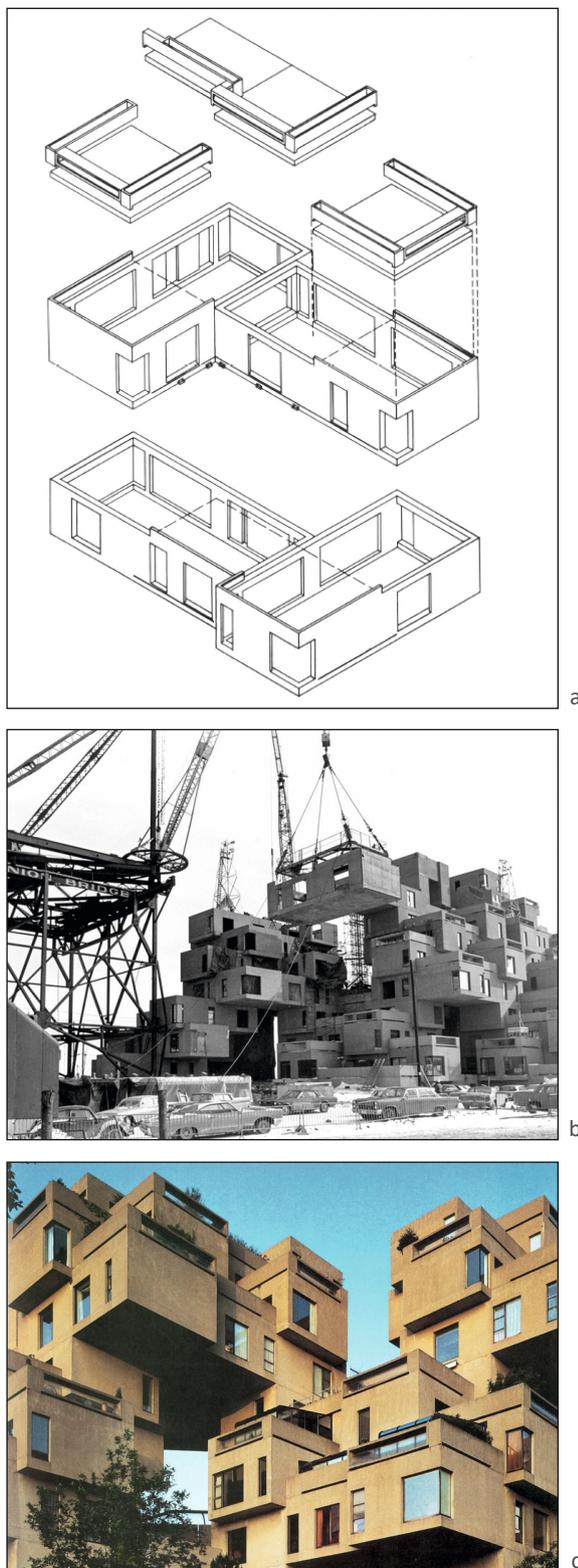


Abb. 60: a Axonometrie der Raumzellen  
 b Aufnahme während der Bauphase  
 c Detailsicht des fertigen Gebäudes

rer Teil des Gesamtkomplexes verstanden.<sup>227</sup> Der Architekt versucht mit dem *"bahnbrechenden"* Gebäudetyp, der auch heute noch großen Anklang findet, ein lebendiges Viertel mit Freiflächen, Gartenterrassen und weiteren Vorzügen zu schaffen, welche normalerweise dem Typus des Einfamilienhauses vorbehalten sind und hier auf den städtischen Wohnbau mit hoher Dichte übertragen werden. Es entstanden insgesamt 158 Wohnungen und 15 verschiedene Wohnungstypen. Diese wurden aus einer oder mehreren Raumzellen gebildet und reichen von ca. 56 m<sup>2</sup> großen Zweizimmerwohnungen bis hin zu ca. 167 m<sup>2</sup> großen Fünfstückwohnungen. Es kamen 365 Raumzellen aus Stahlbeton mit einer Größe von ca. 11 m x 5 m x 3 m und einem Gewicht von 85 Tonnen zum Einsatz. Diese wurden in einer eigens dafür errichteten Fabrik neben dem Bauplatz gefertigt. Auch der Einbau der vorgefertigten Küchen, Badezimmer und Fenster erfolgte bereits im Werk. Anschließend wurden die Raumzellen von einem Spezialkran bis zu elf Geschosse hoch übereinander gestapelt und nachträglich mit Stahlkabel verspannt, um die abgetreppte Gebäudeform zu erhalten. Der Komplex verfügt über mehrere vertikale Erschließungskerne. In jedem vierten Geschoss verlaufen Fußgängerbrücken durch das gesamte Gebäude. Die einzelnen Wohnun-

gen werden von diesen aus erschlossen. Alle Raumzellen, Erschließungskerne und Fußgängerbrücken sind als lastabtragende Elemente konzipiert und bilden zusammen ein durchgehendes Tragsystem. Sie werden durch Zuganker, nachgespannte Stahlkabel und bauseitig ausgeführte Schweißverbindungen miteinander verbunden.<sup>228</sup>

*Safdie* glaubte fest an das enorme Potenzial der Replizierbarkeit des Projektes und hoffte, dass dem *Habitat'67* noch viele weitere folgen würden. Er arbeitete unter anderem an Entwürfen für Bauplätze in Baltimore, Puerto Rico, Jerusalem und New York City. Trotz der überwiegend positiven Resonanz auf das *Habitat* in Montréal konnte *Safdie* letztlich kein weiteres errichten.<sup>229</sup>

*Ada Louise Huxtable* schrieb 1967 in einem Artikel in der *New York Times* begeistert über das *Habitat'67*: *"Just about every housing and building rule, precedent, practice, custom and convention is broken by Habitat."* Jedoch berichtete sie auch darüber, dass das Projekt in gewisser Hinsicht *"gescheitert"* sei. Aufgrund des stark gekürzten Budgets, der experimentellen Bauweise, dem straffen Fertigungszeitplan von nur rund elf Monaten sowie den hohen Investitionskosten der Fertigungsanlage, konnten letzten Endes lediglich 158 der ursprünglich geplanten 1000 Wohnungen errichtet werden.<sup>230</sup>

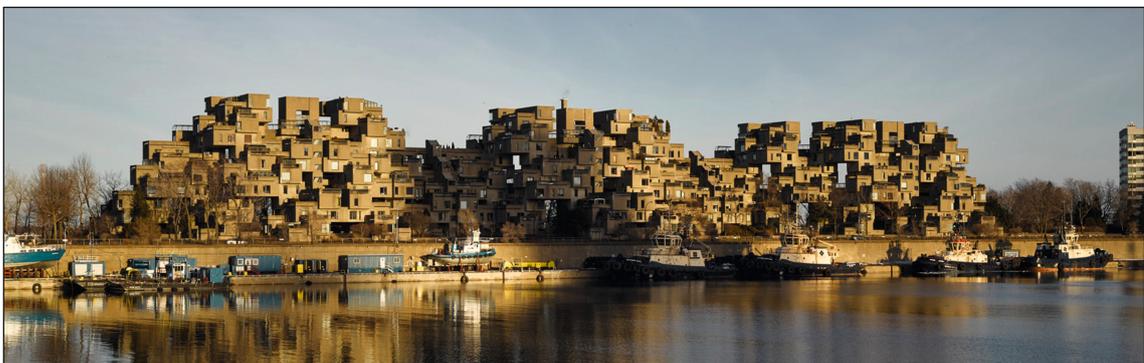


Abb. 61: Habitat'67 in Montréal, Kanada | Moshe Safdie, 1967

## Raumzellenbau aus Leichtbeton von H. B. Zachry Comp.

Das *Hilton Palacio del Rio Hotel* gilt als Meilenstein in der Geschichte der modularen Bauindustrie in den USA. Das Luxushotel wurde 1968 von der *H. B. Zachry Company* (heute: *Zachry Construction Corporation*) anlässlich der *HemisFair'68*, der Weltausstellung in San Antonio, Texas, errichtet. Die Planung und Ausführung des Gebäudes erfolgte damals in einer beispiellosen Rekordzeit von lediglich 202 Tagen. Von den insgesamt 21 Geschoßen wurden die ersten vier in herkömmlicher Ort betonbauweise hergestellt. In diesen sind die Versorgungs- und Nebeneinrichtungen untergebracht. Die rund 70 Meter hohen Erschließungskerne aus Stahlbeton wurde ebenfalls vor Ort mit Hilfe einer Gleitschalung gefertigt. Anschließend folgten für die Hotelzimmer insgesamt 496 vorgefertigte Raumzellen aus Leichtbeton, die mit einem Spezialkran innerhalb von 46 Tagen 16 Geschoße hoch übereinandergestapelt wurden. Die Errichtung des obersten Stockwerks, in dem sich ein Ballsaal und weitere, öffentlich zugängliche Einrichtungen befinden, ist in *Stahl-Leichtbauweise* erfolgt.<sup>231</sup>

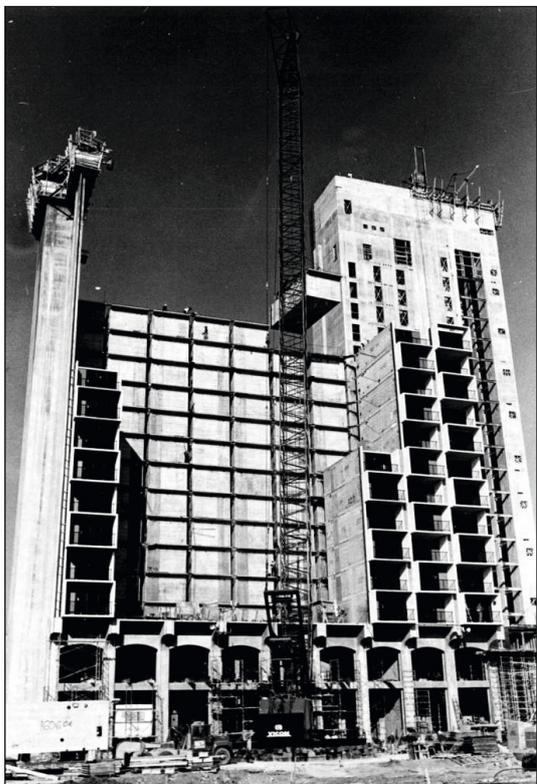
Sämtliche Raumzellen wurden auf einem, acht Meilen vom Bauplatz entfernten Werksgelände, vollständig vorgefertigt. Eine zweireihige Produktionslinie mit jeweils acht räumlichen Schalungen ermöglichte die Herstellung von acht Leichtbeton-Raumzellen pro Tag. Der komplette Ausbau inklusive haustechnischen Installationen, Elektroleitungen, Bodenbelägen und Möblierung erfolgte ebenfalls schon vor der Anlieferung zur Baustelle. Es kamen zwei Raumzellentypen zum Einsatz, die sich im Wesentlichen nur in ihrer Länge unterscheiden. Diese sind 32' 8" bzw. 29' 8" lang, 13'

breit und 9' 6" hoch (ca. 9,96 m bzw. 9,04 m x 3,96 m x 2,90 m). Die Wand- und Deckenstärke beträgt jeweils 5" (ca. 13 cm). Insgesamt erreichten die Raumzellen ein Transportgewicht von jeweils rund 35 US Tonnen (ca. 31,75 t). Jede Einheit erhielt während des Fertigungsprozesses eine eigene Nummer, mit der das Montagedatum und die endgültige Position im Gebäude genau bestimmt waren. Im Durchschnitt konnten 17 Raumzellen pro Tag auf der Baustelle montiert werden. Da das Fußbodenniveau der einzelnen Einheiten mit dem des Erschließungskerns übereinstimmen musste, wurden die Raumzellen auf einer vorgegebenen Höhe mit einer Toleranz von maximal zwei Zentimetern exakt übereinander platziert. Die kraftschlüssige Verbindung der Raumzellen erfolgte durch Zusammenschweißen der stählernen Kontaktpunkte. Im Flurbereich wurden die auskragenden Bewehrungsstäbe zusammengeschiweißt und der verbleibende Spalt mit Ortbeton verfüllt. Zwischen zwei benachbarten Raumzellen erfolgte die Verlegung der Sanitär- und Elektroleitungen in einem 50 cm breiten, über alle Geschoße durchlaufenden Installationsschacht. Abnehmbare Paneele auf der Seite des Flures ermöglichen die dauerhafte Zugänglichkeit des Schachtes.<sup>232</sup>

Laut dem Video "*A Tall Story*", welches die Bauphase des Gebäudes dokumentiert, übertraf *H. B. Zachry's* Raumzellenbau bereits vor der Fertigstellung alle Erwartungen. Das Projekt seiner Firma brach damals gleich mehrere Rekorde, wie es im Video heißt: "*The South Texas company [...] was setting world records for erecting the highest and most luxurious prefabricated structure, as well as the fastest construction time for a building of this type.*"<sup>233</sup>



a



b



c

Abb. 62: The Hilton Palacio del Rio Hotel in San Antonio, Texas, USA | Architektur: Cerna & Garza Architects | Ausführung: H. B. Zachry Company 1967-1968

- a, b Platzieren der Raumzellen während der Bauphase
- c Aufnahme des fertigen Gebäudes

## Raumzellenbau aus Leichtbeton von Fritz Matzinger

"Les Palétuviers" (auf Deutsch: "Mangrovenbäume" oder "Luftwurzler") heißen die Atriumhäuser, welche auf dem Modell des "nachbarschaftlichen Wohnens" vom oberösterreichischen Architekten *Fritz Matzinger* basieren. Inspiriert von einer Reise nach Westafrika im Jahr 1973 und der dortigen Begegnung mit den einheimischen Dorfgesellschaften, welche sich unter den schattenspendenden Mangrovenbäumen regelmäßig versammelten, entwickelte er nach seiner Rückkehr nach Österreich ein neuartiges Wohnkonzept. Dieses sollte laut *Matzinger* der hierzulande weitverbreiteten gesellschaftlichen Isolation der Bewohner von Einfamilienhäusern sowie dem Massenwohnbau entgegen wirken. Die Innenhöfe seiner Wohnbauten, von denen aus die

einzelnen Wohnungen erschlossen werden, dienen dabei als gesellschaftlicher Treffpunkt und werden von *Matzinger* gerne auch als "Dorfplatz" bezeichnet. Durch diese Form der Erschließung wird die tägliche Begegnung sowie die soziale Interaktion mit den Nachbarn erleichtert, was langfristig den Zusammenhalt in den einzelnen Wohnanlagen stärken soll. Seit 1975 errichtete er 36 Atriumhäuser mit insgesamt mehr als 500 Wohnungen an 21 Standorten (Stand 2016), was den Erfolg des Konzeptes eindrucksvoll belegt. Ein Hofhaus hat im Durchschnitt Platz für acht Wohnungen. In manchen Anlagen stehen bis zu drei Häuser im Verbund. Bemerkenswert ist außerdem, dass zwar alle Anlagen auf demselben Konzept basieren, jedoch durch die Mitgestaltung der



Abb. 63: a Luftaufnahme der ersten Anlage der "Palétuviers", Baujahr 1975, Leonding, OÖ  
b Die zwei benachbarten Atriumhäuser in Leonding wurden durch ein gemeinsames Schwimmbad verbunden.  
c Versetzen einer Raumzelle aus Leichtbeton auf der Baustelle in Leonding  
d Das Atriumhaus in Raaba bei Graz wurde 1978 ebenfalls in Raumzellenbauweise errichtet.

Bewohner das äußere Erscheinungsbild jedes Mal unterschiedlich ausfällt.<sup>234</sup> Im Jahr 2016 erschien ein Interview mit dem Titel *"Pionier des Neuen Wohnens"* in der *Wiener Zeitung*, in dem *Matzinger* Folgendes über seinen Prototypen für ein gemeinschaftliches Bauen und Wohnen berichtete: *"Es lag damals im Trend, zu überlegen, wie man in großer Zahl preiswert Wohnungen produzieren kann. Ich kreierte ein System aus vorgefertigten Raumzellen, die man zu unterschiedlichen Typen kombinieren konnte. Und dachte mir, man bestellt sich die Module [gemeint sind Raumzellen - Anm. d. Verf.] aus dem Katalog, die werden dann angeliefert, nebeneinander oder übereinander gestellt und man kann einziehen."*<sup>235</sup> Als junger Architekt zeigte *Matzinger* große Begeisterung für die damaligen Möglichkeiten der seriellen Vorfabrikation. Sein erstes Atriumhaus, welches er bis heute selbst bewohnt, ist 1975 in der Nähe von Linz in Oberösterreich gebaut

worden. Das Gebäude besteht aus vorgefertigten Raumzellen aus Leichtbeton, welche mittels Tieflader auf die Baustelle transportiert worden sind. Die Grundrissabmessungen der verwendeten Raumzellen betragen 5,5 m x 3,0 m und 6,0 m x 3,0 m. Die Bäder sind in Italien aus Acryl vollständig werksmäßig vorgefertigt und als fertig ausgebaute Sanitärzellen auf die Baustelle geliefert worden, wo nur noch die Anschlüsse für Strom, Zu- und Abflüsse hergestellt werden mussten. Auch die Wendeltreppen innerhalb der Wohnungen, welche das Erdgeschoß mit dem Obergeschoß verbinden, wurden vorgefertigt. Die Produktion der Raumzellen erfolgte durch eine Firma in der damaligen Tschechoslowakei. *Matzinger* ließ sein Konzept für standardisierte Wohnungen aus Raumzellen in Leichtbeton-Bauweise damals sogar patentieren.<sup>236</sup>

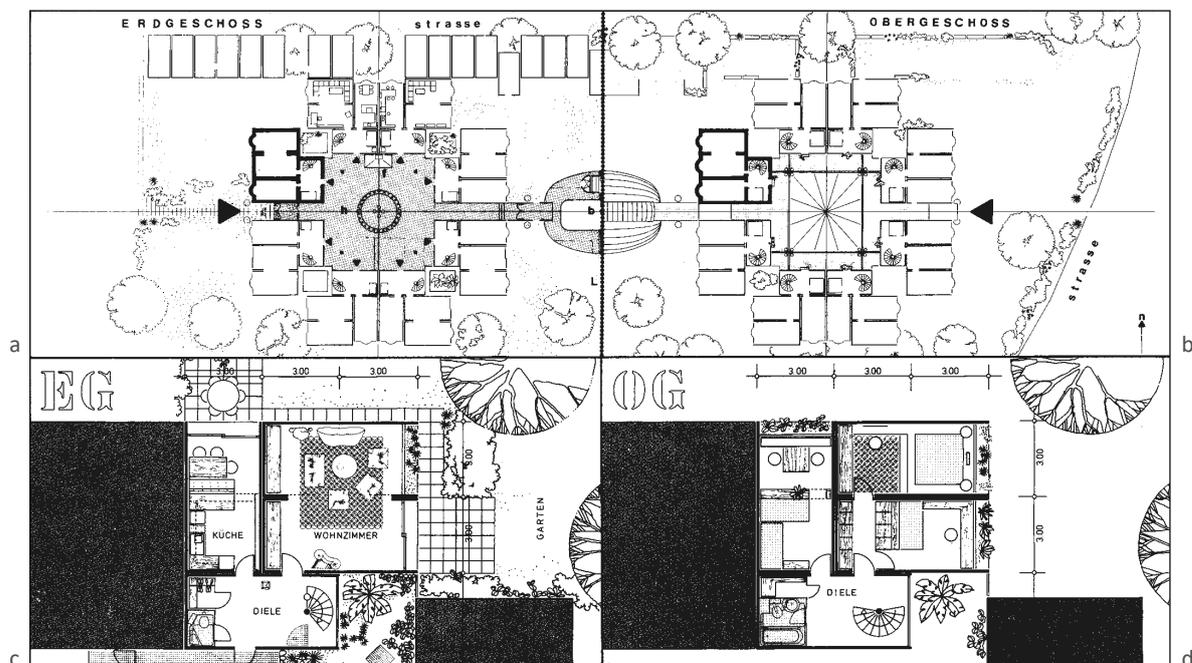


Abb. 64: a Erdgeschoss-Grundriss des westlichen Atriumhauses der ersten Wohnanlage in Leonding, 1974

b Obergeschoss-Grundriss des östlichen Atriumhauses

c, d Eine Wohnung bestand aus insgesamt acht Raumzellen und erstreckte sich über zwei Geschosse.

Nach dem Vorbild von Leonding folgte 1977 ein weiteres Projekt der "Palétuviers" in Wilhering, Oberösterreich sowie 1978 die Anlage "Les Palétuviers III" in der Nähe von Graz. Letztere besteht aus drei "Wohnhöfen" mit jeweils acht Häusern und bietet Platz für 24 Familien. Die einzelnen Einheiten weisen eine Wohnnutzfläche von 120 m<sup>2</sup> bis 150 m<sup>2</sup>, verteilt auf zwei Geschoße, auf. Jedes "Haus" hat einen eigenen Garten und meist auch eine Dachterrasse. Für den Grundriss wurden drei Zimmergrößen mit 14 m<sup>2</sup>, 16 m<sup>2</sup> und 32 m<sup>2</sup> festgelegt. Insgesamt kamen 203, rund 14 Tonnen schwere Raumzellen aus Leichtbeton mit einer Wand- und Deckenstärke von lediglich 10 cm zum Einsatz. Die Abmessungen einer sogenannten "Zimmerzelle" betragen 6,0 m x 3,0 m x 2,8 m, die einer "Vorraumzelle" 5,5 m x 3,0 m x 2,8 m. Die Raumzellen wurden inklusive den bereits installierten "Sanitärzellen" aus Acrylglas von Marchtrenk bei Linz bis

nach Graz mit der Bahn transportiert, wozu insgesamt sechs Züge mit jeweils 17 Waggons notwendig waren. Die Kosten eines "Hauses" lagen aufgrund der konsequenten Vorfabrikation beinahe bei der Hälfte eines vergleichbaren Einfamilienhauses. Trotz der Verwendung von lediglich drei unterschiedlichen Zimmergrößen gleicht durch die aktive Planungsbeteiligung der Bewohner kein Haus dem anderen. Die Anlage stellt somit ein gelungenes Beispiel für den möglichen Variantenreichtum in der Planung mit Raumzellen dar.<sup>237</sup> Den ersten Wohnanlagen folgten in den 1970er-Jahren noch ein paar weitere in Raumzellenbauweise. Später wandte sich Matzinger bei seinen "Wohnhöfen" wieder konventionellen Bauweisen zu, blieb aber experimentierfreudig und versuchte weiterhin sie zu optimieren. Als Beispiel können die, 1984 als *Holz-Skelettkonstruktion* errichteten Atriumhäuser im deutschen Offenau, genannt werden.<sup>238</sup>

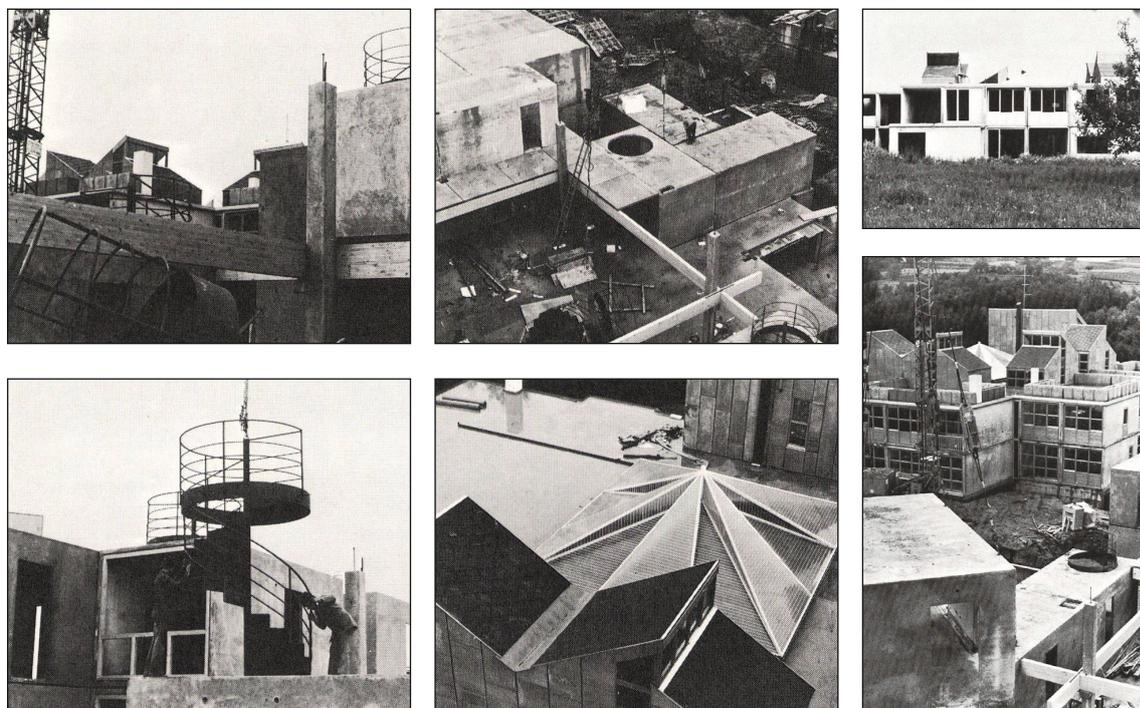


Abb. 65: Baustellenbilder der Anlage Les Palétuviers III in Raaba bei Graz, 1978

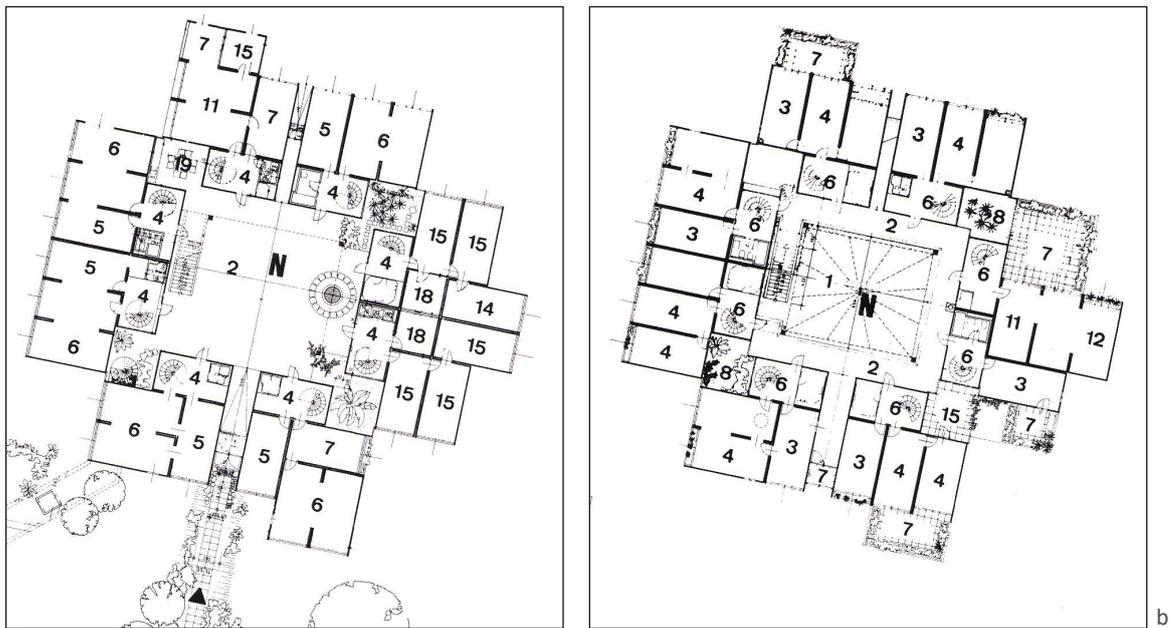


Abb. 66: a Erdgeschoß-Grundriss eines Atriumhauses der Anlage Les Palétuviers III  
b Obergeschoß-Grundriss eines Atriumhauses der Anlage Les Palétuviers III

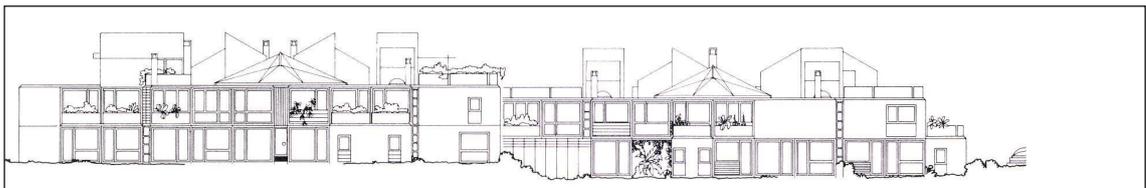


Abb. 67: Fassadenansicht von zwei Atriumhäusern der Anlage Les Palétuviers III

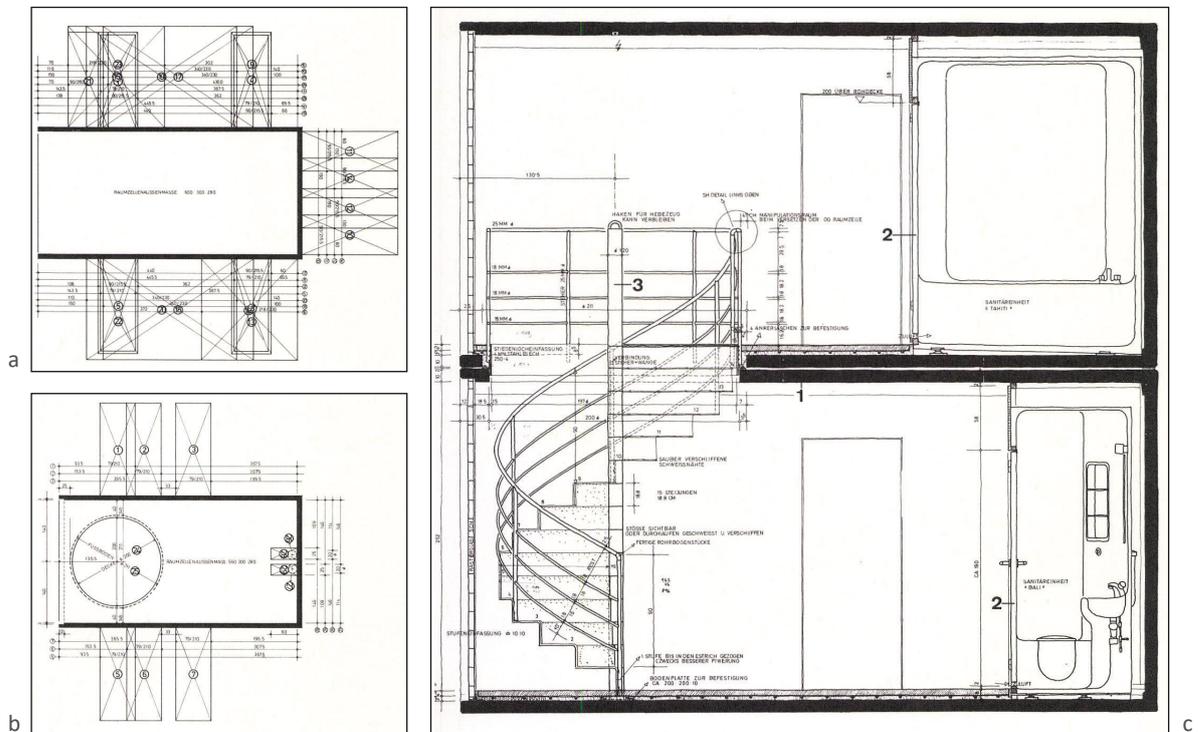


Abb. 68: a Schema einer Zimmerzelle mit den Abmessungen 6,0 m x 3,0 m x 2,8 m  
b Schema einer Vorraumzelle mit den Abmessungen 5,5 m x 3,0 m x 2,8 m  
c Detailschnitt durch zwei übereinanderliegende Vorraumzellen

## Raumzellenbau mit dem Variel-System von Fritz Stucky

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts gelang es dem Schweizer Architekten und Unternehmer *Fritz Stucky* (geb. 1929) mit der Entwicklung des *Variel-Systems* die industrielle Vorfabrikation von Gebäuden voranzutreiben und entscheidend mitzugestalten. Er gilt heute als einer der bedeutendsten Pioniere der Raumzellenbauweise und versuchte mit seinem Werk stets einen Konsens zwischen anspruchsvoller Architektur und kommerzieller Verwertung zu finden. *Stuckys* Raumzellenbau aus Beton verzeichnete unter anderem durch sein architektonisches sowie städtebauliches Potenzial weltweite Erfolge. Ebenso kann man ihn heute als *"Abenteurer"* bezeichnen, da er bereits lange vor Aufkommen des Begriffes der *"Globalisierung"*, auf der ganzen Welt Produktionsanlagen für die Fertigung von Raumzellen errichtete. Die ersten Projekte wurden mit dem Ziel, den Bauprozess weitestgehend zu industrialisieren, in den 1950er- und 1960er-Jahren umgesetzt. Dieses Potenzial versuchte er bis zur industriellen Produktion von ganzen Gebäuden weiterzuentwickeln.<sup>239</sup>

Die, zur damaligen Zeit viel eingesetzte Großtafelbauweise, erlaubte lediglich eine industrielle Fertigung des Tragwerks durch einzelne, vorgefertigte Elemente. Für *Stucky* war diese Bauweise nur unzureichend als industrielle Baumethode der Zukunft geeignet: *"Nur die integrierte Herstellung von Rohbau und Ausbau, von tragender Konstruktion bis zum Finish auf dem Fließband, in einer mit allen Errungenschaften ausgerüsteten Fabrik, kann als industrielles Bauen bezeichnet werden."* Für ihn war es unumstritten, dass einzig die Raumzellenbauweise

diesen Ansprüchen gerecht werden könnte.<sup>240</sup> Sein Aufenthalt in den USA Anfang der 1950er-Jahre weckte *Fritz Stuckys* Interesse an Bausystemen und einer durchgehend industrialisierten Bauweise. Zur damaligen Zeit machten dort die *"mobile homes"* von diversen Fertighausherstellern immerhin rund die Hälfte der neuen Eigenheime aus. Aus Leichtbauelementen gefertigt, wurden diese komplett eingerichtet, auf Anhängern an ihren Bestimmungsort gebracht. Oftmals wurden die Häuser in den USA sogar dauerhaft auf den Anhängern belassen, was der damaligen mobilen Lebensart vieler Amerikaner entsprach. Im Allgemeinen kam es nach dem zweiten Weltkrieg durch die vorherrschende Wohnungsnot und den Errungenschaften des industrialisierten Bauens zu einem Aufschwung im Bauwesen. Die Begeisterung, welche die serielle Herstellung von Automobilen auslöste, griff auch auf die Bauindustrie über. Industriell vorgefertigte Elemente konnten fertig auf die Baustelle geliefert und dort zusammengesetzt werden. In den USA waren bereits damals die meisten Bauteile normiert. Auch die Rationalisierung von Arbeitsabläufen war aus der Automobilindustrie und dem Flugzeugbau bekannt.<sup>241</sup>

Zurück in der Schweiz griff *Fritz Stucky* die Idee einer durchgehend industrialisierten Bauweise auf. Während sich die meisten Entwickler von Bausystemen damals dem Elementbau, wie beispielsweise der Großtafelbauweise, widmeten, schlug er eine andere Richtung ein. *Stucky* verschrieb sich nach dem Vorbild der Fertighäuser in den USA der *"Vorfertigung ganzer Raumelemente"* und entwickelte diese stetig weiter.<sup>242</sup>

**„RAUM AUF RAUM, STATT STEIN AUF STEIN.“<sup>243</sup>**

Fritz Stucky

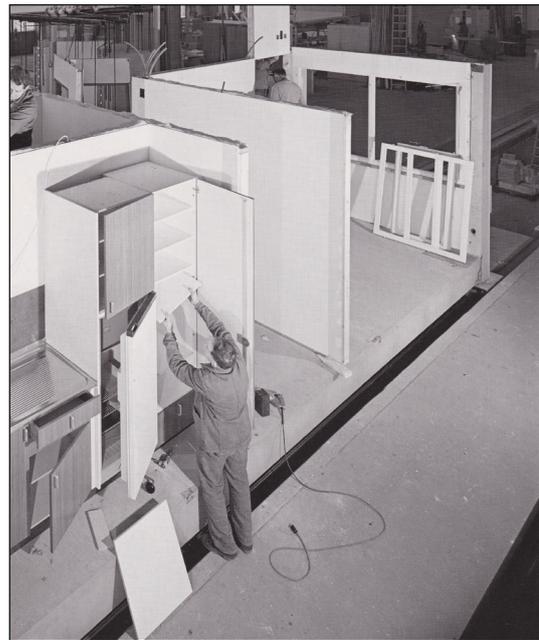


Abb. 69: a-d Raumzellenbau mit dem Variel-Beton-System von Fritz Stucky

Er beschäftigte sich mit der Vorfabrikation von einzelnen Bauteilen, aus denen später die Raumzellen zusammengesetzt und als System patentiert wurden. Dabei wählte *Stucky* die Dimensionen der fertigen Raumzellen anhand der damals maximal möglichen Transportabmessungen und den Höchstlasten der verwendeten Hebezeuge. Zunächst konzentrierte er sich auf Schulbauten, die zu dieser Zeit in der Schweiz zahlreich durch provisorische Zubauten ergänzt werden mussten.<sup>244</sup>

Die ersten Raumzellen waren aus Holz gefertigt, danach bestanden sie aus Stahl und schließlich aus einer durchdachten Betonkonstruktion. Sie konnten in beliebiger Anzahl in Längs- und Querrichtung aneinandergesetzt und auch mehrgeschoßig übereinander gestapelt werden. Aufgrund der ausgeklügelten Detailausbildung ließen sich sogar die Schmalseiten der Raumzellen mit den Längsseiten zusammenfügen, wodurch eine größere Flexibilität bei der Grundrissgestaltung ermöglicht wurde. Neben Schulhäusern war das Bausystem auch auf Dienstleistungsgebäude, Krankenhäuser und Wohnhäuser anwendbar. Somit konnte eine Vielzahl von Nutzungen mit beliebigen Raumanordnungen abgedeckt werden, vorausgesetzt das geforderte Raumprogramm ließ sich innerhalb der vorgegebenen Flächen einer oder mehrerer Raumzellen sinnvoll umsetzen.<sup>245</sup>

*Peter Steiger* schrieb über das Variel-System von *Fritz Stucky*: "*Seine Raumelemente entstammen in der Denkweise noch der Moderne: Sie sind sparsam im Einsatz der Mittel, integral vom Tragwerk bis zur Raumausstattung und intelligent von der Herstellung bis zur Montage.*"<sup>246</sup>

Um den Entwicklungsprozess des Variel-Systems besser nachvollziehen zu können, wird im Folgenden ein zeitlicher Überblick über die einzelnen Systeme gegeben. Den Anfang machte *Fritz Stucky* zusammen mit *Rudolf Meuli* mit der Gründung des gemeinsamen Architekturbüros im Jahre 1956. Damals entstand der erste "*Raumelementbau aus Holz*" mit sogenannten "*Ringelementen*". Ein Schulpavillon aus "*Raumelementen in Stahl und Holz*" folgte im Jahr darauf. 1958 wurde das *Variel-Stahl-System* entwickelt. Mangels fehlender Kontrolle über die sehr geringen Fertigungstoleranzen zwischen den einzelnen Raumzellen, musste das gesamte Gebäude noch komplett in der Werkshalle aufgebaut werden. Die fabriksfertigen Raumzellen wurden anschließend einzeln an ihren Bestimmungsort transportiert und dort wieder zusammengefügt. 1963 entstand das *Variel-Stahl-Beton-System* und zugleich das "*erste Fließband für die Produktion von Raumelementen*". Das System bestand aus einer Bodenplatte aus Beton und aufgesetzten Stahlrahmen. Es eignete sich laut *Stucky* für eingeschößige Gebäude wie Einfamilienhäuser sowie für Schulen. 1965 erfolgte mit dem *Beton-Standard-Programm* die Entwicklung des *Variel-Beton-Systems*, welches bereits eine sehr weitgehend industrialisierte Vorfabrikationsmethode darstellte. Die Raumzellen wurden inklusive Innenausbau und Möblierung auf dem Fließband gefertigt. Der Transport zum Bauplatz mittels Tiefladern war auch auf große Distanzen wirtschaftlich durchführbar. Auf der Baustelle konnten die Raumzellen anschließend in sehr kurzer Zeit und bei jeder Witterung versetzt werden. Von Beginn an war es ein erklärtes Ziel der gesamten Entwicklungsarbeit *Stuckys*, den Fertigungsprozess auf industrieller Basis zu ermöglichen



Abb. 70: Schulpavillon | Variel-Stahl-System



Abb. 71: Schulpavillon | Variel-Stahl-Beton-System



Abb. 72: Schulhaus | Variel-Beton-System

und unabhängig von den klimatischen Verhältnissen in einer Halle produzieren zu können. Durch die umgesetzten Projekte konnte laut *Stucky* auch die hohe architektonische Variabilität des Systems gezeigt werden. Es ließen sich Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser, Schulen, Kindergärten, Büros oder militärische Bauten als ein- oder mehrgeschoßige Gebäude umsetzen. *Stuckys* Ansicht nach war das Variel-System trotz der großen Elemente genauso variabel bei der Gestaltung von Grundriss und Fassade wie andere Vorfabrikationssysteme, die mit relativ kleinen Einzelteilen arbeiteten. Im Jahr 1968 fand die Produktion des 10.000. Variel-Elementes sowie die Errichtung der ersten dreigeschoßigen Schulanlage in Frankreich statt. Mit dem *Variel-E-System* folgte 1971 ein Programm, das speziell auf die wirtschaftliche Errichtung von Wohngebäuden mit bis zu acht Geschoßen und Deckenspannweiten von rund sechs Metern ausgelegt war. Die Abmessungen einer Raumzelle entsprachen ungefähr denen, des größten *ISO-Containers*. Der Transport der Variel-Elemente konnte somit mittels LKW, Eisenbahn oder auf dem Schiffsweg über große Distanzen erfolgen.<sup>247</sup> Um 1975 feierte die Erfolgsgeschichte des Variel-Systems ihren Höhepunkt mit 13 Fabriken und einer jährlichen Produktionskapazität von 18.000 Elementen. Nach einem stetigen Aufwärtstrend seit dem Beginn der Entwicklungen, kam es ab Ende der 70er-Jahre zu einem plötzlichen Abbruch der Erfolgsgeschichte.<sup>248</sup>

Laut *De Berti* waren mehrere Faktoren für die rückläufige Nachfrage des Variel-System ausschlaggebend. Die traditionelle Bauindustrie konnte durch getätigte Investitionen und Modernisierungen die Bauzeiten entscheidend verkürzen und trat somit wieder in Konkurrenz

zu den zeitweilig überlegenen, industriellen Bausystemen wie beispielsweise dem Variel-System. Die Sicherstellung lokaler Arbeitsplätze, geringere Kapital- und Finanzierungskosten sowie die zunehmende Beliebtheit traditioneller Bauweisen bei der Bevölkerung ließen die Marktanteile von vorgefertigten Systemen wieder schwinden. Hinzu kamen unterschiedliche Bauvorschriften in den einzelnen Ländern, welche ein Hindernis für die Serienproduktion darstellten. Auch die vielfältigen architektonischen und nutzungstechnischen Ansprüche, welche an ein Gebäude gestellt wurden, konnten *De Berti* zu Folge mit der Raumzelle nicht erfüllt werden. Letztlich wurde der visionäre Gedanke, Gebäude am Fließband wie Autos zu produzieren, abgesehen von der Vorfertigung der Tragstruktur, nicht zur Gänze umgesetzt. In den Jahren 1978 bis 1985 kam es schließlich zur etappenweisen Stilllegung der 13 Produktionsstandorte des Variel-Systems.<sup>249</sup> Insgesamt wurden weltweit rund 140.000 "Ring- und Raumzellenelemente" hergestellt und ca. 4,5 Millionen Quadratmeter Gebäudelfläche errichtet.<sup>250</sup> Innerhalb von nur rund zehn Jahren seit Beginn der Entwicklungsarbeit von *Fritz Stucky* erfolgte mit dem Variel-System ein bemerkenswerter Wandel von einer anfänglich reinen *Holzbauweise*, gefolgt von einer *Stahl-Holz-Hybridbauweise* und einer *Stahl-Beton-Hybridbauweise*, hin zu einer reinen *Beton-Bauweise*.<sup>251</sup>

*Lucia Gratz* berichtete in einem Beitrag über "Modulares Bauen der Schweizer Nachkriegsmoderne" über den hohen Stellenwert, den "Elementierung, Vorfertigung und Montagebau" in der Architektur der 1960er-Jahre in der Schweiz einnahm. Vor allem die junge Architektengeneration versuchte modulare Bau-

methoden mit architektonischen Kriterien zu vereinen und diese auf die Bauaufgaben der damaligen Zeit umzulegen. *Fritz Stucky* griff mit seiner *"ausgeklügelten Raumzelle aus Beton visionäre Aspekte seiner Zeit auf"*. Das Konzept, Häuser mit hohem Vorfertigungsgrad im Werk wie Autos zu bauen, unterschied sich von der bloßen Elementierung von Bauteilen. Die offene Konzeption des Systems sowie seine additive Erweiterbarkeit in Horizontale und Vertikale ermöglichten eine erstaunliche Freiheit im Entwurfsprozess. Bei der unterschiedlichen Kombination der Raumzellen entstan-

den immer wieder Restflächen, welche eine Nutzung als Treppenbereiche und Patioräume zuließen. *"Im Gegensatz zu einer strengen Systematik zeigt Variel damit eine ungeahnte Vitalität, die es erlaubt, zwischen Normierung und Einzelfall zu unterscheiden."* Die Eignung des Systems war sowohl für eine pragmatische als auch für eine anspruchsvolle Architektur gegeben. Dennoch wurde dieses Potenzial der Variabilität nicht bei jedem Projekt voll ausgeschöpft, was bei einer eindimensionalen Anwendung oftmals zu einem nüchternen, kargen Erscheinungsbild führte.<sup>252</sup>



Abb. 73: Erster Prototyp eines dreigeschoßigen Mehrfamilienhauses mit dem Variel-Beton-System | Küsnacht am Rigi, Schweiz 1964

## Variel-Beton-System

Probleme bei der Erfüllung von Brandschutzanforderungen führten nach dem *Variel-Stahl-Beton-System*, welches als Hybrid-System aus einer Beton-Bodenplatte und aufgesetzten Stahlrahmen bestand, zur Entwicklung eines Raumzellensystems in reiner Beton-Bauweise. Das *Variel-Beton-System* bestand aus einer allseitig offenen Raumzelle, welche aus vorgefertigten Einzelteilen auf einem Fließband zusammgebaut wurde. Die Bodenplatte war als Spannbetonrippenplatte mit Längs- und Querrippen konzipiert. An den Stirnseiten der Platte wurden zwei u-förmige Frontrahmen aus Stahlbeton biegesteif befestigt. <sup>253</sup> Diese biegesteife Verbindung

konnte in der Ausführung je nach Lizenznehmer und Herstellungsort variieren. <sup>254</sup> Den oberen Abschluss der Raumzelle bildete eine Unterdecke, welche aus einer aussteifend wirkenden Stahlrahmenkonstruktion bestand. Die Dachplatte über dem obersten Geschoß wurde als frei gespannte Betonrippenplatte ausgeführt und leitete die auftretenden Lasten auf die Frontrahmen ab. Die Bodenplatte der Raumzelle wurde punktförmig auf die Konsolen der Stützenfüße der Frontrahmen aufgelagert. Diese leiteten die Lasten über punktförmige Speziallager auf die Rahmen der darunterliegenden Raumzelle beziehungsweise auf die Fundamente ab. Die gesamte Lastübertragung

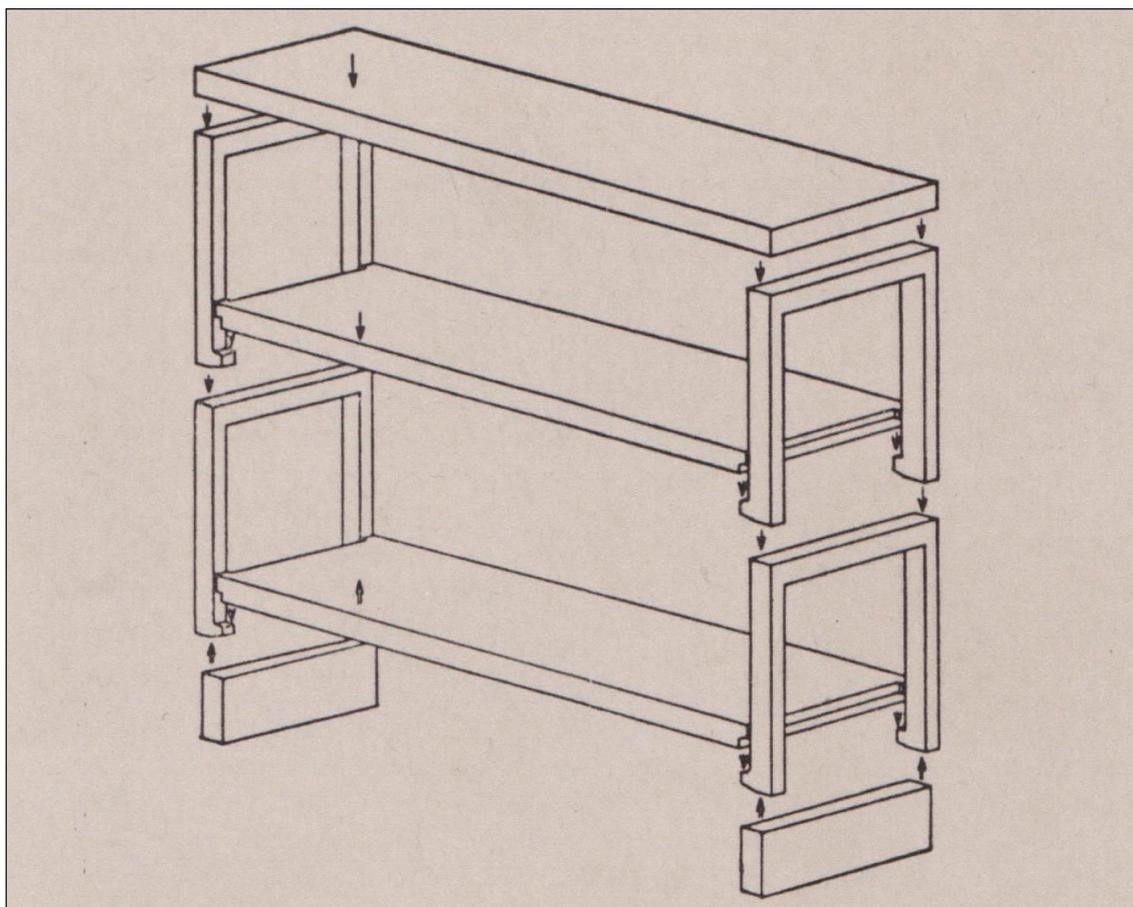


Abb. 74: Die vertikale Lastabtragung beim Variel-Beton-System erfolgte über vier Kontaktpunkte

zwischen den gestapelten Raumzellen erfolgte somit lediglich über vier Kontaktpunkte.<sup>255</sup> Für mehrgeschoßige Bauten kamen entsprechend der jeweiligen Bauaufgabe zusätzliche, extra vorgefertigte, Elemente wie Balkone, Treppenhäuser und Installationsschächte zum Einsatz. Anfang der 1970er-Jahre fanden einige Systemanpassungen statt, welche eine vertiefte Standardisierung sowie Vereinfachungen im Produktionsprozess bewirkten. Beispielsweise wurde auf die Querrippen der Bodenplatten verzichtet, und die u-förmigen Frontrahmen wurden durch geschlossene Rahmenelemente ersetzt.<sup>256</sup> Die Dimensionen der Raumzellen waren ebenfalls standardisiert

und richteten sich nach ihrem Einsatz für den Schul-, Wohn- oder Bürobau. Die Grundrissabmessungen der ersten Raumzellen des Variel-Beton-Systems betragen 9,60 m x 2,80 m und 8,40 m x 2,80 m. Die fertigen Raumhöhen lagen bei 2,50 m, 3,00 m und 3,20 m.<sup>257</sup> Später wurde die Standardbreite der Raumzellen auf 2,40 m geändert. Die Standardlängen wurden wegen der gestellten "Schulbau- und Projektanforderungen" auf 7,20 m, 8,40 m, 9,60 m und 10,80 m erweitert.<sup>258</sup> Durch die Änderung der Breite auf 2,40 m und die Abstufung der Länge in 1,2-Meter-Schritten lag der Raumzelle ein quadratisches Raster mit einem Abstand der Rasterlinien von 1,20 m zu Grunde.

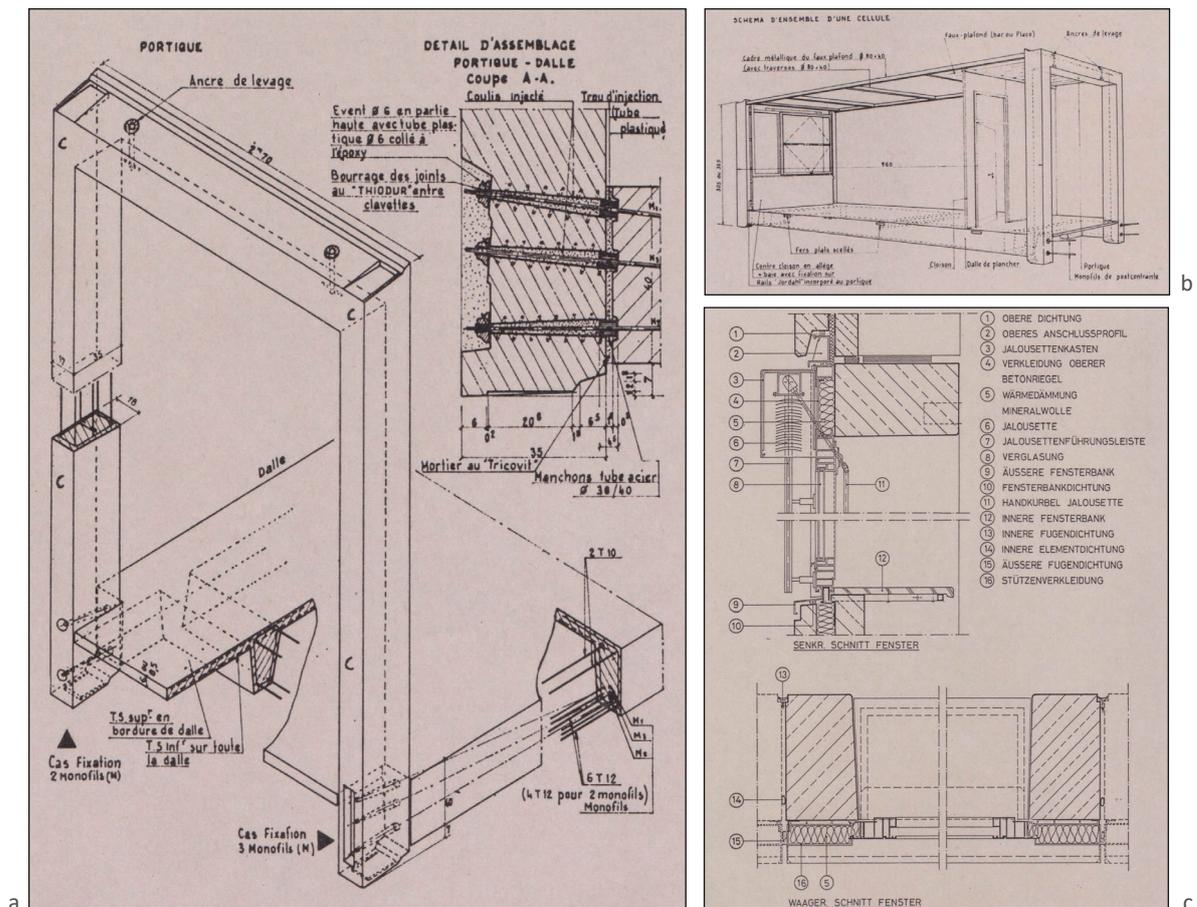


Abb. 75: Variel-Beton-System

a Detailzeichnung einer Verbindungsvariante von Frontrahmen und Bodenplatte

b Axonometrie einer Raumzelle

c Weiterentwicklung einer Raumzelle mit außerhalb der Tragkonstruktion liegender Wärmedämmebene

Das *Variel-Beton-System* überzeugte durch Kosten- und Terminalsicherheit in der Planung, einem hohen Vorfertigungsgrad sowie einer hochgradigen Standardisierung der Grundeinheit. Der wesentliche Unterschied zu anderen industriell vorgefertigten Systemen lag in der Ausführung als offene Raumzelle, welche sich horizontal und vertikal beliebig erweitern ließ. Die Abmessungen waren dabei nicht nach den fertigen Innenräumen ausgelegt. Vielmehr konnten sich Räume auch über mehrere Raumzellen hinweg erstrecken. Die größte Innovati-

on war demnach die Entscheidung, die Raumzelle nur als Teil eines Raumes zu konzipieren. Der fertige Raum konnte dadurch auch größer sein als die einzelne Transporteinheit. Aufgrund des gewählten statischen Systems mit einer Lastabtragung über vier Kontaktpunkte konnten alle Wände der Raumzelle nichttragend ausgeführt werden. Trotz des hohen Standardisierungsgrades wurde dadurch eine erstaunlich große Variabilität in der Gestaltung von Grundriss und Fassade gewährleistet. Ein eindrucksvolles Beispiel dafür ist das, 1968

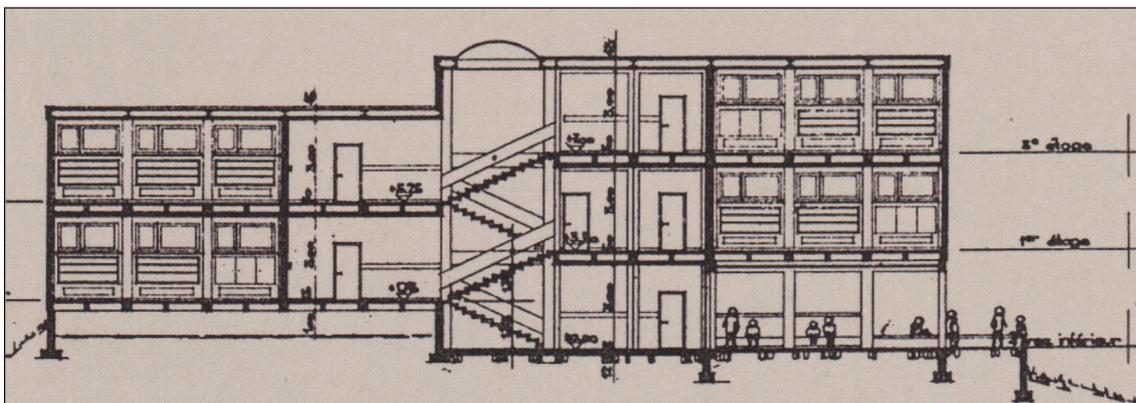


Abb. 76: Schulhaus in Hauterive, Schweiz 1968 | Längsschnitt



Abb. 77: Schulhaus in Hauterive, Schweiz 1968 | Versetzen einer Raumzelle auf der Baustelle

von Robert Monnier geplante, Schulhaus im Schweizer Hauterive. Die Klassenzimmer waren clusterartig organisiert und aus jeweils drei Raumzellen zusammengesetzt. Im Grundriss wurden die einzelnen Trakte windmühlenartig angeordnet. Mit der Ausführung als Split-Level konnte außerdem eine Auflockerung des Baukörpers durch den vertikalen Versatz der einzelnen Cluster erreicht werden.<sup>259</sup> Eine Raumzelle maß im Grundriss 9,60 m x 2,80 m und wies eine lichte Raumhöhe von 3,00 m auf. Insgesamt 41 Raumzellen konnten in einem Monat gefertigt und innerhalb von 2,5 Tagen auf der Baustelle versetzt werden.<sup>260</sup>

Neben den zahlreichen realisierten Objekten entwarf *Stucky* auch utopische Projekte mit dem *Variel-System*. Eine Reihe von Architektengruppen träumte in den 1960er-Jahren von standardisierten "*Raumkapseln*", welche in großer Zahl in die Städte Einzug finden und den Wohnungsmangel in der Nachkriegszeit bekämpfen hätte sollen. Somit weist das Werk von *Fritz Stucky* auch Parallelen zu den großteils unverwirklichten Entwürfen von *Archigram*, den *Metabolisten* in Japan oder auch den Raumzellenprojekten des amerikanischen Architekten *Paul Rudolphs* auf.<sup>261</sup>

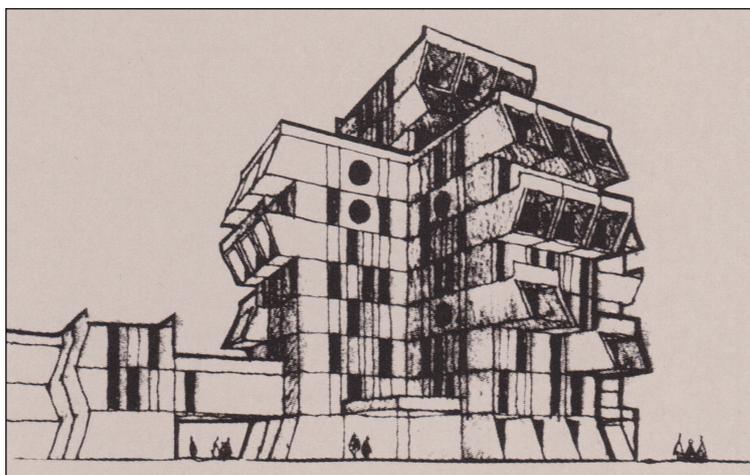
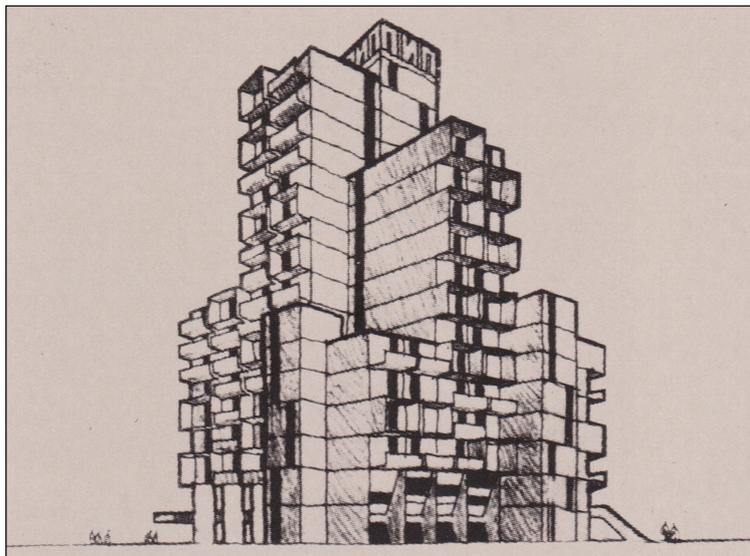


Abb. 78: a, b Visionen und Utopien mit dem Variel-System

## Raumzellenbau von Paul Rudolph

Der amerikanische Architekt *Paul Rudolph* (1918-1997) zählte zu den wichtigsten Vertretern der sogenannten *Sarasota School of Architecture*. Diese Gruppe von Architekten erhielt Mitte des 20. Jahrhunderts internationale Aufmerksamkeit für ihre modernistischen, auf das subtropische Klima Floridas angepassten, Entwürfe von Einfamilienhäusern. <sup>262</sup>

Das Werk von *Paul Rudolph* wurde unter anderem beeinflusst durch die Prinzipien des Bauhauses, welche zur Zeit seines Studiums nach dem zweiten Weltkrieg an der *Harvard University* unter der Leitung von *Walter Gropius* gelehrt wurden. Die Entwurfsgrundsätze lauteten damals: "*clarity of construction, simple overall volumes penetrating vertically and horizontally, clear geometry floating above the landscape, everything reduced to simple rectangulars and, of course, a flat roof*". <sup>263</sup>

Besonders gut erkennen lässt sich dieser Einfluss an *Rudolphs* zahlreichen Entwürfen von Einfamilien- und Ferienhäusern in Florida Ende der 1940er- und Anfang der 1950er-Jahre. Beispiele hierfür sind *Philip Hiss Residence* (1953-1954), *Walker Guest House* (1952-1953) oder *Healy Guest House* (1948-1949). <sup>264</sup> Charakteristisch für die Entwürfe aus dieser Zeit war die strikte Funktionalität, die modulare Zusammensetzung, die Artikulation der Einzelteile sowie die Berücksichtigung des lokalen Klimas und der Topografie. Großformatige Sonnenschutzelemente, innovative Belüftungskonzepte, überdimensionale Schiebetüren aus Glas und Wände aus Holz-Jalousien bestimmten das Erscheinungsbild vieler Gebäude. <sup>265</sup>

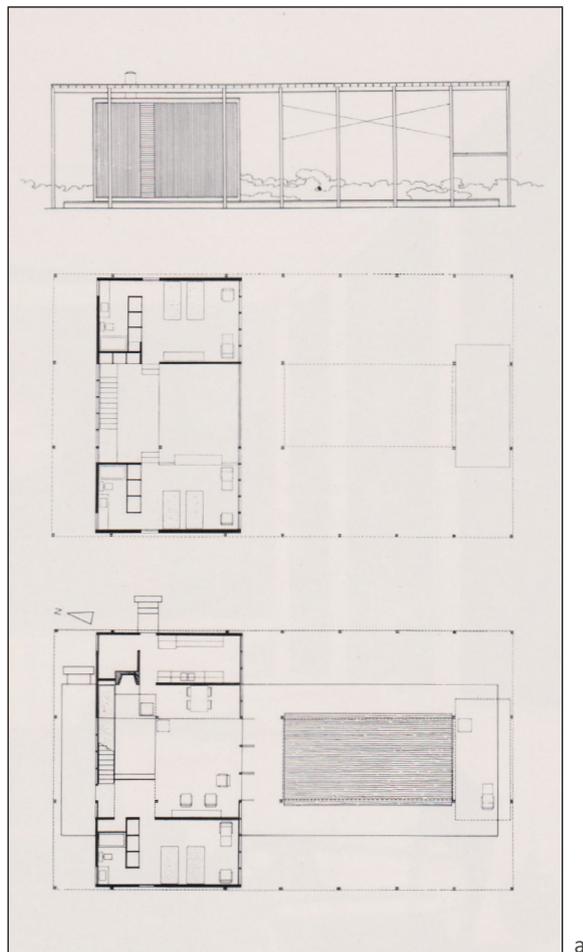
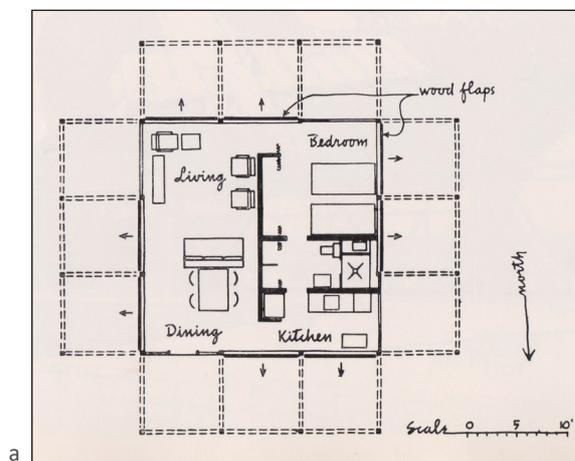


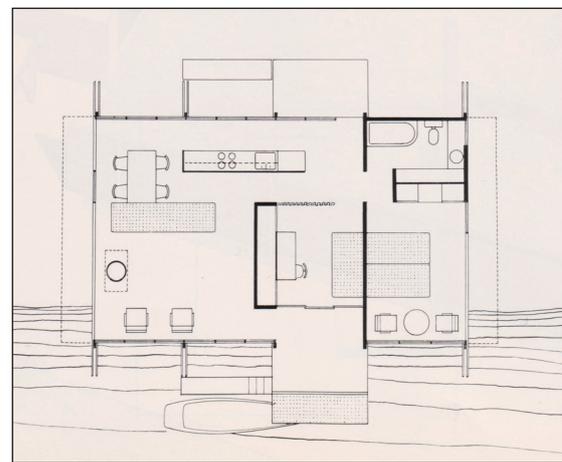
Abb. 79: a, b Philip Hiss Residence | Lido Shores, Sarasota, Florida 1953-54 | Ansicht, Grundrisse und Fotografie

Das *Walker Guest House* stach dabei durch den rationalen Entwurf und die Verwendung von standardisierten Elementen besonders hervor. Da der Bauplatz auf Sanibel Island in Florida während der Bauzeit nur per Boot erreichbar war, entschied sich *Rudolph* für eine einfache und kostengünstige Konstruktion aus vorgefertigten Holzelementen. Basierend auf einem kubischen *Grundmodul* von 8' x 8' x 8' kreierte der Architekt einen quadratischen Pavillon mit 3 x 3 Einheiten im Grundriss und einer Seitenlänge von 24'. Die Höhe

des Baukörpers entsprach genau einer Einheit. Zwei mobile, aufklappbare Wände an jeder Seite dienten im geöffneten Zustand als Sonnenschutz und konnten während des unbenutzten Zeitraumes in der Hurrikan-Saison zum Schutz des Gebäudes geschlossen werden. Um eine Einheit nach außen versetzte Rahmen unterstrichen die Leichtigkeit der Konstruktion und nahmen zugleich einen Flaschenzugmechanismus auf, welcher das einfache Öffnen und Schließen der vorgefertigten Wandelemente aus Sperrholzplatten ermöglichte. <sup>266</sup>



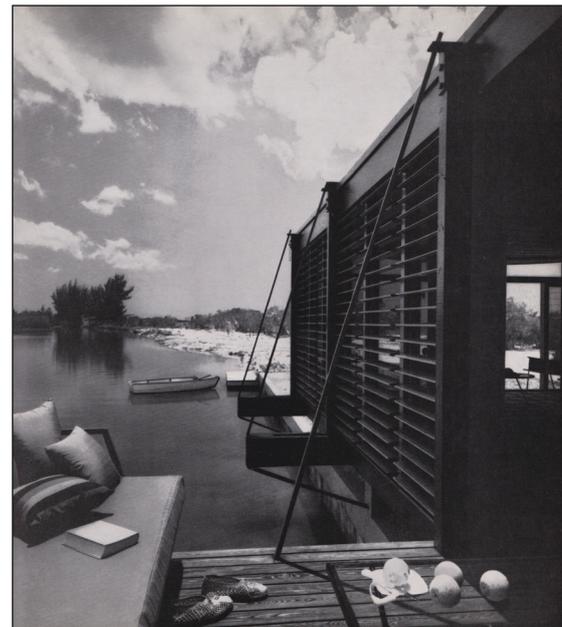
a



a



b



b

Abb. 80: a, b Walker Guest House | Sanibel Island, Florida 1952-53 | Grundriss und Fotografie

Abb. 81: a, b Healy Guest House | Siesta Key, Sarasota, Florida 1948-1949 | Grundriss und Fotografie

Ende der 1960er-Jahre beschäftigte sich Paul *Rudolph* schließlich intensiv mit den Anwendungsmöglichkeiten von vorfabrizierten Raumzellen in *Stahl-Leichtbauweise*. Nach dem Vorbild der "*mobile homes*", welche in den USA um 1970 etwa ein Viertel aller neu gebauten Wohneinheiten ausmachten, leitete er die Konstruktionsweise der Raumzellen aus dem Fahrzeugbau ab. Dadurch waren diese im Vergleich zu *Moshe Safdies* Beton-Raumzellen des *Habitat'67* in Montreal viel leichter und konnten damit ohne Sondergenehmigung auf der Straße transportiert werden.<sup>267</sup> Dazu meinte *Rudolph* in einem Interview mit dem *Daily Telegraph Magazine* im Jahr 1968: "[...] one of the reasons *Habitat* was so expensive was not because it was experimental but because it was too heavy. It was made of the wrong material - poured concrete."<sup>268</sup>

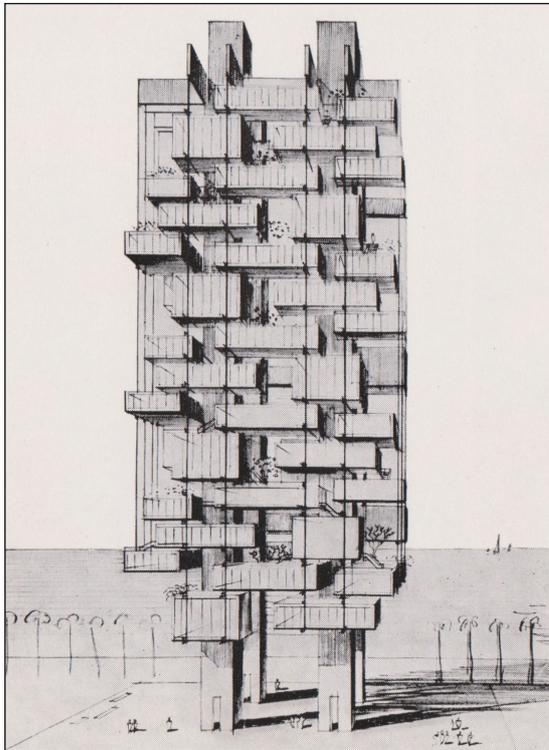
Seiner Ansicht nach war es mit der Raumzellenbauweise möglich, die ökonomischen Anforderungen des Massenwohnungsbaus zu erfüllen. Zudem konnte durch die Fassadengestaltung mit vor- und rückspringenden Einheiten auch bei größeren Gebäuden ein "*menschlicher Maßstab*" erzielt werden, indem die Abmessungen der Innenräume an der Fassade ablesbar wurden.<sup>269</sup>

Im Jahr 1967 entstand der Entwurf vom *Graphic Arts Center* am Ufer des Hudson Flusses in Lower Manhattan, New York City. Die unrealisierte Projektstudie war laut *Rudolph* eine "*wahre Megastruktur*", welche unter anderem Parkmöglichkeiten, Büros, Apartments, Schulen, ein Freizeitzentrum und einen Yachthafen beinhaltete. Die einzelnen Apartments wurden nach dem Vorbild des Wohnwagens entwickelt und aus unterschiedlichen Kombinationen von vorgefertigten Raumzellen in *Stahl-Leichtbauweise* gebildet. In jedem

zehnten Geschoß der Apartmenttürme kragten Fachwerkträger von den tragenden Stiegenhauskernen aus, von denen wiederum die einzelnen Einheiten durch betonummantelte, 3" dicke Stahlkabel abgehängt wurden. Ein zweigeschoßiger Sockel, in dem der West Side Highway sowie eine Parkgarage integriert wurden, stellte die Basis der gesamten Anlage dar. Direkt darüber lag die Erschließungsebene. Die höchsten Gebäude befanden sich östlich des Highways und boten Platz für Büroflächen, westlich waren Wohnungen untergebracht. Die einzelnen Hochhäuser waren mit Brücken verbunden und wurden zur Verbesserung der Stabilität im rechten Winkel zueinander platziert. Die Wohneinheiten waren windmühlenartig und geschoßweise versetzt um die Erschließungskerne angeordnet. Das Dach eines Apartments diente somit gleichzeitig als Terrasse für das darüberliegende. Kindergärten, Grundschulen, Dienstleistungs- und Gewerbeeinrichtungen sowie öffentlich zugängliche Freiräume fanden unterhalb der auskragenden Fachwerkträger in jedem zehnten Geschoß Platz.<sup>270</sup> Insgesamt sollten zwei Büro- sowie mehrere Wohntürme mit 26 zentralen Erschließungskernen und 4050 Wohneinheiten aus vorgefertigten Raumzellen entstehen. Durch integrierte, faltbare Wand- und Dachelemente wollte *Rudolph* die, durch die Straßenverkehrsordnung bedingte, Breitenbeschränkung der Raumzellen beim Transport mit Lastwägen umgehen. Nach deren Ankunft auf der Baustelle sollten diese auseinandergefaltet, fixiert und mit einem Kran in Position gebracht werden. Die knapp 3" dicken Wände und Decken einer Raumzelle bestanden aus zweischaligem, verstärktem Stahlblech. Eine zusammengeklappte Raumzelle maß 12' x 60' x 8' und wog 11 US-Tonnen.<sup>271</sup>

**"THE MOBILE HOME IS THE 20<sup>TH</sup> CENTURY BRICK."** <sup>272</sup>

Paul Rudolph



a



b



c



d

Abb. 82: a Entwurfsskizze für ein Wohnhochhaus mit vier Erschließungskernen aus dem Jahr 1954. Die einzelnen Apartments sollten von einem auskragenden Fachwerkträger am Dach abgehängt werden.  
b Modell vom Graphic Arts Center, New York, 1967  
c Teilmodell der Wohntürme des Graphic Arts Centers mit abgehängten Raumzellen in Stahl-Leichtbauweise  
d Blick von Südwesten nach Lower Manhattan mit dem Modell des Graphic Arts Centers | Fotomontage

# Historische Entwicklung der Raumzellenbauweise

Raumzellenbau von Paul Rudolph

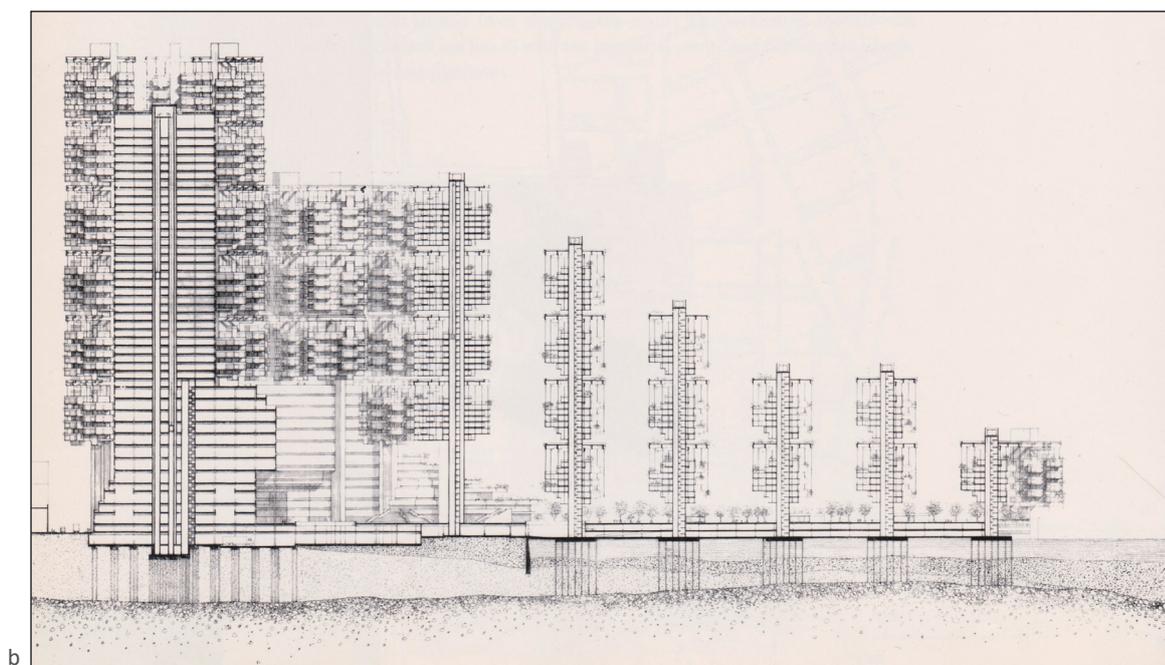
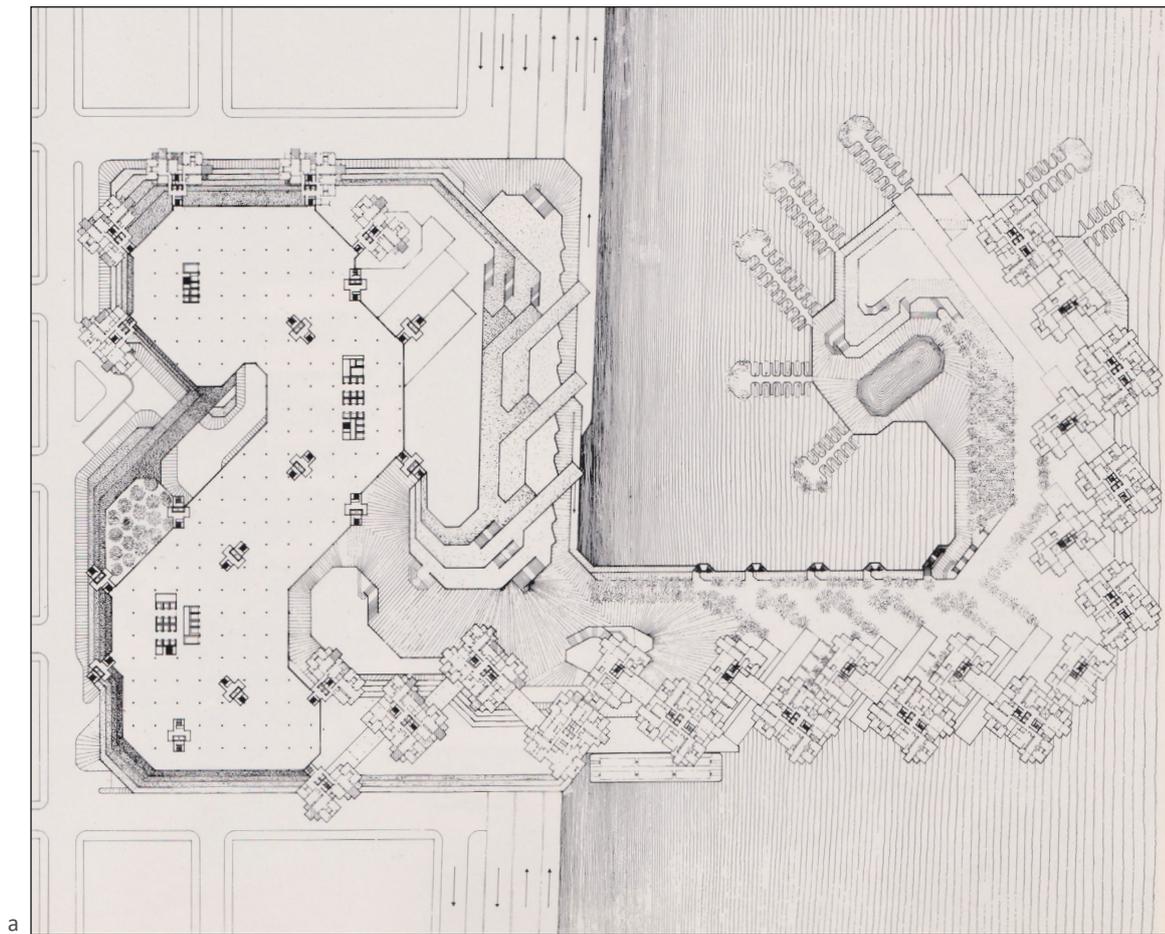


Abb. 83: a Regelgrundriss | Graphic Arts Center, New York, 1967

b Längsschnitt durch die Büro- und Wohntürme | Graphic Arts Center, New York, 1967

**"WHEN WE FIRST STARTED SERIOUSLY TO THINK ABOUT THE PREFABRICATED HOME, EVERYBODY JUMPED TO THE CONCLUSION THAT IT WOULD LEAD TO MONOTONY. I SAY IT OFFERS US A WAY OF BUILDING TRULY IMAGINATIVE AND EXCITING HOMES."** <sup>273</sup>

Paul Rudolph

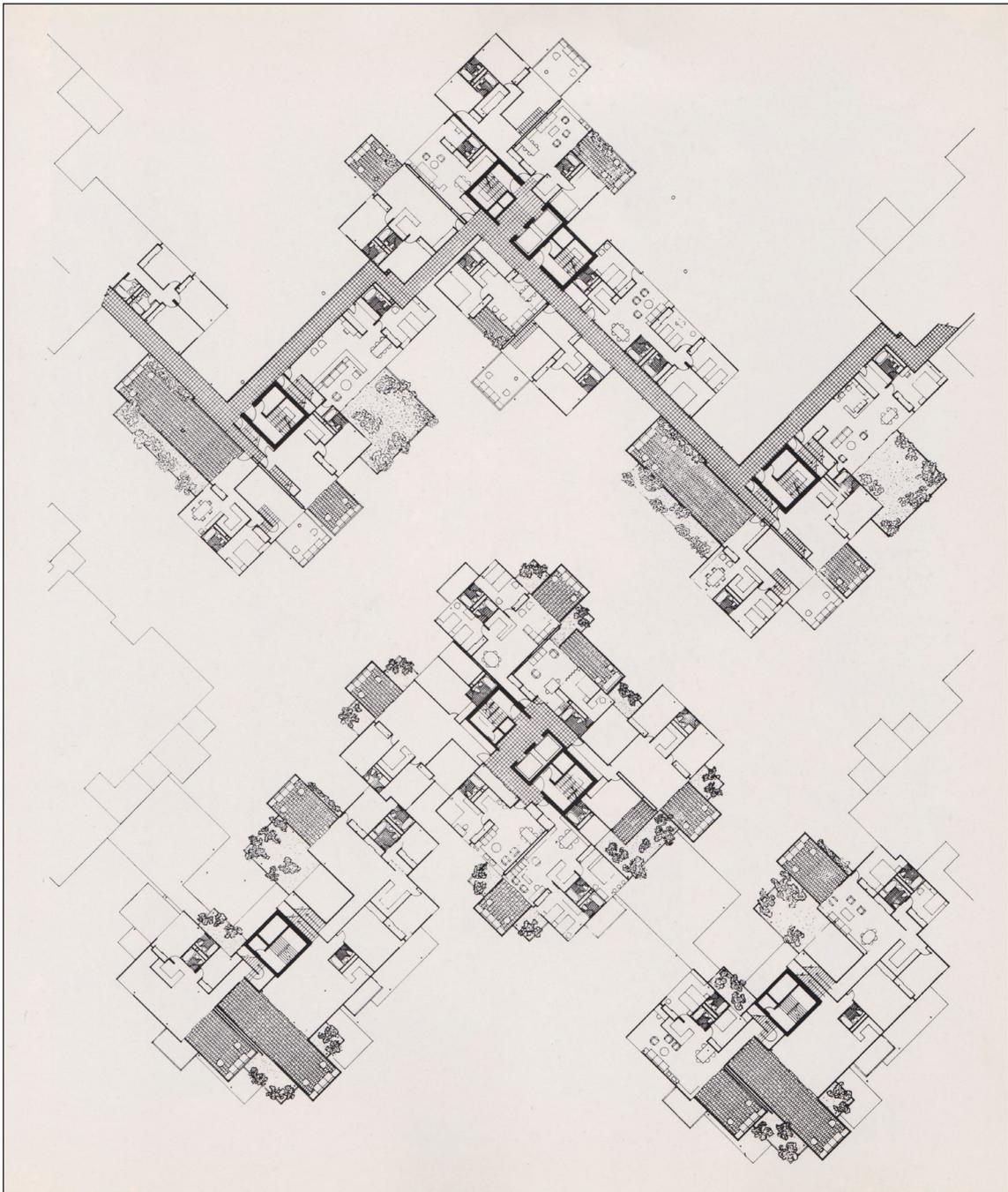


Abb. 84: Grundrissausschnitt von zwei übereinanderliegenden Wohngeschoßen. Im oberen Stockwerk (oben) sind die Erschließungskerne mit Passagen verbunden. | Graphic Arts Center, New York, 1967

Im ausgefalteten Zustand entstand aus einer Raumzelle eine Wohnung mit einer Nutzfläche von 24' x 60'. Der Wohn- und Essbereich hatte eine Größe von 24' x 18'. Die Apartments waren inklusive aller Installationen komplett werkmäßig vorgefertigt, abgesehen von einzelnen, vorfabrizierten Wänden, raumhohen Verglasungen und Abdeckungen an den Montagestößen, welche noch vor Ort ergänzt werden hätten müssen. Auch wenn das *Graphic Arts Center* eine gewisse Ähnlichkeit mit *Moshe Safdies Habitat'67* aufwies, war es kein Plagi-

at, sondern viel mehr das Ergebnis eines, über zehn Jahre lang andauernden, Entwicklungsprozesses. *Rudolph* beschäftigte sich mit solchen Konzepten auf Papier und in Architekturzeitschriften schon seit den 1950er-Jahren.<sup>274</sup> Eine frühe Studie über die gestalterische Vielfalt, die mit einer Raumzellenbauweise erzielt werden könnte, war der Entwurf *O'Brien Motor Inn* in Waverly, New York, aus dem Jahr 1961. Das Gebäude hätte jedoch damals mit herkömmlichen Baumethoden aus Ort beton und Ziegel errichtet werden sollen.<sup>275</sup>

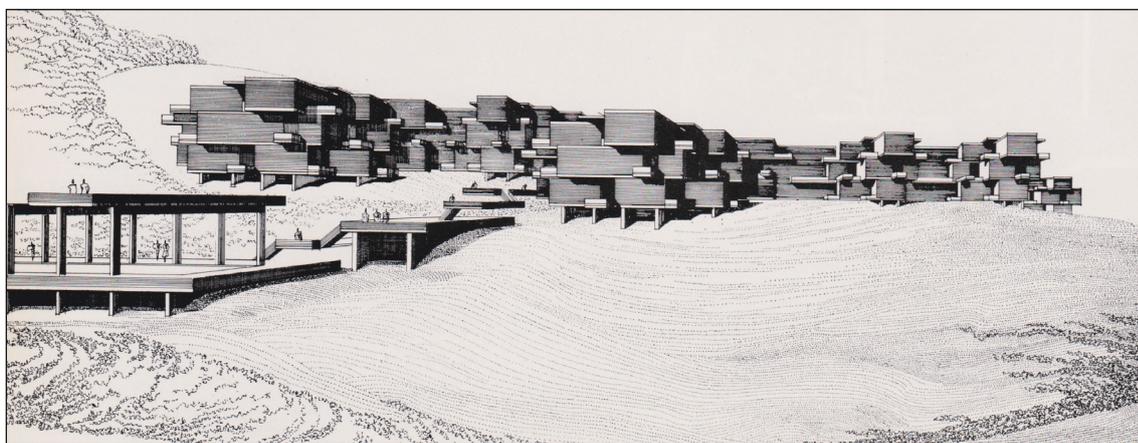


Abb. 85: Perspektive O'Brien Motor Inn, Waverly, New York, 1961

Vorgefertigte Raumzellen sollten *Rudolphs* Ansichten nach zu den "Ziegelsteinen des 20. Jahrhunderts" werden, wie er 1968 in einem Interview verriet.<sup>276</sup> Für den Entwurf *Married Student Housing* in Charlottesville, Virginia, nutzte *Rudolph* wie beim *Graphic Arts Center* 12' x 60' große Raumzellen, welche mit faltbaren Wand- und Deckenelementen ausgestattet waren und im ausgeklappten Zustand 28' x 60' maßen. Dadurch konnten gleich zwei Zweizimmerwohnungen als eine Einheit auf der Straße geliefert werden, ohne die maximal erlaubte Transportbreite von 12' zu überschreiten. Die vorgefertigten Raumzellen aus Holz oder Stahl sollten auf der Baustelle in ihre endgültige Position gebracht

und anschließend an der Längsseite der Einheit entfaltet werden, um die Schlafzimmer und Wohnräume zu bilden. Alle Fenster, Stiegen, Geländer etc. sollten bereits werkseitig vorgefertigt werden. Eine Wohnung für zwei Studenten umfasste zwei getrennte Schlafzimmer, zwei Bäder und einen gemeinschaftlich genutzten Wohn-, Koch- und Essbereich. Die Bäder waren vom Schlafzimmer aus zugänglich und hatten jeweils ein Waschbecken, eine Toilette sowie eine gemeinsame Badewanne, welche durch Schiebetüren abgetrennt werden konnte. Die Einbauküche befand sich in der Mitte der Wohnung und schloss direkt an die Bäder an, wodurch die Leitungslängen der Installationen kurz gehalten werden konn-

ten. Mit dem "Twentieth Century Brick" war sowohl eine flächige Bebauung als auch eine vertikale Stapelung zu Hochhäusern möglich, was Rudolph mit Modellen veranschaulichte. Die Anordnung der Raumzellen erfolgte beim *Married Student Housing* kaskadenförmig auf einem leicht abfallenden Hügel, wodurch das Dach einer Einheit als Terrasse für die darü-

berliegende genutzt werden konnte. Letztlich kam es jedoch nicht zur Umsetzung des Projekts, woraufhin Rudolph Folgendes anmerkte: *"The city fathers of Charlottesville prevented it from being built, not the trade unions, building codes, fire marshal or cost, the usual demons in such matters."* <sup>278</sup>

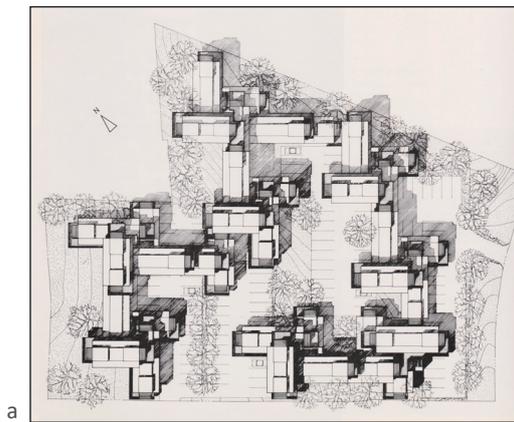


Abb. 86: a Married Student Housing Charlottesville, Virginia, 1968 | Lageplan  
b Modell

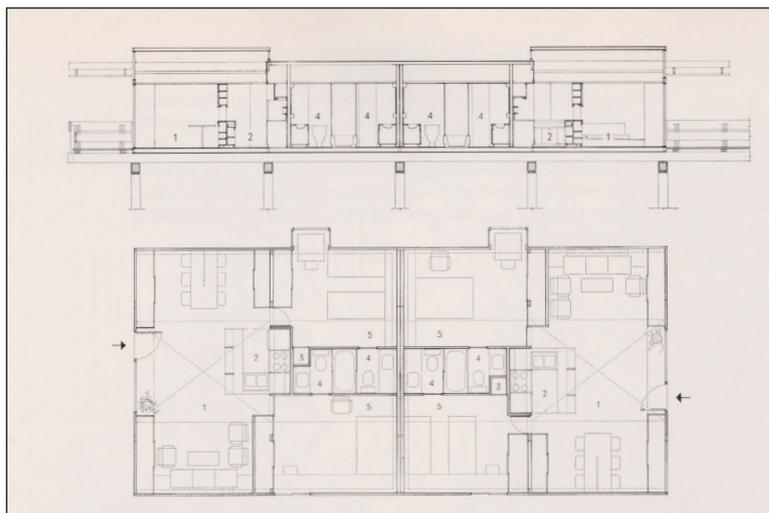


Abb. 87: Längsschnitt und Grundriss von zwei Zweizimmerwohnungen

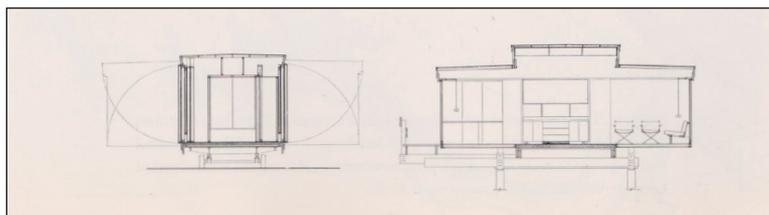


Abb. 88: links: Querschnitt durch eine geschlossene Raumzelle beim Transport  
rechts: Querschnitt durch eine Raumzelle mit geöffneten Elementen im fertigen Zustand. Die Einbauküche befand sich in der Mitte der Einheit, rechts lag der Wohn- und links der Essbereich.

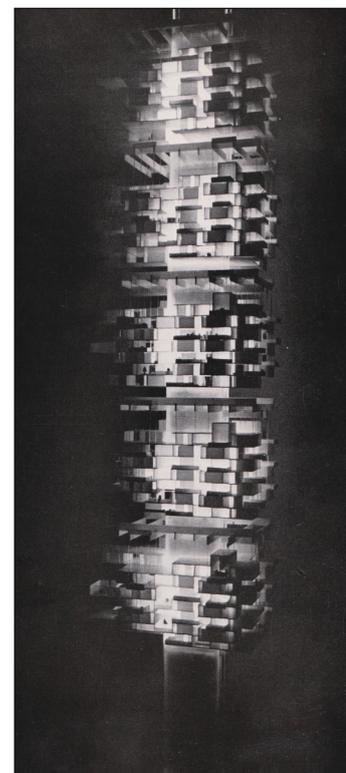


Abb. 89: Modell zur Veranschaulichung der vertikalen Stapelung von Raumzellen zu einem Hochhaus

*Fort Lincoln Housing* in Washington D.C. war ein weiteres, unrealisiertes Projekt *Rudolphs*, welches das enorme Potenzial seiner Raumzellenbauweise zeigt. Insgesamt sollten sieben Häuserzeilen entstehen, die in einzelne Blöcke unterteilt waren. Jeder Block beinhaltete unterschiedlich große Apartments mit privaten Innenhöfen und Terrassen, was durch die Flexibilität des "Ziegelsteins des 20. Jahrhunderts" möglich wurde. Solche Wohnkonzepte wären laut *Rudolph* damals mit keiner anderen Baumethode in den USA wirtschaftlich durchführbar gewesen. Im Erdgeschoß befanden sich große Apartments, die entweder zur Straße oder zum Garten hin ausgerichtet waren.

Jedes verfügte über vier Schlafzimmer, zwei Badezimmer, eine Küche mit offenem Ess- und Wohnbereich sowie einen "Lagerkorridor". In den beiden oberen Geschoßen waren Maisonettewohnungen untergebracht. Im ersten Stock befanden sich die Küche mit offenem Ess- und Wohnbereich sowie eine Terrasse. Im obersten Geschoß waren drei Schlaf- und ein Badezimmer untergebracht. Um die Schlafräume vor den Blicken der Nachbarn zu schützen und ausreichend Privatsphäre zu gewährleisten, wurden die Fenster seitlich in herausragenden Erweiterungen der Zimmer angeordnet. Die Erschließung der oberen Apartments erfolgte über Stiegen- und Brückenkonstrukti-

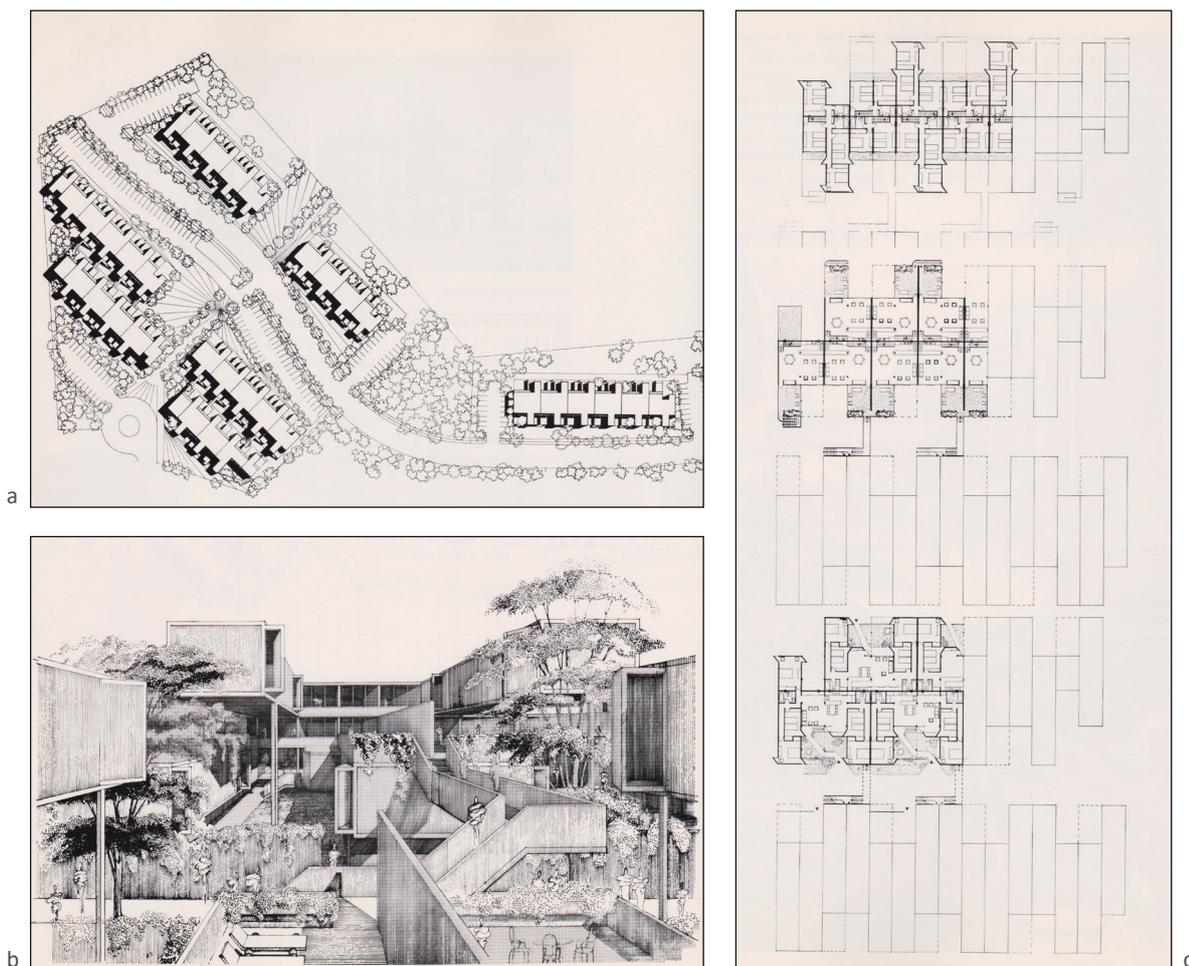


Abb. 90: Fort Lincoln Housing, Washington, D.C., 1968

a Lageplan

b Perspektive mit brückenartiger Erschließung der Maisonettewohnungen in den oberen Geschoßen

c unten: Grundriss Erdgeschoß | mitte: Grundriss 1. Obergeschoß | oben: Grundriss 2. Obergeschoß

onen. Anders als bei den vorherigen Projekten hatten die Raumzellen keine faltbaren Elemente und waren daher transportbedingt auf eine Breite von 12' beschränkt.<sup>279</sup> Auch wenn die bisher dargestellten, ambitionierten Raumzellenprojekte letztlich unrealisiert blieben, zeugen sie von den vielfältigen architektonischen Möglichkeiten, die mit dieser Bauweise einhergehen können.

Paul Rudolph konnte schließlich einen Raumzellenbau beim Sozialwohnbauprojekt *Oriental Masonic Gardens* (1968-1971) in New Haven, Connecticut, umsetzen. Das Projekt umfasste insgesamt 148 Wohneinheiten, welche in teppichförmiger Bebauung auf 37 quadratischen Parzellen arrangiert waren. Die einzelnen Maisonettehäuser bestanden aus zwei, L-förmig übereinandergestapelten Raumzellen, die in Vierergruppen windmühlenartig angeordnet

wurden. Somit erhielt jedes "Haus" einen eigenen Hof mit Garten. Laut Rudolph sollte diese Form der Bebauung eine Alternative zum Reihen- oder Einfamilienhaus darstellen. Im Erdgeschoß befand sich eine Küche mit offenem Ess- und Wohnbereich, die Schlafzimmer und ein Bad waren im Obergeschoß untergebracht.<sup>280</sup> Durch Hinzufügen einer dritten Raumzelle im Obergeschoß war es möglich, eine Wohneinheit um zusätzliche Schlafzimmer zu erweitern und somit auf die jeweiligen Bedürfnisse der Bewohner einzugehen.<sup>281</sup> Aufgrund der modularen Zusammensetzung und der Mobilität der Einheiten hatte das Projekt das Potenzial, vollständig abgebaut und anschließend an einem anderen Ort wieder aufgebaut zu werden.<sup>282</sup> Die insgesamt 333 Raumzellen<sup>283</sup> bestanden, im Gegensatz zu Rudolphs vorherigen Entwürfen in *Stahl-Leichtbauweise*,

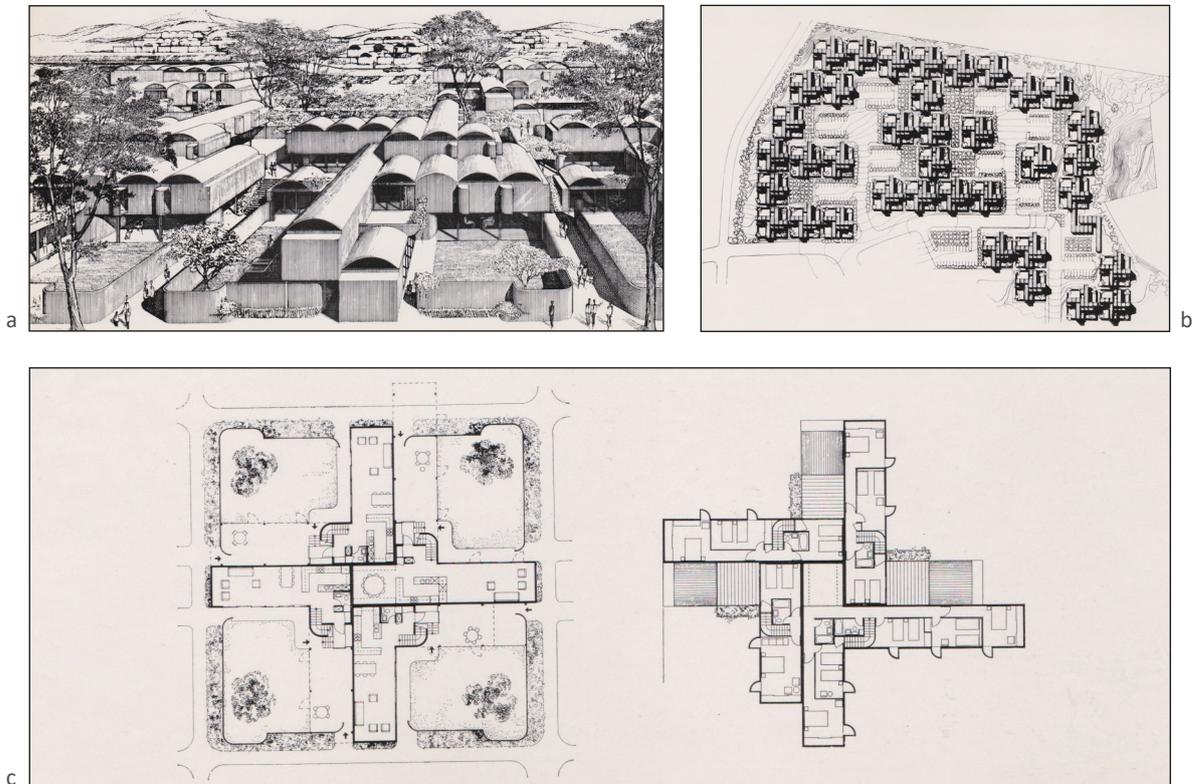


Abb. 91: Oriental Masonic Gardens (Wilmot Road - Brookside Avenue Housing), New Haven, Connecticut, 1968-1971

a Perspektive

b Lageplan

c links: Grundriss Erdgeschoß | rechts: Grundriss Obergeschoß

aus einer reinen Holzkonstruktion. <sup>284</sup> Sie wurden inklusive allen Sanitär-, Elektroinstallationen und fertigen Oberflächen werkmäßig vorgefertigt und mit Lastwägen auf die Baustelle transportiert. Die Raumzellen hatten eine Breite von 12' und waren 27', 39' oder 51' lang. <sup>285</sup> Die Dächer bestanden aus gewölbten, 2 3/8" dicken Furniersperrholzplatten und sollten laut *Rudolph* für eine Erweiterung des Innenraumes sorgen. <sup>286</sup> Zwischen den Apartments wurden Brandschutzwände aus Stahlbeton errichtet. <sup>287</sup> Bedingt durch lokale Bauvorschriften war die Produktion der Raumzellen damals nicht so kosteneffizient möglich wie die Herstellung von "mobile homes". Dadurch waren nur wenige Firmen daran interessiert, ein Risiko mit modularen Wohnbauten einzugehen. Nachdem die Raumzellen hergestellt und nach New

Haven transportiert worden waren, kamen bei der Inspektion vor Ort einige Probleme zum Vorschein, welche in Folge eine Erhöhung der Kosten verursachten. <sup>288</sup>

Im Jahr 1992 fand eine Konferenz mit dem Titel "Rethinking Designs of the 60s" an der New School for Social Research in New York City statt, bei der *Paul Rudolph* über die Schwierigkeiten bei der Errichtung der Wohnanlage Oriental Masonic Gardens sprach. Die größte Herausforderung war demnach, alle Projektbeteiligten von der Idee zu überzeugen, eine Wohnanlage für 150 Personen aus "Wohnwägen" zu errichten. *Rudolph* sprach sogar davon, dass es ein Fehler gewesen sei, das Projekt in dieser Art und Weise umzusetzen, und es letztlich abgerissen wurde. Die Bewohner "hassten" das neuartige Wohnkonzept und zudem gab es überall undichte Stellen, an denen



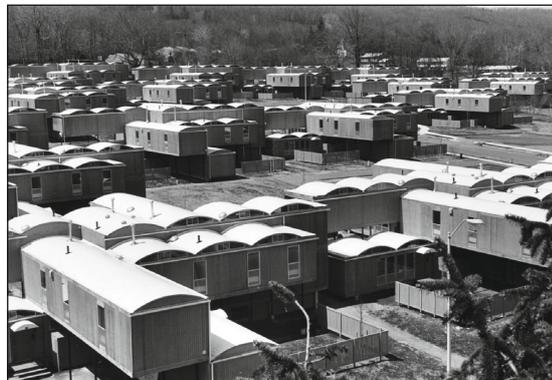
a



b



c



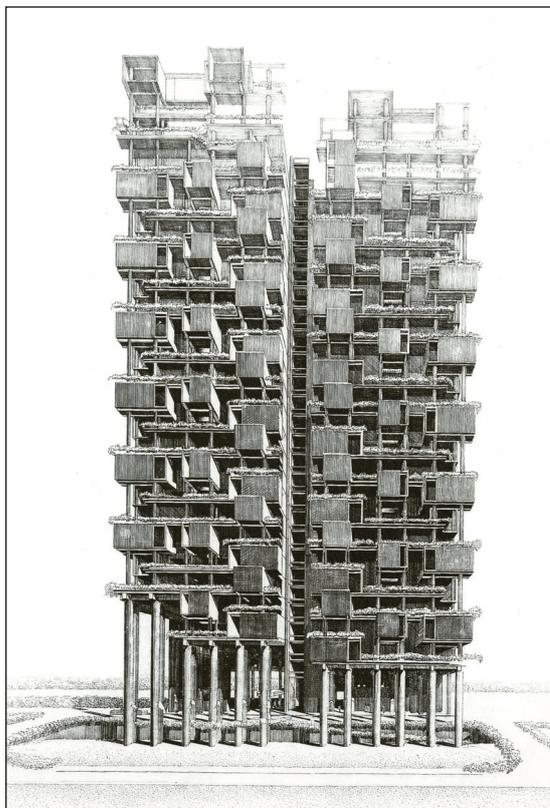
d

Abb. 92: Oriental Masonic Gardens (Wilmot Road - Brookside Avenue Housing), New Haven, Connecticut, 1968-1971  
 a-c Aufnahmen während der Bauphase  
 d Aufnahme nach Fertigstellung der Wohnanlage

Wasser in die Wohnungen eintrat. Zugleich verteidigte er aber den Entwurf, welcher für jede Familie einen eigenen Hof mit Garten vorsah. *Rudolph* war außerdem sehr zuversichtlich, dass das Konzept mit einigen Verbesserungen auf lange Sicht doch erfolgreich sein könnte: *"I am very tenacious about certain things, and in the long run it seems to me that with the correcting of mistakes one can make something much more successful."*<sup>289</sup> Die Anlage wurde bereits im Jahr 1981, zehn Jahre nach ihrer Fertigstellung, wieder abgerissen.<sup>290</sup>

In Singapur versuchte *Paul Rudolph* 1980 mit dem Hochhaus *Colonnade Condominiums* ein weiteres Mal, vorgefertigte Raumzellen in einem Projekt einzusetzen. Das ursprüngliche Konzept basierte dabei auf dem Entwurf für das *Graphic Arts Center* in New York City. Aus

technischen und finanziellen Gründen erfolgte die Ausführung des Projektes jedoch abermals in herkömmlicher Ortbetonbauweise ohne Verwendung von vorgefertigten Raumzellen. Nichtsdestotrotz behält das fertige Gebäude einen Großteil des visuellen Eindrucks des ursprünglichen Konzepts bei. Das Hochhaus ist in vier rechteckige Quadranten aufgeteilt und wird von großen Hohlräumen durchlöchert, in welchen die horizontale und vertikale Erschließung der Luxusapartments erfolgt. Diese sind mit zweigeschoßigen Wohnbereichen, weit rückspringenden Terrassen und auskragenden Balkonen sehr geräumig gestaltet. Die einzelnen Quadranten werden mit zwei, eng aneinanderstehenden Doppelsäulenreihen vom Boden in unterschiedliche Höhen abgehoben, was dem Gebäude seinen Namen verleiht.<sup>291</sup>



a



b

Abb. 93: The Colonnade Condominiums | Singapur 1980 | Paul Rudolph

a Entwurfszeichnung

b Aufnahme des fertigen Gebäudes

## Raumzellenbau aus Holz

Nachdem bisher vorwiegend *Raumzellenbauten* aus *Kunststoff*, *Stahl* und *Beton* betrachtet worden sind, wird in diesem Kapitel ein ausführlicher Blick auf die *Raumzellenbauweise aus Holz* geworfen. Dabei steht insbesondere die *Holz-Massivbauweise* (HMB) mit *Brettsperrholz* (BSP) im Fokus der Betrachtungen.

Spätestens in den 1970er-Jahren entstanden in Mitteleuropa die ersten, zumeist eingeschobigen Raumzellenbauten aus Holz. In Deutschland setzte beispielsweise die *Firma Holtmann* auf Raumzellen in *Holz-Leichtbauweise* (HLB). Diese kamen sowohl für temporär als auch für dauerhaft genutzte Gebäude zum Einsatz und bestanden aus einer Skelettkonstruktion aus *Brettschichtholz* (BSH) und einer Ausfachung aus Rahmenbauelementen. Die Raumzellen basierten auf einem quadratischen Raster und wurden mit einer Standardbreite von 3 Metern und mit Standardlängen von 3, 6, 9 und 12 Metern produziert. Zwischen 1972 und 1985 realisierte man unter anderem Schulgebäude sowie eine Aufstockung eines Krankenhauses. In den 1980er-Jahren stagnierte die Nachfrage an Raumzellen-Lösungen allmählich, bis die Produktion eingestellt wurde.<sup>292</sup>

In den 1990er-Jahren entstanden die ersten mehrgeschoßigen Raumzellenbauten in HLB im deutschsprachigen Raum, wobei hier vor allem Architekten in der Schweiz und Vorarlberg eine Vorreiterrolle einnahmen. Ende der 1990er-Jahre eröffneten sich mit den ersten Zulassungen von BSP-Produkten schließlich neue Perspektiven im Bereich der HMB. Ab den 2000er-Jahren sind Raumzellen aus BSP eingesetzt worden und die Raumzellenbauweise hat sich bis heute als alternative Lösung zur konventionellen Holzbauweise etablieren

können. Das belegen auch die zahlreich umgesetzten Projekte in den letzten Jahren sehr eindrucksvoll.<sup>293</sup>

## Raumzellenbau von Bauart Architekten

Das Schweizer Architekturbüro *Bauart* begann bereits Anfang der 1990er-Jahre mit der Entwicklung eines modularen Raumzellensystems in HLB. Der erste, "*Modular-T*" genannte Prototyp wurde 1993 als temporäres Baubüro während der Bauzeit des Neubaus für das Bundesamt für Statistik in Neuenburg errichtet und bis 2008 genutzt (siehe Abb. 94 a).<sup>294</sup>

Die Architekten hoben das dreigeschoßige Bauwerk mit einer Stahlkonstruktion vom Boden ab. Die Büroräume wurden aus insgesamt 57 werksmäßig vorgefertigten Raumzellen mit einer Dimension von ca. 3 m x 4 m x 3 m gebildet. Die Tragstruktur der Raumzellen bestand aus winkelförmig verleimten Profilen aus BSH, welche an den Ecken durch Nagelplatten biegesteif miteinander verbunden wurden. Durch horizontales Verschrauben der einzelnen Raumzellen auf der Baustelle entstand ein Raumgitter mit Rahmenwirkung, welches ohne zusätzliche Aussteifung stabil war. Vertikal wurden die Raumzellen lediglich übereinandergestapelt und nachträglich verspannt. Das Bausystem war durch die offene Konzeption der Raumzellen äußerst flexibel, wodurch sich unterschiedliche Grundrisskonfigurationen sehr leicht realisieren ließen. Zudem war auch eine weitgehend offene Gestaltung des Grundrisses möglich. Statisch-konstruktiv wurde das Holzbausystem auf eine Raumzellenlänge von maximal sechs Me-



Abb. 94: Modulare Raumzellenbauten in HLB von Bauart Architekten, CH  
 a Modular-T | 1993  
 b Modular-Thun | 1997  
 c Züri-Modular | 1998  
 d Modular-X | 2010

tern und höchstens vier Geschosse ausgelegt. Der provisorisch anmutende Charakter des Gebäudes wurde aufgrund der beschränkten Nutzungsdauer von den Architekten bewusst in Kauf genommen. Ebenso achtete man bei diesem Projekt auf eine einfache Trennbarkeit der verwendeten Materialien, was am Ende der Nutzungsdauer einen reibungslosen Rückbau der Raumzellen ermöglichte.<sup>295</sup> 1997 folgte mit *"Modular-Thun"* eine Adaptierung des Bausystems für ein bis zweigeschössi-ge Schul- und Kindergartenbauten (siehe Abb. 94 b). Zudem kam es zu einer Neugestaltung des äußeren Erscheinungsbildes, welches auf die neue Nutzung im Bildungsbereich angepasst wurde. Ein Klassenzimmer eines temporär genutzten Schulgebäudes wurde aus vier zusammengesetzten Raumzellen gebildet. Durch die weitgehende Vorfertigung nahm die Montage auf der Baustelle lediglich ein bis zwei Tage in Anspruch. Eine nachträgliche Erweiterung oder die Demontage und Wiedererrichtung an einem anderen Standort wäre mit dem System problemlos möglich. Bislang konnten im Schweizer Thun sechs sogenannte Pavillons mit insgesamt ca. 150 Raumzellen errichtet werden. Noch erfolgreicher war die Weiterentwicklung dieses Systems mit dem Namen *"Züri-Modular"*, von welchem seit 1998 rund 60 Pavillons mit insgesamt über 1000 Raumzellen produziert wurden (siehe Abb. 94 c). Mit *"Modular-X"* folgte 2010 ein energetisch verbessertes System mit hochwärmegedämmten Elementen, welches optisch nicht mehr an ein *"Provisorium"* erinnert (siehe Abb. 94 d). Ab 2011 entstanden mit *"Modular-Zug"* vier Pavillons für die Stadt Zug, welche sich lediglich durch ihre Fassadengestaltung vom zuvor genannten System unterscheiden.<sup>296</sup>

## Raumzellenbau in Vorarlberg

"Das Wiederaufkommen des Raumzellenbaus in reiner Holzbauweise in den späten 90er-Jahren ist eng mit dem Namen (der Vorarlberger Familie) Kaufmann verbunden." <sup>297</sup>

Zu dieser Zeit entstanden in Vorarlberg durch enge Zusammenarbeit von Architekten, Tragwerksplanern und ausführenden Holzbaufirmen einige herausragende Raumzellenbauten aus Holz. Den ersten Schritt machte bereits der Architekt und Holzbaupionier *Leopold Kaufmann* im Jahr 1997 mit der Erweiterung vom *Hotel Fetz* in Schwarzenberg (siehe Abb. 95 a). Für die zweigeschoßige Aufstockung wurde lediglich die Tragstruktur der zehn Holz-Raumzellen vorgefertigt, der Ausbau erfolgte anschließend auf der Baustelle. 1998 realisierten die Architekten *Johannes Kaufmann* und *Oskar Leo Kaufmann* (bis zum Jahr 2001: *Büro Kaufmann 96*) gleich zwei Hotel-erweiterungen in Raumzellenbauweise. Bei den Raumzellen vom *Hotel Krone* in Au (siehe Abb. 95 b) und vom *Hotel Post* in Bezau (siehe Abb. 95 c-e) wurde noch eine Kombination aus HLB und HMB gewählt, da sich zu dieser Zeit die *Brettspertholzbauweise* gerade erst parallel zu entwickeln begann. <sup>298</sup> Letztere haben Außenabmessungen von 7,5 m x 4,0 m und sind bis auf den Bodenbelag und die Einrichtung im Werk vorgefertigt worden. Während die Wände der insgesamt zehn Raumzellen in *Holzrahmenbauweise* gefertigt worden sind, haben die Architekten für die Decken Brettstapelelemente gewählt, die in Kombination mit dem werkseitig eingebrachten Heizestrich gute schallschutztechnische Eigenschaften aufweisen. Durch die Vorfertigung konnte die Montage der Raumzellen auf dem Stahlbetonsockel innerhalb von zwei



a



b



c



d



e

Abb. 95: Raumzellenbauten aus Holz in Vorarlberg  
 a Zubau Hotel Fetz | L. Kaufmann, 1997  
 b Zubau Hotel Krone | Kaufmann 96, 1998  
 c-e 1. Zubau Hotel Post | Kaufmann 96, 1998

Tagen erfolgen. Das Flachdach wurde konventionell auf der Baustelle fertiggestellt. Die vertikale Verteilung der gebäudetechnischen Installationen ist in den Hohlräumen zwischen den einzelnen Raumzellen untergebracht. Die Möglichkeit der Vorfertigung und die daraus resultierende kurze Bauzeit war beim Zubau vom *Hotel Post* für die Ausführung in Raumzellenbauweise ausschlaggebend, da die Einstellung des Hotelbetriebes während der Baumaßnahmen möglichst auf ein Minimum reduzieren werden sollte.<sup>299</sup> Ebenfalls im Jahr 1998 entwarf das *Büro Kaufmann 96* ein mobiles Fertighaus in Form einer 12,50 m x 3,50 m großen Raumzelle in HLB. Das vollständig vorgefertigte Gebäude mit dem Namen "*SU-SI*" (siehe Abb. 96 a) wurde in einem Stück inklusive Möblierung mit dem LKW zum Bauplatz in Reuthe transportiert und mit einem Kran auf die bauseits errichtete Stahlkonstruktion gehoben. Anschließend mussten nur noch die Versorgungsleitungen angeschlossen werden und das Haus war sofort bezugsfertig. Auf rund 36 m<sup>2</sup> Wohnfläche finden Küche, Bad, Ess-, Wohn- und Schlafbereich Platz. Die multifunktionale Raumzelle dient beispielsweise als Atelier, Büro, Werkstatt, Wohnhaus oder Ausstellungsraum und kann mit verhältnismäßig geringem Aufwand jederzeit an einen neuen Standort versetzt werden.<sup>300</sup> Bis heute wurden viele weitere Variationen der Raumzelle gefertigt.<sup>301</sup> 1999 folgte mit dem Prototypen "*Fred*" (siehe Abb. 96 b) eine ausziehbare, 3 m x 3 m x 3 m große Raumzelle, deren Nutzfläche im geöffneten Zustand auf insgesamt rund 15 m<sup>2</sup> erweitert werden kann.<sup>302</sup>

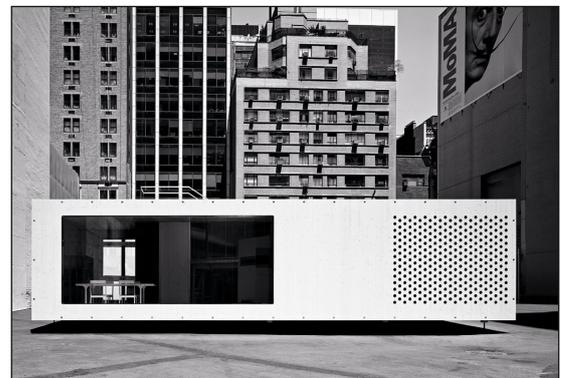
Im Jahr 2008 entwickelten die Architekten *Oskar Leo Kaufmann* und *Adolf Rűf* mit "*SYSTEM3*" (siehe Abb. 96 c, d) eine modulare



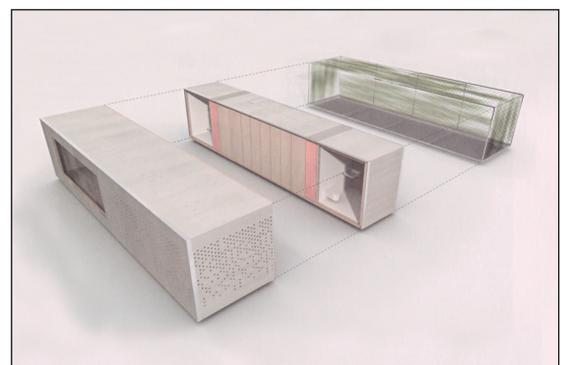
a



b



c



d

Abb. 96: Mobile Raumzellen aus Holz  
 a SU-SI | Kaufmann 96, 1998  
 b Fred | Kaufmann 96, 1999  
 c, d SYSTEM3 | O. L. Kaufmann u. A. Rűf, 2008

Raumzelle in HMB aus BSP. Diese wurde in Vorarlberg vorgefertigt und im Rahmen der Ausstellung *"Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling"* im *Museum of Modern Art* (MoMA) in New York City präsentiert. *"SYSTEM3"* ist eine logische Fortsetzung der Raumzellensysteme *"SU-SI"* und *"Fred"*. Aufgrund der Modularität kann das System theoretisch sowohl horizontal als auch vertikal erweitert werden. Alle konstruktiv aufwendigen Teile des Gebäudes (Küche, Bad, Installationen, vertikale Erschließung) wurden in der, als *"Serving Unit"* bezeichneten Raumzelle (1,92 m x 11,52 m x 2,65 m) zusammengefasst und vollständig vorgefertigt (siehe Abb. 96 d, Mitte). Die Montage des *"Naked Space"* genannten Hauptraumes erfolgte vor Ort mit flächigen BSP-Elementen.<sup>303</sup> Die freistehende Raumzelle erregte durch die Ausstellung im MoMA große internationale Aufmerksamkeit.<sup>304</sup> 2009 planten die Architekten die zweite Erweiterung vom *Hotel Post* in Bezau (siehe Abb. 97 a, b). Insgesamt wurden 17 zusätzliche Raumzellen zu den bestehenden Zimmern aufgestockt bzw. angebaut.<sup>305</sup> Diesmal setzten die Planer BSP-Elemente für die Tragstruktur der Raumzellen ein.<sup>306</sup> Im gleichen Jahr erfolgte mit der Fertigstellung vom *Alpenhotel Ammerwald* ein Meilenstein in der Geschichte der Raumzellenbauweise aus BSP (siehe Abb. 97 c, d). Zwar befindet sich das Gebäude in der Tiroler Gemeinde Reutte, für die Planung und Ausführung zeichnen sich aber Vorarlberger Fachleute verantwortlich. Insgesamt wurden 96 Raumzellen aus BSP (ca. 5,5 m x 4,5 m x 3,0 m) drei Stockwerke hoch auf einem zweigeschoßigen Stahlbetonssockel gestapelt. Die Größenordnung des Projektes sowie die zehntägige Montagezeit der Raumzellen setzten völlig neue Maßstäbe.<sup>307</sup>



a



b



c



d

Abb. 97: Raumzellenbauten aus BSP |  
O. L. Kaufmann u. A. Rüb  
a, b 2. Zubau Hotel Post, 2009  
c, d Hotel Ammerwald, 2009

## Raumzellenbau von Hubert Rieß

Der Architekt *Hubert Rieß* gilt als ein Wegbereiter der Raumzellenbauweise aus BSP. Der Holzbaupionier setzte zum ersten Mal Raumzellen beim 2004 fertiggestellten *Impulszentrum Graz* ein.<sup>308</sup> Bereits vor diesem Projekt beschäftigte sich *Rieß* intensiv mit dem enormen gestalterischen Potenzial von Holz-Raumzellen in diversen Machbarkeitsstudien zur Nachverdichtung im städtischen Raum. 2002 entwarf er für ein theoretisches Szenario 64 m x 40 m x 15 m große "Stadtbausteine", welche Wohnungen aus modularen Raumzellen mit großvolumigen öffentlichen Einrichtungen innerhalb eines Stadtblocks kombinierten.<sup>309</sup> Im Zuge eines Forschungsvorhabens folgte die Entwicklung einer Versuchs-Raumzelle aus BSP, die sowohl in statisch-konstruktiver als auch in bauphysikalischer Hinsicht optimiert wurde. Beim *Impulszentrum Graz* kamen dann erstmals 72 Raumzellen aus BSP mit Abmessungen von 12 m x 3,90 m und einem Gewicht von rund zehn Tonnen zum Einsatz. Der 60 m x 76 m große Baukörper ist als Hybridkonstruktion aus Stahlbeton und vorgefertigten Raumzellen aus BSP konzipiert. Letztere sind kammartig zum Innenhof des Gebäudes hin angeordnet und insgesamt drei Geschosse hoch übereinandergestapelt. Während die Labor- und Forschungseinrichtungen im Stahlbeton-Massivbau untergebracht sind, beherbergt der Holz-Massivbau die Büroräumlichkeiten. Jeweils zwei, an den Längsseiten offene Raumzellen bilden zusammen einen Büroraum mit einer Nutzfläche von rund 80 m<sup>2</sup>. Für den Einsatz von Raumzellen waren der hohe Vorfertigungsgrad sowie die guten bauphysikalischen Eigenschaften der doppelschaligen Wand- und Deckenaufbauten entscheidend.<sup>310</sup>



a



b



c



d

Abb. 98: a-d Raumzellenbau aus BSP | Impulszentrum Graz | Hubert Rieß, 2004

## Raumzellenbau von Holzbox

Auch das Tiroler Architekturbüro *Holzbox* (*Erich Strolz* und *Armin Kathan*) setzte bereits 2003 vorfabrizierte Holz-Raumzellen beim Wettbewerbsentwurf für ein *"multifunktionales Campmodul für Jugendliche und Familien"* in der Steiermark ein. Das Konzept der Architekten sieht drei gleich lange und unterschiedlich breite, modulare Raumzellen vor, welche beliebig miteinander kombiniert werden können. Mit dem *"Betreuermodul"*, dem *"Jugendraummodul"* und dem *"Apartmentmodul"* sind funktional optimierte Raumzellen mit zentral angeordneten Sanitärbereichen geplant worden, welche sich auch hinsichtlich der barrierefreien Gestaltung des Grundrisses auszeichnen. Im Jahr 2003 wurden zwei prototypische Raumzellen als Vorführmodelle gebaut. Ursprünglich noch in *Holzrahmenbauweise* geplant, wurden diese aus gestalterischen Überlegungen letztlich in HMB aus BSP ausgeführt.<sup>311</sup> Mit einer Länge von etwa 10 m und Breiten von rund 2,30 m, 3,40 m und 4,40 m weisen die einzelnen Raumzellen eine Nutzfläche von ca. 20 m<sup>2</sup>, 30 m<sup>2</sup> oder 40 m<sup>2</sup> auf.<sup>312</sup> Nach dem Konzept der Architekten wurden unter anderem das *Jugendcamp Passail* (2004), die *Apartmentanlage Planneralm* (2005), das *Camp Wildalpen* (2006), die *Panorama Apartments Oase in Bad Aussee* (2006) und das *Pilger und Freizeithotel Holzbox Niederalpl* (2008) realisiert. Während die beiden Prototypen und die 14, zweigeschoßig gestapelten Raumzellen der *Apartmentanlage Planneralm*, wie anfangs geplant, vollständig im Werk vorgefertigt wurden, kamen bei den anderen Projekten aus verschiedenen Gründen einzelne BSP-Elemente zum Einsatz, die erst auf der Baustelle zusammengefügt wurden.<sup>313</sup>



a



b



c

Abb. 99: Raumzellenbau aus BSP | Architektur: Holzbox  
 a, b Errichtung des Prototyps, 2003  
 c Apartmentanlage Planneralm, 2005

## Raumzellenbau von sps÷architekten

2008 ging der Architekt *Simon Speigner* (*sps÷architekten*) als Wettbewerbssieger für den Neubau des *Seniorenwohnhauses in Hallein* hervor. War das Gebäude anfangs noch, wie in der Ausschreibung gefordert, als reiner Massivbau konzipiert, wurde im Zuge der Planungsphase entschieden, einen Teil in Raumzellenbauweise aus BSP zu errichten.<sup>314</sup> Dazu *Speigner*: "Die für die Bauaufgabe typische Wiederholung gleicher Zimmer prädestinierte das Seniorenwohnheim für eine serielle Fertigung."<sup>315</sup> Da es sich bei dem Projekt um einen Ersatzbau handelte, musste der Betrieb während der Errichtung des Neubaus in ein Provisorium ausgelagert werden. Durch den hohen Vorfertigungsgrad des überwiegend als Holzbau ausgeführten Gebäudes konnte die Bauzeit um mehrere Monate verkürzt werden. Dies führte einerseits zu einer geringfügigen Kostenersparnis gegenüber einem Massivbau, andererseits konnte die mit der Bauausführung einhergehende Belastung der Heimbewohner und der Mitarbeiter reduziert werden. Das teilweise unterkellerte, L-förmige Gebäude wurde als Hybridkonstruktion ausgeführt und 2013 fertiggestellt. Während der Keller, das Erdgeschoß und die Erschließungskerne aus Stahlbeton vor Ort errichtet wurden, hat man die 136 Zimmer - verteilt auf vier Geschosse - in Raumzellenbauweise aus BSP vorgefertigt. Rund 10 bis 12 bezugsfertige Raumzellen (ca. 8 m x 4 m x 3 m bzw. 8 m x 5 m x 3 m) wurden in der Nacht mit mehreren Sondertransporten zur Baustelle geliefert und am nächsten Tag montiert.<sup>316</sup> Die Produktionszeit der Raumzellen betrug insgesamt zweieinhalb Monate und die Montage konnte innerhalb von fünf Wochen durchgeführt werden.<sup>317</sup>



a



b



c

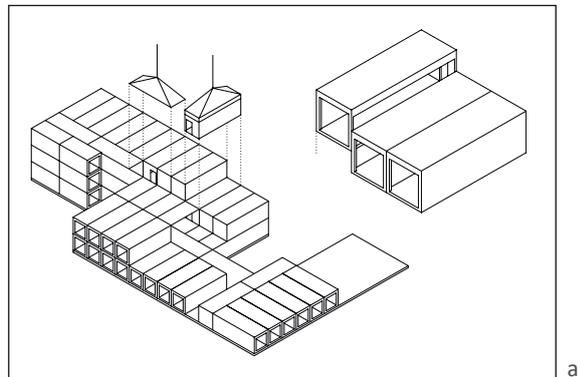


d

Abb. 100: Raumzellenbau aus BSP | Seniorenwohnhaus Hallein | sps÷architekten, 2013  
 a Vorfertigung der Raumzellen im Werk  
 b Transport mit dem LKW  
 c Montage der Raumzellen auf der Baustelle  
 d Aufnahme des fertiggestellten Gebäudes

## Raumzellenbau von NKBAK

Das Frankfurter Architekturbüro NKBAK (Nicole Kerstin Berganski und Andreas Krawczyk) realisierte 2015 die Erweiterung der *Europäischen Schule* in Frankfurt am Main. Der Neubau bietet zusätzlichen Platz für insgesamt 400 Vor- und Grundschüler. Von der Planung bis zur Umsetzung des temporär genutzten Gebäudes sind gerade einmal 17 Monate vergangen. Die Schule setzt sich aus einer Kombination aus werksmäßig vorgefertigten Raumzellen aus BSP (Klassenzimmer, Stiegenhäuser, Sanitär- und Nebenräume) und vorfabrizierten, flächigen BSP-Elementen (Flure) zusammen. Der Grundriss des differenzierten Baukörpers unterliegt einem quadratischen Raster von 3 m x 3 m. Ein Klassenzimmer mit einer Nutzfläche von rund 75 m<sup>2</sup> wird aus drei, ca. 9 m x 3 m großen Raumzellen gebildet (siehe Abb. 101 a, rechts oben). Dafür sind jeweils zwei, einseitig offene Raumzellen (Randlage) mit einer zweiseitig offenen Raumzelle (Mittenlage) kombiniert worden. An den offenen Längsseiten werden die Raumzellen mit Unterzügen aus hochbelastbarem Buchenfurnierschichtholz (FSH) überspannt. Insgesamt kamen 100 Raumzellen (ca. 9 m x 3 m bzw. 6 m x 3 m) zum Einsatz, die mit teilweise sichtbaren Holzoberflächen, Fenstern und gebäudetechnischen Installationen vorfabriziert wurden. Der Bodenaufbau und die Fassade wurden auf der Baustelle fertiggestellt.<sup>318</sup> Mittlerweile konnten die Architekten nach demselben Konzept weitere Schulbauten umsetzen, darunter die *Integrierte Gesamtschule Frankfurt-Riedberg* (Frankfurt am Main, 2016),<sup>319</sup> die *Integrierte Sekundarschule Mahlsdorf* (Berlin, 2019)<sup>320</sup> und die *Grundschule Konrad-Wolf-Straße* (Berlin, 2019).<sup>321</sup>



a



b



c

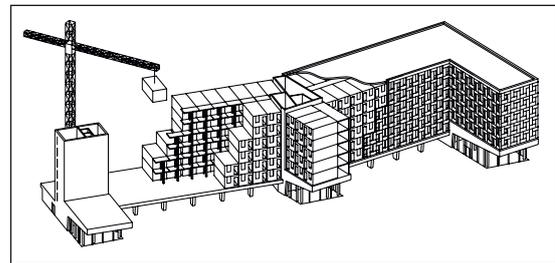


d

Abb. 101: Raumzellenbauten aus BSP | NKBAK  
 a, b Europäische Schule Frankfurt, 2015  
 c IGS Frankfurt-Riedberg, 2016  
 d ISS Mahlsdorf, 2019

## Raumzellenbau von Sauerbruch Hutton

Mit dem 2017 fertiggestellten *Studentenwohnheim Woodie (UDQ-Hamburg)* in Hamburg konnte das Berliner Architekturbüro *Sauerbruch Hutton* den bislang weltweit größten Raumzellenbau aus BSP realisieren (siehe Abb. 102 e). Die Tragstruktur des siebenstöckigen Gebäudes wurde als Hybridkonstruktion ausgeführt. Während das Erdgeschoß und die Erschließungskerne aus Stahlbeton vor Ort errichtet wurden, hat man die 371 Studentenzimmer in Raumzellenbauweise aus BSP vorgefertigt (siehe Abb. 102 a). Für die Flurbereiche kamen Stützen- und Deckenelemente aus Stahlbetonfertigteilen zum Einsatz. Hier wurden auch die vertikalen Installationsschächte für die Gebäudetechnik angeordnet. Zur Abtragung von horizontalen Lasten wurden die Raumzellen an den Betonbau angehängt. Die einzelnen Apartments sind auf fünf bzw. sechs Obergeschoße verteilt und werden ein- oder zweihüftig erschlossen.<sup>322</sup> Zuerst erfolgte die Fertigung eines vollständig eingerichteten Musterzimmers, anhand dessen alle Oberflächenmaterialien, Ausstattungsgegenstände und Möblierungen vorab festgelegt wurden. Danach wurden durchschnittlich vier Raumzellen (ca. 6,90 m x 3,30 m) pro Tag im Fließbandbetrieb in der Werkshalle vorgefertigt (siehe Abb. 102 b). Die Lieferung und Montage der Raumzellen erfolgte bereits parallel zur laufenden Produktion. Ein LKW transportierte jeweils zwei Raumzellen zur Baustelle (siehe Abb. 102 c). Insgesamt konnten täglich 12 Raumzellen montiert werden (siehe Abb. 102 d). Die ebenfalls vorgefertigten Fassadenelemente wurden vor Ort angebracht. Bereits zehn Monate nach Baubeginn erfolgte die Fertigstellung des Gebäudes.<sup>323</sup>



a



b



c



d



e

Abb. 102: Raumzellenbau aus BSP | Woodie Hamburg | Sauerbruch Hutton, 2017

a Axonometrie

b-d Fertigung, Transport und Montage

e Aufnahme des fertigen Gebäudes

## Raumzellenbau von Dietger Wissounig

Der in Graz tätige Architekt *Dietger Wissounig* entschied den EU-weit ausgeschriebenen Wettbewerb für den Neubau der *Gesundheitseinrichtung Josefhof* in Graz für sich. Das Gebäude der *Versicherungsanstalt für Eisenbahnen und Bergbau* (VAEB) wird als gesundheitliche Vorsorgeeinrichtung genutzt und besteht aus drei langgezogenen, parallelen Baukörpern, die in der Höhe gestaffelt im Hang platziert wurden (siehe Abb. 103 a, b). Das Tragwerk ist als Hybridkonstruktion aus Stahlbeton und vorgefertigten Raumzellen aus BSP konzipiert. In den jeweiligen Obergeschossen der Gesundheitseinrichtung befinden sich insgesamt 120 Gästezimmer, welche als Raumzellen inklusive Bäder, Installationen und Möblierung vollständig im Werk vorgefertigt worden sind (Abb. 103 c und d zeigen den hohen Ausbaugrad einer bereits montierten Raumzelle auf der Baustelle). In der Regel liegen die Raumzellen direkt auf den teilweise im Hang eingegrabenen "Stahlbetontischen" auf. Einige sind auch mehrgeschoßig übereinandergestapelt. Um Querpressungen von liegenden Holzbauteilen (BSP-Decken) und damit verbundene Setzungen zu vermeiden, erfolgt die vertikale Lastübertragung bei diesem Raumzellenbau direkt über die Stirnseiten der BSP-Wände. Boden- und Deckenelemente sind seitlich an den Wänden befestigt und spannen über die kurze Seite der ca. 7,0 m x 3,90 m großen und rund 14 t schweren Raumzellen. Bei diesem Projekt war neben der verkürzten Bauphase und der wettergeschützten Vorfabrikation speziell die Möglichkeit der vorzeitigen Herstellung eines Musterzimmers ausschlaggebend für die Ausführung in Raumzellenbauweise aus BSP.<sup>324</sup>



a



b



c



d

Abb. 103: Raumzellenbau aus BSP |  
Gesundheitseinrichtung Josefhof Graz |  
Dietger Wissounig Architekten, 2019  
a Visualisierung  
b-d Aufnahmen gegen Ende der Bauphase

## Weitere Raumzellenbauten aus Holz

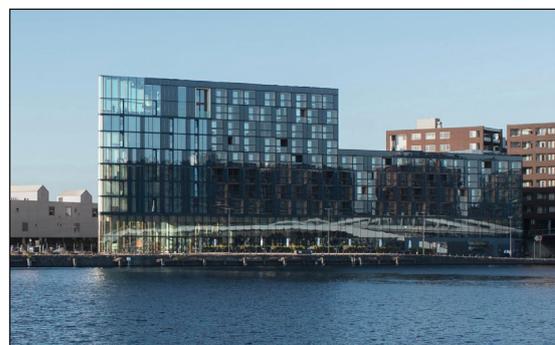
Mittlerweile konnte sich die Raumzellenbauweise aus Holz als Alternative zur konventionellen Holzbauweise bewähren. Großprojekte mit 200 bis 300 Raumzellen sind heute ohne Weiteres umsetzbar. Neben den bereits genannten Gebäuden entstanden vor allem in den letzten Jahren immer häufiger mehrgeschoßige Raumzellenbauten aus Holz im Bereich der Hochhausgrenze und sogar darüber hinaus.<sup>325</sup> Mit der *Wohnanlage Puukuokka* in Jyväskylä konnte das Architekturbüro *OOPEAA* 2015 den ersten achtgeschoßigen Holzbau Finnlands realisieren (siehe Abb. 104 a). Auf einem Sockelgeschoß aus Stahlbeton wurden bis zu sieben Geschoße in Raumzellenbauweise aus BSP errichtet.<sup>326</sup> 2017 und 2018 folgten dem Wohnbau zwei weitere Häuser mit sechs bzw. fünf Stockwerken aus vorgefertigten BSP-Raumzellen.<sup>327</sup> Das vom norwegischen Architekturbüro *ARTEC* entworfene *Wohnhochhaus Treet* in Bergen war bei seiner Fertigstellung im Jahr 2015 mit 14 Geschoßen das höchste Holzgebäude der Welt (siehe Abb. 104 b). Die primäre Tragstruktur des Wohnbaus wird von einer regalartigen Skelettkonstruktion aus BSH gebildet, in der selbsttragende, vorgefertigte Raumzellen in *Holzrahmenbauweise* bis zu vier Stockwerke hoch übereinandergestapelt worden sind.<sup>328</sup> Beim 2018 fertiggestellten, von *SeARCH architecten* geplanten *Hotel Jakarta* in Amsterdam wurden insgesamt acht Geschoße in Raumzellenbauweise auf einem Sockelgeschoß aus Stahlbeton errichtet (siehe Abb. 104 c). Dabei fertigte man 176 Hotelzimmer als Raumzellen in *Holz-Beton-Hybridbauweise* vor. Diese bestehen aus einer vorgefertigten Bodenplatte aus Stahlbeton sowie aus Wand- und Deckenelementen aus BSP.<sup>329</sup>



a



b



c

Abb. 104: Mehrgeschoßige Raumzellenbauten aus BSP  
 a Puukuokka, FIN | OOPEAA, ab 2015  
 b Treet, NOR | ARTEC, 2015  
 c Hotel Jakarta, NLD | SeARCH, 2018



**"IN FORM VON BRETTSPERRHOLZ [STEHT] EIN PLATTENMATERIAL ZUR VERFÜGUNG [...], DAS SICH OPTIMAL ZUM BAU VON RAUMZELLEN EIGNET, DAS ÖKOLOGISCHEN ANSPRÜCHEN GENÜGT, EIN OPTIMALES RAUMKLIMA BIETET, RELATIV LEICHT IST, ELEGANTE LEITUNGSFÜHRUNGEN ZULÄSST [...] UND NICHT ZULETZT AUCH BAUPHYSIKALISCH DEN MASSIVEN BAUSTOFFEN ÜBERLEGEN IST." <sup>330</sup>**

Hubert Rieß

## **MODULARE RAUMZELLENBAUWEISE IN BRETTSPERRHOLZ**

---

## Allgemeines

Wie im vorherigen Kapitel gezeigt werden konnte, hat die *Raumzellenbauweise in BSP* in den vergangenen zwei Jahrzehnten eine immer stärker werdende Rolle im Bauwesen eingenommen. Diese Entwicklung geschah aus mehreren Gründen. Zum einen liegt das Bauen mit Holz wegen der ökologischen Eigenschaften des Baustoffs seit vielen Jahren im Trend, zum anderen haben sich auch die technologischen Voraussetzungen für eine industrielle Vorfertigung im Holzbau wesentlich verändert. Mit verstärkter Digitalisierung und Automatisierung geht auch eine Optimierung des gesamten Bauprozesses von der Planung bis hin zur Fertigung und Montage einher. Aufgrund von Migration und zunehmender Urbanisierung wächst der weltweite Bedarf an rasch verfügbarem und kostengünstigem Wohnraum. Zudem steigen die Erwartungen an einen emissionsarmen und schnellen Bauablauf, um die Belastung der Anrainer einer Baustelle möglichst auf ein Minimum zu reduzieren. Allgemein verspricht man sich mit einer zunehmenden Industrialisierung und Modularisierung auch eine damit einhergehende Reduktion der gesamten Baukosten. Mit Raumzellen aus BSP können vielfältige Lösungsansätze zu allen genannten Aspekten geboten werden. Dabei weist die Raumzellenbauweise aus Holz klare Vorteile gegenüber Raumzellenbauweisen aus anderen Werkstoffen auf. Das geringe Eigengewicht des Materials ermöglicht die Fertigung und den Transport von verhältnismäßig großen Raumzellen. Aufgrund der weitgehend automatisierten Vorfertigung von Holzprodukten (BSH, BSP etc.) und der einfachen Fügemöglichkeiten mit standardisierten Verbindungsmitteln (System-

verbinder, Holzschrauben etc.) kann bereits die Produktion von wenigen Einheiten ökonomisch erfolgen. Bis zu einem gewissen Grad ist auch eine individualisierte bauliche Modifikation einzelner Raumzellen flexibel möglich. Im Gegensatz zu Raumzellen aus Stahlbeton stellt das Transportgewicht in der Regel keine Einschränkung dar. Die Investition in aufwendige Systemschalungen, welche sich zumeist erst bei der Produktion von hohen Stückzahlen rechnen, entfällt bei Raumzellen in reiner Holzbauweise zur Gänze. Auch kleine Holzbaunternehmen haben heute die Möglichkeit individuell produzierte Holzbauteile von großen Herstellern zu beziehen, wodurch die Fertigung von Raumzellen bereits mit verhältnismäßig geringen Investitionskosten realisierbar wird. Aus konstruktiver Sicht bedeuten die systembedingten, doppelschaligen Wand- und Deckenaufbauten der Raumzellenbauweise einen Mehraufwand, welcher im Holzbau jedoch zum Erreichen von *Schallschutzanforderungen* ohnehin erforderlich sein kann.<sup>331</sup> In der Regel werden mehrgeschoßige Holzbauten heute als Hybridkonstruktionen ausgeführt. Durch intelligente Kombination von Holz mit anderen Werkstoffen wie Stahlbeton oder Stahl kann, unter Berücksichtigung der materialspezifischen Eigenschaften, eine Optimierung des Gesamtsystems erreicht werden. Ebenso kommen Mischkonstruktionen aus unterschiedlichen Holzbauweisen (z. B. Wände in HLB und Decken in HMB) zum Einsatz.<sup>332</sup> Nach Ansicht des Verfassers liegt der Fokus bei der Weiterentwicklung der *Raumzellenbauweise aus BSP* zukünftig in einer verstärkten Industrialisierung und Modularisierung des gesamten Planungs- und Ausführungsprozesses.

## Einsatzbereiche von Raumzellen aus Brettsperrholz

Die vielen realisierten Projekte in den letzten Jahren veranschaulichen das enorme Potenzial der *Raumzellenbauweise in BSP* (siehe Abb. 105 a-d). Das Einsatzgebiet reicht von *Wohn- und Bürogebäuden* bis hin zu *Schulen und Kindergärten*. Mit ihren typischerweise wiederkehrenden Zimmerabfolgen sind *Hotels, Flüchtlingsunterkünfte, Studentenwohnheime, Pflegeeinrichtungen* oder *Krankenhäuser* besonders gut für eine Ausführung in Raumzellenbauweise geeignet. Neben dem Neubau von Gebäuden können Raumzellen aus BSP auch für die Bestandserweiterung und Nachverdichtung verwendet werden.<sup>333</sup> Vor allem im städtischen Raum bietet sich die Bauweise bei Zubauten von bestehenden Gebäuden, bei der Erschließung von Baulücken sowie bei Ersatzneubauten an. Auch bei der Aufstockung von zusätzlichen Geschossen auf bereits existierenden Bauten können Raumzellen aus BSP eine potenzielle Lösung darstellen.<sup>334</sup> Ob die Raumzellenbauweise in BSP für eine Bauaufgabe geeignet ist, hängt laut *Merz* von mehreren Faktoren ab. Neben der grundsätzlichen Bereitschaft des Planers mit Raumzellen zu arbeiten, sollte bei einem Bauvorhaben genügend Planungsvorlauf zur Verfügung stehen. Der Grundriss des Gebäudes ist idealerweise regelmäßig organisiert und besteht aus vielen kleinteiligen Nutzungseinheiten mit hohem Installationsgrad. Die typisch kurze Errichtungszeit der Bauweise und/oder die Option der Nachnutzung bei einem temporär errichteten Gebäude sollten für das Projekt von Vorteil sein. Treffen möglichst viele dieser Randbedingungen zu, steigen auch die Chancen für eine erfolgreiche Umsetzung eines Bauvorhabens in *Raumzellenbauweise in BSP*.<sup>335</sup>



a



b



c



d

Abb. 105: Verschiedene Einsatzbereiche von Raumzellen aus BSP

- a Wohnanlage "Wohnen 500" in Mäder | Johannes Kaufmann, 2016
- b Flüchtlingsunterkunft in Hannover | MOSAIK architekten, 2015
- c Sozialzentrum Pillerseetal | sitka.kaserer.architekten, 2011
- d Hotel Revier in Lenzerheide | Carlos Martinez Architekten, 2017

## Differenzierung von Raumzellen aus Brettsperrholz

Während die grundlegende Definition der *Raumzelle* bereits in den *Begriffsbestimmungen* erfolgt ist,<sup>336</sup> beschäftigt sich dieses Kapitel mit den baulichen Merkmalen verschiedener *Raumzellentypen*. Allgemein können Raumzellen nach diversen Aspekten unterschieden werden. Die hier vorgenommenen Kategorisierungen beziehen sich speziell auf die *Raumzellenbauweise in BSP*.

### Strukturtypologie

Die Differenzierung von Raumzellen nach ihrer Struktur stellt aus konstruktiver Sicht ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal dar.<sup>337</sup> Zumeist ist eine Raumzelle quaderförmig ausgebildet und besitzt einen rechteckigen Grundriss. Von den insgesamt sechs Begrenzungsflächen haben die jeweils gegenüberliegenden dieselbe Größe. Eine Raumzelle besteht daher in der Regel aus einem Boden, Längswänden, Querwänden und einer Decke bzw. einem Dach (siehe Abb. 106 a).<sup>338</sup>

Ausgehend von dieser quaderförmigen Raumzelle, welche in der Praxis am häufigsten auftritt, kann anhand der Anzahl der geschlossenen bzw. offenen Seitenflächen (vertikale Flächen) eine Unterscheidung vorgenommen werden. Von der *allseitig geschlossenen Raumzelle* bis hin zur *allseitig offenen Raumzelle* sind verschiedene Zwischenstufen möglich (siehe Abb. 106 a-e).<sup>339</sup>

Ebenso können auch lediglich Teilbereiche der Seitenflächen offen ausgebildet sein (siehe Abb. 106 f). Öffnungen im Bereich der Decke und/oder des Bodens (horizontale Flächen) sind ebenfalls umsetzbar und kommen beispielsweise bei Raumkonfigurationen über

zwei oder mehrere Geschoße sowie bei Treppenhäusern vor (siehe Abb. 106 g, h). Werden eine oder mehrere Seitenflächen weggelassen, hat dies Auswirkungen auf die Ausbildung der Tragstruktur, auf den Transport sowie auf die Montage der Raumzellen (siehe Abb. 106 i).<sup>340</sup> Eine Nutzungseinheit kann innerhalb einer Raumzelle liegen oder sich über mehrere Raumzellen erstrecken.<sup>341</sup> Wird ein kompletter Raum aus einer allseitig geschlossenen Raumzelle gebildet (z. B. ein Zimmer innerhalb einer Wohnung), spricht man von einem sogenannten *Einzeller*. Setzt sich ein Raum aus zwei oder mehreren, ein- oder mehrseitig offenen Raumzellen zusammen (z. B. ein Klassenzimmer), ist auch von einem sogenannten *Mehrzeller* die Rede (siehe Abb. 106 j, k).<sup>342</sup>

### Lage im Gebäude

Raumzellen können nach ihrer Lage im Gebäude oder nach ihrer Lage im Raum selbst, falls dieser als *Mehrzeller* ausgebildet ist, differenziert werden. Dabei ist zwischen einer *Randlage* und einer *Mittenlage* zu unterscheiden. Während Raumzellen in *Randlage* immer die äußere Begrenzung bilden, liegen Raumzellen in *Mittenlage* stets zwischen den erstgenannten. Raumzellen in *Mittenlage* können dabei sowohl überwiegend offen als auch überwiegend geschlossen sein (siehe Abb. 106 k).<sup>343</sup>

### Typisierte Raumzellengrößen

Um einen möglichst hohen Standardisierungsgrad zu erreichen, kann die Festlegung von typisierten Raumzellengrößen für ein Projekt sinnvoll sein. Eine solche Einteilung kann bei-

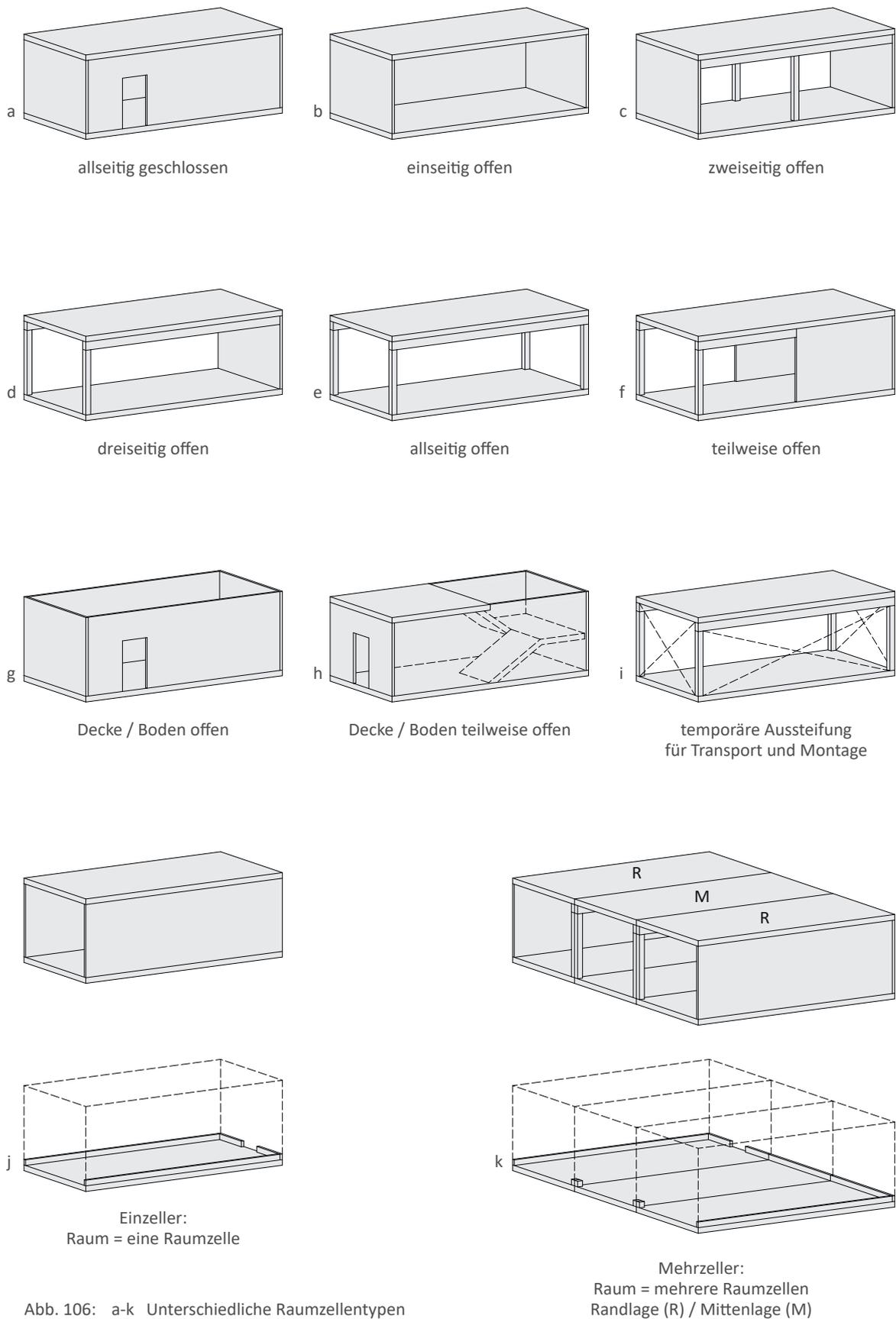


Abb. 106: a-k Unterschiedliche Raumzellentypen

spielsweise als Grundlage für die Entwicklung eines projektunabhängigen *Systembaukastens* dienen. Basierend auf einem *Grundmaß* [M] sind verschiedene, jedoch standardisierte Größen einer Raumzelle (z. B. "small", "medium" und "large") denkbar (siehe Abb. 107).<sup>344</sup> Bei einer modularen Konzeption entsprechen alle Abmessungen der Raumzelle einem Vielfachen des *Grundmaßes* ( $n \times [M]$ ). Mit zunehmender Anzahl verschiedener Größen steigt naturgemäß die Variabilität des Systems, während der erreichbare Standardisierungsgrad gleichzeitig abnimmt.<sup>345</sup>

## Bauweise

Neben einer gänzlichen Ausführung in *Brettsperrholzbauweise* können Raumzellen in verschiedenen *Mischbauweisen* gefertigt werden (siehe Abb. 108 a-d). Dabei ist eine Kombination von flächigen BSP-Elementen mit Brettstapel- oder Rahmenbauelementen möglich. Ebenso kann BSP zusammen mit linearen Bauteilen wie Stützen oder Trägern (aus BSH, KVH, FSH etc.) zum Einsatz kommen, was bei ein- oder mehrseitig *offenen Raumzellen* häufig der Fall ist. Des Weiteren stellen diverse *Hybridbauweisen* eine Option dar. Beispielsweise können für den Boden einer Raumzelle aus *Schallschutzgründen* Holz-Beton-Verbundsysteme oder Stahlbetonfertigteile eingesetzt werden, welche mit Wand- und Deckenelementen aus BSP kombiniert werden.<sup>346</sup> Nur in Ausnahmefällen werden Gebäude ausschließlich in Raumzellenbauweise errichtet. Für bestimmte Teile einer Konstruktion sind konventionelle Baumethoden besser geeignet. Daher ist bei einem Bauvorhaben die Festlegung der Schnittstellen zwischen verschiedenen Bauweisen von wesentlicher Bedeutung.<sup>347</sup>

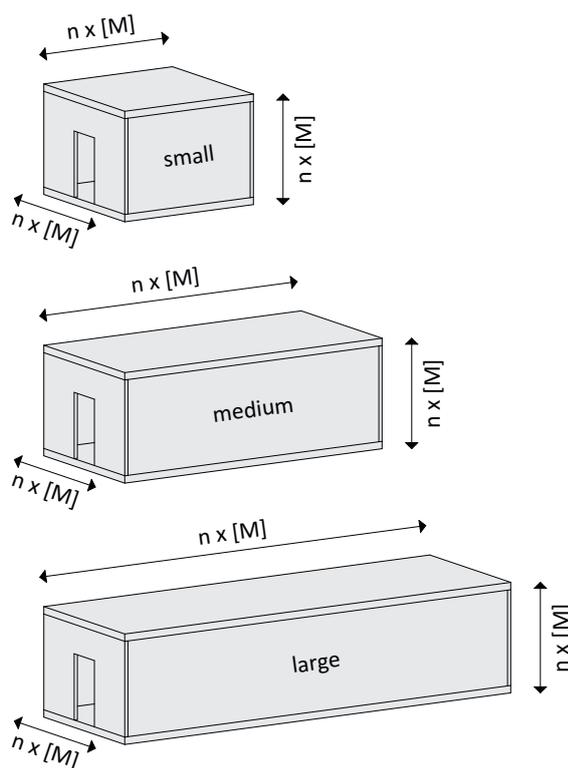


Abb. 107: Typisierte Raumzellengrößen | small | medium | large

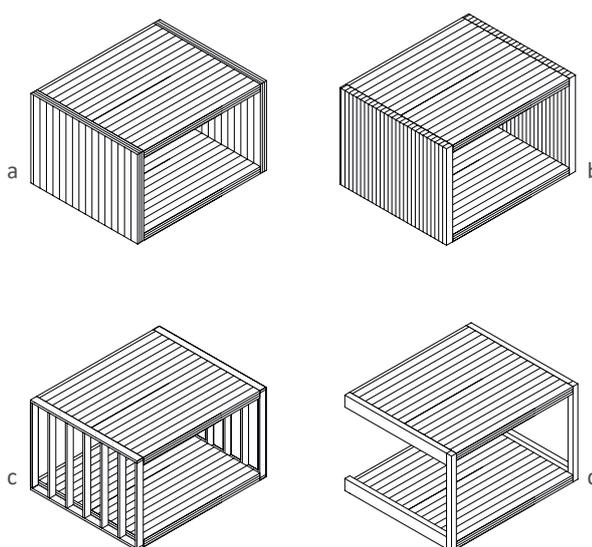


Abb. 108: Bauweisen von Holz-Raumzellen  
a Brettsperrholzbauweise  
b Kombination aus Brettstapel und BSP  
c Kombination aus Rahmenbau und BSP  
d Kombination aus Stützen/Trägern und BSP

## Tragwerkshierarchie

Im Allgemeinen kann zwischen *eingestellten, selbsttragenden Raumzellen* und *lastabtragenden Raumzellen* unterschieden werden (siehe Abb. 109 a, b). Allein schon für die Transport- und Montagesituation sind Raumzellen grundsätzlich immer so bemessen und konstruiert, dass sie ihr Eigengewicht selbst abtragen können. Bei entsprechender konstruktiver Ausführung können *lastabtragende Raumzellen* auch mehrgeschoßig übereinandergestapelt werden sowie Lasten aus flächigen Bauteilen übernehmen (siehe Abb. 109 c).<sup>348</sup> Beispielsweise wurden beim *Studentenwohnheim Woodie* in Hamburg (siehe Abb. 102 e) sechs Raumzellen und bei der *Wohnanlage Puukuokka* in Jyväskylä (siehe Abb. 104 a) sieben Raumzellen in reiner *Brettsperrholzbauweise* gestapelt. Für das *Hotel Jakarta* in Amsterdam (siehe Abb. 104 c) kamen sogar acht übereinanderliegende, *lastabtragende Raumzellen* in *Holz-Beton-Hybridbauweise* zum Einsatz.<sup>349</sup>

*Eingestellte, selbsttragende Raumzellen* werden häufig in Form von vorgefertigten *Sanitärzellen* bei Apartments oder Hotels angewandt. Dabei liegt der Fokus auf der Vorfabrikation der TGA von hochinstallierten Gebäudebereichen, wohingegen die weniger komplexen Bereiche mit flächigen Bauteilen vor Ort errichtet werden. Des Weiteren können Raumzellen nach dem *Raum-im-Raum-Prinzip* in flächige Gebäudestrukturen eingestellt werden (siehe Abb. 109 d) oder als vorgefertigte Lift- bzw. Installationsschächte unabhängig von der restlichen Tragstruktur des Gebäudes ausgelegt sein.<sup>350</sup>

Beim *Wohnhochhaus Treet* in Bergen (siehe Abb. 104 b) wurde zum Beispiel eine Kombi-

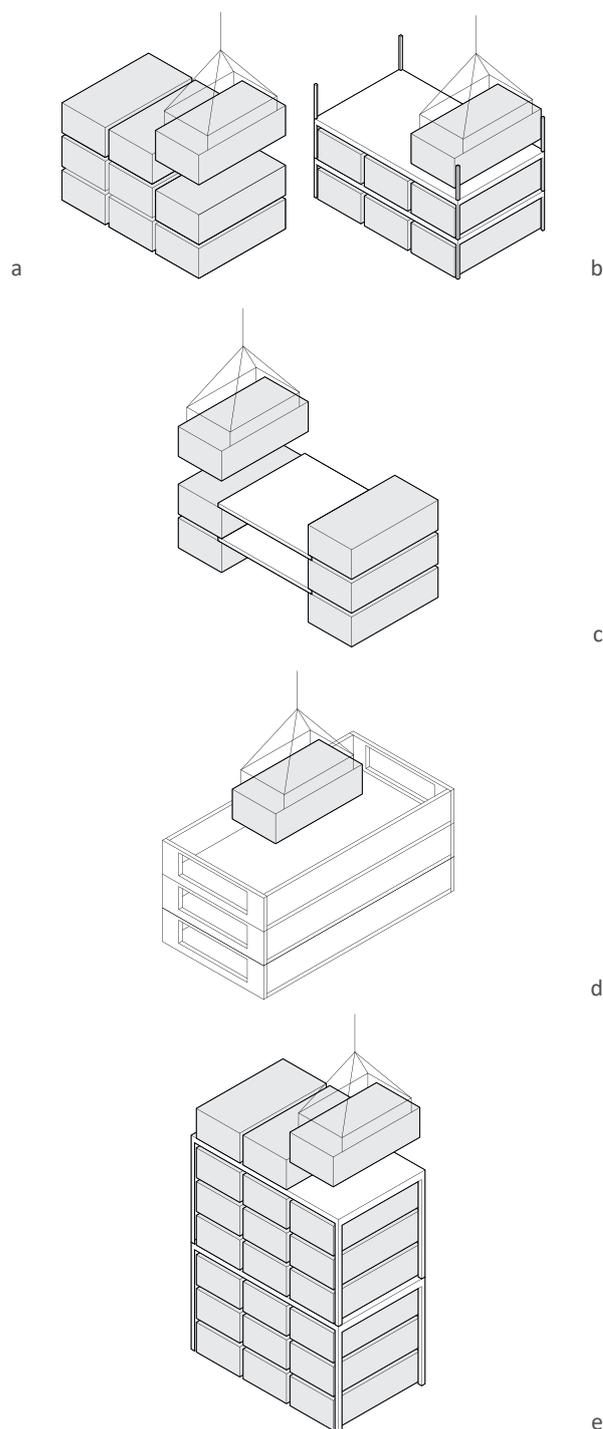


Abb. 109: Tragwerkshierarchie

- a lastabtragende Raumzellen
- b eingestellte, selbsttragende Raumzellen
- c selbsttragende Raumzellen mit eingehängten, flächigen Deckenscheiben
- d eingestellte Raumzelle in flächiger Gebäudestruktur
- e Kombination aus eingestellten und lastabtragenden Raumzellen

nation aus *eingestellten und lastabtragenden Raumzellen* verwendet (siehe Abb. 109 e).<sup>351</sup>

## Vorfertigungsgrad

Raumzellen können in verschiedenen Ausbaugraden vorgefertigt werden. Während bei *Raumzellen im Rohbauzustand* (die z. B. bei der Erweiterung vom *Hotel Fetz* angewandt wurden - siehe Abb. 95 a) lediglich die Tragstruktur vorgefertigt und der Ausbau auf der Baustelle durchgeführt wird, kommen *vollständig im Werk vorgefertigte Raumzellen* bereits weitgehend fertiggestellt auf die Baustelle. Um die Vorteile der Raumzellenbauweise jedoch bestmöglich nutzen zu können, ist ein hoher Vorfertigungsgrad der Raumzellen anzustreben. Das bedeutet, dass im besten Fall alle Ausbauarbeiten so weit wie möglich bereits im Werk stattfinden.<sup>352</sup>

## Funktion

Aufgrund des hohen Vorfertigungsgrades enthalten *vollständig im Werk vorgefertigte Raumzellen* neben den raumbildenden Bauteilen (Wand-, Boden-, Deckenelemente etc.) üblicherweise noch weitere Ausbauelemente (Fenster, Türen, Sanitär- und Elektroinstallationen etc.) und eventuell sogar bereits Einrichtungsgegenstände (Möblierung, Vorhänge etc.). Abhängig von der Ausstattungs- und Nutzungsart einer Raumzelle kann eine Einteilung hinsichtlich ihrer Funktion erfolgen. Als Beispiele können die *Büroraumzelle* und die *Sanitärraumzelle* genannt werden.<sup>353</sup>

## Ausstattung

Bei der Qualität der Innenausstattung sowie der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) einer Raumzelle kann bei vordefinierten *Systembaukästen* beispielsweise eine Einteilung in *"standard"* und *"exklusiv"* getroffen werden.<sup>354</sup>

## Oberflächengestaltung

Für die Gestaltung der raumseitigen Oberflächen einer Raumzelle bieten sich mit der *Brettsperrholzbauweise* diverse Möglichkeiten (siehe Abb. 110 a, b). Grundsätzlich ist BSP mit unterschiedlichen Oberflächenqualitäten der Decklage in *Sicht-, Industriesicht-* oder *Nicht-sichtqualität* erhältlich. Letztere wird überwiegend im konstruktiven Bereich eingesetzt, falls eine nachträgliche Bekleidung mit Gipskarton-Bauplatten (GKB) aus gestalterischen oder bauphysikalischen Gründen erfolgt.<sup>355</sup>

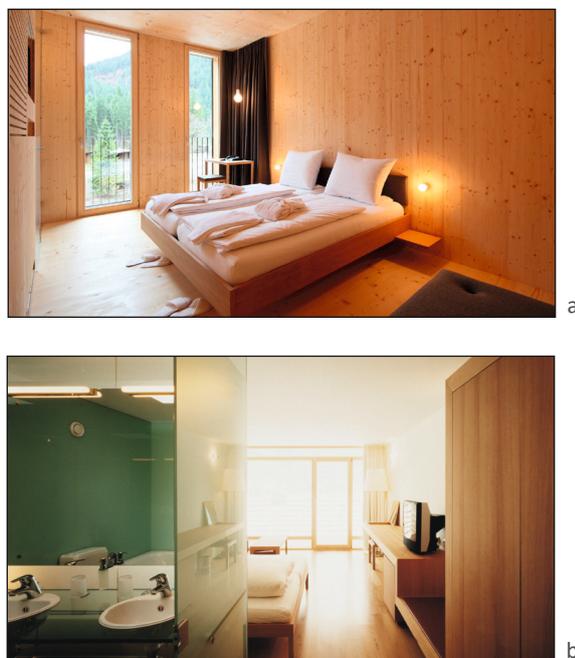


Abb. 110: Oberflächengestaltung von BSP-Raumzellen  
 a Holzoberflächen in Sichtqualität  
 b Bekleidung der Oberflächen mit GKB

## Planung und Berechnung

Der Vorfertigungsprozess bestimmt den Entwurf und die statisch-konstruktive Auslegung von Raumzellenbauten viel stärker als bei allen übrigen Bauweisen.<sup>356</sup> Was es bei der Planung und Berechnung von *Raumzellen aus BSP* besonders zu beachten gilt, wird in diesem Abschnitt erläutert.

### Entwurf

Die Raumzelle nimmt bereits zu Beginn der Planungsphase einen Einfluss auf den Entwurf eines Gebäudes, da die Raumabfolge konsequenterweise mit der *"Logik der Raumzelle"* in Einklang gebracht werden muss. Durch diese räumlichen Rahmenbedingungen wird der ganze Entwurfsprozess entscheidend geprägt. Die Strukturierung von kleinteiligen Grundrissen mit großteils abgeschlossenen Räumen (z. B. Hotelzimmer) lässt sich dabei sehr einfach mit *allseitig geschlossenen Raumzellen* gestalten. Der Einsatz von *offenen Raumzellen* kann bei der Konzeption von Räumen, die sich über mehrere Raumzellen hinweg erstrecken, aber auch zu einer komplexen Entwurfsaufgabe werden. Hierbei gilt es, vor allem bei mehrgeschoßigen Bauten schon in der Entwurfsphase die räumlich-funktionalen Grenzen sowohl aus statischen Gründen als auch in bauphysikalischer Hinsicht (*Brandschutz, Schallschutz* etc.) mit den konstruktiven Grenzen der Raumzellen abzustimmen. Die Vielfalt an potenziellen Lösungsmöglichkeiten ist dabei grenzenlos.<sup>357</sup>

Die Abbildung eines kompletten Raumes, der sich typischerweise öfters wiederholt, stellt die ursprüngliche Idee der Raumzelle dar (Ausbildung als *Einzeller*). In einem nächsten

Schritt ist die Sanitärraumzelle innerhalb der Raumzelle integriert worden. Dieser Grundtyp kommt heute am häufigsten vor und wird in unterschiedlichen Variationen beispielsweise bei *Hotels, Flüchtlingsunterkünften, Studentenwohnheimen, Pflegeeinrichtungen* und *Krankenhäusern* eingesetzt. Aber auch ganze Wohnungen mit durchgestecktem Grundriss finden mittlerweile in einer Raumzelle Platz. Ebenso ist die Aufteilung eines Apartments über mehrere Raumzellen möglich. Stimmen dabei die Raumgrenzen mit den konstruktiven Grenzen der Raumzelle überein und werden die Räume lediglich über einzelne Türen erschlossen, kann in den meisten Fällen die Vorfertigung der Raumzellen inklusive Fußbodenaufbauten erfolgen. Auf der Baustelle müssen dann nur noch die vorhandenen Stoßstellen verschlossen werden. Die Ausbildung von größeren Räumen als *Mehrzeller* erfolgt heute sehr häufig bei *Büro-, Schul- und Kindergartenbauten*. Dabei werden beispielsweise Klassenzimmer oder Gruppenbüros aus zwei oder mehreren Raumzellen zusammengesetzt. Hierbei ist es erforderlich, dass der Fußbodenaufbau bzw. der Bodenbelag erst vor Ort fertiggestellt wird, um ein unerwünschtes Fugenbild zu vermeiden. Abgesehen von einer rechtwinkligen Reihung und Stapelung von Quadern sind heute prinzipiell jegliche Frei- und Sonderformen von Raumzellen in beliebigen Anordnungen denkbar. Solche, zumeist individuelle Lösungen weisen naturgemäß einen geringen Standardisierungsgrad auf. Sie erfordern eine entsprechend aufwendige Ausführungsplanung und Fertigung, weshalb eine Abweichung von quaderförmigen Raumzellen immer mit einem Mehraufwand in der

Planung und Ausführung verbunden ist.<sup>358</sup>

Die Basis für eine modulare Konzeption einer BSP-Raumzelle stellt die Festlegung eines *Grundmaßes* [M] (z. B. [M] = 100 mm) dar. Aufbauend auf diesem Maß können alle Bauteilabmessungen einer Raumzelle als ein Vielfaches dieses Maßes ( $n \times [M]$ ) ausgedrückt werden. Mit Hilfe eines dreidimensionalen *modularen Rasters* (z. B.  $30 [M] \times 30 [M] \times 30 [M]$ ) können Lage und Größe dieser Raumzelle im Gebäude eindeutig bestimmt werden. In Anlehnung an das CMC von A. F. Bemis ist in Abb. 111 die Modularisierung einer Raumzelle aus BSP beispielhaft dargestellt.<sup>359</sup>

Mit der Raumzellenbauweise lassen sich alle gängigen *Gebäudetypologien* umsetzen (siehe Abb. 112 g-j). Ein *linearer Erschließungstyp* (*Laubengang, Mittelflur*) eignet sich besonders für Gebäude mit vielen kleinteiligen Nutzungseinheiten wie *Apartmenthäuser, Hotels, Studentenwohnheime, Pflegeeinrichtungen* und dergleichen. Bei diesem Typ bietet sich die Möglichkeit an, mehrere vertikale Erschließungskerne vorzusehen. Dadurch können voneinander unabhängige Fluchtwege geschaffen werden, welche sich vor allem im mehrgeschoßigen Holzbau in den höheren *Gebäudeklassen* hinsichtlich des *Brandschutzes* als vorteilhaft erweisen können. Mit einem *punktuellen Erschließungstyp* (*Punkthaus, Spänner*), welcher bei Wohnbauten gerne eingesetzt wird, kann nur eine begrenzte Anzahl von Nutzungseinheiten erschlossen werden. Ebenso sind auch verschiedene Kombinationen der genannten Erschließungstypen möglich. Auch eine Abweichung von regelmäßigen Grundrissformen kann durch individuelle Ausgestaltung der Erschließungszone erfolgen, ohne von einer regelmäßige Ausbildung der Raumzellen abkommen zu müssen.<sup>360</sup>

Hinsichtlich der Konzeption unterschiedlicher *Wohnungstypen* (z. B. *1-ZI-WG, 2-ZI-WG, 3-ZI-WG, 4-ZI-WG, 5-ZI-WG*) sind mit der Raumzellenbauweise so gut wie keine Grenzen gesetzt. Dabei können auch unterschiedliche Varianten desselben Wohnungstyps ohne Einschränkungen zur Anwendung kommen (siehe Abb. 112 a-f).<sup>361</sup> Aus gestalterischer Sicht bietet die *Raumzellenbauweise in BSP* eine enorme Flexibilität und Variabilität, die gegenwärtig jedoch nicht bei allen Projekten voll ausgeschöpft wird. Gerade im mehrgeschoßigen Wohnbau könnte die Bauweise zukünftig vermehrt eingesetzt werden. In den schnell wachsenden Städten würde man damit zusätzlichen Wohnraum in kurzer Zeit und in großen Mengen schaffen können. Generell ist die Raumzellenbauweise heute mit hohen Erwartungen aber auch mit vielen Vorurteilen konfrontiert. Einerseits soll mit der Bauweise das *digitalisierte und automatisierte Bauen* nach dem Vorbild der *Automobilindustrie* ermöglicht werden. Dabei erhofft man sich durch Standardisierung und serielle Fertigung eine Baukostensenkung. Andererseits wird häufig befürchtet, dass durch einen hohen Standardisierungsgrad die bauliche Individualität - wie bei den monotonen *"Plattenbausiedlungen"* im ehemaligen Ostblock ab Mitte der 1950er-Jahre - verloren geht. Die richtige Anwendung vorausgesetzt, eröffnen sich mit der Raumzellenbauweise großartige gestalterische Chancen und Möglichkeiten. Das belegt die zum Teil sehr hohe architektonische Qualität der vorgestellten Projekte in dieser Arbeit. Die bloße Anwendung der Bauweise allein führt jedoch nicht zwingend zu geringeren Baukosten. Vielmehr bietet sie ein ausgewogenes Verhältnis zwischen getätigtem Aufwand und erreichter Ausführungsqualität.<sup>362</sup>

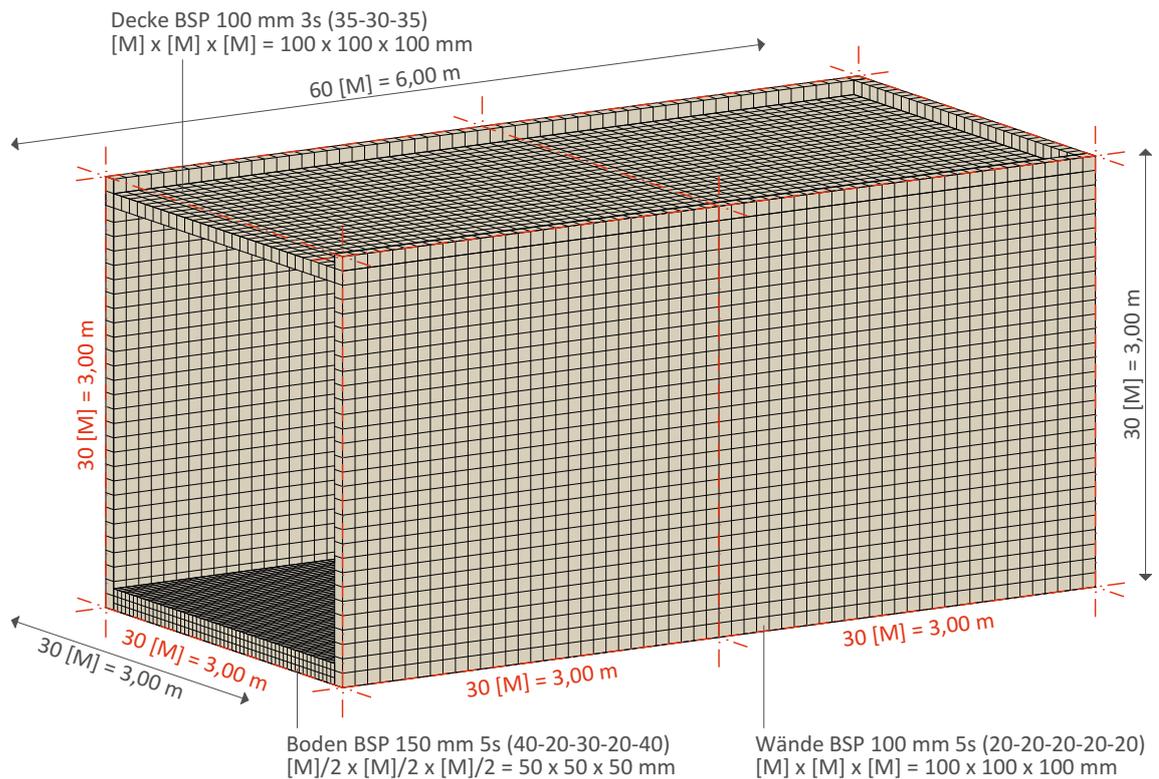


Abb. 111: Modularisierung einer Raumzelle aus BSP | Grundmaß [M] = 100 mm | Raster 30 [M] x 30 [M] x 30 [M] | Außenabmessungen der Raumzelle: 60 [M] x 30 [M] x 30 [M] = 6,00 m x 3,00 m x 3,00 m (L/B/H)

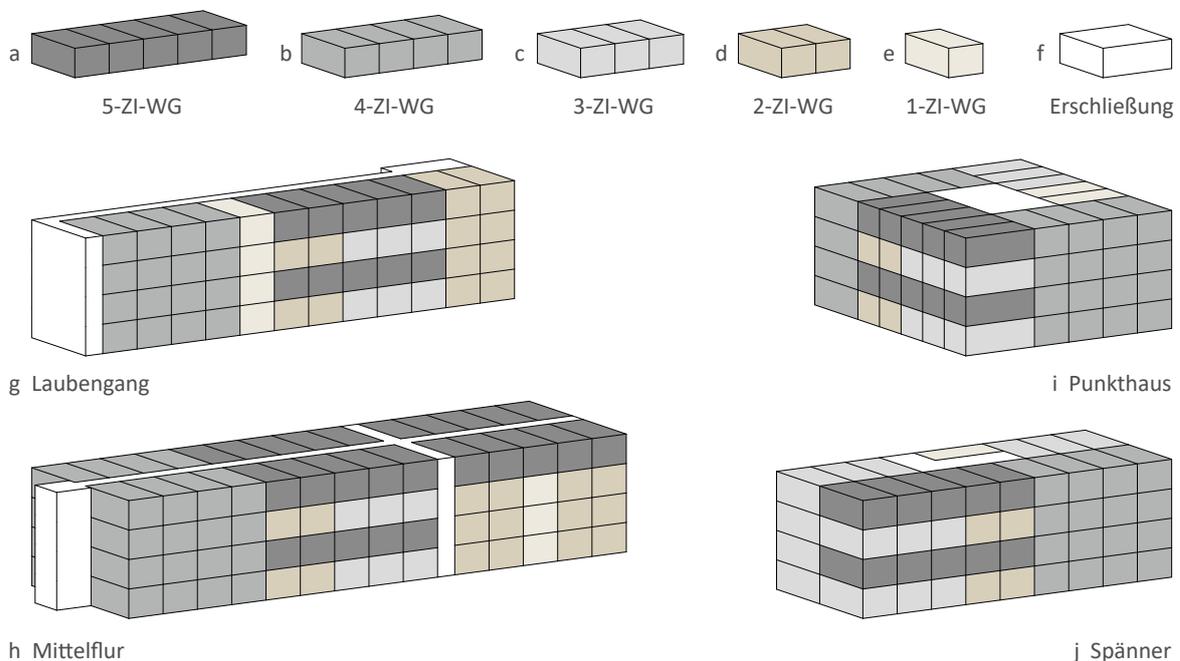


Abb. 112: a-f Unterschiedliche Wohnungstypen | Eine Wohnung kann sich über eine oder mehrere Raumzellen erstrecken. Innerhalb einer Wohnung können auch offene Raumzellen eingesetzt werden, um die Raumbegrenzung (nichttragende Zwischenwände) von den Grenzen der Raumzellen (Tragstruktur) unabhängig gestalten zu können.  
g-j Mit der Raumzellenbauweise sind unterschiedliche Gebäudetypologien mit einem variablen Wohnungsmix möglich.

## Statik und Bauphysik

Für die folgenden Überlegungen wird eine quaderförmige BSP-Raumzelle mit rechteckigem Grundriss betrachtet. Im Idealfall sind aus Sicht der Statik, Produktion und Logistik alle sechs Flächen der Raumzelle geschlossen, wodurch eine in sich stabile Einheit entsteht. Sobald man eine Seite des Quaders weglässt, ist dieser statisch instabil. In diesem Fall muss die Raumzelle jedenfalls für die Dauer des Transports und der Montage vorübergehend ausgesteift werden. Dies kann beispielsweise mit einer Auskreuzung aus zwei diagonal angeordneten Zugstäben oder Spanngurten, mit einer drucksteifen Diagonalstrebe oder mit Wandscheiben aus Holzwerkstoffplatten erfolgen. Ebenso muss die Raumzelle zum Witterungsschutz für den genannten Zeitraum verschlossen werden.<sup>363</sup>

Üblicherweise werden die vertikalen Lasten bei *geschlossenen Raumzellen* über die Längswände aus BSP abgetragen. Dadurch kann der Boden und die Decke über die kurze Seite der Raumzelle gespannt werden, was zu wirtschaftlichen Bauteildimensionen der BSP-Elemente führt. Zudem werden die Querwände, falls diese zum Gang und zur Fassade hin ausgerichtet sind, häufig mit Öffnungen versehen (Fenster, Türen, Durchbrüche für Installationen etc.). In der Regel erfolgt die Lastabtragung des Bodens und der Decke unabhängig voneinander. Während der Boden Lasten aus dem Fußbodenaufbau, nichttragenden Zwischenwänden und Nutzlasten aufnehmen muss, trägt die Decke nur sich selbst und eventuelle Auflasten aus Zwischenschichten (z. B. Dämmungen, GKB etc.) oder im Fall der obersten Raumzelle auch Lasten aus Dachaufbauten (z. B. Dämmungen, Abdichtungen etc.). Bei

ein- oder mehrseitig *offenen Raumzellen* gelten prinzipiell dieselben Überlegungen. Wird allerdings eine Längswand ganz weggelassen, müssen andere Maßnahmen getroffen werden. Um die Decke weiterhin über die kurze Seite der Raumzelle spannen zu können, müssen Unterzüge aus BSH oder FSH an den offenen Seiten angeordnet werden. Diese können auf den Querwänden aus BSP oder auf Stützen aus BSH oder FSH in den Eckbereichen der Raumzelle aufgelagert werden. Der Boden der Raumzelle kann auf den Unterzügen der darunterliegenden Einheit bzw. direkt auf dem Fundament oder der Geschoßdecke aufliegen. Alternativ dazu können Boden und Decke auch in Längsrichtung der Raumzelle gespannt werden. In diesem Fall erfolgt die Lastabtragung durch die Querwände. Zur Überbrückung sehr großer Spannweiten eignen sich aufgelöste Systeme grundsätzlich besser (z. B. BSP-BSH-Rippenplatten oder Hohlkastenelemente). Bei der Ausbildung von Treppenhäusern innerhalb einer Raumzelle sind auch Öffnungen im Boden und/oder der Decke notwendig. Auch hierbei muss für eine entsprechende Aussteifung während des Transports und der Montage gesorgt werden.<sup>364</sup>

Für jede Raumzelle sind abhängig von ihrer Lage im Gebäude unterschiedliche Einwirkungen zu berücksichtigen. Dabei wirken jedenfalls die Verkehrslast sowie das Eigengewicht von Boden und Decke als vertikale Flächenlasten, das Eigengewicht der Wände als vertikale Linienlasten und bei Erdbebenbeanspruchung auch horizontale Ersatzlasten als Einzelkräfte auf die Raumzelle. Bei Raumzellen, die an der Fassade liegen, wirken zusätzlich noch Kräfte aus Windeinwirkungen als horizontale Flächenlasten. Kommen mehrere Raumzellen aneinandergereiht und/oder übereinanderge-

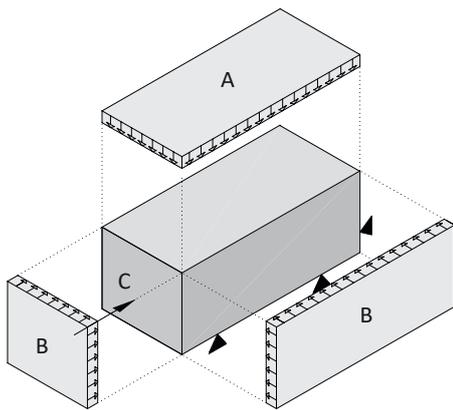


Abb. 113: Einwirkungen auf eine einzelne Raumzelle  
 A vertikale Flächenlast aus Eigengewicht und Nutzlast  
 B horizontale Flächenlast aus Wind  
 C Einzellasten aus Lastweiterleitung von angrenzenden Raumzellen

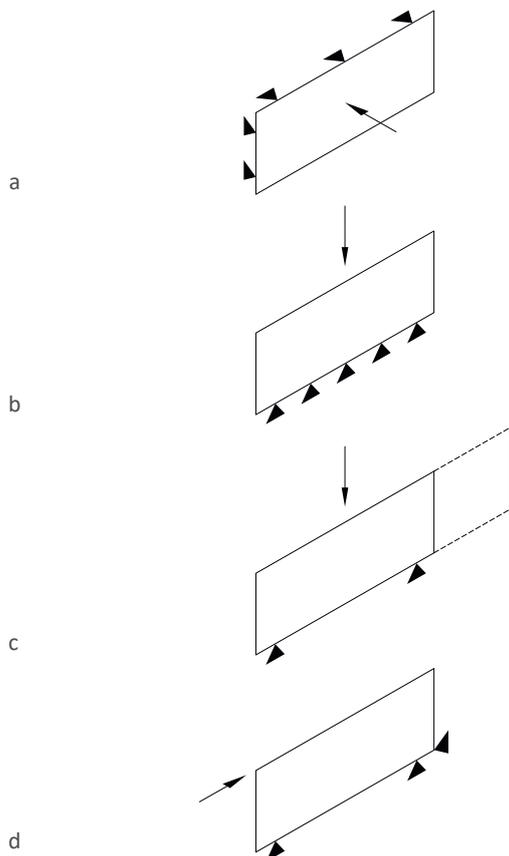


Abb. 114: Prinzipielle statische Beanspruchungen und Auflagerreaktionen eines BSP-Wandbauteils  
 a Plattenbeanspruchung aus Wind oder Nutzlast  
 b Druckbeanspruchung  
 c Scheibenbeanspruchung durch punktuelle Lagerung und/oder Auskragung  
 d Scheibenbeanspruchung durch Ableitung von Wind- und Erdbebenlasten

stapelt zum Einsatz, müssen zudem noch - je nach Lage der betrachteten Raumzelle - Punkt- und/oder Linienlasten infolge der Lastweiterleitung aus anderen Raumzellen berücksichtigt werden (siehe Abb. 113). Die genannten Einwirkungen beanspruchen die jeweiligen Bauteile der Raumzelle (Boden, Decke, Wände) scheiben- und/oder plattenförmig (siehe Abb. 114 a-d), wodurch Biegemomente, Normal- und Schubkräfte entstehen. Um die Größe dieser Schnittkräfte ermitteln zu können, muss zuerst das Gesamtsystem konzeptionell erfasst werden. Dabei soll die Kraftableitung möglichst auf direktem Weg in die Fundamente erfolgen. Anschließend können die entsprechenden Nachweise (ULS und SLS) an den maßgebenden Bauteilen geführt werden.<sup>365</sup>

Eine statische Berechnung von mehrstöckigen Raumzellenbauten aus BSP verlangt in der Praxis nach einer vertieften Auseinandersetzung mit der Bauweise im Vorfeld der ersten Anwendung. Die Modellbildung und Nachweisführung in einem FEM-Programm werden in dieser Arbeit nicht behandelt.

Da BSP sowohl plattenförmig als auch scheibenförmig beansprucht werden kann, eignet es sich auch bei mehrgeschoßigen Bauten sehr gut zur Abtragung von hohen Aussteifungslasten (siehe Abb. 115 a). Zudem können Wandscheiben einer Raumzelle aus BSP als wandartige Träger herangezogen werden, um große Spannweiten zu überbrücken oder Auskragungen zu realisieren (siehe Abb. 114 c). Generell gibt es mehrere Möglichkeiten wie Raumzellenbauten aus BSP horizontal ausgesteift werden können. In der Regel werden die einzelnen Raumzellen kraftschlüssig miteinander verbunden und wirken daher miteinander im Verbund, was zu unterschiedlich starken Beanspruchungen der jeweiligen Raumzellen

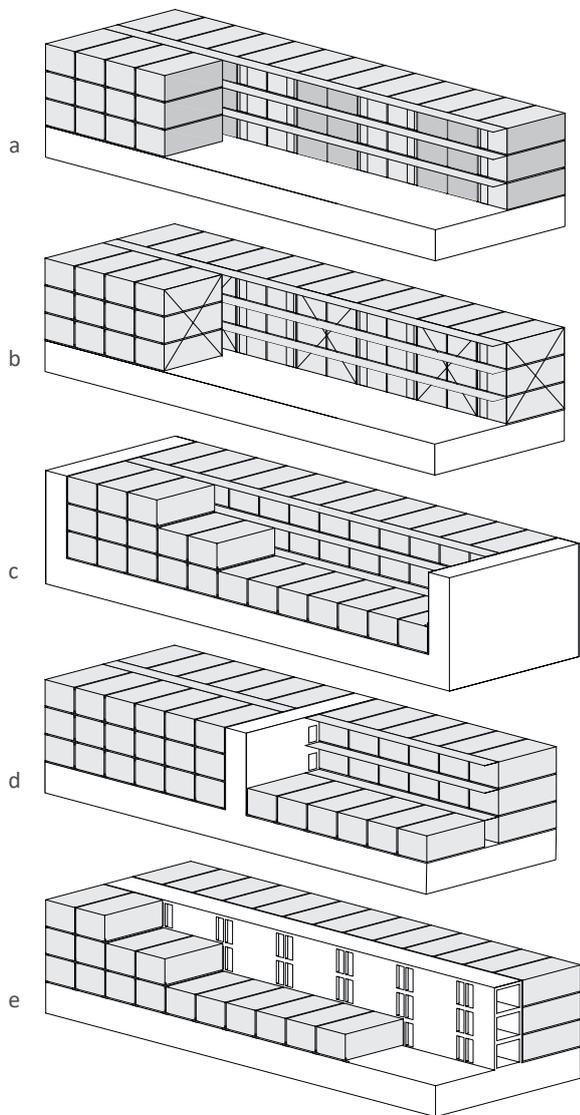


Abb. 115: Schematische Darstellung von Aussteifungsmöglichkeiten bei Raumzellenbauten in BSP | In Längsrichtung der Raumzellen erfolgt die Aussteifung in der Regel über die vielen Wandscheiben

- a Aussteifung der Raumzellen in beiden Richtungen über die Wandscheiben
- b Aussteifung mit Zugdiagonalen
- c In Querrichtung der Raumzellen erfolgt die Aussteifung durch Einklemmen der Raumzellen zwischen zwei Kernen
- d Raumzellen werden in beide Richtungen an einen Kern angeschlossen
- e zug- u. druckfester Anschluss der Raumzellen in Längsrichtung an einen zentralen Kern

führt. Um verschiedene konstruktive Ausbildungen zu vermeiden, versucht man häufig die Raumzellen mit unabhängigen, zumeist vor Ort errichteten Bauteilen auszusteiern. Dies kann beispielsweise durch außenliegende Abspannungen oder durch Kopplung der Raumzellen mit Erschließungskernen erfolgen (siehe Abb. 115 b-e).<sup>366</sup>

Die Verbindung erfolgt dabei an den Begrenzungsflächen der Raumzellen, welche in vielen Fällen mit den Grenzen von verschiedenen Nutzungseinheiten übereinstimmen (Trennwände und Trenndecken). Konstruktionsbedingt kommt es dabei zu doppelschaligen Wand- und Deckenaufbauten mit dazwischenliegenden Dämmschichten (z. B. aus Mineralwolle). Wie bereits in dieser Arbeit erwähnt, bedeutet das einen konstruktiven Mehraufwand und damit einen zusätzlichen Materialeinsatz, welcher sich unvorteilhaft auswirkt. Aus bauphysikalischer Sicht stellt die Doppelschaligkeit jedoch einen Vorteil dar, da die Entkopplung der tragenden Bauteile sich positiv auf den *Schallschutz* der gesamten Konstruktion auswirkt. Je mehr konstruktive Verbindungsstellen geschaffen werden, desto geringer ist dieser Nutzen. Aus diesem Grund sollten möglichst wenige Verbindungen (z. B. punktuell mit Stahlblechen und Holzschrauben) angestrebt werden.<sup>367</sup>

Zudem sind übereinandergestapelte Raumzellen aus *Schallschutzgründen* mit elastischen Zwischenlagern (z. B. aus Polyurethan) zu entkoppeln. Die Übertragung von Schubkräften kann konstruktiv durch geometrischen Formschluss (z. B. in Form von Schubknaggen und Taschen) und/oder durch Reibung erfolgen. Diese Vorrichtungen können gleichzeitig zur Selbstzentrierung der Raumzellen bei der Montage verwendet werden (siehe Abb. 116).

Daneben kann in speziellen Fällen eine Sicherung gegen Abheben erforderlich sein.<sup>368</sup>

Des Weiteren gilt es bei mehrgeschoßigen Raumzellenbauten aus BSP zu beachten, dass es durch die Doppelung der Bauteile zu sehr vielen liegenden Holzbauteilen kommt, welche quer zur Faser beansprucht werden (siehe Abb. 117 a). Aufgrund dieser Querdruckbelastung und/oder durch Schwindprozesse nach dem Einbau (infolge einer Feuchtigkeitsabnahme des Bauteils) kann es zu Setzungen in diesen Bereichen kommen. Das führt an den Übergängen zu Bauteilen, die in einer anderen Bauweise ausgeführt sind (z. B. Erschließungskern aus Stahlbeton), aufgrund des sehr unterschiedlichen Verformungsverhaltens unter Umständen zu Problemen. Dem kann durch eine direkte Lastweiterleitung von parallel zur Faser belasteten Holzbauteilen entgegengewirkt werden, da die Setzungen dabei minimal ausfallen (siehe Abb. 117 b).<sup>369</sup>

Aus der Sicht des *Brandschutzes* sind, je nachdem welches Bauteil betrachtet wird, Anforderungen an die *Tragfähigkeit* (R), den *Raumabschluss* (E) und die *Wärmedämmung* (I) entsprechend der jeweiligen *Gebäudeklasse* zu erfüllen. Alle tragenden Bauteile müssen entweder auf Abbrand statisch bemessen werden oder es muss eine brandschutztechnische Kapselung erfolgen.<sup>370</sup>

Da Raumzellen zumeist auch einen Teil der Gebäudehülle darstellen, werden an diese auch Anforderungen an den *Wärme- und Feuchteschutz* gestellt.<sup>371</sup> Im Holzbau kommt zudem dem Schutz der tragenden Holzkonstruktion vor unkontrollierter innerer Feuchteeinwirkung (z. B. infolge einer Leckage einer wasserführenden Leitung) eine wesentliche Bedeutung zu,<sup>372</sup> die im folgenden Abschnitt näher behandelt wird.

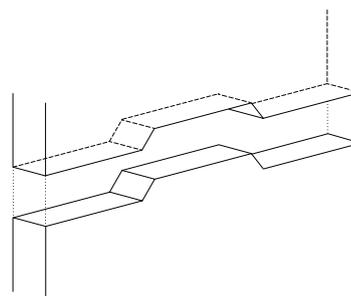


Abb. 116: Verbindung der Raumzellen mittels Schubknaggen und Taschen zur Positionierung bei der Montage und zur Übertragung von Schubkräften

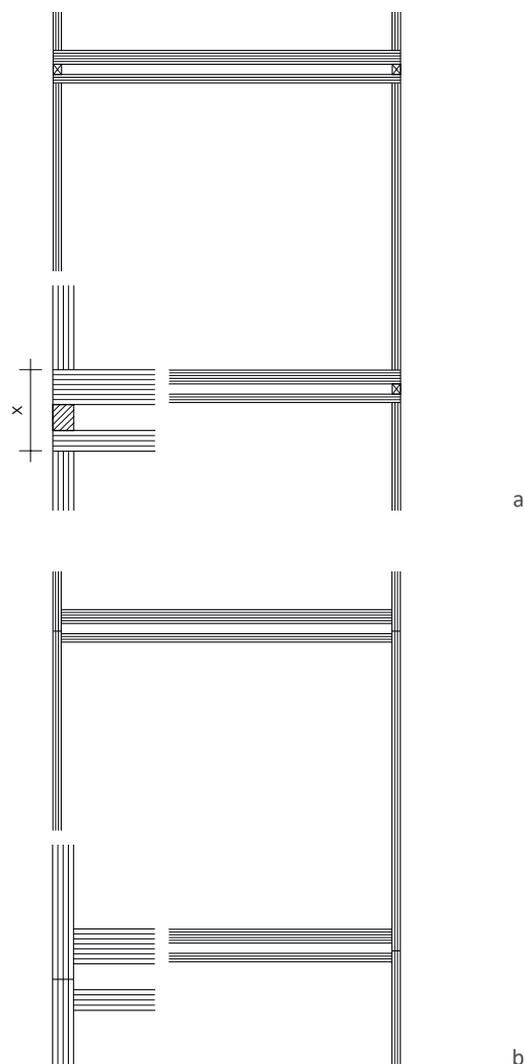


Abb. 117: Mehrgeschoßige Stapelung von Raumzellen  
 a mehrere, quer zur Faser belastete Lagen von Holzbauteilen (x)  
 b direkte Lastweiterleitung bei faserparallel belasteten Holzbauteilen

## Technische Gebäudeausrüstung (TGA)

Mit der *Raumzellenbauweise in BSP* eröffnet sich die Möglichkeit, alle gebäudetechnischen Installationen im Zuge der Fertigung der Raumzellen vollständig in der Werkshalle vorzufabrikieren. Im besten Fall findet die Montage der Ausstattung sowie die abschließende Qualitätskontrolle ebenfalls bereits im Werk statt. Auf der Baustelle muss anschließend nur noch die Verbindung der einzelnen Leitungen bzw. der Anschluss an die Ver- und Entsorgung erfolgen. Bereits vom Beginn der Entwurfsphase sollte die Auslegung der TGA in Abstimmung mit einem Fachplaner berücksichtigt werden, da diese wesentlichen Einfluss auf die Gestaltung des Grundrisses nimmt (Lage und Dimension von Installationsschächten, Vorwandinstallationen etc.).<sup>373</sup>

Für eine durchgehende *Modularität* in der gesamten Planung muss auch die Gebäudetechnik modular konzipiert sein. Dabei kann in Abhängigkeit vom *Grundmodul* [M] die Festlegung eines *Sanitärmoduls* [M<sub>s</sub>] erfolgen, welches in weiterer Folge als Grundlage für einen *modularen Installationsraster* herangezogen wird. Auf Basis dieses Rasters werden *Installationszonen* definiert, in welchen die Organisation sämtlicher Leitungsführungen geordnet stattfinden kann.<sup>374</sup>

Des Weiteren spielt die Bestimmung der Schnittstellen der TGA für die spätere Vorfertigung im Werk eine wichtige Rolle, da diese auch für die Leistungsabgrenzung der ausführenden Gewerke entscheidend sein kann. Daneben muss die Gebäudetechnik auch hinsichtlich des *Brandschutzes* (Brandabschnittsbildung) und *Schallschutzes* (z. B. Schallentkopplung von Lüftungs- und Wasserleitungen, Einfräsen von Elektroinstallationen in die Trag-

konstruktion etc.) optimiert werden. Die Festlegung von Durchbrüchen und Querschnittsschwächungen in tragenden Bauteilen bedarf auch immer einer Abstimmung mit der Tragwerksplanung.<sup>375</sup>

Eine wesentliche Rolle nimmt zudem der *Feuchteschutz* im Holzbau ein. In dieser Hinsicht kommt der Planung und Ausführung von *wasserführenden Leitungen* eine besondere Bedeutung zu. Ein unkontrollierter Wasseraustritt kann verheerende Schäden in der Tragstruktur hervorrufen, falls dieser für längere Zeit unentdeckt bleibt. Deshalb sind alle Holzkonstruktionen vor möglichen Feuchtequellen zu schützen. Generell soll die Holzfeuchte von Bauteilen jederzeit im Bereich der Gleichgewichtsfeuchte liegen und einen Wert von 20% an keiner Stelle überschreiten. Da die Tragkonstruktion, der Ausbau und die TGA eines Gebäudes auf eine unterschiedliche *Nutzungsdauer* ausgelegt werden (siehe Abb. 121), ist prinzipiell bei allen Bauweisen auf eine Trennung der Installationen von der übrigen Konstruktion zu achten.<sup>376</sup>

*Hausladen et al.* haben *sechs Grundprinzipien* für die Planung und Ausführung der TGA bei mehrgeschoßigen Holzbauten erarbeitet (siehe Abb. 118). Zum einen soll eine *zentrale Trassenführung* angestrebt werden und eine *Trennung und Entkopplung der Installationen von Tragwerk und Ausbau* erfolgen. Des Weiteren müssen die *dauerhafte Zugänglichkeit* der Leitungen und zusätzliche *Platzreserven* vorgesehen werden. Der Einsatz von werksmäßig *vorkonditionierten Hohlräumen* und *vorgefertigten Technikkomponenten* kann den Vorfertigungsgrad sowie die Ausführungsqualität zusätzlich erhöhen.<sup>377</sup>

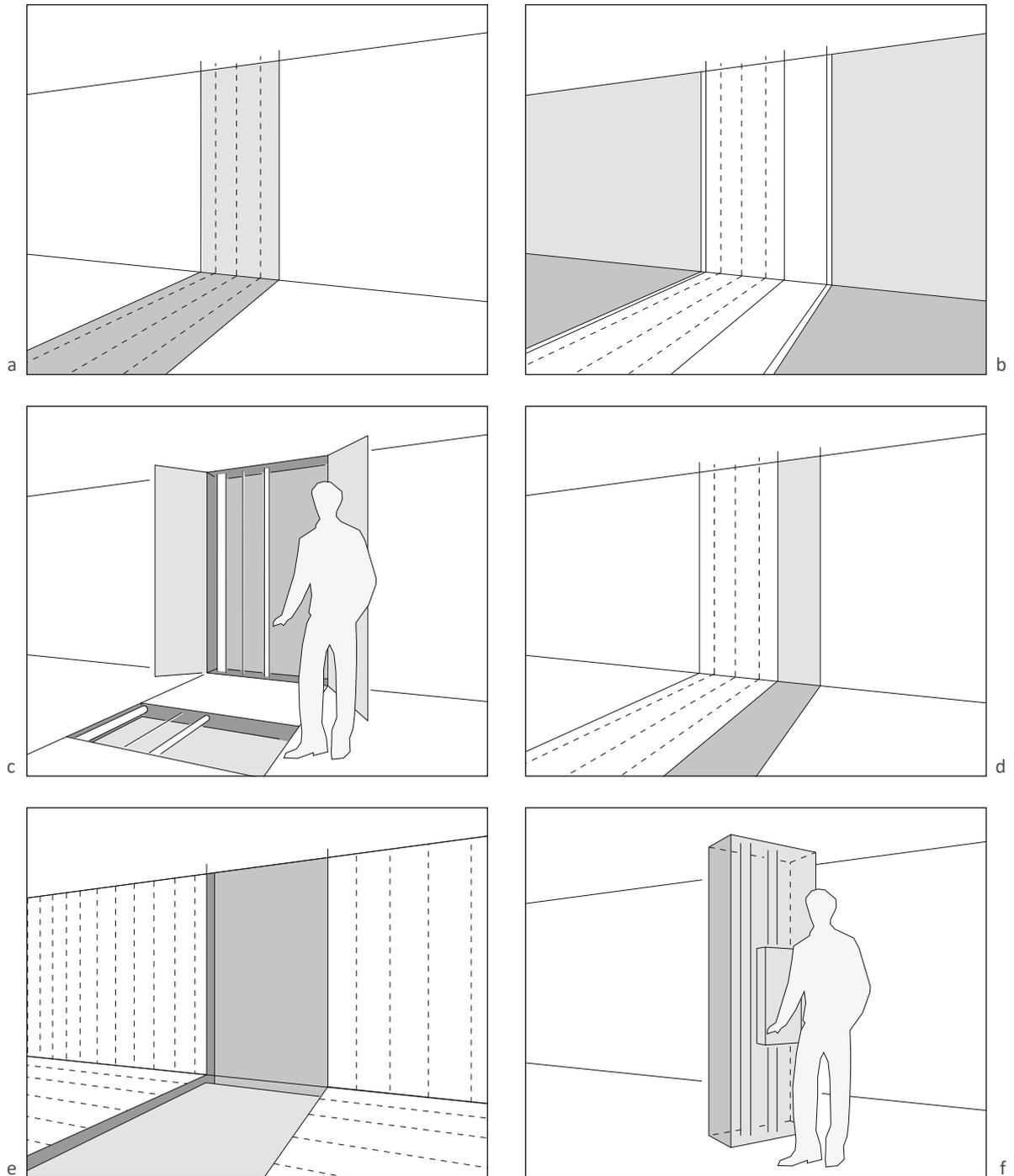


Abb. 118: Schematische Darstellung der sechs Grundprinzipien nach Hausladen et al.

- a zentrale Trassenführung
- b Trennung und Entkopplung der Installationen von Tragwerk und Ausbau
- c dauerhafte Zugänglichkeit
- d Platzreserven
- e vorkonditionierte Hohlräume
- f vorgefertigte Technikkomponenten

## Fertigung

Neben den bereits im Kapitel *Vorfertigung im modernen Holzbau* erwähnten generellen Vorteilen der werksmäßigen Vorfabrikation bringt die Produktion von Raumzellen weitere Vorzüge gegenüber anderen Bauweisen mit sich. Mit der Vergabe an das ausführende Unternehmen geht auch eine relativ hohe Kosten- und Terminalsicherheit für den Bauherrn einher. Die Holzbaufirma tritt in der Regel als Generalunternehmer auf und ist für die Koordination der einzelnen Subunternehmer verantwortlich. Durch eine gewerksübergreifende Fertigung mit eingespielten Handwerkern können alle Abläufe effektiver gestaltet und zudem auch standardisiert werden. Dadurch lassen sich Fehler bei der Herstellung leichter vermeiden bzw. frühzeitig erkennen. Dies wirkt sich positiv auf die gesamte Ausführungsqualität aus.<sup>378</sup> Die Raumzellenfertigung erlaubt eine umfassende Vorfertigung der TGA und des Ausbaus im Werk. Darüber hinaus ist es möglich, alle Oberflächen und Anschlüsse raumweise schon in der Werkshalle fertigzustellen. Auch fest montierte Einrichtungsgegenstände können bereits in der Raumzelle eingebaut werden. Zudem bietet sich die Gelegenheit, vorab ein sogenanntes *"Mock-up"* zu produzieren, anhand dessen noch vor der eigentlichen Fertigung alle Feinabstimmungen vorgenommen werden können. Neben der Zeitersparnis durch die serielle Fertigung auf einer Produktionsstraße (siehe Abb. 119) verkürzt sich bei der Raumzellenbauweise die anschließende Montagezeit auf der Baustelle auf ein absolutes Minimum.<sup>379</sup>

Zur Zeit finden sich nur wenige Hersteller auf dem Markt, die in der Lage sind, vollständig

ausgebaute Raumzellen inklusive TGA und Innenausstattung zur Gänze als Generalunternehmer vorzufertigen. Überdies sind viele Hersteller auf eine bestimmte Konstruktionsart von Raumzellen spezialisiert. Während bei einigen Firmen der Fertigungsprozess der Rohbaukonstruktion noch sehr handwerklich geprägt ist, setzen andere bereits weitgehend automatisierte Produktionsanlagen ein. Um auf kostspielige Abbundanlagen verzichten zu können, arbeiten manche Hersteller mit vorkonfektionierten BSP-Elementen, welche von größeren Holzproduzenten bezogen werden. Heute tendiert der Raumzellenbau daher sehr stark zu unternehmensspezifischen Systemlösungen.<sup>380</sup>

Die Produktion von Holz-Raumzellen ist schon bei geringen Losgrößen wirtschaftlich durchführbar. *"Eine deutliche Effizienzsteigerung ist ab einer Stückzahl von etwa 15 gleichen oder nur in wenigen Einzelpunkten abweichenden [Raumzellen] möglich."*<sup>381</sup> Die maximalen Abmessungen einer Raumzelle aus BSP sind immer vom jeweiligen Projekt abhängig und richten sich nach der *Produktionsstätte des Herstellers*, dem *Straßentransport* sowie den *Montagebedingungen* auf der Baustelle.<sup>382</sup>



Abb. 119: Vorfertigung von BSP-Raumzellen in der Werkshalle | Kaufmann Bausysteme, 2018

## Transport und Montage

Der Transport und die Montage der Raumzellen nehmen einen wesentlichen Einfluss auf die Auslegung der gesamten Konstruktion und sollten bereits in der Entwurfsphase bedacht werden. Aus konstruktiver Sicht können auch temporäre Aussteifungsvorrichtungen für diese Vorgänge erforderlich sein. In den meisten Fällen handelt es sich bei Raumzellentransporten um genehmigungspflichtige Sondertransporte. Dabei gilt es, insbesondere auf unterschiedliche straßenbauliche Voraussetzungen und Genehmigungsverfahren in verschiedenen Regionen zu achten (siehe Abb. 120). Raumzellen mit einer Breite bis ca. 3,25 m, einer Höhe bis ca. 3,10 m und einer Länge bis ca. 13,50 m kann man in der Regel europaweit ohne Probleme transportieren. Werden diese Abmessungen überschritten, ist mit zusätzlichen Auflagen und Einschränkungen zu rechnen. Bis zu einer Raumzellenlänge von rund 6,50 m können auch zwei Raumzellen auf einem LKW befördert werden. Aufwendige Transporte finden zudem häufig im Konvoi statt. Des Weiteren spielt die Zufahrtsmöglichkeit zur Baustelle eine entscheidende Rolle.

Die kurze Montagezeit ist einer der wesentlichen Vorteile der Raumzellenbauweise. Für den Transport werden die Raumzellen mit einer wind- und schlagregendichten Folie vollständig geschützt, was prinzipiell auch eine Montage bei schlechten Wetterverhältnissen erlaubt, ohne dass die Holzkonstruktion dabei einen Schaden erleidet. Zum Heben und Positionieren der Raumzellen kommen meistens Mobilkräne zum Einsatz, die entsprechend der erforderlichen Kranausladung, Hebelast und Hakenhöhe projektspezifisch ausgewählt werden. Nach der Fertigstellung des Montagegrunds auf der Baustelle kann mit dem Versetzen der Einheiten begonnen werden. Weisen die Raumzellen eine ausreichend hohe Steifigkeit auf, werden sie an vier Punkten mit Stahlseilen direkt am Kranhaken befestigt. Bei größeren Abmessungen oder unzureichend steifen Konstruktionen wird auf zusätzliche Hebekonstruktionen in Form von Stahlrahmen zurückgegriffen. Nach der Montage können die provisorische Dichtheit des Daches und der Fassade hergestellt sowie die abschließenden Ausbaurbeiten durchgeführt werden. <sup>383</sup>

	B 2,55 m	B 3,00 m	B 3,50 m	B 4,00 m	B 4,20 m	B 4,50 m	B 5,50 m
Breite (B)	B 2,55 m	B 3,00 m	B 3,50 m	B 4,00 m	B 4,20 m	B 4,50 m	B 5,50 m
Höhe (H)	H 2,90 m	H 2,90 m	H 2,90 m	H 3,10 m	H 4,20 m	H 4,20 m	H 4,20 m
Länge (L)	L 13,50 m	L 30,00 m	L 12,50 m	L 12,50 m	L 12,50 m	L 12,50 m	L 12,50 m
Genehmigung	keine		Ausnahmegenehmigungen erforderlich				
			meist sind Dauergenehmigungen vorhanden				
			für die jeweiligen Transporte müssen separate Genehmigungen beschafft werden				
Begleitfahrzeug			Begleitfahrzeug auf Bundesstraßen erforderlich				
			auf Autobahnen in AT immer, in DE /CH teilweise		Begleitfahrzeug auf Autobahnen erforderlich, in AT doppelte Begleitung		
Polizei - begleitung			Polizeibegleitung in DE /CH		immer mit Polizeibegleitung		
Sonstiges			Tiefeladernkombinationen				

Abb. 120: Transportabmessungen von Raumzellen und damit verbundene Auflagen für die Straßenbeförderung

## Instandhaltung - Rückbau - Wiederverwendung

Die *Nutzungsdauer* für ein Gebäude muss bereits in der Planungsphase festgelegt werden und ist für *Wohnhäuser aus Holz* in der *ÖNORM B 2320:2017* folgendermaßen definiert: *"Wohnhäuser sind entsprechend [...] auszuführen, sodass bei ordnungsgemäßer Instandhaltung [...] und widmungsgemäßer Nutzung eine Nutzungsdauer von mindestens 100 Jahren erwartet werden kann."*<sup>384</sup> Weiters wird angeführt: *"Instandsetzbare bzw. austauschbare Bauteile und/oder Baustoffe (z. B. Fenster, Fassade, Dachdeckung, Bodenbeläge) sind entsprechend ihrer jeweiligen Nutzungsdauer zu betrachten und gegebenenfalls auszutauschen."*<sup>385</sup>

Um die Funktionstüchtigkeit und Dauerhaftigkeit eines Gebäudes zu erhalten, sind in Abhängigkeit der *Nutzungsdauer* der jeweiligen Bestandteile (siehe Abb. 121) regelmäßige Instandhaltungsarbeiten (Wartung, Pflege, Instandsetzung etc.) durchzuführen.<sup>386</sup> Dabei spielt auch die im Kapitel *Technische Gebäudeausrüstung (TGA)* bereits angesprochene bauliche Trennung von Tragwerk, Ausbau und TGA<sup>387</sup> eine wichtige Rolle, um eine Austauschbarkeit einzelner Bestandteile mit einer kürzeren *Nutzungsdauer* über den gesamten *Lebenszyklus*

eines Gebäudes (siehe Abb. 122) gewährleisten zu können.<sup>388</sup> Nach Ansicht des Verfassers kann die *Raumzellenbauweise in BSP* unter Berücksichtigung der in dieser Arbeit genannten Grundsätze diesen Ansprüchen in hohem Maße gerecht werden.

Des Weiteren lassen sich mit der Bauweise auch die ökologischen Anforderungen, welche an zeitgemäße Gebäude gestellt werden, hervorragend erfüllen. Der Einsatz von Holz als Baustoff bewirkt eine langfristige CO<sub>2</sub>-Speicherung in der Bausubstanz. Mit dem nachwachsenden Rohstoff kann zudem der Primärenergiebedarf für die Gebäudeherstellung erheblich reduziert werden. Auch die Möglichkeit der Rückbaubarkeit und Wiederverwendung von Raumzellen aus BSP sprechen für die Anwendung dieser Bauweise. Dies trifft besonders bei vorübergehenden Nutzungen und bei Gebäuden, die nachträglich erweitert oder verkleinert werden sollen, zu.<sup>389</sup>

In Japan werden beispielsweise von *Sekisui Heim* seit einigen Jahren vom Unternehmen gefertigte Raumzellen bei Bedarf wieder zurückgenommen und im Werk bis auf die Tragstruktur kontrolliert rückgebaut, um anschließend neu konfiguriert und wiederverwendet zu werden.<sup>390</sup>

Konstruktion	Beschreibung	Nutzungsdauer
Primärkonstruktion	Tragkonstruktion	100 Jahre
Sekundärkonstruktion	alle Konstruktionsschichten außer: Fenster, WDVS, Abdichtungen / Folien, Bodenbeläge und Haustechnikkomponenten	50 Jahre
Fenster	Verglasungen, Rahmen, Fensterkomponenten	35 Jahre
Wärmedämmverbundsysteme (WDVS)	WDVS aus MW-Putzträgerplatten, EPS-F, Mineralschaumplatten, Korkdämmplatten, Hanfdämmplatten etc.	35 Jahre
Putze	Putze inkl. Untergründe	35 Jahre
Abdichtungen / Folien: 35 Jahre	Alu-Bitumendichtungsbahnen, Alu-Dampfsperre, Bitumen, Bitumenanstrich, Bitumenpappe etc.	35 Jahre
Abdichtungen / Folien: 25 Jahre	Baufolien aus EPDM, PE- und PVC-Dichtungsbahnen, Baupapier, sonstige Abdichtungen ausgenommen bituminöse Abdichtungen, metallkaschierte Folien etc.	25 Jahre
Bodenbeläge: 50 Jahre	Vollholzböden, Massivparkett, keramische Fliesen, Naturstein, Kunststein etc.	50 Jahre
Bodenbeläge: 25 Jahre	Mehrschichtparkett, Laminatböden, Linoleum, PVC-Bodenbelag, Gummi-Bodenbelag etc.	25 Jahre
Bodenbeläge: 10 Jahre	Kork, textile Bodenbeläge etc.	10 Jahre
Boden- u. Wandbeschichtungen	Estrichbeschichtungen, Lacke, Wandfarben, Tapeten etc.	10 Jahre
Tertiärkonstruktion	Technische Gebäudeausrüstung (TGA) in Abhängigkeit der einzelnen Komponenten	20 bzw. 50 Jahre

Abb. 121: Tabellarische Übersicht der Nutzungsdauer von verschiedenen Bestandteilen eines Gebäudes

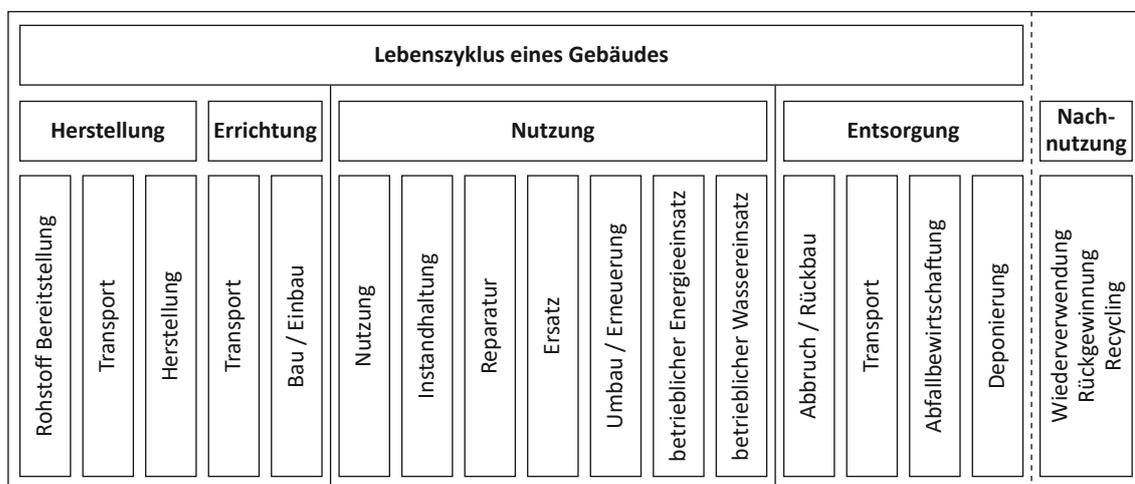


Abb. 122: Schematische Darstellung der Stadien eines Gebäudes über den gesamten Lebenszyklus

## FAZIT UND AUSBLICK

Bereits seit Anfang des 20. Jahrhunderts gab es zahlreiche ambitionierte Versuche, die Vorfertigung im Bauwesen durch die Entwicklung von Raumzellensystemen voranzutreiben. Architekten, Ingenieure, Forscher und Unternehmer wie *Le Corbusier*, *Gropius*, *Fuller*, *Archigram*, *Stucky*, *Safdie*, *Rudolph*, *Kurokawa*, *Matzinger* und viele weitere beschäftigten sich mit diesem Thema. Auch wenn es einigen von ihnen gelang, mitunter herausragende Projekte in Raumzellenbauweise zu realisieren, entstanden aus heutiger Sicht zumeist nur einzelne Prototypen. Rückblickend war *Fritz Stucky* mit der Entwicklung und Vermarktung des *Variel-Systems* vermutlich am erfolgreichsten. Langfristig gesehen scheiterten jedoch alle mit ihren Vorhaben aus verschiedenen Gründen. Möglicherweise fehlte damals noch das geeignete Material für die Konstruktion von Raumzellen. Seit ungefähr 20 Jahren steht nun mit BSP ein flächiges Holzprodukt zur Verfügung, das mit seinen statisch-konstruktiven, bauphysikalischen und fertigungstechnischen Eigenschaften, aber auch mit seinen architektonischen und ökologischen Qualitäten ein enormes Potenzial aufweist. Aufgrund seines geringen Eigengewichtes scheint es, für den Bau von Raumzellen besonders gut geeignet zu sein.

In der Arbeit wurden die Vorzüge der werksmäßigen Vorfertigung, welche der *moderne Holzbau* bietet, aufgezeigt. Eine umfassende Modularisierung und Standardisierung von Bauteilen stellt die wesentliche Grundlage für eine serielle Vorfabrikation dar. Der Fokus liegt dabei nicht auf der Typisierung von kompletten Gebäudegrundrissen, wie es heute beispielsweise bei diversen Fertighausherstellern

von Einfamilienhäusern häufig der Fall ist, sondern bei der Modularisierung und Standardisierung von einzelnen Bauteilen, die variabel miteinander kombiniert werden können. Die Festlegung eines *Grundmaßes* [M], das als Basis für die gesamte Planung und Ausführung eines Gebäudes dient, ist in dieser Hinsicht von besonderer Bedeutung. Die gewählte Größe dieses Maßes spielt dabei eine untergeordnete Rolle. Viel wichtiger ist die konsequente Anwendung desselben während der kompletten Planungs- und Ausführungsphase. Auf dem *Grundmaß* basierende, *modulare Raster* ermöglichen die Bestimmung der Lage und Größe von Bauteilen in einem Gebäude. Diese erweisen sich nicht nur bei der Planung des Tragwerks als hilfreich, sondern erleichtern auch die Konzeption der Ausbauten sowie der technischen Gebäudeausrüstung. Des Weiteren ist auch die Kenntnis und Festlegung der zulässigen *Maßabweichungen* von industriell vorgefertigten Bauteilen essenziell. In Form von geplanten *Maßtoleranzen* werden unvermeidbare Ungenauigkeiten bei der Herstellung von Bauelementen berücksichtigt, damit eine reibungslose Montage auf der Baustelle gewährleistet werden kann.

Anhand einer Analyse verschiedener Projekte konnte ein umfassender Überblick über die historische Entwicklung der Raumzellenbauweise gegeben werden. Die realisierten Raumzellenbauten aus Kunststoff, Stahl, Beton und Holz veranschaulichen das außerordentliche Potenzial sowie die Besonderheiten dieser Bauweise. Mit der *Raumzellenbauweise in Brettsperrholz* sind heute vielfältige Lösungen für die unterschiedlichsten Bauaufgaben möglich. Die zahlreich umgesetzten Projekte

der letzten zwei Jahrzehnte zeugen von der enormen Variabilität und Flexibilität, welche mit dieser Bauweise erreicht werden kann. Dabei gilt es stets, die spezifischen Aspekte der Raumzellenbauweise, welche in der Arbeit ausführlich betrachtet wurden, von Anfang an bei der Planung zu berücksichtigen.

Der heutige Bauprozess findet in der Regel immer noch überwiegend auf der Baustelle statt. Die Unberechenbarkeiten der Fertigung vor Ort sowie eine mangelhafte Koordination der ausführenden Handwerker führt sehr häufig zu ungewollten Kosten-, Termin- und Qualitätsabweichungen. Moderne Holzbauunternehmen bieten bereits heute die Voraussetzungen für eine weitgehend industrialisierte Vorfertigung im Werk - von einzelnen Bauteilen bis hin zu komplett ausgebauten Raumzellen. Bei der Planung und Ausführung von zeitgemäßen Holzbauten scheint gegenwärtig, eine intelligente Kombination der zur Verfügung stehenden Bauweisen angebracht zu sein. Dabei können sowohl verschiedene Holzbauweisen als auch Hybridlösungen mit Stahl oder Stahlbeton eingesetzt werden. Eine modulare Konzeption von Tragwerk, Ausbau und technischer Gebäudeausrüstung ist besonders bei nahezu vollständig werksmäßig vorgefertigten Bauweisen essenziell.

Mit der *Raumzellenbauweise in BSP* ist bei entsprechender Planung ein maximaler Vorfertigungsgrad erreichbar. Eine verstärkte Errichtung von Wohngebäuden in dieser Bauweise könnte eine potenzielle Lösung für den eingangs angesprochenen Wohnungsmangel in den Städten sein. Die weitgehende Verlagerung der Ausführungsarbeiten von der Baustelle in die Werkshalle führt zu einer kürzeren

Montagezeit vor Ort, wodurch die Belastung der Anrainer auf ein Minimum reduziert wird. Neben den besseren Arbeitsbedingungen, welche in der Fabrik vorherrschen, wird auch die Zusammenarbeit der Handwerker verschiedener Gewerke wesentlich erleichtert. Dadurch kann insgesamt eine höhere Qualität bei der Ausführung erreicht werden. Dem entgegen steht ein größerer Materialbedarf und ein erhöhter Planungsaufwand im Vorfeld der Fertigung. Durch diesen verkürzt sich die Gesamtdauer von Planungs- und Ausführungsprozess gegenüber konventionellen Bauweisen nicht zwangsläufig. Zudem müssen Entscheidungen vom Bauherrn und Planer bereits sehr früh in der Projektphase getroffen werden, da nachträgliche Änderungen auf der Baustelle in der Regel nur sehr eingeschränkt möglich sind.

Insgesamt betrachtet, bietet die *Raumzellenbauweise in BSP* viele Chancen und Möglichkeiten. Die Raumzelle stellt jedoch auch kein "Allheilmittel" dar. Nicht jede Bauaufgabe wird sich mit dieser Bauweise angemessen umsetzen lassen. Gewisse Projekte, die prinzipiell für eine Ausführung in Raumzellenbauweise geeignet wären, könnte man unter Umständen mit anderen Bauweisen wirtschaftlicher errichten. Zudem werden die wenigsten Raumzellenbauten in reiner Raumzellenbauweise ausgeführt. Für bestimmte Teile eines Gebäudes wird es immer sinnvoller sein, diese in konventioneller Bauweise zu errichten. Gerade die Festlegung der Schnittstellen zwischen unterschiedlichen Konstruktionsweisen ist bei Raumzellenbauten von besonderer Bedeutung. In Zukunft wird dafür eine noch engere Zusammenarbeit von Architekten, Bauingenieuren und Fachplanern gefragt sein.

## ENDNOTEN

- <sup>1</sup> Waugh Thistleton Architects (Hg.) 2018, 313.
- <sup>2</sup> Kaufmann/Nerdinger (Hg.) 2011, 42-44.
- <sup>3</sup> Ganster/Schickhofer 2018, o. S.
- <sup>4</sup> Jauk 2019, o. S.
- <sup>5</sup> Ganster/Schickhofer 2018, o. S.
- <sup>6</sup> Bibliographisches Institut GmbH 2018 a, o. S.
- <sup>7</sup> Stowasser et al. 2006, 320.
- <sup>8</sup> Philipp Reclam jun. GmbH & Co. KG 2010, 83.
- <sup>9</sup> Russel 2012, 261.
- <sup>10</sup> Russel 2012, 261.
- <sup>11</sup> OED Definition, zitiert nach: Russel 2012, 261.
- <sup>12</sup> Bemis 1936, o. S.
- <sup>13</sup> Russel 2012, 259-262.
- <sup>14</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-4 - A-5.
- <sup>15</sup> Oxford University Press 2018 a, o. S.
- <sup>16</sup> Russel 2012, 261.
- <sup>17</sup> Staib/Dörrhofer/Rosenthal 2008, 44.
- <sup>18</sup> Stowasser et al. 2006, 175.
- <sup>19</sup> Oxford University Press 2018 b, o. S.
- <sup>20</sup> Bibliographisches Institut GmbH 2018 b, o. S.
- <sup>21</sup> Bibliographisches Institut GmbH 2018 c, o. S.
- <sup>22</sup> Stowasser et al. 2006, 103.
- <sup>23</sup> Stowasser et al. 2006, 133.
- <sup>24</sup> Stowasser et al. 2006, 389.
- <sup>25</sup> Oxford University Press 2018 c, o. S.
- <sup>26</sup> Bibliographisches Institut GmbH 2018 d, o. S.
- <sup>27</sup> Bibliographisches Institut GmbH 2018 e, o. S.
- <sup>28</sup> Bibliographisches Institut GmbH 2018 f, o. S.
- <sup>29</sup> Oxford University Press 2018 d, o. S.
- <sup>30</sup> Oxford University Press 2018 e, o. S.
- <sup>31</sup> Kaufmann/Krötsch/Winter 2017, 262.
- <sup>32</sup> Bibliographisches Institut GmbH 2018 h, o. S.
- <sup>33</sup> Bibliographisches Institut GmbH 2018 g, o. S.
- <sup>34</sup> Stowasser et al. 2006, 81 f.
- <sup>35</sup> Oxford University Press 2018 f, o. S.
- <sup>36</sup> Stallmach 2010, o. S.
- <sup>37</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 6-7.  
Kaufmann Bausysteme GmbH 2016, 2.  
Pro:Holz Austria (Hg.) 2017, 3 ff.
- <sup>38</sup> Kaufmann Bausysteme GmbH 2016, 6 ff.
- <sup>39</sup> Jenatsch/Krucker/Bauforum Zug (Hg.) 2006, 15 ff.
- <sup>40</sup> ETAG 023:2006, 9.
- <sup>41</sup> Smith/Quale 2017, 3.
- <sup>42</sup> Smith/Quale 2017, 262.
- <sup>43</sup> TUM (Hg.) 2018, 330.
- <sup>44</sup> Schickhofer 2006 b, C.3/3 ff.
- <sup>45</sup> Schickhofer 2006 b, C.3/3 ff.
- <sup>46</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-26.
- <sup>47</sup> Modular Building Institute 2015, 17 ff.
- <sup>48</sup> Aitchison et al. 2018, 94.
- <sup>49</sup> Aitchison et al. 2018, 94.
- <sup>50</sup> ÖNORM B 2310:2009, 3.
- <sup>51</sup> TUM (Hg.) 2018, 331.
- <sup>52</sup> TUM (Hg.) 2018, 330.
- <sup>53</sup> TUM (Hg.) 2018, 330.
- <sup>54</sup> Staib/Dörrhofer/Rosenthal 2008, 42-43.
- <sup>55</sup> TUM (Hg.) 2018, 329.
- <sup>56</sup> TUM (Hg.) 2018, 329.
- <sup>57</sup> TUM (Hg.) 2018, 330.
- <sup>58</sup> TUM (Hg.) 2018, 330.
- <sup>59</sup> TUM (Hg.) 2018, 330.
- <sup>60</sup> TUM (Hg.) 2018, 330.
- <sup>61</sup> Schickhofer 2006 a, A.6 ff.
- <sup>62</sup> Binderholz Bausysteme GmbH 2020, o. S.
- <sup>63</sup> Schickhofer 2006 a, A.6 ff.
- <sup>64</sup> Kaufmann/Nerdinger (Hg.) 2011, 43.
- <sup>65</sup> Kaufmann/Nerdinger (Hg.) 2011, 43-44.
- <sup>66</sup> Kaufmann/Nerdinger (Hg.) 2011, 44.
- <sup>67</sup> Staib/Dörrhofer/Rosenthal 2008, 40-41.
- <sup>68</sup> Kaufmann/Krötsch/Winter 2017, 142.
- <sup>69</sup> Kaufmann/Krötsch/Winter 2017, 142-144.
- <sup>70</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-4.
- <sup>71</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-2.
- <sup>72</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-2.
- <sup>73</sup> Russel 2012, 257.
- <sup>74</sup> ISO 1006:1983 [E], 1-2.
- <sup>75</sup> ISO 2848:1984 [E], 1-2.
- <sup>76</sup> ISO 2848:1984 [E], 2.
- <sup>77</sup> ISO 2848:1984 [E], 2.
- <sup>78</sup> ISO 1040:1983 [E], 1.
- <sup>79</sup> ISO 2848:1984 [E], 2.
- <sup>80</sup> ISO 6513:1982 [E], 1.

- <sup>81</sup> ISO 2848:1984 [E], 2.
- <sup>82</sup> ISO 6514:1982 [E], 1.
- <sup>83</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-5 - A-6.
- <sup>84</sup> ISO 2848:1984 [E], 2.
- <sup>85</sup> Staib/Dörrhofer/Rosenthal 2008, 44.
- <sup>86</sup> Staib/Dörrhofer/Rosenthal 2008, 44-45.
- <sup>87</sup> Staib/Dörrhofer/Rosenthal 2008, 45.
- <sup>88</sup> BCA 2000, 10-11.
- <sup>89</sup> ISO 2848:1984 [E], 2.
- <sup>90</sup> ISO 2848:1984 [E], 2-3.
- <sup>91</sup> ISO 2848:1984 [E], 3.
- <sup>92</sup> ISO 2848:1984 [E], 3.
- <sup>93</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-8.
- <sup>94</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-9.
- <sup>95</sup> ISO 2848:1984 [E], 3.
- <sup>96</sup> Staib/Dörrhofer/Rosenthal 2008, 44-45.
- <sup>97</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-9.
- <sup>98</sup> Gamerith 2002, 6.
- <sup>99</sup> Austrian Standards Institute 2014, 2 ff.
- <sup>100</sup> ÖNORM B 1100:2006, 3 ff.
- <sup>101</sup> Austrian Standards Institute 2014, 2 ff.
- <sup>102</sup> ÖNORM DIN 18202:2013, 5-9.
- <sup>103</sup> Gamerith 2002, 6.
- <sup>104</sup> Staib/Dörrhofer/Rosenthal 2008, 47.
- <sup>105</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-22.
- <sup>106</sup> Stalder/Vrachliotis (Hg.) 2015, 282.
- <sup>107</sup> Stalder/Vrachliotis (Hg.) 2015, 282.
- <sup>108</sup> Stalder/Vrachliotis (Hg.) 2015, 282 ff.
- <sup>109</sup> Stalder/Vrachliotis (Hg.) 2015, 282 ff.
- <sup>110</sup> Stalder/Vrachliotis (Hg.) 2015, 282-293.
- <sup>111</sup> Bemis 1936, o. S.
- <sup>112</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-11.
- <sup>113</sup> Russel 2012, 264.
- <sup>114</sup> Bemis 1936, 66.
- <sup>115</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-11.
- <sup>116</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-12.
- <sup>117</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-12 - A-13.  
Bemis 1936, 68 ff.
- <sup>118</sup> Bemis 1936, 74.
- <sup>119</sup> Bemis 1936, 84.
- <sup>120</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-13 - A-15.  
Bemis 1936, 74 ff.
- <sup>121</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-15.  
Bemis 1936, 86 ff.
- <sup>122</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 9.
- <sup>123</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 9.
- <sup>124</sup> Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 12.
- <sup>125</sup> Le Corbusier, zitiert nach: Conrads/Neitzke  
(Hg.) 2013 a, 88.
- <sup>126</sup> Le Corbusier, zitiert nach: Conrads/Neitzke  
(Hg.) 2013 b, 23.
- <sup>127</sup> Klose 2006, 18-25.
- <sup>128</sup> Le Corbusier, zitiert nach: Conrads/Neitzke  
(Hg.) 2013 a, 92-100.
- <sup>129</sup> Le Corbusier, zitiert nach: Conrads/Neitzke  
(Hg.) 2013 a, 91-98.
- <sup>130</sup> Le Corbusier, zitiert nach: Conrads/Neitzke  
(Hg.) 2013 a, 89.
- <sup>131</sup> Klose 2006, 25.
- <sup>132</sup> Klose 2006, 20.
- <sup>133</sup> Le Corbusier, zitiert nach: Klose 2006, 20.
- <sup>134</sup> Le Corbusier, zitiert nach: Klose 2006, 20.
- <sup>135</sup> Klose 2006, 19.
- <sup>136</sup> Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 98.
- <sup>137</sup> Klose 2006, 20.
- <sup>138</sup> Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 56.
- <sup>139</sup> Gratz 2019, o. S.
- <sup>140</sup> Gratz 2019, o. S.
- <sup>141</sup> Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 58.
- <sup>142</sup> Doßmann/Wenzel/Wenzel 2006, 33-47.
- <sup>143</sup> Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 58 u. 90.
- <sup>144</sup> The Buckminster Fuller Institute o. J., o. S.
- <sup>145</sup> Doßmann/Wenzel/Wenzel 2006, 33-47.
- <sup>146</sup> Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 58 u. 90-92.
- <sup>147</sup> Doßmann/Wenzel/Wenzel 2006, 33-47.
- <sup>148</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 9.
- <sup>149</sup> Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 80-82.
- <sup>150</sup> Aitchison et al. 2018, 51 ff.
- <sup>151</sup> Doßmann/Wenzel/Wenzel 2006, 33-47.
- <sup>152</sup> Smith 2010, 15-16.
- <sup>153</sup> Wallis 1997, 29.
- <sup>154</sup> Smith 2010, 15-16.
- <sup>155</sup> Wallis 1997, 7-9.
- <sup>156</sup> Smith 2010, 16.

- <sup>157</sup> Smith 2010, 16.
- <sup>158</sup> Smith 2010, 16.
- <sup>159</sup> Aitchison et al. 2018, 39-41.
- <sup>160</sup> Doßmann/Wenzel/Wenzel 2006, 33-47.
- <sup>161</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 9.
- <sup>162</sup> Doßmann/Wenzel/Wenzel 2006, 33-47.
- <sup>163</sup> Engler 2014, 40-42.
- <sup>164</sup> Aitchison et al. 2018, 93.
- <sup>165</sup> Aitchison et al. 2018, 93.
- <sup>166</sup> Japan Prefabricated Construction Suppliers and Manufacturers Association o. J., o. S.
- <sup>167</sup> Smith/Quale 2017, 191.
- <sup>168</sup> Aitchison et al. 2018, 94.
- <sup>169</sup> Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 32-35.
- <sup>170</sup> Aitchison et al. 2018, 94-96.
- <sup>171</sup> Smith/Quale 2017, 193.
- <sup>172</sup> Japan Prefabricated Construction Suppliers and Manufacturers Association 2012, 5-8.
- <sup>173</sup> Japan Prefabricated Construction Suppliers and Manufacturers Association 2012, 9-10.
- <sup>174</sup> Bock/Linner 2015, 113.
- <sup>175</sup> Japan Prefabricated Construction Suppliers and Manufacturers Association 2012, 10.
- <sup>176</sup> Bock/Linner 2015, 206-207.
- <sup>177</sup> Bock/Linner 2011, 19.
- <sup>178</sup> Bock/Linner 2015, 204.
- <sup>179</sup> Bock/Linner 2011, 15.
- <sup>180</sup> Bock/Linner 2011, 15.
- <sup>181</sup> Fonds Régional d'Art Contemporain du Centre o. J. a, o. S.
- <sup>182</sup> Fonds Régional d'Art Contemporain du Centre o. J. b, o. S.
- <sup>183</sup> Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 120.
- <sup>184</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 10.
- <sup>185</sup> Schüler/Witte 1968, 358.
- <sup>186</sup> Schüler-Witte 2015, 149 ff.
- <sup>187</sup> Engelsmann/Spalding/Peters 2010, 152-153.
- <sup>188</sup> Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 140.
- <sup>189</sup> Slawik et al. (Hg.) 2010, 6-8.
- <sup>190</sup> Slawik et al. (Hg.) 2010, 22.
- <sup>191</sup> Doßmann/Wenzel/Wenzel 2006, 33-47.
- <sup>192</sup> ISO o. J., o. S.
- <sup>193</sup> Slawik et al. (Hg.) 2010, 8.
- <sup>194</sup> Slawik et al. (Hg.) 2010, 22.
- <sup>195</sup> Slawik et al. (Hg.) 2010, 22-25.
- <sup>196</sup> Slawik et al. (Hg.) 2010, 24-28.
- <sup>197</sup> Siehe Kapitel *Begriffsbestimmungen*.
- <sup>198</sup> Slawik et al. (Hg.) 2010, 21-29.
- <sup>199</sup> Slawik et al. (Hg.) 2010, 15.
- <sup>200</sup> Slawik et al. (Hg.) 2010, 29.
- <sup>201</sup> Slawik et al. (Hg.) 2010, 21.
- <sup>202</sup> Slawik et al. (Hg.) 2010, 14.
- <sup>203</sup> Slawik et al. (Hg.) 2010, 9-10.
- <sup>204</sup> Doßmann/Wenzel/Wenzel 2006, 33-47.
- <sup>205</sup> Slawik et al. (Hg.) 2010, 9.
- <sup>206</sup> Slawik et al. (Hg.) 2010, 30.
- <sup>207</sup> Slawik et al. (Hg.) 2010, 38-44.
- <sup>208</sup> Slawik et al. (Hg.) 2010, 42-44.
- <sup>209</sup> Schmal/Flagge/Visscher (Hg.) 2005, 13-14.
- <sup>210</sup> BMSGPK 2020, o. S.
- <sup>211</sup> Schmal/Flagge/Visscher (Hg.) 2005, 13-14.
- <sup>212</sup> Schmal/Flagge/Visscher (Hg.) 2005, 13.
- <sup>213</sup> Schmal/Flagge/Visscher (Hg.) 2005, 64-65.
- <sup>214</sup> Schmal/Flagge/Visscher (Hg.) 2005, 14.
- <sup>215</sup> Kisho Kurokawa, zitiert nach: Schmal/Flagge/Visscher (Hg.) 2005, 65.
- <sup>216</sup> Schmal/Flagge/Visscher (Hg.) 2005, 65-66.
- <sup>217</sup> Schmal/Flagge/Visscher (Hg.) 2005, 44-49.
- <sup>218</sup> Schmal/Flagge/Visscher (Hg.) 2005, 66.
- <sup>219</sup> Japanwelt Blog 2019, o. S.
- <sup>220</sup> Schmal/Flagge/Visscher (Hg.) 2005, 52.
- <sup>221</sup> Schmal/Flagge/Visscher (Hg.) 2005, 68-71.
- <sup>222</sup> Schmal/Flagge/Visscher (Hg.) 2005, 66.
- <sup>223</sup> Merin 2013, o. S.
- <sup>224</sup> Neumann 2017, o. S.
- <sup>225</sup> Sturm/Schmal (Hg.) 2016, 126.
- <sup>226</sup> Sturm/Schmal (Hg.) 2016, 8-9.
- <sup>227</sup> Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 124-126.
- <sup>228</sup> Safdie Architects 2018, o. S.
- <sup>229</sup> Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 126.
- <sup>230</sup> Ada Louise Huxtable, New York Times, April 30, 1967, Page 46, zitiert nach: Jacobs 2015, o. S.
- <sup>231</sup> Modular Building Institute 2007, o. S.
- <sup>232</sup> Modular Building Institute 2007, o. S.
- <sup>233</sup> H. B. Zachry Company 1968.
- <sup>234</sup> Seiß 2016 a, 20 ff.
- <sup>235</sup> Seiß 2016 b, o. S.
- <sup>236</sup> Seiß 2016 a, 16 ff.

- <sup>237</sup> Matzinger 1979, 12.
- <sup>238</sup> Gunßer 2008, o. S.
- <sup>239</sup> Jenatsch/Krucker/Bauforum Zug (Hg.) 2006, 11 f.
- <sup>240</sup> De Berti 2006, 117 f.
- <sup>241</sup> Steiger 2006, 27 f.
- <sup>242</sup> Steiger 2006, 28 ff.
- <sup>243</sup> Jenatsch 2006, 83.
- <sup>244</sup> Steiger 2006, 28 ff.
- <sup>245</sup> Steiger 2006, 28 ff.
- <sup>246</sup> Steiger 2006, 30.
- <sup>247</sup> Jenatsch/Krucker/Bauforum Zug (Hg.) 2006, 15 ff.
- <sup>248</sup> Eisinger 2006, 55.
- <sup>249</sup> De Berti 2006, 126 f.
- <sup>250</sup> Eisinger 2006, 55.
- <sup>251</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-29.
- <sup>252</sup> Gratz 2017, o. S.
- <sup>253</sup> Jenatsch 2006, 70.
- <sup>254</sup> De Berti 2006, 122.
- <sup>255</sup> Jenatsch 2006, 70.
- <sup>256</sup> De Berti 2006, 121 ff.
- <sup>257</sup> Jenatsch 2006, 70.
- <sup>258</sup> De Berti 2006, 124.
- <sup>259</sup> Jenatsch 2006, 71.
- <sup>260</sup> Jenatsch/Krucker/Bauforum Zug (Hg.) 2006, 148.
- <sup>261</sup> Krucker 2016, 113.
- <sup>262</sup> Paul Rudolph Foundation o. J. a, o. S.
- <sup>263</sup> Moholy-Nagy et al. 1970, 32.
- <sup>264</sup> Moholy-Nagy et al. 1970, 32-45.
- <sup>265</sup> Paul Rudolph Foundation o. J. a, o. S.
- <sup>266</sup> Paul Rudolph Foundation o. J. b, o. S.
- <sup>267</sup> Kühnle 2005, 317.
- <sup>268</sup> Ball 1968, o. S.
- <sup>269</sup> Kühnle 2005, 317.
- <sup>270</sup> Moholy-Nagy et al. 1970, 196-205.
- <sup>271</sup> Ball 1968, o. S.
- <sup>272</sup> Ball 1968, o. S.
- <sup>273</sup> Ball 1968, o. S.
- <sup>274</sup> Ball 1968, o. S.
- <sup>275</sup> Moholy-Nagy et al. 1970, 188-189.
- <sup>276</sup> Ball 1968, o. S.
- <sup>277</sup> Moholy-Nagy et al. 1970, 29.
- <sup>278</sup> Moholy-Nagy et al. 1970, 206-209.
- <sup>279</sup> Moholy-Nagy et al. 1970, 226-229.
- <sup>280</sup> Moholy-Nagy et al. 1970, 218-219.
- <sup>281</sup> Rudolph o. J., o. S.
- <sup>282</sup> Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 154.
- <sup>283</sup> Paul Rudolph Heritage Foundation 2019, o. S.
- <sup>284</sup> Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 154.
- <sup>285</sup> Rudolph o. J., o. S.
- <sup>286</sup> Moholy-Nagy et al. 1970, 218.
- <sup>287</sup> Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 154.
- <sup>288</sup> Rudolph o. J., o. S.
- <sup>289</sup> Rudolph 1998, 60-64.
- <sup>290</sup> Paul Rudolph Heritage Foundation 2019, o. S.
- <sup>291</sup> De Alba 2003, 108.
- <sup>292</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 10-11.
- <sup>293</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 11 ff.
- <sup>294</sup> Bauart Architekten und Planer AG 2020, o. S.
- <sup>295</sup> Janser 1996, 9-11.
- <sup>296</sup> Bauart Architekten und Planer AG 2020, o. S.
- <sup>297</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-31.
- <sup>298</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 13-14.
- <sup>299</sup> Pro:Holz Austria (Hg.) 2002, 21-22.
- <sup>300</sup> Kapfinger 2000 a, o. S.
- <sup>301</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 14.
- <sup>302</sup> Kapfinger 2000 b, o. S.
- <sup>303</sup> Pro:Holz Austria (Hg.) 2008, 24-25.
- <sup>304</sup> Werkraum Bregenzerwald (Hg.) 2016, 6.
- <sup>305</sup> Werkraum Bregenzerwald (Hg.) 2016, 6.
- <sup>306</sup> Kaufmann Zimmerei und Tischlerei GmbH o. J., o. S.
- <sup>307</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 14 u. 66-67.
- <sup>308</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-32.
- <sup>309</sup> Kapfinger/Wieler (Hg.) 2007, 24 ff.
- <sup>310</sup> Riess 2006, 3 ff.
- <sup>311</sup> Pro:Holz Austria (Hg.) 2008, 22.
- <sup>312</sup> Holzbox Tirol 2003, 1.
- <sup>313</sup> Pro:Holz Austria (Hg.) 2008, 22-23.
- <sup>314</sup> Pro:Holz Austria (Hg.) 2013, 8.
- <sup>315</sup> Speigner 2016, 3.
- <sup>316</sup> Speigner 2016, 3-4.
- <sup>317</sup> Pro:Holz Austria (Hg.) 2013, 8-9.
- <sup>318</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 102-105.
- <sup>319</sup> NKBAK o. J. a, o. S.
- <sup>320</sup> NKBAK o. J. b, o. S.

- <sup>321</sup> NKBAK o. J. c, o. S.
- <sup>322</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 80-81.
- <sup>323</sup> Kaufmann 2017, 3 ff.
- <sup>324</sup> Wissounig 2018, E-1 - E-4.
- <sup>325</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 15.
- <sup>326</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 86-87.
- <sup>327</sup> OOEPEAA o. J., o. S.
- <sup>328</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 77.
- <sup>329</sup> Koller 2018, o. S.
- <sup>330</sup> Kapfinger/Wieler (Hg.) 2007, 9.
- <sup>331</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 6.
- <sup>332</sup> Kaufmann/Krötsch/Winter 2017, 41 ff.
- <sup>333</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 13-23.
- <sup>334</sup> Flatscher/Ringhofer/Schickhofer 2015, 37-42.
- <sup>335</sup> Merz 2018, C-2 - C-3.
- <sup>336</sup> Siehe Kapitel *Begriffsbestimmungen*.
- <sup>337</sup> Ganster 2016, o. S.
- <sup>338</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 26.
- <sup>339</sup> Ganster 2016, o. S.
- <sup>340</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 26-27.
- <sup>341</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 26.
- <sup>342</sup> Ganster/Schickhofer 2018, A-26.
- <sup>343</sup> Ganster 2016, o. S.
- <sup>344</sup> Ganster 2016, o. S.
- <sup>345</sup> Siehe Kapitel *Modular Coordination - Grundmaß [M]*.
- <sup>346</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 26 ff.
- <sup>347</sup> Merz 2018, C-3.
- <sup>348</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 16-18.
- <sup>349</sup> Siehe Kapitel *Raumzellenbau aus Holz*.
- <sup>350</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 16-17.
- <sup>351</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 17.
- <sup>352</sup> Siehe Kapitel *Vorfertigung im modernen Holzbau*.
- <sup>353</sup> Ganster 2016, o. S.
- <sup>354</sup> Flatscher/Ringhofer/Schickhofer 2015, 47.
- <sup>355</sup> Binderholz Bausysteme GmbH 2020, 10.
- <sup>356</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 16.
- <sup>357</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 16 ff.
- <sup>358</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 16 ff.
- <sup>359</sup> Siehe Kapitel *Modular Coordination - Grundmaß [M]*.
- <sup>360</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 20.
- <sup>361</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 21.
- <sup>362</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 23-25.
- <sup>363</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 26-27.
- <sup>364</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 26-29.
- <sup>365</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 31-32.
- <sup>366</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 31-34.
- <sup>367</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 34-35.
- <sup>368</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 34-35.
- <sup>369</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 32.
- <sup>370</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 36-39.
- <sup>371</sup> Ganster 2016, o. S.
- <sup>372</sup> Schickhofer/Schmid 2014, A-2.
- <sup>373</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 46-49.
- <sup>374</sup> Seibert 2019, 89 ff.
- <sup>375</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 46-49.
- <sup>376</sup> Schickhofer/Schmid 2014, A-2 ff.
- <sup>377</sup> Hausladen/Huber/Hilger 2008, 46 ff.
- <sup>378</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 53-55.
- <sup>379</sup> Pro:Holz Austria (Hg.) 2017, 7.
- <sup>380</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 50-51.
- <sup>381</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 55.
- <sup>382</sup> Merz 2018, C-4.
- <sup>383</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 57-61.
- <sup>384</sup> ÖNORM B 2320:2017, 7.
- <sup>385</sup> ÖNORM B 2320:2017, 7.
- <sup>386</sup> ÖNORM B 2320:2017, 20.
- <sup>387</sup> Siehe Kapitel *Technische Gebäudeausrüstung (TGA)*.
- <sup>388</sup> IBO (Hg.) 2018, 17.
- <sup>389</sup> Huß/Kaufmann/Merz 2018, 62-63.
- <sup>390</sup> Bock/Linner 2011, 18.

# LITERATURVERZEICHNIS

- Aitchison, Mathew et al.:** *Prefab Housing and the Future of Building: Product to Process*, London 2018
- Austrian Standards Institute:** *Baumangel, Bauschaden oder normgemäße Toleranz. Die Anwendung der ÖNORM DIN 18202 Toleranzen im Hochbau – Bauwerke und anderer Fundstellen für normgemäße Toleranz-Maßstäbe beider Ausführung von Bauleistungen*, Fachinformation 11, Wien 2014
- Ball, I.:** *Storey with an unhappy ending*, Talk with Architect Paul Rudolph [1918-1977], reprinted from The Daily Telegraph Magazine, London, December 13, 1968, <http://www.gibson-design.com/forum-storey-rudolph.html>, in: <http://www.gibson-design.com/index.html>, Zugriff am 25.11.2019
- Bauart Architekten und Planer AG, 2020:** *Die Modular-Familie*, <https://www.modulart.ch/die-modular-familie/>, in: <https://modulart.ch/>, Zugriff am 18.05.2020
- Bemis, Albert Farwell:** *The Evolving House. Volume III. Rational Design*, Printed in the United States of America, The Technology Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 1936
- Bergdoll, Barry/ Christensen, Peter (Hg.):** *HOME DELIVERY. FABRICATING THE MODERN DWELLING*, Published by The Museum of Modern Art, New York 2008
- Bibliographisches Institut GmbH, 2018 a:** *Modul*, [https://www.duden.de/rechtschreibung/Modul\\_Verhaeltnis\\_Divisor](https://www.duden.de/rechtschreibung/Modul_Verhaeltnis_Divisor), in: <http://www.duden.de>, Zugriff am 12.11.2018
- Bibliographisches Institut GmbH, 2018 b:** *Element*, <https://www.duden.de/rechtschreibung/Element>, in: <http://www.duden.de>, Zugriff am 12.11.2018
- Bibliographisches Institut GmbH, 2018 c:** *Komponente*, <https://www.duden.de/rechtschreibung/Komponente>, in: <http://www.duden.de>, Zugriff am 12.11.2018
- Bibliographisches Institut GmbH, 2018 d:** *Baustein*, <https://www.duden.de/rechtschreibung/Baustein>, in: <http://www.duden.de>, Zugriff am 12.11.2018
- Bibliographisches Institut GmbH, 2018 e:** *Bauteil*, [https://www.duden.de/rechtschreibung/Bauteil\\_Gebaeudeteil](https://www.duden.de/rechtschreibung/Bauteil_Gebaeudeteil), in: <http://www.duden.de>, Zugriff am 12.11.2018
- Bibliographisches Institut GmbH, 2018 f:** *Bauteil*, [https://www.duden.de/rechtschreibung/Bauteil\\_Baelement\\_Einzelteil](https://www.duden.de/rechtschreibung/Bauteil_Baelement_Einzelteil), Zugriff am 12.11.2018
- Bibliographisches Institut GmbH, 2018 g:** *Raum*, <https://www.duden.de/rechtschreibung/Raum>, in: <http://www.duden.de>, Zugriff am 12.11.2018
- Bibliographisches Institut GmbH, 2018 h:** *Raumzelle*, <https://www.duden.de/rechtschreibung/Raumzelle>, in: <http://www.duden.de>, Zugriff am 12.11.2018
- Binderholz Bausysteme GmbH:** *BINDERHOLZ BRETTSPERRHOLZ BBS*, Broschüre, 12 Seiten, Hallein 2020, [https://www.binderholz.com/fileadmin/user\\_upload/books/de/bbs/6/index.html](https://www.binderholz.com/fileadmin/user_upload/books/de/bbs/6/index.html), in: <https://www.binderholz.com/>, Zugriff am 06.05.2020
- Bock, Thomas/ Linner, Thomas:** *Mass Customization im Bauwesen*, in: *IBR Informationen Bau-Rationalisierung*, Issue no. 4, 40. Jahrgang, September 2011, 14-19
- Bock, Thomas/ Linner, Thomas:** *Robotic Industrialization. Automation and Robotic Technologies for Customized Component, Module and Building Prefabrication*, Cambridge University Press, New York 2015
- Boesiger, Willy/ Stonorov, Oscar (Hg.) a:** *Le Corbusier. Oeuvre complète. Volume 1. 1910-1929*, Birkhäuser Verlag, 18. Auflage 2013, unveränderter Nachdruck der 1. Auflage von 1929, Basel 1995
- Boesiger, Willy/ Stonorov, Oscar (Hg.) b:** *Le Corbusier. Oeuvre complète. Volume 4. 1938-1946*, Birkhäuser Verlag, 14. Auflage 2013, unveränderter Nachdruck der 1. Auflage von 1946, Basel 1995
- Building and Construction Authority [BCA]:** *modular coordination. BCA Buildability Series*, Singapore, March 2000
- Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz [BMSGPK], 2020:** *Metabolismus*, <https://www.gesundheit.gv.at/lexikon/m/lexikon-stoffwechsel>, in: <https://www.gesundheit.gv.at/>, Zugriff am 30.01.2020

- Conrads, Ulrich/ Neitzke, Peter (Hg.) a:** *Le Corbusier. 1929. Feststellungen zu Architektur und Städtebau*, 2. unveränderter Nachdruck der 2. Auflage von 1987, Originalausgabe 1964, Reihe Bauwelt Fundamente 12, Birkhäuser Verlag und Bauverlag, Basel - Berlin 2013
- Conrads, Ulrich/ Neitzke, Peter (Hg.) b:** *Le Corbusier. 1922. Ausblick auf eine Architektur*, 6. unveränderter Nachdruck der 4. Auflage von 1982, Originalausgabe 1963, Reihe Bauwelt Fundamente 2, Birkhäuser Verlag und Bauverlag, Basel - Berlin 2013
- De Alba, Roberto:** *PAUL RUDOLPH. THE LATE WORK*, Published by Princeton Architectural Press, New York 2003
- De Berti, Angelo:** *Raum auf Raum statt Stein auf Stein*, in: **Jenatsch, Gian-Marco/ Krucker, Bruno/ Bauforum Zug (Hg.):** *Werk -> Serie. Fritz Stucky. Architekt und Unternehmer*, gta Verlag, ETH Zürich, Zürich 2006, 117-127
- Doßmann, Axel/ Wenzel, Jan/ Wenzel, Kai:** *Architektur auf Zeit. Baracken, Pavillons, Container*, Berlin 2006
- Eisinger, Angelus:** *Der kurze Aufbruch ins Große*, in: **Jenatsch, Gian-Marco/ Krucker, Bruno/ Bauforum Zug (Hg.):** *Werk -> Serie. Fritz Stucky. Architekt und Unternehmer*, gta Verlag, ETH Zürich, Zürich 2006, 51-58
- Engelsmann, Stephan/ Spalding, Valerie/ Peters, Stefan:** *Kunststoffe in Architektur und Konstruktion*, Birkhäuser Verlag, Basel 2010
- Engler, Harald/ Kuhmann, Anke (Hg.):** *Entwerfen im System. Der Architekt Wilfried Stallknecht. Ausstellungskatalog, Erkner 2009*
- Engler, Harald:** *Wilfried Stallknecht und das industrielle Bauen. Ein Architektenleben in der DDR*, Lukas Verlag, Berlin 2014
- ETAG 023:2006:** *GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL OF PREFABRICATED BUILDING UNITS*, European Organisation for Technical Approvals, Edition August 2006
- Flatscher, Georg/ Ringhofer, Andreas/ Schickhofer, Gerhard:** *Came to stay...and not going to leave. Comeback of timber in fast growing cities with CLT pre-fab solutions*, Vortrag, gehalten im Rahmen der *Tallinn Wood Architecture Conference*, Tallinn, 25.-26. November 2015
- Fonds Régional d'Art Contemporain du Centre, o. J. a:** *Ionel Schein*, [http://www.frac-centre.fr/\\_en/art-and-architecture-collection/schein-ionel-316.html?authID=171](http://www.frac-centre.fr/_en/art-and-architecture-collection/schein-ionel-316.html?authID=171), in: [http://www.frac-centre.fr/\\_en/](http://www.frac-centre.fr/_en/), Zugriff am 11.03.2020
- Fonds Régional d'Art Contemporain du Centre, o. J. b:** *Ionel Schein. Maison tout en plastiques, Salon des Arts ménagers, Paris, 1956*, [http://www.frac-centre.fr/\\_en/art-and-architecture-collection/schein-ionel/maison-tout-plastiques-salon-des-arts-menagers-paris-317.html?authID=171&ensembleID=554](http://www.frac-centre.fr/_en/art-and-architecture-collection/schein-ionel/maison-tout-plastiques-salon-des-arts-menagers-paris-317.html?authID=171&ensembleID=554), in: [http://www.frac-centre.fr/\\_en/](http://www.frac-centre.fr/_en/), Zugriff am 11.03.2020
- Gailhofer, Susanne, 2016:** *FACHBEITRAG: Wie baut man Zukunft?*, <https://www.moderne-regional.de/fachbeitrag-archigram-und-co/>, in: <https://www.moderne-regional.de/>, Zugriff am 20.11.2018
- Gamerith, Horst:** *Maßtoleranzen im Hochbau*, Skriptum Institut für Hoch- und Industriebau (heute: Institut für Hochbau und Bauphysik), Technische Universität Graz, Graz 2002
- Ganster, Konstantin:** *Modularisierung der Holz-Massivbauweise in Brettspertholz - Analyse und Fügung. Modul "modulares Bauen mit Raumzellen" [extended-abstract]*, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz, Graz 2016
- Ganster, Konstantin/ Schickhofer, Gerhard:** *[M]odul und Raster - Das n\*[M] der Standardisierung und Vorfertigung*, in: **Ganster, Konstantin/ Schickhofer, Gerhard (Hg.):** *3. Klagenfurter Holzbau-Fachtagung. 3. KLaH-FT'18. Tagungsband. VORFERTIGEN und MODULARISIEREN im Holzbau*, Technische Universität Graz, Graz 2018, A1 - A40
- Gratz, Lucia, 2017:** *Verborgene Werte. Geschichte. Modulares Bauen der Schweizer Nachkriegsmoderne*, <https://modulart.ch/verborgene-werte/>, in: **Bauart Architekten und Planer AG, 2018**, <https://modulart.ch/>, Zugriff am 14.11.2018
- Gratz, Lucia, 2019:** *Baukasten im Grossen*, <https://www.modulart.ch/baukasten-im-grossen/>, in: **Bauart Architekten und Planer AG, 2020**, <https://modulart.ch/>, Zugriff am 24.02.2020

- Gunßer, Christoph, 2008:** ... in die Jahre gekommen. Wohnhöfe in Offenau, deutsche bauzeitung, db-Archiv - db 02 | 2008, <https://www.db-bauzeitung.de/db-themen/db-archiv/wohnhoeefe-in-offenau/>, in: <https://www.db-bauzeitung.de/>, Zugriff am 19.11.2018
- Hausladen, Gerhard/ Huber, Christian/ Hilger, Michael:** *Holzbau der Zukunft. Teilprojekt 12. Modulare, vorgefertigte Installationen in mehrgeschossigen Holzbauwerken*, Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, Technische Universität München, München 2008
- H. B. Zachry Company, 1968:** *A Tall Story - Hilton Palacio del Rio*, Construction video on how the Hilton Palacio del Rio River Walk Hotel was constructed in 1968 for the World's Fair in San Antonio, Texas, <https://www.youtube.com/watch?v=D7shgCkCfhU&feature=youtu.be>, in: <https://www.youtube.com/>, hochgeladen am 25.04.2012, Zugriff am 15.03.2020
- Holzbox Tirol, 2003:** *Mustermodul*, Info 29, 1 Seite, [http://www.holzbox.com/Index\\_03/B2\\_Mustermodul/Mustermodul.html](http://www.holzbox.com/Index_03/B2_Mustermodul/Mustermodul.html), in: <http://www.holzbox.com/index.html>, Zugriff am 20.05.2020
- Holzbox Tirol, 2004:** *Zum Beispiel Passail. das multifunktionale Camp*, Broschüre, 16 Seiten, [http://www.holzbox.com/Index\\_01/A3\\_Passail/Passail.html](http://www.holzbox.com/Index_01/A3_Passail/Passail.html), in: <http://www.holzbox.com/index.html>, Zugriff am 20.05.2020
- Holzbox Tirol, 2005:** *Camp Planneralm*, Info 38, 1 Seite, [http://www.holzbox.com/Index\\_02/B3\\_Planneralm/Planneralm.html](http://www.holzbox.com/Index_02/B3_Planneralm/Planneralm.html), in: <http://www.holzbox.com/index.html>, Zugriff am 20.05.2020
- Huß, Wolfgang/ Kaufmann, Matthias/ Merz, Konrad:** *Holzbau Raummodule*, Ein Fachbuch aus der Redaktion DETAIL, München 2018
- International Organization for Standardization [ISO], o. J.:** *About us. Our Story begins in 1946*, <https://www.iso.org/about-us.html#7>, in: <https://www.iso.org/home.html>, Zugriff am 30.03.2020
- ISO 1006:1983 [E]:** *Building Construction - Modular coordination - Basic module*, International Organization for Standardization, Ausgabe am 15.11.1983
- ISO 1040:1983 [E]:** *Building Construction - Modular coordination - Multimodules for horizontal coordinating dimensions*, International Organization for Standardization, Ausgabe am 01.12.1983
- ISO 2848:1984 [E]:** *Building Construction - Modular coordination - Principles and rules*, International Organization for Standardization, Ausgabe am 15.04.1984
- ISO 6513:1982 [E]:** *Building Construction - Modular coordination - Series of preferred multimodular sizes for horizontal dimensions*, International Organization for Standardization, Ausgabe am 15.02.1982
- ISO 6514:1982 [E]:** *Building Construction - Modular coordination - Sub-modular increments*, International Organization for Standardization, Ausgabe am 01.03.1982
- Jacobs, Kerrie, 2015:** *Moshe Safdie and the Revival of Habitat 67*, May 12, 2015, [https://www.architectmagazine.com/awards/moshe-safdie-and-the-revival-of-habitat-67\\_o](https://www.architectmagazine.com/awards/moshe-safdie-and-the-revival-of-habitat-67_o), in: <https://www.architectmagazine.com/>, Zugriff am 06.02.2020
- Janser, Andreas:** *Raumzellen für Modul-Holzbausystem*, in: Schweizer Ingenieur und Architekt, Band 144, Heft 13, 21. März 1996, 9-12
- Japan Prefabricated Construction Suppliers and Manufacturers Association:** *Prefabricated Steel-frame Housing in Japan*, in: STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW, No. 37, December 2012, 5-13
- Japan Prefabricated Construction Suppliers and Manufacturers Association, o. J.:** *Our association. Classification of Prefab Housing and Building Construction Methods*, <https://www.purekyo.or.jp/English/index.html>, in: <https://www.purekyo.or.jp/>, Zugriff am 21.03.2020
- Japanwelt Blog, 2019:** *Nakagin Capsule Tower – dem einst visionären Gebäude droht der Verfall*, <https://www.japanwelt.de/blog/nakagin-capsule-tower-dem-einst-visionaeren-gebaeude-droht-der-verfall>, in: <https://www.japanwelt.de/>, 31.10.2019, Zugriff am 23.03.2020
- Jauk, Günther, 2019:** *100.000 m<sup>3</sup>-Brettsperrholz-Werke als Standard?*, [https://www.holzkurier.com/holzprodukte/2019/10/100-000\\_m3-werke-als-standard-.html](https://www.holzkurier.com/holzprodukte/2019/10/100-000_m3-werke-als-standard-.html), in: <https://www.holzkurier.com/>, 25.10.2019, Zugriff am 05.05.2020

- Jenatsch, Gian-Marco/ Krucker, Bruno/ Bauforum Zug (Hg.):** *Werk -> Serie. Fritz Stucky. Architekt und Unternehmer*, gta Verlag, ETH Zürich, Zürich 2006
- Jenatsch, Gian-Marco:** *Entwerferische Intention und unternehmerische Logik*, in: **Jenatsch, Gian-Marco/ Krucker, Bruno/ Bauforum Zug (Hg.):** *Werk -> Serie. Fritz Stucky. Architekt und Unternehmer*, gta Verlag, ETH Zürich, Zürich 2006, 65-87
- Kapfinger, Otto, 2000 a:** *SU - SI - Fertighaus*, <https://www.nextroom.at/building.php?id=2870&inc=home>, in: <https://www.nextroom.at/>, 21.09.2000, Zugriff am 19.05.2020
- Kapfinger, Otto, 2000 b:** *Fred - Fertighaus*, <https://www.nextroom.at/building.php?id=2925>, in: <https://www.nextroom.at/>, 21.09.2000, Zugriff am 19.05.2020
- Kapfinger, Otto/ Wieler, Ulrich (Hg.):** *RIESS WOOD<sup>3</sup>. MODULARE HOLZBAUSYSTEME*, Springer Verlag, Wien - New York 2007
- Kaufmann Bausysteme GmbH:** *KAUFMANN BAUSYSTEME. konstruktiv mutig. MIT HOLZ*, Broschüre, 36 Seiten, Reuthe 2016
- Kaufmann, Christian:** *WOODIE Hamburg - so baut man mit Modulen*, in: **Forum Holzbau (Hg.):** *23. Internationales Holzbau-Forum (IHF 2017)*, Tagungsband, Biel - Bienne 2017, 10 Seiten
- Kaufmann, Hermann/ Nerdinger, Winfried (Hg.):** *Bauen mit Holz. Wege in die Zukunft*, Publikation zur Ausstellung des Architekturmuseums der TU München in der Pinakothek der Moderne vom 10. November 2011 bis 5. Februar 2012, Neuauflage 2014, Prestel Verlag, München - London - New York 2011
- Kaufmann, Hermann/ Krötsch, Stefan/ Winter, Stefan:** *Atlas Mehrgeschossiger Holzbau*, Edition DETAIL, München 2017
- Kaufmann Zimmerei und Tischlerei GmbH, o. J.:** *Hotel Post, Bezau - Aufstockung 2009*, <https://www.kaufmannzimmerei.at/projekt/hotel-post-bezau-aufstockung-2009>, in: <https://www.kaufmannzimmerei.at/>, Zugriff am 19.05.2020
- Klose, Alexander:** *Vom Raster zur Zelle – die Containerisierung der modernen Architektur*, Vortrag im Masterstudien-gang „Media Architecture“, WS 05/06, Bauhaus-Universität Weimar, 17.01.2006
- Koller, Michael, 2018:** *Hotel Jakarta, Amsterdam/NL*, [https://www.dbz.de/artikel/dbz\\_Hotel\\_Jakarta\\_Amsterdam\\_NL\\_3261512.html](https://www.dbz.de/artikel/dbz_Hotel_Jakarta_Amsterdam_NL_3261512.html), in: <https://www.dbz.de/>, Zugriff am 26.05.2020
- Krucker, Bruno:** *Restflächen im System*, in: **Jenatsch, Gian-Marco/ Krucker, Bruno/ Bauforum Zug (Hg.):** *Werk -> Serie. Fritz Stucky. Architekt und Unternehmer*, gta Verlag, ETH Zürich, Zürich 2006, 107-113
- Kühnle, Rüdiger Paul:** *Paul Rudolph und die zweite Generation der amerikanischen Moderne*, Diss., Stuttgart, 2005
- Kurokawa, Kisho:** *Kisho Kurokawa. From Metabolism to Symbiosis*, Great Britain 1992
- Matzinger, Fritz:** *Les Paletuviers: kooperative Siedlungen in Leonding, Wilhering und Graz*, in: *Bauen + Wohnen = Construction + habitation = Building + home : Internationale Zeitschrift*, Band 33, Zürich 1979, 12-27
- Merin, Gili, 2013:** *"AD Classics: The Plug-In City / Peter Cook, Archigram"*, ArchDaily, <https://www.archdaily.com/399329/ad-classics-the-plug-in-city-peter-cook-archigram/>, in: <https://www.archdaily.com/>, Zugriff am 19.11.2018
- Merz, Konrad:** *Statisch-konstruktive Überlegungen bei der Verwendung industriell vorgefertigter Raumzellen-Bausysteme*, in: **Ganster, Konstantin/ Schickhofer, Gerhard (Hg.):** *Vorfertigen und Modularisieren im Holzbau*, Tagungsband zur 3. Klagenfurter Holzbaufachtagung, Verlag der Technischen Universität Graz, 2018, C-1 - C-6
- Modular Building Institute, 2007:** *21-Story Modular Hotel Raised the Roof for the Texas World Fair in 1968*, <http://modular.org/HtmlPage.aspx?name=hilton>, in: <http://modular.org/>, Zugriff am 15.03.2020
- Modular Building Institute:** *INTRODUCTION TO COMMERCIAL MODULAR CONSTRUCTION*, First Edition, Printed by Bison Printing, Bedford 2015
- Moholy-Nagy, Sibyl/ Schwab, Gerhard/ Rudolph, Paul:** *The Architecture of Paul Rudolph*, Published in the United States of America by Praeger Publishers, Inc., New York 1970

- Neumann, Katharina, 2017:** *Was ist Utopia?*, Polis. Magazin für Urban Development, Ausgabe: polis 01/2017, Titelthema: UNLIMITED, online: <https://polis-magazin.com/2017/06/was-ist-utopia/>, in: <https://polis-magazin.com/>, Zugriff am 19.11.2018
- NKBAK, o. J. a:** *Integrierte Gesamtschule Riedberg*, <https://www.nkbak.de/projekte/igs-frankfurt-riedberg.html>, in: <https://www.nkbak.de/>, Zugriff am 23.05.2020
- NKBAK, o. J. b:** *Integrierte Sekundarschule Mahlsdorf*, <https://www.nkbak.de/projekte/integrierte-sekundarschule-mahlsdorf.html>, in: <https://www.nkbak.de/>, Zugriff am 23.05.2020
- NKBAK, o. J. c:** *Eröffnung Grundschule Konrad-Wolf-Strasse, Berlin*, <https://www.nkbak.de/aktuelles/eroeffnung-grundschule-konrad-wolf-strasse.html>, in: <https://www.nkbak.de/>, Zugriff am 23.05.2020
- ÖNORM B 1100:2006:** *Toleranzen im Bauwesen - Allgemeine Begriffe und Grundsätze*, Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe am 01.06.2006, Zurückziehung am 15.02.2010
- ÖNORM B 2310:2009:** *Fertighäuser - Benennungen und Definitionen sowie Mindestleistungsumfang*, Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe am 01.05.2009
- ÖNORM B 2320:2017:** *Wohnhäuser aus Holz. Technische Anforderungen*, Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe am 01.08.2017
- ÖNORM DIN 18202:2013:** *Toleranzen im Hochbau - Bauwerke*, Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe am 15.12.2013
- OOPEAA, o. J.:** *Puukuokka Housing Block*, <http://oopeaa.com/project/puukuokka-housing-block/>, in: <http://oopeaa.com/>, Zugriff am 26.05.2020
- Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH [IBO] (Hg.):** *Leitfaden zur Berechnung des Oekoindex OI3 für Bauteile und Gebäude*, Stand Oktober 2018, Version 4.0, Wien 2018
- Oxford University Press, 2018 a:** *module*, <https://en.oxforddictionaries.com/definition/module>, in: <https://en.oxforddictionaries.com/>, Zugriff am 12.11.2018
- Oxford University Press, 2018 b:** *element*, <https://en.oxforddictionaries.com/definition/element>, in: <https://en.oxforddictionaries.com/>, Zugriff am 12.11.2018
- Oxford University Press, 2018 c:** *component*, <https://en.oxforddictionaries.com/definition/component>, in: <https://en.oxforddictionaries.com/>, Zugriff am 12.11.2018
- Oxford University Press, 2018 d:** *container*, <https://en.oxforddictionaries.com/definition/container>, in: <https://en.oxforddictionaries.com/>, Zugriff am 12.11.2018
- Oxford University Press, 2018 e:** *box*, <https://en.oxforddictionaries.com/definition/box>, in: <https://en.oxforddictionaries.com/>, Zugriff am 12.11.2018
- Oxford University Press, 2018 f:** *cell*, <https://en.oxforddictionaries.com/definition/cell>, in: <https://en.oxforddictionaries.com/>, Zugriff am 12.11.2018
- Paul Rudolph Foundation, o. J. a:** *Paul Rudolph. Biography*, <https://paulrudolph.org/paul-rudolph/>, in: <https://paulrudolph.org/paul-rudolph/>, Zugriff am 15.11.2019
- Paul Rudolph Foundation, o. J. b:** *Walker Guest House*, <https://paulrudolph.org/project/walker-guest-house/>, in: <https://paulrudolph.org/paul-rudolph/>, Zugriff am 15.11.2019
- Paul Rudolph Heritage Foundation, 2019:** *Oriental Masonic Gardens*, <https://www.paulrudolphheritagefoundation.org/196801-oriental-masonic-gardens>, in: <https://www.paulrudolphheritagefoundation.org/>, Zugriff am 29.11.2019
- Pawley, Martin:** *Theorie und Gestaltung im zweiten Maschinenzeitalter*, Braunschweig 1998
- Philipp Reclam jun. GmbH & Co. KG:** *Wörterbuch der Architektur*, Reclam Sachbuch, 13. überarbeitete und erweiterte Auflage, Stuttgart 2010
- Pro:Holz Austria (Hg.):** *Zuschnitt 6. vor fertig los!*, Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz, Nr. 6, 2. Jahrgang, Wien, Juni 2002

- Pro:Holz Austria (Hg.):** *Zuschnitt 50. Konfektionen in Holz*, Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz, Nr. 50, 13. Jahrgang, Wien, September 2003
- Pro:Holz Austria (Hg.):** *Zuschnitt 18. Schallwellen*, Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz, Nr. 18, 5. Jahrgang, Wien, Juni 2005
- Pro:Holz Austria (Hg.):** *Zuschnitt 31. Massiv über Kreuz*, Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz, Nr. 31, 8. Jahrgang, Wien, September 2008
- Pro:Holz Austria (Hg.):** *Zuschnitt 67. Raumstapel*, Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz, Nr. 67, 17. Jahrgang, Wien, September 2017
- Riess, Hubert:** *Impulszentrum Graz and Mühlweg 3*, in: **Hochschule für Architektur, Bau und Holz Biel (Hg.):** *12. Internationales Holzbau-Forum (IHF 2006)*, Fraunhofer IRB Verlag, Biel 2006, 13 Seiten
- Rudolph, Paul:** *Rethinking Designs of the 60s*, Remarks included in the posthumous article, in: **Deresiewicz, William et al.:** *Perspecta 29 "Into the Fire". The Yale Architectural Journal*, 1998, 60-64, <https://prudolph.lib.umassd.edu/node/3828>, in: <https://prudolph.lib.umassd.edu/home>, Zugriff am 29.11.2019
- Rudolph, Paul o. J.:** *Oriental Masonic Gardens, New Haven, CT, 1968-1971.*, <https://prudolph.lib.umassd.edu/node/4701>, in: <https://prudolph.lib.umassd.edu/home>, Zugriff am 29.11.2019
- Russel, Andrew L.:** *Modularity: An Interdisciplinary History of an Ordering Concept*, in: *Information & Culture*, Vol. 47, No. 3, 2012, University of Texas Press, Austin, Texas 2012, 257-287
- Safdie Architects, 2018:** *Habitat'67*, <https://www.safdiearchitects.com/projects/habitat-67>, in: <https://www.safdiearchitects.com/>, Zugriff am 06.02.2020
- Sbriglio, Jacques:** *Le Corbusier: L'Unité d'habitation de Marseille. The Unité d'Habitation in Marseilles*, Fondation Le Corbusier Paris, Birkhäuser Publishers, Basel - Boston - Berlin 2004
- Schickhofer, Gerhard, a:** *Holzbau. Der Roh- und Werkstoff Holz*, Skriptum Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz, Graz 2006
- Schickhofer, Gerhard, b:** *Holzbau. Konstruktionen aus Holz*, Skriptum Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz, Graz 2006
- Schickhofer, Gerhard/ Schmid, Gernot:** *Gebäudetechnik für Geschossbauten in Holz-Massivbauweise*, in: **Ringhofer, Andreas/ Schickhofer, Gerhard/ Tripolt, Markus (Hg.):** *1. Klagenfurter Holzbau-Fachtagung. 1. KLAHFT'16. Tagungsband. VERSORGEN und UMHÜLLEN im Holzbau. Schnittstellen des Holzbaus zur Gebäude- und Fassadentechnik*, Technische Universität Graz, Graz 2014, A1 - A31
- Schmal, Peter Cachola/ Flagge, Ingeborg/ Visscher, Jochen (Hg.):** *Kisho Kurokawa. Metabolism and Symbiosis. Metabolismus und Symbiosis*, erschienen anlässlich der Ausstellung: "Kisho Kurokawa - Metabolismus und Symbiosis", 08. April - 19. Juni 2005, Deutsches Architekturmuseum, jovis Verlag, Berlin 2005
- Schüler, Ralf/ Witte, Ursulina:** *Raumzellen aus Kunststoffen für ein- und mehrgeschoßige Bauwerke*, in: *Das Werk. Architektur und Kunst*, Heft 1, 55. Jahrgang, o. O. Januar 1968, 358-359
- Schüler-Witte, Ursulina:** *Ralf Schüler und Ursulina Schüler-Witte. Eine Werkorientierte Biographie der Architekten des ICC*, Lukas Verlag, Berlin 2015
- Seibert, Christoph:** *Sanitärtechnik für Geschosswohnbauten in Holz-Massivbauweise - Entwicklung der Sanitärtechnik und holzbaukonforme Ausführung eines Feuchtraumes*, Masterarbeit, Technische Universität Graz, Graz 2019
- Seiß, Reinhard, 2016 a:** *Utopie auf der Streuobstwiese und Ein Baum als Modell für den Wohnbau*, in: *Fritz Matzinger und die Luftwurzler*, Bauwelt 27.2016, 107. Jahrgang, Bauverlag BV GmbH, Berlin 2016, 16-23
- Seiß, Reinhard, 2016 b:** *Österreichische Architektur. Pionier des Neuen Wohnens*, Interview mit F. Matzinger in der Wiener Zeitung, [https://www.wienerzeitung.at/themen\\_channel/wz\\_reflexionen/zeitgenossen/830433\\_Pionier-des-Neuen-Wohnens.html](https://www.wienerzeitung.at/themen_channel/wz_reflexionen/zeitgenossen/830433_Pionier-des-Neuen-Wohnens.html), in: <https://www.wienerzeitung.at/>, Zugriff am 23.11.2018
- Slawik, Han et al. (Hg.):** *CONTAINER ATLAS. A PRACTICAL GUIDE TO CONTAINER ARCHITECTURE*, Gestalten Verlag, 4. Auflage 2013, Berlin 2010
- Smith, Ryan E.:** *PREFAB ARCHITECTURE. A GUIDE TO MODULAR DESIGN AND CONSTRUCTION*, New Jersey 2010

- Smith, Ryan E./ Quale, John D.:** *Offsite Architecture. Constructing the future*, London - New York 2017
- Speigner, Simon:** *Grossvolumiger Holzwohnbau*, in: **Forum Holzbau (Hg.):** 22. Internationales Holzbau-Forum (IHF 2016), Tagungsband, Biel - Bienne 2016, 13 Seiten
- Staub, Gerald/ Dörrhofer, Andreas/ Rosenthal, Markus:** *ELEMENTE + SYSTEME. MODULARES BAUEN. ENTWURF. KONSTRUKTION. NEUE TECHNOLOGIEN*, Ein Fachbuch aus der Redaktion DETAIL, Basel - Boston - Berlin 2008
- Stalder, Laurent/ Vrachliotis, Georg (Hg.):** *Fritz Haller. Architekt und Forscher*, gta Verlag, ETH Zürich, Zürich 2015
- Stallmach, Lena, 2010:** *Vom Einzeller zum komplexen Vielzeller*, Artikel in der Neuen Züricher Zeitung, [https://www.nzz.ch/vom\\_einzeller\\_zum\\_komplexen\\_vielzeller-1.7321918](https://www.nzz.ch/vom_einzeller_zum_komplexen_vielzeller-1.7321918), in: <https://www.nzz.ch/>, Zugriff am 27.11.2018
- Steiger, Peter:** *Einleitung*, in: **Jenatsch, Gian-Marco/ Krucker, Bruno/ Bauforum Zug (Hg.):** *Werk -> Serie. Fritz Stucky. Architekt und Unternehmer*, gta Verlag, ETH Zürich, Zürich 2006, 27-30
- Stowasser, J. M./ Petschenig, M./ Skutsch, F.:** *Stowasser. Österreichische Schulausgabe. Lateinisch-deutsches Schulwörterbuch von J. M. Stowasser, M. Petschenig und F. Skutsch*, Auflage 1997, Oldenbourg Schulbuchverlag GmbH, München - Düsseldorf - Stuttgart 2006
- Sturm, Philipp/ Schmal, Peter Cachola (Hg.):** *Zukunft von gestern. Visionäre Entwürfe von Future Systems und Archigram. Yesterday's Future. Visionary Designs by Future Systems and Archigram*, erschienen anlässlich der Ausstellung: ZUKUNT VON GESTERN. VISIONÄRE ENTWÜRFE VON FUTURE SYSTEMS UND ARCHIGRAM, 14. Mai - 18. September, Deutsches Architekturmuseum, Prestel Verlag, München - London - New York 2016
- Technische Universität München [TUM] (Hg.):** *Abschlussbericht Forschungsvorhaben: Bauen mit WEITBLICK. Systembaukasten für den industrialisierten sozialen Wohnungsbau*, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München, München 2018
- The Buckminster Fuller Institute, o. J.:** *About Fuller. Dymaxion Bathroom*, <https://www.bfi.org/about-fuller/big-ideas/dymaxion-world/dymaxion-bathroom>, in: <https://www.bfi.org/>, Zugriff am 17.03.2020
- Wallis, Allan D.:** *Wheel Estate. The Rise and Decline of Mobile Homes*, Baltimore - London 1997
- Waugh Thistleton Architects (Hg.):** *100 UK CLT Projects*, o. O. 2018
- Werkraum Bregenzerwald (Hg.):** *HOLZ. MODUL. BAU*, Begleitheft zur Ausstellung "Holzmodulbau" im Werkraum Bregenzerwald, Ausstellungsdauer: 6. Februar bis 28. Mai 2016, Andelsbuch 2016
- Wissounig, Dietger:** *Raumzellen am Fließband für Bauvorhaben des Gesundheits- und Pflegewesens*, in: **Ganster, Konstantin/ Schickhofer, Gerhard (Hg.):** 3. Klagenfurter Holzbau-Fachtagung. 3. KLaHFT'18. Tagungsband. VORFERTIGEN und MODULARISIEREN im Holzbau, Technische Universität Graz, Graz 2018, E-1 - E-4

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1:	Entwicklung der globalen BSP-Produktion   verändert nach: © Holzkurier, Univ.-Prof. Lech Muszynski, PhD   in: Jauk 2019, o. S.	3
Abb. 2:	Schematische Darstellung von Grundmodul, Multimodul und Submodul, Basis [M] = 100mm   © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-5.	17
Abb. 3:	Modularten nach ISO 2848:1984 [E]   Grundmodul (links), Multimodul (Mitte), Submodul (rechts)   © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-6.	17
Abb. 4:	Achsraster, Bandraster und Kombination aus Achs- und Bandraster   © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-6.	18
Abb. 5:	Grafische Darstellung von Bemaßungslinien (a) und Koordinationszonen (b) gemäß BCA   © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   a, b in: Ganster/Schickhofer 2018, A-7.	18
Abb. 6:	Modulares 3D-Raster (modular space-grid) nach ISO 2848:1984 [E]   © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-7.	19
Abb. 7:	Modulare 2D-Raster (modular grids) nach ISO 2848:1984 [E]: a Karoraster (tartan grid) b überlagerte Raster   © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-8.	19
Abb. 8:	Unterbrechung eines modularen Rasters durch eine nicht-modulare Zone ( $n' \times [M]$ ) nach ISO 2848:1984 [E]   © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-8.	20
Abb. 9:	Versatz und Überlagerung von zwei modularen Rastern nach ISO 2848:1984 [E]   © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-8.	20
Abb. 10:	Unterbrechung des Standardrasters durch ein Karoraster unter Verwendung eines Submoduls   © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-9.	20
Abb. 11:	Beziehung zwischen 3D-Raster und 2D-Raster   verändert nach: © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-10.	21
Abb. 12:	Schematische Darstellung von Nennmaß, Höchstmaß, Mindestmaß, Maßtoleranz und Grenzbezug   verändert nach: © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-10.	21
Abb. 13:	a, b USM-Stahlbausystem Maxi   Fritz Haller c, d Außenaufnahme und Grundriss vom Wohnhaus Schärer in Münsingen, CH   USM-Stahlbausystem Mini   Fritz Haller 1968-1969   a-d in: Stalder/Vrachliotis (Hg.) 2015, 287-295.	23
Abb. 14:	a USM-Stahlbausystem Mini   Fritz Haller   Modulares Raster in Bezug auf Geschoßanzahl u. Spannweite b-d USM-Stahlbausystem Midi   Fritz Haller   b Achsraster für Tragwerk (links) u. Fassade (rechts), c Achsraster für die Gebäudetechnik, d Bandraster für Ausbauten, 1 [M] = 100 mm   verändert nach: © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   a-d in: Ganster/Schickhofer 2018, A-23 - A-24.	24
Abb. 15:	Schematische Darstellung von Längen-, Flächen- und Volumeneinheit   © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-12.	26
Abb. 16:	Darstellung der Gesamtmatrix am Beispiel des Pavillons "lightspace" auf der Biennale 2016   © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-12.	26
Abb. 17:	Darstellung der Strukturmatrix am Beispiel des Pavillons "lightspace" auf der Biennale 2016   © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-13.	26
Abb. 18:	Isolierter Kubus mit seinen drei Axialebenen A, B und C   © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-13.	27

Abb. 19:	Darstellung von Haupt-, Neben- und Verbindungskuben am Beispiel eines zusammengesetzten Wandelementes (BSH-BSP-Rippenelement) vom Pavillon "lightspace" auf der Biennale 2016   © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-13.	27
Abb. 20:	Darstellung der Symmetrie der Verbindungskuben, welche die Verbindungstechnik aufnehmen (links) Übertragung der Modularität zwischen zwei Strukturelementen durch die Verbindungstechnik (rechts)   verändert nach: © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-14.	28
Abb. 21:	Schematische Darstellung der Haupt- und Nebenkuben mit Haupt- und Nebenflächen   © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-14.	29
Abb. 22:	Gliederung des Hauptkubus durch die drei Axialebenen und weitere Unterteilung der acht Neben-Kuben zur Festlegung der Lage der Verbindungstechnik   © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-15.	29
Abb. 23:	Die, an den außenliegenden Seiten der Tragstruktur befindlichen Flächen der Kuben, sind für die Anordnung von flächenförmigen Elementen von Bedeutung (links)   BSP-Element mit Oberflächenbeplankung (rechts)   © Ganster, Konstantin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz   in: Ganster/Schickhofer 2018, A-15 - A-16.	29
Abb. 24:	Ein seriell hergestelltes Bahnwärterhaus der Firma Hennebique war 1896 vermutlich die erste transportable Raumzelle aus Stahlbeton.   in: Pawley 1998, 108.	32
Abb. 25:	La Maison standardisée   Le Corbusier 1923   in: Boesiger/Stonorov (Hg.) 1995 a, 69.	33
Abb. 26:	Unité d'habitation in Marseille   Le Corbusier 1946-1952   in: Bergdoll/Christensen 2008, 98.	34
Abb. 27:	a, b Visualisierung und Konstruktionsmodell zur Veranschaulichung des ursprünglich zellularen Prinzips der Unité d'habitation in Marseille   a in: Sbriglio 2004, 155.   b in: Boesiger/Stonorov (Hg.) 1995 b, 186.	34
Abb. 28:	Baukasten im Großen   Walter Gropius und Adolf Meyer 1922-1923   in: Bergdoll/Christensen 2008, 57.	35
Abb. 29:	Modell vom Dymaxion House   Richard Buckminster Fuller 1927   in: Bergdoll/Christensen 2008, 59.	35
Abb. 30:	Dymaxion Deployment Unit während einer Ausstellung im Museum of Modern Art in New York City vom 10.10.1941-01.04.1942   Photographic Archive, Exhibition Albums, 151.11., The Museum of Modern Art Archives, New York. IN151.11. Photograph by Holt, in: <a href="https://www.moma.org/calendar/exhibitions/3015?">https://www.moma.org/calendar/exhibitions/3015?</a>	36
Abb. 31:	Prototyp vom Wichita House   Richard Buckminster Fuller 1944-1946   in: Bergdoll/Christensen 2008, 91.	36
Abb. 32:	General Panel System   Konrad Wachsmann und Walter Gropius 1941   in: Bergdoll/Christensen 2008, 81.	37
Abb. 33:	Airstream trailer coach   USA 1930er-Jahre   in: <a href="https://www.airstream.com/heritage/">https://www.airstream.com/heritage/</a>	37
Abb. 34:	Trailer Park in den USA in den 1940er-Jahren   in: <a href="https://mobilehomeliving.org/wp-content/uploads/FSA-trailer-camp-for-workers-at-Vultee-Aircraft-Plant-Nashville-TN-May-1941.jpg">https://mobilehomeliving.org/wp-content/uploads/FSA-trailer-camp-for-workers-at-Vultee-Aircraft-Plant-Nashville-TN-May-1941.jpg</a>	37
Abb. 35:	Konstruktion eines mobile homes in Holzrahmenbauweise   in: Wallis 1997, 8.	38
Abb. 36:	Double-wide mobile home vor dem Transport vom Fabriksgelände zum Bauplatz   in: Wallis 1997, 6.	38
Abb. 37:	manufactured home (links) und modular home (rechts)   in: Aitchison et al. 2018, 39.	38
Abb. 38:	Die Fertigung von Raumzellen in den USA erfolgt heute zumeist in Holzrahmenbauweise.   in: Aitchison et al. 2018, 69.	39
Abb. 39:	Raumzellen in Stahlbetonbauweise oder in Stahl-Leichtbauweise (hier abgebildet) werden in den USA nur von wenigen Herstellern fabriziert.   in: <a href="http://narchitects.com/work/carmel-place/">http://narchitects.com/work/carmel-place/</a>	39
Abb. 40:	Raumzelle aus Stahlbeton in der ehemaligen DDR in den 1960er-Jahren   in: Engler/Kuhrmann (Hg.) 2009, 19.	40
Abb. 41:	Das Sekisui Heim M1 kam 1971 als erstes unit system auf den japanischen Markt.   in: Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 33.	42

Abb. 42:	Hochtechnologisierte industrielle Vorfertigung von Stahl-Raumzellen in Japan   Sekisui Heim   in: <a href="https://www.sekisuichemical.com/about/division/housing/index.html">https://www.sekisuichemical.com/about/division/housing/index.html</a>	42
Abb. 43:	Vorgefertigte Sanitärraumzellen werden in Österreich von der Firma Insta-Bloc in Stahl-Leichtbauweise (hier abgebildet), Leichtbetonbauweise oder in GFK-Sandwichbauweise gefertigt.   in: <a href="https://www.instabloc.at/produkte/sanitaerzellen.html">https://www.instabloc.at/produkte/sanitaerzellen.html</a>	43
Abb. 44:	Fließfertigung von Sanitärraumzellen als Subsysteme für vorgefertigte Gebäude in Raumzellenbauweise   Inax, Nagoya, Japan   in: Bock/Linner 2011, 15.	43
Abb. 45:	Modell vom All-Plastic House aus Kunststoff-Raumzellen   Ionel Schein 1956   © Philippe Magnon, in: Fonds Régional d'Art Contemporain du Centre o. J. a, o. S.	44
Abb. 46:	Modell eines mobilen Hotelzimmers aus Kunststoff-Raumzellen   Ionel Schein 1957   © Philippe Magnon, in: Fonds Régional d'Art Contemporain du Centre o. J. a, o. S.	44
Abb. 47:	Modell eines freistehenden Einfamilienhauses aus tragenden Kunststoff-Raumzellen   Ralf Schüler und Ursulina Schüler-Witte 1967   in: Schüler/Witte 1968, 358.	45
Abb. 48:	Futuro House   Matti Suuronen 1968   © Gili Merin, in: <a href="https://www.archdaily.com/801269/what-exactly-is-matti-suuronens-futuro-house">https://www.archdaily.com/801269/what-exactly-is-matti-suuronens-futuro-house</a>	45
Abb. 49:	Seefracht-Container (ISO-Container)   in: <a href="https://www.sconox.com/seecontainer-lagercontainer.html">https://www.sconox.com/seecontainer-lagercontainer.html</a>	46
Abb. 50:	Standardisierte Abmessungen von ISO-Containern   in: Slawik et al. (Hg.) 2010, 23.	47
Abb. 51:	Vom Container zum Raumzellenbau in Stahl-Leichtbauweise nach dem Container-Prinzip: a Seefracht-Container b Bau-Container c Modular frame system d Container frame system   in: Slawik et al. (Hg.) 2010, 21-42.	49
Abb. 52:	a Gebäude aus umfunktionierten Fracht-Containern   Platoon Kunsthalle, Seoul   Platoon & Graft Architects b, c Temporäres Bürogebäude und Baustellenbüro aus Bau-Containern   Fa. PROCONTAIN, D d, e Fertigung und Montage von Raumzellen in Stahl-Leichtbauweise (modular frame system)   Fa. ALHO, D   a in: Slawik et al. (Hg.) 2010, 193.   b, c in: <a href="https://www.procontain.com/de/">https://www.procontain.com/de/</a>   d, e in: <a href="https://www.alho.com/de/">https://www.alho.com/de/</a>	51
Abb. 53:	Helix City Plan für Tokyo   Kisho Kurokawa, 1961   in: Kurokawa 1992, 34.	53
Abb. 54:	Takara Pavilion auf der EXPO70 in Osaka   Kisho Kurokawa, 1968-1970   in: Kurokawa 1992, 54.	53
Abb. 55:	Nakagin Capsule Tower in Tokyo   Kisho Kurokawa, 1970-1972   in: Kurokawa 1992, 58.	53
Abb. 56:	Innenansicht einer Kapsel des Nakagin Capsule Tower   in: Schmal/Flagge/Visscher (Hg.) 2005, 49.	53
Abb. 57:	Nakagin Capsule Tower   Kisho Kurokawa a Axonometrie einer Kapsel   b Grundriss einer Kapsel mit integrierter Nasszelle c Aufnahme während der Bauphase   d Regelgeschößgrundriss   a-d in: Schmal/Flagge/Visscher (Hg.) 2005, 44-49.	54
Abb. 58:	Plug-in City   Peter Cook, Archigram 1963   in: Sturm/Schmal (Hg.) 2016, 125.	57
Abb. 59:	a-c Capsule Tower   Warren Chalk, Archigram 1964   a-c in: Sturm/Schmal (Hg.) 2016, 126-127. d Cluster in the Air   Arata Isozaki 1962   Das Modell zeigt einen von zwei Entwürfen, die Arata Isozaki zur Überbauung von Stadtzentren im Großraum Tokio mit baumartigen Kapseltürmen angefertigt hat.   d © DAM und Arata Isozaki, Foto: Hagen Stier, in: <a href="http://archiv.dam-online.de/handle/11153/121-001-001">http://archiv.dam-online.de/handle/11153/121-001-001</a>	57
Abb. 60:	a Axonometrie der Raumzellen b Aufnahme während der Bauphase c Detailansicht des fertigen Gebäudes   a in: Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 124.   b, c in: Safdie Architects 2018, o. S.	58
Abb. 61:	Habitat'67 in Montréal, Kanada   Moshe Safdie, 1967   in: Safdie Architects 2018, o. S.	59
Abb. 62:	The Hilton Palacio del Rio Hotel in San Antonio, Texas, USA   Architektur: Cerna & Garza Architects   Ausführung: H. B. Zachry Company 1967-1968	

- a, b Platzieren der Raumzellen während der Bauphase  
c Aufnahme des fertigen Gebäudes | a in: <https://www.zachryconstructioncorp.com/Projects/Building/Hilton-Palacio-del-Rio-Renovations/> | b, c © San Antonio Express-News File Photo, in: <https://www.mysanantonio.com/150years/major-stories/article/How-a-gamble-changed-the-San-Antonio-skyline-6105562.php> 61
- Abb. 63: a Luftaufnahme der ersten Anlage der "Palétuviers", Baujahr 1975, Leonding, OÖ  
b Die zwei benachbarten Atriumhäuser in Leonding wurden durch ein gemeinsames Schwimmbad verbunden.  
c Versetzen einer Raumzelle aus Leichtbeton auf der Baustelle in Leonding  
d Das Atriumhaus in Raaba bei Graz wurde 1978 ebenfalls in Raumzellenbauweise errichtet. | a-d in: Seiß 2016 a, 16 ff. 62
- Abb. 64: a Erdgeschoß-Grundriss des westlichen Atriumhauses der ersten Wohnanlage in Leonding, 1974  
b Obergeschoß-Grundriss des östlichen Atriumhauses  
c, d Eine Wohnung bestand aus insgesamt acht Raumzellen und erstreckte sich über zwei Geschoße. | a-d in: Seiß 2016 a, 16. 63
- Abb. 65: Baustellenbilder der Anlage Les Palétuviers III in Raaba bei Graz, 1978 | Matzinger 1979, 12-27. 64
- Abb. 66: a Erdgeschoß-Grundriss eines Atriumhauses der Anlage Les Palétuviers III  
b Obergeschoß-Grundriss eines Atriumhauses der Anlage Les Palétuviers III | a, b in: Matzinger 1979, 12-15. 65
- Abb. 67: Fassadenansicht von zwei Atriumhäusern der Anlage Les Palétuviers III | Matzinger 1979, 14. 65
- Abb. 68: a Schema einer Zimmerzelle mit den Abmessungen 6,0 m x 3,0 m x 2,8 m  
b Schema einer Vorraumzelle mit den Abmessungen 5,5 m x 3,0 m x 2,8 m  
c Detailschnitt durch zwei übereinanderliegende Vorraumzellen | a-c in: Matzinger 1979, 27. 65
- Abb. 69: a-d Raumzellenbau mit dem Variel-Beton-System von Fritz Stucky | a-d in: Jenatsch et al. (Hg.) 2006, 31 ff. 67
- Abb. 70: Schulpavillon | Variel-Stahl-System | Jenatsch et al. (Hg.) 2006, 70. 69
- Abb. 71: Schulpavillon | Variel-Stahl-Beton-System | Jenatsch et al. (Hg.) 2006, 70. 69
- Abb. 72: Schulhaus | Variel-Beton-System | Jenatsch et al. (Hg.) 2006, 136. 69
- Abb. 73: Erster Prototyp eines dreigeschoßigen Mehrfamilienhauses mit dem Variel-Beton-System | Küsnacht am Rigi, Schweiz 1964 | Jenatsch et al. (Hg.) 2006, 135. 71
- Abb. 74: Die vertikale Lastabtragung beim Variel-Beton-System erfolgte über vier Kontaktpunkte | Jenatsch et al. (Hg.) 2006, 71. 72
- Abb. 75: Variel-Beton-System  
a Detailzeichnung einer Verbindungsvariante von Frontrahmen und Bodenplatte | Jenatsch et al. (Hg.) 2006, 123.  
b Axonometrie einer Raumzelle | Jenatsch et al. (Hg.) 2006, 123.  
c Weiterentwicklung einer Raumzelle mit außerhalb der Tragkonstruktion liegender Wärmedämmebene | Jenatsch et al. (Hg.) 2006, 124. 73
- Abb. 76: Schulhaus in Hauterive, Schweiz 1968 | Längsschnitt | Jenatsch et al. (Hg.) 2006, 76. 74
- Abb. 77: Schulhaus in Hauterive, Schweiz 1968 | Versetzen einer Raumzelle auf der Baustelle | Jenatsch et al. (Hg.) 2006, 76. 74
- Abb. 78: a, b Visionen und Utopien mit dem Variel-System | a, b in: Jenatsch et al. (Hg.) 2006, 112. 75
- Abb. 79: a, b Philip Hiss Residence | Lido Shores, Sarasota, Florida 1953-54 | Ansicht, Grundrisse und Fotografie | a, b in: Moholy-Nagy et al. 1970, 44-45. 76
- Abb. 80: a, b Walker Guest House | Sanibel Island, Florida 1952-53 | Grundriss und Fotografie | a, b in: Moholy-Nagy et al. 1970, 42-43. 77
- Abb. 81: a, b Healy Guest House | Siesta Key, Sarasota, Florida 1948-1949 | Grundriss und Fotografie | a, b in: Moholy-Nagy et al. 1970, 34-35. 77
- Abb. 82: a Entwurfsskizze für ein Wohnhochhaus mit vier Erschließungskernen aus dem Jahr 1954. Die einzelnen Apartments sollten von einem auskragenden Fachwerkträger am Dach abgehängt werden.  
b Modell vom Graphic Arts Center, New York, 1967  
c Teilmodell der Wohntürme des Graphic Arts Centers mit abgehängten Raumzellen in Stahl-Leichtbauweise  
d Blick von Südwesten nach Lower Manhattan mit dem Modell des Graphic Arts Centers |

	Fotomontage   a-d in: Moholy-Nagy et al. 1970, 196-205.	79
Abb. 83:	a Regelgrundriss   Graphic Arts Center, New York, 1967 b Längsschnitt durch die Büro- und Wohntürme   Graphic Arts Center, New York, 1967   a, b in: Moholy-Nagy et al. 1970, 198-199.	80
Abb. 84:	Grundrissausschnitt von zwei übereinanderliegenden Wohngeschoßen. Im oberen Stockwerk (oben) sind die Erschließungskerne mit Passagen verbunden.   Graphic Arts Center, New York, 1967   Moholy-Nagy et al. 1970, 201.	81
Abb. 85:	Perspektive O'Brien Motor Inn, Waverly, New York, 1961   Moholy-Nagy et al. 1970, 188.	82
Abb. 86:	a Married Student Housing Charlottesville, Virginia, 1968   Lageplan b Modell   a, b in: Moholy-Nagy et al. 1970, 206-208.	83
Abb. 87:	Längsschnitt und Grundriss von zwei Zweizimmerwohnungen   Moholy-Nagy et al. 1970, 209.	83
Abb. 88:	links: Querschnitt durch eine geschlossene Raumzelle beim Transport rechts: Querschnitt durch eine Raumzelle mit geöffneten Elementen im fertigen Zustand. Die Einbauküche befand sich in der Mitte der Einheit, rechts lag der Wohn- und links der Essbereich.   Moholy-Nagy et al. 1970, 209.	83
Abb. 89:	Modell zur Veranschaulichung der vertikalen Stapelung von Raumzellen zu einem Hochhaus   Moholy-Nagy et al. 1970, 207.	83
Abb. 90:	Fort Lincoln Housing, Washington, D.C., 1968 a Lageplan b Perspektive mit brückenartiger Erschließung der Maisonettewohnungen in den oberen Geschoßen c unten: Grundriss Erdgeschoß   mitte: Grundriss 1. Obergeschoß   oben: Grundriss 2. Obergeschoß   a-c in: Moholy-Nagy et al. 1970, 226-228.	84
Abb. 91:	Oriental Masonic Gardens (Wilmot Road - Brookside Avenue Housing), New Haven, Connecticut, 1968-1971 a Perspektive b Lageplan c links: Grundriss Erdgeschoß   rechts: Grundriss Obergeschoß   a-c in: Moholy-Nagy et al. 1970, 218-219.	85
Abb. 92:	Oriental Masonic Gardens (Wilmot Road - Brookside Avenue Housing), New Haven, Connecticut, 1968-1971 a-c Aufnahmen während der Bauphase d Aufnahme nach Fertigstellung der Wohnanlage   a, b, d © The Estate of Paul Rudolph, The Paul Rudolph Heritage Foundation, c © Massachusetts Institute of Technology, photograph by G. E. Kidder Smith, a-d in: <a href="https://www.paulrudolphheritagefoundation.org/196801-oriental-masonic-gardens">https://www.paulrudolphheritagefoundation.org/196801-oriental-masonic-gardens</a>	86
Abb. 93:	The Colonnade Condominiums   Singapur 1980   Paul Rudolph a Entwurfszeichnung b Aufnahme des fertigen Gebäudes   a, b © de Alba, <a href="https://www.archdaily.com/90352/ad-classics-the-colonnade-condominiums-paul-rudolph/">https://www.archdaily.com/90352/ad-classics-the-colonnade-condominiums-paul-rudolph/</a>	87
Abb. 94:	Modulare Raumzellenbauten in HLB von Bauart Architekten, CH a Modular-T   1993 b Modular-Thun   1997 c Züri-Modular   1998 d Modular-X   2010   a in: <a href="https://bauart.ch/werkverzeichnis/modular-t-neuchatel">https://bauart.ch/werkverzeichnis/modular-t-neuchatel</a>   b in: <a href="https://bauart.ch/werkverzeichnis/modular-thun">https://bauart.ch/werkverzeichnis/modular-thun</a>   c in: <a href="https://bauart.ch/werkverzeichnis/zueri-modular-1-generation-1998-2011">https://bauart.ch/werkverzeichnis/zueri-modular-1-generation-1998-2011</a>   d in: <a href="https://bauart.ch/werkverzeichnis/modular-x-maennedorf">https://bauart.ch/werkverzeichnis/modular-x-maennedorf</a>	89
Abb. 95:	Raumzellenbauten aus Holz in Vorarlberg a Zubau Hotel Fetz   L. Kaufmann, 1997 b Zubau Hotel Krone   Kaufmann 96, 1998 c-e 1. Zubau Hotel Post   Kaufmann 96, 1998   a in: Huß/Kaufmann/Merz 2018, 13.   b in: <a href="http://www.jkarch.at/projekt/hotel-krone">http://www.jkarch.at/projekt/hotel-krone</a>   c in: <a href="http://www.jkarch.at/projekt/hotel-post">http://www.jkarch.at/projekt/hotel-post</a>   d, e in: Pro:Holz Austria (Hg.) 2002, 22.	90
Abb. 96:	Mobile Raumzellen aus Holz a SU-SI   Kaufmann 96, 1998 b Fred   Kaufmann 96, 1999	

- c, d SYSTEM3 | O. L. Kaufmann u. A. RUF, 2008  
 | a in: <https://www.kaufmannzimmerei.at/projekt/su-si-k-reuthe>  
 | b in: <https://www.kaufmannzimmerei.at/projekt/fred>  
 | c in: Pro:Holz Austria (Hg.) 2008, 25.  
 | d in: Bergdoll/Christensen (Hg.) 2008, 215. 91
- Abb. 97: Raumzellenbauten aus BSP |  
 O. L. Kaufmann u. A. RUF  
 a, b 2. Zubau Hotel Post, 2009  
 c, d Hotel Ammerwald, 2009  
 | a, b in: <https://www.kaufmannzimmerei.at/projekt/hotel-post-bezau-aufstockung-2009>  
 | c, d in: <https://www.kaufmannzimmerei.at/projekt/alpenhotel-ammerwald-reutte> 92
- Abb. 98: a-d Raumzellenbau aus BSP | Impulszentrum  
 Graz | Hubert RieB, 2004  
 | a in: Pro:Holz Austria (Hg.) 2005, 12.  
 | c-d in: Riess 2006, 10-11. 93
- Abb. 99: Raumzellenbau aus BSP | Architektur: Holzbox  
 a, b Errichtung des Prototyps, 2003  
 c Apartmentanlage Planneralm, 2005  
 | a in: Holzbox Tirol 2003, 1.  
 | b in: Holzbox Tirol 2004, 7.  
 | b in: Holzbox Tirol 2005, 1. 94
- Abb. 100: Raumzellenbau aus BSP | Seniorenwohnhaus  
 Hallein | sps=architekten, 2013  
 a Vorfertigung der Raumzellen im Werk  
 b Transport mit dem LKW  
 c Montage der Raumzellen auf der Baustelle  
 d Aufnahme des fertiggestellten Gebäudes  
 | a, b in: Speigner 2016, 3-4.  
 | c, d in: Pro:Holz Austria (Hg.) 2013, 10-11. 95
- Abb. 101: Raumzellenbauten aus BSP | NKBAK  
 a, b Europäische Schule Frankfurt, 2015  
 c IGS Frankfurt-Riedberg, 2016  
 d ISS Mahlsdorf, 2019  
 | a verändert nach: HuB/Kaufmann/Merz 2018, 102.  
 | b in: HuB/Kaufmann/Merz 2018, 102.  
 | c in: <https://kaufmannbausysteme.at/de/schulerweiterung-igs-riedberg-frankfurt-d>  
 | d in: <https://kaufmannbausysteme.at/de/schule-sporthalle-konrad-wolf-stra%C3%9Fe-berlin-d> 96
- Abb. 102: Raumzellenbau aus BSP | Woodie Hamburg |  
 Sauerbruch Hutton, 2017  
 a Axonometrie  
 b-d Fertigung, Transport und Montage  
 e Aufnahme des fertigen Gebäudes  
 | a, e in: HuB/Kaufmann/Merz 2018, 80-81.  
 | b-d in: Kaufmann 2017, 5-8. 97
- Abb. 103: Raumzellenbau aus BSP |  
 Gesundheitseinrichtung Josefhof Graz |  
 Dietger Wissounig Architekten, 2019  
 a Visualisierung  
 b-d Aufnahmen gegen Ende der Bauphase  
 | a in: Wissounig 2018, E-2.  
 | b-d © Wetscher, Stefan, 2018 98
- Abb. 104: Mehrgeschoßige Raumzellenbauten aus BSP  
 a Puukuokka, FIN | OOPEAA, ab 2015  
 b Treet, NOR | ARTEC, 2015  
 c Hotel Jakarta, NLD | SeARCH, 2018  
 | a in: HuB/Kaufmann/Merz 2018, 86.  
 | b in: HuB/Kaufmann/Merz 2018, 79.  
 | c in: <https://search.nl/#!content/hotel-jakarta> 99
- Abb. 105: Verschiedene Einsatzbereiche von Raum-  
 zellen aus BSP  
 a Wohnanlage "Wohnen 500" in Mäder |  
 Johannes Kaufmann, 2016  
 b Flüchtlingsunterkunft in Hannover |

	<p>MOSAİK architekten, 2015  c Sozialzentrum Pillerseetal    sitka.kaserer.architekten, 2011  d Hotel Revier in Lenzerheide    Carlos Martinez Architekten, 2017    a in: Huß/Kaufmann/Merz 2018, 93.    b in: <a href="https://kaufmannbausysteme.at/de/fl%C3%BCchtlingsunterk%C3%BCnfte-hannover-d">https://kaufmannbausysteme.at/de/fl%C3%BCchtlingsunterk%C3%BCnfte-hannover-d</a>    c in: <a href="https://www.sitka-kaserer.at/portfolio/sozialzentrum-pillerseetal/">https://www.sitka-kaserer.at/portfolio/sozialzentrum-pillerseetal/</a>    d in: <a href="https://kaufmannbausysteme.at/de/hotel-revier-lenzerheide-ch">https://kaufmannbausysteme.at/de/hotel-revier-lenzerheide-ch</a></p>	103
Abb. 106:	<p>a-k Unterschiedliche Raumzellentypen    a-i eigene Darstellung    a-e angelehnt an: Ganster 2016, o. S.    g, i angelehnt an: Huß/Kaufmann/Merz 2018, 27.    j, k angelehnt an: Huß/Kaufmann/Merz 2018, 18.</p>	105
Abb. 107:	<p>Typisierte Raumzellengrößen   small   medium   large    eigene Darstellung, angelehnt an: Ganster 2016, o. S.</p>	106
Abb. 108:	<p>Bauweisen von Holz-Raumzellen  a Brettsperrholzbauweise  b Kombination aus Brettstapel und BSP  c Kombination aus Rahmenbau und BSP  d Kombination aus Stützen/Träger und BSP    in: Huß/Kaufmann/Merz 2018, 28.</p>	106
Abb. 109:	<p>Tragwerkshierarchie  a lastabtragende Raumzellen  b eingestellte, selbsttragende Raumzellen  c selbsttragende Raumzellen mit eingehängten, flächigen Deckenscheiben  d eingestellte Raumzelle in flächiger Gebäudestruktur  e Kombination aus eingestellten und lastabtragenden Raumzellen    verändert nach: Huß/Kaufmann/Merz 2018, 16.</p>	107
Abb. 110:	<p>Oberflächengestaltung von BSP-Raumzellen  a Holzoberflächen in Sichtqualität  b Bekleidung der Oberflächen mit GKB    a in: <a href="https://www.kaufmannzimmerei.at/projekt/alpenhotel-ammerwald-reutte">https://www.kaufmannzimmerei.at/projekt/alpenhotel-ammerwald-reutte</a>    b in: <a href="http://www.jkarch.at/projekt/hotel-post">http://www.jkarch.at/projekt/hotel-post</a></p>	108
Abb. 111:	<p>Modularisierung einer Raumzelle aus BSP   Grundmaß [M] = 100 mm   Raster 30 [M] x 30 [M] x 30 [M]   Außenabmessungen der Raumzelle: 60 [M] x 30 [M] x 30 [M] = 6,00 m x 3,00 m x 3,00 m (L/B/H)    eigene Darstellung, angelehnt an: Bemis 1936, 71.</p>	111
Abb. 112:	<p>a-f Unterschiedliche Wohnungstypen   Eine Wohnung kann sich über eine oder mehrere Raumzellen erstrecken. Innerhalb einer Wohnung können auch offene Raumzellen eingesetzt werden, um die Raumbegrenzung (nichttragende Zwischenwände) von den Grenzen der Raumzellen (Tragstruktur) unabhängig gestalten zu können.  g-j Mit der Raumzellenbauweise sind unterschiedliche Gebäudetypologien mit einem variablen Wohnungsmix möglich.    eigene Darstellung, angelehnt an: TUM (Hg.) 2018, 80-81.</p>	111
Abb. 113:	<p>Einwirkungen auf eine einzelne Raumzelle  A vertikale Flächenlast aus Eigengewicht und Nutzlast  B horizontale Flächenlast aus Wind  C Einzellasten aus Lastweiterleitung von angrenzenden Raumzellen    verändert nach: Huß/Kaufmann/Merz 2018, 31.</p>	113
Abb. 114:	<p>Prinzipielle statische Beanspruchungen und Auflagerreaktionen eines BSP-Wandbauteils  a Plattenbeanspruchung aus Wind oder Nutzlast  b Druckbeanspruchung  c Scheibenbeanspruchung durch punktuelle Lagerung und/oder Auskragung  d Scheibenbeanspruchung durch Ableitung von Wind- und Erdbebenlasten    in: Huß/Kaufmann/Merz 2018, 31.</p>	113
Abb. 115:	<p>Schematische Darstellung von Aussteifungs-</p>	

	möglichkeiten bei Raumzellenbauten in BSP   In Längsrichtung der Raumzellen erfolgt die Aussteifung in der Regel über die vielen Wandscheiben	
	a Aussteifung der Raumzellen in beiden Richtungen über die Wandscheiben	
	b Aussteifung mit Zugdiagonalen	
	c In Querrichtung der Raumzellen erfolgt die Aussteifung durch Einklemmen der Raumzellen zwischen zwei Kernen	
	d Raumzellen werden in beide Richtungen an einen Kern angeschlossen	
	e zug- u. druckfester Anschluss der Raum- zellen in Längsrichtung an einen zentra- len Kern	
	in: Huß/Kaufmann/Merz 2018, 34.	114
Abb. 116:	Verbindung der Raumzellen mittels Schub- knaggen und Taschen zur Positionierung bei der Montage und zur Übertragung von Schubkräften	
	in: Huß/Kaufmann/Merz 2018, 35.	115
Abb. 117:	Mehrgeschoßige Stapelung von Raumzellen	
	a mehrere, quer zur Faser belastete Lagen von Holzbauteilen (x)	
	b direkte Lastweiterleitung bei faserparal- lel belasteten Holzbauteilen	
	in: Huß/Kaufmann/Merz 2018, 32.	115
Abb. 118:	Schematische Darstellung der sechs Grundprinzipien nach Hausladen et al.	
	a zentrale Trassenführung	
	b Trennung und Entkopplung der Installationen von Tragwerk und Ausbau	
	c dauerhafte Zugänglichkeit	
	d Platzreserven	
	e vorkonditionierte Hohlräume	
	f vorgefertigte Technikkomponenten	
	a - f in: Hausladen/Huber/Hilger 2008, 46-47.	117
Abb. 119:	Vorfertigung von BSP-Raumzellen in der Werkshalle   Kaufmann Bausysteme, 2018	
	© Wetscher, Stefan, 2018	118
Abb. 120:	Transportabmessungen von Raumzellen und damit verbundene Auflagen für die Straßenbe- förderung	
	verändert nach: Huß/Kaufmann/Merz 2018, 58.	119
Abb. 121:	Tabellarische Übersicht der Nutzungsdauer von verschiedenen Bestandteilen eines Gebäudes   eigene Darstellung, angelehnt an: IBO (Hg.) 2018, 17-18.	121
Abb. 122:	Schematische Darstellung der Stadien eines Gebäudes über den gesamten Lebenszyklus   eigene Darstellung, angelehnt an: IBO (Hg.) 2018, 26.	121

Dies ist eine Veröffentlichung des

### **FACHBEREICHS INGENIEURBAUKUNST (IBK) AN DER TU GRAZ**

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst umfasst die dem konstruktiven Ingenieurbau nahe stehenden Institute für Baustatik, Betonbau, Stahlbau & Flächentragwerke, Holzbau & Holztechnologie, Materialprüfung & Baustofftechnologie, Baubetrieb & Bauwirtschaft, Hochbau & Industriebau, Bauinformatik und Allgemeine Mechanik der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Graz.

Dem Fachbereich Ingenieurbaukunst ist das Bautechnikzentrum (BTZ) zugeordnet, welches als gemeinsame hochmoderne Laboreinrichtung zur Durchführung der experimentellen Forschung aller beteiligten Institute dient. Es umfasst die drei Laboreinheiten für konstruktiven Ingenieurbau, für Bauphysik und für Baustofftechnologie.

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst kooperiert im gemeinsamen Forschungsschwerpunkt „Advanced Construction Technology“. Dieser Forschungsschwerpunkt umfasst sowohl Grundlagen- als auch praxisorientierte Forschungs- und Entwicklungsprogramme.

Weitere Forschungs- und Entwicklungskooperationen bestehen mit anderen Instituten der Fakultät, insbesondere mit der Gruppe Geotechnik, sowie nationalen und internationalen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Die Lehrinhalte des Fachbereichs Ingenieurbaukunst sind aufeinander abgestimmt. Aus gemeinsam betreuten Projektarbeiten und gemeinsamen Prüfungen innerhalb der Fachmodule können alle Beteiligten einen optimalen Nutzen ziehen.

Durch den gemeinsamen, einheitlichen Auftritt in der Öffentlichkeit präsentiert sich der Fachbereich Ingenieurbaukunst als moderne Lehr- und Forschungsgemeinschaft, welche die Ziele und Visionen der TU Graz umsetzt.

Nummerierungssystematik der Schriftenreihe

S – Skripten, Vorlesungsunterlagen | F – Forschungsberichte  
V – Vorträge, Tagungen | M – Masterarbeiten

Institutskennzahl:

1 – Allgemeine Mechanik | 2 – Baustatik | 3 – Betonbau  
4 – Holzbau & Holztechnologie | 5 – Stahlbau & Flächentragwerke  
6 – Materialprüfung & Baustofftechnologie | 7 – Baubetrieb & Bauwirtschaft  
8 – Hochbau & Industriebau | 9 – Bauinformatik

Fortlaufende Nummer pro Reihe und Institut / Jahreszahl