

# Schaffung von Wohnraum mit vorgefertigten Modulen aus Brettsperrholz zur Vermeidung informeller Siedlungsformen



M-4-11/2017

**Markus Pijavec**

Institut für Holzbau und Holztechnologie  
Technische Universität Graz



Markus Pijavec, BSc

# **Schaffung von Wohnraum mit vorgefertigten Modulen aus Brettsperrholz zur Vermeidung informeller Siedlungsformen**

## **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. BSc. Konstantin Ganster  
Institut für Holzbau und Holztechnologie

Graz, September 2017



# EIDESSTÄTLICHE ERKLÄRUNG

## AFFIDAVIT

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.

*I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.*

---

Datum / Date

---

Unterschrift / Signature



## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich beim Gelingen dieser Arbeit tatkräftig unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gebührt dem Leiter des Instituts für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Schickhofer, der mich bei meiner Arbeit durch viel Interesse und Begeisterung für dieses Thema mit Rat und Tat unterstützt hat.

Ich bedanke mich auch bei Dipl.-Ing. BSc. Konstantin Ganster, der durch wertvolle Ratschläge und Hilfestellungen zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat.

An dieser Stelle möchte ich mich auch bei meinen Arbeitskollegen am Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie der TU Graz bedanken, die mir durch große Kollegialität zu einem schönen Ausgleich zum Studentenalltag verholfen haben.

Der größte Dank gilt jedoch meiner Familie, meiner Mutter Ingrid, meinem Vater Erich sowie meinen Freunden und Verwandten, die mir während meines Studiums den nötigen Rückhalt gegeben haben und mich ständig unterstützt und ermutigt haben.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Kasjan, Florian, Rita, Robert und Markus, deren Freundschaft meine Studienzeit durch die schönen gemeinsamen Stunden zu etwas Besonderem gemacht haben und ich freue mich auf viele weitere.



# Kurzfassung

Die steigende Anzahl hilfsbedürftiger Menschen in informellen Siedlungen fordert dringend eine adäquate Lösungsstrategie, mit welcher die teilweise verheerende Situation in diesen Gebieten verbessert werden kann [1]. Im Zuge dieser Arbeit werden bereits vorhandene Strategien zur Verbesserung informeller Siedlungsgebiete untersucht und Probleme sowie Chancen aufgezeigt. Nach einer Analyse von erfolgreichen sozialen Wohnbauprojekten wie jenen des chilenischen Architekten Alejandro Aravena mit seinem Konzept des „half-of-a-good-house“, werden die wesentlichen Punkte für ein Gelingen einer Verbesserung von informellen Siedlungen dargelegt [2]. Durch die Verwendung von Bausystemen sollen geringere Kosten anfallen. Ein ausführlicher Blick auf die Geschichte der Bausysteme in dieser Arbeit zeigt die Vor- sowie auch Nachteile der Bauweise mit vorgefertigten Bauteilen bzw. Modulen. Die Modulbauweise ermöglicht durch die klar definierten „Bausteine“ eine einfache Austauschbarkeit und soll durch systematische Produktion zu einer kostengünstigen Lösung im sozialen Wohnbau beitragen [3]. Mit dem Holzprodukt Brettsperrholz steht ein Baumaterial zur Verfügung, welches sich hervorragend für das modulare Bauen in Holz-Massivbauweise eignet [4]. Im praktischen Teil dieser Arbeit wird – in Anlehnung an ein ausgewähltes Projekt der anfangs vorgestellten sozialen Wohnbauprojekte – ein Konzept für eine modulare Bauweise in Brettsperrholz erstellt. Das Ziel ist es, ein einfach zu realisierendes modulares Bausystem für die Verbesserung informeller Wohngebiete zu entwickeln, bei dem den Bewohnern anfangs nur in etwa die Hälfte des Hauses zur Verfügung steht. Ein vordefinierter Rahmen innerhalb dessen Erweiterungen stattfinden dürfen, gewährleistet zum einen statisch sichere Gebäude und zum anderen verhindert dieser Rahmen eine Verminderung der architektonischen und städtebaulichen Qualität, welche durch willkürlich errichtete Zubauten resultieren würden [2]. Das in dieser Arbeit entwickelte Bausystem aus Modulen in Brettsperrholz wurde nicht nur auf einen geringen Materialverbrauch, sondern auch auf minimale Anforderungen bezüglich der Bauphysik und Gebäudetechnik ausgelegt. Ein Ausbau auf grundlegende österreichische Anforderungen wurde ebenfalls eingearbeitet. Im letzten Abschnitt werden statische Nachweise geführt, um die allgemeine Machbarkeit des Konzepts zu begründen.

# Abstract

The increasing number of needy people in informal settlements urgently needs an adequate solution strategy which can improve the partial devastating situation in these areas [1]. In the course of this work existing strategies for the improvement of informal settlements are investigated and the problems as well as opportunities are pointed out. According to an analysis of successful social housing projects such as those of the Chilean architect Alejandro Aravena with his concept of a "half-of-a-good-house" the essential points for an improvement of informal settlements are presented [2]. The use of construction systems is expected to result in lower costs. A detailed view of the history of the building systems in this thesis shows the advantages and disadvantages of the construction with prefabricated components or modules. The clearly defined and systematically produced components of the modular design allow simple interchangeability and are intended to contribute to a cost-effective solution in social housing [3]. With the wood product "Brettsperholz" (cross laminated timber) a building material is available which is excellently suited for modular construction in solid wood construction [4]. In the practical part of this thesis, a concept for a modular construction in cross laminated timber is drawn up - based on a selected project out of the initially presented social housing projects. The goal was to develop an easy buildable modular system for the improvement of informal residential areas, where the inhabitants initially are able to live in about half of the house. A predefined framework within extensions may take place guarantees on the one hand statically secure buildings and on the other hand this framework prevents a reduction in the architectural and urban quality that would result from arbitrarily constructed additions [2]. The building system developed in this work has been designed not only for low material consumption but also for minimum requirements with regard to building physics and building technology. An expansion to basic Austrian requirements was also introduced. The last section provides static evidence to justify the general feasibility of the concept.

# Inhaltsverzeichnis

<b>KAPITEL 0: EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
ZIEL DER ARBEIT .....	1
<b>KAPITEL 1: SLUMS – INFORMELLE SIEDLUNGEN .....</b>	<b>3</b>
1-1 EINLEITUNG .....	3
1-2 DEFINITION: SLUM .....	3
1-2.1 Abgrenzung zum Begriff „Ghetto“ .....	5
1-2.2 Entstehung von Ghettos .....	5
1-3 ENTSTEHUNG VON SLUMS .....	7
1-3.1 Flüchtlingslager und temporäre Siedlungen .....	8
1-4 DEFINITION: INFORMELLE SIEDLUNGEN .....	9
1-4.1 Formell / Informell .....	9
1-4.2 Informelle Siedlungen .....	9
1-4.3 Typologien .....	9
1-5 SLUMS WELTWEIT .....	11
1-6 PROBLEME INFORMELLER SIEDLUNGEN & SLUMS .....	14
1-6.1 Allgemeine Einteilung der Benachteiligungen .....	14
1-6.2 Kritikpunkte dieser Einteilung .....	15
1-6.3 Methodik für eine bessere Definition von Slums .....	15
1-6.3.1 Maßstäbe .....	15
1-6.3.2 Neue Methodik der Slum-Untersuchungen .....	15
1-7 STRATEGIEN ZUR VERBESSERUNG VON SLUMS .....	20
1-7.1 Strategie „Kit of parts“ .....	21
1-7.2 Strategie „Neubau & Selbstbau“ .....	22
1-7.3 Strategie „Inkrementell“ .....	23
1-7.4 Strategie „Infrastruktur“ .....	24
1-7.5 Strategie „Stadtplanung & Arbeitsplatzbeschaffung“ .....	27
1-7.6 Strategie „Sicherheit von Grundbesitz“ .....	28
1-8 ARCHITEKTUR – INSTRUMENT ZUM SLUM-UPGRADE .....	30
1-9 NEGATIVE BEISPIELE VON SLUM-VERBESSERUNGEN .....	32
1-9.1 Ponte City Tower, Johannesburg, Südafrika .....	32
1-9.2 Torre David, Caracas, Venezuela .....	32
1-9.3 23 de Enero, Caracas, Venezuela .....	34
1-9.4 Pruitt-Igoe, St. Louis, USA .....	34
1-9.5 Corviale, Rom, Italien .....	36
1-10 POSITIVE BEISPIELE VON SLUM-VERBESSERUNGEN .....	37

1-10.1	Reihenhäuser in Kapstadt .....	37
1-10.2	PREVI – Projekt in Peru .....	38
1-10.2.1	Die Entstehung des Projektes.....	38
1-10.2.2	Die Grundidee der PREVI-Häuser.....	39
1-10.2.3	Das Projekt.....	40
1-10.2.4	Plan des Siedlungskonzeptes .....	42
1-10.2.5	Konzept aus der Schweiz von Atelier 5 .....	42
1-10.2.6	Konzept aus Holland von Aldo Van Eyck.....	43
1-10.2.7	Konzept aus Japan von K. Kikutaki, N. Kurokawa und F. Maki.....	44
1-10.2.8	Konzept aus Kolumbien von Germán Samper et al. ....	45
1-10.2.9	Konzept aus Großbritannien von James Stirling.....	45
1-10.2.10	Konzept aus Peru von Elsa Massari und Manuel Llanos .....	46
1-10.2.11	Pilotprojekt: Selbsthilfe-Baumethode .....	46
1-10.2.12	Erkenntnisse aus dem PREVI-Projekt .....	47
1-11	STRATEGIE VON ELEMENTAL .....	49
1-11.1	„Half-of-a-good-house“ .....	49
1-11.2	Chilenische Wohnbaupolitik bis 2001 .....	50
1-11.3	Chilenische Wohnbaupolitik bis 2001-2006.....	52
1-11.4	Fallstudien von ELEMENTAL.....	52
1-11.5	Erfolgreiches Projekt Quinta Monroy .....	53
1-11.5.1	Die Ausgangssituation .....	53
1-11.5.2	Die Lösungsfindung.....	54
1-11.5.3	Das Projekt.....	56
1-11.5.4	Die Ausführung.....	56
1-11.5.5	Die Erweiterungen .....	58
1-11.6	Fortsetzung des erfolgreichen Projektes .....	59
1-11.7	Chilenische Wohnbaupolitik seit 2006 .....	62
1-11.8	Neuere Projekte von ELEMENTAL.....	64
1-11.8.1	Projekt Elemental Lo Espejo .....	64
1-11.8.2	Projekt Elemental Pudahuel.....	64
1-11.8.3	Projekt Elemental Lo Barnechea.....	64
1-11.8.4	Projekt Elemental Monterrey .....	65
1-11.8.5	Projekt MIR New Orleans .....	65
1-11.8.6	Projekt Villa Verde .....	66
1-11.9	Projekte von ELEMENTAL mit Vorfertigung .....	67
1-11.10	Schlussfolgerungen für einen erfolgreichen sozialen Wohnbau .....	68
1-11.10.1	Soziale Aspekte.....	68

1-11.10.2	Strukturelle Aspekte .....	70
1-11.10.3	Architektonische Aspekte.....	71
1-12	SCHLÜSSELFAKTOREN FÜR EIN SLUM-UPGRADE.....	74
<b>KAPITEL 2: MODULBAU.....</b>		<b>75</b>
2-1	EINSTIEG IN DEN MODULBAU IM BAUWESEN.....	75
2-1.1	Begriffsdefinition .....	75
2-1.1.1	Die „Entstehung“ der Modularität.....	76
2-1.1.2	Einführung in die Modulbauweise .....	78
2-2	HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER BAUSYSTEME .....	79
2-2.1	Die ersten Bausysteme .....	86
2-2.2	Bausysteme im industriellen Zeitalter und der Moderne.....	88
2-2.3	Bausysteme der Nachkriegszeit und Gegenwart .....	94
2-2.4	Weitere Wohnbauten in Systembauweise .....	100
2-2.5	Neue Technologien im Bauwesen .....	101
2-2.6	Erste Bausysteme mit Brettsper Holz .....	104
2-3	MODULBAUWEISE: EIGENSCHAFTEN & CHARAKTERISTIKA.....	106
2-3.1	Vorfertigung in unterschiedlichen Ländern.....	107
2-3.2	Der Prozess der Vorfertigung .....	109
2-3.3	Transport und Montage .....	110
2-3.4	Vor- und Nachteile des vorgefertigten Bauens.....	112
2-3.5	Materialien.....	115
2-4	GLIEDERUNG DER HOLZBAUWEISEN IM SYSTEMBAU .....	116
2-4.1	Traditionelle Holz-Bauweisen mit geringer Vorfertigung .....	117
2-4.2	Gliederung der Plattenbauweisen .....	118
2-4.2.1	Kleintafelbauweise .....	118
2-4.2.2	Großtafelbauweise .....	119
2-4.2.3	Raumzellenbauweise .....	119
2-4.3	Holz-Leichtbauweise .....	124
2-4.3.1	Tafelbauweise in Holz-Leichtbau.....	124
2-4.3.2	Raumzellenbauweise in Holz-Leichtbau .....	125
2-4.4	Holz-Massivbauweise.....	126
2-4.4.1	Kleintafelbauweise in Holz-Massivbau.....	126
2-4.4.2	Großtafelbauweise in Holz-Massivbau .....	126
2-4.4.3	Raumzellenbauweise in Holz-Massivbau.....	126
2-4.5	Kombinationen von Skelett-, Tafel- und Zellensystemen .....	130
2-4.6	Begründung für die Wahl der Bauweise und des Baustoffes .....	130
2-4.6.1	Warum Holz?.....	130

2-4.6.2	Warum Modulbau? .....	131
2-4.6.3	Warum Brettspertholz? .....	132
<b>KAPITEL 3: MODULARISIERUNG .....</b>		<b>133</b>
3-1	SYSTEM, MODUL UND RASTER .....	133
3-1.1	Einteilung der Bausysteme .....	133
3-1.2	Geschlossene und offene Bausysteme .....	133
3-1.3	Das Modul.....	134
3-1.3.1	Kubisches Modul nach Albert Farwell Bemis .....	134
3-1.3.2	Allgemeine Definition .....	139
3-1.3.3	Grundmodul.....	140
3-1.3.4	Multi-Modul.....	140
3-1.3.5	Strukturmodul .....	140
3-1.3.6	Sub-Modul .....	140
3-1.4	Ordnungssysteme - Rasterung .....	141
3-1.5	Toleranzen und Fugen.....	142
3-1.5.1	Toleranzen .....	143
<b>KAPITEL 4: PRAKTISCHER TEIL MODULHAUS IN HOLZ-MASSIVBAUWEISE .....</b>		<b>147</b>
4-1	AUFGABENBESCHREIBUNG .....	147
4-2	ANNAHMEN .....	147
4-2.1	Wahl des Haus-Designs .....	148
4-2.2	Abänderungen des Originalentwurfs .....	150
4-2.3	Entwicklung des Raumrasters.....	151
4-2.3.1	Variante I .....	151
4-2.3.2	Variante II .....	151
4-3	ELABORATION DES PROJEKTS.....	153
4-3.1	Modularer Aufbau des Gebäudes.....	153
4-3.1.1	Erläuterungen des Konzepts .....	153
4-3.1.2	Aufbereitung des Grundstücks.....	154
4-3.1.3	Pläne und Beschreibung des Projekts .....	154
4-3.1.4	Detailausbildung .....	160
4-3.1.5	Verbindung der Module.....	165
4-3.1.6	Weitere Module .....	166
4-3.1.7	Modularisierung des Bodens.....	169
4-3.1.8	Modularisierung der Decke.....	170
4-3.1.9	Modularisierung des Daches.....	171
4-3.1.10	Gebäudetechnisches Konzept .....	172
4-3.2	Ausführungsvarianten.....	175

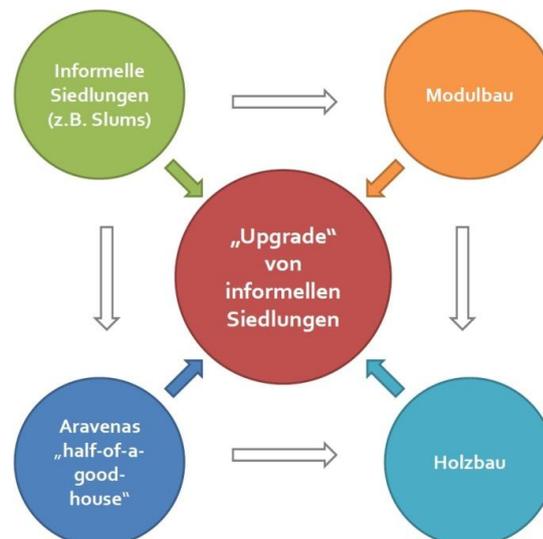
4-3.3	Bauteilaufbauten.....	177
4-3.3.1	Außenwandaufbau.....	177
4-3.3.2	Dachaufbau.....	178
4-3.3.3	Deckenaufbau.....	179
4-3.3.4	Bodenaufbau.....	180
4-3.4	Holzauzug.....	182
4-3.5	Packplan.....	185
4-3.6	Montageplan.....	185
4-4	STATISCHE BERECHNUNGEN.....	189
4-4.1	Lastaufstellung.....	189
4-4.1.1	Schneelast.....	189
4-4.1.2	Windlast.....	189
4-4.2	Berechnung der Dachmodule.....	194
4-4.2.1	Lastfall I: maximale Druckbelastung.....	194
4-4.2.2	Lastfall II: maximale Sogbelastung.....	194
4-4.2.3	Schnittkräfte.....	195
4-4.2.4	ULS Nachweise Dachmodul.....	195
4-4.2.5	SLS Nachweise Dachmodul.....	197
4-4.3	Berechnung der Deckenmodule.....	200
4-4.3.1	Schnittkräfte.....	200
4-4.3.2	ULS Nachweise Deckenmodul.....	201
4-4.3.3	SLS Nachweise Deckenmodul.....	202
4-4.4	Berechnung der Giebelwandmodule.....	205
4-4.4.1	Lastfall I: maximale Druckbelastung.....	206
4-4.4.2	ULS Nachweise Giebelwandmodul Lastfall I.....	208
4-4.4.3	Lastfall II: maximales Biegemoment auf der Giebelwand.....	210
4-4.4.4	ULS Nachweise Giebelwandmodul Lastfall II.....	212
4-4.5	Berechnung der Seitenwandmodule.....	214
4-4.5.1	Lastfall I: maximale Druckbelastung.....	215
4-4.5.2	ULS Nachweise Seitenwandmodul Lastfall I.....	217
4-4.5.3	Lastfall II: maximales Biegemoment der Seitenwand.....	219
4-4.5.4	ULS Nachweise Seitenwandmodul Lastfall II.....	220
4-4.6	Berechnung der MittelWandmodule.....	222
4-4.6.1	Lastfall I: maximale Druckbelastung.....	223
4-4.6.2	ULS Nachweise Mittelwandmodul Lastfall I.....	224
4-4.6.3	Lastfall II: maximale Schubbelastung.....	225
4-4.6.4	ULS Nachweise Mittelwandmodul Lastfall II.....	226

4-4.7	Berechnung der Auflagerkonsolen für die Decke .....	228
4-4.8	Berechnung des Dachbalkens .....	231
4-4.8.1	Anschluss Dachbalken an Dachmodul.....	231
4-4.8.2	Anschluss Stahlprofil an Wand.....	234
4-4.8.3	Anschluss Dachbalken an Stahlprofil .....	236
4-4.9	Ergebnisse der Berechnungen.....	237
<b>KAPITEL 5: ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>		<b>238</b>
5-1	ZUSAMMENFASSUNG DER ARBEIT .....	238
5-2	AUSBLICK .....	238
<b>ANHANG A VERZEICHNISSE.....</b>		<b>I</b>
A-1	Literaturverzeichnis .....	I
A-2	Abbildungsverzeichnis.....	XIII
A-3	Tabellenverzeichnis .....	XVI
A-4	Abkürzungsverzeichnis.....	XVII

# KAPITEL 0: EINLEITUNG

## ZIEL DER ARBEIT

In informellen Siedlungen – wie unter anderem in Slums – ist das Leben vieler unterprivilegierter Menschen geprägt von Armut, schlechten Wohn- und Lebensverhältnissen, Arbeitslosigkeit, sozialer Ausgrenzung und Konflikten. Zu den allgemeinen Problemen, mit denen diese Menschen täglich zu kämpfen haben, gesellt sich auch noch die ständige Angst vor dem Verlust des eigenen Wohnraums. Durch starke Zuwanderung und großen Mangel an bezahlbaren Wohnräumen – wie dies in vielen Städten Lateinamerikas der Fall ist – entstehen informelle Stadtbereiche, in denen katastrophale Lebensbedingungen herrschen. Nicht nur die widrigen Lebensbedingungen sind problematisch, sondern auch die Unmöglichkeit der Feststellung der genauen Bevölkerungsanzahl dieser Stadtteile [1]. Um den Lebensstandard für Bewohner informeller Siedlungen zu verbessern, müssen für diese Menschen legale bzw. formelle Wohnräume geschaffen werden. Die Intention dieser Masterarbeit liegt in der Entwicklung eines funktionierenden Konzeptes eines kostengünstigen modularen Bausystems, welches als Upgrade von bestehenden informellen Siedlungen (u. a. auch Slums), aber auch für Flüchtlingsunterkünfte genutzt werden kann. Vorzugsweise soll eine Systembauweise mit Brettsperrholzelementen angewandt werden. Ob eine solche in Betracht gezogen werden kann, soll im Zuge der Arbeit untersucht werden. Die Herangehensweise der Arbeit an dieses Thema ist schematisch in Abbildung 0.1 dargestellt.



**Abbildung 0.1: Herangehensweise der Masterarbeit**

Das Diagramm zeigt außenliegend vier Themenfelder. Den Bereich der informellen Siedlungen, den Bereich des „half-of-a-good-house“, den Bereich des Modulbaus und den Bereich des Holzbaus. Im Zuge dieser Arbeit werden diese vier Felder untersucht und die jeweiligen Schlussfolgerungen miteinander kombiniert, wodurch diese zusammen zur Lösungsfindung des mittigen Feldes – dem „Upgrade“ von informellen Siedlungen“ herangezogen werden können. Zu allererst bedarf es einer Analyse der Lebensbedingungen und Probleme dieser informellen Siedlungen. Insbesondere soll hierbei eruiert werden, wie diese entstehen, wie sie funktionieren und welche Lösungsansätze es bereits gibt. Darauf aufbauend sollen Kriterien festgelegt werden, damit ein künftiges „Upgrade“ dieser Siedlungen im Bezug auf den Wohnbau plangemäß funktionieren kann. Mit den vorangegangenen Erkenntnissen kann danach

determiniert werden, ob eine System- bzw. Modulbauweise für die Erstellung neuer Siedlungen als Verbesserungsvorschlag von bestehenden Slums geeignet erscheint. Für ein besseres Verständnis der Modulbauweise werden in einem Kapitel sowohl die historische Entwicklung als auch die Charakteristika der Bauweise näher betrachtet. Eine bisher adäquate Lösung im Bereich des sozialen Wohnbaus in Slums bietet das inkrementelle Konzept „half-of-a-good-house“ des chilenischen Architekten Alejandro Aravena [2]. Durch Adaptierung dieses Konzeptes auf die Holz-Massivbauweise mit Brettsperrholz soll ein kostengünstiges, funktionierendes Bausystem entstehen, das für zukünftige soziale Wohnbauprojekte verwendet werden kann. Der praktische Teil dieser Arbeit widmet sich deshalb der Entwicklung eines modular aufgebauten Hauskonzeptes in Holz-Massivholzbauweise, welches für die Verbesserung von informellen Siedlungen herangezogen werden kann.

# KAPITEL 1: SLUMS – INFORMELLE SIEDLUNGEN

„Jede Stadt der Welt, wie klein sie auch immer sein mag, ist zweigeteilt; in eine Stadt der Armen und in eine Stadt der Reichen“ [5, S. 108].

Dieses Zitat des griechischen Philosophen Platon stammt aus einer Zeit vor etwa 2500 Jahren. Die Worte beschreiben in gewisser Weise den Zustand vieler Städte, die informelle Siedlungen wie Slums aufweisen. Die Unterschiede zwischen informellen und formellen Stadtteilen bzw. zwischen arm und reich sind beträchtlich [5].

## 1-1 EINLEITUNG

Der Mangel an bezahlbarem Wohnraum ist in den letzten Jahren mehr und mehr zum Problem geworden, denn vielerorts können sich Menschen kein adäquates Zuhause mehr leisten. Besonders in weniger gut entwickelten Ländern ist es immer noch eine große Herausforderung, einen geeigneten Wohnraum zu finden. Regierungen, Hilfsorganisationen, Behörden, Architekten, etc. – und nicht zuletzt die wohnraumsuchenden Bewohner – kämpfen für ein bezahlbares Zuhause. In einigen Städten konnte dieses Problem bisher nicht oder nicht ausreichend gelöst werden, so dass viele Menschen auf eigene Faust versuchen, sich einen geeigneten Wohnraum zu schaffen. Dies erfolgt in der Regel illegal bzw. informell durch Inanspruchnahme von Grundstücken anderer und daraufhin informeller Bebauung. In vielen Fällen kommt es zu Siedlungen mit großen Mängeln in Bezug auf konstruktive Sicherheit und äußeren Erscheinung der nachbarschaftlichen Umgebung. Bei stärkerem Ausmaß kommen weitere Probleme in puncto Gesundheit, Lebensqualität und Sicherheit hinzu. Im schlimmsten Fall führt dies zur Bildung von Slums, wodurch oftmals zusätzliche Probleme entstehen. Um die Problematik der Wohngebiete dieser unterprivilegierten Menschen zu verstehen, muss zunächst geklärt werden, wie solche Menschen leben, welche Bedürfnisse sie haben, welche Probleme vorhanden sind und wie diese durch die Bewohner selbst oder durch die Regierungen gelöst werden bzw. gelöst werden können [1][6].

## 1-2 DEFINITION: SLUM

Unter dem Begriff Slum wird auch ein Armen- bzw. Elendsviertel verstanden, in dem „*ärmliche Gebäudestrukturen*“ vorzufinden sind [5, S.108][7]. Es handelt sich um ein räumlich abgegrenztes Wohngebiet mit sehr dichter Bebauung, welches bauliche Verfallserscheinungen, einen hohen Anteil von Sozialhilfeempfängern, Arbeitslosen sowie in der Schattenwirtschaft arbeitenden Personen aufweist. Slums unterscheiden sich durch die Art ihrer Entstehung. Es gibt einerseits Slums, die durch eine längere soziale Vernachlässigung entstanden sind und andererseits gibt es Slums, die vom Beginn an im Rahmen des sozialen Wohnbaus an ungünstigen, meist auch gefährlichen Standorten errichtet wurden – wobei letztere nur von den unteren bzw. untersten Einkommensschichten bewohnt werden [7]. Diese Gruppe an informellen Siedlungen wird auch als sogenannte „*federal slums*“ bezeichnet [5, S.108]. Der Unterschied besteht darin, dass diese Siedlungen formal – also gewollt bzw. geplant – entstanden sind, aber aufgrund diverser Aspekte – wie z. B. ungünstiger Lage in Bezug auf natürliche Gegebenheiten – im Laufe der Zeit

heruntergekommen sind und zu „Slums“ degradiert wurden. Sie verfügen daher über eine andere Siedlungsstruktur. Die Mehrheit der Gebäude steht im Falle eines „federal slums“ parallel oder rechtwinkelig zueinander, während Gebäude in anderen Slums zumeist einem ungeordneten Muster folgen [5]. Die dritte Gruppe bilden Slums in Entwicklungsländern, die aus mit einfachsten Baumaterialien errichteten, barackenähnlichen Häusern bestehen. Diese weisen nicht nur eine sehr hohe Bevölkerungsdichte auf, sondern wurden oftmals auch inoffiziell oder durch illegale Landnahme gebaut. Landflucht wird als die wichtigste Ursache bei der Entstehung dieser Viertel gesehen [7].

Eine Zuordnung eines Stadtviertels bzw. einer Siedlung zu einem Slum ist allerdings nicht immer eindeutig festlegbar. Es gibt aber diverse Definitionen, anhand derer man feststellen kann, ob es sich um einen Slum handelt oder nicht. UN-HABITAT definiert einen Slum-Haushalt als eine Gruppe von Personen, welche unter demselben Dach in einem Stadtgebiet wohnen und es an einem oder mehreren der folgenden Punkte mangelt [5][8]:

- Mangel an dauerhaften, stabilen Häusern, die vor extremen klimatischen Bedingungen schützen (ärmliche Gebäudestrukturen),
- Mangel an ausreichender Wohnfläche (Überbevölkerung); d.h. mehr als drei Personen im selben Raum,
- mangelnder Zugang zu sauberem Wasser in ausreichender Menge und zu einem erschwinglichen Preis,
- mangelnder Zugang zu angemessenen sanitären Einrichtungen in Form von privaten oder öffentlichen Toiletten, welche nur von einer angemessenen Anzahl von Personen geteilt werden müssen und
- mangelnde Besitzsicherheit (unsicherer Wohnungsstatus) und damit Leben in Angst vor Zwangsräumungen.

Nicht alle Slums sind gleich aufgebaut und nicht alle Slum-Bewohner leiden unter demselben Grad der Benachteiligung. Der Benachteiligungsgrad hängt davon ab, wie viele der zuvor genannten Bedingungen auf einen Haushalt zutreffen. Laut einer Studie von UN-HABITAT sind Slums in der Sub-Sahara-Region in Afrika am stärksten benachteiligt [8]. Unabhängig davon gibt es unterschiedliche Arten von Slums bezüglich der Gebäudestruktur, der Gebäudedichte und der Gebäudehöhe. In der Regel bestehen Slums aus ein- bis zweigeschossigen Häusern. In Paraisópolis – dem zweitgrößten Slum São Paulos – besitzen viele Häuser drei Etagen und in Dharavi – der größte Slum Mumbais – bestehen Unterkünfte sogar aus bis zu sieben Geschossen. Bezüglich des Baumaterials finden sich häufig Holz sowie Wellblech, aber auch massivere Baumaterialien wie Ziegel oder Beton wieder. Eine eindeutige Definition wie ein Slum aussieht ist aufgrund der Varianz zwischen verschiedenen Slums nicht möglich. Kulturelle und lokale Aspekte beeinflussen die Morphologie von Slums ebenfalls [5]. In Abbildung 1.1 sind Beispiele von Slums dargestellt. Anhand der Bilder ist ersichtlich, dass auch formell errichtete Hochhäuser zu Slums verkommen können.



Abbildung 1.1: links: Slum in Caracas, Venezuela [9], rechts: vertikaler Slum (Torre David, Caracas) [10]

## 1-2.1 ABGRENZUNG ZUM BEGRIFF „GHETTO“

Der Begriff „Ghetto“ oder auch „Getto“ kommt laut DUDEN aus dem Hebräischen oder stammt vom italienischen Wort „geto“ ab, was übersetzt Gießerei bedeutet. Ursprung des Begriffes war das erste zusammenhängende jüdische Wohngebiet in Venedig, welches angrenzend an eine Kanonengießerei gelegen war [11]. Bereits im 16. Jahrhundert gab es jüdische Viertel in italienischen Städten, die nach außen hin abgegrenzt waren und als Ghettos bezeichnet wurden. Später setzte sich der Begriff auch in anderen Ländern für Judenviertel in Städten durch. Der Begriff hat jedoch regional teilweise unterschiedliche Bedeutungen. Im Allgemeinen bezeichnet das Wort: *„im gesamtstädtischen Kontext räumlich relativ scharf abgegrenzte Wohngebiete von bestimmten ethnischen und/oder religiösen Minderheiten, die einer Diskriminierung ausgesetzt und kaum in die Mehrheitsgesellschaft integriert sind“* [12, S.132]. Im Gegensatz zum Slum-Begriff müssen starker baulicher Verfall sowie weitere städtebauliche Aspekte nicht unmittelbar mit dem Begriff „Ghetto“ verbunden werden [12].

## 1-2.2 ENTSTEHUNG VON GHETTOS

Heutzutage assoziieren viele mit dem Begriff Ghetto ausgegrenzte Viertel in US-amerikanischen Großstädten. Bereits ab den 1820er-Jahren gab es größere europäische Wanderungsbewegungen Richtung Amerika. Die aus aller Welt stammenden Einwanderer bildeten jeweils zusammen mit ihren Landsleuten kleinere bis größere Gemeinschaften, bis hin zu ganzen Stadtvierteln, wie beispielsweise die Bezeichnungen der Viertel „China-Town“ oder „Little Italy“ bezeugen. Um eine Ausgrenzung von der einheimischen Bevölkerung zu vermeiden, wurden Sprache und Kultur der Mehrheitsgesellschaft angenommen. Eine Ausgrenzung von Bevölkerungsgruppen in US-amerikanischen Städten fand vielmehr seit 1918 bzw. vermehrt zwischen den 1940er- bis 1970er-Jahren statt. Vor allem die Exklusion von afroamerikanischen Einwohnern prägte den Begriff „Ghetto“. Demnach versteht man darunter eher eine von der Gesellschaft ausgegrenzte Bevölkerungsgruppe, die in einem vom Rest der Stadt eindeutig erkennbaren Viertel haust. Die in dieser Zeit starke Zunahme der Bevölkerung ist hauptsächlich auf den hohen Bedarf an Arbeitskräften der Rüstungsindustrie und der Unternehmen mit Massenproduktion zurückzuführen. Die Entstehung von ghetto-ähnlichen Vierteln beruht meist auf einer Ausgrenzung von ethnischen Bevölkerungsgruppen von bestimmten Bereichen des Wohnungsmarktes. Durch bestimmte Regelungen aber auch durch die hohen Preise können Personen mit Zugehörigkeit zu diesen „ärmeren Bevölkerungsgruppen“ nicht in jedem Stadtteil leben. Es bilden sich Viertel mit besonders hoher Konzentration an bestimmten ethnischen Gruppen. Ein weiterer Aspekt ist das Phänomen der „Stadtflucht“, bei der – zumeist weiße – Familien in suburbane Wohngebiete ziehen. Grund dafür ist häufig die Einstufung der Kreditinstitute auf Kreditunwürdigkeit der Familien, welche in „schlechten Lagen“ leben. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn sich Wohngebiete als mögliche zukünftige Ghettos herausstellen. Zudem erliegen Eigenheime in ghetto-ähnlichen Vierteln einem hohen Wertverlust. Durch den Auszug von vornehmlich weißer Bevölkerung aus schlechteren Wohnvierteln rücken sozioökonomisch schwächere Bevölkerungsgruppen nach. Der sogenannte „tipping point“ definiert den Übergang zwischen *„nach ethnischen Gesichtspunkten noch ‚intakten‘ und nicht mehr ‚intakten‘ Quartieren“* [12, S.133]. Sobald sich dieser Trend abzeichnet, verringern sich Jobangebote für die im Viertel verbliebene Bevölkerung. Des Weiteren steigt die Ausgrenzung seitens der restlichen Bevölkerung, die lokale Wirtschaft geht zurück und es entstehen Benachteiligungen für die Verbliebenen in Bezug auf Ausbildungsmöglichkeiten. Die Folge sind oftmals starke Unruhen in diesen Gebieten. Doch nicht nur die schlechten wirtschaftlichen Gegebenheiten zeichnen Ghettos aus, sondern auch rassistische Gründe seitens der Mehrheitsgesellschaft die Assoziationen wie Gewalt, Verbrechen, Drogen, Arbeitslosigkeit, soziale Abhängigkeit oder Schulabbrüche mit diesen Vierteln in Verbindung bringen. Eine weitere Verschlechterung der jeweiligen Situation in den USA entstand in den 1970er- und 1980er-Jahren, als die Deindustrialisierung einsetzte und es somit zum Verlust vieler – gerade für die afroamerikanischen Einwanderer belegten – Arbeitsplätze kam. Es siedelten sich zwar neue Industrie- und Technologiezentren außerhalb der ursprünglichen Stadt an, jedoch waren dort hochqualifizierte Arbeitskräfte gefragt. Die in den Kernbereichen der Stadt verbliebenen Bevölkerungsgruppen, welche

sich eine Umsiedelung in andere Stadtgebiete nicht leisten konnten, hatten es danach in zweifacher Hinsicht schwerer, einen Job zu finden. Zum einen hatten viele nicht die notwendige Ausbildung durch Schulsegregation und schlechte Bildungschancen und zum anderen entstand eine große räumliche Distanz [12]. Slums hingegen weisen zusätzlich zu den hier genannten Benachteiligungen auch noch starke bauliche Missstände an Häusern und Infrastruktur, Besitzunsicherheiten sowie Platzmangel auf [8].

Im deutschsprachigen Raum ist die Situation weniger stark ausgeprägt als in US-amerikanischen Städten. Obwohl die Rahmenbedingungen für die Entstehung von Ghettos auch in Deutschland Ähnlichkeiten mit jenen in den USA aufweisen, spricht man in Deutschland von „*Stadtteilen mit besonderem Entwicklungsbedarf*“ [12]. Im Programm „Soziale Stadt“ vom Deutschen Institut für Urbanistik wird seit 1999 versucht, eine Aufwertung und Stärkung benachteiligten Viertel zu erreichen [13]. In Deutschland kam es durch den Rückgang der Industrie zu einer steigenden Arbeitslosigkeit. Hinzu kamen eine „Entsolidarisierung“, also eine Reduktion des solidarischen Empfindens und der Abbau staatlicher Sozialleistungen. Dies führte zu einer Öffnung der Lohnschere sowie zu Polarisierungen in Bezug auf Arbeitsplätze, Jobchancen und Einkommen. Eine Folge davon waren Unterschiede im Konsumverhalten seitens der benachteiligten Bevölkerung und Veränderungen am Wohnungsmarkt. Es kam zu einer „*soziokulturellen Homogenisierung von Stadtteilen*“ in Bezug auf materielle Situation und Lebensstil [12, S.134]. Eine Umsiedlung von Bevölkerungsgruppen wurde in Gang gesetzt, bei der die reicheren Bewohner fortzogen und ärmere Haushalte in schlechteren Gebieten umzogen. Es können sich auch Stadtteile nach und nach als „Szenevierviertel“ ausbilden, wodurch Menschen dazu bewogen werden, in diese Viertel zu ziehen. Die dort bereits ansässige Bevölkerung wird sukzessive vertrieben. Dies liegt oft auch an den steigenden Preisen am Wohnungsmarkt in angesagten Stadtvierteln. Im Gegensatz dazu gibt es auch sogenannte „*Restrukturierungsverlierer*“, die auch als „*Stadtteile mit besonderem Entwicklungsbedarf*“ bezeichnet werden [12, S.134]. Diese Stadtteile verfügen jedoch noch über Potential, weisen aber bereits gegenwärtig verschiedene Probleme auf. Laut Analyse des Deutschen Institutes für Urbanistik im Jahre 2002 sind „Stadtteile mit besonderem Entwicklungsbedarf“ durch folgende Aspekte gekennzeichnet [12]:

- es kommt zu einer Konzentration von sozialökonomisch bzw. ethnisch benachteiligten Haushalten und zu einer Abwanderung von finanziell besser gestellten Haushalten (sogenannte mobile Haushalte),
- Mängel im Wohnungsumfeld und hoher Bedarf in Bezug auf Instandsetzungsmaßnahmen,
- mangelnde Frei- bzw. Grünflächen,
- die Infrastruktur weist in puncto Versorgung, Freizeitmöglichkeiten, Kultur und Sozialem Mängel auf,
- es kommt zu einem Verlust an Arbeitsplätzen durch die Schließung von Betrieben und den Rückgang der lokalen Wirtschaft,
- Arbeitslosigkeit und Armut steigen wodurch sich die Kaufkraft verringert,
- es kommt zu einer Abhängigkeit von staatlichen Sozialleistungen,
- es treten vermehrt psychosoziale Probleme auf (hoher Alkoholkonsum, Familientwists und Hoffnungslosigkeit),
- häufige Konfliktsituationen zwischen unterschiedlichen Ethnien bzw. Bevölkerungsgruppen sowie höhere Kriminalität und Vandalismus entstehen und
- sowohl Bewohner des Viertels selbst als auch die auswärtige Bevölkerung assoziieren negative Aspekte mit dem Stadtteil.

Um diese Stadtviertel mit besonderem Handlungsbedarf zu verbessern, wird versucht, eine Durchmischung der Bevölkerung zu erreichen. Dadurch soll die Segregation verhindert bzw. reduziert werden. Allerdings geht aus früheren Versuchen, eine gezielte Durchmischung durch entsprechend durchdachte Wohnungsvergabe zu erreichen, hervor, dass ein solches Vorgehen zumeist scheiterte. Das Phänomen der Konzentration von benachteiligter Bevölkerung kann auch so verstanden werden, dass dadurch eine Art Vertrautheit mit anderen Bewohnern des Viertels entsteht, die so wiederum die Knüpfung von Kontakten fördert und eine Annäherung ermöglicht. Im Programm „Soziale Stadt“ wird auf beide Möglichkeiten verwiesen. Eine Verbesserung der Lebensbedingungen in den „schlechteren

Vierteln“ soll eine Konzentration von benachteiligten Gruppen verhindern, da besser gestellte Haushalte im Stadtviertel verbleiben und Abwanderungsbewegungen reduziert werden. Dadurch sollen „noch intakte“ Strukturen gestärkt werden. Ein weiterer Ansatz besteht darin, dass lokal vorhandene Potenziale etwa durch Vereinsbildung, Stärkung sozialer Netzwerke oder Initiativen im sozialen Bereich wie Sprachförderung, Integrationsveranstaltungen oder Beschäftigung gefördert werden. Vergleicht man die Situation in Deutschland mit jener von US-amerikanischen Städten, so ergeben sich trotz einiger Gemeinsamkeiten auch einige Unterschiede. In den meisten Fällen sind die räumlichen Abgrenzungen benachteiligter Viertel in Deutschland weit weniger ausgeprägt. Auch zeichnet sich bei den Bewohnern benachteiligter Stadtviertel in Deutschland eine geringere Homogenität ab. Die Entmischungsprozesse erfolgen in Deutschland deutlich langsamer und weniger stark ausgeprägt als in den USA. Bestimmte ethnische Minderheiten sind in US-amerikanischen Städten stärker vom Wohnungsmarkt ausgegrenzt, eine Diskriminierung findet ebenfalls intensiver statt und die ethnische Zugehörigkeit ist in Deutschland ein weit geringer Grund für Ausgrenzung. Im Vergleich mit US-amerikanischen Städten kann somit in europäischen Städten (speziell in Deutschland) nicht von „Ghettos“ gesprochen werden. Der Begriff „Stadtteile mit besonderem Entwicklungsbedarf“ ist deshalb besser geeignet [12]. Es soll jedoch nicht der Eindruck entstehen, dass solche Stadtteile in Europa nicht vorhanden sind.

### 1-3 ENTSTEHUNG VON SLUMS

Städte ziehen – besonders in Entwicklungsländern – ständig Menschen aus ländlichen Gebieten an; es kommt zur Landflucht. Gründe für diese Migration sind vermeintlich bessere Jobaussichten, ein größeres Angebot an öffentlichen Diensten, eine überlegene ärztliche Versorgung, Schulen und die Aussicht auf eine bessere Zukunft der Familie, im Besonderen der zukünftigen Generationen [14]. In ländlichen Gebieten ist die Armut häufig noch schlimmer, da landwirtschaftliche Erträge zu gering sind, zu stark variieren oder da es sogar Jahre ohne Ertrag gibt, die zu schweren Hungersnöten führen. Weitere Gründe können auch Bürgerkriege sein [5].

Landbewohner kommen mit diesen Erwartungen in Städte, um ein neues Leben zu beginnen. Die starke Zuwanderung in Kombination mit fehlenden bezahlbaren Wohnungen zwingt die Menschen, sich eine erschwingliche Unterkunft zu suchen [14, S.17]. Nicht selten führt dies zu einer illegalen Landnahme [7]. Aufgrund von geringem oder mangelndem Einkommen der Immigranten kann es zur Bildung von Slums kommen. Die Zahl der in Armut lebenden urbanen Bevölkerung wächst ständig. Gründe dafür sind wirtschaftliche Stagnation, zunehmende Ungleichheit sowie starkes Bevölkerungswachstum, vor allem aber Wachstum durch Immigration. Dieses Wachstum entzieht sich allerdings zu einem Großteil der Kontrolle der Regierung [14, S.17]. Die folgende Graphik zeigt die Einflüsse auf die Slumbildung.



Abbildung 1.2: Entstehung von Slums (vgl. [14, S.5, S.17][1, S.20])

Slums sind einer mangelhaften Wohnbaupolitik, mangelhafter Gesetze und fehlenden Versorgungssystemen ebenso wie dem Versagen der nationalen und lokalen Politik geschuldet. Eine Verbesserung der Wohn- und Lebensbedingungen wird durch fehlenden politischen Willen behindert, da die Politik das Problem informeller Siedlungen entweder nicht anspricht oder grundlegend auf eine strukturierte, nachhaltige Weise im größeren Maßstab zu verändern versucht [14, S.5]. Es gilt zu entscheiden, ob informelle Siedlungen wie Slums vom Rest der Stadt isoliert werden sollen und damit Orte der Verzweiflung, Armut und Gewalt entstehen, oder ob sich Slums zu Orten mit einer zunehmend besserer urbanen Gemeinschaft entwickeln, die eine Bevölkerungsschicht hervorbringt, die zur Wirtschaftsleistung der gesamten Stadt beiträgt [5].

### 1-3.1 FLÜCHTLINGSLAGER UND TEMPORÄRE SIEDLUNGEN

Nomaden, die sich während ihrer ständigen Wanderbewegungen kurzzeitig sesshaft machen, bilden temporäre Siedlungen. Im Zuge einer weiteren Wanderung werden diese Siedlungen jedoch wieder abgebaut und andernorts wieder erstellt. Im Unterschied dazu gibt es Menschen, die ihre Heimat unfreiwillig verlassen müssen; sei es durch Naturkatastrophen, Krieg oder Verfolgung. Einige dieser Flüchtlinge lassen sich in sogenannten Flüchtlingslagern nieder. Diese als temporäre Siedlungen gedachten Lager bieten den Menschen solange Schutz, bis sie wieder gefahrlos in ihre Heimat zurückkommen können oder sich für ein Leben in einer anderen Region entscheiden [5]. Im Jahr 2016 sind laut der UNHCR (The UN Refugee Agency) 65,3 Millionen Menschen auf der Flucht; davon sind 21,3 Millionen anerkannte Flüchtlinge und 10 Millionen staatenlose Menschen [15]. Die Organisation stellt Flüchtlingslager zur Verfügung, die aus Zelten bestehen, welche in Cluster, Blöcke und Sektoren gegliedert sind [5]. Vier Blöcke zusammen bilden einen Sektor, der in der Regel jeweils 5.000 Flüchtlinge beherbergt. Eine Gesamtaufnahmefähigkeit von 20.000 Menschen pro Lager ist vorgesehen. Neben den zur Verfügung gestellten Zelten werden auch temporäre Unterkünfte aus verfügbaren Materialien von den Bewohnern selbst erstellt. Ist das Lager aufgrund von zu großem Zustrom ausgelastet, siedeln sich Flüchtlinge auch auf Wegen zwischen den Zelten oder am Rand des Lagers an. Im Unterschied zu vorgegebenen Lagern, dessen geplante Strukturen meist geradlinig verlaufen, lassen sich Binnenflüchtlinge spontan nieder und errichten eigenständig Unterkünfte aus Holz, Stoffen, Stroh und Lehm. Nach längerem Bestehen eines vorgegebenen Flüchtlingslagers entstehen jedoch ebenfalls komplexe, heterogene und stark verdichtete Siedlungsstrukturen. Diese ähneln jenen der informellen Siedlungen und weisen Strukturen wie in Siedlungen von Binnenflüchtlingen auf. Insgesamt unterscheiden sich die diversen Flüchtlingssiedlungen stark voneinander. Je nach politischen, sozialen und natürlichen Gegebenheiten weisen Camps verschiedenartige Haustypen, Bebauungsdichten und Strukturen auf. Auch wenn Lager dasselbe Camp-Modell aufweisen, gibt es Unterschiede. In älteren Lagern ist häufig eine heterogene, verdichtete Struktur erkennbar, während bei erst kürzlich errichteten Flüchtlingsdörfern ein klar erkennbares Raster ersichtlich ist [5]. Das unterschiedliche Aussehen verschiedener Lager ist häufig auf die vergangene Zeit seit der Entstehung zurückzuführen. Ist ein Lager bereits viele Jahre vorhanden, wandeln sich temporäre Gebäude in dauerhaftere um. Aus anfangs kleinen Zeltlagern können sich im Laufe der Zeit und bei starkem Zustrom ganze „Städte“ mit dauerhaften Gebäuden bilden [5]. Trotz der schwierigen Lebensverhältnisse in diesen Lagern sind in einigen älteren Camps auch städtische Entwicklungen erkennbar. Mit der Zeit werden Handelsstrukturen und Dienstleistungsstrukturen aufgebaut. Zusätzlich gibt es Schulen, medizinische Einrichtungen und sanitäre Anlagen, aber auch Polizeistationen, die im Lager für Sicherheit sorgen. Im Zentrum jeder Siedlung befindet sich ein Markt. Das gesamte Camp ist an das Wasser- und Stromnetz angeschlossen. Befindet sich die Siedlung in einem fortgeschrittenen Zustand, werden auch Grünflächen angelegt. Ist die Anzahl an Hütten mit Wellblechdächern verhältnismäßig hoch im Vergleich zu zeltartigen Behausungen, kann man bereits auf ein längeres Bestehen des Flüchtlingslagers schließen [5].

## 1-4 DEFINITION: INFORMELLE SIEDLUNGEN

---

### 1-4.1 FORMELL / INFORMELL

Um die Probleme zu verstehen, welche mit einer informellen Stadtentwicklung einhergehen, muss zunächst determiniert werden, was die Begriffe „formell“ und „informell“ bedeuten. Hierbei muss beachtet werden, dass – obwohl für „formell“ oft das Synonym „formal“ verwendet wird – diese Wörter eine unterschiedliche Bedeutung haben. Während laut DUDEN [16] dem Wort „formal“ die Bedeutung „die Form betreffend“ zukommt, versteht man unter „formell“ „förmlich“ bzw. „offiziell“. Demgemäß bedeutet „informell“ „ohne formalen Auftrag“, „ohne Formalitäten“ bzw. „inoffiziell“. Laut Brillembourg und Klumpner kann man unter *formell* auch folgendes verstehen:

*„... eine übliche Form oder Konventionalität betreffend – streng auf Formen achtend; Mangel an Leichtigkeit und Freiheit bei Gliederung und Anordnung; Formen werden zu Normen, werden kodifiziert und als Standard bzw. akzeptierte Regeln anerkannt.“ (vgl. [6]; eigene Übersetzung)*

Formelle Häuser sind folglich Gebäude, welche offiziell und gesetzeskonform errichtet worden sind. Sie haben einen definierten Standort mit festgelegter Adresse und wurden auf die Einhaltung der spezifischen Gesetze, Richtlinien, Normen, etc. errichtet.

Indessen bedeutet der Begriff „informell“ nach Brillembourg und Klumpner:

*„... nicht nach einer anerkannten oder vorgeschriebenen Form durchgeführt; inoffiziell, unordentlich“ (vgl. [6]; eigene Übersetzung)*

### 1-4.2 INFORMELLE SIEDLUNGEN

Die Organisation UN-Habitat definiert informelle Siedlungen wie folgt:

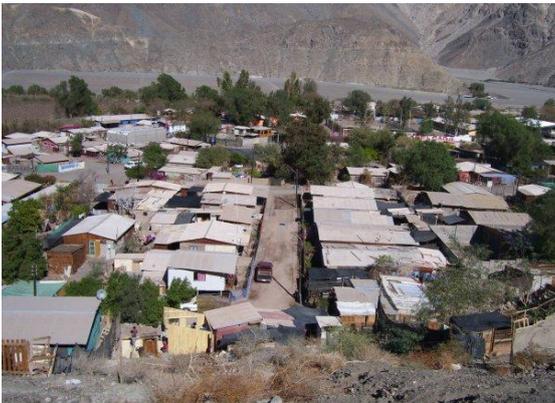
Informelle Siedlungen sind demzufolge Wohngebiete, in denen Einwohner keine Besitzsicherheit gegenüber ihrem Grundstück oder ihrer Wohnung haben, es in der Umgebung an einfachsten Dienstleistungen und Infrastruktur mangelt, die Häuser die aktuellen Planungs- und Bauvorschriften nicht einhalten können und sich diese oft sowohl auf geographisch als auch umwelttechnisch gefährlichen Gebieten befinden. Überdies können informelle Siedlungen auch eine Form von Immobilienspekulationen sein – egal ob es sich um arme oder reiche Bewohner dieser Häuser handelt. Ungeachtet dessen sind Slums die am meisten benachteiligten und ausgegrenzten informellen Siedlungen. Diese zeichnen sich durch Armut und große, dichtbebaute Siedlungen mit auffälligen Wohnungen aus, welche sich auf gesundheitsgefährlichen oder sogar lebensbedrohlichen Stadtgebieten befinden. Zusätzlich zur Besitzunsicherheit mangelt es den Slum-Bewohnern an offizieller bzw. legaler Versorgung mit grundlegender Infrastruktur und Dienstleistungen sowie öffentlichen Raum und Grünflächen. Sie sind ferner auch häufig Vertreibung, Krankheiten und Gewalt ausgesetzt (vgl. [17, S.1]; eigene Übersetzung).

### 1-4.3 TYPOLOGIEN

Nicht jede informelle Siedlung oder jeder Slum weisen dieselbe Bauweise auf. Es gibt Unterschiede sowohl in Bezug auf die Baugrundverhältnisse (Hanglage, Ebene, Erdbebengebiet, Überschwemmungsgebiet etc.) als auch Unterschiede in den regional verfügbaren Baustoffen und finanziellen Verhältnissen der Bewohner [1][2].

*“Dwellings in such settlements vary from simple shacks to more permanent structures, and access to basic services and infrastructure tends to be limited or badly deteriorated. “[14, S.9]*

Laut dieser Definition durch UN-HABITAT kann man grundsätzlich zwischen zwei Typologien unterscheiden: einfache Hütten und permanentere Bauten. Oftmals gibt es sogar innerhalb eines Slums unterschiedliche Typologien, da bereits eine Weiterentwicklung stattgefunden hat [1][14]. Leichte Konstruktionen entstehen, wenn die Bewohner unter extremer Armut leben müssen oder wenn es nur geringe Investitionen aufgrund von Besitzunsicherheiten gibt (Abbildung 1.3 links). Diese Konstruktionen sind meistens nur für kurzzeitige Lösungen gedacht. Der Vorteil liegt in der großen Flexibilität [1]. Die zweite Konstruktionsmethode stellen schwere Konstruktionen dar (Abbildung 1.3 rechts). Als Ursache dafür könnte die zeitlich frühere Errichtung in Frage kommen oder ein lokal günstig verfügbares Baumaterial. Solche Konstruktionen sind eher in Gebieten anzutreffen, in denen eine gewalttätige Räumung weniger wahrscheinlich ist oder diese durch festere Konstruktionen erschwert werden soll. Der Vorteil dieser Bauweise liegt in den besseren Lebensbedingungen. Nachteilig erweisen sich die schwierigeren Verhältnisse bei Interventionen wie Verbesserungsmaßnahmen oder bei einem Ausbau der Infrastruktur [1].



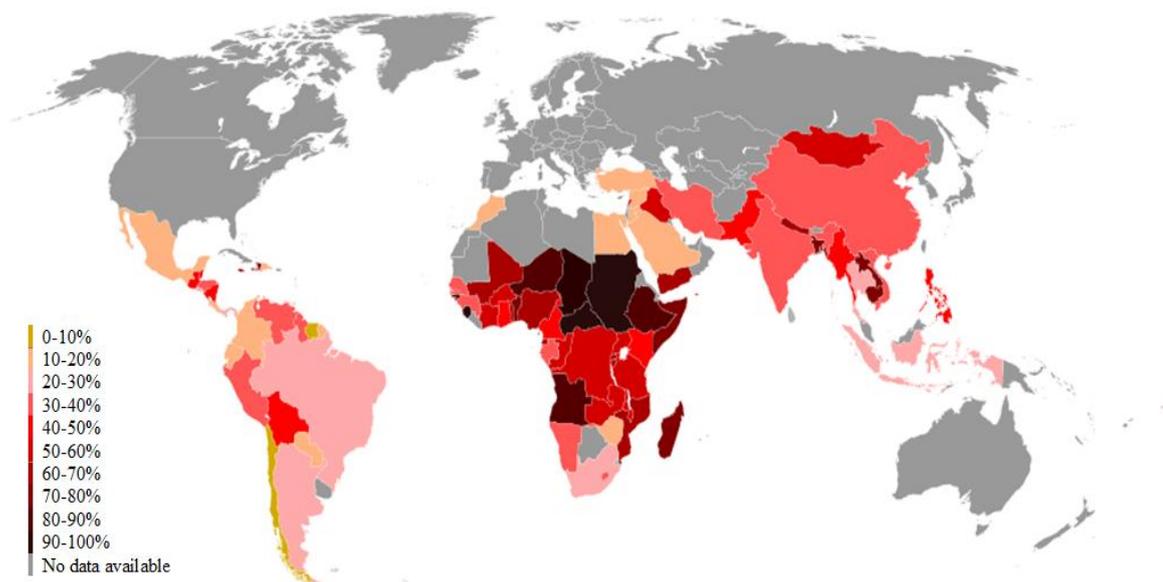
*Abbildung 1.3: links: Häuser in leichter Konstruktion, Campamento in Chile [18], rechts: Häuser in schwerer (massiver) Konstruktion, Slum in Venezuela [19]*

## 1-5 SLUMS WELTWEIT

Slums gibt es in vielen Ländern der Erde, doch betrachtet man Slums weltweit, so konzentrieren sie sich im südlichen Bereich unseres Planeten. Die meisten befinden sich in der Sub-Sahara Afrikas, in Asien, in Lateinamerika, in der Karibik und in Nordafrika. Prozentuell an der Gesamtbevölkerung gesehen, lebt in den Staaten südlich der Sahara der größte Anteil an Menschen in Slums (vgl. Abbildung 1.4).

Slums werden je nach Ort und Sprache unterschiedlich bezeichnet [1][20]:

- „Favelas“ in Brasilien
- „Campamento“ in Chile
- „Villa Miseria“ in Argentinien
- „Pueblos Joven“ in Peru
- „Asentamiento irregular“ in Uruguay
- „Barrio“ allgemein in Lateinamerika, etc.



*Abbildung 1.4: Prozentsatz an Slum-Bewohner im Verhältnis zur Bevölkerung [21]*

Prozentuell betrachtet nimmt die urbane Bevölkerung, welche in informellen Siedlungen wie Slums leben, über die Zeit kontinuierlich ab (siehe Abbildung 1.5) [1]. Betrachtet man hingegen die Anzahl der in Slums lebenden urbanen Bevölkerung über die Zeit, kann man jedoch einen ständigen Anstieg erkennen [1]. Im lateinamerikanischen Raum blieb die Anzahl der Slum-Bewohner ab dem Jahr 2005 immerhin auf konstantem Niveau und konnte sich in den letzten Jahren sogar etwas verringern (siehe Abbildung 1.6).

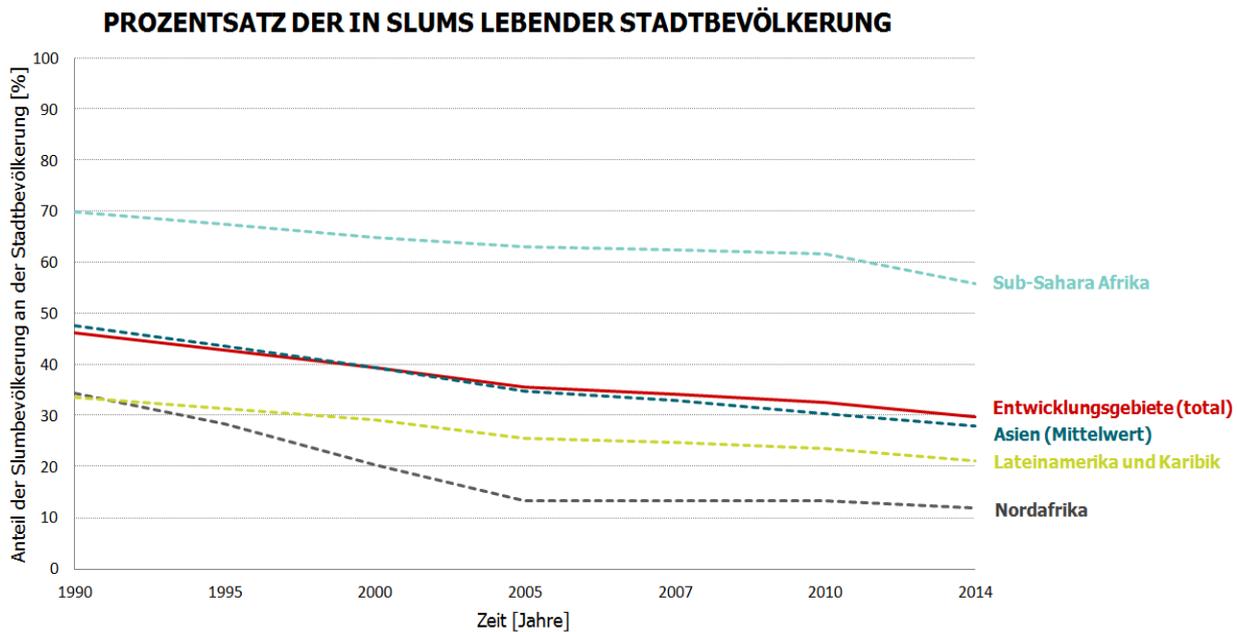


Abbildung 1.5: in Slums lebende Stadtbevölkerung (vgl. [22])

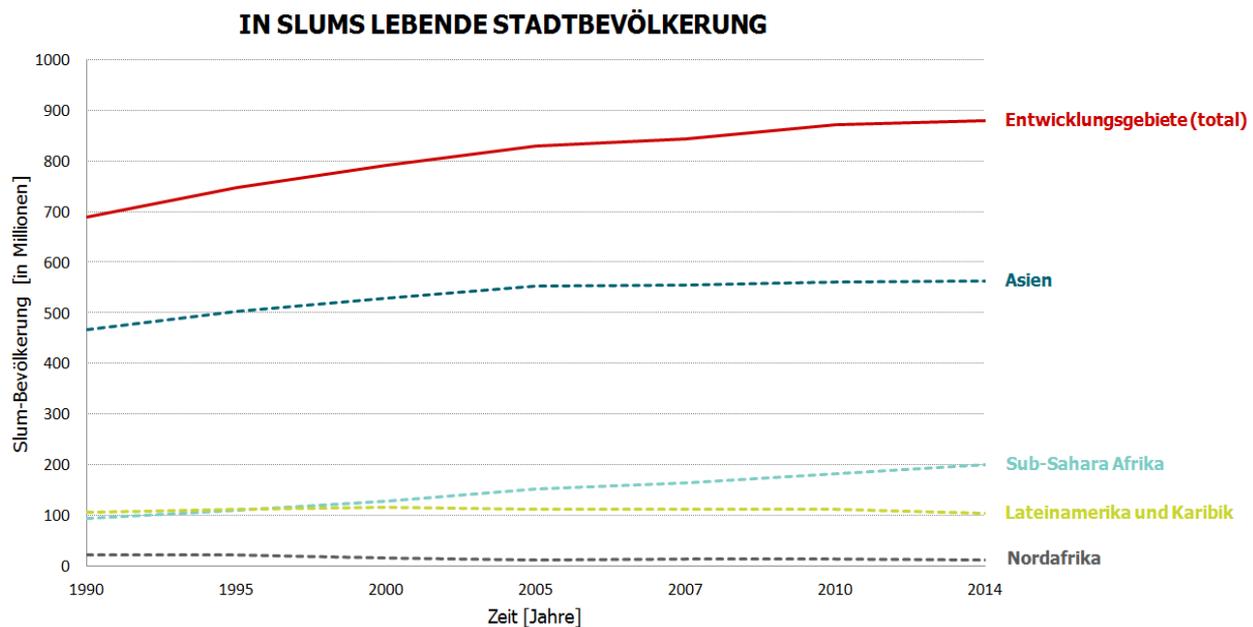


Abbildung 1.6: Prozentsatz der in Slums lebender Stadtbevölkerung (vgl. [22])

Anhand der Sachlage ist klar, dass auch in Zukunft erhöhter Bedarf an sozialen Wohnhäusern vorherrschen wird und dass ein Handeln der Politik erforderlich ist. Ebenso bedeutend für das Verständnis von Slums ist es zu wissen, woher diese Menschen kommen, was sie zu dieser Bewegung führt und wieso Siedlungen überhaupt zu Slums verkommen. Ein Aspekt dazu ist die steigende Zuwachsrates an urbaner Bevölkerung. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts lebten mehr Menschen in Städten als in ländlichen Gebieten. In etwa 3,2 Milliarden Menschen leben derzeit in Städten; 2030 könnten es sogar fünf von acht Milliarden sein [2]. Neben einem generellen Bevölkerungswachstum ist die ständig steigende Anzahl an urbaner Bevölkerung hauptsächlich an die Landflucht geknüpft. Es stellt sich die Frage, wie Städte mit dieser hohen – und vor allem stark steigenden – Anzahl an städtischer Bevölkerung

umgehen sollen. Die Stadt an sich ist eine sehr effiziente menschliche Erfindung, die eine Verbesserung der Lebensqualität für die Bewohner ermöglicht. Dies trifft insbesondere für die ärmere Bevölkerung zu. Die grundlegenden Bedürfnisse können in Städten am effizientesten befriedigt werden. Eine ordentliche Gesundheitsversorgung, Zugang zu sauberem Wasser oder eine durchdachte Kanalisation sind viel einfacher und effizienter in einer städtischen Umgebung einzurichten als in weitläufigen, ländlichen Gebieten. Das gleiche gilt für die Stromversorgung, für den öffentlichen Verkehr oder die Verteilung von Lebensmitteln. Auch Arbeits- und Ausbildungsplätze sind in Städten häufiger vorhanden. Aufgrund dieser Vorteile müssten Städte die Lösung aller Probleme der Bevölkerung darstellen. Der Nachteil der Verstädterung liegt in der Geschwindigkeit dieses Prozesses, da die Erfüllung aller Bedürfnisse der Menschen in dieser Geschwindigkeit nicht bewältigt werden kann. Die Folge daraus ist die Entstehung von informellen Siedlungen, welche in weiterer Folge zu Slums verkommen können. Beinahe ein Drittel der weltweiten städtischen Bevölkerung lebt unter der Armutsgrenze. Es kommt hinzu, dass die größte Zuwachsrate – auch der Anstieg an armer Bevölkerung – vor allem in den ärmeren Ländern auftritt [2].

Wie das Leben in Slums aussieht und wie die Menschen damit umgehen, wird im Buch „informal city: Caracas case“ ([23]) von Alfredo Brillembourg, Kristin Feireiss und Hubert Klumpner sowie in den zahlreichen Projekten von Urban-Think Tank gezeigt. Die Hauptstadt Venezuelas Caracas ist ein gutes Beispiel, um die Slum-Problematik zu verstehen. Caracas war die erste Stadt am südamerikanischen Kontinent und entwickelte sich aufgrund des Öl-Booms in den 1950er-Jahren zu einer Metropole. Die reiche Oberschicht versuchte, die Standards Nordamerikas zu erlangen. Aus dieser Zeit stammen zahlreiche Infrastrukturprojekte; doch leider kam es in den Folgejahren zu einer starken Ausbreitung der Stadt aufgrund des Bevölkerungswachstums und der Landflucht. Venezuela besitzt zudem den höchsten Grad an städtischer Bevölkerung – etwa 87 Prozent der Bevölkerung Venezuelas leben in Städten [6]. Es entwickelte sich vor allem auch der informelle Sektor, so dass es zu einer starken Segregation zwischen Arm und Reich kam. 84 Prozent der Bevölkerung Caracas leben unterhalb der Armutsgrenze aber 4 Prozent der Bevölkerung verwalten den größten Teil der Staatseinnahmen [6]. Die Slums in Caracas – auch *barrios* genannt – erstrecken sich über die steilen Hänge der umliegenden Landschaft. Viele sind nur durch schmale Fußgängerwege und Treppen erreichbar. Die meisten informell errichteten Häuser verfügen über eine ähnliche Größe, weisen dieselbe Bauweise und dasselbe verwendete Baumaterial auf. Es gibt weder Zugang zu Institutionen noch zu sauberem Wasser. Strom wird illegal von Leitungen abgegriffen und ein Abwasser- und Müllentsorgungssystem sucht man vergebens. Innerhalb dieser Behausungen leben 42 Prozent der Gesamtbevölkerung Caracas‘ [6]. In den städtischen Landkarten werden die informellen Gebiete nur noch als graue Bereiche dargestellt. Es zeigt die Ignoranz bezüglich des Problems und den massiven Mangel an sozialen Wohnungen der Stadt [6]. Jedoch beschränken sich Slums – wie bereits in Abbildung 1.1 gezeigt – nicht nur auf niedrige Behausungen. In einigen Fällen wurden auch Hochhäuser zu sogenannten vertikalen Slums. Beispiele hierfür sind der „Torre David“ oder das Projekt „23 de Enero“ [23]. Unabhängig von den Problemen ist auch der Umgang mit natürlichen Ressourcen in Slums interessant. In keinem anderen Stadtteil Caracas‘ fallen so wenige Abfälle an. Die Bevölkerungsdichte der informellen Siedlungen ist ähnlich hoch wie jene der von der reichen Gesellschaft errichteten Hochhäuser. Auch die Auswahl und Verwendung der Baumaterialien der Häuser ist an das vorhandene tropische Klima angepasst. Es entsteht somit nur eine geringe Umweltauswirkung. Hinzu kommen die äußerst niedrigen Errichtungskosten, da die Mehrzahl an Häusern in der Strategie der inkrementellen Bauweise – bei der die Behausungen je nach Bedarf wachsen können – errichtet werden. Hauptsächlich sind die Häuser aus einer Stahlbetonrahmenkonstruktion ausgeführt, die mit den billigsten verfügbaren Materialien ausgefacht werden. Die Anschlussbewehrung am Dach verbleibt solange, bis das Haus nach oben hin erweitert wird. Das dichte Netz aus schmalen Gassen verhilft der Siedlung zu einem guten sozialen Gefüge. Die genannten Aspekte bringen selbstredend auch zahlreiche Probleme mit sich, welche im folgenden Abschnitt erläutert werden [6].

## 1-6 PROBLEME INFORMELLER SIEDLUNGEN & SLUMS

---

### 1-6.1 ALLGEMEINE EINTEILUNG DER BENACHTEILIGUNGEN

Um feststellen zu können, ob es sich um eine informelle Siedlung bzw. um einen Slum handelt, werden die Mängel und Benachteiligungen dieser Siedlungsgebiete ermittelt und anschließend bewertet. Bei der grundlegenden Definition werden laut UN-HABITAT folgende Benachteiligungen unterschieden (vgl. [14, S. 11]; eigene Übersetzung):

- **Fehlende Grundversorgung:**  
Damit werden Slums weltweit am häufigsten charakterisiert. Hierzu gehören mangelnde sanitäre Einrichtungen, unsaubere oder mangelhafte Trinkwasserquellen, ein fehlendes Abwassersystem, eine mangelhafte Energieversorgung, fehlende befestigte Straßen und Wege, fehlende Straßenbeleuchtung und mangelnde Regenwasserdrainagen.
- **Illegale oder minderwertige bzw. ungeeignete Bausubstanz:**  
Viertel aus informellen Siedlungen (u. a. auch Slums) bestehen meist aus minderwertigen Gebäuden, welche oft aus nicht dauerhaften Materialien gebaut sind. Dazu zählen auch Erdböden, Strohdächer und mit Lehm verputzte aus Pflanzen geflochtene Wände.
- **Überfüllung und verdichtete Bebauung:**  
Überfüllung ist durch ein sehr geringes Raumangebot pro Person charakterisiert. Oft leben mehrere Familien miteinander in einigen wenigen Räumen zusammen. Ein Raum, der nur für eine Person ausgelegt ist, wird häufig von über fünf Personen bewohnt, wobei Räume gleichzeitig mehrere Funktionen aufweisen.
- **Ungesunde Lebensbedingungen und gefährliche Wohngebiete:**  
Ungesunde Lebensbedingungen entstehen durch offene, sichtbare Abwasserkanäle, fehlende Wege, unkontrollierte Abfallentsorgung, verschmutzte Umgebung etc. Ebenso besteht häufig das Problem, dass Häuser auf gefährlichen Orten errichtet werden, welche für eine Besiedelung ungeeignet sind. Dazu zählen Überflutungsgebiete, Gebiete in unmittelbarer Nähe zu Industrien mit giftigen Emissionen, Mülldeponien und von Hangrutschungen oder Erdbeben bedrohte Gebiete.
- **Unsicherer Besitz und informelle Niederlassung:**  
Charakteristisch für Slums ist die Unsicherheit des Grundbesitzes. Das Fehlen des Besitztitels erlaubt es dem Bewohner nicht, das Grundstück oder das Haus legal zu besitzen. Es entstehen ungeplante, informelle Siedlungen, deren Behausungen nicht auf den nach Bebauungsplan festgelegten Grundstücken errichtet werden.
- **Armut und soziale Ausgrenzung:**  
Armut gilt als grundlegende Ursache der verheerenden Lebenszustände in Slums. Diese Zustände bilden soziale und humanitäre Barrikaden. Die soziale Ausgrenzung führt in weiterer Folge häufig zu Kriminalität und anderen Problemen.
- **Mindestsiedlungsgröße**  
Einige Slum-Definitionen fordern eine Mindestanzahl an Niederlassungen bzw. Quadratmetern an Siedlungsfläche, damit der Slum als deutlich erkennbares Viertel identifiziert werden kann. Ein Gebiet kann somit nur als Slum betrachtet werden, wenn es entsprechend viele Häuser beinhaltet.

## 1-6.2 KRITIKPUNKTE DIESER EINTEILUNG

Diese in 1-6.1 dargestellte Auflistung stellt jedoch nur einen Überblick dar und ist nicht umfassend. Die einzelnen Slums weisen von Land zu Land bzw. Gebiet zu Gebiet unterschiedliche Benachteiligungen auf. Sie können sich sogar innerhalb einer Stadt unterscheiden. Einige Slums weisen nur wenige der zuvor genannten Nachteile auf, während auf andere beinahe alle zutreffen [14, S.11].

Anders betrachtet können diese Probleme auch als Kriterien für die Kategorisierung und Einordnung von Slums genutzt werden. Nicht jedes Land definiert Slums auf dieselbe Weise. Durch die Definition eines Landes werden jedoch die Maßnahmen und die politischen Strategien beeinflusst. Eine Slumdefinition kann – laut Alfredo Brillembourg von Urban-Think Tank – auch zu einer Fehleinschätzung des gesamten Problems führen. Eigene Definitionen und Kriterien können Städte dazu verleiten, das Wohnproblem und die missliche Lage der Slums zu quantifizieren und die Situation herunterzuspielen. Sie versuchen darzustellen, dass der Prozentsatz der Bevölkerung, welche in informellen Siedlungen oder Slums lebt, gering ist. Genau diese Einordnungen sind das Problem, denn geht man von der Definition aus, dass alle unzureichenden Lebensbedingungen als Slum-Kriterien angesehen werden, so würde die Zahl der Slum-Bewohner deutlich höher ausfallen. Das würde bedeuten, dass viele Städte betroffen wären, die man für gewöhnlich nicht mit Slums in Verbindung bringen würde [1]. F. Ruffin spricht sogar davon, dass in Frankreich ungefähr eine Million Haushalte in inadäquaten Unterkünften leben oder überhaupt kein Zuhause haben [24][25].

## 1-6.3 METHODIK FÜR EINE BESSERE DEFINITION VON SLUMS

Um eine bessere und geeignetere Definition von informellen Siedlungen bzw. Slums zu erhalten, muss eine strengere Analyseverfahren angewandt werden, welche auf zwei Punkte abzielt. Erstens soll diese Methode auch die Qualitäten und Möglichkeiten der Siedlungsgebiete aufzeigen und zweitens sollen die Situation und die Lebensbedingungen in diesen Gebieten besser verstanden werden. Mit dieser Methode – welche in jedem Land angewandt werden kann – sollen inadäquate Lebensbedingungen identifiziert werden. Durch eine ausgeweitete, flexiblere Definition, welche alle Maßstäbe einer Stadt an sozioökonomischen, architektonischen und urbanen Aspekten analysiert, können auch in anderen, bereits entwickelten Regionen, slumähnliche Zustände gefunden werden [1].

### 1-6.3.1 Maßstäbe

Informelle Siedlungen und Slums sind komplexe Systeme, die wie Städte auf unterschiedlichen, voneinander unabhängigen Maßstäben (Stadt, Stadtviertel, Community, Haus) basieren. Um sowohl die Planungs- als auch die Organisationsprobleme lösen zu können, ist es notwendig, diese unterschiedlichen Maßstäbe zu identifizieren. Erst dadurch ist es möglich an unterschiedlichen Levels zu arbeiten [1].

### 1-6.3.2 Neue Methodik der Slum-Untersuchungen

Um eine Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Strategien zu schaffen und um die Situation einer informellen Siedlung besser verstehen zu können, ist es notwendig, diese Maßstäbe bzw. Ebenen zu definieren. Eine alleinige Betrachtung der Wohneinheiten genügt nicht. Der Mangel an Wohnräumen selbst ist nicht immer das größte Problem [1].

Exkurs:

Bereits 1953 präsentierten die britischen Architekten Peter und Alison Smithson beim „Congrès International d’Architecture Moderne“ (CIAM) IX in Frankreich ihr sogenanntes „Urban Re-Identification Grid“, welches die Bereiche „house“, „street“, „district“ und „city“ umfasste [1]. Diese damals revolutionäre Darstellung sollte das frühere CIAM-Grid von 1948 ablösen [26]. Das alte System baute auf die vom Architekten Le Corbusier 1933 in der Charta von Athen festgelegten Bereiche der Stadt auf. Der Charta nach wurde die Stadt in die vier Bereiche (Funktionen) „Wohnen“, „Arbeiten“, „Erholen“ und „Verkehr“ unterteilt [27]. Das System, welches von Le Corbusier befürwortet wurde, sollte die Stadt systematisch gliedern und funktionaler machen. Jahrzehntlang wurde dieses städtebauliche Konzept angewandt, führte aber letztendlich zur Ausdehnung der Städte in suburbane Räume, in der häufig reine Wohn- bzw. „Schlafbereiche“ entstanden. Der eigentliche Kern der Stadt verlor an Bedeutung. Dies lag auch daran, dass Unternehmen ihre Betriebe – und somit auch die Arbeitsplätze – in eigene Industrie- und Gewerbegebiete verlagerten. Seit einigen Jahren wird versucht, dieser Fehlentwicklung entgegenzuwirken, indem wieder eine gemischte Nutzung forciert wird [27]. Peter und Alison Smithson versuchten mit ihrem Neuentwurf des Stadtplanungskonzeptes das Konzept der Charta von Athen weiter zu entwickeln. Die starken inhaltlichen Differenzen zwischen Mitgliedern des CIAM führten zur Abspaltung der Anhänger von Peter und Alison Smithson, die sich ab 1955 Team X nannten. Das Team X vertrat die Überzeugung, dass eine Mischung der Nutzung öffentlicher Räume notwendig war [26]. Daraus geht hervor, dass bei der Stadtplanung die Häuser selbst, aber auch die Straße, das umgebende Viertel und die Stadt als Ganzes betrachtet werden müssen. Eine bloße Konzentration auf die Hausebene wäre demnach widersinnig. Die Bilder im Grid der Smithsons, auf denen spielende Kinder zu sehen sind, soll folgende Aussage vermitteln: „Die Straße ist eine Erweiterung des Hauses“ [28, S.31]. Die Spalte „Relationship“ in Kombination mit den Spalten „Haus“ und „Straße“ soll auf die Beziehung der verschiedenen Personen untereinander verweisen. Es geht nicht um die im CIAM vertretenen vier „Grundbedürfnisse“ der Bewohner (Wohnen, Arbeiten, Erholen, Verkehr), sondern um die sozialen Verhältnisse und den „Bezug zwischen Menschen und Raum“ [28, S.32]. Straßen waren auch dazu da, um Verbindungen zu schaffen – soziale und räumliche – sowie um „Leben“ zwischen die Häuser zu bringen [28].

Darauf aufbauend erfolgt eine Einteilung bei der „Slum Studies Method“ nach [1] in vier Bereiche, in denen Strategien ansetzen sollen. Dabei wird zwischen Haus-Ebene, Community-Ebene, Stadtviertel-Ebene und Stadt-Ebene unterschieden. Die Community-Ebene soll den Bereich einer Wohngemeinschaft, also einer Siedlung und somit den umliegenden Bereich eines Hauses abdecken (Abbildung 1.7) [1].

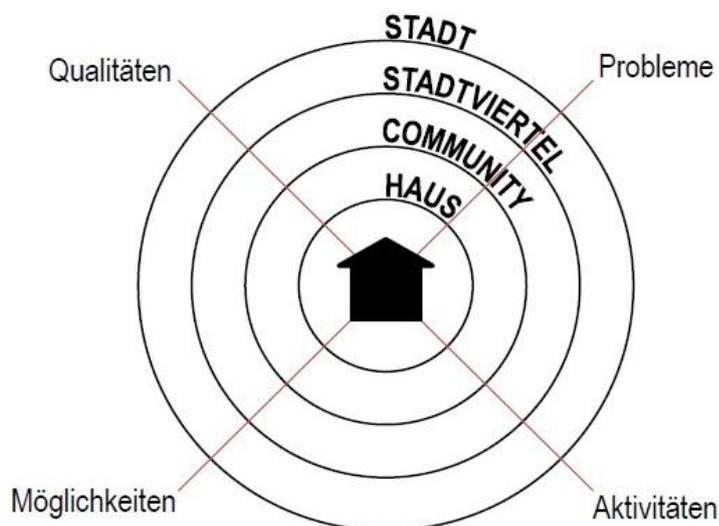


Abbildung 1.7: Slum-Studienmethodik (vgl. [1, S.47])

Innerhalb dieser Wirkungsebenen erfolgt eine Betrachtung bezüglich vorhandener bzw. möglicher Qualitäten, Möglichkeiten, Aktivitäten und Probleme. Bei der Untersuchung eines Slums werden all diese Bereiche analysiert, damit eine adäquate Lösung zur Verbesserung der Slums gefunden werden kann. Die Methode soll zum Umdenken anregen und auf die Rolle der Politik, Architektur und Planung der ständig wachsenden Städte und im Besonderen der informellen Siedlungen hinweisen [1]. Die Methode dient nicht nur der Unterscheidung, welche Bereiche in einer Studie untersucht werden, sondern zeigt auch, welche Bereiche bzw. Ebenen durch eine Strategie zur Verbesserung eines Gebietes angesprochen werden. Um überhaupt eine Verbesserung informeller Siedlungen wie Slums entwickeln zu können, müssen diese Bereiche erstmals identifiziert werden. Auch dafür ist eine Gliederung in die vier Maßstäbe vorteilhaft. Zunächst wird die Abgrenzung der Stadt zum Umland definiert. Innerhalb der Stadtfläche können nur slumähnliche Areale identifiziert und in Beziehung zur Entfernung vom Stadtzentrum gesetzt werden. In der Ebene eines Slumviertels können Unterschiede in der Bebauung analysiert werden. Eine genauere Analyse kann in der Nachbarschafts- bzw. Blockebene erfolgen, indem das Slumgebiet auf Basis des Straßennetzes oder anderen Strukturänderungen in Blöcke unterteilt wird. Die Identifikation der Unterschiede betreffend der Form und Gestalt der Gebäude kann im Detail bei Betrachtung der Hausebene erfolgen [5].

### **Stadtebene:**

In der Stadtebene können die Bevölkerungsdichte und die Dienstleistungen bezogen auf die Slum-Konzentration analysiert werden. Ebenso untersucht werden können die Verkehrsverbindung innerhalb der Stadt, das Jobangebot sowie die historische Stadtentwicklung und die öffentliche Ordnung [1]. Diese Ebene dient zudem der Gewinnung von Daten bezüglich der Flächenanteile von Slums im Vergleich zur Gesamtstadt und deren Entfernung vom Stadtzentrum [5].

### **Stadtviertel-Ebene:**

Eine Betrachtung der Nachbarschafts- bzw. Viertel-Ebene ist notwendig, da die Probleme in Slums nicht nur innerhalb der Grenzen des Slums entstehen. Diese Ebene ermöglicht die Untersuchung eines Stadtviertels bzw. Distrikts. Natürliche Besonderheiten, Umweltprobleme oder der Mangel an Infrastruktur sind nahe mit den umgebenden Vierteln und Stadtteilen verknüpft [1]. In der Ebene der Slumviertel wird die Struktur und die Gestalt des Viertels anhand von Gebäudedichte, mittlerer Gebäudegröße und Gebäudehöhe sowie anhand von Unterschieden zwischen den einzelnen Gebäuden oder der Gebäudeorientierung analysiert [5].

### **Community-Ebene:**

Diese Ebene umfasst die Dynamik des Wachstums einer informellen Siedlung. Ebenso in diese Ebene fallen das Aussehen, die Größe und die Art der Bebauung sowie die Baumethode der Siedlung [1]. Die informelle Siedlung wird in der Stadtviertelebene für die Analyse der Morphologie der Bebauung als Ganzes und auf der Community-Ebene als Häuserblock betrachtet [5].

### **Hausebene:**

Die Hausebene befasst sich mit den grundlegenden Lebensbedingungen des Einzelnen, wodurch eine Aussage über die Priorität eines Eingriffes getroffen werden kann [1].

Die hier vorgestellte Methodik beinhaltet sowohl Besuche direkt vor Ort als auch Gespräche mit Einwohnern und nutzt geographische Informationssysteme (GIS), um Slums überhaupt identifizieren zu können. Durch Vergleiche mit Daten von formellen Gebieten lässt sich rückschließen, ob es sich um informelle Bereiche wie zum Beispiel um Slums handelt [5]. Die gewonnenen Daten und Erkenntnisse dienen in weiterer Folge der Entwicklung von Lösungsstrategien und Hilfsprogrammen. Dadurch können auch Probleme besser verstanden werden, Möglichkeiten entdeckt und die sozialen Netzwerke innerhalb und außerhalb der Ansiedlung visualisiert werden. Zudem kann die soziale und urbane Abgrenzung

dargestellt werden. Um die Situation in den unterschiedlichen – zuvor erläuterten – Ebenen untersuchen zu können, werden zu Beginn die folgenden, ebenso in der Abbildung 1.7 dargestellten, Punkte betrachtet [1]:

### **Probleme:**

Zuerst werden die einzelnen Probleme des betrachteten Slums bzw. der informellen Siedlung dargestellt. Die Aufzählung der Benachteiligungen von UN-HABITAT aus Abschnitt 1-6.1 ist nicht als vollständig anzusehen. Weitere Probleme können nach [1] sein:

- große Probleme entstehen oft durch Gewalt innerhalb der Siedlung und aufgrund fehlender Polizei,
- aufgrund von Unsicherheiten sind viele Häuser hin zu öffentlichen Plätzen verbarrikadiert,
- häufig kommt es zu Bränden in Slums aufgrund von mangelhaften elektrischen Installationen,
- leere bzw. ungenutzte Flächen verkommen zu Mülldeponien,
- es ist kein Trinkwasseranschluss vorhanden; häusliche Wassertanks können aufgefüllt werden, oft ist das Wasser jedoch kontaminiert und verursacht Krankheiten (insbesondere bei Kindern),
- herumstreunende Tiere bringen hygienische Probleme mit sich,
- viele Kinder haben keinen Zugang zu guter Schulbildung ,
- es gibt informelle Arbeitsplätze,
- Zubauten sind oft schlecht ausgeführt und direkt auf dem Erdboden errichtet. Dies kann zu thermischen Problemen führen. Besonders bei größeren Regenfällen entstehen dadurch auch hygienischen Probleme,
- bei Siedlungen an Hängen mit starkem Gefälle müssen Bewohner die steilen Wege oder Treppen erklimmen. Bei starken Regenfällen kann dies zudem sehr gefährlich werden,
- durch Vorurteile und wegen der fehlenden formellen Wohnadresse bekommen Bewohner von Slums schwerer einen formellen Job und
- im Sommer kann es bei Überbeanspruchung durch illegale Stromanschlüsse, meist aufgrund von Klimaanlageanlagen, zu Stromausfällen kommen.

### **Aktivitäten:**

Slums verändern sich über die Zeit. Ähnlich wie in temporären Siedlungen (Abschnitt 1-3.1) entstehen Betriebe, Läden, Restaurants, etc., wodurch auch Jobs direkt vor Ort geschaffen werden. Auch diese Aktivitäten müssen erfasst werden, damit einerseits eine Einstufung der Siedlung erfolgen kann (Potenzial, Probleme, etc.) und gegebenenfalls eine Verbesserung möglich ist [1][5].

### **Qualitäten:**

Es werden zwar in Bezug auf Slums meist nur negative Eigenschaften angesprochen, jedoch gibt es auch einige Qualitäten, welche bereits jetzt und auch in der Zukunft zu finden sind. In der Arbeit von Damien Magat [1] besteht für Slums die Möglichkeit, ein nachhaltiges Modell einer Siedlung zu werden. Bolay [24] sieht Slums als fruchtbaren Boden oder Treibhaus für „*cultural creativity, economic invention*“ und „*social innovation*“. Unabhängig davon sollten sämtliche bestehenden Qualitäten von Slums untersucht und in Möglichkeiten umgewandelt werden [1]. Weitere Qualitäten können sein [1]:

- kleine Häuser, welche umliegend über ausreichend Platz verfügen, können je nach Bedarf und Größe der Familie erweitert werden,
- eine Flexibilität der Häuser bezüglich Erweiterungen bietet viele Möglichkeiten wie das Haus und die Umgebung genutzt werden kann. Es können auch Geschäfte, Büros, Kirchen, Mülltrennungsstellen, etc. entstehen, welche freistehend oder auch im Haus inkludiert sein können,
- ein Slum kann wie eine Organisation aufgebaut sein, bei der es z.B. Vorstände, Präsidenten, etc. gibt und bei der in regelmäßigen Abständen Diskussionsrunden veranstaltet werden, bei denen Probleme erörtert werden,

- durch gute Zusammenarbeit und soziale Kontakte innerhalb des Slums entsteht eine eigene soziale Kontrollinstanz, welche die Sicherheit erhöht und
- durch regelmäßige Aktivitäten und kulturellen Projekten entstehen aus Siedlungen Kulturzentren, die auch von Besuchern und Touristen aufgesucht werden.

### **Möglichkeiten:**

Jede Siedlung verfügt über ein bestimmtes Potential an Möglichkeiten. Diese können eine Basis für neue Projekte bieten. Gespräche mit der ansässigen Bevölkerung und einer graphischen Darstellung der betroffenen Siedlung helfen, diese Möglichkeiten ausfindig zu machen. Besonders wichtig sind eine genaue Analyse und das Wissen, wozu die Bewohner bereit sind und was sie unterstützen würden. Ebenso können neue Möglichkeiten entstehen, wenn die Gemeinschaft mit den Planern eng zusammen arbeitet [1][24].

## 1-7 STRATEGIEN ZUR VERBESSERUNG VON SLUMS

Um den Bedürfnissen der Slum-Bewohner gerecht zu werden, haben Architekten, Regierungen und Organisationen verschiedene Ansätze und Strategien entwickelt. Ebenso zu den Beteiligten zählen NGOs (Non-Governmental Organisations), also Nichtregierungsorganisationen [1]. Eine NGO ist eine „private Organisation, die gesellschaftliche Interessen vertritt, aber nicht dem Staat oder der Regierung unterstellt ist“ [29].

Diese entwickelten Strategien arbeiten innerhalb der in 1-6.3.2 genannten Ebenen. Daraus wurden sechs Strategien als Hauptstrategien identifiziert, welche im Folgenden speziell für Lateinamerika genauer betrachtet werden. Diese Hauptstrategien sind zwar nicht umfassend aber repräsentativ für die einzelnen Ebenen und ausgeführten Projekte. Die meisten Regierungsstrategien in Lateinamerika beziehen sich auf die Hausebene, bei der die Errichtung von adäquaten Häusern gefördert wird. Die Schwachstellen dieser Betrachtungsweise liegen in der fehlenden Berücksichtigung des Stadtmaßstabes oder des Standortes. Eine Beachtung der Probleme vormalig fehlgeschlagener Wohnbauprojekte ist hierbei besonders wichtig, damit diese nicht erneut gemacht werden. Ein schlecht durchdachtes Wohnbaukonzept führt in weiterer Folge zur Segregation mit ähnlichen sozialen Problemen wie zuvor. Eine Analyse der Regierungsstrategien und Politiken verschiedener Länder und deren unterschiedlich angesprochenen Ebenen ist notwendig, um Verbesserungen und Modifikationen vornehmen zu können. Die Auswirkungen der unterschiedlichen Politiken und Strategien müssen ebenfalls betrachtet werden. Tabelle 1.1 gibt einen Überblick über diese Hauptstrategien [1].

**Tabelle 1.1: Slum-Verbesserungsstrategien (vgl. [1, S.106])**

Strategie	Maßstabsebene	Wirkungsebene	Land	Konnex zur Politik
Kit of parts	Haus	Haus und Konstruktion	Mexiko	„Programa vivienda digna“
Neubau & Selbstbau	Haus & Community	Haus und Konstruktion & Wasser und Elektrizität	Chile & Uruguay	„Programa para cooperativa de ayuda mutua“
Incremental (schrittweise, inkrementell)	Haus & Community	Haus und Konstruktion & Wasser und Elektrizität	Chile	„Fondo solidario de elección de vivienda“
Infrastruktur	Stadtviertel	Infrastruktur und Grundversorgung & Gesellschaft	Venezuela	keine direkte Verbindung
Stadtplanung & Arbeitsplatzbeschaffung	Stadtviertel & Stadt	Infrastruktur und Grundversorgung & Gesellschaft	Brasilien	keine direkte Verbindung
Grundbesitz	Haus & Stadt	Grund & Boden	verschieden	für gewöhnlich mit Wohnbaupolitik verbunden

## 1-7.1 STRATEGIE „KIT OF PARTS“

Verwendung: u. a. in Mexiko, Bolivien und Peru

In Mexiko gibt es das Programm „PROGRAMA VIVIENDA DIGNA“ das Familien, die in inadäquaten Häusern leben, unterstützt. Das Programm umfasst den Kauf oder Bau sowie die Erweiterung oder Verbesserung eines Hauses. Ein Großteil des Budgets des Programmes geht in die Verbesserung und Sanierung von Häusern. Es umfasst verschiedene Strategien für die Förderungen in Form von Geld oder Baumaterial vergeben werden. Diese Subventionen dienen u.a. [1]:

- der Konstruktion eines festen Fußbodens für Häuser die lediglich über einen Erdboden verfügen,
- für die Installation von Wassertanks,
- für die Installation von Trockentoiletten,
- für die Konstruktion von metallischen oder aus Beton bestehenden Dächern und
- für die Errichtung einer Betonplatte, worauf die Bewohner ihr Haus bauen können.

Zusätzlich gibt es noch Maßnahmen zur Risikoprävention von informellen Siedlungen, die durch die Geologie oder Überflutungsgefahr gefährdet sind. Diese Maßnahmen finden sich im Konzept „PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS“ [1]. Zur Verbesserung der Lebensqualität und Sicherheit gibt es das Programm „RESCATE DE ESPACIOS PÚBLICOS“. Dieses Programm befasst sich mit der Schaffung oder „Rettung“ von öffentlichen Plätzen von ausgegrenzten Vierteln [1]. Die Strategien „Kit of parts“ und „Incremental“ bauen auf den üblichen Baumethoden der Slum-Bewohner auf, indem sie deren Methoden weiterentwickeln. Die Menschen leben oft in verheerenden Umständen und finden Möglichkeiten zur Wohnungsbeschaffung, indem sie selbst Unterkünfte schaffen. Die Gebäude können sukzessive mit unterschiedlichen, je nach Situation adäquaten, Modulen erweitert bzw. vervollständigt werden. Die staatliche Strategie nutzt diese Vorgehensweise der Bewohner und versucht die Häuser vor Ort zu verbessern. Entweder dient ein solches Unterstützungsprogramm nur der vorübergehenden Verbesserung – als Übergangsphase – oder es dient der Steigerung der Dauerhaftigkeit der Unterkunft. Das Programm kann einen Verbesserungsanreiz bieten, indem es finanzielle und/oder materielle Hilfe zur Verfügung stellt, oder die Bewohner mit Arbeitskräften und Know-How unterstützt. Während in Mexiko den Teilnehmern des Programms Geldmittel für die Verbesserung ihrer Häuser zugewiesen werden können, spenden andere Regierungen den Bewohnern benötigte Baustoffe wie z. B. Zement, damit diese ihr Haus selbst „upgraden“ können. Je nach Land kann auf verschiedene Hilfsprogramme, bei denen auch Kleinkredite, niedrige Zinsdarlehen oder Handbücher zum Hausbau als Unterstützung dienen, zurückgegriffen werden [1].

In Bezug auf Urban-Think Tank's „Slum Lab Informal Toolbox“ sollten die Module einfach entfernbar und die Materialien möglichst kostengünstig sein. Außerdem sollte der ökologische Fußabdruck der Module gering sein. Allerdings muss bei dieser Strategie bedacht werden, dass leichte, demontierbare Module auseinander gebaut und verkauft werden können. Dies muss je nach Projekt entsprechend berücksichtigt werden [1].

Um günstige, modulare Bauteile anbieten zu können, könnten sich standardisierte, industriell gefertigte Materialien bewähren. Weitere wichtige Punkte bezüglich der Auswahl des Materials sind Verfügbarkeit, Leistbarkeit und Einfachheit bei der Montage. Natürlich müssen die Materialien auch entsprechend der örtlichen Situation ausgewählt werden. Damit sind die spezifische Situation vor Ort, die Topographie, die Baugrundrisiken, das Klima oder andere Umstände gemeint. Oberstes Ziel ist die Eignung der Module und Materialien sowohl für die entsprechenden Gegebenheiten als auch für die Einwohner der informellen Siedlung, damit einfache Bauarbeit möglich ist [1]. Diese Strategie führt zu einer schrittweisen und dauerhaften Verbesserung der Häuser über die Zeit. Bei der Umsetzung dieser Strategie müssen Prioritäten gesetzt werden. Die Auswahl der Module ist von großer Bedeutung, wobei die derzeit verbauten Module noch recht einfach aussehen. Es könnten auch gebäudetechnische Module wie Warmwasseraufbereitungsanlagen, trockene Toiletten oder Regenwassersammelsysteme eingebaut werden. Für die Umsetzung komplexerer Module, bei denen der Einbau komplizierter ausfällt, sind Handbücher oder Schulungen sowie Workshops notwendig. Ein weiterer essentieller Punkt wäre die

Erlangung des Grundbesitzes. Eine grundlegende Verbesserung der Umgebung bzw. der Nachbarschaft kann allerdings nur durch zusätzliche Beachtung der Strategien wie zum Beispiel Infrastruktur oder Jobgeneration erfolgen [1].

## 1-7.2 STRATEGIE „NEUBAU & SELBSTBAU“

Verwendung: u. a. Uruguay und in ähnlicher Form auch in Chile

In Uruguay wird das Programm „PROGRAMA PARA COOPERATIVA DE AHORRO PREVIO / DE AYUDA MUTUA“ angewandt. Mittels Darlehen und einer Laufzeit von 25 Jahren soll Familien geholfen werden, eine Unterkunft zu bekommen. Um das Darlehen zu erhalten, muss es zwischen 10 und 50 Familien in der Gemeinschaft geben, die weder mehr als eine bestimmte Menge an Geld verfügen, noch ein eigenes Haus besitzen. Beim Bauprozess müssen sich die Mitglieder der Gemeinschaft engagieren oder einen Dritten dazu verpflichten. Der Unterschied zwischen „AHORRO PREVIO“ und „AYUDA MUTUA“ liegt in der Mithilfe der Familien beim Bau. Bei „AHORRO PREVIO“ (vorherige Einsparung) müssen die Familien einen Anteil der Förderung sofort abtreten, während bei „AYUDA MUTUA“ (gegenseitige Hilfeleistung) die Familien vorerst keinen Betrag aus der Förderung zahlen müssen, sich aber für gewisse Arbeitsstunden pro Woche und Familie verpflichten müssen. Verwaltet wird das neue Viertel durch die Gemeinschaft [1].

Familien, die ein Grundstück besitzen oder die Erlaubnis des Grundbesitzers haben, können sich für das „PROGRAMA DE AUTO CONSTRUCCION“ bewerben. Die Regierung stellt dann eine Grundschulung zum Bau von Häusern, eine Anleitung und einen Sozialarbeiter zur Verfügung. Der Bauprozess wird zusätzlich von einem Architekten überwacht [1].

Das „PROGRAMA DE MEJORAMIENTO DE BARRIOS“ befasst sich mit der Verbesserung eines Viertels. Es wird sowohl die Infrastruktur auf Ebene des Viertels als auch auf Ebene des Hauses betrachtet und die Regulierung des Grundbesitzes forciert. Somit wird z.B. die Kanalisation oder der Stromanschluss finanziert [1].

In Lateinamerika war der Bau von neuen Wohnungen durch den Staat schon in den 1960er-Jahren populär. Allerdings entstanden dabei oft getrennte Stadtteile mit deren eigenen Problemen [1]. Aus dem Report von UN-HABITAT von 2003 geht hervor, dass eine Umsiedelung von Slum-Bewohnern mehr Probleme schafft, als sie löst:

*„Experience accumulated over the last few decades suggests that in-situ slum upgrading is more effective than resettlement of slum dwellers and should be the norm in most slum-upgrading projects and programmes. Forced eviction and demolition of slums, as well as resettlement of slum dwellers create more problems than they solve.“* [14, S. xxviii].

Des Weiteren kann durch eine Zerstörung und Umsiedelung ebenso Armut entstehen, da hierbei leistbarer Wohnraum zerstört wird und sich die ehemaligen Bewohner das neue Zuhause häufig nicht mehr leisten können. Folglich wandern bereits umgezogene Bewohner wieder in Slum-Unterkünfte zurück. Einen weiteren Nachteil einer Umsiedelung bildet oftmals der Verlust der Arbeit und des sozialen Netzwerkes, denn neue Siedlungen befinden sich teilweise in großer Entfernung von der gewohnten Umgebung. Eine Umsiedelung sollte nur in Fällen stattfinden, wo sich Slums auf physikalisch gefährlichem Gebiet befinden oder wenn die Bebauungsdichte so hoch ist, dass eine neue, adäquate Infrastruktur nicht integriert werden kann. Als Ausnahme kann eine berechnete und freiwillige Umsiedelung geschehen; die Regel sollte aber ein „in-situ Slum-Upgrade“ bilden. Als Schlüssel zu einem erfolgreichen Slum-Upgrade gilt ein einfacher Zugang zum Erlangen des Lebensunterhalts [14, S. xxviii]. Nachteilig bei dieser Strategie ist das meist zu geringe Budget, um die Qualitätsstandards zu erfüllen. Zudem werden weder die Ebene der Nachbarschaft noch die Stadtebene berücksichtigt. Oftmals sind die neuen Siedlungen nicht mit dem Stadtzentrum verbunden sondern entwickeln ihr eigenes Zentrum, da die Lage der Siedlung nicht ausreichend berücksichtigt wurde. Dadurch konzentriert sich die Anzahl an arbeitslosen und armen Menschen weiterhin. In vielen Fällen fehlen auch öffentliche Plätze oder Gemeinschaftsräume [1].

### 1-7.3 STRATEGIE „INKREMENTELL“

Verwendung: u.a. in Chile

Chile versucht mit dem Programm „FONDO SOLIDARIO DE ELECTIÒN DE VIVIENDA“ unterprivilegierten Menschen zu helfen und gewährt den ärmsten Familien des Landes eine Förderung, mit der sie entweder ein Haus kaufen oder bauen können. Solch ein Zuschuss kann allerdings nur einmal im Leben erhalten werden. Es besteht sowohl die Möglichkeit einer Förderung für die Familie selbst, als auch für eine Wohnungsgemeinschaft. Durch die Beihilfe sind die Familien zwar Haus- und Grundstücksbesitzer, dürfen aber weder Haus noch Grundstück in den folgenden Zehn Jahren vermieten oder verkaufen. Die Subvention berücksichtigt im Vergleich zu früher auch die Lage des Grundstückes und bietet auch vermehrt Grundstücke in besser situierten Lagen an [1].

Ein anderes Programm, das „PROGRAMA DE RECUPERACIÒN DE CONDOMINIOS SOCIALES“ befasst sich mit dem Wohnungserhalt, nimmt sich sozialer Wohnbauten an, die sich im Laufe der Zeit verschlechtert haben und versucht die Lebensbedingungen in den Häusern zu verbessern [1].

Das Programm für den sozialen Wohnbau „PROGRAMA DE MEJORAMIENTO DE CONDOMINIOS SOCIALES“ versucht, das Umfeld zu verbessern. Hierdurch sollen Probleme der öffentlich genutzten Gemeinschaftsflächen erhoben und ein Komitee erschaffen werden, welches die Aufgabe hat, Regeln innerhalb der Gemeinschaft aufzustellen, Projekte zu entwickeln und Subventionen vom Staat einzufordern [1].

Die in den 1950er- und 1960er-Jahren entstanden Probleme der Regierung im sozialen Wohnbau durch die vollständige Bereitstellung der Häuser führten unter anderem zu einer Art Selbsthilfe-Konzept (*self-help* nach [30, S.7]). Dieses Konzept entstand u.a. durch den Architekten John Turner und den Anwalt sowie Wohnbauexperten Charles Abrams. Das damals entstandene Werk Turners „Housing by People“ vergleicht die Vorteile von nicht staatlich unterstützten, also selbst gebauten Wohnhäusern mit jenen Vorteilen der formal errichteten Wohnhäuser für Haushalte der unteren Einkommensschiene, die vom Staat errichtet worden sind. Er behauptete bereits damals, dass die Regierung und auch andere Interessensgruppen, wie etwa der private Sektor, die Kontrolle über den Hausbauprozess abtreten sollen und die Communities selbst für den Bauprozess verantwortlich sein sollten [30, S.8]. Es gab unterschiedliche Reaktionen: Einige Befürworter und einige, die diese Form des sozialen Wohnbaus strikt ablehnten. Darauf aufbauend entstanden neue Konzepte von Wohnbaustrategien über Dienstleistungs- und Standortprojekten bis hin zu Slum-Verbesserungs-Strategien direkt vor Ort. Einige Projekte, die damals von Turner in Peru ausgeführt wurden, werden bis heute schrittweise erweitert und zeigen den Erfolg dieser Strategie [1]. Eine Verbesserung vor Ort ist aber solange illegal – und wird auch nicht staatlich gefördert – solange der Bewohner nicht der rechtmäßiger Besitzer des Grundstückes ist. In Chile müssen Bauwerke den Baugesetzen Folge leisten. Im Besonderen muss die örtlich vorgeschriebene Erdbebensicherheit eingehalten werden. Aus einem Interview, geführt von Damien Magat mit Juan Ignacio Cerda von ELEMENTAL, geht hervor, dass eine Verbesserung in einem Slum – aufgrund von Besitzunklarheiten und Baubestimmungen – nicht ohne weiteres möglich ist. Es gibt weder Strategien noch Förderungen für eine Verbesserung von bestehenden Campamentos in Chile. Deswegen versucht ELEMENTAL die informellen Siedlungen dort auf eine andere Art zu verbessern, indem es an möglichst derselben Stelle neue und vor allem formelle Konstruktionen baut. Ebenfalls geht aus dem Interview hervor, dass laut Studien und Erfahrungen eine Familie nicht anständig auf einer Wohnfläche von unter 80 m<sup>2</sup> leben kann. Laut Cerda weisen soziale Wohnbauten das typische Problem auf, dass zu wenig Platz in den Wohnungen vorhanden ist. Deshalb nehmen die Bewohner selbst Erweiterungen am Haus vor, die allerdings aufgrund der fehlenden Formalität die Siedlung wieder in ein Campamento umwandeln [1]. Des Weiteren besteht bei dieser Wohnbaupolitik die Gefahr, dass die Bauherren versuchen, die kleinste und billigste Einheit zu errichten, um den größten Profit daraus zu generieren. Eine gute Wohnbaupolitik hingegen berücksichtigt gut durchdachte Entwürfe und schränkt das Design nicht ein. In Chile verlangt die Förderung sogar Gemeinschaftszentren und Grünflächen. Bis zu 40 Prozent der Wohnfläche eines Hauses kann auch für Geschäftsflächen oder dergleichen verwendet werden. Cerda beschreibt die Strategie von ELEMENTAL als Arbeit in der Stadtebene. ELEMENTAL konzipiert dabei flexible Flächen und Plätze, die für unterschiedlichste Aktivitäten genutzt werden können und somit die Qualität

der Siedlung und der Stadt verbessern. Öffentliche Plätze können von der Stadt durch Investitionen gefördert werden, während Bewohner der Siedlung selbst in Freiflächen investieren können, die weder als vollkommen öffentlich noch als vollständig privat angesehen werden. Als Verbindung der Hausebene und der Stadtebene sieht Cerda den Ort der Siedlung bzw. des Hauses selbst. Durch eine gute Lage und öffentlichen Raum kann eine bessere Auswahl an Möglichkeiten gewährleistet werden. Der öffentliche Raum dient zudem als Verbindung mit öffentlichen Transportmitteln zu Arbeitsplätzen, Schulen, Ärzten, etc. Entscheidend für eine gute Umsetzung einer Slum-Verbesserung ist die Beibehaltung des Ortes an dem die Bewohner zuvor gelebt haben. Nur dadurch können auch die bereits existierenden sozialen Verbindungen bestehen bleiben [1]. Problematisch in Chile war auch die Höhe der Wohnbauförderung, die unabhängig von jedweden Aspekten immer gleich hoch ausfiel, egal wo sich das Grundstück befand. Seit 2006 gibt es aber eine Anpassung der Förderung, wenn das neue Bauwerk in einem Stadtzentrum errichtet wird. Das Team von ELEMENTAL arbeitet ebenfalls mit der Strategie des inkrementellen Bauens und verwendet mehr Geld aus der Subvention für ein gut gelegenes Baugrundstück. Um mit der Förderung ein Auslangen zu finden, wird ein Teil des Hauses von ELEMENTAL gebaut; der restliche Teil muss von den Bewohnern selbst fertiggestellt werden. Durch die Projekte des Teams in Chile kam es zu Änderungen der Richtlinien, so dass nun eine Erweiterungsmöglichkeit von 13 m<sup>2</sup> verpflichtend ist, um die Subvention zu erhalten. Grundlegendes Ziel des Teams ist – soweit möglich – ebenfalls die Verbesserung der Slums, aber in Form eines Neubaus an möglichst derselben Stelle, an der die Bewohner zuvor gelebt haben [1][2]. Vorteil dieses Systems ist die Schaffung eines Rahmens durch den Staat, innerhalb dessen die Bewohner ihr Haus schrittweise erweitern können. Diese Erweiterungen müssen allerdings gut durchdacht bzw. im Vorhinein beachtet werden, so dass es zu keiner ungewollten oder sogar mangelhaften Erweiterung kommt. Durch Zubauten darf weder die Belüftung noch die Belichtung zu stark beeinträchtigt werden. Ein gut vorgegebener Rahmen ist deshalb unabdingbar [1][2]. ELEMENTAL nennt diesen Prozess des gezielten Wachstums über die Zeit „*harmonious growth over time*“ [2, S.492]. Eine genauere Erklärung der inkrementellen Strategie von ELEMENTAL liefert Abschnitt 1-11.

## 1-7.4 STRATEGIE „INFRASTRUKTUR“

Verwendung: u.a. in Venezuela

In Venezuela wurde seit dem Amtsantritt von Hugo Chávez 1999 intensiv an der Bereitstellung von kostenlosen oder preisgünstigen Wohnungen gearbeitet. Das Programm „GRAN MISIÓN VIVIENDA VENEZUELA“ oder deutschsprachig auch „Große Wohnbau Mission Venezuela“ genannt, machte sich zum Ziel, bis zu zwei Millionen Wohneinheiten an mehreren Stellen des Landes zu errichten. Für dieses Programm kann sich jeder qualifizieren, der den bis zu vierfachen Mindestlohn Venezuelas verdient. Die Teilnehmer des Programmes bekommen dann ein vollständig gebautes Haus oder können es zu einem sehr günstigen Preis kaufen. Da die Nachfrage das zur Verfügung stehende Angebot stark übersteigt, kann nicht jeder berechnete Einwohner ein Haus erhalten. Finanziert wird dieses Programm größtenteils von der staatlichen Mineralölgesellschaft PDVSA [1].

Das Programm „FINANCIAMIENTO A FAMILIAS CON TERRENO Y PROYECTO PARA CONSTRUIR“ gewährt Familien Zuschüsse für den Bau eines Hauses an deren eigenen Grundstücken. Die Familien müssen sich in diesem Fall jedoch selbst um die Planung der Behausung bemühen [1].

UN-Habitat sieht eine stadtweite Infrastruktur als Voraussetzung für ein erfolgreiches und leistbares Slum-Upgrade. Ein Fehlen von adäquater Infrastruktur führt zu einer Segregation der armen Bevölkerung, die sich dann häufig eine Unterkunft im verbesserten Slum nicht mehr leisten können [14, S. xxviii]. Somit sind Investitionen in eine grundlegende Infrastruktur wie Strom- und Wasserversorgung, Abwasser- und Abfallentsorgung, Zufahrtswege und Verkehr zwingend notwendig, um eine erfolgreiche Umsetzung jeder Art von Strategie zu gewähren. Für private Investitionen ist eine Umgebung mit kaputten Straßen und nicht gesammelten Abwasser und Müll wenig attraktiv. Umgekehrt sind

Investitionen größer, wenn das Viertel ein gutes Infrastrukturnetz, öffentliche Einrichtungen und guten Zugang zu Arbeitsplätzen aufweist [1].

Die erste Revolution in Lateinamerika im öffentlichen Transportwesen entstand in den 1970er-Jahren in der brasilianischen Stadt Curitiba. Im Gegensatz zur Hauptstadt Brasília, in der ein großes Autobahnssystem, breite Prachtstraßen und monumentale Gebäude entstanden, errichtete man in Curitiba ein öffentliches Transportsystem, Fußgängerzonen und Recycling-Systeme. Aus dem Ziel in kurzer Zeit ein funktionsfähiges und vor allem für die Bevölkerung kostengünstiges Verkehrssystem zu etablieren, entstand ein exzellentes Bussystem – „BRT“ („Bus Rapid Transport“) – mit getrennten Fahrspuren und Zugängen, welches einem oberirdischen U-Bahnsystem ähnelt [32].

Ebenso wurde ein gut durchdachtes Abfallsammelsystem entwickelt. Die Bewohner konnten ihren getrennten Müll zu speziellen Abfallsammelstationen bringen und dort den Abfall gegen Bustickets eintauschen. Das „Urban Research and Planning Institute“ (IPPUC) beschäftigte sich neben den Verkehrs- und Abfallsammlungskonzept auch mit Programmen der Überschwemmungsprotektion, des Erhalts von öffentlichem Raum, leistbarem Wohnraum, Kleinkredite und Schulbildung. Aus dieser, nach dem Architekten und Bürgermeister der Stadt Jaime Lerner genannten, „urbanen Akupunktur“ („urban acupuncture“) konnte eine Verbesserung des gesamten Systems der Stadt erreicht werden. Jeder Teilbereich entwickelte sein volles Potential als ein Teil der gesamten, umfassenden Strategie. Ein Problem der Stadt war jedoch die Nichteinbindung des Volkes. Obwohl auch einige IPPUC Initiativen von der Gemeinschaft aufgestellt wurden, waren nur selten Bewohner in Diskussionen involviert. Danach lässt sich vermutlich auch der rückgängige Erfolg des Institutes zurückführen. In den letzten Jahren stieg der Individualverkehr ständig an und es wurden nur mehr rund 22 Prozent des städtischen Abfalls recycelt. Zuvor gab es ein gut funktionierendes „bottom-up“ System, während nun durch steigende „top-down“ Entscheidungen das Verantwortungsbewusstsein der Bevölkerung sinkt. Aus Lateinamerikas „green capital“ und „the people’s city“ ist eine Metropole entstanden, die zahlreiche Gastarbeiter anzog, welche nun zu großen Teilen in Slums leben. Stadtplaner müssen in Zukunft eine neue Vision erfinden und das Verantwortungsbewusstsein der Bevölkerung ihrer Stadt gegenüber neu erwecken [33, S.72f].

Ein weiteres Beispiel zur Infrastruktur-Strategie zeigt das Seilbahnsystem, welches von Urban-Think Tank entwickelt wurde. Damit sollen Transport und öffentliche Einrichtungen kombiniert werden [1]. In vielen Slums gibt es nur schmale Fußgängerwege und keinen Platz für Straßen und öffentliche Verkehrsmittel. Besonders schwierig haben es Bewohner in den Slums der venezolanischen Hauptstadt Caracas. An den steilen Hängen werden vor allem die Treppen zunehmend ein Problem für die Bewohner. Befestigte Straßen für Fahrzeuge gibt es nicht. Ein dichtes Netz aus schmalen Fußgängerwegen und Treppen verbindet die Häuser [6]. Teilweise sind Bewohner stundenlang damit beschäftigt, die Hänge zu erklimmen, wenn sie von der Arbeit, der Schule oder vom Einkaufen nach Hause kommen. In der Regenzeit sind diese Wege und Treppen äußerst gefährlich oder teilweise sogar unbegehbar [34]. Der Zugang zu Arbeitsplätzen, Versorgungseinrichtungen bzw. generell zum Stadtzentrum ist stark eingeschränkt. Im Jahre 2003 versuchte die Regierung ein Konzept für Straßen im Stadtteil San Agustín zu entwickeln. Ein Straßensystem hätte allerdings den Abriss zahlreicher Häuser mit sich gebracht, die schmalen Gehwege – ein kulturelles und soziales Erbe – wären verschwunden. Einige Bewohner hätten ihr Zuhause verlassen müssen. Deshalb verweigerte die Bevölkerung des Viertels den Ausbau der Straßen. Im Zuge eines gemeinschaftlichen Symposiums mit Stadtplanern, Architekten, Experten und den Bewohnern der Siedlung wurde eine neue Lösung erarbeitet, die einen weniger starken Eingriff in das existierende Gefüge mit sich brachte. In Zusammenarbeit mit der österreichischen Seilbahnfirma Doppelmayr wurde ein Seilbahnsystem entwickelt, bei dem zum einen eine öffentliche Anbindung der Slums mit dem Stadtzentrum erreicht werden konnte und zum anderen ein Anschluss an fehlende Dienstleistungen geschaffen wurde. Die Stationen beinhalten teilweise auch Einrichtungen der medizinischen Versorgung, Kommunikation, Sportplätze und Supermärkte [6]. Diese Seilbahn verbindet somit die formale Stadt mit der informellen und ermöglicht so eine bessere Versorgung der Slumbewohner sowie Zugang zu sozialen Einrichtungen und gemeinschaftlichen Aktivitäten. Um eine bessere Verbindung auch mit anderen Stadtteilen zu erhalten, wurde auch das öffentliche U-Bahnsystem in das Seilbahnkonzept eingebunden. Das gesamte System besteht aus vorgefertigten Komponenten eines kit-of-parts-Systems und kann kostengünstig und rasch errichtet werden. Einen weiteren Vorteil bietet das

Konzept durch die Ausbaumöglichkeit in der Zukunft. In Puncto Nachhaltigkeit gibt es ebenfalls zahlreiche Vorteile. So wird die natürliche Belüftung zur Kühlung genutzt, Photovoltaikpaneele zur Stromerzeugung eingesetzt und Wassertanks eingebaut, welche Regenwasser sammeln, das für Toilettenspülungen oder zur Bewässerung umliegender Gärten genutzt werden kann. Die Kriminalität konnte durch die verbesserten Lebensbedingungen gesenkt werden. Vor allem die nächtliche Beleuchtung der Stationen bietet Sicherheit [6]. Im Jahr 2010 konnte die vollständige Seilbahnlinie eröffnet werden [34].

Urban-Think Tank entwickelte eine weitere Strategie, um bestehende informelle Siedlungen in Caracas aufzuwerten. Häufig wird Gewalt als großes Problem in Slums beschrieben. UTT errichtet innerhalb eines bestehenden Sportplatzes ein 3500 m<sup>2</sup> großes Sportgebäude – Vertical Gym genannt. Die beschränkte Größe des ursprünglichen Sportplatzes inmitten der Siedlung führte dazu, dass der Platz vertikal besser genutzt werden musste. Es entstand ein multifunktionales Gemeinschaftszentrum, welches sowohl Sport ermöglicht aber auch weitere Funktionen erfüllt. Das erste Projekt entstand 2004 in Chacao, einem Stadtviertel in Caracas. Es besteht aus einem vorgefertigten Bausatz, welcher je nach Bedürfnissen und örtlichen Gegebenheiten angepasst werden kann. Durch das Projekt sank die Kriminalität um 35 Prozent innerhalb von zwei Jahren [6][35].

Obwohl die Infrastruktur in den Städten seit den 1930er-Jahren ständig ausgebaut wurde, sind die informellen Siedlungen nicht nur sozial und wirtschaftlich vom Rest der Stadt ausgeschlossen, sondern auch in Puncto Infrastruktur. Ein innovatives Mobilitätssystem – Urban Parangolé genannt – soll nicht nur Infrastruktur in Form von Mobilität schaffen, sondern auch einen Rahmen für weitere soziale Einrichtungen bieten. Ein noch nicht realisiertes Projekt in São Paulo (Brasilien) soll das Konzept näher bringen. In Paraisópolis – dem zweitgrößten Slum São Paulos – sind die Bewohner weitestgehend von der Infrastruktur der formalen Stadt abgeschlossen. Die dichte Bebauung führt auch dazu, dass kein öffentlicher Raum mehr vorhanden ist. Die steilen Hänge an denen die Häuser gebaut sind, schaffen ein gefährliches Gelände, welches oftmals durch schwere Erdbeben betroffen ist. Deshalb sind innerhalb des Slums besonders gefährdete Flächen frei, auf denen keiner der Bewohner ein Haus errichten möchte. Eines dieser stark gefährdeten Gebiete soll als Standort des „multifunctional hubs“ dienen. Zum einen sollen Baumaßnahmen den Hang stabilisieren und zum anderen soll ein multifunktionales Gemeinschaftszentrum entstehen. Die terrassenähnliche Grünfläche außerhalb des Bauwerks wird zum gesellschaftlichen Treffpunkt und zum Ort der Gemeinschaft. Das Konzept umfasst weiters auch landwirtschaftliche Flächen, Transportmöglichkeiten, Infrastruktur und eine Musikschule. Vor allem durch Bereiche, die landwirtschaftlich genutzt werden können, entstehen aktiv nutzbare wirtschaftliche Flächen innerhalb der stark verdichteten informellen Siedlungen [6].

Für die Entwicklung einer Siedlung sind Straßen und eine gute Verkehrsanbindung mit öffentlichen Verkehrsmitteln äußerst wichtig. Problem bei Infrastrukturprojekten ist oftmals die nachträgliche Implementierung, da ein Abriss bestehender Wohnhäuser nur in Ausnahmefällen in Betracht kommen soll. Die Regenwasserableitung muss ebenso zum Schutz der Siedlung vor Überschwemmungen und Erdbeben beachtet werden. Die Trinkwasserversorgung spielt selbstverständlich eine außerordentlich wichtige Rolle, wobei auch der Schutz des sauberen Wassers vor Schmutzwasser mitberücksichtigt werden muss. Zur Infrastrukturstrategie gehört auch der gesicherte Grundbesitz. Viele Bewohner, die ihre Quartiere gemietet haben, müssen mit steigenden Mieten kämpfen. Eine gute oder auch später verbesserte Infrastruktur führt zur Erhöhung der Kosten. Oftmals sind Familien dadurch gezwungen ihr Heim zu verlassen und in die Peripherie zu ziehen. Aufgrund dieser Problematik ist die Sicherung des Grundbesitzes ebenso unabdingbar [1].

Alfredo Brillembourg von URBAN-THINK TANK erklärt in einem Interview mit Damien Magat in [1] die Problematik der Politiken und Strategien. Diese müssen mit einer „urban idea“ (Stadt-Idee) verknüpft werden. Erst vor kurzem verstand man die Problematik der Ausdehnung der Stadt in die Peripherie. Laut Brillembourg soll die neue Stadt auf die alte gebaut werden. Um möglichst schnell viel Geld zu verdienen, errichten Bauherren soziale Wohnhäuser in der Peripherie der Stadt, wo Grundstücke wenig kosten. Die örtliche Segregation führt zur Entstehung von „ghettos“ [1]. Dort gibt es zumeist keine Arbeit und es kommt zu einer Ansammlung der armen Bevölkerung. Beispielshalber sei hier das Projekt Pruitt-Igoe in St. Louis genannt, welches in Abschnitt 1-9.4 näher erläutert wird. Als Lösung sieht

Brillembourg mittelhohe, aber stark verdichtete soziale Wohnbauten, die in der Stadt errichtet werden sollen. Das Haus an sich sei nicht das Problem, denn die meisten Menschen aus der untersten und unteren Mittelklasse wissen, wie man ein Haus baut. Was die Menschen wirklich brauchen, sind Grund und Boden sowie Dienstleistungen. Zudem reicht es nicht aus, den Bewohnern zu einem Grundstückstitel zu verhelfen, dessen zugehöriges Grundstück weit außerhalb der Stadt liegt und keine Infrastruktur aufweist. Andererseits führt eine gute Infrastruktur alleine auch nicht zur Aufwertung eines Slums wenn keine Besitzsicherheit vorhanden ist [1].

## **1-7.5 STRATEGIE „STADTPLANUNG & ARBEITSPLATZBESCHAFFUNG“**

Verwendung: u.a. in Brasilien

„MINHA CASA MINHA VIDA“ oder übersetzt „mein Haus mein Leben“ ist ein Programm, welches auf der Erstellung von standardisierten Wohneinheiten abzielt. Diese werden an Familien verkauft, die weniger als 600 US\$ pro Monat zur Verfügung haben [1].

Durch das Programm „HABITAR BRASIL“ soll die Generierung von Einkommensmöglichkeiten gefördert werden, um die Wohnverhältnisse in den Slums zu verbessern. Es werden auch der Bau neuer Wohnungen, die Installation grundlegender sanitärer Anlagen, die Revitalisierung von verschmutzten Gebieten sowie die Errichtung der städtischen Infrastruktur gefördert [1].

Die Regulierung des Grundstückseigentums wird durch das Programm „REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA“ erleichtert. Damit sollen den Bewohnern ihre bereits bebauten Grundstücke zuerkannt werden und somit die Besitzsicherheit gewährleisten. Der Grundstückstitel kann auf unterschiedliche Art vom Recht auf Nutzung des Landes bis zum Besitz entweder durch Verkauf oder Legitimation erlangt werden [1].

Das „Urbanisierungs-, Regularisierungs- und Integrationsprogramm prekärer Siedlungen“ („URBANIZAÇÃO, REGULARIZAÇÃO E INTEGRAÇÃO DE ASSENTAMENTOS PRECÁRIOS“) zielt darauf ab, die Lebensbedingungen in Slums zu verbessern. Dies soll durch die Verhinderung und Beseitigung von Risikosituationen, die Erfüllung der Grundbedürfnisse der Bevölkerung und die Regulierung der Grundstückstitel geschehen [1].

Laut OECD [36] machen informelle Arbeiter in Entwicklungsländern mehr als die Hälfte der Belegschaft aus. Obwohl sie oft den dynamischsten Teil der Wirtschaft ausmachen, erhalten sie niedrige Löhne und keine formellen Verträge. In einigen Fällen macht der Anteil der informellen Arbeitskräfte bis zu 90 Prozent aus, wenn die landwirtschaftlich beschäftigten Arbeiter hinzugerechnet werden. Im Süden Asiens oder in Lateinamerika wurde das Wirtschaftswachstum sogar vom steigenden Anteil informeller Beschäftigung begleitet. Fast zwei Drittel der globalen Arbeitskräfte arbeiten informell. Hinzu kommen die schlechten Arbeitsverhältnisse wie schlechte Bezahlung, eingeschränkte Grundrechte oder unzureichender Gesundheitsschutz. Um dieser Entwicklung entgegen zu wirken, sollte die Formalisierung oberstes Ziel sein. Dennoch sollten auch umfassende Maßnahmen zur Schaffung guter Arbeitsplätze im informellen Beschäftigungsbereich gefördert werden [36].

In Brasilien wurde versucht, durch Investitionen und Strategien die sozial-ökonomische Lücke zu schließen. Der Fokus dieser Programme liegt auf dem Wohnungsbau und der Infrastruktur, wodurch lebenswichtige Dienstleistungen zur Verfügung gestellt werden, nicht aber die wirklichen Probleme wie Arbeitslosigkeit, niedrige Löhne oder der steigende informelle Markt. Die Regierung sollte Anreize finden, um den informellen Markt zu einem aktiven und beitragenden Teil der Stadt zu machen. Ebenso müssen neue und einfach umzusetzende Strategien gefunden werden, damit der Übergang des informellen zum formellen Markt gefördert wird. Slums könnten sich durch geeignete Strategien zu kleinen Produktionseinheiten organisieren und Workshops bilden, die in den Bereichen Recycling, lokale Produktion, innerstädtische Landwirtschaft und dgl. tätig sind [1]. Die Arbeitsplatzbeschaffung ist vielerorts noch nicht ausreichend in die Politik integriert. Für die Reduzierung der Armut ist aber eine

Schaffung von Arbeitsplätzen sehr wichtig. Die Formalisierung von informellen Arbeitsplätzen soll mehr forciert werden. Oftmals ist dies aber aufgrund von zu hoher Bürokratie sehr schwierig [1]. In einem Interview von Damien Magat mit Fabienne Hoelzel von FABULOUS URBAN – einem urbanen Design und Planungsbüro – spricht sich Fabienne Hoelzel für eine Strategie aus, welche informelle Arbeit in formelle umwandeln soll. Das Problem sei auch die fehlende Versicherung bei informeller Arbeit. Zu beachten sei aber auch, dass ein totaler Umsturz der informellen Arbeit möglicherweise in einem Wirtschaftskollaps enden könnte. Sie fordert eine bessere Einbeziehung von Stadtplanern, da eine bloße Wohnbaustrategie zu wenig ist. Durch Wohnbauprojekte, die zum einen zu kleine Wohnungen enthalten und zum anderen die Bedürfnisse der Menschen (wie eben auch Flächen für persönliche Arbeit) nicht berücksichtigen, können die Bewohner ihrem Geschäft nicht nachgehen. Wenn man den Bewohnern Flächen bzw. Räume zur Verfügung stellt, in denen sie ihren Geschäften und Aktivitäten nachkommen können, dann werden sie aktiv. Aber auch wenn man öffentliche Flächen dafür vorsieht, ist es schwierig, zu garantieren, dass dort auch Geschäfte einziehen oder andere Tätigkeiten darin stattfinden werden. In São Paulo gab es schon Projekte in diese Richtung, doch niemand wollte in diesen Räumen arbeiten. Als Grund dafür sieht Hoelzel eine unzureichend durchgeführte Untersuchung, wer hier mit welchem Geschäft einzieht und wer dieses auch in Anspruch nehmen würde. Es sei offensichtlich, dass ein Geschäft nicht funktioniert, wenn in der Straße niemand vorbei kommt. Fehlende Stadtplanung war der Fehler. Weiters sieht sie in der Aufgabe des Staates und der Politik, dass Strategien Dinge ermöglichen und nicht Vorschriften machen sollen. Ebenso soll Stadtplanung gute Architektur ermöglichen und nicht regulieren. Wichtig ist auch die Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten und Bedürfnisse der Bewohner. Beispielshalber seien hier Familien in Afrika genannt, bei denen häufig Frauen die ganze Zeit, während sie arbeiten, ihre Kinder um sich haben. Es wäre hier ein fataler Fehler zu bestimmen, welche Räume Arbeitsfläche und welche privat seien. Die Menschen, die in einer Stadt leben, wissen, was sie brauchen. Von außen betrachtet scheint vieles besser, aber das muss nicht immer auch für die Bewohner gelten. Somit ist eine Beteiligung durch die Betroffenen unabdingbar für eine gute Lösung [1].

## 1-7.6 STRATEGIE „SICHERHEIT VON GRUNDBESITZ“

Verwendung: in verschiedenen Staaten

Unter den bereits analysierten Strategien sprechen all jene, welche die Hausebene angesprochen haben, auch das Problem der Besitzunsicherheit an. Während zum Beispiel in Uruguay Menschen, die in informellen Häusern wohnen (die auf öffentlichen Grund stehen), eine Regulierung des Grundbesitzes beantragen können, ist für Häuser auf privatem Gelände ein Neubau an einem anderen Standort möglich, an dem die Bewohner Miteigentümer dieses Hauses durch eine Genossenschaft werden können. In Brasilien bestehen diese beiden Möglichkeiten ebenso und in Mexiko ist Grundbesitz bereits im Programm des adäquaten Wohnens inkludiert. In Chile hingegen ist eine Besitzregelung nicht üblich. Dort wird diese auch nicht explizit in den genannten Strategien erwähnt. In den meisten Fällen sind die Menschen, denen Sozialwohnungen zur Verfügung gestellt werden, nur Miteigentümer einer Wohnung [1].

Jean-Claude Bolay schreibt in [24, S.286f], dass zwischen 25 und 70 Prozent der Stadtbevölkerung in den Entwicklungsländern in informellen Siedlungen leben. Grundbesitz gilt als Schlüssel zur Integration der armen Stadtbewohner. Dadurch werden Familien dazu bewogen, in eine Verbesserung bzw. in ein Upgrade ihres Hauses und Grundstückes zu investieren. Außerdem bietet Grundbesitz Sicherheit gegen Zwangsräumungen oder dient der Sicherheit z. B. bei Bankgeschäften zur Erhaltung eines Kredites [24, S.286f]. Laut UN-HABITAT sind Anbieter von Dienstleistungen oder örtliche Behörden weniger dazu bereit, in Infrastruktur oder Dienstleistungen zu investieren, wenn es sich um eine informelle Siedlung handelt [1]. Generell stellt ein sicherer Grundbesitz ein „Bündel von unterschiedlichen Rechten“ dar und hängt mit weiteren wichtigen Themen zusammen. Dazu zählt zum Beispiel das Recht auf Nutzung einer Immobilie oder die Entscheidungsfreiheit, wer diese Immobilie kaufen oder erben darf. Grundbesitz ist auch mit dem Zugang zu Dienstleistungen oder Krediten verbunden [14, S.109]. Für den Fortschritt einer Siedlung ist Klarheit über die Besitzverhältnisse äußerst wichtig. Geldgeber investieren eher in Häuser

und Infrastruktur, wenn der Grundbesitz geklärt ist. Ob ein echter Eigentumstitel entscheidend ist oder ob langfristige Vereinbarungen mit den Besitzern ausreichend sind, sei abzuwägen. Laut Damien Magat wären auch langfristige Vereinbarungen mit dem Staat oder den Grundbesitzern möglich [1].

Egal welche der oben genannten Strategien primär angewandt wird, es bedarf immer der Berücksichtigung mehrerer Aspekte, um eine qualitative Verbesserung zu erzielen.

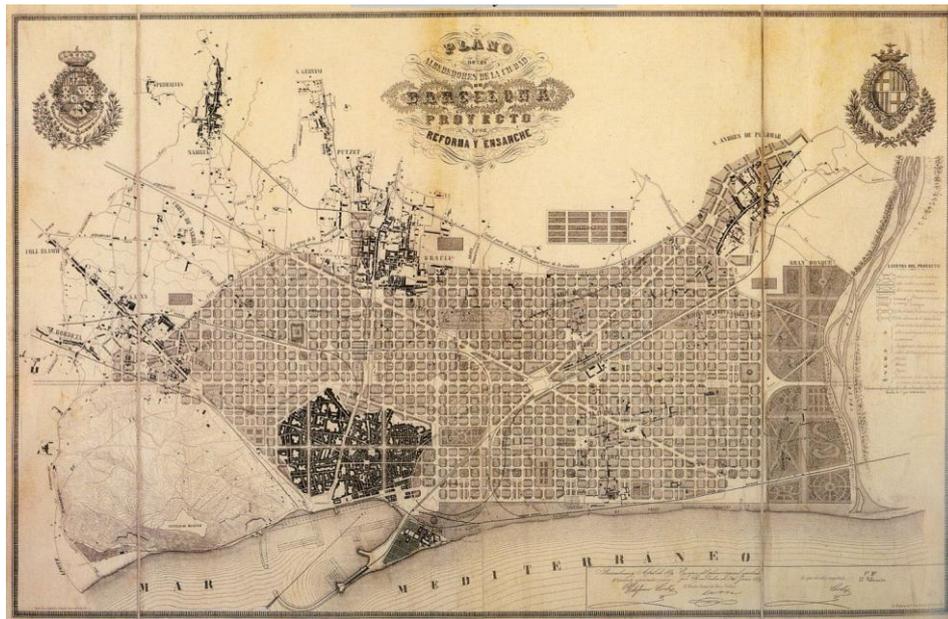
## 1-8 ARCHITEKTUR – INSTRUMENT ZUM SLUM-UPGRADE

Architektur als Markenzeichen. In den letzten Jahrzehnten boomten die Bauwerke der sogenannten „Starchitekten“ – also der Star-Architekten. Städte ringen um Aufmerksamkeit, Architektur-Tourismus und Ansehen, wodurch oftmals berühmte Architekten wie Frank Gehry, Zaha Hadid, Norman Foster, Santiago Calatrava und Co. mit enorm teuren Projekten beauftragt wurden. So wurde z.B. das Guggenheim Museum in Bilbao (1997) durch Frank Gehry zu einem Symbol der Stadt und führte zu einem großen öffentlichen und medialen Interesse. Die Stadt und insbesondere das Gebäude wurden daraufhin zu einem Magnet für Touristen. Das Erfolgsrezept, um Touristen durch Bauwerke „anlocken“ zu können lautet nach [37]:



Diesen „Bilbao-Effekt“ bzw. dieses Erfolgsrezept wollten auch andere Städte erleben und beauftragten ebenfalls Star-Architekten mit dem Bau von Projekten. Andere Bauwerke wie das Guggenheim Museum in Abu Dhabi wurden allerdings stark kritisiert, da internationale Kultur importiert wurde, anstatt regionale Architekten zu beauftragen und damit Formen und Materialien des eigenen Landes zu verwenden. Auch im sozialen Wohnbau könnte man Materialien und die Kultur des Landes, in welchem Wohnbauprojekte ausgeführt werden sollen, aufgreifen. Dies könnte zu einer differenzierteren Bauform führen, indem sich Architekten mehr mit der Geschichte und Kultur der jeweiligen Bevölkerung und des Landes beschäftigen. Durch die Nutzung regionaler Ressourcen könnte auch eine höhere Nachhaltigkeit erzielt werden. Architektur soll das Leben der Menschen verbessern und kein Wettbewerb für Ruhm und Anerkennung sein. Dies geht auch aus der Arbeit von R. L. Niculae hervor. Architektur kann Gemeinden über Stadtplanung, Verkehrskonzepte oder öffentlichen Raum belehren bzw. informieren, so dass die Lebensqualität bereits durch kleine Verbesserungen der Umgebung gesteigert werden kann. Soziale Wohnbauten oder Schulen gehören nicht zu den Spezialitäten von „Starchitekten“. Im Gegensatz dazu gibt es den sogenannten „*activist architect*“ [37, S.6], der in Slums mit geringen Geldmitteln und lokalen Ressourcen arbeitet und versucht, die dringenden Anliegen der Bevölkerung zu treffen. In letzter Zeit kann eine neue Bewegung hin zur sozialen, ökologischen und ökonomischen Architektur beobachtet werden, welche die Probleme der realen Bevölkerung wahrnimmt und die versucht, mit ziviler Unterstützung Lösungen zu finden [37]. Doch auch bei sozialer Architektur muss die Akzeptanz eines Projektes durch die Bewohner bzw. der Bevölkerung gegeben sein. Aus der Geschichte geht hervor, dass einige Projekte des sozialen Wohnbaus bereits nach kurzer Zeit ähnlich heruntergekommen aussahen wie die ursprünglichen Behausungen der Slums. Schlecht durchdachte Konzepte führen zur illegalen Erweiterung der Häuser, da der vorgesehene Raum für eine Familie nicht ausreicht. Oftmals entstehen in ungeeigneten sozialen Wohnbauten ähnliche Probleme wie in Slums. Nicht selten führt dies zu einer Segregation [1].

Architekten beschäftigten sich seit jeher mit der Planung von Häusern, Siedlungen, Wohnvierteln und Städten sowie auch mit dem sozialen Wohnbau. Durch das starke Bevölkerungswachstum in Ballungszentren im Zeitalter der industriellen Revolution gab es zahlreiche Projekte, um dem steigenden Wohnungsmangel entgegen zu wirken. Beispielshalber sei hier die 1859 geplante Stadterweiterung Barcelonas um das schachbrettartig angelegte Viertel „Eixample“ genannt, welche damit einen Bevölkerungszuwachs von ca. 800.000 Menschen ermöglichte. Die von Ildefons Cerdà geplante Stadterweiterung sollte nicht nur genügend Wohnraum bieten, sondern auch genug Raum für Infrastruktur, soziale Einrichtungen und Grünflächen zur Verfügung stellen (Abbildung 1.8) [38].



*Abbildung 1.8: Stadtplan von Barcelona nach Ildefons Cerdà aus dem Jahr 1859 [39]*

Von Anfang an plante er eine Stadt, mit der er soziale Ungleichheiten abbauen wollte. „Jede Straße sollte gleich sein, es sollte keine besseren und schlechteren Wohngegenden mehr geben“ [40, S.47]. Durch sein Konzept sollten einzelne voneinander unabhängige Stadtteile entstehen, die nicht nur über soziale Einrichtungen verfügen sollten, sondern die durch die vielen Freiflächen, Plätze und Straßenkreuzungen zu einem besseren sozialen Umfeld innerhalb dieser kleinen Subzentren führen sollte. Doch da die Bebauung nicht ausreichend kontrolliert wurde, kam es zu Spekulationen, wodurch sein Konzept der sozialen Gleichheit scheiterte. Die ursprünglich geplanten Grün- und Freiflächen wurden teilweise stark minimiert und Flächen, die für soziale bzw. öffentliche Einrichtungen vorgesehen waren, wurden im Laufe der Zeit mehr und mehr für Wohnzwecke genutzt. Steigende Wohnpreise führten dazu, dass der Wohnungsmangel der Arbeiterklasse nicht durch diese Stadterweiterung gedeckt werden konnte [38].

Aus dem Beispiel geht hervor, dass es durchaus möglich ist, eine gesamt-konzeptionelle Stadtplanung auszuführen und dabei auch den sozialen Wohnbau zu integrieren. Diese Herausforderung bedarf allerdings eines Umdenkens in der Politik und der Bevölkerung, damit soziale Projekte eben nicht wie in Barcelona scheitern, sondern die Stadt bereichern. Als positives Beispiel sei die Integration des MACBA-Museums (Museum für zeitgenössische Kunst) im Stadtviertel „El Raval“ in Barcelona genannt. Das Viertel galt seit jeher als Armen- und Problemviertel, weshalb sich Touristen nur selten hinein wagten. Selbst Einheimische mieden das Viertel und so verschlechterte sich die Situation zunehmend. In den 1980er-Jahren stellte man sich die Frage, wie und womit man dieses heruntergekommene Viertel sozial aufwerten und attraktiver machen könnte [40]. Die Stadt Barcelona entschied sich für einen gewagten Schritt – 1995 erbaute man mitten im gefährlichen, verruchten Raval-Viertel das von Richard Meier geplante Museum für zeitgenössische Kunst. Später kamen noch ein Kulturzentrum und ein Filmzentrum hinzu, was auch dazu führte, dass sich zahlreiche Szenelokale, Galerien und Boutiquen ansiedelten. Für die ansässige Bevölkerung war das ein wichtiger Schritt und so ist der Raval „bis heute ein Labor urbanen Lebens“ [40, S.31].

Weitere Beispiele – sowohl für gelungene aber auch missglückte soziale Projekte – werden im folgenden Kapitel aufgezeigt.

## 1-9 NEGATIVE BEISPIELE VON SLUM-VERBESSERUNGEN

### 1-9.1 PONTE CITY TOWER, JOHANNESBURG, SÜDAFRIKA

Im Jahre 1975 wurde in Johannesburg im Stadtteil Hillbrow – ein nobles Viertel der weißen Bevölkerung während des Apartheid-Regimes – ein über 170 m hoher Wohnturm errichtet. Das Bauwerk verfügt über 54 Stockwerke und ist mit einem gebäudehohen Innenhof ausgestattet. Das einstige luxuriöse Turmbauwerk war geprägt durch mehrstöckige Luxusapartments, die für die reiche weiße Bevölkerung als Status-Symbol galten. Der Name des Turms Ponte City kommt aus dem Portugiesischem und bedeutet Brücke. Der Turm konnte als eine „Brücke“ zum Himmel angesehen werden. In den 80er-Jahren entwickelte sich der angesagte Stadtteil zu einem multikulturellen Viertel, in dem viele Kulturen zusammenlebten. Nach und nach – vor allem nach Ende der Apartheid zu Beginn der 90er-Jahre – kam es jedoch zu einem Verfall der Gegend. Immer mehr Weiße zogen fort und das Viertel verarmte zusehends. Ein weiterer Grund, warum sich das Gebiet rund um den Turm verschlechterte, war der Auszug zahlreicher Unternehmen, die ihre Geschäfte in das städtische Umland verlagerten. Hinzu kam, dass das Hillbrow-Viertel die erste sogenannte „graue Zone“ wurde, in die aus dem Rassengesetz verbotene gemischt-farbigen Paare hinzogen. Ferner gab es einen starken Zustrom von Immigranten aus dem Kongo und aus Nigeria. Nachdem 1994 die Apartheid abgeschafft und Nelson Mandela Präsident wurde, stieg die Anzahl an Immigranten noch weiter an. Die vorherrschende Korruption ermöglichte den Drogendealern und Menschenhändlern einen Aufstieg. Nicht nur, dass es zu einem urbanen Zerfall kam, stieg auch die Kriminalität und die Gegend wurde Schauplatz von Bandenkriegen und Prostitution. Dies spiegelte sich auch im Tower selbst ab. Bewohner warfen sogar ihren Müll aus den Fenstern in den düsteren Innenhof. Bis zu 14 m stapelten sich in den schlechtesten Zeiten die Müllberge. Aus der „Brücke zum Himmel“ wurde eine „Brücke zur Hölle“. Drogenhandel, Gewalt und Armut zogen in das Haus ein. Es galt als das gefährlichste Hochhaus in Südafrika und als der höchste Slum Johannesburgs. Um die verheerende Situation zu verändern, wurden seit den späten 2000er-Jahren in die Umgebung und dem Turm investiert. Verstärkte Polizeipräsenz und Überwachungskameras sollten das Gebiet und auch die öffentlichen Plätze sicher machen. Der Ponte City Tower erhielt ein elektronisches Eingangssystem, bei dem ein Einlass nur durch Chipkarten gewährt wurde. Da jedoch mit diesen Karten auch „gedalt“ wurde, führte man 2007 einen Fingerabdruckscanner ein, so dass nur Bewohner Zutritt zum Turm hatten. Besucher mussten sich zuvor anmelden. Dadurch konnte das Wachpersonal den Turm endlich unter Kontrolle bringen. Die Apartments wurden teilweise in Luxuswohnungen umgebaut. Motor dafür war auch die Fußballweltmeisterschaft 2010. Da jedoch unklar war, ob in den Folgejahren in der Gegend weiter investiert wird und der Investor Ende 2008 insolvent wurde, befand sich das Gebäude teilweise in renovierten und teilweise in verfallenem Zustand. Auch das Müllproblem war 2009 noch nicht gelöst, denn die verbliebenen Bewohner warfen ihn weiterhin aus den Fenstern. Heutzutage herrscht jedoch wieder Sauberkeit, da in jeder Etage Müllcontainer bereit stehen. Mittlerweile gibt es auch wieder Geschäfte und Cafés im Gebäude. Die Sicherheit ist auch gestiegen, da die Bewohner sich nun gegenseitig schützen. Außerdem hat sich die Bewohnerschaft selbst geändert, denn heutzutage bewohnen anstatt der früheren 70 Prozent an afrikanischen Immigranten, zu einem Großteil Studenten den Turm [41][42][43][44].

### 1-9.2 TORRE DAVID, CARACAS, VENEZUELA

Torre David ist ein unvollständig gebauter Turm in Caracas in Venezuela, der nach und nach zu einem vertikalen Slum wurde. Der in Abbildung 1.9 dargestellte Turm wurde in den 1990er-Jahren gebaut und sollte zu einem Prachtbau von Venezuela werden. Dieser „Turm des Davids“ – ursprünglich Centro Financiero Confinanzas genannt – sollte Sitz einer Großbank sein und für ein Hotel sowie Büros genutzt werden. Als es 1994 zu finanziellen Problemen kam, übernahm der Staat den unvollständigen 192 m hohen Rohbau. 2001 wurde versucht das Gebäude für 60 Millionen US\$ zu versteigern, was jedoch ohne Erfolg blieb. Im Jahr 2007 stürmten zahlreiche obdachlose Familien den Turm und bewohnten diesen ab

sofort auf illegale Weise. Der Zustrom auf den Turm war hoch, so dass im Jahr 2009 Schätzungen zu Folge bereits 200 Familien im Turm lebten. Im Vergleich zu anderen Slums am Rande der Stadt fanden viele den Turm weniger gefährlich [45]. Die Bewohner führten strenge Regeln ein und neu ankommende Bewohner mussten zuerst eine Probezeit über sich ergehen lassen [46].



*Abbildung 1.9: Blick auf die Fassade des Torre David, Caracas, Venezuela [10]*

Es stellte sich eine Vielfalt an Dienstleistungsangeboten im Gebäude ein, die den ganzen Tag über in Anspruch genommen werden konnten. Nur so war es für viele möglich ihren Lebensunterhalt zu verdienen. Für die Trinkwasserversorgung waren selbstangefertigte Pumpensysteme vorhanden, mit denen Tanks in den oberen Geschossen befüllt werden konnten. Das teilweise vorhandene Abwassersystem war zumindest soweit ausreichend, um das Sanitärproblem weitgehend in den Griff zu bekommen. Nur die Stromversorgung machte Probleme. Anfangs wurden öffentliche Leitungen illegal angezapft, später einigte man sich mit einem staatlichen Energieversorger. Da jedoch die Anzahl der elektronischen Geräte zunehmend anstieg, kam es häufig zu Stromausfällen. Ein besonderes Problem war die schwere Kontrollierbarkeit von Seiten der Polizei, so dass sich eine hohe Kriminalität einstellte. Es gab dennoch eine gute Sozialstruktur im Gebäude, da jede Etage seinen eigenen Vertreter bereitstellte, der in wöchentlich stattfindenden Treffen auf Probleme und Lösungsmöglichkeiten hinwies. Zusätzlich gab es eine Art Exekutive, die nach den „Regeln der Straße“ agierte. Die soziale Struktur wies eine Komplexität einer Stadt auf, da immerhin über 3000 Menschen den Turm bewohnten und durch Selbsthilfe bewohnbar machten [45]. Im Jahr 2014 wurde das Gebäude zwangsgeräumt und die Bewohner in ein soziales Wohnbauprojekt ca. 50 km außerhalb der Stadt umgesiedelt [45]. Das Gebäude sollte daraufhin ein kommerzielles Zentrum werden, doch die Zukunft des 45-stöckigen, auffälligen Gebäudes ist nach wie vor unklar [47]. Laut Definition ist es schwer, zu sagen, ob dieses Gebäude nun ein vertikaler Slum ist oder nicht, denn es besitzt sowohl eine gute Infrastruktur, solide Böden, Wasser- und Abwassersysteme (welche die Bewohner allerdings selbst errichtet hatten) und eine gute Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz. Das einzige, was dieses Bauwerk als Slum definieren würde, ist der Mangel an Besitz, da die Bewohner darin auf illegale bzw. informelle Weise leben mussten. Dennoch galt dieser Turm als „höchster Slum der Welt“ [1][46]. Gründe für die Entstehung des Slums liegen im Wohnungsmarkt, da zu wenige Wohneinheiten im sozialen Wohnbaubereich zur Verfügung gestellt wurden [48]. Selbst für Haushalte, deren Angehörige Lehrer oder Polizisten waren, erschien Torre David als mögliches Zuhause, da die Wohnkosten in Caracas zu hoch waren, um sich mit den Löhnen eine ordentliche Wohnung leisten zu können [45].

### 1-9.3 23 DE ENERO, CARACAS, VENEZUELA

In den 1940er-Jahren sollte Caracas in eine moderne Hauptstadt umgewandelt und gegen Ende der 40er-Jahre sollten neue Wohnhäuser für sozialschwache Bewohner errichtet werden. Vorbild des Architekten Carlos Raul Villanueva waren Le Corbusiers Unite d' Habitation und die Konzepte des CIAMs [23]. Der Öl-Boom und die neuen Strategien der Stadt veranlassten tausende Menschen, aus den ländlichen Regionen in die Stadt zu ziehen. Ein nationaler Wohnbauplan war erforderlich, damit Wohnungen für die steigende Bevölkerung zur Verfügung gestellt werden konnten [49]. Um schnelle Ergebnisse zu erzielen, verzichtete man auf detaillierte Forschung in Bezug auf soziale und wirtschaftliche Aspekte der Bauwerke. Zudem veranlasste die Regierung in den 50er-Jahren eine Säuberung der Stadt von Slums. Über 180.000 Menschen mussten umgesiedelt werden [23]. 1955 wurde mit den Bauarbeiten der riesigen Wohnblöcke begonnen. 1958 – nachdem die Diktaturherrschaft von Marcos Pérez Jiménez endete – kam es zu einer Besiedelung der unfertigen Apartments des 23 de Enero von tausenden Menschen aus den umliegenden Slums [49]. Die 15-stöckigen Wohnblocks befinden sich inmitten der Barrios und beherbergen über 60.000 Menschen. Das Projekt galt als das größte Massenwohnungsprogramm in Lateinamerika [6]. Die ursprünglich strukturierten und freien Flächen zwischen den Hochhäusern wurden nach und nach von barackenähnlichen Häusern ausgefüllt. Dies begründet sich vor allem dadurch, da die Regierung in den 60er-Jahren die Missstände der Wohnbaupolitik eingestand und die Menschen aus den ländlichen Regionen dazu ermutigte, in die Stadt zu kommen. Obwohl die Flächen zwischen den Wohnblöcken von 23 de Enero laut Wohnbauprogramm freibleiben sollten, um die architektonische und städtebauliche Qualität zu erhalten, wurden diese Flächen durch Baracken zugebaut. Die Situation verschlechterte sich zunehmend. Es entstand eine unkontrollierbare Umgebung, in der Menschen illegal und ohne Sicherheit leben. Das Gebiet liegt zudem in einem überflutungsgefährdeten Areal. Der Baugrund verfügt nur über eine geringe Stabilität, so dass in etwa 80 Prozent der Häuser an statischen Problemen, Wassereintritten, kaputten Fahrstühlen und Müllproblemen leiden [49]. Hinzu kommen eine fehlende elektrische Versorgung sowie eine fehlende Müll- und Abwasserentsorgung. Die Schwierigkeit einer Reparatur der Häuser lässt die Probleme des Viertels weiterhin steigen. Der soziale und physische Verfall nimmt zu. Trotz zahlreicher Bemühungen kommt es immer wieder zu Rückfällen. Dennoch bietet das Projekt zahlreiche Einblicke in die Wohnbaupolitik Venezuelas und ermöglicht, Fehler der Vergangenheit zu analysieren und daraus zu lernen. Die Beziehung zwischen den Häusern und deren Umgebung sollte besonders kritisch überdacht werden. Der hohe Verdichtungsgrad zwischen den Wohnblöcken und die Probleme durch spontane, informelle Konstruktionen müssen ebenfalls gelöst werden [49].

### 1-9.4 PRUITT-IGOE, ST. LOUIS, USA

Ein weiteres gescheitertes Wohnbauprojekt zur Aufwertung eines bestehenden Areals war die Anlage Pruitt-Igoe in St. Louis (USA). Die Siedlung wurde 1951 von den Architekten Minoru Yamasaki und Joseph Leinweber, in Anlehnung an die Visionen von Le Corbusier, geplant. Das Projekt bestand aus 33 identischen Plattenbauwohnanlagen mit jeweils elf Stockwerken. Mithilfe der Anlage sollte eines der ärmsten Slum-Areale saniert werden. Ebenso sollte eine neue Richtung des sozialen Wohnungsbaus aufgezeigt werden [50][51]. Der Vorteil des ambitionierten Projektes war die Nähe zum Zentrum von St. Louis. Laut dem damaligen Bürgermeister der Stadt, Joe Darst, war es eine Säuberungsaktion, um das Zentrum der Stadt von Slums zu befreien. Benannt wurde die Anlage nach einem schwarzen, amerikanischen Kampfpiloten aus dem zweiten Weltkrieg (W. O. Pruitt) und einem ehemaligen weißen Kongressabgeordneten (W. L. Igoe). In der gesamten Wohnanlage waren 75 Prozent der Wohnungen für farbige Bewohner und nur 25 Prozent für weiße vorgesehen. Eine Trennung der Rassen gehörte zum damaligen Planungskonzept. Nach der Aufhebung der Rassentrennung im Jahr 1954 verließen vornehmlich weiße Bewohner das Areal. Zu den Problempunkten der Wohnanlage zählte die kaum vorhandene Nutzbarkeit der Grünflächen sowie die fehlenden soziale Beziehungen der Mieter untereinander [50][51]. Schon nach einiger Zeit waren Aufzüge defekt, Kriminalität und Vandalismus breiteten sich ebenso aus wie Drogenhandel und Gewalt. In den Sommermonaten war ein Leben in den

obersten Geschossen aufgrund der Hitze undenkbar und im Winter kam es zu Schäden an Wasserleitungen [50]. In weiterer Folge verweigerten Paketdienste, Taxilenker und auch die Polizei oder die Feuerwehr ihren Dienst. Nach einem Aufstand der Bewohner im Jahr 1969 wurde versucht, zumindest Teile der Anlage zu revitalisieren und die Nutzungsqualität zu steigern. Es wurden Kinderspielplätze errichtet, doch nach wenigen Jahren kam es in Pruitt-Igoe wieder zu Vandalismus, Bandenkriegen und weiteren größeren Problemen, so dass man 1972 notgedrungen mit der Sprengung der Blöcke begann [50].

Der US-amerikanischer Architekt Charles A. Jencks schrieb:

*„Die moderne Architektur starb in St. Louis/Missouri am 15. Juli 1972 um 15.32, als die berüchtigte Siedlung Pruitt-Igoe oder vielmehr einige ihrer Hochhäuser den endgültigen Gnadenschuß durch Dynamit erhielten.“ [52, S.9].*

Gegner der sozialen Wohnbaupolitik forderten die Sozialausgaben drastisch zu kürzen und beschuldigten die einstigen Bewohner. Die eigentlichen Gründe für dieses misslungene Projekt lagen nicht ausschließlich an der Architektur, sondern an der gesamten Struktur und Geschichte der Stadt. Zum einen verließen in den 1950er- bis 1970er-Jahren viele weiße Bewohner die Stadt und zum anderen siedelten sich mehr und mehr farbige aus den Südstaaten an. Diese neuen Bewohner hatten weder eine Ausbildung, noch waren sie an die städtische Lebensweise und den Wohnbedingungen der riesigen Wohnanlagen gewohnt. Hinzu kam ein starker Rückgang der Wirtschaft von St. Louis. Weitere Faktoren wie Einsparungen im Ausbau, die fehlende Nutzbarkeit der Außenflächen und die stark forcierte Belegung der Wohnungen mit Einkommensschwachen, meist farbigen Mietern, verstärkten den Trend zum Niedergang des Viertels. Auch fehlende Verantwortlichkeit für Ordnung sowie die Finanzierung der Instandhaltung durch Mieten zählen zu den Gründen. Letzteres scheiterte an der hohen Arbeitslosigkeit der Bewohner, die dadurch Mieten nicht zahlen konnten. Als kein Geld mehr für Reparaturen zur Verfügung stand, wurden Mieten angehoben und weitere Einsparungen durchgesetzt. Der „Hilferuf“ der Bewohner wurde letztlich ignoriert [50][51][53][54]. In Abbildung 1.10 ist die Größe des Projektes ersichtlich.



**Abbildung 1.10: soziale Wohnbausiedlung Pruitt-Igoe, St. Louis, USA [55]**

Aus dem Film „The Pruitt-Igoe Myth“ geht hervor, dass es für viele Farbige eine Art Gefängnis war, da es viele Vorschriften gab, um darin wohnen zu dürfen. Es gab jedoch auch positive Aspekte, denn für einige Bewohner war es trotzdem eine Heimat geworden. Die ehemalige Bewohnerin Ruby Russel beschreibt Pruitt-Igoe als eine „Oase in der Wüste“ [56, Min.13:47]. Als Gründe für das Scheitern des Projektes wurde unter anderem eine Fehleinschätzung der Politik bezüglich des künftigen Bevölkerungswachstums genannt. Man traf die Annahme, dass das starke Bevölkerungswachstum in den Nachkriegsjahren immer weiter zunehmen würde. Dabei kam es bei der Unterscheidung zwischen tatsächlichem Bevölkerungswachstum und kurzzeitigen Trends zu Fehleinschätzungen. Nach der Aufhebung des Rassentrennungsgesetzes zogen viele weiße Bewohner in die Vorstädte, um dort Einfamilienhäuser zu kaufen. In weiterer Folge siedelten sich zahlreiche Unternehmen in den Vororten an, so dass es für die städtischen Bewohner immer weniger freie Arbeitsplätze in der unmittelbaren Umgebung gab. Als es durch fehlende Mieteinnahmen keine Reparaturen und regelmäßige Reinigung mehr gab, verahrloste die Anlage zusehends. Letztendlich waren Arbeitslosigkeit und daraufhin Vandalismus und Bandenkriege verantwortlich für die verheerende Situation in Pruitt-Igoe. Aus dem Film geht auch hervor, dass der soziale Wohnbau alleine – ohne durchdachtes Gesamtkonzept – nicht alle Probleme lösen kann [56]. Auf jeden Fall können Stadtplaner, Architekten und Politik aus dem gescheiterten Projekt profitieren, indem sie die Fehler analysieren und bei künftigen Projekten beachten.

## 1-9.5 CORVIALE, ROM, ITALIEN

In Italien gab es in den Nachkriegsjahren ebenfalls ambitionierte Wohnbauprojekte. Eines davon ist die ein km lange Wohnanlage „Corviale“ in Rom, welche 1972-1974 am Stadtrand gebaut wurde. Das Bauwerk sollte bis zu 8000 Menschen beherbergen und gilt nach wie vor als eines der längsten Hochhäuser in Europa. Doch sowohl die Ästhetik als auch die wohnungsbauliche Qualität ließen zu wünschen übrig. Das Projekt folgte den Ideen des „Congrès International d’Architecture Moderne“ (CIAM), welches von zahlreichen europäischen Architekten, unter anderem auch Le Corbusier und Walter Gropius, gegründet wurde und von 1928 bis 1956 existierte. Diese Arbeitsgruppe verfolgte das Ziel, die Zersiedelung und Verdichtung des Wohnraums in den peripheren Bereichen der Städte zu vermeiden. Das monströse Bauwerk wurde anfangs von Bewohnern bezogen, die sich die ständig teurer werdenden Wohnungen in Roms Zentrum nicht mehr leisten konnten. Die am Stadtrand befindliche Wohnanlage verwandelte sich mangels Infrastruktur und Management zu einem sozialen Brennpunkt mit hoher Kriminalitäts- und Arbeitslosenquote [3][57][58].

## 1-10 POSITIVE BEISPIELE VON SLUM-VERBESSERUNGEN

---

Der Mangel an ausreichend vorhandenem Wohnraum führte in Lateinamerika zur Entstehung von informellen Siedlungen, deren Häuser auf fremdem Land und mit den gerade zur Verfügung stehenden Materialien errichtet wurden. Das Fehlen wichtiger Serviceeinrichtungen wie Abwasserentsorgung, Trinkwasserversorgung oder Besitzsicherheit lässt nur ein ungesundes und unsicheres Leben in Slums zu. Dennoch können die Bewohner trotz der verheerenden Bedingungen von der Informalität ihrer Dörfer profitieren. Sie können ihre wohnliche Umgebung in gewisser Weise an ihre Bedürfnisse anpassen und innerhalb eines dichten sozialen Netzwerkes leben. Gerade diese Anpassbarkeit der Umgebung war Thema einiger sozialen Wohnbauprojekte - so auch beim peruanischen PREVI-Projekt. Besonders der Aspekt der inkrementellen Erweiterung von Häusern steht bei positiven Slum-Verbesserungen im Bereich der Wohnbau-Ebene im Vordergrund. Dass Bewohner den Drang verspüren, ihre Umgebung nach ihren Bedürfnissen umzugestalten, wird im Wohnbauprojekt „Quartiers Modernes Frugès“ in Pessac von Le Corbusier aus dem Jahre 1926 deutlich. Die ausgeführten Adaptierungen in Frugès waren jedoch nicht vom Architekten beabsichtigt. Dennoch zeigt das Beispiel, wie Menschen ihr Zuhause verändern, um es an ihre Bedürfnisse anzupassen [59].

Im Folgenden werden zunächst zwei Beispiele von Slum-Verbesserungen in Südafrika gezeigt und anschließend anhand von weiteren Beispielen – dem PREVI-Projekt in Lima sowie zahlreichen Projekten von Alejandro Aravena – die Thematik der inkrementellen Erweiterbarkeit von Häusern erläutert. Diese detaillierte Betrachtung dient der Veranschaulichung der inkrementellen Strategie und vor allem auch dem Verständnis über die erforderlichen Maßnahmen, die sowohl vor, während und nach der Projekterstellung unbedingt erforderlich sind, damit eine neu errichtete Siedlung künftig auch floriert und das Zusammenleben funktionieren kann.

### 1-10.1 REIHENHÄUSER IN KAPSTADT

Östlich von Kapstadt befindet sich einer der größten informellen Slums von Südafrika. In der Siedlung Khayelitsha entwickelten die Gründer von Urban-Think Tank, Alfredo Brillembourg und Hubert Klumpner, ein neues Wohnhauskonzept [61]. Seit 2013 wird an dem Projekt gearbeitet. Es war ursprünglich als ein modulares Holz-Skelettbauweise geplant, um es an einem Tag auf- und abbaubar machen zu können. Durch das Projekt sollten die notdürftig gebauten Hütten durch Häuser mit mehr Komfort ersetzt werden und zusätzlich durch die kompakte Bauweise Freiraum geschaffen werden. Die Häuser wurden mit Fundamenten ausgestattet, welche bis zu drei Geschosse tragen können und so einen weiteren Ausbau der Häuser erlauben. Der durch die Bauform gewonnene Freiraum kann für Straßen, öffentliche Plätze, Infrastruktur oder zusätzliche Wohnhäuser genutzt werden. Ein weiterer Vorteil dieses Projektes lag darin, dass grundsätzlich nur diejenigen Menschen in die neuen Häuser einzogen, die auch bereits zuvor hier gelebt hatten. Somit wurde also niemand vertrieben. Ausgeführt wurden die Häuser in Holz-Skelettbauweise, welche außen mit Trapezblech verkleidet wurden. Brandwände hingegen bestehen aus massiven Mantelbetonsteinen. Die Decken wurden in Form von Holzbalkendecken errichtet. Das Dach besteht aus Sandwich-Trapezblechelementen. Zur Steigerung der Nachhaltigkeit wurden Zisternen eingebaut, welche nach einer Aufbereitung durch Filter das Spülwasser für die WC-Spülung bereitstellen. Zur grundlegenden Ausstattung der Häuser kommen noch Energiesparlampen und ein 200 Liter umfassender Wassertank, der täglich befüllt wird, hinzu. Der Strom für jedes Haus soll durch Photovoltaik-Elemente gewonnen werden. Die Finanzierung des Projektes wurde zunächst durch Sponsoren getragen, doch sollen weitere Häuser durch ein selbsttragendes Finanzierungskonzept bezahlt werden. Kleinkredite und individuelle Kreditpläne sollen dies ermöglichen [61].

## 1-10.2 PREVI – PROJEKT IN PERU

In Zusammenarbeit zwischen der Regierung von Peru und den Vereinten Nationen gelang 1965 ein Experiment eines Wohnbauprojektes, welches in einem Vorort von Lima entwickelt wurde. Das unter dem Namen PREVI (Proyecto Experimental de Vivienda) bekannte Wohnbau-Projekt hatte das Ziel, kostengünstige Wohneinheiten als Alternative zu informellen Siedlungen für über 1500 einkommensschwache Familien zu errichten. Um das lokale technische Wissen und die Kultur des Landes mit den Ideen und dem Können der großen Architekten zu verbinden, wurde ein Team aus 26 Architekten zusammengestellt. Die Hälfte von ihnen waren einheimische Architekten, die anderen waren international bekannte Architekten wie **James Stirling**, **Christopher Alexander**, **Fumihiko Maki**, **Aldo Van Eyck** und **Kisho Kurokawa** [59]. Es sollte eine organisierte Wohnhausstruktur geschaffen werden, die einerseits gesicherte Gesundheits- und Sicherheitsstandards bietet, andererseits aber eine durch die Bewohner selbst verwaltete Umwandlung ermöglichen sollte. Das als Prozess und nicht als Objekt gedachte Haus war auf Wirtschaftlichkeit, Praktikabilität, Standort und örtlichen Gegebenheiten ausgelegt. Jede Wohneinheit erhielt speziell für Erweiterungen vorgesehene Flächen. Das Konzept beruht auf einem Gebäudekern, der Tragwirkung und Infrastruktur in Form von Mindeststandards bietet aber gleichzeitig die Möglichkeit der Erweiterung der Wohnfläche gewährt. Die Idee einer Vergrößerung der Wohnfläche über die Zeit war zwar nicht neu, doch war das Ausmaß des Projektes beispiellos. Einige Bewohner konnten ihre Wohnungen sogar um 200-300 Prozent vergrößern [59]. Um den Bedürfnissen der Bewohner entgegen zu kommen, sollten 26 verschiedene Wohnungstypologien umgesetzt werden, bei denen sich im Laufe der Zeit eingeschossige Häuser in mehrstöckige Gebäude und monoton wirkende Reihenhäuser zu texturierten Straßenzügen verwandelt haben. Durch einen politischen Machtwechsel wurden jedoch nur 24 Wohnungstypologien ausgeführt [62].

### 1-10.2.1 Die Entstehung des Projektes

In den 50er- und 60er-Jahren gab es mehrere Faktoren, die zur Entstehung des PREVI-Projektes beitrugen und dieses auch beeinflussten. Zum einen gab es internationale Bewegungen wie das CIAM, zum anderen gab es ein starkes Bevölkerungswachstum und auch eine starke Umsiedlungsbewegung, welche die Menschen dazu bewog, in historische Altstadtbereiche oder in neue, spontan errichtete, Siedlungen zu ziehen. Vor allem der Zuzug aus der ländlichen Umgebung in südamerikanische Städte war ein stark auftretendes Phänomen in den 50er-Jahren. Zudem entstand ein neues Bewusstsein dahingehend, dass die Architektur auch eine soziale Verantwortung tragen würde. All dies machte die Entwicklung eines sozialen Wohnbauprojektes notwendig. Der britische Architekt **Peter Land**, der bereits vor Beginn des PREVI-Projektes einige Jahre in Peru verbrachte, konnte die peruanische Regierung von der Notwendigkeit eines sozialen Wohnbauprojektes überzeugen. 1964, als Fernando Belaúnde Terry Präsident von Peru wurde, begann eine Zeit der konstruktiven Entwicklungsprojekte im gesamten Land. In den Jahren 1965 und 1966 besuchte Peter Land mehrere Orte in Peru und zeigte Missstände bzw. Verbesserungsvorschläge in den Bereichen Wohneinheit, Wohngemeinschaft, Technologie und Planung auf. Während dieser Zeit entstand die Idee eines Wohnbauprojektes mit internationalem Ausmaß. 1966 machte P. Land dem Präsidenten den Vorschlag, das Projekt auf experimenteller Basis mit niedriggeschossigen, aber hochdichten Häusern auszuführen. Nach einiger Überzeugungsarbeit und nach weiterer Forschung sowie nach der weltweiten Rekrutierung von 13 einheimischen und 13 auswärtigen Architekten konnten schließlich 1968 die internationalen Vereinbarungen unterschrieben werden. Politische Änderungen und die Einführung eines Militärregimes 1969 führten jedoch zu Veränderungen bezüglich des Wohnbausektors. So kam es, dass nur 24 von 26 Häusertypologien gebaut wurden. Dennoch konnte mit dem Wohnbauprojekt fortgefahren werden, so dass die Fertigstellung 1973 erfolgte. Ursprünglich sollten auch eine Erweiterung der Siedlung sowie ein weiteres Projekt mit den erfolgreichsten Hauskonzepten des PREVI erfolgen. Dies wurde von der neuen Regierung 1969 jedoch nicht durchgeführt [62].

## 1-10.2.2 Die Grundidee der PREVI-Häuser

In der Zeit des Beginns des PREVI-Projektes gab es weltweit großes Interesse an industrialisierter und mechanisierter Fertigung von Gebäuden. Durch die Errichtung von riesigen Fabriken von internationalen Fertigungsunternehmen sollten Paneele aus Stahlbeton hergestellt werden können, die zur Herstellung von hohen Gebäuden verwendet werden sollten. Im Gegensatz dazu versuchte man, im PREVI-Projekt die Produktivität und Qualität durch Organisation und durch die Einführung kleiner, mobiler Produktionsstätten zu erreichen. Die Errichtung der Gebäude sollte eher arbeits- anstatt kapitalintensiv sein. Im kleineren Maßstab war in Lima bereits eine relativ hochqualitative Bauindustrie vorhanden, welche im Zuge des Projektes auch berücksichtigt werden sollte. Deshalb war es auch wichtig, dass kleinere, „handlichere“ Komponenten zum Einsatz kamen, da die vorhandene lokale Industrie aufgrund der gängigen örtlichen Praxis darauf spezialisiert war [62].

In den letzten Jahrzehnten entstanden häufig Siedlungen in den Vororten der Städte mit niedriger Gebäudehöhe und geringer Bebauungsdichte oder Projekte mit sehr hohen Wohnhäusern direkt im Stadtbereich. Beide dieser Wohnformen haben beträchtliche Nachteile. Das Vorortkonzept benötigt breite Straßen und breite Parzellen für freistehende Häuser. Aufgrund des hohen Flächenbedarfs entsteht eine große Ausdehnung der Siedlungen und somit hohe Kosten bei der Infrastruktur wie Straßen, Kanalisation, Wasserversorgungsleitungen etc. Neben der geringen Bebauungsdichte ist auch die große Entfernung zu Schulen, Einkaufsmöglichkeiten, Arbeitsplätzen oder anderen Einrichtungen ein Problem. Jede Familie ist dadurch an den Gebrauch von Autos als Transportmittel gebunden. Dies führt zur erhöhten Umwelt- und Lärmbelastung sowie zu langer, unnötiger Fahrzeit. Eine weitere Konsequenz aus den großen Entfernungen – sowohl zum Zentrum als auch zu Nachbarn – ist die geringere soziale Interaktion bzw. der geringere Kontakt der Familien untereinander. Auf der anderen Seite kommt es beim hohen Wohnkomplex zu einer starken Konzentration von Bewohnern, was ebenso zu Problemen führen kann. Zudem gibt es keinen Zugang zu einem eigenen Garten. Wenn Kinder im öffentlich genutzten Freiraum spielen, müssen Eltern ständig vor Ort sein, da ein achtsamer Blickkontakt wie im Falle eines Einfamilienhauses mit direktem Zugang zum Garten nicht mehr ausreicht und die Eltern während der Spielzeit der Kinder nicht mehr ihren Tätigkeiten im Haushalt nachkommen können. Ein weiteres Problem bei Hochhäusern ist die Schwierigkeit, flexible und variable Wohnungsgrößen zur Verfügung zu stellen. Erweiterungen können nicht durchgeführt werden. Die erforderlichen Parkplätze benötigen große versiegelte Flächen, welche die Temperaturen in den Sommermonaten zusätzlich steigen lassen. Eine persönliche Identifizierung mit dem Wohnobjekt ist auch schwierig. Trotz dieser Nachteile wurden Hochhäuser in den Jahren vor PREVI als hervorragende Lösung für alle Einkommensgruppen betrachtet. Im Unterschied zu anderen sozialen Wohnbauprojekten jener Zeit, bei denen zwar auch hochdichte, jedoch auch hochhausähnliche Gebäude mit zahlreichen Geschossen errichtet wurden, entschied man sich beim PREVI-Projekt zu einer im sozialen Wohnbau neuen Baumethode – der hochdichten aber niedrigen Bebauung. Viele andere Wohnbauvorhaben, die auf den Vorbildern der Hochhäuser von Weltstädten wie Hong Kong oder Singapur beruhen, erweisen sich vielleicht für wohlhabende Familien als adäquat, für arme Bewohner hingegen sind Unterkünfte in solchen Bauten meist fatal. Auf der einen Seite können sich unterprivilegierte Menschen in diesen Häusern nur Wohnungen mit ein bis zwei Zimmern leisten, so dass zu viele Menschen auf engstem Raum zusammenleben müssen. Auf der anderen Seite existiert keine Möglichkeit der Erweiterung. Deshalb ist eine Freifläche wie eine Terrasse oder ein Hof besonders für Familien wichtig. Solche Freiflächen dienen der Familie selbst als Erholung. Wenn ausreichend öffentliche Freiflächen vorhanden sind, kann sich eine Kommunikation zwischen Nachbarn und anderen Bewohnern einstellen, wodurch auch die Gemeinschaft verbessert wird. Für arme Menschen ist Freiraum ganz allgemein eine wichtige Ressource zum Leben. Aus diesen Überlegungen und der Betrachtung der lokalen historischen Architektur ergab sich die niedriggeschossige, hochdichte Baumethode. Die damit ermöglichte Inkrementalität dient auch dem Erhalt der lokalen Tradition und Kultur, da individuelle Erweiterungen auch diese widerspiegeln. Im Zuge des Projektes wurden deshalb nur zweigeschossige Häuser mit Höfen entwickelt. Im Gegensatz zu anderen Projekten jener Zeit, die zwar auch teilweise niedriggeschossige, hochdichte Häuserstrukturen verwendeten, sollte das PREVI-Projekt von Beginn an ein internationales Vorzeigeprojekt im Zuge eines internationalen Architekturwettbewerbes für Familien mit äußerst geringem Einkommen sein. Das Konzept der niedriggeschossigen hochdichten

Wohneinheiten ist keinesfalls komplett neu. Es ist die dauerhafteste und erfolgreichste Wohnbautypologie der Geschichte. In vielen Städten Perus gibt es noch solche Siedlungsstrukturen mit zusammengebauten Häusern auf schmalen Parzellen mit kleinen Innenhöfen. Auch Siedlungen in europäischen Städten im Mittelalter weisen Strukturen von einer hochdichten Bebauung mit kleinen umschlossenen Gärten und kurzen Gehwegen auf [62]. Diese Charakteristik versuchte man im PREVI-Projekt aufzugreifen. Das Konzept beinhaltet folgende Aspekte [62]:

- niedriggeschossige Häuser, die schrittweise errichtet werden und horizontal oder vertikal erweitert werden können,
- kleine Häuser und somit geringe initiale Kosten bei der Errichtung,
- unterschiedliche Größe und Form der Wohneinheiten, um unterschiedliche Bedürfnisse von Bewohnern erfüllen zu können und damit ein vielfältiges Erscheinungsbild entsteht,
- jedes Haus verfügt über einen kleinen Privatgarten, um der Familie einen Raum zur Entspannung zu bieten, den Kindern die Natur näher zu bringen und einen Platz zum Spielen zu ermöglichen, bei dem die Eltern zwar auch auf ihre Kinder aufpassen müssen, währenddessen aber Haushaltsaktivitäten durchführen können, da es sich um einen privaten Spielplatz handelt,
- der größte Teil der Freiflächen befindet sich in privaten Bereichen,
- die öffentlichen Flächen werden auf ein Minimum reduziert,
- versiegelte Flächen werden gering gehalten und mit Pflanzen umgeben, damit die Umgebungstemperatur in der heißen Jahreszeit geringer ausfällt,
- viele schmale, jedoch ansprechende Gehwege als Verbindungen anstatt Autostraßen und
- Straßen für Fahrzeuge werden vermieden bzw. so schmal und kurz wie möglich gehalten, was ebenso der sommerlichen Erwärmung entgegenwirken soll.

Die Anwendung dieser Aspekte führt zu kompakten Siedlungsstrukturen, mit hoher Bevölkerungsdichte bei weniger Lärm- und Umweltbelastung durch Reduktion der Straßen, Begrünung der Wege und Förderung der Unabhängigkeit von motorisierten Fahrzeugen. Hinzu kommt noch eine Reduktion der sommerlichen Temperaturerhöhung durch versiegelte Flächen. In den traditionellen Stadtvierteln peruanischer Städte sind solche Siedlungen mit kontinuierlichem Wachstum, unterschiedlichen Haustypen, Freiflächen und kleinen, zu Clustern zusammengeschlossenen, Häuserstrukturen mit Privatgärten zu finden [62].

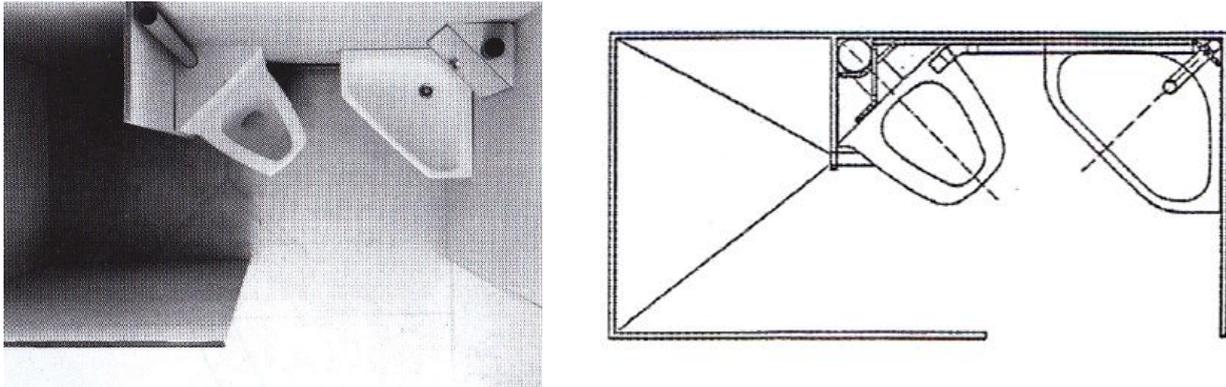
Die Entwicklung einer solchen Siedlungs- bzw. Häuserstruktur ist äußerst komplex, da auch eine dauerhafte positive Entwicklung der Gemeinschaft sichergestellt werden muss. Deshalb müssen beispielshalber auch Räume entsprechend gut dimensioniert und die Anordnung der Räume zueinander und zu den privaten Höfen gut durchdacht sein. Bei der Erweiterungsfähigkeit der Häuser muss ebenso bedacht werden, wo künftig Wände oder Stützen platziert werden können, welche entfernt und wo neue angeschlossen werden können. In einigen Häusern wurden dafür spezielle Markierungen durch sichtbare Knotenpunkte, Balken oder ähnliches vorgesehen, an denen erweitert werden kann [62].

### 1-10.2.3 Das Projekt

Nachdem jeweils 13 einheimische und 13 auswärtige Architekten rekrutiert wurden und diese in die Thematik des peruanischen Wohnbauproblems eingeführt wurden, begann die eigentliche Wettbewerbsphase. Die zentralen Aspekte des Projektes waren nicht nur die Häuser selbst, sondern auch die Anordnung zueinander („clustering“) und die Ausführung der Konstruktion. In den Entwürfen sollte auch die Einbindung der Häuser innerhalb der Siedlung und der Umgebung, sowie die Lage, Anordnung und Gestaltung der Gehwege, Gärten, Schulen, Läden, Büros und Räumlichkeiten für Werkstätten dargestellt werden. Die einzelnen Häusergruppen mussten anschließend in ein Gesamtkonzept des 40 Hektar umfassenden Geländes eingepasst werden. Nach der Beurteilungs- und Entscheidungsphase wurden die Projekte überarbeitet und in weiterer Folge mit den Bauarbeiten begonnen, wobei jedes der Entwürfe in etwa 20 Häuser umfasste. 1968 wurden die Vereinbarungen zwischen den Vereinten Nationen (UN) und der Regierung Perus unterzeichnet. Die Vereinten Nationen stellten technische

Unterstützung zur Verfügung und das „United Nation Development Programm“ die Finanzierung. Die peruanische Regierung und die Bank für Wohnbau von Peru stellten den Bauplatz, die Finanzierung der Konstruktion der Häuser, Schulen, etc. sowie der Infrastruktur bereit. Der Regierungswechsel 1969 reduzierte die anfänglich 26 unterschiedlichen Konzepte auf 24. Die peruanische Bank für Wohnbau weigerte sich ein Projekt eines einheimischen Architekten zu finanzieren, da es zu große Mengen des Baumaterials Holz inkludierte, welches in den Küstenregionen Perus einen hohen Kostenfaktor darstellt. Das zweite nicht ausgeführte Projekt war jenes des deutschen Architekten Herbert Ohl, da die Bank der Meinung war, dass das Bausystem des Konzeptes zu radikal bzw. ungewöhnlich war. Insgesamt wurden in etwa 500 Häuser gebaut, wobei jedes Team Beispiele von kleinen eingeschossigen, mittleren und größeren zweigeschossigen Häusern aufzeigen musste. Damit sollten unterschiedliche Familiengrößen und Bedürfnisse berücksichtigt werden und anhand der größten Objekte die endgültige Größe eines Hauses nach den Erweiterungsmaßnahmen aufgezeigt werden. In Peru sind grobgesprochen zwei Fälle von „low-cost“-Wohnbauten zu unterscheiden, weshalb auch diese Aspekte beachtet werden mussten: Auf der einen Seite stehen kleine, günstige Wohnungen im Vordergrund, die von Bauunternehmen für jene Bewohner errichtet werden, die sich eine monatliche Rückzahlung eines Kredites gerade leisten können. Die andere Seite beinhaltet Unterkünfte für Menschen, deren Einkommen für eine Kreditrückzahlung nicht einmal für die kleinste Wohnungseinheit ausreichen würde. Es sind somit auch Behausungen notwendig, die in Eigenregie – also in Selbsthilfe – nach und nach fertiggestellt werden können. Deshalb gab es das „Neighborhood“-Projekt für jene, die sich ein kleines fertig gebautes Haus leisten konnten und das „self-help“-Projekt für die zweite Gruppe an Bewohnern. Bei der kleinsten Wohneinheit der Selbstbaugruppe kostete das Baumaterial (Ziegel) umgerechnet in etwa 500 US\$. Ein weiterer Aspekt des PREVI-Projektes war die gute Anbindung an die naheliegende Autobahn. Durch das Gehweg-Konzept und die im Areal inkludierten Schulen, Büros, Geschäften etc. entstanden kurze Wegzeiten, so dass viele Familien auf eigene Autos verzichten konnten und weniger Platz für Parkplätze erforderlich waren. Lokale Bauunternehmen übernahmen die Errichtung der Häuser. In Workshops wurden komplexere oder für die Baufirmen weniger bekannte Bauverfahren erprobt, wobei es sogar Neuentwicklungen bzw. eigens für das Projekt entworfene Systeme gab. Innerhalb dieser Workshops konnten alle Baumethoden – egal ob aus Metall, Holz oder Stahlbeton – getestet oder für das jeweilige Hauskonzept optimiert werden. Es gab zum Beispiel mehrere Arten von Mauerziegeln, welche im „Stecksystem“ verbaut wurden, so dass sich eine korrekte Lage der Steine von selbst einstellte. Besonders im Wohnbausektor ist es wichtig, Bauverfahren zu erproben, um feststellen zu können, ob gewisse Verfahren bzw. Methoden funktionieren oder nicht. Auch die Erdbebensicherheit musste berücksichtigt werden. Dies ist besonders auch deshalb erforderlich, damit Bewohner bereit sind, Kosten für Erweiterungen der noch nicht fertig gestellten Häuser zu übernehmen. Eine Gewissheit über eine sichere Investition, die bei einem Erdbeben nicht verloren ist, trägt dazu erheblich bei. Unabhängig davon dient es der Sicherheit [62].

In Zusammenarbeit mit lokalen Unternehmen wurden Toiletten- bzw. Badezimmereinbauten entwickelt. Hauptaugenmerk lag dabei auf der Reduktion des dafür benötigten Flächenbedarfs. Diese Systeme wurden teilweise in Häuser des PREVI-Projektes eingebaut sowie in vorgefertigten Kabinen eingesetzt, die für Projekte der Selbst-Hilfe-Gruppe verwendet wurden. Durch die Positionierung der Sanitärgegenstände jeweils in den Ecken der Kabine konnte die erforderliche Fläche klein gehalten und die Bewegungsfreiheit vergrößert werden (Abbildung 1.11). Die Sanitärgegenstände konnten auch einzeln oder in anderer Form als in der folgenden Abbildung dargestellter Komposition verbaut werden [62].



*Abbildung 1.11: links: auf der linken Seite befindet sich die Dusche, mittig die Toilette und rechts das Handwaschbecken (WHB) [62], rechts: Plandarstellung der PREVI-Sanitärzelle [62]*

Die geographische Lage der Siedlung bietet den Vorteil, dass aufgrund der geringen Regenmengen Flachdächer ohne großen Aufwand möglich sind und somit in jedem Teilprojekt zu finden sind. Im PREVI-Projekt war es allerdings nicht nur von Bedeutung adäquate Unterkünfte und Wohnungsclusters zu erarbeiten, sondern auch für eine entsprechend durchdachte Umgebung zu sorgen. Die in einer Art Wohngemeinschaft postierten Häuser sollten nicht – wie dies bei einigen anderen sozialen Wohnbauprojekten der Fall war – bloß in Reih und Glied am Grundstück angeordnet werden. Es bedurfte eines Siedlungskonzeptes. Eine Art Stadtplanung im Kleinen. Innerhalb der Gemeinschaft sollten Schulen, Kindergärten, Gärten, Plätze, Gehwege sowie Büros oder Geschäfte eingebunden werden. Ein durchdachtes Gefüge soll den Bewohnern auch in Zukunft ein lebenswertes Wohngebiet bereitstellen [62].

### 1-10.2.4 Plan des Siedlungskonzeptes

Das gesamte Areal wurde in vier Siedlungen bzw. Stufen unterteilt, welche jeweils Schulen, Kindergärten und kommerzielle Bereiche umfasst. In der Mitte des Gebietes verläuft die zentrale Fußgängerstraße – „alameda“. Straßen für motorisierte Fahrzeuge gibt es nur in Form von Stichstraßen, also von außerhalb der Siedlung an einigen wenigen Stellen, die jedoch nicht durchfahrbar sind. Parkplätze für Fahrzeuge finden sich ausschließlich in diesen Bereichen. Dieses Konzept ermöglicht eine weitgehend ruhige Wohngemeinschaft, in der Platz für Gärten, Fußgänger, Verweilende und spielende Kinder vorhanden ist. Zusätzlich gibt es ein größeres Gemeinschaftszentrum das für alle Cluster gedacht war. Ein Park an der östlichen Ecke dient der Erholung und der Lärmreduktion von der nahe gelegenen Autobahn. Ein späterer Rückbau des temporären Werkstätten-Centers und des Baubüros soll zusätzlichen Grünraum im Südosten der Siedlung schaffen. Bei der Planung wurde ein Raster von 60 x 60 m über das Areal gelegt. Eine geplante Erweiterung des Siedlungsgebietes fand jedoch nicht statt. Die einzelnen Teilprojekte werden durch Wege miteinander verbunden. Zwischenliegend befinden sich Parks, öffentliche Plätze, Privatgärten, Spielplätze sowie weitere öffentliche Gebäude wie beispielsweise Schulen [62].

Im folgenden Abschnitt sollen nun einige Beispielprojekte näher betrachtet werden. Um die Charakteristik des PREVI-Projektes beschreiben zu können, den Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht zu sprengen, werden gezielt Entwürfe von Architekten ausgewählt, welche die ursprüngliche Aufgabe besonders zukunftsfruchtig gemeistert haben.

### 1-10.2.5 Konzept aus der Schweiz von Atelier 5

Im PREVI-Projekt kamen 23 Häuser dieses Teams – arrangiert in zwei Reihen – mit einer dazwischen liegenden Straße zum Einsatz. Die Häuser können in eine Gruppe mit langen Gebäuden und in eine

Gruppe mit kurzen Wohneinheiten, welche quer zu den anderen stehen, unterteilt werden. An den Enden der beiden „Langhaus“-Reihen befinden sich jeweils drei der kurzen Häuser [62]. In Bezug auf den Ausbaugrad können diese beiden Typen wiederum in zwei Teile gegliedert werden. Die kleinste Variante beider Haustypen beinhaltet jeweils zwei kleine Schlafräume, die Küche inklusive Wohnzimmer und die Sanitärbereiche. In beiden Haustypen befinden sich im oberen Geschoss die Wohn- und im unteren Geschoss die Schlafräume, um ein angenehmeres Schlafklima zu erhalten. Das Langhaus weist einen Hof in der Mitte des Hauses sowie je einen umgrenzten Hof an beiden Hausenden auf, während der mittlere Innenhof bei der kurzen Hausversion nicht vorhanden ist. Zusätzlich gibt es in der oberen Etage weitere Terrassen. Eine Treppe verbindet die oben liegende Hauptterrasse mit den Schlafräumen im Erdgeschoss. Eine weitere Treppe dient der direkten Verbindung des Versorgungs-Patios im Obergeschoss mit dem Eingangsbereich. Diese muss jedoch erst im Zuge eines Ausbaus hinzugefügt werden und ist nicht von Beginn an enthalten. Ebenso beinhalten beide Versionen einen unten liegenden Sanitärbereich. Dieser ist in einem Teil mit Dusche und Handwaschbecken und einem Teil mit WC und Platz für ein weiteres, optionales Handwaschbecken unterteilt. Die Küche befindet sich jeweils im Obergeschoss und schließt an den Versorgungs-Patio an. Beide Haustypen können in zwei Stufen erweitert werden, wobei die größte Ausbaustufe vier Schlafzimmer im Erdgeschoss aufweist. Beim kleineren Haustyp sind in diesem Fall nur drei möglich. Der Vorteil dieses Hauskonzepts liegt bei den vielen Innenhöfen, die eine adäquate Lüftungsmöglichkeit ermöglichen [62]. Die Tragstruktur wird aus vorgefertigten Komponenten aus Beton gebildet. Streifenfundamente dienen der Ableitung der Lasten in den Baugrund. Für die Montage der Wandelemente wurden jeweils niedrige Überstände in 15 cm Breite hergestellt, die später als Positionierungshilfe der Wände fungierten. Tragende Wände bestehen aus vorproduzierten Ferrozement-Paneeelen, die später mit Beton ausgefüllt wurden. Zuerst wurde am Boden eine Schalung errichtet, in der eine ein Zentimeter dicke Betonschicht eingebracht wurde. Darauf kam ein zusammenschweißtes Metallgitter als Bewehrung, welches anschließend mit einer ein Zentimeter dicken Betonschicht überdeckt wurde. Diese Paneele waren demnach zwei Zentimeter dick und wiesen eine volle Raumhöhe und eine Breite von 40 cm auf. Bei der Errichtung der Wände wurden jeweils zwei dieser dünnen Paneele mittels metallischen Abstandhaltern so aufgestellt, dass sich eine 20 cm dicke Wand bildete. Diese leichten Elemente konnten von nur zwei Personen versetzt werden. Mehrere dieser Elemente wurden für die Herstellung ganzer Wände zusammengefügt. Um die Paneele zu stabilisieren, wurden Montagegerüste aufgestellt. Am Ende der Leichtbauwand kamen Holzbretter zum Einsatz, die ein Auslaufen der späteren Betonfüllung verhinderten. Eine anschließende Verfüllung der Hohlräume mit Beton folgte. Die oberen Enden der Paneele waren mit Aussparungen versehen, damit die Unterseite der Decken- und Dachpaneele hineinpassten. Bei der Herstellung der Decken- und Dachelemente wurde ähnlich vorgegangen. Das System besteht aus invertierten u-förmigen und 40 cm breiten Elementen, die ebenfalls aus dünnen vorfabrizierten und mit metallischem Gitter bewehrten Betonpaneelen bestehen. Nachdem diese Elemente in die vorgesehenen Enden der Wandpaneele eingerastet und die vorhandenen Spalten und Ränder mit Holzbalken geschlossen waren, erfolgte die Einbringung des Aufbetons. Aus wirtschaftlichen Gründen wurden nur die Bereiche über den Spalten und Rändern zu den Wänden mit Aufbeton versehen. Die restlichen Flächen direkt über den u-förmigen Dach- bzw. Deckenpaneelen wurden entweder durch den Estrich oder im Fall des Dachgeschosses durch Lehm ausgefüllt. Nichttragende Innenwände bestehen ebenfalls aus bewehrten Betonpaneelen, die jedoch nur eine Dicke von 5 cm aufweisen. Um ein direktes Aufliegen der Decke zu vermeiden, wurden diese Paneele kürzer ausgeführt und der Spalt zur Decke hin mit Hölzern verfüllt. Die äußeren Begrenzungen der Höfe erfolgt mit Pfählen aus Beton, welche in Längsrichtung Kerben aufweisen, in denen vorgefertigte Betonpaneele eingeschoben werden können [62].

### 1-10.2.6 Konzept aus Holland von Aldo Van Eyck

Dieses Konzept besteht aus insgesamt 17 Wohneinheiten, welche zu zwei größeren Clustern zusammengefügt wurden. Alle Häuser verfügen über die gleiche Parzellengröße. Die länglichen Parzellen sind an den Ecken abgeschrägt und von jeweils zwei Seiten zugänglich. Jede Wohneinheit besteht aus einem zentralen Kern, in dem sich die Küche, die Sanitärräume, der Eingang und die Treppe befinden.

Zwei Schlafzimmer, ein Wohnzimmer und ein Esszimmer sind um diesen Kern angeordnet. Sowohl beim Eingangsbereich als auch beim Wohnbereich schließt ein Hof mit Umgrenzungsmauern an. In Bezug auf den Grundriss können beim holländischen Konzept zwei Arten unterschieden werden, wobei sich diese im Erdgeschoss lediglich durch einen größeren Essbereich differenzieren. Bei der kleineren Variante kann dieser Teil später jedoch ergänzt werden. Das Obergeschoss verfügt über drei Erweiterungsstufen, wobei bei der geringsten Ausbaustufe anfänglich nur ein überdachtes Treppenhaus und die Terrasse zur Verfügung stehen. Im Laufe der Zeit können bis zu drei weitere Schlafräume und ein Badezimmer hinzugefügt werden. Der verbleibende Bereich kann als Dachterrasse genutzt werden. Nach Vollendung der initialen Baumaßnahmen standen den Bewohnern sechs eingeschossige und elf zweigeschossige Wohneinheiten zur Verfügung. Der Vorteil der Grundrissgestaltung liegt in der guten Überblickbarkeit, so dass von der mittig angeordneten u-förmigen Küche beinahe jeder Punkt des unteren Wohnbereiches überblickt werden kann. Die Möglichkeit einer Querlüftung birgt einen weiteren Vorteil. Die Tragstruktur der Häuser besteht aus 20 cm dicken und bewehrten Betonziegelmauerwerk. An den Anschlussstellen der Zwischenwände sowie bei den Eckbereichen sind zusätzliche Stahlbügel als Bewehrung vorhanden. Die obersten Ziegelscharen wurden als Ringanker ausgebildet. 26 cm breite und 12 cm hohe Hohldielen aus Stahlbeton bilden die Decken- und Dachkonstruktion. Nach der Montage der Hohldielen wurden die dazwischenliegenden Bereiche ausbetoniert und eine dünne Betonschicht über die gesamte Decke gegossen, so dass sich letztendlich eine Deckenstärke von 15 cm ergibt. Der Vorteil des Systems lag in der einfachen Errichtung der Komponenten mit nur wenigen Arbeitern. Lediglich für die Deckenelemente waren drei Arbeiter und ein kleiner Kran erforderlich. Das finnische Team benutzte ebenfalls diese Baumethode. Einige Zeit später, nach dem Einzug der Bewohner, haben sich die anfänglich weißen Häuser schon teilweise in bunte, üppig begrünte Refugien verwandelt [62].

### 1-10.2.7 Konzept aus Japan von K. Kikutaki, N. Kurokawa und F. Maki

Das japanische Konzept besteht aus einer 17 Häuser umfassenden Reihenanlage, die in vier lange und 13 kurze Hausvarianten unterteilt wurde. Die Häuserreihe wird in einem Bereich durch einen öffentlichen Platz unterbrochen. Jedes Haus – egal ob langes oder kurzes Haus – ist zweischiffig aufgebaut und besitzt ein höheres schmales und ein niedrigeres breiteres Schiff. Im breiteren befinden sich jeweils die Wohn- und Schlafräume, während im schmalen die Küche, die Stiege, das Esszimmer und der Eingangs- sowie Sanitärbereich untergebracht sind. Das breite Hauptschiff wird in der Mitte durch einen Innenhof geteilt. Ein weiterer Hof befindet sich am Ende des Wohntrakts, der später zugebaut als weiteres Schlafzimmer dienen kann. In der ersten Ausbaustufe sind im Obergeschoss nur zwei Dachterrassen und der überbaute schmale Trakt vorhanden. Expandiert können die kleineren Häuser durch Addition eines weiteren Schlafzimmers im unteren Bereich und in der oberen Etage durch Hinzufügen von bis zu drei Zimmern werden. Der Unterschied beim Langhaus besteht darin, dass im Erdgeschoss ein weiteres Zimmer hinzugefügt werden kann, welches somit auch als Basis für eine Erweiterung im Obergeschoss dienen kann. Sanitäranlagen sind nur im Erdgeschoss vorhanden, können jedoch direkt über jenen des Erdgeschosses auch im Obergeschoss eingebaut werden. Der Sanitärbereich ist in zwei Kabinen geteilt, bei denen eine die Dusche und das PREVI-Handwaschbecken beinhaltet und die andere die PREVI-Toilette. Der Vorteil des Hauses liegt in der ähnlichen Größe der Schlafräume, so dass Raumfunktionen je nach Bedarf individuell getauscht werden können [62]. Drei parallele Wände verlaufen in Längsrichtung der Wohneinheiten und unterteilen das Haus in ein 2,2 m und ein 3,8 m breites Schiff. Querwände an mehreren Stellen steifen diese Wandscheiben aus. Auch in diesem Teilprojekt sind die Wände aus bewehrten Betonziegeln aufgebaut. Das Dach und die Decke bestehen aus invertierten, t-förmigen Balken aus Stahlbeton, welche vorgespannt wurden. Schmale Betonblöcke wurden in diese eingehängt. Darauf wurde eine Stahlmatte gelegt, welche zusammen mit den Trägern und Einhängeelementen vergossen wurde [62].

### 1-10.2.8 Konzept aus Kolumbien von Germán Samper et al.

Der kolumbianische Cluster umfasst 16 Häuser, welche in drei Blöcke gegliedert sind und durch die Anordnung Platz für einen öffentlichen Innenhof bieten. Der Wohncluster ist an drei Seiten von Straßen aus zugänglich. Jede Parzelle weist die gleiche Größe auf. Da das deutsche Projekt nicht gebaut wurde, entstanden an dessen Stelle 14 weitere Einheiten des kolumbianischen Typs. Die quadratischen Parzellen sind jeweils durch L-förmige Häuser bebaut. Der restliche Platz wird für einen Innenhof genutzt. Diese Form ermöglicht durch Drehung und Spiegelung der Häuser und des Clusters unzählige Gestaltungsmöglichkeiten. Es gibt mehrere unterschiedliche Ausbaustufen und sowohl ein- als auch zweigeschossige Häuser. Die Häuser sind sogar für ein drittes Geschoss ausgelegt. Im Unterschied zu den vorigen Teilprojekten wurden hier die Wände aus gebrannten Lehmziegeln hergestellt. Diese Ziegel wurden eigens für das PREVI-Projekt entworfen und sind 30 cm lang, 20 cm dick und 10 cm hoch. Durch eine spezielle Form der Hohlräume können die Ziegel einfach in 10 cm große Stücke geteilt werden. Die Decke bzw. das Dach werden aber dennoch – wie im japanischen Projekt – aus vorgespannten Stahlbetonbalken mit eingehängten Blöcken und einer bewehrten Aufbetonschicht ausgeführt. Auch bei diesem Projekt wurden die eigens für das PREVI-Projekt entwickelten Sanitäranlagen wie das PREVI-WC und das PREVI-WHB eingebaut [62].

### 1-10.2.9 Konzept aus Großbritannien von James Stirling

Der Entwurf von James Stirling beinhaltet 16 Wohneinheiten, welche in Vierergruppen angeordnet worden sind. Zwischen den Clustern ergibt sich ein z-förmiger Durchgangsweg. Alle Parzellen haben die gleiche Größe, sind quadratisch und wurden mit Atriumhäusern bebaut, die 4 bis 8 Personen Platz bieten können. Die quadratische Form erlaubt eine flexible Drehung und Spiegelung der Grundrisse. Zentraler Punkt jedes Hauses ist der Innenhof, der auch bei der höchsten Ausbaustufe unverbaut bleibt. Die erste Ausbaustufe weist einen wesentlich größeren Hof auf, der bis auf den mittleren Teil für eine Erweiterung genutzt werden kann. Ein Fixpunkt jedes Hauses ist der kleine Versorgungs-Patio, an den die Sanitäranlagen sowie die Küche angrenzen. Jedes der vier Häuser-Cluster ist so aufgebaut, dass die Service-Bereiche im inneren des Clusters zu liegen kommen, um die Wasserversorgung und Abwasserentsorgung der Anlage zu vereinfachen. Zu Beginn sind bereits Stützen an den Ecken des zentralen Innenhofes und darüber liegende Balken vorgesehen, die später als Tragstruktur für Expansionen im oberen Geschoss genutzt werden können. Das PREVI-Projekt sieht anfänglich nur zwei Wohneinheiten mit Obergeschoss vor, um den Bewohnern zu zeigen, wie eine Erweiterung der oberen Etage aussehen soll. Im Erdgeschoss und Obergeschoss sind jeweils bis zu vier Schlafräume möglich. Der Vorteil dieses Konzeptes liegt in der Möglichkeit, dass im Falle eines zweigeschossigen Hauses, die obere Etage als eigenständige Wohneinheit fungieren kann. Im Idealfall ist dann jedoch nicht das gesamte obere Geschoss verbaut, sondern nur Teile davon, damit eine Dachterrasse übrig bleibt. Das Atrium in der Mitte bietet dann allen Räumen eine gute Belichtungs- und Belüftungsmöglichkeit. Die raumhohen Schiebetüren verbessern zudem den Luftaustausch in der heißen Jahreszeit [62]. Vorgefertigte Stützen und Balken aus Stahlbeton bilden das Tragskelett, in dem Stahlbetonwände und Deckenpaneele eingefügt wurden. Die Tragstruktur für künftige Erweiterungen ist ebenfalls bereits bei der Übergabe an die Bewohner vorhanden. Bei der Montage der Deckenpaneele werden die herausstehenden Stahlstäbe der Stützen und Balken in ausgesparte Hohlräume der Deckenelemente eingefädelt. Um eine Gewichtsreduktion zu erhalten, verfügen die Wandpaneele über innenliegende Hohlräume. Die abgerundeten Wandöffnungen für Türen und Fenster dienen der Erdbbensicherheit, da Erdbeben oftmals Risse in den Eckbereichen starrer, rechteckiger Öffnungen verursachen [62].

Das von James Stirling entworfene Wohnungskonzept hat sich als besonders vorteilhaft im Sinne der Erweiterung bewährt. Der quadratische Grundriss mit dem innenliegenden Hof ermöglicht ausreichend Belichtung und Belüftung auch nach einer Erweiterung. Teilweise wurden einstöckige Gebäude mit dieser Grundrissform auf mehrstöckige Häuser vergrößert, welche dann auch die Möglichkeit einer

Unterbringung von Büros, Arztpraxen oder Geschäften bieten und somit auch zu einer Einkommensquelle der Bewohner wurden [59].

### 1-10.2.10 Konzept aus Peru von Elsa Massari und Manuel Llanos

Bei diesem Cluster wurden 18 zu Paaren gruppierte Häuser verbaut, welche um einen zentralen, öffentlich nutzbaren, Innenhof angeordnet sind. Dieser innenliegende Hof ist an einer Stelle von außen zugänglich. Auf beinahe quadratischen Parzellen wurden L-förmige Wohneinheiten errichtet, bei denen ein kleiner Teil des L-förmigen Grundrisses zugunsten eines Service-Patios ausfällt. Der restliche Bereich der Parzelle wird vom privaten Hauptinnenhof eingenommen. Anfänglich standen den Bewohnern zwei vollständig ausgebaute eingeschossige Häuser und 16 teilweise ausgebaute zweigeschossige Häuser zur Verfügung. Jedes Geschoss wird aus insgesamt acht in Paaren angeordneten u-förmigen Modulen gebildet. Jedes Modulpaar bildet ein Zimmer und kann für die Erweiterung im Obergeschoss für bis zu drei Schlafzimmer dienen. Der verbleibende Bereich in der Größe eines Modulpaares fungiert als Dachterrasse. Eine Querlüftung wird durch die beiden gegenüberliegenden Innenhöfe sichergestellt. Die Tragstruktur besteht – wie beim peruanischen Projekt von Juan Gunther und Ricardo Seminario – aus vorgefertigten Stahlbeton-Modulen, welche in umgekehrter u-Form ausgeführt sind. Diese u-förmigen Module sind sowohl raumhoch als auch raumbreit und werden vertikal übereinander gestapelt. Das Bausystem besteht im Grunde genommen aus zwei Modultypen. Einem Typus mit offenen Enden längs der u-Form und einem Typus mit einem geschlossenen Ende in der Längsrichtung. Die Dimensionen betragen je nach Raumbreite 3 oder 4 m und 2,4 m in der Höhe. Öffnungen wie Fenster oder Türen werden bereits bei der Herstellung der Module berücksichtigt. Die Wandstärke der u-förmigen Elemente beträgt jeweils 10 cm, wobei die Eckbereiche zwischen Wänden und Decken verstärkt ausgeführt sind. In den Beton eingegossene Stahlplatten an den Rändern der Module sorgen für eine Verbindungsmöglichkeit der Module untereinander. Hergestellt werden die Module in mehreren Teilschritten, bei denen zunächst die Seitenwände betoniert werden, diese dann aufgestellt werden und anschließend die Bodenplatte darunter ausbetoniert wird, welche später nach dem Umdrehen der u-Form als Deckenplatte fungiert. Eine präzise Bewehrungsführung (vor allem um die Eckbereiche) sowie eine genaue Justage und Sicherung der Komponenten im Zuge des Betoniervorgangs ist erforderlich. Bei der Montage der Module vor Ort wurde auf der Bodenplatte ein Mörtelbett hergestellt, auf dem die Module aufgesetzt wurden. Anschließend erfolgte die Verbindung der in der Bodenplatte und Wandelementen des Moduls befindlichen Stahlplatten durch Verschweißen [62].

### 1-10.2.11 Pilotprojekt: Selbsthilfe-Baumethode

Der zweite Typus im PREVI-Projekt besteht aus den Häusern, welche in Eigenregie – also im Selbstbau – errichtet wurden. Mehr als die Hälfte der Baukosten eines durch Bauunternehmen gebautes Haus entfallen auf die Lohnkosten [62]. Deshalb können die Kosten drastisch reduziert werden, wenn sich die Familien dazu entscheiden, ihr Haus selbst zu errichten. Um dennoch ein qualitatives und trotzdem kostengünstiges Haus zu erhalten, gibt es sogenannte Selbsthilfe-Bauprogramme. Gerade wenn das Einkommen der Familien nicht nur gering, sondern auch unregelmäßig ausfällt, ist eine ordentliche Kreditrückzahlung kaum möglich. Die finanziellen Aufwendungen für Baumaterial können hingegen häufig getragen werden [62]. Nach der Fertigstellung des Hauses weist dieses einen deutlich höheren Wert als die bloßen Kosten des Materials auf. Leider gibt es auch Schattenseiten. Die starke Zunahme an Siedlern, die in Städte ziehen wollen, führt zur ständig wachsenden Anzahl an Siedlungen, welche in Eigenverantwortung der Bewohner gebaut werden [62]. Da jedoch auch regional unterschiedliche Bedingungen vorherrschen, sind die neuen Siedler oftmals nicht mit den örtlichen Gegebenheiten vertraut. Aufgrund fehlenden Wissens im Umgang mit anderen klimatischen Verhältnissen und Baustoffen entstehen viele Häuser, welche einen verheerenden Zustand aufweisen. Einerseits gibt es Mängel in Bezug auf die Konstruktion und Sicherheit, andererseits gibt es auch Probleme mit der Anordnung der Häuser. Eine Folge davon sind schlecht belichtete und belüftete Refugien sowie unsichere

Erweiterungen der Häuser. Ein weiteres Merkmal dieser Siedlungen ist die Verwendung von billigen, vor allem nur für temporäre Gebäude nutzbaren, Baumaterialien. Baustoffe wie Ziegelsteine sind oftmals zu kostspielig oder sind den Bewohnern aus anderen Regionen unbekannt, so dass labile Konstruktionen entstehen. Da solche Siedlungen einem dynamischen Wachstum unterliegen, ist es notwendig, Designs und Baumethoden von Häusern zu verbessern und effektiver zu gestalten. Mit Hilfe von Pilotprojekten auf Selbsthilfe-Basis, sollen Baumaterialien wie Lehm- oder Betonziegel, Stahlbetonträger und Stahlbetonstützen sowie Wand- und Deckenelemente aus Stahlbeton den Menschen näher gebracht werden [62]. Auch der Holzbau und vor allem der Holz-Massivbau könnte hier eine entscheidende Rolle spielen. Kleinformatige Module aus Brettspertholz könnten als Baumaterial fungieren, welches die Vorteile des geringen Gewichts und der Vorfertigung in sich vereint.

Eines dieser Pilotprojekte entstand in Casma – einer nördlich von Lima an der Küste liegenden Stadt. Im Zuge des Projektes wurden in Zusammenarbeit mit den Bewohnern Pläne von Häusern und ein Siedlungskonzept erarbeitet. Für die Herstellung der Bauelemente entstanden Werkstätten und kleine Fabriken. Zusätzlich wurden „Musterhäuser“ errichtet, um Vergleichsobjekte zu schaffen, anhand derer Menschen lernen konnten und bei der Errichtung der eigenen Häuser Design und Konstruktion überprüfen konnten. Einige im Zuge der Bauphase dieser Musterhäuser ausgebildeten Menschen fungierten später als Lehrer, um den Bewohnern bei der Errichtung ihrer Häuser zur Seite zu stehen. In Casma wurden 60 von 120 Häusern in der ersten Projektphase erbaut. Familien gruppierten sich zu Gruppen, welche in Zusammenarbeit und unter Hilfestellung von Ausbildnern, Sozialarbeitern, technischen Büros und der Regierung die Bauaufgabe bewältigten. Nicht nur die Errichtung der Häuser war für die Familien ein Gewinn, sondern auch die Schulung zu Bauarbeitern. Manche Bewohner konnten sich später bei Baufirmen bewerben oder gründeten selbständig kleinere Unternehmen. Die Häuser sind in Reihen angeordnet und jeweils 7 m breit. In Längsrichtung werden die Häuser alle 3 m durch Wände in ein bis vier Abschnitte unterteilt. Die räumliche Aufteilung im Inneren dieser zellenartigen Abschnitte erfolgt durch Holzrahmenkonstruktionen, welche mit verflochtenen Naturmaterialien ausgefüllt wurden. Eine Erweiterung der Wohneinheiten ist auch im Obergeschoss möglich. Von Beginn an verfügen alle Einheiten über zwei Sanitärzellen mit jeweils 1 x 1 m Grundfläche, welche in einem Abstand von ebenfalls ca. 1 m zueinander aufgestellt sind. In einer davon befindet sich die Dusche und in der anderen die Toilette. Das Waschbecken ist im Zwischenraum der Zellen untergebracht. Dieser Sanitärbereich befindet sich anfänglich freistehend im hinteren Bereich des Grundstücks und wird später im Zuge einer Erweiterung im Gebäude integriert. Die Wände der Häuser bestehen aus einem 20 cm dicken Betonziegelmauerwerk, welches bewehrt und zumindest in den Eckbereichen und bei Anschlüssen der Decken oder Zwischenwände mit Beton verfüllt wird. An der Wandunter- und Wandoberseite sind umlaufende, bewehrte Balken (Ringanker) erforderlich. Die Decken- und Dachkonstruktion besteht aus vorgefertigten Stahlbetonträgern, zwischen denen Betonziegel eingehängt werden. Im Anschluss wird eine dünne Betonschicht aufgebracht, um eine monolithische Platte zu erhalten. Im Zuge dieser Betonierarbeit wird auch der obere Ringanker der Wände mit betoniert [62].

### 1-10.2.12 Erkenntnisse aus dem PREVI-Projekt

Die meisten Häuser wurden in einem geringen Ausbaustadium an die Bewohner übergeben, so dass diese ihre Refugien nach und nach vervollständigen mussten. Jahre später wies die Siedlung bereits ein anderes Erscheinungsbild auf. Viele Erweiterungen waren bereits durchgeführt, die weißen Wände waren bunt bemalt und Gärten üppig bepflanzt. Auf der einen Seite kann man die Erfolge des Projektes erkennen, da es offenbar von den Bewohnern gut angenommen wurde. Andererseits gibt es auch einige Aspekte, die nicht nach den Vorstellungen der Planer verlaufen sind. Viele der Erweiterungen fanden nicht in der Art und Weise statt, wie sie von den Architekten vorgeschlagen waren. Einer der Fehler, der zu diesen Fehlentwicklungen führte, war die mangelnde Kontrolle und Überwachung dieser Expansionen. Treppenanlagen wurden beispielsweise von den Wohneinheiten nach außen in den öffentlichen Raum verlagert, um mehr Platz im Inneren zu erhalten. Die Tradition des Landes in Bezug auf Vorgärten

spiegelt sich auch in einigen Clustern wider, denn es entstanden außerhalb der Umgrenzungsmauern der Häuser zahlreiche private Gärten. Diese führten jedoch zwangsläufig zu einer Verengung der öffentlichen Wege. Das Projekt zeigt, dass ohne eine ausreichende Kontrolle, Erweiterungspläne nicht eingehalten werden. Möglicherweise war dies auch ein Fehler bei der Planung, da nicht auf die individuellen Bedürfnisse der Bewohner eingegangen wurde. Die eigentliche Struktur der Siedlung aus den 70er-Jahren ist zwar noch vorhanden, aber teilweise nicht mehr wieder zu erkennen. Es ist beeindruckend, was bereits in den 70er-Jahren in Peru an Forschung und Ausführung in diesem Bereich entstanden ist. Vor allem die Neuerfindung der verdichteten aber niedrigen Bauweise kann als großer Erfolg betrachtet werden. Dies besonders auch deshalb, da in jener Zeit auch zahlreiche soziale Projekte im Wohnbau forciert wurden, welche Hochhäuser als optimale Lösung beinhalteten. Die Probleme, die mit Hochhäusern – im Besonderen im Segment der einkommensschwachen Bevölkerung – einhergehen, wurden bereits in Abschnitt 1-10.2.2 erläutert. Nicht nur die Forschungsarbeit des PREVI-Projektes im Bereich der Stadt- bzw. Siedlungsplanung ist bemerkenswert, sondern auch die Anwendung vorgefertigter Elemente, welche nicht nur die Kosten senkte, sondern auch für mehr Effizienz sorgte. Die Möglichkeit, Häuser sukzessive zu erweitern, gilt als Erfolg des Projektes [62]. Diese Erweiterungsoption ermöglicht auch eine Steigerung des Wertes eines Hauses bzw. einer Wohneinheit und kann den Bewohnern helfen ihre Armut zu überwinden. Besonders in den Projekten von ELEMENTAL, welche im folgenden Kapitel näher erläutert werden, wird dies deutlich. Eine unkontrollierte Erweiterung der Behausungen kann hingegen die Umgebung negativ beeinflussen und somit auch den Wert eines Hauses deutlich verringern. Auch auf diese Problematik wird im folgenden Kapitel näher eingegangen [2]. Obwohl gewünschte Expansionen auch im PREVI-Projekt in hoher Zahl vorgenommen wurden, gibt es auch einige Probleme. Die anfängliche Tragstruktur wurde zwar professionell ausgeführt, um die Sicherheit der Bewohner zu gewährleisten, doch trifft dies nicht auf sämtliche Erweiterungen, die von den Bewohnern selbst ausgeführt wurden, zu. Einige dieser Expansionen weisen massive Baumängel auf und haben dadurch auch die Qualität der näheren Umgebung negativ beeinflusst. Ursprünglich hätte ein Zentrum für technische Unterstützung und Anleitungen zu Bauvorhaben im Zuge des Projektes entstehen sollen. Unglücklicherweise wurde dies von der Regierung nicht in die Tat umgesetzt. Dennoch bietet das PREVI-Projekt durch seine große Offenheit und Flexibilität bei der Vergrößerung von Wohneinheiten großes Potential für Studien künftiger Projekte. Das auf den Gemeinschafts- bzw. Nachbarschaftsmaßstab ausgelegte Projekt ließ im Gegensatz zu anderen sozialen Wohnbauten Erweiterungen von Anfang an zu [59].

Im Zuge des ersten Auftrages der Entwicklung eines Konzeptes zur Verbesserung der Lebensbedingungen der ärmsten Bewohner Chiles befasste sich das Architekturbüro ELEMENTAL auch mit dem erfolgreichen PREVI-Projekt. Die Strategie von Alejandro Aravena beruht ebenso auf der inkrementellen Bauweise, bei der die Bewohner nach und nach ihre Wohneinheiten anpassen können. Das knappe Budget führte zur Entwicklung des „half-of-a-good-house“-Konzeptes, bei dem den Bewohnern anfangs nur ein halbes Haus zur Verfügung gestellt wird. ELEMENTAL konnte aus den Problemen des PREVI-Projektes erkennen, dass die Gemeinschaft aktiv in den Planungs- und Bauprozess eingebunden werden muss. Dies dient einem besseren Verständnis sowie Vertrauen seitens der künftigen Bewohner und auch der gewollten Ausführung sicherer Erweiterungen. Für diesen Zweck wurden mehrere Workshops abgehalten [2][59].

## 1-11 STRATEGIE VON ELEMENTAL

---

ELEMENTAL ist eine Arbeitsgemeinschaft, die architektonische und ingenieurmäßige Dienstleistungen in den Hauptfachgebieten Wohnbau, öffentliche Plätze, Verkehr und Infrastruktur anbietet. Hauptaugenmerk liegt dabei auf einer effektiven und effizienten Verbesserung der Lebensqualität der unterprivilegierten Bevölkerung. Gegründet wurde ELEMENTAL von Andrés Iacobelli, Pablo Allard und Alejandro Aravena im Jahr 2000. Seit 2004 verfolgen sie das Ziel, den sozialen Wohnbau zu verbessern [2].

### 1-11.1 „HALF-OF-A-GOOD-HOUSE“

Wenn sich jemand ein adäquates Wohnen auf zumindest 70 bis 80 m<sup>2</sup> nicht leisten kann, gibt es laut Politikwissenschaft und Immobilienmärkten nur zwei Möglichkeiten für diese Menschen [2]:

- Entweder sie wählen einen Standort, bei dem das Grundstück äußerst kostengünstig erworben werden kann, dafür aber von der Stadt und der notwendigen Infrastruktur weit entfernt liegt. Dies kann allerdings zur Ausgrenzung von der Gesellschaft und den städtischen Möglichkeiten führen oder
- sie reduzieren die Hausgröße auf bis zu 30 oder 40 m<sup>2</sup>. Hierbei kann es aufgrund von Platzmangel zu informellen Anbauten kommen, die zu Risiken und Gefahren bergen und zum anderen zur Überfüllung und zur Verschlechterung der Stadt führen können.

ELEMENTAL hat indes noch eine dritte Option entwickelt, um einerseits ein gut gelegenes Grundstück zu erhalten und andererseits trotzdem die Möglichkeit auf ein ausreichend großes Haus zu bekommen. Die Lösung war das sogenannte „Half-of-a-good-house“-Konzept [2]. Das Haus wird zunächst als ca. 40 m<sup>2</sup> große Haushälfte betrachtet, die inkrementell erweitert werden kann und die später zu einem vollständigen Haus ausgebaut wird. Da die Menschen bei zu kleinen vorgegebenen Wohnverhältnissen zum Eigenbau und zur Erweiterung tendieren, bietet das Konzept von ELEMENTAL einen Rahmen, in welchen diese Erweiterungen definiert stattfinden dürfen und auch sollen. Allerdings bedeutet Inkrementalität nicht, dass man ein unvollendetes Bauwerk einfach stehen lässt und wartet, bis die Bewohner es selbstständig vervollständigen. Es bedarf einer genauen Planung, um dies in der gewünschten Art und Weise zu ermöglichen [2].

Zurzeit wird der soziale Wohnbau als sozialer Aufwand und nicht als Investition betrachtet, die mit der Zeit an Wert zulegt. Ein Haus im sozialen Wohnbau wird deshalb eher mit einem Auto als mit einer wertsteigernden Immobilie verglichen, welches mit jedem Tag an Wert verliert. Würde das anders sein, könnte der soziale Wohnbau als Werkzeug zur Bekämpfung von Armut dienen, anstatt als Abschottung der Bewohner zur Umgebung. Eine Wertsteigerung des Hauses würde auch dazu führen, dass Bewohner gerne dazu bereit wären, ihr Haus zu verbessern und Geld für Zubauten oder Reparaturen aufzuwenden. Eine Steigerung des initialen Wertes eines Hauses ist allerdings an eine gute und vor allem auch sichere Lage geknüpft, die auch die notwendige Infrastruktur wie Verkehrsmittel, Arbeit, Schulen und dergleichen mit sich bringt. Es sind somit niedrige aber ausreichend dichte Wohnprojekte ohne Überbevölkerung, mit der Möglichkeit von Wachstum über die Zeit zu entwickeln. Niedrige Gebäude erlauben es Aufzugsanlagen und große Erschließungsbereiche zu vermeiden. Eine ausreichende Dichte ist erforderlich, um Grundstücke in guter Lage bezahlen zu können. Die Wachstumsmöglichkeit ist wichtig, damit Familien über die Zeit einen Mittelklassestandard erreichen können [2].

Wie aus dem Abschnitt 1-5 hervorgeht, wird es auch in Zukunft zu einem starken Anstieg der städtischen Bevölkerung – und damit auch der ärmeren Stadtbewohner – kommen. Eine wohldurchdachte Lösung im Wohnungsbau ist unabdingbar. Es ist aus heutiger Sicht relativ einfach möglich, Wohnungen mit viel Baukapital zu schaffen. Es ist ebenso möglich, kostengünstige Häuser zu errichten, doch die Ausführung geschieht in vielen Projekten häufig mit sehr schlechter Qualität. ELEMENTAL versuchte, aus der Geschichte zu lernen und eine neue Lösung zu finden, um qualitative Häuser mit geringen finanziellen Mitteln zu entwickeln. Bei der Lösungsfindung war es wichtig, nicht nur eine einzige Wohneinheit zu

betrachten, sondern den gesamten Maßstab des Wohnbaukomplexes einzubeziehen. Zudem wurde von Beginn an innerhalb der vorhandenen Wohnungspolitik gearbeitet. Die Wohnungspolitik in Chile sieht vor, dass arme Menschen je nach Bedarf eine Förderung bekommen und mithilfe des privaten Baugewerbes Häuser für diese Menschen geschaffen werden. Obwohl dieses System in Bezug auf Quantität sehr gut funktioniert, gibt es große Schwächen bei der Qualität und der Art der Umgebung, die diese schaffen. In Zusammenarbeit mit dem Ministerium des Wohnbaus und des Urbanismus von Chile (MINVU) wurde im Rahmen des Programmes VSDsD (dynamisches, schuldenfreies soziales Wohnbauprogramm) versucht, eine adäquate Lösung zu finden. Das Programm gewährt armen Menschen (ohne Schulden) einmal im Leben eine Förderung von 7200 US\$ pro Familie, wenn diese ein Ersparnis von 300 US\$ aufweisen kann. Mit diesen insgesamt 7500 US\$ sollen das Grundstück, das Haus und die Infrastruktur abgedeckt werden. Dieses geringe Kapital ermöglicht oftmals jedoch nur ein Haus mit 25-30 m<sup>2</sup> Wohnfläche. Die Begünstigten des Programmes sind gezwungen, ein ordentliches Zuhause trotz der sehr dürftigen Förderungen zu schaffen. Das Projektteam um ELEMENTAL beschäftigte sich im Jahre 2001 mit der Suche nach einem geeigneten Wohnbaukonzept. Die Frage war es, wie man für 100 Menschen, die eine Subvention von jeweils 7500 US\$ erhalten – das ergibt zusammen 750.000 US\$ – ein qualitatives Wohnungsprojekt erstellen kann. Mehrstöckige Häuser schieden von Beginn an aus, da diese keine Erweiterungsmöglichkeiten – außer im Erdgeschoss und im obersten Geschoss – bieten. Ein zweistöckiges Haus mit Erdgeschoss und einem oberen Geschoss war die Lösung, da man unten in der horizontalen und oben in der vertikalen Ebene erweitern konnte [2]. Nun stellte sich allerdings die nächste Frage: Wie schafft man Öffnungen bzw. Freiräume im Gebäude, die dann später von den Bewohnern für deren Erweiterungen genutzt werden können. Es entstand das sogenannte „Parallel Building“, welches eine Mischung von freistehenden und kollektiven Häusern darstellt. Eine hohe Bebauungsdichte mit effizienter Flächennutzung wird mit Wachstums- bzw. Erweiterungsmöglichkeiten kombiniert. Nach Übermittlung des Lösungsvorschlages an das Wohnbauministerium bekam das Team von ELEMENTAL die Aufgabe, Quinta Monroy – ein Stadtteil von Iquique, der von 100 Familien illegal bewohnt wurde – neu zu besiedeln. Das Land, auf dem die Slum-Bewohner lebten, konnte formell erworben werden, kostete allerdings fast das Dreifache des sonst für den sozialen Wohnbau üblichen Betrages. Man wollte auf jeden Fall eine Umsiedelung in die Peripherie der Stadt umgehen. Dort wären zwar die Grundstückpreise deutlich niedriger, doch eine Ausgrenzung der Familien wäre die Folge, zumal diese auch noch ihr gewohntes Umfeld und ihr soziales Netzwerk verlieren würden. Im Zuge des Projektes entstanden zahlreiche Workshops, innerhalb deren die betroffenen Familien gemeinsam mit dem ELEMENTAL-Team eine adäquate Lösung für das neue Wohnbauprojekt erarbeiten konnten. Alle Anforderungen, die von SERVU (Service des Wohnbaus und des Urbanismus, welcher die Gesetze des Wohnbauministeriums ausführt) gestellt wurden, konnten erfüllt und notwendige kommunale Baugenehmigungen erhalten werden. Im Zuge dessen erhielten alle Familien offiziell ihre Grundstückstitel und konnten im Jahr 2004 in ihre neuen Häuser einziehen. In den folgenden Jahren vervollständigten, erweiterten und verbesserten die Bewohner nicht nur ihre Häuser, sondern auch den dazwischen liegenden öffentlichen Raum. Das Team von ELEMENTAL unterstützte die Bewohner in dieser Zeit durch Beratung [2].

## 1-11.2 CHILENISCHE WOHNBAUPOLITIK BIS 2001

Bis ins Jahr 2001 gab es in Chile eine Wohnbaupolitik, die eine systematische Reduktion des Wohnraumdefizites gewährleisten sollte. Diese Politik umfasste sieben Aspekte [2]:

- bedürftige Familien konnten beim Staat um eine Förderung ansuchen,
- das in privater Hand liegende Baugewerbe war für die Errichtung der Bauprojekte zuständig,
- staatliche Wohnbauten gab es nicht, dafür finanzierte der Staat bzw. das MINVU die Projekte durch die Subventionen der Bedürftigen,
- öffentliche Einrichtungen wie das SERVIU gaben die Regeln für Konstruktion und Qualität vor und überwachten die Projekte,

- der Staat entwickelte ein Bewertungs- bzw. Einstufungssystem, um die am meisten gefährdeten Bewohner bei der Förderung zu unterstützen,
- öffentliche und private Organisationen sowie NGOs unterstützten und vermittelten zwischen Fiskus, Bauträger und Förderungswerber und
- der Betrag, mit dem ein Haus errichtet werden sollte, belief sich zur damaligen Zeit auf rund 10.000 US\$. Darin waren in etwa 3.500 US\$ an Förderung, eine eigene Ersparnis seitens der Bewerber von 500 US\$ und eine Hypothek zu niedrigen Zinsen von in etwa 6.000 US\$, die vom Staat verwaltet wurden und monatlich zurück gezahlt werden musste, enthalten.

Mit diesem Geld mussten ein Grundstück, die Infrastruktur und das Haus erworben werden. Die Durchschnittsgröße der Häuser betrug ca. 40 m<sup>2</sup>. Das System war ausgelegt auf eine rasche und vor allem quantitative Hilfe, so dass in etwa vier Millionen Menschen dadurch ein Dach über dem Kopf erhielten. Das damalige System hatte aber auch einige Nachteile. So war es zwar für die breite Masse ausgelegt, doch die ärmsten der Armen fielen durch das System hindurch. Grund dafür war die monatlich fällige Rate der Förderung und der Hypothek. Viele der Bedürftigen hatten zwar ein Einkommen, doch war dieses so unregelmäßig, dass den monatlichen Forderungen nicht nachgekommen werden konnte. Zweites Problem war die Auslegung der Projekte auf Quantität anstatt auf Qualität. Die meisten Projekte waren baulich äußerst schlecht ausgeführt und die Grundstücke lagen meist weit außerhalb der Stadt, wo es kein Angebot an Dienstleistungen gab. Der Zustand der Häuser und auch die Umgebung verschlechterten sich rasch, so dass viele Bewohner aufgrund von Unzufriedenheit ihre Raten nicht mehr zurückzahlen wollten. Im Jahr 2000 betrugen die säumigen Raten beinahe 70 Prozent. Der dritte wesentliche Problemfaktor des Systems war die Segregation der Bedürftigen durch die Vertreibung aus der Stadt in die Peripherie. Das schlechte Umfeld, das sich entwickelte, kombiniert mit den immer schlechter werdenden Zuständen der Häuser führte zu negativen Auswirkungen auf die Gesundheit, Schulbildung, Sicherheit und Kriminalität. Die Areale, in der sich diese Häuser befanden, waren teilweise sowohl für die Bewohner als auch für den Staat ein Desaster. Im Gegensatz zu den Erwartungen, die allgemein an Immobilien gestellt werden – nämlich einer Wertsteigerung über die Zeit – verloren diese sozialen Wohnbauprojekte rasch an Wert [2].

Trotz dieser Nachteile wurden zahlreiche Projekte gebaut. Es gab insgesamt drei Arten von sozialen Wohnhäusern [2]:

- **das Einfamilienhaus:**  
Es wurde vor allem dann gebaut, wenn Grundstücke nicht zu teuer waren, da es im Schnitt ein 100 m<sup>2</sup> großes Grundstück benötigte und somit sehr ineffizient bezüglich der Landnutzung war. Solche Projekte waren nur für mittelständische Familien geeignet, die sich aufgrund der großen Distanz zwischen Peripherie und der Stadt ein Auto oder andere Transportmittel leisten konnten. Für ärmere Familien bedeutete dies Abschottung vor Möglichkeiten wie Arbeit und Dienstleistungen. Hinzu kommt, dass Einfamilienhäuser keine Einschränkungen bezüglich informellen Zubauten ermöglichen. Kurze Zeit nach der Errichtung der Häuser erweiterten die Bewohner ihr Zuhause. Dies geschah oftmals mit erheblichen Baumängeln. Es entstand dadurch ein schlechtes Umfeld, in dem sich Zustände verschlechterten und der Wert der Häuser ständig sank [2].
- **das Reihenhaus:**  
Damit war eine höhere Landnutzung möglich. Laut Gesetz mussten 60 m<sup>2</sup> Grundstück pro zweigeschossiger Wohneinheit zur Verfügung stehen. Vorteilhaft erwies sich diese Gebäudeart durch die bessere Landnutzung und somit durch ein verringertes Netz an Straßen und Infrastruktur. Die oftmals nur drei Meter breiten Häuser hatten allerdings auch einige Nachteile. Zubauten waren nur vor oder hinter dem Haus möglich. Da diese Gebäudeseiten aber die einzigen mit Belichtungs- und Belüftungsöffnungen waren, verschlechterten sich die Zustände in den Räumen dahinter. Es kam bei dieser Art des sozialen Wohnbaus sogar zu einer Überfüllung [2].

- **das mehrgeschossige Wohnhaus:**

Die dritte Art der sozialen Wohnbauten umfasst drei- bis viergeschossige Häuser, bei denen die eingeschossigen Wohneinheiten übereinander gestapelt werden und mittels Treppen und Gängen verbunden werden. Dieser Typ erlaubt die größte Landnutzung, ist aber zugleich der unbeliebteste Typ unter den Bewohnern. Der Raum, der die Häuser umgibt, gehört der Öffentlichkeit – also allen Bewohnern dieser Häuser. Dadurch ergibt sich oftmals eine schwierige Situation in Bezug auf Sicherheit und soziale Konflikte. Ein weiterer Nachteil dieses Gebäudetyps stellt die mangelte Erweiterungsmöglichkeit dar [2].

### 1-11.3 CHILENISCHE WOHNBAUPOLITIK BIS 2001-2006

Um die Mängel in der Wohnbaupolitik der vergangenen Jahre auszubessern, entwickelte das Wohnbauministerium eine neue politische Wohnbaustrategie, bei der keine Hypotheken mehr vorhanden waren. Die Subventionen wurden von 140 UF (UF ≡ Unidad de Fomento ≡ Rechnungswährung in Chile [63]) (umgerechnet damals ca. 3.500 US\$) auf 280 UF (7.500 US\$) angehoben und gleichzeitig die erforderlichen Ersparnisse von 20 UF (500 US\$) auf 10 UF (250 US\$) reduziert. Somit standen insgesamt ca. 7.500 US\$ für den Erwerb des Grundstückes, der Infrastruktur und des Hauses zur Verfügung. Nun konnten sich auch die ärmsten der Armen für eine Förderung bewerben, da es keine Zinsenzahlung für die Hypothek mehr gab; allerdings standen den Bewerbern nun weniger Geldmittel zur Verfügung. Das Budget von 300 UF (7.500 US\$) erlaubte die Errichtung eines ca. 30 m<sup>2</sup> großen Hauses. Diese kleinen Wohneinheiten wurden von den Bewohnern schrittweise auf etwa 80 m<sup>2</sup> erweitert. Trotz der vielen Fehler, die diese neue Wohnbaustrategie eliminierte, schuf sie weitere ungelöste Probleme. Um mit dem nunmehr geringeren Kapital ein Haus errichten zu können, gab es nur zwei Möglichkeiten: Entweder man reduzierte die Anzahl an Quadratmetern oder man zog noch weiter in die Peripherie der Stadt, wo Grundstücke noch billiger waren. Eine Reduzierung der Materialkosten war beinahe nicht mehr möglich, da die Qualität bereits zuvor alles andere als befriedigend war. Das Ergebnis dieser Umstellung war die Reduktion auf weniger Wohnfläche. Der Staat regulierte dies auf mindestens 25 m<sup>2</sup> und des verpflichteten Vorhandenseins von Wohnzimmer, Esszimmer, Küche, Bad und Schlafzimmer. Da diese Anzahl an Räumen in 25 m<sup>2</sup> kaum ordentlich umzusetzen war, musste der Standard dieser Räume sehr stark sinken. Da ein normales Wohnen somit nicht möglich war, erweiterten die Bewohner ihr Haus auf in etwa 70 – 80 m<sup>2</sup>. Dieser Selbstbau war allerdings teuer, gefährlich und schwierig. Eine andere Lösung war die Errichtung der Häuser immer weiter entfernt von der Stadt, um Geld beim Grundstückskauf einzusparen. Segregation, Unzufriedenheit und soziale Probleme waren die Folge. Da der Staat keine riesigen, monotonen und gesichtslosen Städte bzw. Stadtteile wollte, wurde die maximale Anzahl an Wohneinheiten pro Komplex auf 300 begrenzt. Dies wiederum machte den sozialen Wohnbau für größere Firmen, die die beste technische und wirtschaftliche Kapazität aufwiesen, unattraktiv. Kleinere Firmen waren zumeist schlechter ausgestattet und finanziell fragil, so dass die Qualität und Sicherheit weiter sank [2].

### 1-11.4 FALLSTUDIEN VON ELEMENTAL

Um ein besseres Verständnis für den sozialen Wohnbau zu bekommen, betrachtete ELEMENTAL einige bereits ausgeführte Projekte im sozialen Wohnbau. Eines davon war das Tierras de Maipú, welches 25 km vom Zentrum von Santiago de Chile entfernt liegt. Das Projekt besteht aus Einfamilienhäusern, bei denen je zwei Hauseinheiten zu einem Gebäude zusammengebaut sind. Jedes Haus weist rund 36 m<sup>2</sup> auf und besitzt ein eigenes Grundstück. Obwohl die Regierung einen Erweiterungsplan von der Baufirma verlangte, nach dem die Bewohner erweitern sollten, erhielten diese nur eine Broschüre. Da viele Bewohner ohnehin keine Pläne lesen konnten, bauten sie ihre Erweiterungen nach Gefühl und so, dass damit der geringste Aufwand verbunden war. Eine inkrementelle Erweiterung sollte nicht unkontrolliert stattfinden, sondern durch ein durchdachtes Design vorgegeben werden, um ein ungewolltes Chaos zu

vermeiden. Das Design muss selbsterklärend für die Erweiterungsmöglichkeit erscheinen. Der Nachteil bei der Erweiterung von Einfamilienhäusern besteht darin, dass es für die Familien sehr kompliziert ist, eine adäquate Vergrößerung ihrer Wohnfläche zu erreichen [2]:

- egal wo zugebaut wird, müssten fünf Außenflächen (drei Wände, Dach und Boden) errichtet werden,
- ein seitlicher Zubau würde unweigerlich zu einer Demontage einer tragenden Wand führen,
- die Zwischenwand (Wohnungstrennwand) zu den Nachbarn ist komplex und muss fachgerecht ausgeführt werden (massiv, tragend, schall- und wärmedämmend sowie brandbeständig) und erlaubt somit keine Eigenkonstruktion seitens der Bewohner,
- Zubauten würden sich im Fall dieses Projektes durch ungeeignete Raumkonstellationen erweisen, so dass angebaute Schlafräume im Erdgeschoss nur über die Küche erreichbar sein würden,
- die typischen Längenmaße von Holzbauteilen in Chile liegen bei drei Metern; ein Zubau bis zur Grundstücksgrenze würde einen hohen Verschnitt bzw. hohe Kosten verursachen, da der Abstand vom Haus zur Grenze 3,3 m beträgt und
- Zubauten im hinteren Gebäudebereich würden Belichtungs- und Belüftungsöffnungen der Küche beeinträchtigen.

Das Projekt weist zwar Erweiterungsmöglichkeiten auf, ist aber dafür völlig ungeeignet. In einer weiteren Fallstudie wurde das Projekt Puente Alto im Südosten von Santiago de Chile betrachtet. Das Problem hier ist das Schrägdach im oberen Geschoss, so dass nur Teile des Raumes ordentlich benutzt werden können. Auch bezüglich der Zubaumöglichkeiten weist das Projekt dieselben Probleme wie die im vorhin genannten auf. Das steile Dach wurde von vielen Bewohnern umgebaut, damit eine bessere Raumnutzung möglich wurde. Das umgebaute flachere Dach weist allerdings aufgrund von Kosteneinsparungen oftmals Mängel auf. Die Betrachtung weiterer Objekte führte letztlich zum Schluss, dass viele Projekte nicht ordentlich durchdacht wurden. Vor allem nicht in Bezug auf Erweiterungsmöglichkeiten. Das Team von ELEMENTAL versuchte diese Aspekte in ihren Entwürfen zu berücksichtigen [2].

## **1-11.5 ERFOLGREICHES PROJEKT QUINTA MONROY**

Dieses Projekt von ELEMENTAL wird im Zuge dieser Arbeit besonders genau vorgestellt, da die Herangehensweise ein gutes Beispiel für ein erfolgreiches Projekt darstellt. Die Auseinandersetzung mit diesem Projekt soll ein Verständnis über die zu beachtenden Aspekte liefern und die Erkenntnisse daraus dem eigentlichen Projekt der Arbeit dienen.

### **1-11.5.1 Die Ausgangssituation**

Im Zentrum von Iquique, eine in der chilenischen Wüste liegende Stadt nördlich von Santiago de Chile, befand sich das informelle Wohngebiet Quinta Monroy. Das ca. 0,5 Hektar umfassende Areal wurde ursprünglich als landwirtschaftliche Fläche genutzt, bevor es später von armen Menschen vereinnahmt wurde. Als Jahre später das Grundstück seinen ursprünglichen Eigentümer wechseln sollte, kam es zum Rechtsstreit. Die dort ansässigen Bewohner pochten auf ihr Wohnrecht, da sie schon viele Jahre dort gelebt hatten. Lange war keine Lösung des Konfliktes in Sicht, bis im Jahr 2000 das staatliche Programm Chile Barrio intervenierte und eine gerichtlichen Beschluss forderte, damit das Gebiet Monroy registriert und vom Chile Barrio Programm erworben werden konnte. Ziel war es, ein soziales Wohnbauprojekt zu errichten, von dem alle registrierten Bewohner profitieren würden. Daraufhin erhielt ELEMENTAL die Aufgabe, das Projekt zu entwickeln. Um das Grundstück finanzieren zu können, musste eine hohe Bebauungsdichte akzeptiert werden, allerdings mit der Einschränkung, keine Überfüllung herbeizuführen. Folgende Randbedingungen wurden von ELEMENTAL bei der Entwicklung des Konzeptes festgelegt [2]:

- eine Ausgangsgröße der Häuser von 36 m<sup>2</sup> war erforderlich, damit das Budget nicht überschritten wird,
- eine inkrementelle Strategie wurde gewählt, um Kosten zu senken,
- durch die unvollständig gebauten Behausungen sollte nach der Vollendung seitens der Bewohner ein abwechslungsreiches Erscheinungsbild entstehen,
- das Budget war auf 300 UF (ca. 7.500 US\$) pro Familie beschränkt,
- alle 100 Bewohner sollten nach dem „Slum-Upgrade“ wieder auf diesem Gebiet leben und
- eine Teilnahme aller Bewohner am Projekt sollte verpflichtend sein.

Die Ausgangssituation, die dort vorgefunden wurde, war verheerend. Viele Haushalte hatten nicht mehr als 30 m<sup>2</sup> zum Leben. Mehr als die Hälfte aller Räume hatte kein Tageslicht und keine Belüftung. Es gab weder Wasserversorgung noch Abwasserentsorgung [2]. Die Bewohner waren teilweise sehr arm, während das Einkommen anderer Familien aber deutlich über der Armutsgrenze lag, so dass es große Einkommensunterschiede unter den Bewohnern gab. Zwei Fünftel aller Familien bestanden aus alleinerziehenden Müttern ohne fixen Ehemann, so dass besonders darauf geachtet werden musste, dass Kinderbetreuung und Arbeitsplatz sich gegenseitig nicht ausschlossen. Die Unterbringung aller Familien am selben Ort war deshalb äußerst wichtig, damit die sozialen Kontakte und die Infrastruktur, wie Arbeitsplätze oder Kinderbetreuung, erhalten blieben. Gerade in diesem gefährdeten und fragilen sozialen Umfeld ist eine vertraute Umgebung mit dem vorhandenen Netzwerk entscheidend für den Erfolg eines Projektes. Die Armut kann nur überwunden werden, wenn zusätzlich zu einem wertsteigernden Haus, dieses Netzwerk erhalten bleibt und sich die Behausung in einer guten Lage der Stadt befindet. Durch die zentrumsnahe Lage des Areals machte der Kaufpreis des Grundstückes einen beträchtlichen Teil des vorhandenen Budgets aus. Es kostete damals 1,2 UF/m<sup>2</sup>, umgerechnet also in etwa 30 US\$/m<sup>2</sup> [2].

## 1-11.5.2 Die Lösungsfindung

Das Team von ELEMENTAL begann das Problem zu aller erst anhand der drei bereits in Abschnitt 1-11.2 erwähnten Haustypologien zu lösen. Experten warnten das Team, dass die Bewohner nur zu einem Einfamilienhaus zustimmen würden. Das Problem war allerdings, dass im Falle von Einfamilienhäusern nur 32 Familien der insgesamt 100 einen Platz finden würden. Ein weiterer Nachteil bestand darin, dass das gesamte Kapital nur für die kostspieligen Behausungen verbraucht werden würde und kein Geld mehr für den Landkauf oder die Infrastruktur zur Verfügung stehen würde. In anderen Projekten wurde dieses Problem meist in der Form gelöst, dass Grundstücke weit außerhalb der Stadt gekauft und die Hausgrößen reduziert wurden. Obwohl die Bewohner einer solchen Lösung zugestimmt hätten, konnten sie vom Team überzeugt werden, dass dies nicht die richtige Lösung sei, da es die Probleme in Slums nur verstärken könnte. Der Haustyp des zweigeschossigen Reihenhauses wurde als nächstes untersucht. In diesem Fall könnten immerhin 60 Familien untergebracht werden, doch bestand das Problem, dass Erweiterungen nicht zufriedenstellend durchgeführt werden könnten. Teilweise müsste man, um in die später errichteten Räume zu gelangen, durch bestehende durchgehen. Zum anderen würde die Belichtung und Belüftung einiger Räume beeinträchtigt werden. Im dritten Fall des mehrgeschossigen Wohnblocks könnten alle 100 Familien untergebracht werden, allerdings intervenierten die Bewohner sofort. Dieser Typ wäre durch die fehlenden Erweiterungsmöglichkeiten und die bereits bekannten sozialen Konflikte ohnehin keine gute Lösung gewesen. Somit musste ein völlig neuer Haustyp zur Lösung des Problems gefunden werden. Die Lage des Gebietes selbst erwies sich zwar als sehr kostspielig, konnte aber dadurch punkten, dass im Gegensatz zu Grundstücken in der Peripherie weniger Geldmittel für Infrastruktur aufgewendet werden mussten. Um eine Lösung für das Problem zu finden, änderte ELEMENTAL die Strategie. Anstatt mit 7.500 US\$ das beste Haus zu erstellen, versuchte man, mit dem Geld aller 100 Familien, also mit 750.000 US\$, ein bestmögliches Gesamtprojekt zu entwickeln, in dem alle ihren Platz finden. ELEMENTAL entschied sich für das von ihnen so genannte Parallel Building (siehe Abschnitt 1-11.1). Pro Parzelle sollten zwei Familien untergebracht werden. Das dreistöckige Gebäude enthielt im Erdgeschoss 36 m<sup>2</sup> ausgebaute Fläche, die einerseits seitlich bis zum Nachbargebäude und andererseits im Garten erweitert werden konnte. Über dem Erdgeschoss befindet sich eine massive Betonplatte, auf der

eine weitere 36 m<sup>2</sup> umfassende Wohneinheit – allerdings zweigeschossig – aufgebaut wurde. Zur seitlichen Nachbareinheit hin entstand ein Freiraum, der über eine Treppe erschlossen wird, somit Zugang zur oberen Wohneinheit gewährt und als Erweiterungsmöglichkeit für die obere Wohnung dient. Die initialen 36 m<sup>2</sup> können jeweils durch Erweiterungen auf jeweils 72 m<sup>2</sup> ausgebaut werden. Mittels einer Anpassung der Parzellengröße auf ein optimales Maß konnten schließlich alle 100 Familien untergebracht werden. Die Erschließung der Wohneinheiten musste ebenfalls genau durchdacht werden, da bekannt war, dass Korridore und Treppenhäuser Zonen des Konfliktes darstellen können. Das Team entschied sich für einen eigenständigen und direkten Zugang von jeder Wohneinheit zum Gelände. Um Kosten zu reduzieren, mussten Treppen kurzgehalten werden, so dass Treppen vom Gelände aus nur bis zur ersten Etage reichen. Eine weitere Treppe befindet sich im oberen Apartment und dient der Erschließung des zur selben Wohneinheit zugehörigen zweiten Obergeschosses. Die Bewohner stimmten dieser Variante zu, da sie einige Jahre zuvor eine ähnliche Idee einer Siedlung entwickelt hatten, es aber nie zur Umsetzung kam. Bei der Entwicklung des Slum-Upgrades musste auch die zukünftige Entwicklung des Projektes bedacht werden. Die Bewohner können die Hälfte ihres zur Verfügung gestellten Hauses selbst vervollständigen, was aber mit der Gefahr der Verschlechterung der Qualität des Viertel einhergeht. Deshalb muss dieser Selbstbau in einem gewissen Rahmen erfolgen, der durch die begrenzenden massiven Wände der offenen Struktur des „Parallel Building“ vorgegeben war. Zum einen soll damit ein chaotisches Erweitern ausgeschlossen werden. Zum anderen werden das finale Erscheinungsbild und die Art und Weise der Erweiterung nicht konkret vorgeschrieben, sondern nur der Rahmen definiert. Im Gegensatz zu anderen Projekten, die durch ihr monotones Erscheinungsbild schnell ein negatives Image erhielten, kann trotz einer gewissen Wiederholung und der Verwendung vorgefertigter Elemente ein differenziertes Äußeres gewährleistet werden. Dem negativen Image der Vorfertigung – gerade bei Bauprojekten mit sehr geringen finanziellen Mitteln – kann hiermit entgegengewirkt werden [2].

Damit ein solcher Selbstbau im Zuge der Erweiterung keine Sicherheitsmängel aufweist, muss der Konstruktionsrahmen, in dem später erweitert werden soll, sicher in der Tragfähigkeit, wirtschaftlich und technisch einfach umsetzbar sein. Im sozialen Wohnbau sind in der Regel 70 Prozent der Baukosten für die Konstruktion und 30 Prozent für den Ausbau vorgesehen, da die Konstruktion das teuerste und schwierigste darstellt. Betrachtet man die Kosten für den Bau der ersten 36 m<sup>2</sup> und die Kosten der Erweiterung, so fallen für die anfänglichen 36 m<sup>2</sup> in etwa 7.500 US\$ pro Haus und ca. 1.000 US\$ für die erweiternden 36 m<sup>2</sup> an [2].

Eine weitere Vorgabe war es, die Teilnahme und Mitwirkung der Bevölkerung sicher zu stellen. Anstatt die Menschen nur nach ihren Wünschen zu befragen, wurden Einschränkungen aufgezeigt, damit für die künftigen Bewohner von Beginn an klar war, was im Zuge des Projektes möglich ist und was nicht. Im sozialen Wohnbau geht meist aufgrund der geringen finanziellen Mittel die Priorität des Einen mit dem Verzicht eines Anderen einher. Eine gemeinschaftliche Projektentwicklung war notwendig, um alle Aspekte bestmöglich einzubeziehen [2].

Besonders wichtig im sozialen Wohnbau ist ein ausreichend großer und geeigneter Platz im Freien, in dem sich ein kommunikatives gemeinschaftliches Netzwerk außerhalb der vier Wände bilden kann. Oftmals muss bei sozialen Bauprojekten zwischen Straßenflächen und öffentlichen Plätzen entschieden werden. Um eine Zwischenlösung zu erhalten, wurden die Bewohner bei der Lösungsfindung mit einbezogen. Dies war eine der wichtigsten Entscheidungen, da sich im Workshop herausstellte, dass ein großer Platz im Zentrum des Komplexes nicht erstrebenswert sei, da es aufgrund der vielen Ethnien und unterschiedlichen Charaktere eher zu Komplikationen kommen könnte. Die bessere Lösung war es deshalb, mehrere kleinere Freiflächen zu schaffen. Jeder dieser Plätze hatte einen eigenen Zugang von den umliegenden Wohneinheiten, so dass es möglich war, Menschen aus den anderen Clustern zu meiden. In diesem Projekt entstanden vier beinahe quadratische Plätze, in denen kleinere, dafür aber funktionierende Netzwerke möglich sind, Kinder spielen können und trotzdem ausreichend Platz für Fahrzeuge vorhanden ist [2].

Ein weiterer Aspekt, der berücksichtigt werden musste, war die Vorgabe innerhalb von 25 m<sup>2</sup> alle notwendigen Räume wie Küche, Schlafzimmer, Bad, Wohn- und Esszimmer unterzubringen. Da dies nicht in der Qualität, die einem Mittelklassehaus entsprechen soll, möglich war, musste ein Kompromiss geschlossen werden. Die Aussicht auf einer finalen Wohnfläche von 72 m<sup>2</sup> machte es möglich, dass die

Bewohner vorerst auf das eine oder andere Zimmer verzichten konnten. Welches dieser Zimmer erst im Zuge der Erweiterung entstehen soll, richtete sich nach dem Schweregrad und den Kosten des jeweiligen Raumes. Ein Schlafraum erschien das einfachste und kostengünstigste Zimmer zu sein. Somit konnten die verfügbaren Geldmittel für die Küche, das Bad, die komplizierte Haustechnik und für die tragenden Wände bis in das oberste Geschoss verwendet werden. Diese Abweichung von den staatlichen Vorgaben war nur möglich, da sich – unter Rücksprache mit dem Ministerium – alle Bewohner einstimmig für diese Lösung ausgesprochen hatten. Somit konnten Raumgrößen erreicht werden, die ansonsten den Mittelklassewohnungen vorbehalten waren. Eine ähnliche Entscheidung fand bezüglich des Warmwasseraufbereiters und des Grundstückes statt. Den Bewohnern wurde gesagt, dass die Finanzierung von Warmwasseraufbereitern nicht möglich sei, wenn das Gebiet Monroy als Baugrundstück gewünscht werden würde. Ein Verzicht auf diese Technik würde im Gegenzug bedeuten, dass die Bewohner ihr gewohntes Umfeld, ihre Jobs und ihr soziales Netzwerk beibehalten können. Andernfalls müssten sie ins weit entfernte Slum-Projekt außerhalb der Stadt umziehen. Die Bewohner stimmten einstimmig für den Verbleib in ihrer heimatlichen Umgebung und verzichteten dafür auf den Warmwasseraufbereiter [2].

### 1-11.5.3 Das Projekt

Das Projekt besteht aus je einer unten liegenden Wohnung und einem darüber liegenden Apartment. Jedes Haus wird auf einer Parzellengröße von 9 x 9 m errichtet und weist im Erdgeschoss eine anfänglich bebaute Fläche von 6 x 6 m auf. Diese Wohnung beinhaltet eine Küche, ein Badezimmer sowie ein Wohn- und ein Esszimmer. Darüber befindet sich eine massive Stahlbetondecke, welche die beiden Wohnungseinheiten voneinander sowohl räumlich als auch bauphysikalisch abtrennt. Ein Erweiterungsbereich von 3 x 6 m steht unterhalb dieser Betonplatte zur Verfügung. Zusätzlich kann ein Zubau im rückwärtigen Grundstücksbereich auf einer Fläche von zweimal 3 x 3 m erfolgen, wobei hier der mittlere Bereich hinter der Küche unverbaut bleiben sollte, um eine natürliche Belichtung und Belüftung für alle Räume zu gewährleisten. Damit ergibt sich eine endgültige Wohnungsgröße von 72 m<sup>2</sup>. Das darüber liegende, zweistöckige Apartment bietet auf einer Fläche von 6 x 6 m eine initiale Raumgröße von 3 x 6 m im unteren Bereich des Apartments, die als Küche und Wohnzimmer bzw. Esszimmer fungieren. Mittels Treppe gelangt man in den zweiten Stock des Apartments, welcher anfänglich nur ein Badezimmer enthält. Aufgrund der Kosten konnte hier kein weiterer Raum fertiggestellt werden. Das Apartment sieht aber eine einfache Erweiterungsmöglichkeit des oberen Geschosses für ein Schlafzimmer vor. Zusätzlich kann die Restfläche von 3 x 6 m auf der Betonplatte erweitert werden. In diesem Raum können ein Esszimmer und ein kleines Schlafzimmer entstehen. Auch das restliche Volumen von 3 x 6 m mit einer Höhe von 2,5 m im obersten Geschoss kann verbaut werden. Es besteht sogar die Möglichkeit, einen Balkon einzubauen. Somit stehen im Apartment ebenfalls finale 72 m<sup>2</sup> an Wohnraum zur Verfügung. Die Außenwände der oberen Wohneinheiten, die zum freien Luftraum des „Parallel Buildings“ führen, sind – im Gegensatz zu den ansonsten massiv ausgeführten äußeren Wänden – aus einer einfachen Holzkonstruktion ausgeführt, die mit Spanplatten verkleidet wurden. Diese lassen sich ohne große Mühe verändern oder entfernen, um etwa Türen zu den erweiterten Räumen einfügen zu können [2].

### 1-11.5.4 Die Ausführung

Um eine neue Bebauung des Areals überhaupt möglich zu machen, musste Quinta Monroy zuerst leergeräumt werden. Als Übergangslösung wurde ein temporäres Camp errichtet. Die Bewohner erhielten technische und soziale Unterstützung bereits vor als auch während des Bauprozesses. Dieses Unterstützungsprogramm stand der Bevölkerung sogar im Zuge der Umsiedlung in das temporäre Camp zur Verfügung. Es gab zahlreiche Workshops, mit denen gemeinsam Lösungen erarbeitet wurden und den Bewohnern gezeigt wurde, wie ihr Zuhause gebaut wird und künftig erweitert werden kann. Viele Jahre lang gab es Versprechungen und Ungewissheit, so dass sich ein starkes Misstrauen seitens der Bewohner

aufbaute. Die angebotenen Workshops und Informationskampagnen waren auch dazu da, um das Vertrauen der Bevölkerung zu gewinnen. Trotz der Bemühungen gab es vereinzelt Familien, die sich gegen das Projekt stark machten. Sie befürchteten, dass sie nach der Aussiedelung in das Camp niemals wieder zurückkommen dürften. Einige drohten sogar mit Selbstmord, falls das Projekt fortgesetzt werden würde. Die Angst und die Abneigung waren so groß, dass die letzten verbliebenen Familien sogar mit Hilfe der Polizei entfernt werden mussten. Danach konnte das eigentliche Projekt starten. Es wurden alle Personen, die umgesiedelt, und alle Gegenstände, die entfernt oder abgerissen werden mussten, aufgelistet. Einige Bewohner suchten auf eigene Faust ein Zwischenquartier, andere zogen freiwillig in Häuser von anderen sozialen SERVIU-Projekten. Für den Großteil der Bewohner wurde jedoch ein Camp durch das Chile-Barrio-Programm errichtet. Um Kosten zu sparen, versuchte man, so viele Gegenstände und Baumaterialien aus dem ursprünglichen Slum für das Camp wieder zu verwenden. Dreißig Jahre nach der Besiedelung des Gebietes begannen dieselben Bewohner, die es errichtet haben, den Slum abzutragen. Die schrittweise Abtragung der Behausungen gestaltete sich äußerst kompliziert, da die restlichen Bewohner, deren Häuser noch nicht zerstört waren, noch Zugang zu Strom, Wasser und Abwasserkanälen haben mussten. Es entstanden große Mengen an rezykliertem Baumaterial, welches zunächst für die Errichtung des temporären Camps und später für die Erweiterungen oder Ausbauten genutzt wurde. Die Häuser des Camps mussten so gebaut werden, dass sie nach dem Auszug der Bewohner Quinta Monroys Platz für andere bedürftige Menschen des sozialen Wohnbauprogrammes des Ministeriums bieten. Dies war die Voraussetzung, damit SERVIU ein Grundstück in der peripheren Alto Hospicio Siedlung – ein weiteres soziales Wohnbauprojekt der damaligen Zeit – für das Camp zur Verfügung stellte. Die im Zuge der Umsiedlung errichteten Häuser wurden nach der Rückkehr der Bewohner nach Quinta Monroy umgebaut und adaptiert, damit sie für andere Bedürftige in Alto Hospicio eine Behausung bieten und das Geld für die Errichtung des Camps nicht verschwendet wurde. Da das Camp bzw. die Umsiedlung in der Zeit der Bauphase sehr viele Kosten verursachte, wurde somit versucht, wenigstens den größten Nutzen daraus zu erzielen. Das Programm der technisch-sozialen Unterstützung der Bewohner brachte den Menschen den Unterschied eines Siedlers und eines Stadtbewohners nahe. Eine Umwandlung einer informellen Gemeinschaft in eine verantwortungsbewusste Gemeinde, die für ihre öffentlichen Plätze selbst verantwortlich ist, war keine einfache Aufgabe. Sie mussten lernen, in der neuen Nachbarschaft positiv miteinander auszukommen. Im Zuge von Workshops wurde deshalb auch gemeinschaftlich an Lösungen gearbeitet. Um eine gute Basis für zukünftige Erweiterungen zu erhalten, war es besonders wichtig, dass die Bewohner an diesen Workshops und Baustellenbesuchen teilnahmen. Es gab beispielsweise Seminare, die das Lesen von Plänen zum Thema hatten. Es wurde Wissen im Bezug auf Berechnungen der Hausgröße und der Aufteilung von Räumen vermittelt. Für ein besseres Miteinander und, damit in den Workshops besser auf einzelne Personen eingegangen werden konnte, wurden Sub-Komitees gegründet. Für eine funktionierende Nachbarschaft stellten die Beteiligten demokratische Kriterien und Regeln auf. Die Baustellenbesuche dienten der Erklärung der Konstruktion des Hauses und deren Baumethode bzw. Bedeutung. Zudem waren die Bewohner dadurch seit Beginn an mit dem Projekt und ihrem Haus vertraut, so dass es später keine bösen Überraschungen mehr gab [2].

Besonders von Bedeutung war der sogenannte „Expansion-Workshop“, in dem Fragen zur Vergrößerung der anfänglichen Wohneinheit beantwortet wurden. Vor allem ging es um die Einschränkungen bzw. um die Rahmenbedingungen, so dass auch nach der Fertigstellung ein harmonisches Wachstum und eine sichere Konstruktion gewährleistet werden kann. Die Workshop-Teilnehmer bekamen Auskunft über ihre Verantwortung der Wertsteigerung des gesamten Wohnbaukomplexes betreffend. Es musste geklärt werden, welche Aspekte den Wert eines Hauses steigern und welche nicht. Deshalb erschien es am vorteilhaftesten, wenn die Bewohner ihre Expansionen bereits im Vorhinein planen konnten, so dass die Betreuer mit Rat und Tat zur Seite stehen konnten. Es gab auch Fassaden-Workshops, damit die Teilnehmer sehen konnten, wie ihre Entwürfe anhand von Fotomontagen später in Realität aussehen würden. In einem weiteren Workshop ging es um die gemeinschaftliche Benutzung öffentlicher Plätze und um den Zusammenhalt der Nachbarschaft. Bei sozialen Wohnbauprojekten in Slums ist es besonders wichtig, dass die Menschen für einen Übergang vom informellen Siedler zum verantwortungsbewussten Stadtbewohner bereit sind, um die Vorteile des Netzwerkes einer formalen Stadt zu erhalten. Ein Punkt, den die Workshop-Teilnehmer begreifen mussten, war, dass ein falsches Handeln eines Stadtbewohners – im Gegensatz zu einem Slum-Bewohner – stets Konsequenzen nach sich zieht und ein gewisses Maß an

Pflichtbewusstsein in der Öffentlichkeit erforderlich ist. Im Zuge eines Seminars der Wertevermittlung verstanden die Bewohner rasch, dass eine Wertsteigerung ihres Hauses nicht ausschließlich über Erweiterungen zu erzielen sei, sondern vor allem auch durch eine gute Nachbarschaft. Dazu müssen die jeweiligen Gemeinschaften Regeln aufstellen, deren Einhaltung von Personengruppen überwacht wird. Der öffentliche Bereich zwischen den Häusern soll gemeinschaftlich mit Respekt an Werten und Bedürfnissen anderer genutzt werden und zu einer guten Nachbarschaft und Gemeinschaft beitragen [2].

Mit Schwierigkeiten verbunden waren auch die Suche nach einem geeigneten Bauunternehmer und die Einholung aller Genehmigungen. Letztendlich konnte sich nur eine Baufirma finden, die innerhalb der neuen Wohnbaupolitik und mit dem geringen Kapital arbeiten wollte. Das Unternehmen sah das Projekt als eine Art Lehre für zukünftige Bauvorhaben und verlangte nur die anfallenden Kosten ohne dabei Gewinn zu erwirtschaften. Nach elfmonatiger Bauzeit konnte das Projekt im Dezember 2004 den Bewohnern übergeben werden. Einige zogen allerdings erst ein, nachdem alle Erweiterungen abgeschlossen waren. Quinta Monroy erhielt von den Bewohnern später den Namen „Violeta Parra Housing Complex“. Nur durch die auf das Nötigste reduzierten Innenräume konnte das Projekt überhaupt ermöglicht werden, da die finanziellen Mittel knapp waren [2]. Die Tragstruktur wurde massiv ausgeführt, um Sicherheit selbst bei einem Worst-Case-Szenario einer unsachgemäßen Erweiterung zu gewährleisten. Die Füllelemente können einfach ausgebaut bzw. ausgetauscht werden, damit Zugänge zu den erweiterten Räumen ohne große Baumaßnahmen geschaffen werden können. Nur die schwieriger auszuführenden Ausstattungen wie Treppen, Badezimmer oder Küchen waren bereits zu Beginn vorhanden. Das Konzept erlaubt eine kostengünstige Errichtung des Hauses und gewährt den Bewohnern durch individuelle Zubauten einen Freiraum, indem sie ihr Haus nach eigenen Vorstellungen vollenden können [64].

## 1-11.5.5 Die Erweiterungen

Der Akt der Übergabe der Häuser an die Bewohner war nicht das Ende der Betreuung durch ELEMENTAL. Das Team bot noch einige Tage danach Unterstützung an. Expansionen, die in dieser Zeit gebaut wurden, dienten als Vorlagen für andere. Nach 18 Monaten hatten viele ihr neues Zuhause adaptiert, so dass über 60 Prozent der Häuser mehr als 50 m<sup>2</sup> Wohnfläche aufwiesen. Bereits zwei Monate nach dem Einzug waren 60 Prozent der geplanten Erweiterungen erfolgreich durchgeführt. Nur wenige Zubauten erweisen sich als mangelhaft und wurden wieder rückgebaut. Diese Fälle konnten aber darauf zurückgeführt werden, dass die Bewohner nicht an den dafür vorgesehenen Workshops teilnahmen. Für die restlichen Bewohner waren diese gescheiterten Vergrößerungen allerdings äußerst lehrreich, um zu sehen, dass nur die legalen und gut durchdachten Maßnahmen eine entsprechend positive Wirkung zeigten. In Abbildung 1.12 sind auf der linken Seite die Häuser zum Zeitpunkt der Übergabe ersichtlich. Wie in Abbildung 1.12 rechts zu sehen ist, konnten 18 Monate später bereits einige Familien ihr Eigenheim erweitern [2].



**Abbildung 1.12: Häuser in Quinta Monroy: (links: nach der Übergabe [31], rechts: 18 Monate nach der Fertigstellung im Jahr 2006 [31])**

Ebenso auf den Bildern zu sehen ist der großzügige öffentliche Freiraum, der ausreichend Platz für parkende Autos bietet, trotzdem aber gleichzeitig gemeinschaftliche Aktivitäten oder das Spielen der Kinder im Hof zulässt [2].

Nicht die Ästhetik der Erweiterungen war den Architekten von ELEMENTAL wichtig, sondern die Qualität der technischen Ausführung und die effiziente Verwendung der finanziellen Mittel der Familien. Weniger als 10 Prozent erweiterten ihr Zuhause abweichend von der vorgegebenen Struktur, da auskragende Zubauten komplizierter und kostspieliger sind, als wenn im dafür vorgesehenen Rahmen gebaut wird. Durch das neue Bewusstsein als Stadtbewohner und die Sicherheit des Besitzes wurde ein Viertel aller Erweiterungen mit neuen Materialien errichtet. Aus einer Studie ging hervor, dass drei von vier Zubauten mit weniger als 2 UF /m<sup>2</sup> (ca. 85 US\$/m<sup>2</sup>) errichtet werden konnten. Der Grund dafür liegt in der durchdachten Konstruktion. Den Bewohnern gelang es, die vorfabrizierten Paneele der Notunterkünfte im Camp bestmöglich und mit minimalem Verschnitt einzubauen. Die einfachen Tafeln konnten ohne komplexe Verbindungstechnik montiert werden. Im Vergleich dazu lagen die Kosten für das initiale Gebäude bei 9,3 UF/m<sup>2</sup> (ca. 400 US\$/m<sup>2</sup>). Aus der Studie geht auch hervor, dass beinahe 50 Prozent des Geldes, welches für die Erweiterungen benötigt wurde, aus den Ersparnissen der Bewohner stammt. Es wurde auch eine Untersuchung hinsichtlich der Zufriedenheit der Bewohner in den Kategorien Umgebung, Hofbereiche und Eigenheim durchgeführt, um herauszufinden, welche Punkte gut und welche weniger gut gefallen. Als großen Vorteil erwies sich die Beibehaltung der Lage des ursprünglichen Slums, da die Hälfte aller Bewohner weniger als 20 Minuten an Zeit für den Weg zu ihren Arbeitsplätzen benötigen. Das Konzept der Bildung von kleineren Subkomitees, die selbst für die Verteilung der Familien an die Wohneinheiten zuständig waren, zeigte Wirkung. Somit konnten die Bewohner ihre unmittelbaren Nachbarn selbst wählen. Die Bewohner verschönerten ihre Höfe und schafften anfallenden Unrat fort. Die allgemeine Ästhetik der Häuser befinden mehr als 80 Prozent für schön oder sehr schön. Die durchschnittliche Zufriedenheit aller Aspekte wie Komfort, Bauqualität, Belichtung und Belüftung, Größe, Schallschutz, Raumklima, Sicherheit und Erweiterungsqualität spiegelt sich in 5,8 von möglichen 7 Punkten wider. Durch die gute Planung und Umsetzung entstand in Quinta Monroy ein Wohnbauprojekt, bei dem eine Wertsteigerung nach Erweiterung der Häuser zu verzeichnen ist. Der initiale Wert von 300 UF (ca. 7.500 US\$) kann durch eine Vergrößerung mit Kosten von ca. 30 UF (ca. 1.000 US\$) mehr als verdoppelt und somit auf einen Immobilienwert von 1.000 UF (ca. 20.000 US\$) geschätzt werden [2].

Der große Erfolg des Projektes in Quinta Monroy zeigt, dass es mit den gleichen finanziellen Mitteln wie bei anderen – allerdings negativ behafteten – Wohnbauprojekten in Slums durchaus möglich ist, ein Projekt mit adäquaten Wohneinheiten zu erschaffen, die sogar die Fähigkeit besitzen, ihren Immobilienwert mit der Zeit zu steigern. Nichts desto weniger gibt es Kritiker, die den Erfolg eher als Zufall wahrnehmen. Auf der anderen Seite stellen sich Bewohner von schlechteren Projekten die Frage, warum es den Behörden nicht bei ihnen gelungen ist, ein zufriedenstellendes Bauprojekt herzustellen [2].

## 1-11.6 FORTSETZUNG DES ERFOLGREICHEN PROJEKTES

Um aller Kritik trotzen zu können, waren weitere erfolgreiche Wohnbauprojekte zur Aufwertung von Slums erforderlich. Es sollten neue Häuser in anderen Städten mit unterschiedlichen Randbedingungen entstehen. Damit Lösungen auch für Gebiete mit anderen sozialen Zuständen, anderen klimatischen Bedingungen und anderen urbanen oder lokalen Gegebenheiten gefunden werden konnten, wurde ein Architekturwettbewerb ausgeschrieben. Mittels staatlichen Zuschüssen konnten Wohnungsausschüsse aufgestellt werden, um mögliche Standorte für soziale Wohnbauprojekte zu lokalisieren. Da im sozialen Wohnbau in etwa 70 Prozent der Gesamtbaukosten auf die Tragstruktur entfallen, können Kosten durch die Verwendung vorgefertigter Elemente erheblich gesenkt werden. Somit wurde auch eine Vorfertigung von Elementen in Betracht gezogen. Ebenso mussten Überlegungen zu Erdbebensicherheit angestellt werden, da in Chile aufgrund der seismischen Aktivität aufwändige Verbindungselemente – gerade bei vorgefertigten Komponenten – erforderlich sind. Es mussten kostengünstige Systeme entwickelt werden,

die erdbebensicher sind und eine vorgefertigte Tragstruktur möglich machen. Im Wettbewerb wurden über 500 Projekte eingereicht, die ähnliche Bedingungen wie ELEMENTAL bei Quinta Monroy berücksichtigen mussten. Aus allen Projekten wurden sieben Siegerprojekte ausgewählt, deren urhebende Architekten zusammen mit anderen teilnehmenden Architekten, Ingenieuren, Studenten oder Sozialarbeitern ein reales Projekt an sieben Standorten in Chile mit unterschiedlichen Randbedingungen bearbeiten mussten. Um die Finanzierung sicherstellen zu können, mussten alle Projekte die Anforderungen des Fondo Solidario de Vivienda des MINVU – ein staatlicher Fond zur Förderung von sozialen Wohnbauprojekten – erfüllen [2].

### Exkurs:

#### **Projekt Elemental Antofagasta:**

Dieses Projekt liegt im Norden des Landes, in der Stadt Antofagasta, die sich im Küstenbereich der Atacama Wüste befindet. Es besteht aus einer c-förmigen Grundstruktur, die eigene „Module“ für Treppe, Küche, Bad und Toilette beinhaltet. Die Abgrenzung einer Wohneinheit zur nächsten erfolgt durch eine massive Wand. Im ersten Obergeschoss kann eine Vergrößerung innerhalb des Gebäudevolumens vorgenommen werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, ein zweites Obergeschoss anzubauen, die Platz für weitere Schlafräume bieten soll [2].

#### **Projekt Elemental Copiapó**

Die 130.000 Einwohner umfassende Stadt nördlich von Santiago de Chile war ebenfalls Ziel eines Slum-Upgrades im Zuge des Architekturwettbewerbes. Als Standort für das Projekt wurde ein Hanggrundstück nahe dem Stadtzentrum gewählt. Anfangs machte gerade diese Hanglage Schwierigkeiten, da zum einen nicht großflächig gebaut werden konnte und deshalb ein höhergeschossiges Bauwerk entstehen musste. Zum anderen sind Erweiterungen an Hanglagen meist nur innerhalb des Gebäudes möglich, da sowohl hangaufwärts als auch hangabwärts aufwändigere Zubauten notwendig sind und dadurch höhere Kosten entstehen. Um das Problem zu lösen und um auf teure Erschließungsanlagen verzichten zu können – die ohnehin meist Konfliktpotential hervorbringen – entschied sich das Team für die Überlagerung von zwei doppelgeschossigen Wohneinheiten. Die Apartmentwohneinheit von Quinta Monroy wurde quasi übereinander gestapelt, wobei durch einen Versatz ein schachbrettartiges Fassadenmuster entstand. Treppenlängen konnten durch die Nutzung des Hanges deutlich reduziert werden. Leider scheiterte das Projekt an der Uneinigkeit der involvierten Teilnehmer, wie Ministerium, Baufirmen und Bürgermeister der Stadt [2].

#### **Projekt Elemental Valparaíso**

Ähnlich wie in Copiapó handelte es sich hier um ein Hanggrundstück, dass als Standort für das soziale Wohnbauprojekt ausgewählt wurde. Somit lag es nahe, die Lösung aus Copiapó heranzuziehen. Leider gab es auch hier zahlreiche Probleme, doch das Projekt konnte letztendlich gebaut werden. Ein Hurrikan im Jahr 2011 zerstörte allerdings einige Dächer, da die Befestigung unzureichend ausgeführt wurde. Der Fehler lag in einer Fehleinschätzung des zuständigen Ingenieurs, der keinen Lastfall auf Windsog untersucht hatte [2].

#### **Projekt Elemental Renca**

Dieses Projekt entstand in der Hauptstadt des Landes in Santiago de Chile. Aufgrund der historischen Entwicklung der Stadt gibt es keinen kostengünstigen Standort für ein soziales Wohnbauprojekt in Zentrumsnähe. Die Kommune Renca befindet sich im Nordwesten der Stadt, ist aber durch einige Autobahnen etwas besser an das Zentrum angebunden als viele andere Kommunen in der Umgebung. Gerade dieser Vorteil machte es für die zuständigen Behörden schwer, gute Slum-Projekte zu errichten, da die Bewohner mangels kostengünstiger Grundstücke im Zentrum noch weiter in die Peripherie gedrängt werden würden. Deshalb weigerten sich die Bewohner ihre gut situierte Gemeinde zu verlassen. Ein Baugrundstück direkt gegenüber dem

Slum wurde nach langer Suche verfügbar und die Bewohner konnten von einer Umsiedlung auf die andere Straßenseite überzeugt werden. Dennoch traten einige Probleme auf. Zum einen lagen die Erwerbskosten über dem vorhandenen Budget und zum anderen befand sich an dem Bauplatz eine alte Ziegelfabrik, dessen Lehmgruben nach der Schließung des Werkes mit Abfall aufgefüllt wurden. Die Ertüchtigung des Baugrundes verursachte hohe Kosten. Nach langen Verhandlungen und Rückschlägen gelang es letztendlich doch eine Lösung zu finden. Das Team entschied sich – ähnlich dem Projekt Antofagasta – 1,5 m breite Service- bzw. Infrastrukturmodule zu verwenden, die Küchen, Bäder und Treppen inkludieren und zugleich als Brandwände sowie als akustische Trennung zwischen benachbarten Wohneinheiten dienen. Jede Wohneinheit weist eine Längsabmessung von 6 m und eine Breite von 3 m auf. Der zugehörige zweigeschossige Infrastrukturbereich ist nur 1,5 m breit. Die gesamte Anlage ist so ausgelegt, dass Erweiterungen nur im Inneren oder am Dach stattfinden können. Diese Lösung versprach einen geringen Platzbedarf, wodurch Kosten aus dem teuren Bodenaustausch verringert wurden. Das Erweiterungsangebot sieht zwei Schlafzimmer im Obergeschoss vor. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, ein drittes Geschoss zu errichten, welches ebenfalls als Schlafbereich genutzt werden kann. Das Projekt besteht außerdem aus einem zentralen Gemeinschaftszentrum, welches einen Kindergarten, eine Bibliothek, Räume für medizinische Versorgung und Büros beinhaltet. Während der Bauarbeiten diente dieses Gebäude als Hauptquartier der Baufirma. Der größte Erfolg des Projektes ist jedoch nicht die Errichtung der Häuser selbst, sondern das große Engagement der Bewohner, die sich zusammenschlossen, um anderen Bewohnern bei der Lösungsfindung bei Wohnungsproblemen zu helfen. Das somit erlangte Wissen nutzt die Gemeinschaft heute sogar als Einkommensquelle [2][64].

### **Projekt Elemental Chiguayante**

Das fünfte Projekt befindet sich in der Gemeinde Chiguayante in der drittgrößten Stadt Chiles, Concepción. In diesem Fall sollte ein Slum verbessert werden, in dem Menschen mit Verwandten in sogenannten konsolidierten Umgebungen leben. Das heißt, dass aufgrund von Armut, Familien in Häusern wohnen, die ihnen nicht gehören. Sie leben gemeinsam mit ihren Verwandten, die das Haus besitzen. Eine dadurch entstehende Überfüllung und die damit verbundenen verheerenden Lebensbedingungen werden von Menschen nur in Kauf genommen, wenn sie das vor einer Abwanderung in die Peripherie schützt. Das Projekt, welches im Zuge des Architekturwettbewerbes entwickelt wurde, besteht aus zwei vertikal ineinander verschachtelten L-förmigen Wohneinheiten mit öffentlichen Gehwegen und privaten Freiflächen. Die Stadt verpflichtete sich die Verantwortung um die Innenhöfe zu übernehmen, die Abfallsammlung durchzuführen, die Gehwege zu pflegen und Straßenbeleuchtungen einzurichten. Schnell wurde eine Baufirma gefunden, die auch geeignete Baugrundstücke im Repertoire hatte, doch aufgrund von politischen Differenzen wurde der Baufirma der Auftrag entzogen und ein anderes Unternehmen mit der Fortführung der Arbeiten beauftragt. Da jedoch kein Grundstück gefunden werden konnte welches akzeptable Kosten verursacht, musste das Projekt gestrichen werden [2].

### **Projekt Elemental Temuco**

Die südlich von Santiago de Chile gelegene Stadt Temuco ist der Standort des sechsten Wohnbauprojektes des Wettbewerbes. Der Wohnungsausschuss der Familien kam zum Entschluss, dass ein Umzug aus ihrer Umgebung nicht in Betracht kommen würde. Grund dafür war das starke soziale Netzwerk und die gute Zusammenarbeit. Allerdings wies ihre Heimatgemeinde im Norden der Stadt einige Mängel auf, so dass ELEMENTAL mit dem Auftrag eines sozialen Wohnbauprojektes im Zuge des Wettbewerbs betraut wurde. Das Team fand ein kostengünstiges Grundstück auf dem das Projekt gebaut werden konnte. Dieses konnte zwar mit einer guten Lage punkten, wies allerdings keine gute Infrastruktur auf. Das öffentliche Kanalsystem war 600 m entfernt und die Straßen waren in schlechtem Zustand. Um die Kosten decken zu können, musste anderswo Geld eingespart werden. Der Schwerpunkt lag deshalb auf der Errichtung einer guten Tragstruktur. Die Bewohner sind danach selbst für die einfacheren Ausbauten verantwortlich. Auch bei diesem Projekt gab es Workshops und Komitees, die sich

auch damit befassten, wie die Nachbarschaften gebildet werden. Das Projekt besteht ebenfalls aus einem zusammengefassten Servicebereich mit Bad, Küche und Treppe. Sowohl das erste Obergeschoss als auch das Dachgeschoss kann als Erweiterung für Schlafräume dienen. Nach vielen und langen Verhandlungen konnte 2006 ein Bauunternehmen gefunden werden. Zwei Jahre später zogen die Bewohner in ihr neues Zuhause ein [2].

### **Projekt Elemental Valdivia**

Das letzte der sieben Projekte aus dem Architekturwettbewerb befindet sich in Valdivia, einer Stadt tausend Kilometer südlich von Santiago de Chile. Charakteristisch für dieses Gebiet ist die hohe Regenmenge, so dass die Stadt als Chiles regenreichste Stadt gilt. Der Slum bestand aus drei kleineren Gemeinschaften. Obwohl die Häuser auf Stelzen gebaut waren, kam es bei starken Regenfällen immer wieder zu Überschwemmungen. Trotz der verheerenden Bedingungen wollten die Bewohner ihre Gemeinde nicht verlassen, da die Lage viele Vorteile bot. Es konnte ein Grundstück nur wenige Blocks entfernt gefunden werden, welches sich vor dem Bahnhof befindet. Die allgemein schwierige klimatische Lage der Stadt forderte aufwändige und kostspielige Fundamente, da der Boden vor Ort sehr weich war. Die ungünstigen Baugrundverhältnisse erlaubten als einzige wirtschaftliche Fundamentierung eine Bodenplatte. Ähnlich einem Boot sollte die Platte auf dem Boden schwimmen. Um dies zu ermöglichen, musste das Haus sehr leicht ausgeführt werden. Das Team entschied sich für ein massives Erdgeschoss aus Beton und leichte Holzkonstruktionen in den darüber liegenden Geschossen. Ein weiterer Vorteil zugunsten der Holzkonstruktion war der geringe Preis. Als das Konzept des Komplexes vorlag, kam es zur Ausschreibungsphase. Es fand sich jedoch kein Unternehmen, welches das Projekt ausführen wollte. Hinzu kam, dass ein Vertreter der Stadt eine günstigere Lösung in der Peripherie anbot, wodurch es zur Spaltung der Bewohner kam. Ein Teil der Familien wollte das städtische Angebot annehmen, während der andere Teil der Familien nach einer neuen Lösung vor Ort suchen wollte. Diese Konfliktsituation machte eine Weiterarbeit unmöglich, so dass ELEMENTAL resignierte [2].

Aus den hier betrachteten Projekten geht hervor, dass Bauprojekte oftmals an komplizierter Bürokratie oder an Gesetzen bzw. Bestimmungen scheitern können. Weitere Gründe warum einige Projekte nicht ausgeführt werden konnten waren Uneinigheiten und Konflikte innerhalb der Community. Der Fortschritt eines Projektes hängt unmittelbar mit dem Grad der Beteiligung der Bewohner zusammen. Hinzu kamen auch die Umbrüche in der chilenischen Wohnbaupolitik, die zu neuen Herausforderungen führte [2].

## **1-11.7 CHILENISCHE WOHNBAUPOLITIK SEIT 2006**

Die Wohnbaupolitik in Chile vor dem Jahr 2001 erforderte die Rückzahlung eines Kredites, den sich viele nicht leisten konnten. Durch die Einführung der neuen Politik im Jahr 2001 entfiel diese Forderung, allerdings wurde der Gesamtbetrag der Förderung reduziert. Die Bezeichnung der damaligen Strategie versprach ein dynamisches, schuldenfreies soziales Wohnbauprogramm. In diesem Sinne sollte das Wort „dynamisch“ eine inkrementelle Wohnbaustrategie darstellen, die je nach Priorität bestimmte Räume sofort vorsieht, während einfacher herzustellende Räumlichkeiten Schritt für Schritt über die Zeit errichtet werden sollten. Der Markt hingegen verstand darunter etwas anderes. Nämlich weniger Geld, somit weniger Qualität, weniger Wohnfläche und billigere Grundstücke, die meist nur außerhalb der Stadt zu finden waren. Die Steigerung der Wirtschaft Chiles führte in den Jahren 2001 bis 2006 immerhin zu ständig wachsendem Budget des Wohnbauministeriums. Im Juli 2006 trafen die neue Präsidentin Michelle Bachelet und ihre Wohnbauministerin Patricia Poblete die Entscheidung eine Neuauflage der Wohnbaupolitik zu erarbeiten. Drei Punkte sollten wesentlich verändert werden [2]:

- eine standortabhängige Subvention (für gute Lagen gibt es mehr Förderungen),
- Verbesserungen in den Finanzkonditionen für Bauunternehmen und
- eine Erhöhung der Subvention um ca. 1.800 US\$ pro Familie.

Um die Projektentwicklung im innerstädtischen Bereich bzw. in den Gebieten mit guter Infrastruktur zu fördern, wurde die standortabhängige Subvention eingeführt. Dadurch soll die Ausgrenzung armer Familien eingedämmt werden, da nun mehr Kapital für zentrumsnahe Wohnprojekte zur Verfügung steht. Bis zu 3.000 US\$ an Fördergeldern pro Familie können für den Kauf von gutem Land verwendet werden. Es gibt allerdings einige Bedingungen [2]:

- die Stadt in der gebaut werden soll muss mindestens 30.000 Einwohner aufweisen,
- das Projekt muss weniger als 150 Wohneinheiten beinhalten und
- das Baugrundstück darf höchstens 500 m von öffentlichen Verkehrsmitteln, 1.000 m von Schulen und 2.500 m von Gesundheitszentren entfernt liegen.

Durch diese Maßnahme stieg die Anzahl an möglichen Standorten in guten Lagen stark an, allerdings führte dies auch zu Spekulationen. Im Laufe der Zeit waren 98 Prozent der städtischen Bauparzellen förderfähig. Es stellte sich jedoch ein Trend ein, bei dem beinahe alle Grundstücke die zum Kauf für soziale Projekte angeboten wurden, den höchsten Kaufpreis aufwiesen, der gerade noch eine Subvention erlaubte [2].

Die zweite Maßnahme führte zu mehr Flexibilität bei den Verwaltungsbedingungen. MINVU erkannte die Problematik der vorherigen Wohnbaupolitik, die zu einer sehr geringen Anzahl an Projekten mit Vorschlägen für öffentliche Anboten führte. Grund dafür waren die strengen verwaltungstechnischen und finanztechnischen Bedingungen mit denen Bauunternehmen zu kämpfen hatten. Die damalige Einschränkung auf maximal 300 Wohneinheiten, sollte riesige monotone Siedlungen unterbinden, führte letztendlich aber dazu, dass größere, finanziell gut situierte, Firmen kein Interesse mehr an den kleinen Projekten hatten. Die verbleibenden Kleinunternehmen konnten die von SERVIU geforderten Leistungsanforderungen kaum erbringen. Zudem hatten diese Unternehmen Probleme mit den hohen anfallenden Kosten, die sich über den längeren Zeitraum des Bauprozesses ansammelten. Die Rückerstattung der Kosten ihrer vorfinanzierten Leistungen erfolgte jedoch – trotz oftmals über Jahre andauernden Bauarbeiten – in nur drei Raten. Somit gingen viele Unternehmen bankrott. In der neuen Wohnbaupolitik steigerte das Ministerium die Anzahl der Raten von drei auf fünf und reduzierte gleichzeitig die von den Firmen geforderte Sicherstellung von fünf auf drei Prozent. Obwohl die Konditionen noch immer schlechter als im privaten Segment waren, kam es zu einer deutlichen Verbesserung für Baufirmen die im dynamischen, schuldenfreien sozialem Wohnbauprogramm (VSDsD) arbeiteten [2].

Die dritte Erneuerung der chilenischen Wohnbaupolitik war die Steigerung der Subventionen und die Erhöhung der Anzahl an Wohnräumen, die bereits zu Beginn vorhanden sein müssen. Diese Maßnahme soll die geringe Qualität und Größe der Wohneinheiten erhöhen. In der neuen Richtlinie sind nun zwei Schlafräume und die Erweiterungsmöglichkeit auf 55 m<sup>2</sup> verpflichtend. Um dies zu ermöglichen, wurde die Förderung von 280 UF (11.000 US\$ im Jahr 2006) auf 330 UF (13.000 US\$ im Jahr 2006) erhöht. Was die Politik jedoch nicht definiert, ist das Konzept des Hauses und wie die erste Hälfte des Hauses auszusehen hat, damit es für die Bewohner einfacher, günstiger und sicherer ist, die zweite Hälfte zu vollenden. Durch die neue Regelung gaben sich nun auch mehr Menschen als bedürftig aus. Die Einstufung, wie arm eine Familie ist und wie hoch die Priorität für eine Subvention ist, erfolgt durch eine Evaluierung über Einkommen der Familien, Bildungslevel, Zusammensetzung der Familien und weiteren Faktoren. Im Zuge dessen wurde ein „sozialer Schutz-Ausweis“ (Ficha de Protección Social) ausgehändigt. Jene, die nicht als bedürftig eingestuft werden, erhalten Zugang zu anderen Programmen des MINVU, bei denen allerdings Eigensparnisse aufzuweisen sind. Leider gab es eine starke Organisation, die versuchte, das System der sozialen Schutz-Ausweise zu umgehen, so dass viele Wohnbauprojekte mit staatlichen Fördermitteln für Bedürftige errichtet wurden, in denen finanziell besser aufgestellte Familien oder zumindest Familien, die diese Subvention nicht unbedingt benötigt hätten, einzogen [2].

Die neue Wohnbaupolitik bietet zwar mehr Geld, fordert jedoch mehr Räume und vor allem auch mehr vollständige Räume beim Einzug der Familien. In vielen Fällen kam es deshalb trotz höheren Subventionen zu denselben Standards, die bereits in der Wohnbaupolitik von 2001 erreicht wurden. Nach

den bereits erwähnten Projekten entwickelte ELEMENTAL weitere soziale Wohnbauten, die sich seit 2006 innerhalb der neuen Wohnbaupolitik Chiles bewegen [2].

## 1-11.8 NEUERE PROJEKTE VON ELEMENTAL

### 1-11.8.1 Projekt Elemental Lo Espejo

Dieses Projekt umfasst Wohneinheiten für 30 Familien und befindet sich in Lo Espejo in Santiago de Chile. Eine gute Lage des Grundstückes mit adäquater Infrastruktur war vorhanden. Als Haustyp wurde derselbe wie in Iquique verwendet, allerdings mit einem Apartment von 6 x 6 m und einer Wohneinheit im Erdgeschoss von 6 x 12 m. Die beiden Wohneinheiten wurden durch eine massive Stahlbetondecke getrennt. Eine Erweiterung im unteren Geschoss wird durch die 12 x 6 m große Parzelle ermöglicht. Insgesamt können somit aus den initialen 36 m<sup>2</sup> wie in Iquique 72 m<sup>2</sup> entstehen. Da dies aber zu einer Verringerung der Belichtung und Belüftung der hinteren Räumlichkeiten führen würde, entschied sich das Team für einen Zubau, der als Wäschebereich definiert wurde. Im Laufe der Bauarbeiten suchten Familien um weitere Förderungen für die Konstruktion der Expansionen an, so dass sich die Bauarbeiter nach der Errichtung des eigentlichen Gebäudes unmittelbar der Errichtung der Erweiterungen widmen konnten. Das Projekt hatte für weitere Aufträge des Teams eine große Bedeutung, da gezeigt werden konnte, dass auch auf kleinen schmalen Grundstücken ein erfolgreicher sozialer Wohnbau entstehen kann [2].

### 1-11.8.2 Projekt Elemental Pudahuel

Ebenso in Santiago de Chile befindet sich dieses Projekt, welches ein Zuhause für 40 Familien bietet. ELEMENTAL entschied sich für dieselbe Haustypologie wie im Projekt in Renca, bei dem schmale Service-Module die Wohneinheiten voneinander trennen. In den Service-Moduln sind jeweils Küche, Bad, Toilette sowie das Treppenhaus zur Erschließung der oberen Geschosse untergebracht. Der Vorteil besteht darin, dass sich gebäudetechnische Ausstattungen wie Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsleitungen innerhalb dieser Module konzentrieren und somit zum einen die Leitungslängen reduziert wurden und zum anderen diese „empfindlichen“ Bereiche des Hauses kompakt, aber sicher untergebracht sind. Die neue Wohnbaupolitik schreibt vor, dass jedes soziale Wohnbauprojekt ein Gemeinschaftszentrum aufweisen muss. Die staatliche Finanzierung des Gebäudes sieht dafür 12 UF (ca. 400 US\$) pro Haushalt vor. Die erforderliche Baufläche für das Gemeinschaftszentrum entspricht der Hälfte der Anzahl an Wohneinheiten im Wohnbaukomplex. Eine Mindestgröße von 35 m<sup>2</sup> muss auf jeden Fall eingehalten werden. Bei diesem Projekt wären zwar nur 20 m<sup>2</sup> notwendig, die Mindestanforderung legt aber 35 m<sup>2</sup> fest. Es wurde ein flexibler Entwurf erarbeitet, der ein Gebäudekonzept des Gemeinschaftszentrums festlegt, welches einfach an unterschiedlich große Siedlungen angepasst werden kann und lediglich die Abmessungen variiert werden müssen. Das Gebäudekonzept an sich bleibt aber ident. Das Team entschied sich für zwei quaderförmige Elemente, wobei ein Quader schräg auf den anderen gelegt wird, um so einen Bereich mit größerer Raumhöhe zu generieren, ohne ein zweistöckiges Gebäude mit großem Fundamentierungsaufwand bauen zu müssen [2].

### 1-11.8.3 Projekt Elemental Lo Barnechea

Lo Barnechea stellt zwar eine der Gemeinden Chiles mit den höchsten Einkünften dar, weist aber zugleich sehr große Unterschiede in der Höhe der Einkommen zwischen unterschiedlichen Haushalten auf. Es gibt eine hohe Anzahl an besonders armer, in Slums lebender, Bevölkerung, zugleich aber auch Gebiete in denen zahlreiche Luxushäuser vorzufinden sind. Durch das Projekt sollen die Bewohner in

ihrer gewohnten Umgebung verbleiben, damit soziale und arbeitstechnische Netzwerke nicht zerstört werden. Die hohen Grundstückspreise in dieser Gegend erlaubten ein Slum-Upgrade nur auf demselben Grundstück auf dem sich die Bewohner bereits befanden. Der Baugrund musste dafür ausgetauscht werden, da die Bewohner Gruben für Abfall und als Kanalisationsersatz nutzten. Ein weiteres Problem stellte die Größe des Projektes dar, denn schließlich mussten 770 Familien ein neues Zuhause erhalten. Da eine Umsiedelung der Bewohner bei solch einer Größe nicht möglich war, entschied sich das Team für eine schrittweise Ertüchtigung des Baugrundes und schrittweisen Errichtung der Häuser. Diesem Prinzip folgend wurden nach und nach kleinere Abschnitte erneuert, die von Familien bezogen werden konnten, bevor der nächste Abschnitt begonnen wurde, so dass keine Zwischenumsiedelung beziehungsweise kein temporäres Camp fern ab der Baustelle notwendig war. Jedes Haus besitzt eine Grundfläche von 4,5 m x 6 m, ist dreigeschossig aufgebaut und weist einen Service- bzw. Infrastrukturbereich für Treppe, Bad und Küche auf. Anders als bei Projekten wie Renca oder Temuco wurde ein Schrägdach gewählt, welches die Fassadenfläche auf zwei Geschosse reduziert, trotzdem aber drei Geschosse ermöglicht. Es kann sogar das Dachgeschoss ausgebaut werden, welches dann einen dritten Schlafbereich darstellen kann. Der Gebäudekomplex selbst besteht aus je zwölf Häusern, die um einen Hof angeordnet sind. Durch diese Aufteilung erhält jedes dieser kleineren Gemeinschaften einen eigenen öffentlichen Bereich. Einen weiteren Vorteil bietet diese Lösung im Bezug auf eine bessere Kontrollierbarkeit des jeweiligen öffentlichen Bereiches und stärkt zugleich das soziale Netzwerk. Auch hier wurde ein Gemeinschaftszentrum im Prinzip der „Tilted Box“ errichtet [2][64].

#### 1-11.8.4 Projekt Elemental Monterrey

Anders als die vorangegangenen Projekte befindet sich diese Wohnanlage nicht in Chile, sondern in Nuevo León in Mexiko. In dieser Stadt gibt es eine eigene Wohnbaupolitik die sich Instituto de la Vivienda de Nuevo León nennt. Für das im Jahr 2007 gestartete Projekt standen 20.000 US\$ pro Haushalt zur Verfügung, wobei der Anteil an Subventionen 2.800 US\$ pro Familie betrug. Die Wohnhäuser wurden ähnlich jenen von Quinta Monroy geplant, allerdings in der Form, dass ein großer Gemeinschaftshof im Inneren des Gebäudekomplexes entstand. Anders als in Quinta Monroy wird jedes Haus komplett überdacht, so dass für die Erweiterungen keine Dachkonstruktionen mehr errichtet werden müssen. Das Projekt erlaubte die Reduktion der Häuserkosten auf in etwa die Hälfte im Vergleich zu den Häusern in der unmittelbaren näheren Umgebung. Zurückzuführen ist dieser Erfolg auf die höhere Bebauungsdichte. Dennoch flossen nur rund 20 Prozent der Gesamtkosten in die Konstruktion der Häuser, da das Grundstück in dieser Lage sehr kostenintensiv war. In den folgenden Jahren wird für das Siedlungsgebiet eine Wertsteigerung erwartet, wovon das gesamte Gebiet profitieren soll. Dadurch sollen höhere Standards im öffentlichen Raum und Zugang zu Arbeitsplätzen, medizinischen Versorgungseinrichtungen, Schulbildung sowie zu öffentlichen Verkehrsmitteln entstehen. Ein vollständig fertiggestelltes Haus der Siedlung wurde gelb bemalt Haus und dient als Musterhaus für die anderen Familien [2][64].

#### 1-11.8.5 Projekt MIR New Orleans

Dieses Projekt war für die Rekonstruktion der Häuser in New Orleans (Louisiana) nach dem Hurrikan Katrina geplant. Brad Pitt's Stiftung „Make It Right“ (MIR) beauftragte mehrere Architekten, um Entwürfe über ein Haus mit 167 m<sup>2</sup> zu erhalten. Die ansässigen Familien lebten in dieser Gegend zumeist in großen Häusern, um Zimmer an Verwandte oder ganze Bereiche des Hauses an andere Familien vermieten zu können. Das verfügbare Budget der Stiftung reichte allerdings nicht für ein ganzes Haus in der üblichen Größe, die von den Familien benötigte wurde. ELEMENTAL entschied sich für die inkrementelle Bauweise, so dass ein zweistöckiges, längliches Haus mit Veranda entstand, welches auf 270 m<sup>2</sup> ausgebaut werden kann. Die Tragstruktur wird von Stahlrahmen aus standardisierten Stahlprofilen gebildet, die nach New Orleans verschifft wurden. Die Veranda dient zuerst als Wetterschutz und kann

nach und nach für weitere Räume ausgebaut werden. Der Sinn dieses Prinzips ist es, eine Tragstruktur für ein größeres Haus herzustellen, welches anfänglich weniger kostet, aber nach Fertigstellung der Ausbaumaßnahmen einen deutlich höheren Immobilienwert aufweist. Die Größe des Hauses bietet zudem auch weiterhin die Möglichkeit Zimmer zu vermieten und dadurch Geld zu verdienen [2].

### 1-11.8.6 Projekt Villa Verde

Das Forstwirtschaftsunternehmen ARAUCO beauftragte ELEMENTAL im Jahr 2009 mit der Entwicklung eines Konzeptes, damit das Unternehmen ihren Forstarbeitern eine Unterstützung beim Bau deren Häusern leisten kann. Es sollte ein Beitrag des Unternehmens sein, damit Wohnbaukomitees diese Konzepte für Ansuchen an öffentliche Fördermittel verwenden können. Das Budget das zur damaligen Zeit zur Verfügung stand, betrug nach dem solidarischen Fond für Wohnbau (Fondo Solidario de Vivienda) bis zu 600 UF (ca. 25.000 US\$) für Subventionen ohne Kredite und bis zu 1.000 UF (ca. 40.000 US\$) für Subventionen mit Bankkrediten. Für ELEMENTAL war es durch die höheren finanziellen Mittel erstmals möglich, auch am Design zu arbeiten. Es gab zwei Möglichkeiten dadurch. Entweder eine bereits bekannte Lösung wurde nun – anstatt nur zur Hälfte – vollständig gebaut, oder es wird mehr Geld für eine verbesserte Ausführung verwendet, um sowohl die initiale als auch die endgültige Ausführung des Hauses qualitativ hochwertiger zu gestalten. Die meisten dieser geplanten Häuser sollten in Städten mit 10.000 bis 20.000 Einwohnern errichtet werden. Aufgrund der geringen Stadtgröße herrschen dort häufig die schlechtesten städtischen Standards vor. Ein Projekt in diesen Gebieten leistet dadurch einen wertvollen Beitrag, um die Lebensstandards einiger Menschen zu verbessern. Zugleich konnte eine Weiterentwicklung des inkrementellen sozialen Wohnbaus der unteren Standards hin zu einem mittleren Standard erreicht werden. Das Villa Verde Projekt umfasst 484 Wohneinheiten in Form von zweigeschossigen Reihenhäusern mit schrägen Dächern. Die anfängliche Wohnfläche von 57 m<sup>2</sup> weist hochwertige Innenoberflächen auf und kann auf 87 m<sup>2</sup> ausgebaut werden [2]. Das bedeutendste Merkmal dieser Häuser ist die beinahe vollständig ausgeführte Tragstruktur, die es ermöglicht, Erweiterungen einfacher ausführen zu können. Die Deckenbalken im ersten Obergeschoss sind bereits eingebaut und der Vergrößerungsbereich verfügt über ein komplett funktionsfähiges Dach. Im Untergeschoss wurde die Bodenplatte auch im Erweiterungsbereich ausgeführt. Die Tragstruktur des Hauses besteht aus Holzbalken- und Holzständerkonstruktion, die beidseitig beplankt wird. Im Zuge eines Workshops konnten die Bewohner lernen, wie sie die verbliebenen offenen Wände und die Decke fertigstellen können. Im Gegensatz zu Projekten im unteren Bereich des sozialen Wohnbaus sind hier bereits zu Beginn zwei Schlafzimmer fertiggestellt [2][64]. In Abbildung 1.13 sind die Häuser im fertigen Zustand abgebildet. Größtenteils wurden Erweiterungen bereits durchgeführt.



*Abbildung 1.13: Häuser des Projektes Villa Verde im teilweise erweiterten Zustand [64]*

## 1-11.9 PROJEKTE VON ELEMENTAL MIT VORFERTIGUNG

ELEMENTAL forscht seit 2008 auch an der Vorfertigung von Häusern für den sozialen Wohnbau. Ein Hauskonzept, welches zusammen mit einem italienischen Vorfertigungsunternehmen entwickelt wurde, ist das Milan-Haus. Das ursprünglich aus bewehrten Ziegelementen geplante Haus wurde in ein Paneelsystem aus Stahlbeton umgewandelt. Bauteildicken von 20 cm für die Wände und 25 cm für die Decken ermöglichten es auf Balken und Unterzüge zu verzichten und den ursprünglichen Strukturmodul von drei auf sechs Meter zu vergrößern. Eine Montage innerhalb von 24 Stunden war möglich [2][64].

Ein weiteres Haus im Sinne des Systembaus – genannt das E-Haus – basiert auf einem Infrastrukturmodul mit 1,5 x 7 m Abmessungen, welcher zwei Geschosse hoch ist. Er beinhaltet das Badezimmer, die Küche, das WC und die Treppen. Dieser Service- bzw. Infrastrukturmodul dient als Abstandhalter zwischen den Häusern, als Brandschutz- und als Schallschutzelement zugleich. Da sich die ärmsten Städte in den südlichen bzw. tropischen Bereichen der Erde befinden, ist meist nicht die Heizung, sondern die Kühlung der Häuser problematisch. Klimaanlage stellen im sozialen Wohnbau keine Alternative dar, so dass diesem Problem nur durch Verhinderung des zusätzlichen Wärmeeintrages in das Gebäude entgegnet werden kann. Um dies zu gewährleisten, muss entweder eine geeignete Beschattung oder die Möglichkeit einer Querlüftung vorliegen. Eine Beschattung verhindert den Wärmeeintrag über die Fassadenflächen und insbesondere jener der Verglasungen. Stehen in einem Raum mindestens zwei Öffnungen zur Verfügung, kann sich eine Querlüftung einstellen, die Wärme aus dem Raum abführt. Bei der Ausführung der Erweiterungen durch die Bewohner wird auf eine Querlüftungsmöglichkeit häufig nicht geachtet. Beschattungen werden hingegen häufig selbst adäquat erstellt. Das Konzept des E-Hauses garantiert eine ordentliche Querlüftung und führt Abluft im Bad, in der Küche und im Schlafzimmer angemessen ab. Vorteilhaft wirkt sich dieses Lüftungskonzept auch bezüglich der Abführung belasteter Raumluft aus. Ein weiterer Vorteil des E-Hauses besteht in den Abmessungen. Die Abstände zwischen den Gebäuden weisen Maße auf, die von gewöhnlichen Baumaterialien ohne große Verluste abgedeckt werden können. Auch bezüglich des Wasserbedarfs bietet das Haus eine sinnvolle Lösung. Das am Dach anfallende Regenwasser wird im oberen Bereich des Infrastrukturmoduls gesammelt und für die Toilettenspülung verwendet. Im Falle von Wasserversorgungsproblemen kann der Tank auch als Wasserreservoir dienen, der mittels Tankwagen gefüllt werden kann [2].

Das dritte Haus von ELEMENTAL, welches aus vorgefertigten Elementen besteht, nennt sich Aquädukt-Haus. Bei diesem Konzept werden Wasserversorgungsleitungen in einer bestimmten Höhe in hohlen Betonelementen geführt. Abwasser- und Stromleitungen werden wie gewöhnlich im Boden verlegt, allerdings innerhalb vorgefertigter Gehsteigelemente. Dieses System soll eine Infrastruktur aufbauen, welche auch einer künftigen Vergrößerung der Siedlung gewachsen ist. Das System bietet durch die saubere Leitungsführung ohne störende quergespannte Stromleitungen und dergleichen sogar Platz für Bäume, die das Wohngebiet verschönern und zugleich als Schattenspender fungieren. Zudem erlaubt es die Anbringung von Straßenbeleuchtungen am höher geführten Betonkanal. Dieser kann auch als Trennlinie zwischen untenliegender und darüber liegender Wohneinheit ausgebildet werden [2][64].

Als Notunterkünfte nach dem Erdbeben in Chile im Jahre 2010 wurde das Tecnopanel-Haus entwickelt. Es besteht aus vorgefertigten wärmeisolierten Paneelen, die zugleich auch tragende Funktion besitzen. Diese Paneele werden auch SIP (Structural Insulated Panel) genannt und können durch einfache Verbindungen rasch zu einem Haus zusammengebaut werden. Das System war auf einen geringen Ressourcenverbrauch ausgerichtet worden, so dass die Abmessungen und Zuschnitte auf die Abmessungen der Holztafeln ausgelegt waren. Die Häuser sind so konzipiert, dass sie später auseinandergelagert werden können und die Teile für die endgültigen Häuser wiederverwendet werden können [64][65].

## 1-11.10 SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR EINEN ERFOLGREICHEN SOZIALEN WOHNBAU

Aus den vorhin beschriebenen Projekten geht hervor, dass die Mitwirkung der Bewohner sowohl in der Planungs- als auch in der gesamten Bauphase für ein erfolgreiches Wohnbauprojekt im sozialen Umfeld unabdingbare Schlüsselfaktoren darstellen.

### 1-11.10.1 Soziale Aspekte

Die Kommunikation mit den Bewohnern eines Slums stellt einen der Schlüsselfaktoren im sozialen Segment dar. Eine hohe Beteiligung seitens der Bewohner wird durch ausreichend Information bezüglich wirtschaftliche, gesetzliche, technische, umweltbezogene und urbane Einschränkungen bzw. Randbedingungen des Projektes erreicht. Im sozialen Bereich führt oftmals eine Entscheidung zu Gunsten eines Aspektes zum Nachteil eines anderen, so dass vorher erst Entscheidungen getroffen werden müssen, welcher Aspekt von höherer Bedeutung ist. In diesem Entscheidungsprozess sollten die Bewohner beteiligt sein. Zum einen wissen die Familien genau, was für sie im realen Leben tatsächlich wichtiger ist und zum anderen wird ein Teil an Verantwortung auf die Bewohner übertragen. Damit diese sorgfältig über die einzelnen Alternativen entscheiden können, müssen sie über die Vor- und Nachteile der jeweiligen Entscheidungsgegenstände informiert werden. Ein weiterer wichtiger Punkt ist der Wissenstransfer im Bezug auf technische Aspekte und Kriterien für den Erweiterungsprozess. Laut ELEMENTAL kann dieser Beteiligungsprozess in eine Entwurfs-, Ausschreibungs-, Errichtungs- und Wohnungsphase eingeteilt werden [2].

In der Entwurfsphase geht es vor allem um die Planung der Wohneinheiten und um die Planung des Gesamtkonzeptes. Dieser Entwurf muss die örtlichen Genehmigungen einhalten, vom Wohnungsbauausschuss akzeptiert werden und eine Grundlage für das Ausschreibungsverfahren bilden. Um all diese Anforderungen zu erfüllen empfiehlt ELEMENTAL drei Workshops, bei denen die Familien mitwirken sollen. Im ersten Workshop sollen die Einschränkungen, die das Projekt betreffen erklärt werden. Im Zuge dieses Workshops sollen weiters auch die Verantwortlichkeiten der Beteiligten und die Finanzierung erläutert werden sowie ein Zeitplan für die weiteren Phasen des Projektes dargestellt werden. Die Familien sollen bei der Testphase der einzelnen Haustypologien mitwirken, damit sie selbst feststellen können, welche Haustypen für ihre Verhältnisse angebracht wären und welche die spezifischen Anforderungen nicht erfüllen würden. Können keine dieser Standardlösungen die relevanten Kriterien bzw. Bedürfnisse erfüllen, müssen neue, innovative Lösungen erarbeitet werden. Es sollen den Bewohnern auch sämtliche Kriterien und Randbedingungen näher gebracht werden, welche die Familien erfüllen müssen damit das Haus im Laufe der Zeit an Wert gewinnen kann. Hierbei ist es auch wichtig, dass projektspezifische Beschränkungen im Bezug auf topographische, klimatische und konstruktive Zustände angesprochen werden. Der zweite Workshop dient der Fortsetzung der in Workshop 1 erarbeiteten Rahmenbedingungen und Lösungsvorschlägen. Nun muss eine Lösungsstrategie gefunden werden, die für alle Bewohner geeignet ist und ein neues Zuhause für alle Familien erlaubt. Es empfiehlt sich, Modelle zu verwenden, um zu zeigen, welcher Hausteil von den Subventionen bezahlt und vorab errichtet wird, und welcher Hausabschnitt später von den Familien vervollständigt werden muss. Bei der Bekanntgabe der erarbeiteten Lösung ist es ratsam, nur die anfangs zur Verfügung stehende Raumanzahl anzugeben, da im Nachhinein jede Reduktion von versprochenen Quadratmetern für die Familien als nicht akzeptabel bzw. als unerfüllte Erwartung angesehen wird. In der Ausschreibungs- bzw. Angebotsphase kann sich noch einiges diesbezüglich ändern, besonders deshalb, da die Wohnfläche eine entscheidende Rolle bei den Angebotsverhandlungen spielt. In diesem Workshop sollen so viele Bewohner wie möglich zu Wort kommen und das Projekt kommentieren. Es ist deshalb wichtig, dass nicht nur Vertreter des Wohnungsbauausschusses zu Wort kommen, sondern auch Personen kleiner Gruppen der Gemeinschaft, damit eine größere Beteiligung entsteht. Im dritten Workshop der Entwurfsphase wird der finale Entwurf des Projektes dargestellt sowie auf die Anmerkungen und die Kritik der Bewohner eingegangen. Die Randbedingungen sollen ebenfalls genannt werden. Als Ergebnis dieses Abschnittes

soll eine Zustimmung aller Familien vorliegen, damit mit dem Projekt, den kommunalen Genehmigungen und dem Ausschreibungsprozess fortgefahren werden kann [2].

Die zweite Phase bildet die Ausschreibung an Bauunternehmen, deren Angebote offen legen, welche Teile der Häuser innerhalb der Subventionen ausgeführt werden können und welche von den Bewohnern selbst errichtet werden müssen. In dieser Phase müssen die vom Unternehmer zu errichtenden Wohnflächen und Ausführungen genau festgelegt werden. Zudem müssen auch die Ausführungen den urbanen Maßstab betreffend determiniert werden. Für ein besseres Verständnis kann eine tabellarische Aufstellung der Kosten pro Gegenstand dienen. Um die Kosten einhalten zu können, müssen oftmals Punkte der Ausschreibung geändert oder gestrichen werden. Innerhalb dieser Phase werden diese veränderten Punkte, die sich aus dem Angebot ergeben haben, in Art und Relevanz im Zuge eines Workshops erläutert. Die Familien sollten auf jeden Fall die Möglichkeit haben sich zu den Änderungen zu äußern und Vorschläge einzubringen. Eventuell können diese Alternativvorschläge angenommen werden oder strittige Punkte gestrichen werden. Am Ende der Ausschreibungs- und Angebotsphase ist von den Familien ein Dokument zu unterfertigen, welches bestätigt, dass sie mit den Modifikationen einverstanden sind [2].

In der Bauphase geht es nicht nur darum, dass der Wohnbaukomplex ordentlich ausgeführt wird, sondern auch um die Beteiligung und Schulung der Familien zur Erreichung der größtmöglichen Vorteile betreffend Haus und Umgebung. Dazu sollen sich Gruppen von Familien bilden, die später in einem nachbarschaftlichen Verhältnis stehen, welches sich durch die Anordnung der Häuser um einen gemeinschaftlich genutzten Freiraum ergibt. Die Bildung dieser Kleingruppen in der Bauphase fördert eine bessere Zusammenarbeit der Familien, was zu einer höheren Effizienz und Stärkung des Gemeinschaftssinns führt. In der Bauphase bieten sich drei weitere Workshops an. Workshops im Sinne von Baustellenbesuchen, Erweiterungs-Workshops und Workshops für gemeinschaftlich genutzte Freiflächen. Regelmäßige Baustellenbesuche verhindern das Aufkommen von negativen Überraschungen und zeigen den Bewohnern wie und in welcher Qualität ihre Häuser gebaut werden. Empfehlenswert sind solche Begehungen nach dem Aushub der Fundamente, wenn die Tragstruktur fertiggestellt ist, nach dem Einbau des Daches und zur Besichtigung des Musterhauses sofern ein solches vorgesehen ist. Der letzte Baustellenbesuch sollte nach der Fertigstellung der Häuser gemeinsam mit den Planern bzw. Architekten erfolgen. Ist es aufgrund der Anzahl der Personen nicht möglich alle daran zu beteiligen, ist zumindest die Teilnahme der Mitglieder der Subkomitees empfehlenswert. Im Erweiterungs-Workshop werden den Familien die technischen Aspekte des Hauses sowie die einzuhaltenden strukturellen und konstruktiven Randbedingungen der Erweiterungen dargelegt. Diese Randbedingungen legen auch die erlaubten und die verbotenen Baumaterialien fest, die eine Expansion ohne Risiko erlauben. Mögliche Anschlusspunkte, Verbindungsmöglichkeiten und die Herangehensweise an den Ausbau der ver- und entsorgungstechnischen Leitungen müssen ebenfalls Thema des Workshops sein. Nicht zu vergessen sind auch bauphysikalische Themenbereiche wie Belichtung, Belüftung, Heizung, Wärmeschutz und Feuchteschutz, die sowohl gesundheitstechnische als auch komforttechnische Aspekte darstellen. Im Zuge dieses Workshops sollten auch tägliche Aktivitäten und Alltagssituationen im neuen Zuhause durchgespielt werden sowie die Möglichkeiten wie die Unterbringung kleiner Geschäfte, Untervermietungen, etc. durchdacht werden. Der Sinn dieses Experiments besteht darin, dass dadurch vorzeitig auf Komplikationen reagiert werden kann und eine Umorganisation der Tätigkeiten möglich ist. Daraus kann auch eine Neuordnung der geplanten zu erweiternden Räume resultieren, bevor diese gebaut werden. In weiterer Folge empfiehlt sich die Darstellung der Möglichkeiten und Konsequenzen im Sinne der Ästhetik und architektonischen Sprache beim Ausbau der Häuser. Es geht diesbezüglich darum, die Menschen auf wertsteigernde aber auch wertmindernde Maßnahmen im Zuge des Ausbaus zu sensibilisieren. Die dritte Workshop-Kategorie bildet die Elaboration der Gemeinschaftsflächen. Es geht dabei die Nutzungsbedingungen auszuarbeiten, festzulegen, wo Kraftfahrzeuge geparkt werden dürfen, wie hoch Zäune sein dürfen oder wie die Bewohner für weitere staatliche Zuschüsse ansuchen können, um ihre gemeinschaftlich genutzten Flächen verbessern zu können. Ein entscheidender Punkt dabei ist, dass die Familien auch verstehen, dass sie durch ihr Zutun zur Gemeinschaft und zur Pflege der Umgebung einer Wertsteigerung oder einem Wertverlust der Siedlung bzw. deren Häuser beitragen. Zu guter Letzt ist ein Kodex auszuarbeiten, der festlegt, wie das Miteigentum geregelt wird. Dieses

Regelwerk muss vorschreiben wie bei Problemen bezüglich Straßenbeleuchtung, Abfallentsorgung, Reparaturen oder Instandhaltung der Gemeinschaftsflächen vorzugehen ist [2].

Die letzte Phase bilden der Einzug und die Nutzung der Häuser durch die Familien. In dieser Phase bedarf es eine Hilfestellung, um Familien die eine Unterstützung benötigten unter die Arme zu greifen. Bereits jetzt kann der Kodex der Miteigentümerschaft hilfreich sein. Stehen ausreichend Ressourcen für den Bau eines kompletten Hauses inklusive vollständiger Erweiterung zur Verfügung, bedarf es einer besonderen Unterstützung dieser Familie. Ziel ist es, ein ordentlich gebautes Musterhaus zu erhalten, welches anderen Familien bei deren Erweiterungen als Beispiel dient. Die starke Hilfestellung für die Familie des Musterhauses bedingt allerdings eine Zustimmung der Bewohner dieses Hauses, dass sie anderen Familien mit Rat und Tat zur Verfügung stehen und ihr erworbenes Wissen weitergeben. Im besten Fall bilden sich daraus spezielle Bauteams, die Erweiterungen durchführen können. Die Architekten erhalten die Rolle der Qualitätssicherung. Eine soziale Betreuung ist weiterhin notwendig, um den Zusammenhalt der Familien, die Beziehung zum Wohnbaukomitee und die Einhaltung der Regeln sicherzustellen. Diese strenge Regelüberwachung soll die gemeinschaftliche Zusammenarbeit sowie die Teilnahme der Familien an der Gemeinschaft sichern. Eine strikte Bindung an diese Vereinbarungen führt auch zu einer höheren Akzeptanz bzw. Gültigkeit der Regeln [2].

## 1-11.10.2 Strukturelle Aspekte

Im sozialen Wohnbau machen die Tragstruktur 70 bis 80 Prozent der Kosten aus, so dass es umso wichtiger ist, die Konstruktion ordentlich, effizient und mit Bedacht auf künftige Erweiterungen auszuführen. Im inkrementellen Wohnbau muss die Tragstruktur für das ganze Haus berechnet, ausgelegt und gebaut werden. Da die Sicherheit der Menschen stark von der ordnungsgemäßen Ausführung der Konstruktion abhängt und die Tragstruktur den kompliziertesten Teil darstellt, liegt es nahe, diese Struktur fachmännisch errichten zu lassen. Eine Auslegung der Tragfähigkeit auf das ganze Haus inklusive Erweiterungen ist erforderlich, da man nicht weiß, wie diese Erweiterungen ausgeführt werden. Somit muss der schlechteste mögliche Fall – das Worst-Case-Szenario – berücksichtigt werden. Der nächste entscheidende Aspekt in der Tragwerksplanung ist die Möglichkeit des „*harmonious growth*“ [2, S. 468], zu Deutsch, des harmonischen Wachstums. Bei einem Wohnbauprojekt, indem die Hälfte jedes Hauses nach und nach durch „Marke Eigenbau“ entsteht, gewährt eine wiederkehrende Struktur innerhalb der in Serien errichteten Häuser dem gesamten Projekt eine gewisse Qualität; sowohl den Häusern und der Umgebung jetzt als auch in der Zukunft. Eine Siedlung mit lauter vollständig fertiggestellten Häusern gibt keine Garantie, dass unerwartete Erweiterungen auftreten oder dass Acht auf die Ästhetik genommen wird. Im Gegensatz dazu bietet ein vorgegebenes, halbes Haus einen Rahmen, innerhalb dessen individuell erweitert werden kann. Möglicherweise generieren diese stets wiederkehrenden Strukturen eine Wertsteigerung der Häuser, da sie keine bloße Monotonie, sondern auch architektonische Vielfalt durch gezielte Zubauten erlauben. Diese vorgegebene Struktur wird bestenfalls durch massive Wände gebildet, da sie im Vergleich zu Skelett- oder Rahmenkonstruktionen die größte Kapazität für eine determinierte Fassade bietet und es wahrscheinlicher ist, dass Massivbauten als Systemrahmen für individuelle Eingriffe akzeptiert werden [2].

ELEMENTAL sieht drei Strategien im Fall von Ressourcenknappheit – wie dies im sozialen Wohnbau der Fall ist – als mögliche Lösungen an. Einerseits die Priorität auf die Tragstruktur zu legen und andererseits eine inkrementelle Bauweise auszuwählen. Die dritte Möglichkeit Ressourcen einzusparen liegt in der Reduktion der Bauzeit. Für gewöhnlich benötigen die Ausbaumaßnahmen im Bauwesen die meiste Zeit. Im sozialen Wohnbau – wo der Fokus mehr auf die Tragstruktur und weniger auf den Ausbau gelegt wird – kann somit viel Zeit gespart werden. Im Gegensatz zur verbreiteten Meinung, dass eine Reduzierung der Kosten zu geringerer Qualität führen würde, kann eine Verkürzung der Bauzeit zur Reduktion der allgemeinen Kosten des Bauunternehmens und der Betriebskosten auf der Baustelle beitragen, die keine Verschlechterung der Qualität nach sich zieht. Ein weiterer Aspekt bezüglich Zeiteinsparung spricht die Umsiedelung der Familien in Zwischencamps an. Eine Verkürzung der Bauzeit bedeutet auch eine Verringerung der Zeit, die Menschen in temporären Camps oder Notunterkünften

verbringen müssen. Oftmals herrschen in zwischenzeitlichen Quartieren noch verheerendere Zustände. Um der allgemeinen Ressourcenknappheit (Geldmittel, Baumaterial, etc.) entgegen zu wirken, können Vorfertigung und die Verwendung von standardisierten, in Massen produzierten Elementen herangezogen werden. Es liegt also nahe, auch im inkrementellen Bauen vorgefertigte Elemente in der Konstruktion einzusetzen. Vorfertigung spart zum einen Zeit und zum anderen gewährt es dem Komplex eine harmonische Entwicklung über die Zeit je öfter sich das System wiederholt. Der dritte Aspekt, warum eine Vorfertigung der Konstruktion vorteilhaft erscheint, ist die Qualitätskontrolle der Bauteile im Werk. Dennoch wird Vorfertigung oftmals mit negativen Punkten wie Monotonie und Mangel an Individualismus assoziiert. Eine Auflösung dieser Vorwürfe, indem Systembauten je nach Wunsch den Individuen angepasst werden können, geht meist mit höheren Kosten und der Reduktion der Effizienz des Systems einher. Gerade der Mangel an Ressourcen wirkt diesen Nachteilen in Form der inkrementellen Bauweise entgegen. Die erste Hälfte des Hauses kann effizient und mit in Serie produzierten Elementen erfolgen, während die zweite Hälfte Raum für individuelle Wünsche offenlässt. Wurde die Tragstruktur auf das ganze Gebäude ausgelegt, steht einer individuellen Erweiterung im Rahmen des Systems nichts im Wege und führt zu einer hohen Vielfalt des Komplexes [2].

### 1-11.10.3 Architektonische Aspekte

Eines der wichtigsten Aspekte im sozialen Wohnbau ist die Betrachtung der Häuser als Investment und nicht bloß als sozialer Kostenaufwand. Im Gegensatz zum meist erwähnten Mangel an Größe und qualitativer Ausführung der sozialen Wohnhäuser, kann eine Qualitätssteigerung, anstatt durch höhere Ausführungsqualität und höherer Quadratmeterzahl, auch durch die Fähigkeit eines Hauses mit zunehmender Zeit einen höheren Immobilienwert zu erzielen, erreicht werden. Die Realität sieht im sozialen Wohnbau meist anders aus – ein Haus ähnelt einem Auto und verliert Tag für Tag an Wert. An diesem Punkt müssten Stadtplaner, Architekten, NGOs, Regierungen und Behörden ansetzen. ELEMENTAL ist es gelungen, seine Häuser so zu konzipieren und auszuführen, dass der Wert der Häuser nach erfolgreicher Erweiterung ihrer in inkrementellen Strategie errichteter Wohnkomplexe sich erhöht. Da Familien nur einmal im Leben eine staatliche Wohnbauförderung erhalten, ist es umso wichtiger, dass dieses Kapital sinnvoll verwendet wird und nicht in Häuser investiert wird, die kurze Zeit später einen Bruchteil des Immobilienwertes nach Fertigstellung aufweisen. Eine Wertsteigerung der Wohneinheiten ist somit ein Schlüsselfaktor zur Überwindung der Armut der betroffenen Familien. Einerseits muss dazu eine gut durchdachte Politik dahinterstehen, damit staatliche Fördermittel sinnvoll genutzt werden und andererseits müssen Lösungen entwickelt werden, die eine Wertsteigerung ermöglichen und Quantität mit Qualität verbinden. Eine im Wert steigende Immobilie ist zudem ein Indiz dafür, dass die Familie mehr Geld zur Verfügung hat, um ihr Haus verbessern bzw. erweitern zu können. Die Strategie bezieht sich auf den Bau eines halben, jedoch guten, anstatt eines ganzen kleinen Hauses. Die ärmsten Familien haben meist keine Ersparnisse aufzuweisen, noch können Sie Kredite regelmäßig zurückzahlen. Für sie stehen nur die finanziellen Mittel der staatlichen Fördermittel zur Verfügung. Können Bauunternehmen nur aus diesem geringen Kapital für den Bau eines Hauses schöpfen, kaufen diese kostengünstigen Grundstücke am Stadtrand und reduzieren die Hausgröße und die Ausführungsqualität auf ein Minimum. Abgeschieden in der Peripherie verschärft sich die finanzielle Situation der Familien meist noch mehr. Steht hingegen ausreichend Geld zur Verfügung, sind Behausungen im Mittelklassestandard bis zu 80 m<sup>2</sup> möglich. Angesichts dieser Problematik liegt es nahe besser ein kleines Haus als Teil eines Mittelstandardhauses zu errichten und dabei jenen Teil der Konstruktion auszuführen, welchen die Familien alleine ohne professionelle Hilfe nicht adäquat erbauen können. Diese kleinere Haushälfte soll dafür qualitativ hochwertiger ausgeführt werden und den Familien eine gute Ausgangssituation für eine spätere Erweiterung bieten [2]. Um eine Wertsteigerung möglich zu machen, hat ELEMENTAL fünf Faktoren identifiziert, damit mit denselben zu Verfügung stehenden Mitteln ein Haus adäquat errichtet werden kann und im Laufe der Zeit an Wert gewinnen kann [2]:

- **Gute Lage des Grundstückes innerhalb der Stadt:**

Eine entsprechend vorteilhafte Lage hat eine entscheidende Auswirkung auf den Wert eines Hauses. Zudem bietet die Stadt ein Netzwerk an Möglichkeiten wie Arbeitsplätze, Schulbildung, Gesundheitsversorgung, Kinderbetreuung und so weiter. Aus diesen Möglichkeiten und der hohen Wahrscheinlichkeit einer Wertsteigerung besteht die Möglichkeit, dass die Familien ihre Armut überwinden. Werden Familien an den Stadtrand abgeschoben, verlieren sie zumeist ihre Jobs und auch ihr soziales Netzwerk, wodurch sich die Situation weiter verschlimmert. Um gute Grundstücke innerhalb der Stadt mit den geringen staatlichen Subventionen erwerben zu können, ist eine hohe Bebauungsdichte erforderlich. Diese hohe Dichte darf aber nicht Grund für das Entstehen sozialer Konflikte der Bewohner untereinander sein. Jede Wohneinheit muss direkten Zugang zum Gelände haben. Um all diese Aspekte zu berücksichtigen und auch noch ein Wachstum der Wohneinheiten mit der Zeit zu ermöglichen, haben sich niedriggeschossige Wohnhäuser bewährt, damit eine Übervölkerung ausgeschlossen werden kann [2].

- **Harmonisches Wachstum mit der Zeit:**

Wenn nur wenig Kapital vorhanden ist, bietet sich die inkrementelle Bauweise an. Es besteht aber die Gefahr einer willkürlichen Erweiterung der Häuser, so dass die Sicherheit der Bewohner gefährdet wird und es zu einer Verschlechterung der Wohngegend kommt. Dies wiederum reduziert den Wert der Häuser. Um dieser Gefahr entgegen zu wirken, muss ein Rahmen geschaffen werden, innerhalb dessen ein Haus gezielt erweitert werden kann. Dazu erscheint eine offene Gebäudestruktur in massiver Bauweise als am besten geeignet. Für eine gleichmäßige, ins Stadtbild passende Fassadenoptik ist die Wahl der Lage der Häuser auf den Parzellen maßgebend. Eine Kostenreduktion kann durch Vorfertigung, Modularisierung und Wiederholung von Elementen erzielt werden. Im Gegensatz zu den stark kritisierten sozialen Wohnbauten, die nicht in der Lage waren auf individuelle Bedürfnisse einzugehen und den ebenfalls im Feuer der Kritik stehenden monoton wirkenden Serienhäuser, bietet die inkrementelle Bauweise eine gute Lösung. Die vorgegebene Rahmenstruktur der sich wiederholenden Fassaden der initialen Häuserhälften verhindert ein unvorhergesehenes äußeres Erscheinungsbild der Häuser. Der monotonen Serienbauweise wirken die selbst zugebauten Lücken in den Wohneinheiten entgegen. Der Selbstbau ist somit keine Gefahr, sondern eine Lösung, solange er sich im vorgegebenen Rahmen bewegt [2].

- **Gemeinschaftsflächen für ein soziales Netzwerk:**

Ein gut funktionierendes soziales Netzwerk ist für arme Familien besonders von Bedeutung, um sich gegenseitig helfen zu können. Die Betreuung der Kinder durch Großeltern, Freunden oder Nachbarn ist entscheidend für den Wohlstand einer Familie. Fällt diese Möglichkeit aus, muss einer der Eltern für die Obhut der Kinder zuhause bleiben, wodurch jedoch das Haushaltseinkommen geringer ausfällt und sich die finanzielle Situation deutlich verschlechtern kann. Deshalb ist es umso wichtiger, dass ein bestehendes Netzwerk aufrecht erhalten wird. Ein Mittel um dieses Netzwerk zu fördern liegt im Vorhandensein eines öffentlichen, gemeinschaftlich genutzten Raumes innerhalb des Wohnkomplexes. Das Stadtgefüge, in welchem ein Sozialbau eingerichtet wird, bietet häufig nur öffentlichen Raum in Form von Straßen und privaten Raum in Form von Wohnungen. Es ist aber äußerst wichtig auch Raum für Plätze für gemeinschaftliche Aktivitäten, Parkplätze, Kinderspielplätze und Grünflächen vorzusehen. Eine Gemeinschaftsfläche, der bis zu 20 Personen zugehören können, hat sich in der Praxis als vorteilhaft erwiesen, da dies eine Personenanzahl darstellt, bei der noch Vereinbarungen getroffen werden können. Eine rechteckige Form des Gemeinschaftsbereiches hat sich ebenso bewährt, da er seitlich Platz für Parkplätze bietet, aber in der Mitte dennoch Platz für Kinder zum Spielen oder anderen Aktivitäten vorhanden ist. Im Idealfall wird die Fläche frei von Leitungen belassen. Die Führung von Energieversorgungsleitungen entlang von Fassaden oder von Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsleitungen im Untergrund ist deshalb vorzuziehen. Dies erlaubt zudem auch eine intensivere Bepflanzung des Bereiches [2].

▪ **Errichtung der komplexeren Haushälfte zuerst:**

Es muss genau überlegt werden, welche Hälfte des Hauses mit den geringen finanziellen Mitteln gebaut werden soll. Die erste Hälfte sollte alle Elemente beinhalten, die für die Familien schwieriger zu errichten sind. Dazu gehören die Tragstruktur, Brandwände, das Dach sowie Infrastrukturelemente wie Küche, Badezimmer und Treppen. Im sozialen Wohnbau werden in etwa 70 Prozent der Kosten auf die Tragstruktur verbucht, so dass diese an oberster Stelle der Prioritätenliste stehen muss. Eine genaue Planung, wie die Familien die zweite Hälfte errichten können, muss vorgenommen werden. Damit die Erweiterung kostengünstig, einfach und auch sicher auszuführen ist, muss ein Konzept erstellt werden. Es hat sich bewährt zuerst das ganze Haus zu planen, festzustellen, welche Teile einfach und welche komplexer sind und danach zu entscheiden, welche Elemente innerhalb der Förderung errichtet werden können. In offenen Gebäudestrukturen sind ausreichend große Lücken und damit Platz für Vergrößerungen vorhanden. Um zufolge von Erweiterungen innerhalb dieser Lücken einen Mittelklassestandard von ca. 80 m<sup>2</sup> zu erreichen, sind ausreichend große Lücken vorzusehen, die aber dennoch klein genug sind, um sie mit gängigen Abmessungen der Baumaterialien ausfüllen zu können. Nach den Erweiterungen, die in etwa 30 Prozent der Baukosten der ersten Haushälfte betragen sollen, weist das Haus einen Wert auf, der die Summe der Kosten der beiden Haushälften deutlich übersteigt [2].

▪ **Forcierung eines Mittelklassestandards der Häuser:**

Auch wenn die Vorgaben der Ursprungsgröße der Häuser sehr klein festgelegt sind, sollte das Konzept des Hauses nicht zwanghaft versuchen alle geforderten Räume unterzubringen. Dies führt nämlich dazu, dass alle Räume so klein ausfallen, dass trotz Erweiterung kein Mittelklassestandard erreicht werden kann, da ein Umbau der kleinen Räume einen unverhältnismäßig großen Aufwand verursacht. Deshalb sollten besonders kompliziertere Bereiche wie Bäder oder Küchen bereits zu Beginn eine Größe aufweisen, die einem Mittelklassehaus entsprechen. Werden Badezimmer zu klein ausgeführt, bei einer Vorgabe von 25 m<sup>2</sup> des ursprünglichen Hauses entspricht die Badezimmergröße zumeist 1,2 x 1,2 m, besteht die Gefahr, dass Duschbereiche so klein sind, dass beim Duschen durch Spritzwasser eine ungewollte Überschwemmung des Bodens nicht ausgeschlossen werden kann. Daraus können schlimmstenfalls Bauschäden aber zumindest Ärger mit Bewohnern der darunter liegenden Wohneinheiten entstehen. Andererseits ist ein nachträglicher Einbau einer Badewanne kaum möglich. Eine weitere oft verbreitete Praxis ist die Positionierung der Nassräume nahe dem Eingangsbereich, damit Leitungslängen eingespart werden können. Küchen sollten die Möglichkeit einer Abtrennung zu den anderen Räumen hin aufweisen und Schlafzimmer sollten Platz für Schränke und große Betten bieten. Zudem muss eine sichere Parkmöglichkeit eingeplant werden. Es kommt für die Familien meist nicht darauf an wie groß ein Haus zu Beginn ist, sondern auf die Größe, die durch Erweiterung erzielt werden kann. In die Entscheidungen bezüglich der Ausstattung sind die Bewohner einzubeziehen, da eine Wahl zugunsten des einen meist den Verlust eines anderen Gegenstandes bedeutet. Eine Mitwirkung der Bewohner im Bauprozess ist ohnehin zu forcieren [2].

## 1-12 SCHLÜSSELFAKTOREN FÜR EIN SLUM-UPGRADE

---

Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse aus den Studien der sozialen Wohnbauprojekte in informellen Siedlungen zusammengefasst. Zahlreiche Projekte in der Geschichte scheiterten. Aus den Fehlern vergangener Projekte können einige Schlüsse gezogen werden, so dass für ein erfolgreiches Slum-Upgrade im Bereich des sozialen Wohnbaus folgende Aspekte zu berücksichtigen sind:

- niedriggeschossige aber dichte Bebauung,
- Besitzsicherheit garantieren,
- Einbeziehung der betroffenen Bewohner,
- auf Finanzierung und finanzielle Lage der Bewohner achten,
- wirtschaftliche Betriebe fördern, Arbeitsplätze bieten,
- Zusammenarbeit mit dem Staat, den Ministerien und Organisationen,
- Wachstumsrahmen vorgeben,
- Gebiete in der Peripherie meiden – Grundstücke mit guter Infrastruktur,
- Slum-Upgrade vor Ort bevorzugen – soziales Netzwerk erhalten,
- Workshops für Bau- und Erweiterungen vorsehen,
- Infrastruktur einbeziehen,
- Siedlungskonzept mit Freiflächen und Privatgärten vorsehen,
- Die vier Ebenen „Stadt“, „Viertel“, „Community“ und „Haus“ betrachten,
- Bewohner über Entscheidungen informieren und begründen,
- bei Kompromissen gemeinschaftlich eine Lösung erarbeiten,
- Bewohner auf Folgen ihres künftigen Handelns hinweisen (wertsteigernd/wertmindernd) und einfache Erweiterungsmöglichkeiten vorsehen.

Die genannten Aspekte unterliegen keinem Anspruch auf Vollständigkeit und müssen nicht zwangsläufig zum Erfolg des Projektes führen. Wie sich in den erläuterten Beispielen gezeigt hat, liegen von Stadt zu Stadt, von Slum zu Slum und von Familie zu Familie unterschiedliche Ausgangssituationen, Strukturen und Bedürfnisse vor, so dass eine detaillierte Untersuchung der jeweiligen Gegebenheiten erforderlich ist. Ebenso geht hervor, dass die Einbeziehung der Bewohner einen der wichtigsten Faktoren darstellt. Die Betrachtung aller Maßstäbe der Stadt ist auf jeden Fall ratsam, um vorhandene und fehlende Netzwerke zu erkennen. Da – wie in diesem Kapitel bereits ausführlich erläutert – im sozialen Wohnbau häufig nur geringe Geldmittel zur Verfügung stehen und oftmals ein akuter Wohnungsmangel herrscht, ist es sinnvoll, auf Baumethoden zurückzugreifen, die diesen Anforderungen gerecht werden. Die Vorfertigung und die Modulbauweise bieten diesbezüglich die Möglichkeit, kostengünstig und rasch Wohnräume zu schaffen. Im folgenden Kapitel wird nun auf die Modulbauweise näher eingegangen. Zunächst erfolgen eine Einführung und eine historische Betrachtung der Bausysteme. Daraufhin werden die Modulbauweise mit ihren Charakteristika und Eigenschaften sowie die unterschiedlichen Bauweisen mit flächenförmigen Elementen näher erläutert. Der Fokus liegt dabei auf den Holzbauweisen.

## KAPITEL 2: MODULBAU

Dieses Kapitel dient der Schaffung eines Überblicks über die Modulbauweise, die der Systembauweise zuzuordnen ist. Es gibt verschiedene Bezeichnungen und Untergruppen im Bauen mit Systemen, die aber alle eines gemeinsam haben: das Bauen von im Werk vorgefertigten Elementen. In weiterer Folge wird die historische Entwicklung der Bausysteme betrachtet und anschließend die derzeit angewandten Systeme genauer analysiert. Im Abschnitt 2-4.4 wird der Konnex zur Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz hergestellt, in der letztendlich Häuser für den sozialen Wohnbau und auch zur Verbesserung von informellen Siedlungen gebaut werden sollen.

### 2-1 EINSTIEG IN DEN MODULBAU IM BAUWESEN

---

*„Das Bauen mit vorgefertigten Systemen bedeutet, vorgeformte Bauteile oder Module zu produzieren und einzusetzen, um den Bauprozess effizienter zu gestalten. Das umfasst maßliche Raster, hohe technische Standards, niedrige Kosten und den wiederholten Einsatz bestimmter Bauteile oder Produkte.“ [3, S.7].*

Der Begriff Modulbau lässt sich am einfachsten mit einem Baukastensystem vergleichen. Im Holzbau werden dazu vorgefertigte flächenförmige Elemente oder Raummodule verwendet.

#### 2-1.1 BEGRIFFSDEFINITION

Als Überbegriff aller Bauweisen mit vorgefertigten Systemen kann der Begriff „Systembau“ verwendet werden. Der Begriff „Modul“ kann in sehr breitem Umfang verstanden werden, denn sowohl ein Ziegelstein aus der Zeit 7500 vor Christus kann als „Modul“ angesehen werden wie auch eine vollständig im Werk hergestellte Raumzelle. Als Module können somit einzelne, vereinheitlichte Teile bzw. standardisierte Einheiten aufgefasst werden, welche zu einer großen, gesamten Einheit zusammengefügt werden. Module können aber auch als komplexere Elemente, die aus mehreren Teilen bestehen, verstanden werden (wie zum Beispiel ein vollkommen vorgefertigtes Fassadenmodul). Der Unterschied zwischen Modul und Element besteht darin, dass Module Baueinheiten darstellen, die auf das modulare Raster ausgelegt sind, während Elemente differenzierter aufgebaut sind und keinem strikten Raster unterliegen müssen. Die dritte Möglichkeit bildet die Fügung der Elemente zu kompletten Raumzellen (Raummodule). Der eigentliche Begriff „Modul“ bedeutet übersetzt aus dem lateinischen Wort „*modulus*“ das Maß – es ist also auch ein Maßsystem [3]. Eine weitere Erläuterung bietet der Begriff „Modularität“, der auch mit Baustein- oder Baukastenprinzip bezeichnet wird. „*Modularität ist die Aufteilung eines Ganzen in Teile, die als Module, Komponenten, Bauelemente oder Bausteine bezeichnet werden*“ [67].

Unter Modularität wird auch die spezifische Beziehung zwischen Komponenten eines Systems und dem gesamten System verstanden. Ist ein System modular aufgebaut, besteht es aus kleineren Bauteilen – auch Module genannt – die nach einem bestimmten festgelegten Muster zusammengefügt werden können. Jedes dieser Module verfügt über standardisierte, zum Gesamtsystem passende Schnittstellen, die es ermöglichen, die Komponenten in das Gesamtsystem zu integrieren. Ein weiteres Merkmal eines Modulsystems ist die Verschachtelung bzw. die Möglichkeit, komplexe Details in einem Modul zu verschachteln, so dass nach außen hin eine geordnete Struktur ersichtlich ist [68]. Russell A. L. spricht

diesbezüglich auch von einer Art „*black-box*“ [68, S.257]. Somit können komplizierte und vorhin unübersichtliche Strukturen vereinfacht und strukturiert werden. Durch die Schnittstellenarchitektur wird eine Austauschbarkeit der Module im „*plug-and-play*“ Verfahren ermöglicht, was zu einer Steigerung der Flexibilität führt [68, S.258]. Daraus könnte man ableiten, dass die Modulbauweise nichts anderes ist, als ein Managementsystem, das es erlaubt, eine komplexe Gebäudestruktur in kleinere, einfach zu überschauende Komponenten zu gliedern, welche dem Managementsystem folgend entsprechend zusammengefügt werden können [68].

### 2-1.1.1 Die „Entstehung“ der Modularität

Vor allem in den 20er-Jahren entstanden in Amerika zahlreiche neue Ideen zur Rationalisierung, Mechanisierung und Systematisierung, mit dem Ziel, eine Ordnung und Kontrolle in einem System zu schaffen. Zu den großen Vorreitern dieser Zeit zählen auch Henry Ford mit seiner Fließbandproduktion und Frederick Winslow Taylor mit seinem Managementsystem von Arbeitsabläufen. In dieser „Bewegung“, mit dem Ziel der Steigerung der Wirtschaftlichkeit, zeigte sich, dass gerade die Bauindustrie starke Rückstände aufwies. Die Branche hatte mit ineffizienten Managementstrukturen und Bauverfahren, unregelmäßigen Beschäftigungsverhältnissen und hohen Abfallaufkommen zu kämpfen. In den Nachkriegsjahren des Ersten Weltkrieges bestand ein großer Bedarf an Wohnungen, doch die kränkelnde Bauwirtschaft konnte den Bedarf an kostengünstigen, aber qualitativ dennoch hochwertigen Unterkünften nicht erfüllen. Trotz des großen Fortschrittes in Bereichen der Wissenschaft, Technik und des Managementsystems hinkte die Bauindustrie weit hinterher. In den 20er- und 30er-Jahren gab es mehrere Vorschläge, um die Probleme der Branche zu lösen. Es sollten auch hier strukturierte, organisierte und technologische Strategien eingesetzt werden, mit dem Ziel, eine Standardisierung und Vorfertigung von Bauteilen in Fabriken zu erreichen. Einer der die Standardisierung besonders befürwortete und unterstützte, war der amerikanische Industrielle und Bauingenieur Albert Farwell Bemis. Nach dem Ersten Weltkrieg gründete er eine Dachgesellschaft (Holding) für mehrere Betriebe, die Baumaterialien herstellten. Sein Beharren auf eine branchenweite Änderung des vorherrschenden Systems begründete seine Faszination und sein starkes Bedürfnis die Baubranche fortschrittlicher zu machen. Es sollte eine Reduktion von Baustellenabfällen, eine Kostensenkung und eine Steigerung der Effizienz erreicht werden. Er forderte, dass Produzenten von Baumaterialien, Architekten und Bauarbeiter zusammenarbeiten und dabei einen gemeinsamen, branchenweit gültigen Standard für Baustoffabmessungen festlegen bzw. einhalten [68]. Bemis entwickelte dazu ein kubisches Modul, welches er „*four-inch cubical module*“ nannte [68, S.264]. Sein Konzept darüber ist in Abbildung 2.14 dargestellt.

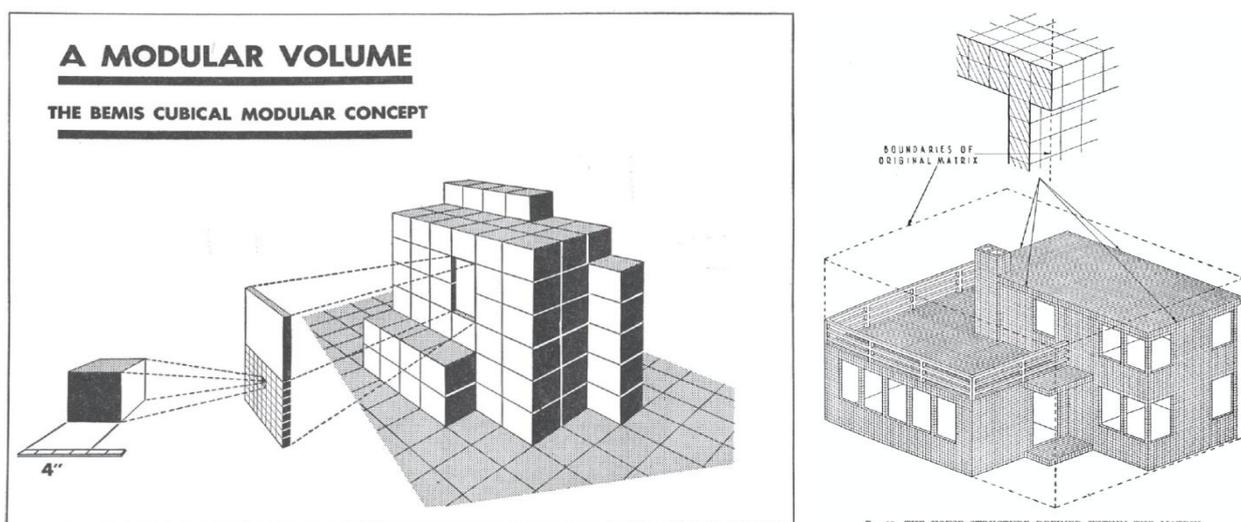


Abbildung 2.14: links: Bemis' kubisches modulares Konzept [68], rechts: Ein Haus innerhalb der Matrix, welche aus 4 Zoll Würfeln aufgebaut ist [68]

Im Gegensatz zu zweidimensionalen Modulsystemen beruht sein Konzept auf 4 Zoll – im metrischen System in etwa 10 cm – kleinen kubischen Modulen. In seinen Entwürfen entsprach 1M genau 4 Zoll, 3M 12 Zoll, 9M 36 Zoll und so weiter. Die Drei-Dimensionalität seines Modulsystems soll seiner Meinung nach besser für die Praxis geeignet sein, da alle Bauteile wie Wände, Decken, Fenster, Türen, etc. auf diesem Standardmaß aufbauen können. Das kubische Modul soll eine Einheit zur Gestaltung von Bauteilen sein, nach denen sich das Gebäude richtet. Das Gebäude selbst wird jedoch nicht aus diesen Modulen gebaut, sondern aus den Bauteilen, die diesem Maßsystem folgend hergestellt worden sind. Die Entscheidung das 4-Zoll-Maß anzuwenden begründet sich auf die hohe Flexibilität. Ein kleineres Maß würde zu mehr Bauteilen mit unterschiedlichen Abmessungen führen und bei einem größeren würde Flexibilität verloren gehen. Für Bemis war es keine magische Zahl, er richtete sich jedoch nach üblichen, vorhandenen Baumaterialien. Da der größte Teil der amerikanischen Häuser in Holzrahmenbauweise hergestellt wurde, waren die Abmessungen der Bauweise und des Materials Holz für die Wahl des 4-Zoll-Maßes verantwortlich. Vier Zoll war der größte gemeinsame Teiler der Bauweise. Sein Konzept war jedoch nicht nur eine Maßordnung, sondern bildete auch die Grundlage eines ideologischen, organisatorischen und sozialen Vorschlags, um die damaligen schlechten Zustände der Wohnungs- und Baubranche verändern zu können. Dabei umfasste sein Lösungsvorschlag sowohl die Gestaltung von Gebäuden und Bauteilen, über die Fertigung bis hin zur Montage der Komponenten vor Ort. Ein Pfeiler, auf dem sich sein Konzept stützt, ist die Kostensenkung des Bauprozesses, indem er Arbeitsvorgänge vom unkontrollierten Umfeld der Baustelle in effiziente Fabriken verlagern wollte. Es sollten Kosten sinken, Löhne für die Arbeiter steigen und dadurch die Kaufkraft steigen, so dass sich Arbeiter Häuser im neuen modularen Konzept leisten können. Im Gegensatz zu seinen Zeitgenossen und auch Nachfolger, die sich mit den Ideen der Vorfertigung befassten, unterscheidet sich Bemis durch sein Konzept, welches auch eine soziale Komponente beinhaltet. Nach seinem Tod 1936 gründeten seine Weggefährten und Erben eine industrielle Handelsgruppe („The Modular Service Association“) und eine Stiftung („Albert Farwell Bemis Foundation“) als eine Art Patron der Forschung im Gebiet des Bau- und Wohnungsmarktes. Im Jahr 1938 kam es unter der „American Standards Association“ (A62) zur Koordinierung von Dimensionen von Baustoffen und Ausstattung. Aufgrund des Zweiten Weltkrieges konnte der erste A62-Standard „Basis for the Coordination of Dimensions of Building Materials and Equipment“ erst im Jahre 1945 festgelegt werden. Später kam ein Leitfaden für die Anwendung des Standards heraus, der Bemis gewidmet war. In den folgenden Jahren wurden weitere zahlreiche Standards von Baustoffen und technischen Ausstattungen veröffentlicht. Diese Standards waren zwar keine Gesetze und somit nicht bindend, sollten aber Bauunternehmen und Architekten von der Einhaltung gewisser Standards überzeugen. 1957 verabschiedete der US-Kongress ein Wohnungsgesetz, welches Anforderungen an die modulare Praxis im Wohnungsbau stellt. 1958 wurde diese Forderung auch auf den Krankenhausbau erweitert. In den 1950er- und 1960er-Jahren sind weltweit viele modulare Standards entwickelt worden. In Großbritannien versuchte man durch modulare Koordination Europa und Großbritannien näher zu verbinden. Auch im asiatischen Raum, in den USA, Südamerika und Europa wurden die Vorteile einer modularen Koordination verbreitet. Danach allerdings entdeckten Vorfertigungsunternehmen den Begriff der Modularität für sich, assoziierten damit aber nicht denselben Grundgedanken, wie ihn Bemis hatte. Bemis wollte durch die Entwicklung des 4-Zoll-Moduls nicht nur die Bauindustrie, sondern auch die Gesellschaft umformen. In den 70er-Jahren wurde der Begriff mehr und mehr als Werbemittel für Vorfertigungsunternehmen. Anstelle ein „offenes Bausystem“ zu verwenden, bei dem Bauteile, die nach dem standardisierten kubischen Modul hergestellt wurden, flexibel ausgetauscht werden konnten, entschied sich die Industrie oftmals für „geschlossene Bausysteme“. Diese Systeme waren genau auf das jeweilige Unternehmen zugeschnitten, so dass nur Bauteile desselben Unternehmens verbaut werden konnten. Auch der Schweizer Architekt Le Corbusier entwickelte ein Modulsystem – genannt „Le Modulor“. Es beruht anders als bei Bemis auf Maßen, die besser zur Natur passen und auf die Proportionen eines sechs Fuß großen Mannes beruhen. Obwohl Le Corbusier die Geschichte der Modularität und des Bauwesens stärker prägt als Bemis, erreichte er mit seinem Le Modulor nie den gleichen praktischen Erfolg. Die Entwicklungen elektronischer Computer gehen jedoch eindeutig auf die Konzepte beider Interpreten zurück. Trotz der Abänderung der ursprünglichen Idee der Modularität, die Bemis entwickelt hatte, und der späteren Verwendung des Begriffes in einer Vielzahl von Disziplinen wie Wirtschaft, Informatik, Biologie, Ausbildungskonzepte, kann Modularität als

wertvolles Instrument zur Organisation und Beherrschung von komplexen Problemstellungen herangezogen werden [68].

### 2-1.1.2 Einführung in die Modulbauweise

Betrachtet man die Bauweisen in Bezug auf die Vorfertigung, wird mit dem Begriff „Modul“ – im Gegensatz zu Albert Farwell Bemis‘ Vorstellungen – meist etwas anderes assoziiert. In der Modulbauweise versteht man unter einem Modul meist eine vorgefertigte Raumzelle, also ein Raummodul, während für vorgefertigte Teile allgemein der Begriff Element benutzt wird. Der ursprünglichen Idee bzw. Forderung mit Modularität eine soziale Veränderung in der Gesellschaft erreichen zu können, wird dem nicht entsprochen. Dennoch bietet der Modulbau im heutigen Sinne viele Möglichkeiten Bauwerke kostengünstig, effizient, nachhaltig und sicher herstellen zu können. Die Vorfertigung spielt dabei eine entscheidende Rolle. Spricht man generell über Vorfertigung im Bauwesen, wird häufig der Begriff Systembau verwendet. Eine weitere Unterteilung in Leicht- und Schwerbausysteme wäre möglich, wobei Leichtbausysteme ein Volumengewicht unter  $1.000 \text{ kg/m}^3$  und Schwerbausysteme ein Volumengewicht über  $1.000 \text{ kg/m}^3$  aufweisen [69]. Anstatt der Begriffe Leicht- und Schwerbauweise wird häufiger zwischen Leichtbauweise (LBW) und Massivbauweise (MBW) unterschieden. Oftmals werden Materialien wie Ziegel oder Beton mit Massivbauweise und Holz mit Leichtbauweise assoziiert, da Holz eine Dichte von unter  $1.000 \text{ kg/m}^3$  aufweist. Eine materialneutrale Zuordnung in Massiv- oder Leichtbauweise erscheint deshalb besonders im Holzbau sinnvoll. Die Massivbauweise im Holzbau wird sohin vor allem durch die Verwendung flächenhafter Elemente (Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz) determiniert [4].

Eine nähere Erläuterung der einzelnen Bausysteme erfolgt im folgenden Abschnitt beginnend mit einen zunächst kurzen Überblick über die Geschichte der Bausysteme (Tabelle 2.1), bei der die einzelnen Systeme und ihre Anwendung gegenübergestellt werden. Im Anschluss daran folgt eine detailliertere Beschreibung der Geschichte der Bausysteme. Das Bauprinzip des Modulbaus an sich wird in detaillierter Form im Anschluss an die nun folgende historische Entwicklung des Systembaus beschrieben. Die Betrachtung und Analyse dieser Entwicklung in der Geschichte der Systembauweise ist notwendig, um die Bauweise besser verstehen zu können. Im Besonderen wird der Schwerpunkt auf den Wohnhausbau und weniger auf den Industriebau gelegt.

## 2-2 HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER BAUSYSTEME

Tabelle 2.1: geschichtlicher Überblick der Bausysteme (ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

GESCHICHTE DER BAUSYSTEME		
JAHR	BAUSYSTEME	MERKMALE
vor ca. 7500 J.	<u>System:</u> Ziegelsteine	<u>Merkmale:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Verwendung bereits vor mehr als 7500 Jahren</li> <li>vorgefertigtes Baumaterial</li> </ul> <p>[3]</p>
vor ca. 2000 J.	mongolische Jurte <u>System:</u> Stäbe, Wolldecken	<u>Merkmale:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Verwendung bereits vor über 2000 Jahren</li> <li>zum schnellen und einfachen Auf- und Abbauen</li> </ul> <p>[3][70][71]</p>
vor ca. 1000 J.	<u>System:</u> japanische Tatami-Matte	<u>Merkmale:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>als Modulmaß für Wohnhäuser verwendet</li> <li>Modulmaß 95 x 190 cm (Verhältnis 1:2)</li> </ul> <p>[3][70][72]</p>
1624	Portable Cottage <u>System:</u> Holzrahmenbau	<u>Merkmale:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>erste vorgefertigte Häuser für britische Kolonien</li> <li>wurde verschifft</li> </ul> <p>[73][74]</p>
1830	Manning Portable Colonial Cottage <u>System:</u> Holzrahmenbau	<u>Merkmale:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Häuser in England vorgefertigt</li> <li>wurden verschifft</li> </ul> <p>[73][74]</p>
1832	Erfindung des Wellbleches in Großbritannien [73]	
1833	<u>System:</u> „balloon frame“-Bausystem	<u>Merkmale:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Errichtung für ungelernete Arbeitskräfte möglich</li> <li>industriell vorgefertigte Bauteile</li> <li>geschossübergreifend</li> </ul> <p>[3][70][73]</p>
1844	Erfindung des Portland Zements (Isaac Charles Johnson) [75]	
1848	kalifornischer Goldrausch [73]	
1849	Entwicklung des Stahlbetons (Joseph Monier) [75]	
1851	<b>Kristallpalast</b> in London von Joseph Paxton <u>System:</u> Stabsystem aus Gusseisen	<u>Merkmale:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>eines der ersten Bauwerke in industrialisierter Systembauweise</li> <li>Grundmodul ca. 2,44 m</li> </ul> <p>[3][76][77]</p>

GESCHICHTE DER BAUSYSTEME		
JAHR	BAUSYSTEME	MERKMALE
1855	Entwicklung des kohlenstoffarmen Stahls (Henry Bessemer) [70]	
1906	<b>Aladdin Ready-Cut-System</b> von W.J. & O.E. Sovereign:  <u>System:</u> Bausatz aus Holz	<u>Merkmale:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>vorgefertigter Bauteile für Einfamilienhäuser</li> <li>verlustoptimierter Zuschnitt</li> </ul> [73]
1912	<b>American System-Built Homes</b> von Frank Lloyd Wright  <u>System:</u> Baukastensystem aus Holz	<u>Merkmale:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Baukastensystem für Häuser aus Standard-Elementen</li> </ul> [73][78][79]
1914	Beginn des Ersten Weltkrieges	
1914	<b>„Dom-ino“ Haus</b> von Le Corbusier  <u>System:</u> Skelettbau	<u>Merkmale:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>wie heutiger Skelettbau</li> <li>frei nutzbarer Raum zwischen Tragwerk</li> <li>standardisierte Bauteile</li> </ul> [3][70][80][81]
1917	Gründung De Stijl [82]	
1919	Gründung der Bauhausschule (Walter Gropius) [3]	
1920	<b>Maison Citrohan</b> von Le Corbusier  <u>System:</u> vorgefertigte Betonbauteile	<u>Merkmale:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Massenproduktion</li> <li>kosteneffizient</li> </ul> [3][81][83]
1922	<b>„Wabenbau“</b> von Walter Gropius und Fred Forbät  <u>System:</u> Baukastensystem für Serienhäuser	<u>Merkmale:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>kostengünstige Häuser durch optimierte Produktion</li> </ul> [80][84]
1923	<b>„Baukasten im Großen“</b> von Walter Gropius  <u>System:</u> Baukastensystem für Serienhäuser	<u>Merkmale:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Haus als erweiterungsfähiger Organismus</li> </ul> [80][84]
1923	Fünf Punkte zu einer neuen Architektur (Le Corbusier & Pierre Jeanneret) [85]	

## GESCHICHTE DER BAUSYSTEME

JAHR	BAUSYSTEME	MERKMALE
<b>1924</b>	<p>„<b>Quartiers Modernes Frugès</b>“ in Pessac von Le Corbusier</p> <p><u>System:</u> Modulbauweise</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Siedlung mit mehreren Haustypen</li> <li>▪ kostengünstige Arbeiterwohnungen mit Modularisierung</li> <li>▪ 5 x 5 m Grundelemente aus Beton</li> <li>▪ Reduktion auf das Minimum</li> </ul> <p style="text-align: right;">[59][60][86]</p>
<b>1926</b>	<p>„<b>Frankfurter Plattenbau</b>“ von Ernst May</p> <p><u>System:</u> Plattenbauten aus Beton</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ vorgefertigte, gebäudehohe Betonplatten</li> <li>▪ Abmessungen bis zu 300 x 110 x 20 cm</li> <li>▪ deutliche Verringerung der Bauzeit</li> </ul> <p style="text-align: right;">[3][87][88]</p>
<b>1926</b>	Errichtung des Bauhauses in Dessau (Walter Gropius & Adolf Meyer) [89]	
<b>1928</b>	<p>„<b>Dymaxion-Haus</b>“ von Richard Buckminster Fuller</p> <p><u>System:</u> transportables, vorgefertigtes Aluminiumhaus</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gewicht von nur 3 t</li> <li>▪ Ausgangspunkt war Fullers „4D House“</li> </ul> <p style="text-align: right;">[3][70][90]</p>
<b>1928</b>	Gründung Congrès International d'Architecture Moderne (CIAM) [58]	
<b>1936</b>	<p>„<b>Usonian Homes</b>“ („Jacobs House“ = „Usonia No.1“) von Frank Lloyd Wright</p> <p><u>System:</u> standardisierte Holzpaneele</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ standardisierte Bauteile</li> <li>▪ Raster ca. 60 x 100 cm</li> <li>▪ Optimierung des Vor-Ort-Bauprozesses</li> <li>▪ Sandwichaufbau der Wandpaneele aus Holzlatten, Sperrholzplatten und Nut- und Federbrettern</li> </ul> <p style="text-align: right;">[73][78][91]</p>
<b>1939</b>	Beginn des Zweiten Weltkrieges	
<b>1940</b>	<p>„<b>Dymaxion Deployment Unit</b>“ von Richard Buckminster Fuller</p> <p><u>System:</u> Leichtbausystem aus Aluminium</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bausystem als Notunterkünfte für Militär</li> </ul> <p style="text-align: right;">[3][70][90]</p>
<b>1942</b>	<p>„<b>Packaged House</b>“ von Konrad Wachsmann und Walter Gropius</p> <p><u>System:</u> Holz-Rahmenbauweise</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modulsystem für Häuser mit bis zu zwei Geschossen</li> </ul> <p style="text-align: right;">[3][70][77][81][92]</p>

## GESCHICHTE DER BAUSYSTEME

Jahr	Bausysteme	Merkmale
<b>1943</b>	<p><b>„General Panel System“</b> von Konrad Wachsmann</p> <p><u>System:</u> Paneelsystem aus Holz</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ hakenförmige Metallverbindungen</li> <li>▪ Modulmaß von ca. 1 m</li> <li>▪ vollständige Fertigung des Hauses in der Fabrik</li> </ul> <p style="text-align: right;">[3][70][77][81][92]</p>
<b>1944</b>	<p><b>„Wichita-Haus“</b> von Richard Buckminster Fuller</p> <p><u>System:</u> Leichtbausystem aus Aluminium</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ natürliche Belüftung</li> <li>▪ wurde von oben nach unten gebaut</li> </ul> <p style="text-align: right;">[3][70][90]</p>
<b>1944</b>	<p><b>„house for refugees“</b> von Jean Prouvé</p> <p><u>System:</u> Bausystem aus Holz &amp; Stahl</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Massenproduktion</li> <li>▪ vollständig demontierbares Haus mit 6 x 6 oder 6 x 9 m</li> <li>▪ 1m breite Paneele</li> </ul> <p style="text-align: right;">[93]</p>
<b>1945</b>	<p><b>„Case-Study-Häuser“</b> mit „Haus Nr. 8“ von Charles und Ray Eames</p> <p><u>System:</u> Stahlrahmensystem</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Musterhäuser</li> <li>▪ industriell gefertigt</li> <li>▪ preiswert, modern und schlicht</li> </ul> <p style="text-align: right;">[3][70][94][95]</p>
<b>1947</b>	Beginn des Kalten Krieges	
<b>1948</b>	<p><b>„Larsen-Nielsen-System“</b></p> <p><u>System:</u> Großtafelbauweise in Beton</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ dänisches Bausystem</li> <li>▪ raumgroße, vorgefertigte, Betonplatten</li> </ul> <p style="text-align: right;">[3][96][97]</p>
<b>1950</b>	<p><b>„AIROH-Bungalow“</b> in Großbritannien</p> <p><u>System:</u> Gebäudemodule</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Haus aus vier Aluminium-Gebäudemodulen mit je 2,25 m Breite</li> <li>▪ samt Innenausstattung</li> </ul> <p style="text-align: right;">[3][70][98]</p>
<b>1951</b>	<p><b>Levittown</b> von Bill und Alfred Levitt</p> <p><u>System:</u> Holzrahmenbau</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bausatz</li> <li>▪ industriell vorgefertigte Häuser</li> <li>▪ systematisierter Vor-Ort-Bauprozess</li> </ul> <p style="text-align: right;">[3][73][99][100][101]</p>
<b>1954</b>	<p><b>„Maison Tropicale“</b> von Jean Prouvé</p> <p><u>System:</u> Bausystem aus Holz &amp; Stahl</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kostengünstiges, industriell gefertigtes Bausystem</li> <li>▪ 1 m breite Elemente</li> <li>▪ Maximalmaße der Bauteile produktionstechnisch auf 4 m beschränkt</li> </ul> <p style="text-align: right;">[3][70][93]</p>

## GESCHICHTE DER BAUSYSTEME

JAHR	BAUSYSTEME	MERKMALE
<b>1956</b>	Auflösung des CIAM / Gründung des Team X [102]	
<b>1956</b>	<p><b>„Ring System“</b> von Fritz Stucky u. Rudolf Meuli</p> <p><u>System:</u> Raumzelle</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zelle aus Holz und Stahl</li> <li>▪ größere Räume durch Aneinanderfügen mehrerer Zellen nur in Querrichtung der Zelle möglich</li> </ul> <p style="text-align: right;">[103]</p>
<b>1958</b>	<p><b>„Variel-Stahl-System“</b> von Fritz Stucky u. Rudolf Meuli</p> <p><u>System:</u> Raumzelle aus Stahl</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ standardisiertes „Ringelement“</li> <li>▪ Modulbreite von 2,8 m</li> <li>▪ Modullänge von 8,4 m</li> <li>▪ variable Höhe</li> </ul> <p style="text-align: right;">[103]</p>
<b>1963</b>	<p><b>„Variel-Stahl-Beton-System“</b> von Fritz Stucky u. Rudolf Meuli</p> <p><u>System:</u> Raumzelle aus Stahlbeton</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entwicklung des „Raumelementes“</li> <li>▪ erweiterbar in Längen- und Breitenrichtung</li> </ul> <p style="text-align: right;">[103]</p>
<b>1963</b>	<p><b>„Maxi-System“</b> von Fritz Haller</p> <p><u>System:</u> modulares Baukastensystem für Hallenbauten</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modulmaß vertikal 0,6 m und horizontal 2,4 m</li> <li>▪ Stützenabstände bis 19,2 m</li> <li>▪ integrierte Leitungsführung</li> </ul> <p style="text-align: right;">[3][70][104][105]</p>
<b>1965</b>	<p><b>„Variel-Beton-System“</b> von Fritz Stucky u. Rudolf Meuli</p> <p><u>System:</u> Raumzelle</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ „Raumelement“ allseitig erweiterbar</li> <li>▪ Tragstruktur aus Beton</li> <li>▪ vollständig industrielle Herstellung</li> <li>▪ Modulabmessungen von 9,6 x 2,8 und 8,4 x 2,8 m</li> </ul> <p style="text-align: right;">[103]</p>
<b>1968</b>	<p><b>„M1-System“</b> der Fa. Sekisui Heim in Japan</p> <p><u>System:</u> Raumzelle mit Stahlrahmen</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ modulares Bausystem</li> <li>▪ industrielle Linienproduktion von komplexen Gebäuden</li> </ul> <p style="text-align: right;">[106][107]</p>
<b>1968</b>	<p><b>„Oriental Masonic Gardens“</b> von Paul Rudolph</p> <p><u>System:</u> wohnwagenförmige Raummodule</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kostengünstig</li> <li>▪ zweigeschossig gestapelte Module</li> <li>▪ Modullängen ca. 8,2 / 11,9 / 15,6 m</li> <li>▪ Modulbreite ca. 3,6 m</li> </ul> <p style="text-align: right;">[3][73][108][109]</p>
<b>1969</b>	erste kommerzielle Verwendung von CAD-Programmen [110]	

## GESCHICHTE DER BAUSYSTEME

JAHR	BAUSYSTEME	MERKMALE
<b>1969</b>	<p><b>„Mini-System“</b> von Fritz Haller</p> <p><u>System:</u> modulares Bausystem für kleinere ein- bis zweigeschossige Gebäude</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Stützenabstände bis 8,4 m</li> <li>▪ integrierte Leitungsführung</li> </ul> <p style="text-align: right;">[3][70][104][105]</p>
<b>1971</b>	<p><b>„Variel-E-System“</b> von Fritz Stucky</p> <p><u>System:</u> Raumzelle</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Stützrahmen in Zellenmitte ermöglicht Modullängen bis zu 12 m</li> <li>▪ Dämmebene liegt außen</li> </ul> <p style="text-align: right;">[103]</p>
<b>1975</b>	<p><b>„Les Palétuviers“</b> von Fritz Matzinger</p> <p><u>System:</u> Raumzellen aus Leichtbeton</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Wohndorf mit Gemeinschaftsräumen</li> <li>▪ Raumzellengröße 3 x 6 m</li> <li>▪ Individualisierung möglich</li> </ul> <p style="text-align: right;">[81][111][112][113]</p>
<b>1975</b>	<p>Gründung von <b>„Toyota Home“</b></p> <p><u>System:</u> Raumzelle aus Stahlrahmen</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ auf „Toyota Production System“ basierte Fertigung von Häusern</li> <li>▪ Massenproduktion auf der Fertigungsstraße</li> <li>▪ dreidimensionale Stahlrahmen werden schrittweise zu Raumelementen des Hauses ausgebaut</li> </ul> <p style="text-align: right;">[106][107][114]</p>
<b>1980</b>	<p><b>„Midi-System“</b> von Fritz Haller</p> <p><u>System:</u> modulares Bausystem für komplexe Gebäude und mehrgeschossige Bürobauten</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ nachträgliche Umbauten einfach und zerstörungsfrei möglich</li> <li>▪ Stützweiten bis 14,4 m</li> <li>▪ integrierte Leitungsführung</li> </ul> <p style="text-align: right;">[3][70][104][105]</p>
<b>1981</b>	erste Erwähnung des Begriffs „Brettsperrholz“ von G. Dröge & K. H. Stoy [4]	
<b>1998</b>	erste österreichisch technische Zulassung (ÖTZ) für Brettsperrholz erhält Fa. KLH [4]	
<b>1998</b>	<p><b>erstmalige Verwendung von Raumzellen aus Brettsperrholz</b> (Prototyp) bei der Erweiterung Hotel Post in Bezau von Oskar Leopold Kaufmann und Albert Rüb</p> <p><u>System:</u> Raumzellen aus Brettsperrholz</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ noch unausgebaute Zellen</li> <li>▪ geringer Vorfertigungsgrad</li> </ul> <p style="text-align: right;">[115]</p>

## GESCHICHTE DER BAUSYSTEME

JAHR	BAUSYSTEME	MERKMALE
<b>2004</b>	<p><b>ausgebaute Raumzellen aus Brettsperrholz</b> erstmalig <b>2004</b> beim Impulszentrum Graz von Hubert Rieß</p> <p><u>System:</u> Raumzellen aus Brettsperrholz</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modulbau von 72 Raumzellen aus Brettsperrholz</li> <li>▪ Montage der Zellen inklusive Haustechnik, Fassade und Innenbeplankung</li> <li>▪ hoher Vorfertigungsgrad</li> </ul> <p style="text-align: right;">[81][116]</p>
<b>2005</b>	<p>Verwendung von <b>Paneelen aus Brettsperrholz</b> bei der Wohnanlage Mühlweg (Wien) von Hermann und Johannes Kaufmann</p> <p><u>System:</u> Paneele aus Brettsperrholz</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kleintafelbauweise</li> </ul> <p style="text-align: right;">[81][117][118]</p>
<b>2008</b>	<p><b>„E-House“</b> von ELEMENTAL</p> <p><u>System:</u> Bausystem aus Stahlbeton mit zweigeschossigem Infrastrukturmodul</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ sanitäre Bereiche befinden sich innerhalb eines Infrastrukturmoduls</li> <li>▪ Speicherung von Regenwasser</li> </ul> <p style="text-align: right;">[2][64]</p>
<b>2010</b>	<p><b>„Tecnopanel-House“</b> von ELEMENTAL</p> <p><u>System:</u> vorgefertigte Structural Insulated Panels (SUPs)</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ vollständig demontierbar und wiederverwendbar</li> <li>▪ optimierte Materialausnutzung (geringer Verschnitt)</li> </ul> <p style="text-align: right;">[64][65]</p>
<b>2008 - 2013</b>	<p>Einführung einer <b>„Fließbandproduktion“</b> von Raumzellen aus Brettsperrholz <b>2008</b> bei <b>Kaufmann Bausysteme</b></p> <p>Erster Modulbau mit <b>über 100 vorgefertigten Raumzellen</b> aus Brettsperrholz im Jahr <b>2012</b> bei Kaufmann Bausysteme</p> <p>Erstmalige <b>Kombination von offenen und geschlossenen Raumzellen</b> aus Brettsperrholz <b>2013</b> bei Kaufmann Bausysteme</p> <p><u>System:</u> Raumzellen aus Brettsperrholz auf Fertigungsstraße produziert</p>	<p><u>Merkmale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Raumzellen werden in Hallenlängsrichtung von Station zu Station vorwärtsgeschoben</li> <li>▪ vollständig ausgebaute Raumzellen</li> <li>▪ sehr hoher Vorfertigungsgrad</li> </ul> <p style="text-align: right;">[115][119][120][121][122][123]</p>

Mit dem Begriff Systembau sind oftmals viele negative Assoziationen verbunden. Zum einen werden darunter Billigbau, Notunterkünfte oder monotone Schlafstädte in Plattenbauweise aus den 1960er- bis 1980er-Jahren verstanden, zum anderen assoziieren viele Menschen damit Kataloghäuser ohne jeglichen Individualismus. Mittels Robotertechnik, automatisierten Herstellungsprozessen sowie einer gut durchdachten Logistik entstanden jedoch auch vollständig durchgeplante, kostengünstige und hochqualitative Gebäude, die viele weitere Vorteile aufweisen. Einen besseren Einblick erhält man, wenn man die geschichtliche Entwicklung dieser Bauweise näher betrachtet. Wie im vorigen Abschnitt erwähnt, kann bereits der Ziegelstein, der etwa 7500 vor Christus erstmalige Verwendung fand und auch bei Ägyptern, Griechen und Römern in unzähligen Häusern verbaut wurde als Modul angesehen werden. Ein aus Ziegeln gebautes Haus wäre demnach eines der ersten Bauwerke unter Verwendung eines Bausystems. Nach heutigem Verständnis wäre eine bloße Ziegelvorfertigung noch kein vollkommener Indikator für einen Systembau, doch hatte man bereits damals vier wichtige Aspekte dieser Bauweise beachtet [124]:

- es gab eine sowohl örtlich als auch zeitlich versetzte Produktion,
- ein adäquates Maß- und Rastersystem musste gefunden werden,
- der Transport musste in Bezug auf Größe, Gewicht und Entfernung bedacht werden und
- es mussten Abmessungen und Gewicht für die Montage berücksichtigt werden.

Weitere Fortschritte im vorgefertigten Bauen gab es meist dann, wenn es gesellschaftliche oder ökonomische Veränderungen gab. Wohnungsnot, Zerstörung infolge von Kriegen, die Errichtung neuer Städte oder die Entwicklung neuer Technologien und der Fortschritt im Bereich des Transport-, Fertigungs- oder Montagewesens waren ausschlaggebend für neue Projekte in der Systembauweise [124]. Eine exakte Festlegung, wann Bausysteme erstmalig angewandt wurden, lässt sich dennoch nicht genau definieren. In der Literatur wird der eigentliche Beginn des Systembaus oft mit den im 16. und 17. Jahrhundert verwendeten Bausystemen der Kolonialisierung determiniert, was vermutlich an der größeren Stückzahl und der industriellen Fertigung liegt [73]. Nichts desto weniger können auch Ziegelsteine, mongolische Jurten oder japanische Häuser, die aus Tatami-Matten bestehen, den Bausystemen zugeordnet werden [70].

## 2-2.1 DIE ERSTEN BAUSYSTEME

Schon seit Jahrtausenden entwickelten Nomadenvölker Bauten in vorgefertigter Systembauweise, um nicht bei jedem Ortswechsel von Neuem mit der Suche nach Baumaterial beginnen zu müssen. Die Systeme unterschieden sich je nach Kultur, Region und klimatischen Verhältnissen. Bereits vor über 2000 Jahren zogen Nomaden durch die Steppenlandschaft der Mongolei und nahmen dabei ihre Behausungen auf Kamelen mit. Mongolische Jurten, die aus zahlreichen Decken, Seilen und Stäben aus Holz gebaut wurden, zählen zu den ersten Systembauten. Die leichte Konstruktion konnte innerhalb von nur einer Stunde komplett aufgestellt werden. Der Transport durch die Tiere beschränkte das Gewicht und somit die Größe der Jurte [3][70].

Ebenfalls seit über 1000 Jahren Verwendung findet die Tatami-Bodenmatte in Japan. Diese weist ein Maß von rund 95 x 190 cm (b x h) auf und bildet die Ausgangsbasis für alle Abmessungen des japanischen Hauses (Abbildung 2.15). Jedoch gibt es in Japan regionale Unterschiede was dieses Maß anbelangt. Das Grundmodul, nach dem sich alle Bauteile – auch die Tatami-Matte – richteten, war das Shaku-Maß. Unter Shaku versteht man eine japanische Maßeinheit, welche durch den Abstand der Daumenspitze zur Spitze des Zeigefingers einer menschlichen Hand definiert wird. Da dieser Abstand von Mensch zu Mensch variieren kann, wurde das Maß 1891 auf rund 30,3 cm festgelegt [3][70][72]. Auch die Römer leisteten wertvolle Beiträge zum modularen Bauen, denn sie sammelten die unterschiedlichen Baumethoden, die im gesamten Reich Anwendung fanden. Bereits in Vitruvs „Zehn Bücher über Architektur“ gibt es Erkenntnisse über Bausysteme. Zu jener Zeit sollten Tempel aus Stein in weit entfernt gelegenen Orten errichtet werden. Die Elemente mussten dadurch häufig auch verschiffbar sein [3][70].

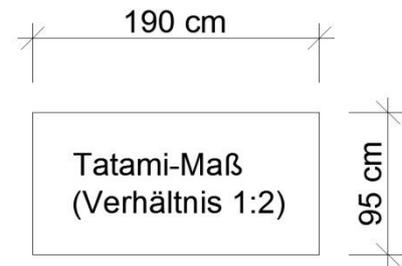


Abbildung 2.15: links: Japanisches Tatami-Haus [125], rechts: Abmessungen der Tatami-Matte

Im 15. Jahrhundert entwickelte Leonardo Da Vinci für das Militär ein Bausystem einer Bogenbrücke, welches auf dem Prinzip der Verflechtung starrer Rundhölzer beruht und vollkommen ohne Verbindungsmittel wie Nägel oder Seilen besteht. Es ist jedoch nicht belegt, ob diese Konstruktion jemals zum Einsatz kam [126]. Von Vorfertigung im eigentlichen Sinne kann man daher wohl erst ab dem 16. und 17. Jahrhundert sprechen, als aufgrund der Kolonisation durch die Briten massenhaft Behausungen in kürzester Zeit benötigt wurden. In den Kolonien – etwa Amerika, Australien, Afrika oder Indien – war man mit den dort vorhandenen Baumaterialien nicht vertraut, so dass Elemente in Großbritannien vorgefertigt und mittels Schiffen zu den entsprechenden Siedlungen nach Übersee transportiert wurden. Die erste Aufzeichnung eines solchen Systembaus geht auf das Jahr 1624 zurück. Damals wurde in einer Siedlung im heutigen Massachusetts das sogenannte „Portable Cottage“, ein Haus das aus in England produzierten Elementen zusammengebaut wurde, aufgestellt. Zunächst waren es Häuser in Holzrahmenbauweise mit Holzpaneelen für Boden, Dach und Wände. Ein weiterer Vertreter dieser Bauweise war das „Manning Portable Colonial Cottage“ um etwa 1830, welches H. John Manning, ein Zimmermann aus London, ursprünglich nur für seinen nach Australien auswandernden Sohn, entwickelte. Dieses Bausystem war so konzipiert, dass jedes in England vorgefertigte Bauteil von nur einer Person getragen und verbaut werden konnte. Ein weiterer Vorteil war der einfache Zusammenbau, bei dem man nur einen Schraubenschlüssel benötigte [73][74].

In Amerika entstanden die beiden Holz-Leichtbauweisen „balloon frame“ und „platform frame“. Diese Holzbauweisen haben sich aus der traditionellen Holzständerbauweise entwickelt. Der Unterschied zur Ständerbauweise besteht darin, dass bei der „balloon frame“- oder „platform frame“-Bauweise eng nebeneinander liegende Pfosten anstatt von Balken verwendet werden. Unter „balloon frame“-Bauweise versteht man einen geschossübergreifenden und unter „platform frame“-Bauweise einen geschossweisen Skelettbau. Die Kirche St. Mary's Church in Fort Dearborn in der Nähe von Chicago wurde von Augustine Taylor 1833 in der „balloon frame“-Methode gebaut. Vorangetrieben wurde diese Bauweise durch den in großen Mengen vorkommenden Rohstoff Holz und die zahlreichen Sägewerke sowie durch die damals erstmalig industriell produzierbaren Nägel, die im Industriezeitalter durch die Erfindung der Dampfmaschine möglich wurden. Die großen Vorteile der „balloon frame“-Bauweise waren die leichten und einfach zu transportierenden Bauteile, aber auch die unkomplizierte Montage und dass sogar ungelernete Handwerker das Haus zusammenbauen konnten. Aus Gründen des Brandschutzes musste diese Bauweise größtenteils durch den geschossweisen Skelettbau („platform frame“) ersetzt werden. Später entstand aus diesen amerikanischen Bauweisen der Holzrahmenbau, der anstatt des engen 30 bis 40 cm kleinen Abstandes der Ständer 62,5 cm als Abstandsmaß verwendete [3][70][73]. In der folgenden Abbildung sind die „balloon frame“- Bauweise und die „platform frame“-Bauweise abgebildet.

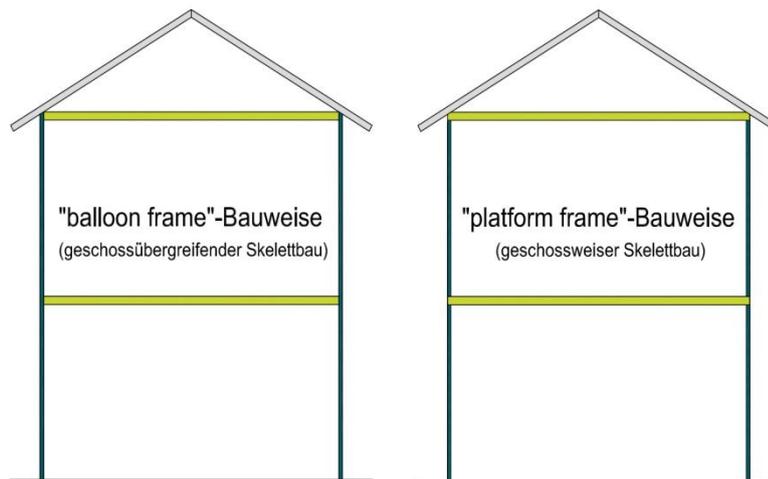


Abbildung 2.16: links: „balloon frame“-Bauweise (vgl. [3]), rechts: „platform frame“-Bauweise (vgl. [3])

## 2-2.2 BAUSYSTEME IM INDUSTRIELLEN ZEITALTER UND DER MODERNE

Zu großen Veränderungen in der Gesellschaft sowie auch in der Architektur kam es in der Zeit gegen Ende des 18. Jahrhunderts bis hin zur Mitte des 19. Jahrhunderts. Der zweite Teil der Industriellen Revolution begann in den 1850er-Jahren und begründete später die Entdeckung der Elektrizität und des Automobils. Während dieser Zeit der Industriellen Revolution, die in England begann und sich dann über Europa und den USA ausbreitete, wurde der Mensch als Arbeitskraft sukzessive durch Maschinen ersetzt. Durch die rapide Entwicklung von Technik und Industrie, verbunden mit einem großen Bevölkerungswachstum, entstanden neue soziale Probleme. Menschen zogen vom Land in Städte, in denen dadurch dringend Unterkünfte benötigt wurden [3][127].

Der wohl bekannteste Architekt des modernen Zeitalters war Le Corbusier. Inspiriert vom Automobil schlug er vor, Häuser in Massenproduktion herzustellen. Doch damals konnten vorgefertigte Häuser im schlichten Stil des Funktionalismus die Bevölkerung nicht überzeugen. Die Kunst und das Handwerk der Architekten standen im Gegensatz zu modernen, in Massen gefertigten Bauwerken. Erst mit Fortschreiten des Maschinenzeitalters, in dem sich nun, bedingt durch Massenproduktion, auch die Mittelschicht der Bevölkerung luxuriöse Gegenstände leisten konnte, änderte sich das Bild ein wenig [3]. Die Sprache der Architektur sollte durch die Industrialisierung formaler, schlichter und ökonomischer werden. Die standardisierten, in Fabriken vorproduzierten Elemente ermöglichten es, Bauwerke im Baukastenprinzip zusammenzubauen. Damit sollte der vorherrschenden Wohnungsnot begegnet werden. Zudem sollte auch die Möblierung leistbar und somit industriell gefertigt werden. Mit der Einführung des Fließbandes in der Automobilherstellung im Jahre 1913 durch Henry Ford wurde nicht nur die Produktion der Fahrzeuge revolutioniert, sondern auch die Architektur. Le Corbusier entwickelte 1914 das „Dom-ino“-Haus. Es bestand aus Deckenplatten und Stützen aus Beton sowie aus standardisierten Fenstern und Türen, mit denen ein Haus nach Wunsch zusammengestellt werden konnte. Das Ziel des „Dom-ino“ war es, einen Rahmen zu schaffen, bei dem der Raum zwischen der Tragstruktur frei nutzbar war. Im Jahr 1918 forderte der Architekt Peter Behrens mehr Industrialisierung in der Baubranche, wodurch es zu einer deutlichen Reduzierung der Baukosten kommen sollte [3][70][80].

Eines der ersten Bauwerke in industrialisierter Systembauweise des 19. Jahrhunderts war der Kristallpalast in London, der für die Weltausstellung 1851 vom Gärtner **Joseph Paxton** entworfen wurde. Zur damaligen Zeit waren Gebäude meistens aus Stein gebaut, was eine lange Bauzeit mit sich zog. Paxtons Kristallpalast basierte hingegen auf vorgefertigte, sich selbst tragende Elemente, die sich

mehrfach im Bauwerk wiederholten. Das Bauwerk ist ein Beispiel für die Rationalisierung des gesamten Bauprozesses von der Fertigung in der Fabrik bis hin zur Montage, die sogar von mehr oder weniger ungelerten Arbeitskräften möglich war. Das Werk Paxtons ist insbesondere deshalb faszinierend, da es in einer Zeit entstand, in der Standardisierung und Vorfertigung keine große Rolle spielten und die Formensprache an sich das Wichtigste war. Trotz der Größe des Bauwerkes ist es nur aus einfachen, kleineren Bauteilen aufgebaut, da sämtliche Komponenten leicht beweglich sein sollten. Das auf einem Raster basierende Gebäude besteht aus gusseisernen, hohlen Stützen, die äußerlich immer denselben Durchmesser aufweisen, jedoch – je nach Belastung – in unterschiedlicher Wandstärke ausgeführt wurden. Eine Massenproduktion der Bauteile war möglich, da Stützen und Träger in einheitlichen Abmessungen hergestellt werden konnten. Dem Bauwerk wurde ein Grundmodul von 8 Fuß (ca. 2,44 m) zugrunde gelegt, aus dem sich Binderlängen von 24, 48 und 72 Fuß (rund 7,32 / 14,63 / 21,95 m) ergaben, die je nach Belastungssituation aus Gusseisen, Schmiedeeisen oder Holz hergestellt wurden. Die Höhe der Binder war auf 1 m vereinheitlicht. Ebenso auf der modularen Ordnung basierte die Dacheindeckung aus Glas. Das in etwa 600 m lange Bauwerk konnte vor Ort ohne weitere Abfallprodukte durch vollständig vorgefertigte Elemente im Montageverfahren errichtet werden [3][76][77].

Die Versorgung der Kolonien Großbritanniens mit vorgefertigten Gebäuden verlieh dem Königreich eine Vorreiterrolle in dieser Bauweise. Auch während des kalifornischen Goldrausches in Amerika in den Jahren 1848 bis 1855 wurden industriell vorproduzierte Behausungen benötigt. Die Häuser wurden nach der Produktion in England in die entsprechenden Gebiete verschifft. Als Materialien wurden Holz, Gusseisen und ab 1837 auch Wellblech bevorzugt. Durch die Verwendung von Gusseisen waren feingliedrigere Strukturen möglich. In der Zeit nach dem 1. Weltkrieg waren gut ausgebildete Arbeitskräfte Mangelware, so dass Systembauweisen subventioniert wurden. Ziel war es, möglichst rasch neuen Wohnraum zu schaffen. Durch unvollständige Planung traten immer wieder Mängel auf, was dazu führte, dass viele Systeme wieder aufgegeben wurden. Auch jenseits der Grenzen von Europa – in Amerika – gab es Entwicklungen in technologischen Systembauweisen. Um die steigende Nachfrage nach Wohnhäusern decken zu können, musste eine effizientere Bauweise gefunden werden. Die Häuser wurden zwar, wie auch traditionell, in Holzständerbauweise – also als Holz-Leichtbauweise – gebaut, doch konnten diese standardisiert und systematisch industriell produziert werden [3]. Zu den ersten Vertretern des vorgefertigten Holzbaus in der „balloon frame“-Bauweise zählen die Brüder Sovereign, die 1906 das Unternehmen Aladdin Company für Kit-Homes (Hausbausätze) gründeten. Die zuvor in Katalogen ausgewählten Häuser wurden nach der Bestellung industriell vorgefertigt und im Zuge eines Bausatzes errichtet. In ihrem sogenannten „Ready-Cut-System“ wurden alle Holzbauteile, die für ein Haus benötigt wurden, vollständig im Werk zugeschnitten und anschließend dem Käufer zugestellt. Mit diesem System sollte unnötiger Verschnitt verringert werden, der bei der traditionellen Vor-Ort-Bauweise entstand. Ebenso wurde die Bauzeit verkürzt und die Qualität gesteigert. Die Bauherren benötigten somit nur mehr einen Hammer als Werkzeug. Aufgrund der Wirtschaftskrise in den 1920er- und 1930er-Jahren musste die Firma allerdings schließen [73].

Durch seine Gebäude, welche sich vorbildlich in die umgebende Landschaft integrieren, wurde der amerikanische Architekt **Frank Lloyd Wright** weltberühmt. Sein Streben nach diesem Ziel verkörpern die sogenannten „Prairie Houses“ und die berühmte Villa über dem kleinen Wasserfall „Falling water“ (1935-1939) [128][129]. Er kannte bereits die Vorteile vorgefertigter Elemente von den Projekten seines Fachkollegen Buckminster Fuller. In seinen Entwürfen verband er Innovationen mit der traditionellen Architektur. Ebenso in seinem Repertoire finden sich seine sogenannten „American System-Built Homes“, ein kit-of-parts Konzept (Baukastensystem) aus der Zeit von 1912-1916, bei dem die Häuser aus standardisierten Elementen zusammengefügt wurden. Er selbst bevorzugte aber eine an die Baustelle und an die Auftraggeber orientierte Architektur und keine Massenproduktion seiner Häuser. Seine Konzepte wichen nur wenig von der traditionellen Vor-Ort-Bauweise ab und die Forderung nach hochqualitativen handwerklichen Details machte seine Häuser kostspielig und uninteressant für die Masse. In Wisconsin gibt es allerdings noch sechs seiner (in Systembauweise konzeptionierten) Einfamilienhäuser, bei denen zwar die Holzbauteile vorgefertigt wurden, der Großteil der Gebäude aber vor Ort errichtet wurde [73][78][79].

Zeitgleich – in Europa – publizierte der aus der Schweiz stammende Architekt **Le Corbusier** (Charles-Édouard Jeanneret-Gris) während seiner beruflichen Tätigkeit eine Sammlung von architektonischen Entwurfsprinzipien. Zusammen mit seinem Vetter – dem Architekten **Pierre Jeanneret** – verfasste er das Architekturmanifest „Fünf Punkte zu einer neuen Architektur“, welches bereits 1923 veröffentlicht wurde [85]:

- |   |  |
|---|--|
| <p>„1. Die Pfosten:“</p>                  | <p>Ein Bauwerk kann in tragende und nichttragende Bauteile zerlegt werden. Aufwändige Fundamente können durch einfachere Punktfundamente und Mauern durch einzelne Pfosten ersetzt werden. Diese Pfosten werden rasterförmig angeordnet und die zugehörigen Lasten werden exakt berechnet.</p> |
| <p>„2. Die Dachgärten:“</p>               | <p>Durch die Verwendung von Flachdächern können die entstehenden Dachflächen als Dachgärten oder Dachterrassen genutzt werden.</p>   |
| <p>„3. Die freie Grundrißgestaltung:“</p> | <p>Da die Decken von den Pfosten getragen werden, können Zwischenwände flexibel nach Belieben im Grundriss situiert werden. Dies war auch die wichtigste Errungenschaft des „Dom-Ino“-Hauses.</p>  |
| <p>„4. Das Langfenster:“</p>              | <p>Fenster durchbrechen die Fassade und liegen zwischen den Pfosten. Durch diese langen Fenster gelangt wesentlich mehr Licht in die Räume und ist gleichmäßiger verteilt.</p>   |
| <p>„5. Die freie Fassadengestaltung:“</p> | <p>Die Fassade wird vor die tragenden Pfosten gestellt, so dass Fenster beliebig lang sein können, unabhängig vom Grundriss.</p>   |

Durch dieses Manifest wurde eine vollkommen neue Ästhetik begründet [85][130][131]. Als Musterbeispiel für diese fünf Punkte gilt das Doppelwohnhaus von Le Corbusier und Pierre Jeanneret in der Weißenhofsiedlung in Stuttgart. Das „Dom-Ino-Haus“ basiert ebenfalls auf den Prinzipien der freien Grundrissgestaltung. Nur die Erschließung, also das Treppenhaus und die tragenden Pfeiler des Skelettes, waren örtlich fixiert. Durch die ebenso vorproduzierten Türen und Fenster konnte die Bauzeit deutlich verkürzt werden. An seinem „Maison Citrohan“ aus dem Jahr 1920 kann man die Faszination gegenüber der Serienproduktion in der Automobilherstellung erkennen [3][81].

Als weiterer Repräsentant der modernen Architektursprache im 20. Jahrhundert galt **Walter Gropius**, der 1919 das „Bauhaus“, eine der renommiertesten Schulen für Architektur und Design der damaligen Zeit, gründete [3]. Gropius galt zudem als Gründer der „neuen Sachlichkeit“, der puristischen Formensprache in der Architektur. Im Bauhaus forcierte er die Zusammenarbeit zwischen den Fachgebieten der Kunst, der Architektur, des Designs sowie der Industrie und dem Handwerk. Gropius arbeitete bereits seit 1908 mit dem Architekten Peter Behrens zusammen, bei dem später auch berühmte Architekten wie Le Corbusier oder Ludwig Mies van der Rohe mitwirkten. Nachdem er 1910 als selbständiger Designer und Architekt arbeitete, entstanden einige seiner berühmten Werke wie das Fagus-Werk in Alfeld an der Leine [3][70][89]. Inspiriert von Le Corbusier versuchte Gropius einen Baukasten für Wohnhäuser zu entwickeln, so dass ein Haus je nach Bedürfnissen und Personenanzahl zusammen gesetzt werden konnte [3][70]. Zusammen mit dem ungarisch-deutschen Architekten **Fred Forbát** erstellte er 1922 ein Baukastensystem (den sogenannten „Wabenbau“), an dessen Kernmodul weitere Räume angegliedert werden konnten. Eine Fortführung des Systems führte 1923 zum „Baukasten im Großen“ [80]. Im Wabenbau wurde versucht Serienhäuser zu entwickeln, die trotz Verwendung des gleichen Grundkörpers eine gewisse Varietät aufweisen. Ziel war die „Vereinigung größtmöglicher Typisierung mit größtmöglicher Variabilität“ [84, S. 64]. Dies gelang durch unterschiedliche Anfügung von weiteren Raumzellen an den Grundkörper. Es gab insgesamt acht verschiedene Zellen; davon einen Grundkörper und sieben Anbauzellen. Der Grundkörper verfügte pro Geschoss über drei Zimmer, eine Küche und ein

Badezimmer. Mittels Erweiterung ließen sich drei weitere Räume je Geschoss hinzugewinnen, so dass sich alle Räume um einen mittig liegenden Wohnraum anordneten [84]. Der damals vorhandene akute Wohnungsmangel führte zur Sichtweise, dass ein Haus im Laufe der Zeit und bei Veränderungen der sozialen Verhältnisse von Bewohnern angepasst werden kann und somit einen „erweiterungsfähigen Organismus“ darstellt [84, S.64, 65]. Gropius versuchte durch die Industrialisierung des Bauprozesses Kosten zu sparen und den hohen Bedarf an Wohnungen zu decken. Problematisch erwies sich allerdings die Umsetzung der Lösungen, da damals noch keine dafür geeignete Infrastruktur vorlag. Technische Probleme und die teilweise fehlende Normung führten zu Schwierigkeiten. Der Entwurf wies zudem einige Schwächen auf, denn der zentral gelegene Wohnraum würde durch die umliegenden Zimmer zu einem Durchgangsraum mutieren. Gropius erkannte diese Mängel und überarbeitete das Konzept. Das Ergebnis war der Baukasten im Großen, der aus sechs unterschiedlichen Raummodulen bestand. Doch auch dieses Bausystem erschließt sich über einen zwingend notwendigen Grundkörper. Im Gegensatz zum Wabenbau war es hier jedoch nicht möglich, den Wohnraum allseitig mit Räumen zu umschließen. Eine weitere Verbesserung wurde durch die höhere Flexibilität bzw. der größeren Anzahl an Möglichkeiten der Aneinanderfügung der Module erreicht [84].

Seit seinem „Dom-Ino“-Haus befasste sich **Le Corbusier** mit dem Baukastensystem und dem industrialisierten Bauen. Als Beispiel für kostengünstige Wohnungen der damaligen Zeit kann Le Corbusiers Wohnsiedlung „Quartiers Modernes Frugès“ in Pessac – einem Vorort von Bordeaux – betrachtet werden. Zusammen mit **Pierre Jeanneret** wurde er 1924 vom Zuckerfabrikanten Henri Frugès mit dem Bau dieser Arbeitersiedlung beauftragt. Mit dem knappen Budget wollte er möglichst viel Wohnfläche in guter Qualität erzielen. Die schlichte Formensprache seiner Betonbauten wirkte auf viele Menschen befremdlich, so dass er H. Frugès vorschlug, den künftigen Bewohnern diese neue Bauform und Ästhetik schonend näher zu bringen und nicht ganz auf dekorative Elemente zu verzichten. Le Corbusier war anderer Meinung und begründete seine Entscheidung dadurch, dass somit überflüssige Kosten vermieden werden können. Die Leistbarkeit stand für ihn im Vordergrund. Das Bausystem bestand aus 5 x 5 m großen Grundelementen aus Beton und ermöglichte durch diese Modularisierung auch eine industrielle Fertigung von Fenstern und Türen. Um Monotonie zu vermeiden, wurden die ursprünglich weißen Fassaden durch unterschiedliche Farbkonzepte ergänzt. Die Farben sollten seinen Entwurf unterstreichen, Formen hervorheben oder Formen in den Hintergrund stellen [59][86]. Das Projekt umfasst insgesamt 130 Wohneinheiten, die in sechs unterschiedlichen Haustypologien (vom freistehenden Haus über das stufenförmige Haus bis hin zum turmähnlichen Haus), errichtet wurden. Die Bewohner sollten sich schnell an die neue architektonische Formensprache und an das schlichte Erscheinungsbild gewöhnen. Die Realität sah allerdings anders aus. Einige Kritiker forderten eine Veränderung des Baukomplexes, während andere dies als Zerstörung der Architektur sahen. Doch gerade die häufig kritisierten Punkte des Projektes, waren möglicherweise die größten Vorteile, denn die Bewohner nutzten die Freiflächen wie Terrassen und Balkone um Umbauten und Erweiterungen durchzuführen. Die glatten Fassaden erlaubten zudem eine einfache individuelle Gestaltung. Die Reduktion auf das Minimum schuf unabsichtlich einen neutralen Rahmen, der den Bewohnern eine nachträgliche Adaptierungsmöglichkeit bot, um ihre individuellen Wünsche und Bedürfnisse durch Umbaumaßnahmen zu befriedigen. Kurz nach Einzug der Bewohner begannen diese ihre Räume aufzuteilen, Veranden zu umschließen und Terrassen mit Dächern auszustatten. Die langen Bandfenster wurden teilweise durch kleinere, traditionelle Fenster ersetzt, da diese eine höhere Privatsphäre ermöglichten und sich diese auch einfacher reinigen und ersetzen ließen. Während einige Adaptionen eine gewisse Ästhetik aufweisen, dienten einige nur dem Zweck der Anpassung an die individuellen Bedürfnisse. In den Terrassen sah man lediglich ungenutzten und verschwendeten Platz, so dass diese rasch als Erweiterungen der Innenräume dienten. Die Bewohner waren größtenteils sehr arm und mussten durch staatliche Förderprogramme unterstützt werden, um einen Verfall der Häuser zu verhindern [59][60].

Der Problematik der damaligen sozialen und städtebaulichen Aspekte widmete sich Gropius ab dem Jahr 1926, um dem steigenden Wohnungsmangel entgegen treten zu können. Gropius verfolgte das Konzept der industriellen Massenproduktion, um so in kurzer Zeit eine Deckung des erforderlichen Wohnungsbedarfs erreichen zu können. Allerdings schuf er damit auch die Basis für den Plattenbau und

die Satellitenstädte [129][132]. Eines der städtebaulichen Projekte Gropius' war die Versuchssiedlung in Dessau-Törten, die er von 1926-1928 für Familien mit geringem Budget errichtete. Die Produktion und Montage der Wandelemente aus Schlackenbeton und der Deckenträger aus Stahlbeton wurden optimiert. Eine weitere Baumethode war die Errichtung eines Stahlrahmentragwerkes, welches mit leichten Paneelen ausgefacht wurde. Trotz des Wohlwollens der Entwickler kamen diese reduzierten und industrialisierten Wohnhäuser keineswegs gut bei der Bevölkerung an, so dass nur wenige Häuser errichtet wurden. Als Beispiel einer ausgefachten Stahlrahmenkonstruktion sei das Mehrfamilienhaus in der Weißenhofsiedlung in Stuttgart von **Ludwig Mies van der Rohe** genannt, welches 1927 entstand [3].

Zur selben Zeit konzipierte der Stadtbaurat **Ernst May** in Frankfurt am Main den „Frankfurter Plattenbau“. In den Jahren 1926 bis 1930 wurden ca. 1000 Wohnhäuser in dieser Bauweise errichtet. In Anlehnung an den vom amerikanischen Bauingenieur **Grosvenor Atterbury** – der ein Bausystem mit vorgefertigten, gebäudehohen Betonplatten einsetzte [88] – entwickelte May ein System aus kleineren Platten, die einfacher montiert werden konnten. Die maximalen Abmessungen der Betonplatten betragen 300 x 110 x 20 cm (h/b/t) [3]. Obwohl diese Bauweise nur geringe Kostenvorteile gegenüber der klassischen Ziegelbauweise aufwies, konnte zumindest die Bauzeit deutlich verringert werden. Vom Baubeginn bis zur Übergabe an die Hausbewohner vergingen lediglich 26 Tage. Aufgrund verschiedener Probleme und der noch immer großen Abneigung der Bevölkerung gegenüber Betonbauten (insbesondere bei industriell vorgefertigten Bauwerken), wurden nur wenige hundert Häuser gebaut. Ebenfalls aus Modulen aufgebaut und vorgefertigt war die gemeinsam mit der österreichischen Architektin Margarete Schütte-Lihotzky entworfene „Frankfurter Küche“, die durch ihre industrielle Fertigung sehr kostengünstig produziert werden konnte. Die gut durchdachte Planung führte zu einer Anordnung der Küchenelemente, die eine schnelle Erreichbarkeit aller Küchenutensilien ermöglichte und dadurch zu einer Rationalisierung der Arbeitsabläufe in der Küche führte [3][70][87][133].

Der Marinesoldat **Richard Buckminster Fuller** war fasziniert von reduzierten geometrischen Formen und galt als einer der größten Entwickler transportabler, vorgefertigter Häuser. Im Jahr 1928 entwarf er das „Dymaxion-Haus“, das laut Fuller eine Art Maschine sei, in welcher man leben könne. Ausgangspunkt war sein Konzept des „4D House“, bei dem die vierte Dimension die Zeit darstellen soll. Zum einen ist damit vermutlich die verkürzte Bauzeit und zum anderen die gewonnene Zeit für Freizeitaktivitäten durch geschickte Architektur gemeint. Das Haus sollte zudem in Massen produziert und aufgrund des geringen Gewichts sogar mit einem Zeppelin transportiert werden können [3][90]. Aus dieser Idee entstand das Dymaxion-Haus. Es bestand aus einem zentralen Masten und zwei Druckringen, an denen die transluzente Fassadenverkleidung abgespannt wurde. Das Haus wurde Großteils aus Aluminium gefertigt und wog weniger als drei Tonnen. Sein Ziel war es, mit geringstem Gewicht und geringstem Materialaufwand den größten Raum zu schaffen, indem seine Bauteile hauptsächlich auf Zug beansprucht wurden. Aufgrund der hohen Kosten der Aluminiumbauteile ging das Haus nie in Serie. Erst in den 1940er-Jahren entwickelte er für das Militär – als Notunterkunft – eine ähnliche Version des Dymaxion-Hauses, das „Dymaxion Deployment Unit“. Es war ausgelegt auf widrigste Wetterbedingungen und wurde von oben nach unten aufgebaut. In der Zeit von 1944-1946 entwickelte er das „Wichita-Haus“ – auch „Dymaxion Dwelling Machine“ genannt – bei dem die Bauweise an den Flugzeugbau angelehnt war. Seine ausgeklügelte Konstruktion versorgte das Haus über den Fußboden mit Frischluft und leitete die verbrauchte Luft über natürliche Lüftung nach außen ab. Aufgrund hoher Kosten und weiterer Faktoren wurde die Behausung ebenfalls nie in Massen produziert [3][70][90].

Nach seinem berühmtesten Werk „Falling water“ (1935-1939) widmete **Frank Lloyd Wright** seine Aufmerksamkeit wieder den kostengünstigen Unterkünften [78][128]. Die größten Erfolge bei den leistbaren Wohnhäusern erreichte Wright mit den „Usonian Homes“, die er Ende der 30er- bis Anfang der 40er-Jahre errichtete. Ein Beispiel dieser Häuser ist das „Jacobs House“ in Madison (Wisconsin), welches auch unter dem Namen „Usonia No. 1“ bekannt ist. Obwohl das Haus wenig an Vorfertigung aufzuweisen hatte, konnte es zumindest kostengünstig erbaut werden. Das Haus wurde auf einem rechteckigen Raster von 2 x 4 Fuß (ca. 0,6 x 1,0 m) ausgelegt, bei dem standardisierte Bauteile eingesetzt werden konnten. Trotz des vorhandenen Potenzials zur Vorfertigung gelang es Wright nicht, die komplexen Details seines Entwurfes in der geforderten Qualität herzustellen, so dass bei den Usonian

Homes vieles noch durch Handwerker vor Ort ausgeführt werden musste. Die Gebäude bestehen aus kundenspezifischen massiven Service-Kernen aus Mauerwerk, in denen sich Küche, Bad und ein Kamin befindet. Die äußere Gebäudehülle wurde zum Teil aus Glas (Fenstertüren) und zum Teil aus leichten Sandwichpaneelen aus 2,5 Zoll (6,35 cm) dicken Sperrholzplatten gebildet. Der typische Wandaufbau eines Usonian-Hauses bestand aus Holzlatten, welche auf die Sperrholzplatten geschraubt wurden. Nut- und Federbretter auf der Außenseite dienten der Ableitung des Regenwassers. Auf beiden Seiten der Sandwichpaneel wurde eine Dampfbremse (Baupapier) aufgebracht. Der Vorteil des Hauses lag im Modulmaß, welches auf Standardgrößen wie zum Beispiel von verfügbaren Sperrholzplatten ausgelegt war und so trotz der geringen Vorfertigung Baukosten senken konnte [73][78][91].

Ein weiterer Pionier der Vorfertigung war **Konrad Wachsmann**, der zusammen mit **Walter Gropius** 1942 das „Packaged House“ entwickelte. Es ist ein Modulsystem in Holz-Leichtbauweise (Rahmenbau), welches für kleine Häuser mit ein bis zwei Geschossen gedacht war. Trotz Subventionen seitens der Regierung konnte keines der Holzhäuser verkauft werden. Durch eine Optimierung des Systems in den darauffolgenden Jahren 1943 und 1944 entstand daraus das „General Panel System“, welches verbesserte Verbindungen und weniger Module aufwies [3][70][77]. Das Haus war so konzipiert, dass es sogar ungelernete Arbeiter ohne Vorkenntnisse errichten konnten. Sowohl alle horizontalen als auch sämtliche vertikalen Plattenanschlüsse waren gleich. Die Wahl der Abmessungen der Paneel richtete sich nach Rohmaterialdimensionen, Transportbedingungen, Handhabung bei der Montage, Gewicht und nach der Verteilung der Anschlussknotenpunkte anderer Bauteile. Da jedes Element statische Funktionen erfüllen musste, waren die Dimensionen der Paneel ebenfalls begrenzt. Weitere Aspekte waren die Verbindungen und die Aufnahme der Toleranzen. Auch Möbelmaße wie Bettlängen, Schranktiefen oder Abmessungen der Kücheneinrichtungen gingen in die Untersuchung des Moduls ein. Aus dieser Untersuchung ergab sich ein Rahmensystem, das nach einem axialen Raster ausgelegt war und dessen Verbindungen durch hakenartige Metallverbindungselemente hergestellt wurden. Der Planungsmodul betrug 40 Zoll (rund 102 cm). Das General-Panel-System bestand aus Wand-, Boden-, Decken-, Dach- und Giebelplatten sowie Türen, Fenster, Lagerhölzer, Metallanschlüssen und zugehörigen Füllstäben aus Holz. Alle Platten wiesen dasselbe Randprofil auf und bestanden aus einem Holzrahmen, der mit Glasfibiisolierung ausgefacht und anschließend mit wasserbeständigen Sperrholzplatten verschlossen wurde. In diesen Holzrahmen waren Schlitze eingefräst, die eine Befestigung der Metallhaken ermöglichten. Zusätzlich entwickelte Konrad Wachsmann mit seinem Team ein vollständig vorgefertigtes Wasserinstallationsaggregat (Installationsmodul), bei dem alle Installationen für warmes und kaltes Wasser in einem Rahmen zusammengefasst wurden und später nur noch die Sanitärobjekte angeschlossen werden mussten [3][70][77][81][92]. Auch die Anordnung der elektrischen Leitungen war vollständig geplant. Um das Bausystem herstellen zu können, bedurfte es der Entwicklung einer eigens dafür ausgelegten Fertigungsanlage. Nach langer Entwicklungsarbeit ging 1947 das System in Produktion. Im Umkreis von 500 km der Fabrik war es möglich, ein Haus komplett mit Fenstern, Türen, Bad, Küche, Schränken, Installationen sowie Heizung in nur einem Tag von fünf ungelerten Arbeitern zu errichten [77]. Dennoch erlebte das Bausystem keinen großen wirtschaftlichen Erfolg. Obwohl Holz als Baumaterial am wirtschaftlichsten erschien, musste das Unternehmen nach ca. 200 produzierten Häusern schließen. Nichts desto weniger gilt Konrad Wachsmann als Wegweiser des industriellen Holzbaus. Sein Ziel war es, eine industriell vorgefertigte Systembauweise zu entwickeln und in der Folge zu optimieren. Als er nach seiner Architekturausbildung in den 1920er-Jahren bei der größten Holzbaufirma Europas Christoph & Unmack AG in der Oberlausitz arbeitete, konnte er die Systembauweise mit Holz vorantreiben. Mit diesem Wissen und in Zusammenarbeit mit Walter Gropius, entstand in der Zeit im Exil das vorhin beschriebene Baukastensystem. Die Schwierigkeit lag auch in der Verbindungstechnik, denn die Elemente sollten einfach zu montieren sein [3][70][77][81][92]. Er wählte den Baustoff Holz mit der Begründung:

*„...weil unter den damaligen Umständen dieses das einzige, verfügbare Material war, das sowohl in Qualität, Quantität, als auch in wirtschaftlicher Hinsicht am vorteilhaftesten erschien.“* [77, S. 140].

Nach dem Ersten Weltkrieg waren Baustoffe wie Beton, Stahl und Ziegel Mangelware und so kam es zu einem Anstieg der Nachfrage nach vorgefertigten Holzhäusern. Die Fa. Christoph & Unmack war in den 1920er-Jahren mit Konrad Wachsmann in diesem Gebiet führend. Viele Bereiche des modernen Holzbaus gehen noch heute auf Konrad Wachsmanns Ideen der industriell vorgefertigten Systembauweise zurück [3][70][77][81][92].

### 2-2.3 BAUSYSTEME DER NACHKRIEGSZEIT UND GEGENWART

In Amerika, vor allem in Los Angeles, entstanden in der Zeit von 1945-1966 die sogenannten „Case-Study-Häuser“. Urheber war der Herausgeber der Zeitschrift „Arts & Architecture“ **John Entenza**. Ziel war es, preiswerte, industriell gefertigte Häuser zu entwickeln. Insgesamt wurden acht Architekten damit beauftragt, darunter Charles und Ray Eames sowie Richard Neutra. Die 36 Musterhäuser gelten als Sinnbild des modernen Wohnungsbaus der Nachkriegszeit. Das Haus Nr. 8, geplant von **Charles und Ray Eames**, gilt als das berühmteste. Es besteht aus einer (auch innen) sichtbaren, einfachen Stahlskelettkonstruktion und aus unterschiedlichen Paneelen, die der Ausfachung der Primärtragstruktur dienen. Die dadurch entstandenen weiten, offenen Räume waren Inspiration für viele Architekten. Daraufhin gab es auch Bestrebungen, Häuser in Holzständerbauweise modular herzustellen, wobei auf eine klare und einfache Formensprache fokussiert wurde [3][70]. Das Eames Haus Nr. 8 wurde so konzeptioniert, dass ein Maximum an Wohnfläche auf dem schmalen Hanggrundstück erreicht werden konnte. Das Haus ist nach einem modularen System aufgebaut, wodurch Räume wie das Wohnzimmer oder das Studio eine würfelförmige Kubatur aufweisen. Mittels Schiebeelementen können Räume erweitert oder verkleinert werden. Das Gebäude besteht aus industriell hergestellten Bauteilen, welche „ab Lager“ verfügbar waren. Die Tragstruktur wird von Stahlrahmen gebildet, welche aus I-förmigen Stahlstützen und offenen Trägern bestehen. Die Errichtung konnte innerhalb von nur 90 Arbeitsstunden erfolgen. Für viele Architekten war es von großer Bedeutung, die Tragstruktur so weit wie möglich sichtbar zu machen. Ausgefacht wurde das Rahmentragwerk durch Paneele aus Zement, Asbest und Sperrholz sowie durch Glaselemente. Trotz der Schlichtheit und Wirtschaftlichkeit der Ausführung bietet das Haus eine vielfältige Struktur und Naturverbundenheit [94][95].

Die verheerenden Wohnverhältnisse nach dem Ende des 2. Weltkrieges führten zu einer neuen Blütezeit der industriellen Bausysteme. Im Gegensatz zu früheren Denkweisen wurde der Schwerpunkt nun auch auf temporäre Gebäude gelegt. In Deutschland erfuhr die Fertighausindustrie einen starken Aufschwung. Es wurden auch Bungalows aus Stahl- oder Holzskelotten gebaut, welche mit Asbestzement- oder Stahlbetonplatten ausgefacht wurden. Einer der bekanntesten und erfolgreichsten Bungalows aus den 50er-Jahren war der „AIROH-Bungalow“, der vom temporären Wohnbauprogramm in Großbritannien unterstützt wurde. Als Material kam Aluminium zur Anwendung, welches zu jeweils vier Gebäudemodulen mit 2,25 m Breite inklusive Innenausstattung verbaut wurde. Auf der Baustelle mussten die Module nur mehr miteinander verschraubt werden [3][70][98].

Auch in Amerika gab es zahlreiche Modelle, bei denen diese rasche, industriell vorgefertigte Bauweise angewandt wurde. Beispielhaft sei hier die 1951 gegründete Stadt Levittown in Pennsylvania genannt. Die Stadt – benannt nach den Erbauern **Bill und Alfred Levitt** – wurde aus sechs verschiedenen Häusermodellen errichtet. Zur Steigerung der Baugeschwindigkeit entwickelten die Brüder Levitt eine 26-stufige systematische Baumethode, bei der die Bauarbeiter von Haus zu Haus wechselten, wobei jeder Arbeiter nur eine einzige Tätigkeit ausüben brauchte. In diesem Fall wurde nicht die Vorfertigung in einer Fabrik rationalisiert, sondern der Vor-Ort-Prozess systematisiert. In den Großstädten waren nach dem 2. Weltkrieg günstige Wohnräume rar geworden. Durch die Entwicklung der vorhin genannten Baumethode konnten kostengünstige Einfamilienhäuser geschaffen werden, mit denen die steigende Nachfrage rasch abgedeckt werden konnte [3][73][99][100][101].

Seit den 1920er- und 1930er-Jahren waren mobile Häuser bereits sehr beliebt, doch erst im Jahre 1954 entstand in Amerika ein regelrechter Boom für die sogenannte „Mobile-Home-Industry“, bei der zahlreiche mobile und somit auch später noch umsetzbare Häuser entstanden. Die zu Beginn gebauten

schmalen Wägen waren kleinere, jedoch mobile Häuser. Später erreichten die Abmessungen der Häuser so große Dimensionen, dass diese nur für den ersten Transport zum Grundstück ausgelegt waren und danach stationär bleiben mussten. Der Übergang von den zunächst mobilen Häusern zu eher dauerhaft stehenden Häusern geschah vor allem auch durch Verbreiterung der 8-Fuß breiten zu 10-Fuß breiten Wohnwägen, wodurch ein komfortableres Wohnen möglich wurde. In den weiteren Jahren wurden bis zu 14-Fuß breite Wohnwägen gebaut. 1968 waren in etwa ein Viertel aller Einfamilienhäuser mobil. Die Behausungen wurden als komplettes Modul gebaut und auf einem Fahrgestell montiert. Vorteilhaft erschien diese Bauweise jenen, die wenig Kapital zur Verfügung hatten und die in verschiedenen Gegenden auf der Suche nach einer Arbeit waren. Diese Art der Wohnform hatte allerdings auch einige Nachteile, mangelte es ihr sowohl an Design als auch an Qualität. Auch Naturkatastrophen wie Wirbelstürme und Hurrikans konnte diese Bauform wenig entgegenzusetzen. Der Hauptgrund, warum so viele mobile Häuser verkauft wurden und teilweise auch noch werden, lag in den geringen Kosten [73].

Der Franzose **Jean Prouvé** bezeichnete sich selbst als Konstrukteur; eine Kombination von Ingenieur und Designer. Durch seine Ausbildung als Schmied war er mit den Eigenschaften und dem Umgang von Eisen bestens vertraut, was ihm bei der Konstruktion seiner Häuser entgegen kam. Im Jahr 1924 gründete er in der französischen Stadt Nancy eine Werkstatt, in der er verschiedene Produktionstechniken und Materialien untersuchte. In den darauffolgenden Jahren befasste er sich hauptsächlich mit dem Werkstoff Eisen und konnte ein neues Türsystem aus Stahlblech entwickeln. Nach diesem Erfolg gründete er 1931 die Aktiengesellschaft „Ateliers Jean Prouvé“, mit dem Ziel, sämtliche Arbeiten und Konstruktionen in Metall ausführen zu können. 1937 begann er mit der Entwicklung von Tragkonstruktionen aus Portalrahmensystemen, die später auch in temporären Unterkünften Anwendung fanden. Seine vorgefertigten Häuser nutzten ebenfalls dieses patentierte Rahmensystem. Er versuchte durch seine Arbeit die Architektur mit der Industrie zu verbinden, Produktionsabläufe zu verbessern sowie demontierbare als auch in Massen produzierbare Häuser zu entwickeln, ohne jedoch auf Design zu verzichten. Mit seinem 1944/45 entstandenen „house for refugees“ schaffte er es, ein 6 x 6 m bzw. 6 x 9 m großes Haus zu konstruieren, welches vollständig demontierbar war und innerhalb von eineinhalb Tagen errichtet werden konnte. Das Dach der Behausung war der wichtigste konstruktive Teil. Zuerst musste eine erhöhte Plattform errichtet werden, auf der im Gebäudeinneren ein Stahlrahmen aufgestellt wurde, der einen Dachbinder trägt. Die Fassaden waren aus 1 m breiten und ca. 50 – 60 mm dicken Holz- oder Stahlblechelementen aufgebaut [93].

Ähnlich aufgebaut war das von **Jean Prouvé** geschaffene „Maison Tropicale“ im Jahr 1954, welches ein wahres Meisterwerk der Vorfertigung darstellte. Die Bauteile wurden in Frankreich vorgefertigt, verschickt und anschließend im Kongo, in Paris, in New York und in London aufgebaut. Ursprünglich wurde das Bauwerk für Frankreichs Kolonien in Afrika entwickelt. Der Vorteil der Behausung lag in den 1 m breiten Modulen, welche zu einfachen, kostengünstigen Häusern zusammengebaut werden konnten. Für Jean Prouvé war dabei eine materialgerechte Ausnutzung des Materials oberstes Ziel [3][70]. Wie seine temporären Häuser für Kriegsflüchtlinge, bestand auch dieses Haus aus einer aufgeständerten Stahlplattform, einen darauf montierten zentralen Stahlrahmen und einen darauf befestigten Dachbalken, der die Lasten zu den lastabtragenden Fassadenelementen aus Aluminium ableitet. Das Gebäude erhielt erst durch die Befestigung der Fassadenelemente an der Plattform und an der Dachkonstruktion seine Stabilität. Diese zuerst als Kolonialbauten und später durch Anpassungen an die jeweiligen Klimaten als Tropenhäuser konzipierten Systembauten, wiesen ein quadratisches Raster mit 1 x 1 m auf und waren so ausgelegt, dass die Maximalabmessungen der Elemente 4 m in der Länge nicht überschritten. Dies war auf die Größe der Abkantpressen für die Bleche zurückzuführen. Ebenso reglementiert war das Gewicht der Elemente, die des Transports und des Handlings wegen maximal 100 Kilogramm aufweisen durften. Leider wurden nur wenige Häuser verkauft, da zum einen der Preis beinahe doppelt so hoch war als der eines konventionellen Hauses und zum anderen die ungewöhnliche Form sowie die leichten Fassadenelemente mit Bullaugenfenstern nicht den Ansprüchen der potentiellen Käufer in den Kolonien genügte [93].

Eine Architekturbewegung der Moderne – der Brutalismus – war durch sichtbaren Beton und formale Strukturen determiniert. Geprägt wurde der Begriff durch **Le Corbusier**, der dies besonders in der

Wohnanlage Unité d'Habitation in Marseille zum Ausdruck brachte. Die raue Holzschalung mit all ihren Maserungen des Holzes verlieh den Bauwerken des Brutalismus ihr Aussehen. Im Städtebau vertrat Le Corbusier seine eigene Vorstellung, indem er gesonderte Wohnbereiche, Erholungsbereiche, Verkehrs- und Arbeitsbereiche festlegte. Im „Congrès International d'Architecture Moderne“ (CIAM) 1956 kam es in diesem Punkt zu heftigen Auseinandersetzungen und zu Zerwürfnissen im CIAM. Die Beteiligten mit gegensätzlicher Meinung zu Le Corbusier gründeten einen neuen Kongress, das „Team X“. Dieses Team vertrat die Meinung, dass die Bereiche Soziologie, Anthropologie und Ökologie von entscheidender Bedeutung seien und im CIAM fehlten. Dies führte zu einer Umwandlung der traditionellen Strukturen. Es entstand der neue Brutalismus, in dem die Konstruktion sichtbar sein musste und die Baustoffe in ihrer ursprünglichen Art verwendet werden mussten. Eine Verkleidung von Bauteilen war demnach ungewünscht [3][102][134][135].

Hauptgründer des neuen Brutalismus waren **Alison und Peter Smithson**. Die beiden britischen Architekten sind auch für ihr „House of the Future“ bekannt, welches sie vollständig aus Plastik gebaut hatten. Ausgestellt wurde es in der Ideal Home Exhibition in London 1955-1956 [3].

Ebenfalls der neuen Brutalismus-Bewegung folgte der Amerikaner **Paul Rudolph**. Mit seinem Projekt Oriental Masonic Gardens in New Haven (Connecticut) errichtete er eine Wohnanlage für Bewohner mit geringem Einkommen. Der 1968 erbaute soziale Wohnbau bestand aus 148 Raummodulen in Wohnwagenform, welche zweigeschossig in Kreuzform angeordnet wurden [3][73][108]. Zu jener Zeit waren mobile Häuser sehr lukrativ und obwohl die modularen Zellen kostengünstig produziert werden konnten, erreichten sie nicht die Kosteneffizienz der mobilen Häuser, so dass es schwierig war, Baufirmen zu finden, die sich mit der modularen Bauweise auseinandersetzen wollten. Die Breite der Raummodule von 12 Fuß (rund 3,60 m) war durch die Transportbedingungen reglementiert, während bei den Längsabmessungen Zellen von 27, 39 und 51 Fuß (rund 8,23 / 11,89 / 15,55 m) eingesetzt wurden. Die Module waren genau auf den Transport mittels Lastwagen abgestimmt und wurden vollständig vorgefertigt. Die Kosten je Quadratfuß betragen damals in etwa 17,16 US\$ (damals ca. 170 €/m<sup>2</sup>). Im unteren Raummodul waren die Wohnräume untergebracht, während in der darüber liegenden Einheit zwei bis drei Schlafräume Platz fanden. Waren weitere Schlafmöglichkeiten erforderlich, konnte das Haus durch ein drittes Modul im unteren Bereich erweitert werden. Die im Werk vorgefertigten Zellen beinhalteten bereits die gesamte Haustechnik und waren mit kompletten Innenverkleidungen ausgestattet [109]. Durch diese spezielle Art der Bebauung hatte jede Wohneinheit Zugang zu einem Garten im Innenhof. Wegen technischer Mängel musste das Projekt allerdings in den frühen 1980er-Jahren abgerissen werden [3][108]. Ein weiteres Problem des Projektes war die Abneigung der Bewohner zu den Häusern sowie zur Umgebung [109].

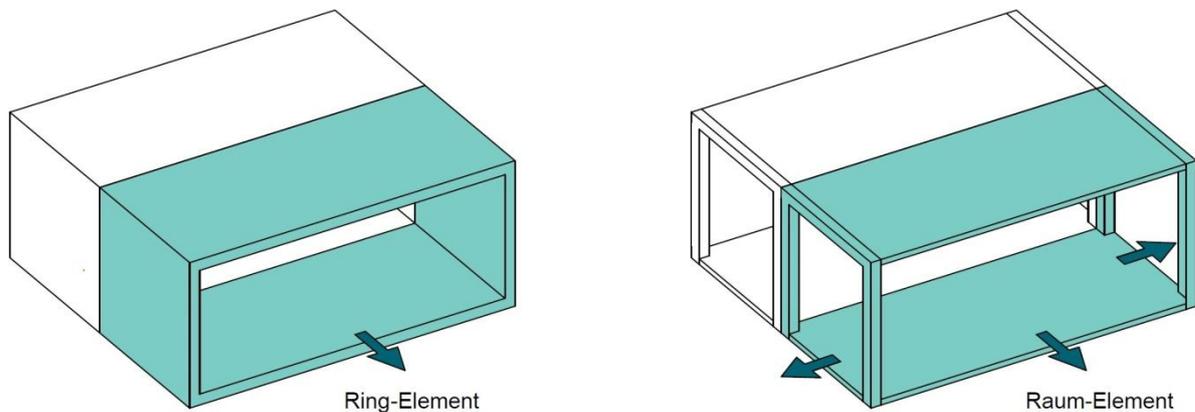
Ein weiterer Meilenstein in der Entwicklung von Systembauweisen war die Forschung im Bereich der Koordination von Modulsystemen, welche in Großbritannien in den 1960er-Jahren forciert wurde. Es kam zu einer Vorgabe einheitlicher Größen und zur Entwicklung eines Moduldiagrammes, wonach in Standardgrößen produziert werden konnte. Alle Teile, die Dimensionen nach diesem Diagramm aufwiesen, konnten miteinander kombiniert und gegebenenfalls getauscht werden [3]. Ebenfalls auf Modulen aufgebaut war das aus Dänemark stammende „Larsen-Nielsen-System“. **Larsen und Nielsen** waren zwei dänische Ingenieure und entwickelten 1948 ein Bausystem, welches aus großformatigen, raumgroßen Betonplatten bestand, die in einer Fabrik gefertigt und vor Ort miteinander verbunden wurden. Das System sollte die Bauarbeiten vor Ort minimieren [96]. Der Einsturz des Ronan Point 1968 – ein aus 22 Stockwerken bestehender Turm in London, der in dieser Systembauweise errichtet worden war – führte zu einer gewissen Abneigung gegen diese Bauweise [97]. Durch die Wirtschaftskrise 1967 und technischen Mängeln in den Konstruktionen kam es zu einem Rückgang in der Systembauweise. Traditionelle Bauweisen traten wieder in den Vordergrund [3].

Das große Potential der industriellen Vorfertigung von Bauwerken erkannte auch der Schweizer Architekt **Fritz Stucky**, der mit seinem Bausystem „Variel“ weltweit zahlreiche Bauten mit vorgefertigten Raumzellen errichtete. Nach seinem Architekturstudium an der ETH Zürich wurde er in den 50er-Jahren in Frank Lloyd Wrights Architekturschule aufgenommen. Als er später wieder in die Schweiz zurückkehrte, gründete er mit **Rudolf Meuli** in Zug das Architekturbüro „Stucky und Meuli“. Inspiriert

von F. L. Wrights Architektur und nach intensiver Auseinandersetzung mit den bereits bekannten Bausystemen in Raumzellenbauweise befasste er sich mit der Frage, wie ein Gebäude industriell produziert werden kann, ohne auf eine architektonisch qualitative Gestaltung verzichten zu müssen. Für Stucky war die in den 50er und 60er-Jahren vorherrschende Großtafelbauweise für seine Projekte wenig zufriedenstellend, da nur das Tragsystem industriell gefertigt werden konnte [103]. Für ihn galt:

*„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.“* [103, S.118].

Diese Anforderungen waren für ihn nur durch Raumzellen erfüllbar. Das erste Projekt des Architekturbüros Stucky und Meuli, bei dem Raumzellen Anwendung fanden, war 1956 ein Pavillon als Kirchenraum in Steinhausen in der Schweiz. Im Gegensatz zu Stuckys späteren Raumelementen aus Beton, kam hier ein Zellensystem aus Holz und Stahl zum Einsatz. Es war auch das erste System, bei dem größere Räume durch Zusammenfügen mehrerer Zellen entstehen konnten. Die Zellen des Systems wurden als „Ring-Elemente“ bezeichnet, da der Raum ringförmig von der Konstruktion eingeschlossen war. Abbildung 2.17 zeigt den Unterschied dieser Ring-Elemente im Vergleich zu Zellen, bei denen Innenräume auch in Längsachse durch Anfügen weiterer Zellen erweitert werden konnten [103].



**Abbildung 2.17:** links: Ring-Element mit Erweiterungsmöglichkeit in Querrichtung, rechts: Raum-Element mit Erweiterungsmöglichkeit in Quer- und Längsrichtung (vgl. [103])

Im sogenannten „Programm 58“ bzw. im „Variel-Stahl-System“ gelang es dem Team das Konzept weiter zu entwickeln, mit dem Ziel, Zellen ähnlich der Fließbandproduktion in der Automobilindustrie produzieren zu können. Das Ring-Element war standardisiert, mit Innenausbau gefertigt, leicht zu montieren und konnte industriell vorproduziert werden. Die Abmessungen der Zellen betragen 2,80 m in der Breite und 8,40 m in der Länge. Die Gesamthöhe der Zellen konnte von 2,94 m über 3,64 m und 3,74 m variieren, so dass Raumhöhen von 2,40 m bis 3,20 m möglich waren. Der Innenausbau des Ringsystems umfasste neben Verkleidungen, Fenster und Türen auch die gesamte Gebäudetechnik sowie nutzerspezifische Einbauten. Anfangs konnte man zwar noch nicht von einer Art Fließbandproduktion der Module sprechen, jedoch wurden Arbeitsschritte nach und nach optimiert, um eine Rationalisierung der Fertigung zu erreichen. Obwohl das System nur für eingeschossige Gebäude anwendbar war, wurden damit Schulen, Büros und Gewerbebauten errichtet. Der Erfolg des Ringsystems war vor allem auch auf die kurze Bauzeit, den vorab definierten Preis, die Möglichkeit das Gebäude später versetzen zu können und die große Nachfrage nach Gebäuden wie Schulen oder Wohnhäusern zurückzuführen. Im Jahre 1961 schlossen sich das Architekturbüro und die Elcon AG in Zug zusammen. Um der Nachfrage nach mehrgeschossigen Häusern – unter anderem auch im deutschen Baugewerbe – gerecht zu werden, wurde das Konzept im „Programm 63“ bzw. dem „Variel-Stahl-Beton-System“ überarbeitet. Zunächst musste der aussteifungsbedingte Rahmen aus Holz an den Gebäudeschmalseiten, der durch den dreiecksförmigen Aufbau eine Erweiterung in Zellenlängsrichtung verhinderte, durch Stahlrahmen mit biegesteifen Ecken ersetzt werden. Nun war das Raum-Element entstanden (siehe Abbildung 2.17 rechts). Im Folgenden

wurde versucht, die Leichtbauweise sukzessive durch massive Elemente zu ersetzen. Die Bodenplatte wurde daraufhin aus Beton ausgeführt. Um eine Raumzelle zu entwickeln, welche eine Qualität und eine äußere Erscheinung wie ein konventionelles Gebäude aufweist und um auch mehrgeschossige Bauwerke errichten zu können, entschied man sich, sämtliche tragende Bauteile aus Beton herzustellen – das „Beton-Standard-Programm“ bzw. das „Variel-Beton-System“ entstand. Die neue Tragstruktur bestand aus einer Bodenplatte, welche als Spannbetonrippenplatte ausgeführt war, zwei tragenden u-förmigen Stahlbetonrahmen an den Stirnseiten der Zelle, einer frei gespannten Betonrippenplatte für das Dach und aus einer Deckenunterkonstruktion aus Stahlprofilen zur Aussteifung. Statisch betrachtet leiten die Dachplatten die Lasten auf vier Auflagerpunkte der Frontrahmen weiter. Die kürzeren Bodenplatten lagern auf vier Konsolen auf, welche die Lasten an die Stützenfüße der Rahmen weitergeben. Diese wiederum leiten die Lasten in die Fundamente oder auf darunterliegende Frontrahmen ab. Die offenen Raumelemente waren in zwei Grundrissgrößen mit Abmessungen von 9,60 x 2,80 m (L x B) und 8,40 x 2,80 m erhältlich. Es konnte zudem zwischen drei Elementhöhen ausgewählt werden (2,50 m, 3,00 m und 3,20 m). Die Vorteile des Variel-Beton-Systems liegen in der Kosten- und Terminalsicherheit und im Konzept der offenen Raumzelle, welche allseitig erweitert werden kann. Die Größe der Zellen wurde nach den Transportmöglichkeiten ausgewählt, um Sondertransporte zu vermeiden. Ein Raum war nicht zwangsmäßig an nur eine Zelle bzw. an die Transportbedingungen bezüglich der Abmessungen gebunden. Ein weiterer Vorteil des Systems war, dass die Lasten nur an vier Auflagerpunkten eingeleitet wurden und somit sämtliche Wände nichttragend ausgeführt werden konnten. Obwohl die Zellen einen hohen Grad der Vorfertigung aufwiesen, war eine flexible Fassaden- und Grundrissgestaltung möglich. Die containerähnlichen Zellen erlaubten den Transport per Bahn oder Schiff. Das Ziel „*Raum auf Raum statt Stein auf Stein*“ war erreicht [103, S.123]. Interessant bei Stuckys System ist auch die Wahl der Modulgrößen rein nach Transportbedingungen und Höchstlasten für Hebezeuge der damaligen Zeit. Dem ist die Tatsache geschuldet, dass die Länge der Zellen nicht einem ganzzahligen Vielfachen der Zellenbreite entspricht. Daraus ergaben sich Restflächen bei der Zusammenstellung von Längszellen mit Querszellen. Obwohl gerade diese Tatsache in der Geschichte des Systembaus quasi ein „No Go“ darstellt, bildeten diese geometrischen Abweichungen neue Möglichkeiten – im Fall des Variel-Systems sogar enormes Potential. Die bei der Kombination von Quer- und Längszellen entstandenen Restflächen konnten als Innenhöfe, Eingangsbereiche, Windfänge oder ähnliches fungieren. Die Entwicklung der „Raum-Elemente“ wurde jedoch trotz der großen Erfolge weiterhin vorangetrieben, da es regionale Unterschiede in der Gesetzeslage und den Anforderungen an die Bauphysik gab. Ab 1970 wurde die Dämmebene nach außen verlegt, um den höheren Wärmeschutzanforderungen zu genügen. Adaptierungen im System erlaubten nun auch Standardlängen bis zu 10,80 m. Für das erfolgreiche Konzept wurden weltweit Lizenzen an Unternehmen verteilt, wodurch das Variel-System vielerorts eingesetzt werden konnte. Um den französischen Anforderungen gerecht zu werden, mussten noch längere Raumzellen hergestellt werden. Da aus statischen Gründen eine Verlängerung der Deckenspannweite nur mit einer Erhöhung der Plattendicke erreicht werden konnte, entschied man sich 1971 für die Einführung eines Stützrahmens in der Mitte der Zellen; das „Variel-E-Programm“ entstand. Nun waren Längen bis 12,00 m machbar [103]. So gut das Variel-System auch befunden worden war, es konnte nicht alle nutzerspezifischen und architektonischen Ansprüche erfüllen; die Fließbandfertigung der komplett ausgestatteten Zelle konnte nicht erreicht werden. Obwohl das System anderen Bauverfahren bzw. Bausystemen zeitweilig überlegen war, führten Veränderungen in der Baubranche – wie die Weiterentwicklung der traditionellen Bauweise – bis 1985 weltweit zur sukzessiven Schließung der Werke. Ein ebenso verantwortliches Phänomen war die Tatsache, dass durch den schnellen Baufortschritt und die ortsfremde Produktion die Steuereinnahmen der jeweiligen Gemeinde, in der ein Projekt mit Bausystemen errichtet werden sollte, sanken. Auch die geringere Anzahl an notwendigen Arbeitskräften für den Bau eines Gebäudes durch Systembauweisen wie dem Variel-System stand man mit Argwohn gegenüber. Den veränderten Anforderungen in der Branche war das System, bei welchem seit 1971 keine nennenswerten Adaptierungen mehr vorgenommen worden waren, nicht mehr gewachsen. Das ursprüngliche Konzept der leichten Zellen wurde seit der Einführung des Beton-Systems nicht mehr weiterentwickelt. Die Projekte der Konkurrenzfirmen, welche ihre Systeme modernisiert haben, zeigen, dass der Markt dafür durchaus gegeben war [103].

Der Schweizer Architekt und Zimmermann **Fritz Haller** beschäftigte sich ebenfalls mit der Systembauweise. In den 1960er-Jahren verfolgte er das Ziel, ein vollkommen flexibles Bausystem zu entwickeln, das man nach dem Aufbau ohne Beschädigung wieder ab- oder umbauen konnte. Ein hoher Grad an Offenheit sei laut Haller für zukunftsweisende Systeme unerlässlich [104, S.13]. Systeme sollten für unterschiedliche Nutzungen und Aufgaben sowie für zukünftige Änderungen offen sein. Dies gelang F. Haller mit seinen USM-Bausystemen, bei denen universelle Konstruktionselemente eingesetzt wurden, dessen Abmessungen an die Fertigung und Montage angepasst waren. Im Vordergrund des Systems standen die Erweiterbarkeit und die Integration der Gebäudetechnik [104]. In den frühen 1960er-Jahren entwarf er für die Fa. USM, die ihren Sitz in der Nähe von Bern hatte, ein neues Firmengebäude. Im Zuge dieser Aufgabe erarbeitete er auch ein Möbelsystem aus Stahlprofilen für die zugehörigen Büros. Dieses modular aufgebaute Büromöbelsystem konnte seit 1965 unter dem Namen USM-Haller-Büromöbelsystem vertrieben werden und kann noch heute eine Nachfrage aufweisen. In den darauffolgenden Jahren (nach Beginn der Entwicklung des Büromöbelsystems) gelang ihm die Entwicklung dreier modularer Baukastensysteme; 1963 das Maxi-System, 1969 das Mini-System und 1980 das Midi-System. Damit sollten zukünftige Veränderungen oder Umbauten im Betrieb durch einfache, zerstörungsfreie Maßnahmen ermöglicht werden. Mit dem Maxi-System konnten Hallenbauwerke modular errichtet werden, mit dem Mini-System kleinere ein- bis zweigeschossige Gebäude und mit dem komplexesten aller Bausysteme – mit Hilfe des Midi-Systems – konnten sogar mehrgeschossige Bürobauten realisiert werden [3][70][105]. Das Maxi-System verwendete vertikal ein Modulmaß von 0,60 bzw. 1,20 m und horizontal eines von 2,40 m. Stützenabstände waren von 9,60 bzw. 14,40 bis zu 19,20 m möglich. Stützenabstände bis zu 8,40 m waren beim kleinsten der Systeme – dem Mini-System – möglich. Ein Modulmaß von 1,20 m kam in horizontaler Richtung zur Anwendung, während durch unterschiedliche Stützenlängen und einem vertikalen Modulmaß von 0,60 m Raumhöhen von 2,40 über 3,00 bis zu 3,60 m erreicht werden konnten. Das Midi-System erlaubte Stützweiten bis hin zu 14,40 m und verwendete horizontal denselben Planungsmodul wie das Maxi-System. Vertikal war ein Vielfaches von 0,60 m vorgesehen [104]. In allen drei Systemen waren die haustechnischen Anlagen in einem dreidimensionalen Raster innerhalb der Konstruktion integriert [3][70][105]. Um die Gebäudetechnik in die Konstruktion integrieren zu können, entwickelte F. Haller das „ARMILLA Installationsmodell“ und das „ARMILLA Operationsmodell“. Ersteres beruht auf einem dreidimensionalen Raster, innerhalb dessen die Leitungssysteme geplant werden. In diesem Modell geht man vom Ideal einer von anderen Teilsystemen völlig uneingeschränkten Möglichkeit der Leitungsführung aus. Das ARMILLA Operationsmodell ist ein CAD-fähiges Planungssystem für Leitungssysteme, welches auf dem Installationsmodell basiert. Das System gibt dem Planer die Regeln vor, nachdem er die Gebäudetechnik in die Konstruktion integrieren kann [104].

Der österreichische Architekt **Fritz Matzinger** ist zwar bekannt für seine Atriumbauten, doch gilt er auch als Vertreter der Modulbauweise und des sozialen Wohnbaus. Seine Atriumbauten entstanden in Anlehnung an die Wohnverhältnisse kleiner afrikanischer Dörfer, die er während seiner Reisen kennen gelernt hatte. Die einzelnen (meist zweigeschossigen) Wohneinheiten werden um einen Atriumhof angeordnet. Dieser Hof dient auch als Dorfplatz, also als Ort der Begegnung. Mit seinem Konzept soll eine Alternative zum sozialen Wohnbau oder zum Einzelhaus geschaffen werden. Sein „Wohndorf“ wurde zu einem Experiment des Wohnens in einer kleinen Gemeinschaft. Seine dafür verwendete Bezeichnung „Les Palétuviers“ erhielt den Namen eines westafrikanischen Dorfes. Der Begriff kommt aus dem französischen und bedeutet zu Deutsch Wurzelbaum. Hintergrund war neben einer kostengünstigen Wohnform vor allem die Integration von Familien. Mittels gut durchdachter Gemeinschaftsbereiche sollen die Kommunikation und somit das Zusammenleben gestärkt werden. Es soll eine Geborgenheit mit gewollter Begegnung entstehen. Kinder sollen gemeinsam miteinander im Innenhof spielen können. Um eine gute Zusammensetzung der Hausbewohner zu erreichen, können Bewohner ihre Nachbarn selbst wählen. Die erste Anlage wurde 1975 in Leonding bei Linz gebaut, in welche der Architekt selbst einzog. Die Verwendung von vorfabrizierten Modulen aus Leichtbeton in Raumzellenbauweise verringerte die Baukosten. Zur Individualisierung konnten die Bewohner verschiedene Öffnungsmöglichkeiten aus einem Katalog wählen und somit ihre jeweils ca. 3 x 6 m großen Raumzellen anpassen. Generell waren die zukünftigen Bewohner sowohl in der Planungs- als auch in der Bauphase eingebunden. Insgesamt konnten von F. Matzinger über 20 solcher

Siedlungsformen errichtet werden, wobei nur wenige aus Raumzellen zusammengefügt wurden [81][111][112][113].

Aus dieser historischen Betrachtung geht hervor, dass es immer wieder Niederlagen und Fehlschläge im Systembau gegeben hat. Oft waren fehlende oder fehlerhafte Marktanalysen verantwortlich. Beispielshalber seien hier die Fehlinterpretationen des Bevölkerungswachstums in St. Louis mit Pruitt-Igoe oder die mangelhaften Plattenbauten mit fehlender Individualität erwähnt. Oft wurden auch Gründe wie übermäßige Gewinnmaximierung und Streben nach eigenem Ideal genannt. Die Akzeptanz der Bevölkerung wurde in vielen Fällen überschätzt [69].

## 2-2.4 WEITERE WOHNBAUTEN IN SYSTEMBAUWEISE

In Deutschland wurde in den 1960er-Jahren – besonders im sozialen Wohnbau – auf die bereits bekannten Bausysteme mit großformatigen Betonplatten zurückgegriffen. Die Plattenbauweise nahm in den 70er-Jahren ca. 60 Prozent des Wohnhausbaus der DDR und in den 80er-Jahren sogar ca. 75 Prozent der Wohnbauten in der Sowjetunion ein. Die Skelettbauten in Betonbauweise waren die damalige Lösung zur Bewältigung der akuten Wohnungsnot. Einsparungen führten zur Begrenzung der Auswahl an vorgefertigten Elementen, so dass ein monotones Design die Folge war. Die Großplattenbauweise bestand aus raumhohen Betonelementen mit einem Grundmodul von 1,2 m Breite. Um eine ansprechendere und abwechslungsreichere Optik der Plattenbauten zu erreichen, wurden oftmals keramische Platten eingelegt, unterschiedliche Farben verwendet oder die Platten bereits mit einem Muster gegossen. Erst nach dem Ende des Kalten Krieges gewannen die Plattenbauten etwas an Beliebtheit, da zum einen an bestehenden Objekten Adaptionen durchgeführt wurden, um die Häuser lebenswerter zu machen und zum anderen neue Plattenbauprojekte hochwertiger ausgeführt wurden. Der Architekt **Stefan Forster** kreierte aus einem alten DDR-Plattenbau in Leinefelde acht neue Stadtvillen, indem er dazwischenliegende Elemente der ehemaligen Anlage entfernte [3][70].

Trotz der Bemühungen zur Verbesserung des Ansehens der Plattenbauten stießen viele Projekte auf Abneigung seitens der Bewohner. Für die unflexiblen Wohnungen und das starre Bausystem, das nur wenige Abänderungen zuließ, mussten Alternativen gefunden werden. Offene Strukturen, die individuell verändert werden konnten, waren das Ziel. Einen interessanten Ansatz schuf der niederländische Architekt **Herman Hertzberger** mit den zwischen 1967 und 1971 errichteten Häusern „Diagoon“ in Delft. Es war ein unvollständiger Bau, der durch die Bewohner nach ihren Wünschen und Ideen fertiggestellt werden konnte. Ein weiteres Beispiel offener Strukturen war die von **Nikolaas Habraken** gegründete Stiftung Architekten Forschung (SAR). Ziel der Stiftung war es, Gebäudesysteme zu finden, bei denen sich Nutzer bzw. Bewohner beteiligen konnten. Offene Grundrisse ermöglichten den Nutzern, diese nach ihren Bedürfnissen selbst zu gestalten. Vorgegeben waren nur das Badezimmer und die Küche [70].

In München begründete **Otto Steidle** 1970 ein Wohnbausystem, welches zwar auch aus Betonfertigteilen bestand, aber eine flexible Veränderung oder Einrichtung ermöglichte. Die Trennwände und Fassadenbauteile des Wohnexperimentes in der Genter Straße konnten zwischen dem primären Tragsystem aus Betonstützen und Deckenträgern verändert werden [70].

In den 1970er-Jahren wurde in Deutschland das sogenannte Metastadt-Projekt in Wulfen geschaffen. Entworfen wurde das Metastadt-Projekt in den 1960er-Jahren vom Architekten **Richard Dietrich**, der damit eine neue städtebauliche Lösung erreichen wollte. Im Gegensatz zu den Satellitenstädten sollte das Projekt nicht auf der „grünen Wiese“ entstehen, sondern aus einem sukzessiven, inkrementellen Wachstum der vorhandenen Stadt [70][134 S.288]. Es sollte damit eine flexible Struktur geschaffen werden, die mehrere Nutzungsmöglichkeiten erlaubte. Die geplanten nachträglichen Veränderungen der Bausubstanz waren jedoch nur mit vielen Erschwernissen realisierbar und so wurde das Projekt nach 13 Jahren zurückgebaut. Es wurde ein Symbol im Sinne von zu großen und zu dichten Wohnstrukturen [70].

Als weiteres Beispiel kann die italienische Wohnanlage Corviale in Rom genannt werden, welche im Abschnitt 1-9.5 bereits erwähnt wurde. Ebenso zu den gescheiterten Wohnbauprojekten zählt die Wohnanlage Pruitt-Igoe in St. Louis (USA), welche bereits in Kapitel 1-9.4 beschrieben wurde.

Da das industrialisierte Bauen (vor allem Projekte mit unflexiblen Grundrissen und einer monotonen äußeren Erscheinung) durch die oftmals großen sozialen Probleme heftig kritisiert wurde, nahm man in den 70er-Jahren zunehmend Abstand von dieser Bauweise und des technisch bestimmten, äußeren Erscheinungsbildes. Zahlreiche Aspekte wie Umweltbewusstsein, Energieeinsparungen oder neuere Errungenschaften in der Gebäudetechnik veränderten die Architektur. Es entstand eine Vielzahl neuer Systeme, die unterschiedlichste Bedürfnisse erfüllen konnten [70].

## 2-2.5 NEUE TECHNOLOGIEN IM BAUWESEN

Obwohl sich der Systembau im Industrie- und Geschossbau gut etabliert hat, wird bei Wohnhäusern diese Bauweise noch immer mit Monotonie assoziiert und daher weniger akzeptiert. Nach wie vor werden dadurch viele Bauwerke in traditioneller Vor-Ort-Methode errichtet. Durch neue Methoden in der Planung und Herstellung kann auch in Kombination mit handwerklichen Methoden ein kostengünstiges Bauwerk in hoher Qualität entstehen. Besonders die Verwendung von Computern und computerunterstützten Planungs- und Fertigungsmethoden waren für die Weiterentwicklung im Systembau ausschlaggebend [70]. Meilensteine sind etwa die Erfindungen bzw. Anwendungen wie Computer Aided Design (CAD), Computer Aided Manufacturing (CAM) und Computer Numerical Control (CNC) sowie die Erfindung des Computers an sich. Im Jahr 1963 wurde die erste Software für Computergrafik am Massachusetts Institute of Technology entwickelt. Kurz darauf – im Jahr 1969 – entstand das erste CAD-Programm, das von Architektur- oder Ingenieurbüros genutzt werden konnte. Durch die Verwendung von CAD-Systemen konnten Zeichnungen automatisiert werden. Anfangs waren EDV-Systeme jedoch noch sehr teuer, so dass es erst ab Mitte der 1970er-Jahre langsam zu einer größeren Anwendung des Computers kam. In den 1980er-Jahren verbreitete sich die neue Technik rasch; genutzt wurde CAD zu dieser Zeit aber nur von wenigen großen Büros. In den darauffolgenden Jahren stieg die Verwendung ständig an [110]. Bis in die 1990er-Jahre war auch CNC nur für große Unternehmen finanzierbar. Dieses System lässt Schneidemaschinen sowie Fräser computergesteuert bedienen und wird besonders im Holzbau für Zuschnitte oder Fräsungen von Öffnungen und Holzverbindungen genutzt. Die CAM-Technologie wird unter anderem bei 3D-Druckern verwendet, indem Bauteile durch den sukzessiven Auftrag von Material hergestellt werden. Allerdings eignete sich diese Technik eher nur für den Modellbau, da das Bauteil auf das für den Drucker zu verarbeitende Material beschränkt ist. Mittlerweise gibt es aber auch schon Großdrucker, mit denen ganze Gebäude erstellt wurden. Das erste Bürogebäude, welches vollständig „ausgedruckt“ wurde, steht in Dubai. Um alle Bauteile inklusive Inneneinrichtung fertigen zu können, waren 17 Tage Druckzeit und ein 36,6 x 12,2 x 6,0 m großer Drucker erforderlich. Eine weitere Technologie im modernen Systembau stellt der Roboter dar. Seit über 30 Jahren werden in Japan Einfamilienhäuser durch Roboter zum Teil vollständig automatisch hergestellt, so dass das Personal nur mehr die Qualitätskontrolle übernehmen muss [70][73][124][136].

Durch moderne Computerprogramme können die Auswirkungen des Designs auf die Produktionslogistik miteinander verbunden werden. Diese Verbindung von Architektur und Konstruktion ist auch das Ziel des Building Information Modeling Systems (BIM), auch Gebäudedaten-Modellierung genannt, bei dem die gesamte Konstruktion inklusive der gesamten Haustechnik in der Planung integriert werden kann. Mit BIM entsteht ein digitales Gebäudemodell vom Entwurf über Planung und Errichtung bis hin zur Nutzung des Bauwerks. Der Austausch zwischen den Fachplanern soll damit gefördert werden, wodurch es zu einer Steigerung der Effizienz in der Planung kommen soll. Die Idee des Building Information Modelling gab es bereits in den 1970er-Jahren, doch erst im Jahr 2003 gewann der Begriff an Bedeutung. Das dreidimensionale Gebäudemodell ermöglicht es, Bauteile untereinander – auch die Haustechnik – gut miteinander abstimmen zu können. Aus dem digitalen Gebäudemodell können optimierte Konstruktionskonzepte und auch Konzepte zur optimalen Elementierung hervorgehen, die wiederum

einer computergesteuerten Produktion der Bauteile entgegen kommt. Somit können auch unterschiedliche Varianten eines Bauteils ohne höhere Kosten gefertigt werden, wodurch heutzutage der Systembau nicht mehr ausschließlich an die Massenproduktion von gleichen Bauteilen gebunden ist. Der heutige und vor allem der zukünftige Systembau definieren sich nicht mehr durch die Aneinanderreihung vieler identer Bauteile, sondern als ein System von unterschiedlichen, individuellen Bauteilen, die systematisch produziert und zusammengefügt werden können [3][70][73][137].

Eine Vorreiterrolle in der industriellen Massenproduktion von Häusern nimmt Japan ein. Bereits 1968 entwickelte Kazuhiko Ono im Zuge seiner Dissertation an der Universität Tokyos ein dreidimensionales modulares Bausystem – das M1-System von Sekisui Heim. Das System war in der Lage, komplexe Gebäude so zu zerlegen, dass eine industrielle Linienproduktion möglich war. Ein Stahlrahmen, der als Grundgerüst diente, konnte (trotz der überschaubaren Anzahl an Bauteilen) eine Vielzahl an Möglichkeiten für unterschiedliche Kundenbedürfnisse schaffen. Bereits in den 70er-Jahren erreichte die Produktion der M1-Module die 3000er Marke, wodurch weitere Investitionen in der Automatisierungstechnik möglich waren [106].

Die für den Automobilbau bekannte Firma Toyota (Toyota Motor Corporation) stieg im Jahr 1975 ebenfalls in die Hausbaubranche ein, mit dem Ziel, japanische Häuser besser zu machen. Es wurden zahlreiche Einfamilienhäuser und Wohnhäuser errichtet. Im Jahr 2003 etablierte die Toyota Motor Corporation zur Stärkung des Wohnbausektors die Toyota Housing Corporation. Aus der anfänglichen Abteilung entstand ein neues Unternehmen, welches 2004 in Betrieb ging und für die Planung, Vermarktung und Supportfunktionen zuständig war. Die jährlichen Verkaufszahlen erreichten 2006 erstmalig 5000 Wohneinheiten. Im Jahr 2010 wurden die verbliebenen Funktionen an das neue Unternehmen übergeben, so dass die Toyota Housing Corporation vollständig für die Entwicklung, die Produktion und den Vertrieb zuständig war [114]. Ein Meilenstein in der Weiterentwicklung der Vorfertigung war die Etablierung des legendären „Toyota Production System“ (TPS), welches die Firma nach dem Zweiten Weltkrieg zur Steigerung der Produktivität in der Automobilbranche entwickelte. Das System ermöglicht eine schnelle Anpassung der Produktion an Veränderungen des Marktes bzw. der Nachfrage. Das Konzept ist – im Gegensatz zur Ford'schen Fließbandproduktion – so ausgelegt, dass nur so viele Produkte gefertigt wie auch gerade nachgefragt werden. Eine Überproduktion und Lagerhaltung wird vermieden. Dies kam auch der Reduktion des Ressourcenverbrauchs entgegen, da Japan nach dem Zweiten Weltkrieg wirtschaftlich wenig Unterstützung erhielt und dadurch ressourcenschonend produzieren musste. In den 80er-Jahren entwickelte das Unternehmen Sekisui Heim ein neues, innovatives Steuerungssystem des Produktions- und Logistikflusses: das Enterprise Resource Planning System (ERP). Dieses System war wiederum Grundstein für das ebenfalls von Sekisui Heim etablierte „Heim automated parts pickup system“ (HAPPS), welches CAD-Grundrisspläne der Häuser in Daten für die Produktion übersetzt. Bis zu 95 Prozent der CAD-Daten können damit umgewandelt werden, die danach Informationen für Logistik, Produktion und Montage bereit stellen. Damit wurde eine Kommunikation zwischen jeweiligen Teil-Arbeitsabschnitt (Bedarf), Lieferanten und Zulieferung zur benötigten Stelle auf der Fertigungsstraße ermöglicht. Das System wählt aus einem Pool von rund 300.000 Bauteilen ca. 30.000 aus, welche für ein Haus im Schnitt benötigt werden [106]. Die automatische Komponentenauswahl sorgt dafür, dass die benötigten Bauteile jeder Einheit schneller am entsprechenden Abschnitt der Fertigungsstraße verfügbar sind, während zuvor automatisch Stücklisten aus den CAD-Plänen für jede Einheit erstellt werden. Die japanischen Vorfertigungsbetriebe wie Toyota Home oder Sekisui Heim sind eng mit der industrialisierten und hoch automatisierten Produktion verbunden und können schnell und effizient Häuser produzieren. Die beiden Unternehmen arbeiten bei der Produktion mit dreidimensionalen Stahlrahmen, welche jeweils als Grundeinheiten dienen, in die Böden, Decken, Wände, etc. eingebaut werden [107]. Sekisui Heim fertigt pro Tag in etwa 150 Stück dieser Stahlrahmen, was ca. 10 bis 15 Häuser entspricht. Diese Stahlskelette durchlaufen mehr als 45 Stationen auf einer ca. 400 m langen Produktionsstraße und werden schrittweise ausgefüllt. Die Geschwindigkeit, mit der die Stahlrahmen vorwärts geschoben werden, beträgt ca. 1,4 m pro Minute [106]. Ähnlich der Fertigung der Automobilindustrie können diese Einheiten – die später zu einem ganzen Haus zusammengefügt werden – von allen Seiten gleichzeitig fertig gestellt werden. Ein durchschnittliches Haus besteht meist aus 10 bis 15 Einheiten. Technische Elemente, wie Kabel oder

Leitungen, werden je nach Bedarf individuell eingebaut [106]. Toyota strukturiert die Einheiten systematisch in Skelett- (Stahlrahmen) und Subsysteme (wie z.B. Füllungen). Dadurch wird nicht nur die Konstruktion entkoppelt, sondern auch die Entscheidungen über Funktion oder Design, wodurch eine parallele Produktion der Bauteile ermöglicht wird. Eine systemische Rasterung ermöglicht eine Koordination der Komponenten und Subsysteme. Innerhalb des Rasters können Teile ausgetauscht, ersetzt oder ergänzt werden, sofern sich die neuen Elemente in das modulare Koordinationsraster integrieren lassen. Für eine ständige Weiterentwicklung und Verbesserung des Systems sind somit offene Komponentensysteme (sogenannte „Open Engineering Systems“) erforderlich. Die verbauten Komponenten unterscheiden sich dabei in zwei Typen. Jene Komponenten, die durch Kunden individuell angepasst werden können und jene die durch den Produzenten weiterentwickelt werden können. Das japanische Unternehmen Sekisui Heim führt diesbezüglich jährlich einige hundert Adaptierungen durch, um die Häuser ständig verbessern zu können. Bei der Vorfertigung wird häufig über „Mass Customisation“ gesprochen, was so viel bedeutet wie individuelle Massenproduktion nach Kundenwünschen. Das bedeutet, dass bei „Mass Customisation“ die Vorteile einer personalisierten, kundenspezifischen Produktion mit der kostengünstigen standardisierten Massenproduktion verschmelzen. Wichtig für beide Unternehmen ist auch der Konfigurationsprozess, bei dem Kunden entweder über einen Online-Konfigurator ihr Haus zusammenstellen können oder aber gemeinsam mit Mitarbeitern des Unternehmens in einer offline-Konfiguration, bei der das vom Kunden gewünschte Haus an die Struktur der unternehmensspezifischen Produktion angepasst wird. Die meisten japanischen Vorfertigungsunternehmen bedienen sich der offline-Variante. Beide Unternehmen – Sekisui Heim und Toyota Home – bieten regional unterschiedliche Arten von Häusern an, um den Ansprüchen der Kunden nach bevorzugten Haustypen und Materialien näher zu kommen. Der Grad der Integration des Kunden in den Entwicklungsprozess macht sich allerdings im Preis bemerkbar. Es werden jedoch ständig Verbesserungen im Herstellungsprozess durchgeführt, um diese Kostenauswirkungen durch Individualität zu senken. Zusätzlich wird dem Kunden ein Umzugsservice angeboten, um dem Bewohner den Umzug zu erleichtern, wodurch Vorfertigungsunternehmen in Japan ein positives Image erhalten. Weiterer Vorteil der japanischen Vorfertigungsunternehmen ist der hohe Grad an Effizienz beim Ressourcenverbrauch. Die „input“- und „output“-Ströme werden genau überwacht, wodurch eine optimale Versorgung der Produktionsbereiche mit Ressourcen gewährleistet werden kann. Mittels „just-in-time“- (rechtzeitig) bzw. eine „just-in-sequence“-Produktion (reihenfolgerichtig) können zusätzlich Kosten gespart werden [106][107].

Die Fertigungsweise der beiden Unternehmen erlaubt es, völlig unterschiedliche, nach Kundenwunsch individualisierte Häuser gleichzeitig auf derselben Fertigungsstraße herzustellen. Im Jahr 2009 erreichte der Vorfertigungsgrad des Unternehmens Sekisui Heim bis zu 80 Prozent und jener des Unternehmens Toyota Home bis zu 85 Prozent. Nach jedem Arbeitsabschnitt gibt es Qualitätskontrollen durch Roboter oder speziell geschultes Personal. Ziel ist eine hundertprozentige Fehlerfreiheit. Im letzten Fertigungsabschnitt werden die Einheiten verpackt und zwischengelagert, bis LKWs die gerade benötigten Elemente „just-in-time“ an die Baustelle liefern. Vor Ort können die Module innerhalb eines Tages montiert werden, da sich die Tätigkeiten auf der Baustelle nur mehr auf das Fügen der Einheiten und auf wenige Innenarbeiten beläuft. Bei der Übergabe der Häuser erhalten die Bewohner ein Handbuch über das Haus und erfahren eine Schulung vor Ort. Beide Firmen bieten auch nach der Übergabe weitere Servicedienste an. Werden später Erweiterungen des Hauses gewünscht, können zusätzliche Module hinzugefügt werden. Im Gegensatz dazu können sämtliche Module vollständig rückgebaut werden [106][107].

Warum gerade die Vorfertigung in Japan eine so große Rolle spielt, liegt vermutlich am langfristigen Lern- und Entwicklungsprozess des Wohnungs- bzw. des Vorfertigungsmarktes. Die soziokulturelle Umgebung des Landes mit dem Wunsch nach Neuem sowie geringem Ressourcenverbrauch und hohen Dienstleistungserwartungen prägen ebenfalls diese Entwicklung. Eine weitere wichtige Rolle spielt die japanische Holzbautradition, die bereits sehr früh einen hohen Grad an Vorfertigung lieferte. Aus der Tradition Japans geht auch die Verwendung der Tatami-Matte hervor, die mit ihren Abmessungen von ca. 85 x 170 cm bzw. 95 x 190 cm im Verhältnis 1:2 ein praktikables Modulmaß in der japanischen Baukunst bietet. Jeder Raum kann durch eine genaue Anzahl an Matten definiert werden. Noch heute werden

Raumgrößen häufig in der Anzahl an Tatami-Matten anstatt in Quadratmeter angegeben. Diese Vorliebe für Standardisierung und Maßsystemen ist verantwortlich für die Entwicklung der Vorfertigung in Japan [107].

## 2-2.6 ERSTE BAUSYSTEME MIT BRETTSPERRHOLZ

Erstmals im Jahr 1981 verwendeten **G. Dröge** und **K. H. Stoy** den Begriff Brettsperrholz. Nach intensiver Forschungs- und Entwicklungstätigkeit bekam die Fa. KLH Massivholz GmbH als erstes österreichisches Unternehmen die technische Zulassung für das Produkt Kreuzlagenholz (KLH). Es besteht aus durch Bretter zusammengeklebten Einschichtplatten, die wiederum kreuzweise miteinander verklebt werden und in der Regel eine ungerade Schichtzahl aufweisen (siehe Abbildung 2.18). Durch weitere intensive Forschungsprojekte – vor allem an der TU Graz – wurde das Produkt sukzessive verbessert und wird seither bei vielen Bauvorhaben eingesetzt [4].

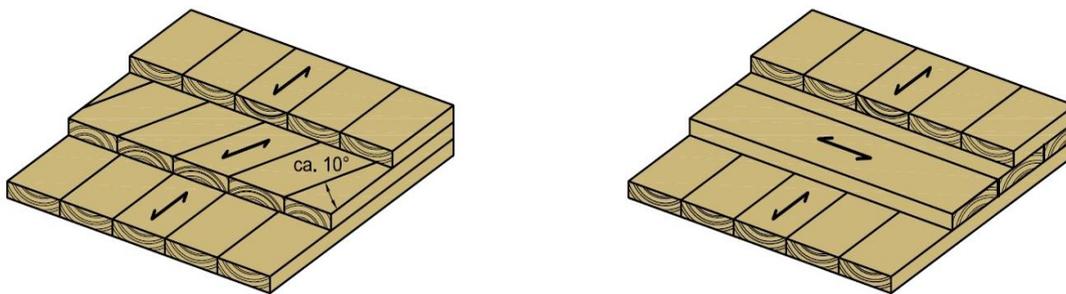


Abbildung 2.18: Brettsperrholzaufbau (3-schichtig) nach G. Dröge und K. H. Stoy (vgl. [4])

Eines der ersten Bauwerke in Holz-Massivbauweise unter Verwendung von Brettsperrholz war die Erweiterung des Hotels Berghof Fetz in Schwarzenberg (Vorarlberg) im Jahr 1997, welche vom Architekten **Leopold Kaufmann** geplant wurde. Es gilt als Prototyp der Raumzellenbauweise in dieser Gegend, bei dem erstmals ganze, selbsttragende Zellen aneinander gestapelt wurden. Diese waren zwar vorgefertigt, befanden sich bei der Montage allerdings noch im unausgebauten Zustand. 1998 wurde von **Oskar Leo Kaufmann** und **Johannes Kaufmann** die Kleinstwohneinheit SU-SI in Reuthe und auch die Erweiterung des Hotels Post in Bezau geplant. Der Zubau des Hotels durch zehn Zimmer in Modulbauweise dauerte insgesamt nur fünf Wochen. Nach der Montage der Raumzellen wurde das Dach errichtet und die Innenausstattung eingebaut [115].

**Hubert Rieß** – ein Grazer Architekt – gilt als Pionier im Bereich der Raumzellenbauweise in Brettsperrholz. Er konstruierte unter anderem 2004 das Impulszentrum in Graz, bei dem alle Büroabschnitte aus Modulen in Brettsperrholz ausgeführt wurden. Insgesamt bestand das Projekt aus 72 Raummodulen. Der Vorfertigungsgrad war sehr hoch, denn die Raumzellen wurden inklusive Haustechnik, Fassade und Innenbeplankung mit Gipskartonplatten auf die Baustelle geliefert. Sowohl Boden als auch Wände und Decken wurden aus Brettsperrholzelementen ausgeführt. Besonders aufwändig und kompliziert war die Verbindung der Module miteinander, denn es sollte eine ausreichende Tragwirkung erreicht werden, ohne aber eine Schallübertragung zwischen den Modulen untereinander zu fördern [81][116].

Ein weiterer österreichischer Architekt und Vorreiter im Holzbau ist **Hermann Kaufmann**. Als Sohn einer Zimmermannsfamilie konnte er den Werkstoff Holz sowie die Anwendungen und Möglichkeiten des Baustoffs von Grund auf kennen lernen. Seit seinem Architekturstudium befasst er sich in seinen Projekten mit den zahlreichen Möglichkeiten und Chancen der modernen Holzbauweise. Ebenso waren Themen wie Nachhaltigkeit, Tradition und Energie wichtige Bereiche. Neben der Vorfertigung ist für ihn auch die Verwendung regionaler Materialien von Bedeutung. Im Gegensatz zu **Hubert Rieß** verwendet **Hermann Kaufmann** meist flächige Elemente anstatt Raumzellen. Ein Projekt mit Tafeln aus

Brettsperrholz ist die Wohnhausanlage am Mühlweg in Wien mit Blick auf das Marchfeld aus dem Jahr 2005. Auch hier wurde das Erdgeschoss in traditioneller Massivbauweise ausgeführt, auf dem dann die drei darüberliegenden Geschosse in Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz aufbaut wurden. Das Projekt sollte die Umgebung nicht ausgrenzen, sondern durch einen dreiseitig begrenzten Innenhof das Marchfeld mit einbeziehen [81][117][118].

Ein weiterer Meilenstein in der Modulbauweise mit Brettsperrholz gelang im Jahr 2005 bei den Olympischen Spielen in Turin mit der Errichtung eines vierstöckigen Hotels, welches aus Raumzellen in Brettsperrholz zusammengebaut wurde [138]. Geplant wurde das Hotel von **Thomas Kudelka, Vaclav Kadera** und **Johann Riebenbauer**. Sämtliche Module wurden im Werk vorgefertigt und mittels Lastkraftwagen zur Baustelle transportiert. Die Abmessungen der Module betragen in etwa 6,4 m in der Länge, 2,5 m in der Breite und 2,7 m in der Höhe [139].

Der Neubau des Hotels Ammerwald in Plansee im Jahr 2008 wurde von Oskar Leo Kaufmann und **Albert Rüf** durchgeführt. Durch die große Anzahl an benötigten Modulen wurde eine Art Fließbandproduktion eingeführt. In Anlehnung an die Automobilherstellung konnten die Raumzellen auf Schienen vorwärts geschoben werden. Produziert wurde durch die Zimmerei Kaufmann bzw. durch Kaufmann Bausysteme. Das Vorarlberger Unternehmen Kaufmann Bausysteme wurde 1952 als Zimmerei mit Brettschichtholzfertigung von **Josef Kaufmann** gegründet. Heute liegt der Fokus auf der Fertigung ganzer Raumzellen in Holz-Massivbauweise und wird vom Geschäftsführer **Christian Kaufmann** geführt. Der erste Modulbau mit über 100 vorgefertigten Raumzellen entstand 2012 mit dem Seniorenwohnheim Hallein. Für die Produktion musste eine Industriehalle in der Steiermark angemietet werden, wodurch lokale Handwerker aus der näheren Umgebung für die unterschiedlichen Gewerke eingebunden werden konnten [115][119][121].

Für den Zubau des Hotels Hubertus in Mellau 2012 wurden schon schlüsselfertige Module eingesetzt. Dadurch war eine kurze Unterbrechung des Hotelbetriebs auf die Zwischensaison möglich. 2013 wurden bei fünf Kindergartenprojekten in Ulm (Deutschland) erstmals auch offene Raumzellen verwendet. Die Kombination von offenen und geschlossenen Zellen ermöglichte eine größere Nutzungsvielfalt. Weitere Projekte, bei denen Raumzellen aus Holz eingesetzt wurden, folgten. In Mellau baute die Zimmerei Kaufmann ein modulares Ferienhaus – genannt TINN – in dem ausschließlich regionale Produkte in möglichst natürlicher Form Anwendung fanden. 2015 errichtete das Unternehmen Kaufmann Bausysteme die Europäische Schule in Frankfurt. In diesem Projekt wurden bereits 100 Raumzellen verbaut, bei denen einige in offener Bauweise gefertigt wurden. Da die Schule nur als temporäres Projekt angedacht war, sollten Containersysteme verwendet werden. Die Raumzellen aus Holz konnten sich letztendlich im Wettbewerb gegenüber den Containersystemen aus Stahl durchsetzen [115][119][122]. Die große Flexibilität der Modulbauweise ermöglicht auch andere Anwendungsformen, wie etwa an der Flüchtlingsunterkunft in Hannover – welche von Kaufmann Bausysteme gebaut wurde – ersichtlich ist. Durch die kurze Bauzeit konnten in wenigen Wochen 74 Wohnungen geschaffen werden, die derzeit von Flüchtlingen genutzt werden, später aber auch als normale, kostengünstige Wohnungen fungieren können [115][119].

Die industrielle Vorfertigung von Raumzellen in der heutigen Zeit basiert auf einer, ähnlich der aus der Automobilindustrie bekannten, Fließbandfertigung, wodurch eine noch schnellere Produktion bei hoher Qualität ermöglicht wird. Im Werk der Fa. Kaufmann Bausysteme kommt nicht der Handwerker zum Modul, sondern das Modul zum Handwerker. Auf diese Art und Weise der Herstellung können bis zu vier Raumzellen pro Tag vollständig produziert werden [115][119].

Im nächsten Abschnitt wird auf die Modulbauweise näher eingegangen, wodurch ein Überblick über die Charakteristika der Bauweise geschaffen werden soll. Nach einer anschließenden Gegenüberstellung der Holzbauweisen werden deren Eigenschaften genauer betrachtet. Daraufhin soll eine Entscheidung getroffen werden können, welche Bauweise für das in dieser Arbeit zu entwickelnde soziale Wohnbauprojekt in informellen Siedlungen am besten geeignet ist.

## 2-3 MODULBAUWEISE: EIGENSCHAFTEN & CHARAKTERISTIKA

---

Generell kann die Produktion von Bauelementen sowohl witterungsgeschützt in einem Werk als auch vor Ort stattfinden. Wird jedoch von Vorfertigung gesprochen, so ist damit für gewöhnlich die systematische Herstellung von Bauteilen in einer Fabrik gemeint. Vorteilhaft wirkt sich eine Bauweise mit Vorfertigung auf eine verkürzte Bauzeit durch schnellere Montage und erhöhte Qualität durch laufende Qualitätssicherung aus. Eine Kostenreduktion durch höhere Vorfertigungsgrade im Vergleich zu den diversen Vor-Ort-Bauverfahren kann durch Verwendung von fertigen Elementen erreicht werden, wobei dieser Vorteil auch verschwinden kann, wenn besonders hochgradig vorgefertigte Module eingesetzt werden. In diesem Fall wird der Modulbau von Experten als teurer angesehen [3][140]. Als weiteren Aspekt für oder gegen modulare Bauweisen soll die Wirkung von Systembauten auf die Bauherren oder Nutzer betrachtet werden. Bauten mit hohem Vorfertigungsgrad weisen häufig eine schlechtere architektonische Qualität auf und werden als Massenanfertigungen ohne Individualität angesehen, weshalb auch einige Projekte gescheitert sind. Als Beispiel seien hier die Plattenbauten der DDR genannt, über deren architektonischen Wert noch heute geteilte Meinung herrscht. Systembauten können aber auch hochwertige sowie hochtechnische, individuelle Bauwerke sein, die heutzutage sogar organische Formen annehmen können. Doch was ist das Ziel einer systematisierten Bauweise? Das Ziel besteht darin, dass Gebäude unter Anwendung von systematisierten Bautechnologien wirtschaftlicher produziert werden können und zusätzlich die Qualität besser kontrolliert werden kann, als dies bei einer herkömmlichen Baumethode der Fall wäre [3].

Im Systembau versucht man Wege zu finden, um die Herstellung bzw. Errichtung eines Bauwerkes zu rationalisieren. Bei der Rationalisierung sollen Bauvorgänge optimiert werden. Ziel ist eine Steigerung der Qualität und eine Reduzierung der Baukosten im Vergleich zur konventionellen Vor-Ort-Bauweise. Um dieses Ziel zu erreichen, gibt es nach Landsberg und Pinkau ([141]) fünf Hauptaspekte, die berücksichtigt werden müssen:

- Wiederholung,
- Arbeitsteilung,
- Ablauforganisation,
- Spezialisierung und
- Mechanisierung

Im Punkt Wiederholung geht es darum, Elemente für unterschiedliche und verschieden große Bauprojekte verwenden zu können. Ein Gebäude wird im Zuge der Elementierung oder Modularisierung in einzelne vordefinierte Elemente oder Module eingeteilt. Können bestimmte Randbedingungen eingehalten werden, ist eine Serienproduktion möglich. Unter Arbeitsteilung wird die Zerlegung eines Bauablaufes in kleinere, einzelne Tätigkeiten verstanden. Dazu ist eine gute Organisation der unterschiedlichen Arbeitsschritte erforderlich. Durch eine gut überlegte Arbeitsorganisation der Planung, Produktion und Montage kann eine höhere Produktivität erreicht werden, allerdings geht dabei die Flexibilität verloren. Eine Spezialisierung ist notwendig, um eine gute Organisation und Einteilung der Arbeit zu erhalten. Hingegen ist mit einer höheren Mechanisierung ein erhöhter Einsatz von Maschinen in der Produktion verbunden. Dadurch kann die Produktivität massiv gesteigert werden. Der Großteil an Arbeitszeit, Energie- und Materialeinsatz wird durch eine industrielle Vorfertigung von der Baustelle in das Werk verlagert. Im Fall einer Werksfertigung können auch Ressourcen wie Arbeitskräfte, Geräte oder Material besser organisiert und koordiniert werden. Zudem wird eine Witterungsabhängigkeit bei der Produktion gegenüber einer traditionellen Vor-Ort-Bauweise erreicht [141].

Ein Bauwerk kann in drei Kategorien wie System, Module und Elemente unterteilt werden. Dies sind die drei Ebenen der Konstruktion. Dabei besteht das System aus einem primären System, das meist die Tragstruktur bildet und einem sekundären System, das meist die Fassade und das Dach umfasst. Diese Systeme sind aus Modulen aufgebaut, wobei hier unter Modulen Bauteile wie Fenster, Türen oder Dach- und Fassadenmodule zu verstehen sind. Die dritte Ebene bilden die Elemente wie etwa Ziegel, Gläser oder Balken, die zu Modulen zusammengesetzt werden. Alle Module gemeinsam bilden das System; ein

Modul kann jedoch aus unterschiedlich vielen Elementen aufgebaut sein. Je nachdem, welcher Vorfertigungsgrad für ein bestimmtes Gebäude am geeignetsten erscheint, werden Module oder Elemente mit verschiedener Komplexität und Höhe der Vorfertigung verbaut. Zu beachten ist aber auch, dass hochkomplexe Module meist nur eine geringe Flexibilität aufweisen. Bei der Entscheidung über die Höhe des Vorfertigungsgrades spielen unterschiedliche Faktoren eine Rolle. Neben den Unternehmen, die am Bau beteiligt sein sollen und welches Know-How diese in der Systembauweise aufweisen, ist auch das Verhältnis zwischen Lohnkosten zu Materialkosten entscheidend. Bei hohen Lohnkosten, wie es in entwickelten Ländern der Fall ist, versucht man die Arbeit von teuren Arbeitskräften gering zu halten, indem man höhere Vorfertigungsgrade anstrebt. Im Gegensatz dazu kann es in Ländern mit geringem Lohnniveau sinnvoll sein, mehr Arbeitszeit vor Ort einzuplanen und den Grad der Vorfertigung etwas zu reduzieren. Die Art der Modularisierung richtet sich auch nach unterschiedlichen Randbedingungen. Aufgrund des Transportes kann es zum Beispiel erforderlich sein, ein Modul auf eine bestimmte Größe zu limitieren [3]. Die Vor- und Nachteile der Vorfertigung werden im Abschnitt 2-3.4 beschrieben.

### 2-3.1 VORFERTIGUNG IN UNTERSCHIEDLICHEN LÄNDERN

Der Anteil der Vorfertigung am Wohnhausmarkt liegt in Deutschland etwa bei 15 Prozent, bis zu 33 Prozent in Österreich, 5 Prozent in Frankreich, Spanien und den skandinavischen Ländern. Da in Europa keines der Vorfertigungsunternehmen an seine Kapazitätsgrenze stößt, gibt es wenige Investitionen im Bereich der Automatisierung. Man könnte sagen, die Produktion hat sich lediglich von der Baustelle in die Fabrik verlagert. Zudem bedienen die Vorfertigungsunternehmen in Europa eher die niedrigpreisigen Segmente, was ebenfalls für keine Innovationen bei Produkten oder Dienstleistungen hervorbringt. Im Gegensatz dazu bewegt sich die japanische Vorfertigungsindustrie eher im Segment der mittel- bis hochpreisigen Immobilien. Hoch individualisierte Häuser, welche mit der modernsten Technik gefertigt werden, stehen zur Verfügung. Neben der allgemeinen Erdbebensicherheit dieser Häuser geben Firmen wie Toyota Home Garantien von 30 Jahren auf die Konstruktion [106]. Beinahe 90 Prozent aller Einfamilienhäuser in Japan wurden industriell vorgefertigt. Eine so hohe Rate an Vorfertigung begründet sich einerseits aus der jahrhundertelangen Tradition im Modularisieren von Gebäuden – man bedenke die Nutzung der Tatami-Matte und das Shaku-Maß – und andererseits aus der ständig optimierten Produktionstechnik und Ablauforganisation. Früher waren dauerhafte Häuser weniger gefragt, so sie beispielshalber im Kriegsfall einfach demontierbar und umsetzbar sein sollten. Besonders wichtig war die Austauschbarkeit der Bauteile. Auch heute benutzen noch einige Bauunternehmen für das Raster ihrer Bausysteme das Maß der Tatami-Matte. In Japan wird ein Haus ebenso wie ein Automobil oder Unterhaltungselektronik als Verschleißelement betrachtet, so dass eine Massenproduktion in größerem Maße akzeptiert wird als in anderen Ländern. Am äußeren Erscheinungsbild wird wesentlich weniger experimentiert als in der Optimierung der Innenraumaufteilung [3]. Der größte Produzent im Japan – Sekisui House – produzierte 1994 bereits über 78.000 Wohneinheiten. Daiwa House – der zweitgrößte Produzent von vorgefertigten Häusern erreichte 2007 eine Produktion von über 44.000 Einheiten, Sekisui Heim 1997 knapp 34.000 und Toyota Home im Jahr 2006 ca. 5.000 Wohneinheiten. Trotz des hohen Grades an industrieller Fertigung, weisen japanische Vorfertigungshäuser den höchsten Grad an Individualisierung und technischer Ausrüstung bei gleichzeitig durchdachtestem Design aller Häuser auf. Überraschend erscheint jedoch die Tatsache, dass obwohl die beiden größten japanischen Hersteller den geringsten Vorfertigungsgrad bzw. die geringste Automatisierung im Werk aufweisen, jedoch die meisten Häuser produzieren. Toyota Home hingegen bietet den höchsten Vorfertigungsgrad von bis zu 85 Prozent, produziert jedoch nur ca. 5.000 Einheiten pro Jahr. Alle japanischen Vorfertigungsunternehmen bieten weiterführende Dienstleistungen wie organisierte Übersiedelungen, zukünftige Erweiterungen der Häuser oder Rückbau an. Zudem werden Garantien bis hin zu 60 Jahren auf die Tragstruktur gegeben, was auf die hochwertige Produktion und Qualitätssicherung im Werk zurückzuführen ist. Der Trend geht außerdem mehr in Richtung von Serviceleistungen und gebäudetechnisch hochgradig ausgestatteten Behausungen [106].

In den USA, Kanada und in Skandinavien ist der geschossweise Skelettbau in Holz („platform frame“) nach wie vor die am meisten angewandte Bauweise. Besonders in den USA ist die „Fließbandproduktion“ von Häusern beliebt. Dies begründet sich dadurch, da die Häuser einen günstigen Preis aufweisen müssen, dennoch aber viel Platz und ein hoher Komfort gefordert werden. Die meisten Bauteile inklusive Verbindungen, Treppen und dergleichen werden industriell vorgefertigt. Die standardisierte Grundkonstruktion kann mit unterschiedlichen Fassadenverkleidungen in Stilen wie zum Beispiel traditionell, gregorianisch oder mediterran verdeckt werden. Trotz der Vor-Ort-Baumethode konnte ein effizientes und durchorganisiertes Bausystem geschaffen werden, indem in kurzer Zeit Häuser mit traditionellem Look industriell gefertigt werden. Wichtiges Argument beim amerikanischen Hausbau ist der Wiederverkaufswert. Die Module des sogenannten „weeHouses“ – welche von Alchemy Architects entwickelt wurden – waren bei der Montage vollständig ausgestattet. Bisher wurden über 20 Häuser dieses Systems gebaut, die alle verschiedene Kombinationen bezüglich der Module aufweisen [3]. Auch unterschiedliche Größen sind möglich wobei Längen aufgrund des Transportes auf 60 Fuß (in etwa 18,3 m) begrenzt sind. Die Raumzellen werden in einer Fabrik vollständig vorgefertigt und können per Schiff versandt werden. Vor Ort erfolgt die Montage durch lokale Bauunternehmen [142].

In Holland, wo nur wenig Baugrund zur Verfügung steht, muss verdichtet gebaut werden, so dass im Gegensatz zu den Vororten der USA keine Einfamilienhäuser, sondern Reihenhäuser vorzufinden sind. Die früheren vorgefertigten Häuser hatten meist ein monotones Erscheinungsbild, doch durch staatliche Wohnbauförderungen konnten neue Systeme entwickelt werden, die kostengünstig waren und zugleich individueller gestaltet werden konnten. Trotz der hohen Anzahl an vorgefertigten Wohnhäusern, die seit den 1990er-Jahren errichtet wurden, entstand durch eine Vielzahl an architektonischen Experimenten eine interessante Architektur. Die Wohnsiedlung Woonhof De Dolphijn – entworfen von Fierloos Architecten – und ein Studentenwohnheim in Delft von Mart de Jong aus stapelbaren Raummodulen sind Beispiele für Systembauten in den Niederlanden [3].

Ganz anders sieht es in Großbritannien aus. Das eigene Wohnhaus sollte traditionell mit massiven Materialien gebaut werden und trotzdem kostengünstig sein. Aus der Geschichte geht hervor, dass die vorfabrizierten Häuser aus der Nachkriegszeit noch immer ein negatives Bild auf die Vorfertigung werfen. Man kann im gewissen Maße von Widerstand gegen Vorfertigung sprechen. Weitere Gründe für den geringen Marktanteil von Systemhäusern sind die schwierigen Finanzierungsverhältnisse und die teuren sowie schwer zu findenden Grundstücke. Neue Baumethoden werden von Banken häufig als riskant angesehen. Entscheidend ist auch die Sicht des Eigentümers eines Hauses, da in Großbritannien das Haus als Investition betrachtet wird und mehr Wert auf eine Steigerung des Gebäudewertes gelegt wird, der sich aus teurer Lage und dauerhafter Bauweise ergibt. Ein äußeres Erscheinungsbild im Sinne eines Fertighauses wäre kontraproduktiv. Mittlerweile kommt es allmählich zu einem geringen Anstieg des vorgefertigten Wohnbaus, da Systeme entwickelt wurden, die eine Vielzahl an unterschiedlichen Fassadenverkleidungen zulassen. Als Beispiel sei hier die Wohnsiedlung Oxley Woods von Rogers Stirk Harbour + Partners genannt. Das Konzept erlaubt eine individuelle Anpassbarkeit der Fassadenpaneele an Kundenwünsche. Zudem können bis zu 40 Prozent des Energieverbrauches durch eine Solaranlage zur Warmwasseraufbereitung und durch natürliche Belüftung bzw. Nutzung der Abwärme eingespart werden. Das steigende Nachhaltigkeitsbewusstsein ist ein Aspekt, der auch im traditionellen Großbritannien vorgefertigte Bausysteme zulässt [3].

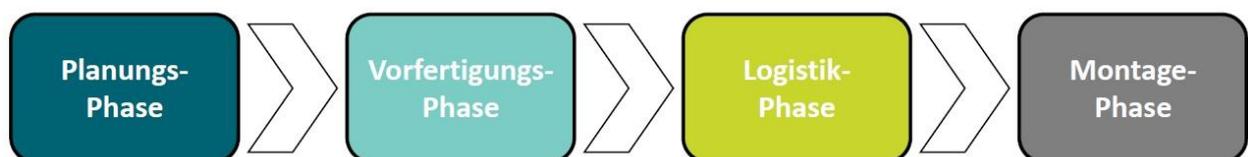
Im Gegensatz zu Großbritannien sind in Österreich Tradition und moderne Architektur kein Widerspruch. Die Bedürfnisse neuer Generationen können durch innovative Baumethoden erfüllt werden, ohne dass die Qualität oder die Tradition darunter leidet. Aspekte wie offenere Räume, größere Glasflächen oder Energieeffizienz können integriert werden. Ein Bewusstsein für qualitative und ästhetische Architektur zu günstigen Preisen und die schwierigen Bauverhältnisse durch Klima und Gelände führen zu steigender Beliebtheit der vorgefertigten Häuser. Besonders die Entwicklung der Raumzellenbauweise in Brettsperrholz – die vor allem in Vorarlberg stattgefunden hat – zeigt, in welche Richtung die Vorfertigung von Gebäuden gehen kann. Die „SU-SI“-Wohneinheit war eines der ersten vorgefertigten Raumzellensysteme in Österreich in Holzbauweise [3][115].

## 2-3.2 DER PROZESS DER VORFERTIGUNG

Als Meilenstein der Vorfertigungsbranche galt die Einführung der Fließbandproduktion im Jahr 1913 durch Henry Ford. Zuvor war eine Automobilherstellung zeit- und kostenaufwändig. Zudem waren dazu qualifizierte Arbeiter erforderlich. Durch das Fließband kam das Werkstück zum Arbeiter, welcher nur wiederholende Tätigkeiten durchführen musste. Dadurch konnten sowohl Zeit als auch Kosten deutlich reduziert werden. Nach diesem Vorbild versuchte man diese Methode auch in die Bauindustrie zu übertragen, was besonders an Bauten wie der Maison Citrohan von Le Corbusier im Jahr 1920 erkennbar war. Aus verschiedenen Gründen konnten viele dieser Projekte und Bausysteme in den darauffolgenden Jahren keinen großen Erfolg erlangen (siehe Kapitel 2-2). Eine andere Möglichkeit der effizienten Vorfertigung konnte durch die Weiterentwicklung der Ford'schen Massenproduktion gefunden werden, wie dies beispielsweise durch das Produktionsverfahren der Fa. Toyota erkennbar ist [3]. Bei der Toyota-Produktion wird der gesamte Herstellungsprozess betrachtet. Es sollen nicht nur Einzelkomponenten schnell und effizient produziert werden, sondern der gesamte Prozess soll effizient sein. Daraus hat sich die sogenannte „Lean Production“ entwickelt. Eine Produktion in der die Arbeitsschritte flexibel auf einen gleichmäßigen Produktionsprozess abgestimmt werden und Lagerhaltung sowie Transport vermieden werden. Zum einen wird die Zulieferung optimiert und zum anderen nur aufgrund von Nachfrage und somit projektbezogen produziert. Im Vergleich zur Massenproduktion werden eine höhere Qualität, unabhängig von Produktivität und Flexibilität erreicht. Bei dieser Produktionsweise können somit verschiedene Elemente auf einem Fließband produziert werden. Wird diese Methode auf die Baubranche umgelegt, so können auch hier bessere Ergebnisse, vor allem durch die größere Flexibilität, erreicht werden [3]. Um eine möglichst gute Vorfertigung zu erreichen, muss einiges beachtet werden. Eine treffende Beschreibung bietet folgendes Zitat:

*„Um Teile eines Gebäudes vorfertigen zu können, muss es planerisch in Fertigungseinheiten für die Fabrikproduktion zerlegt werden. Diese Einheiten, auch Komponenten oder Module genannt, müssen hinsichtlich ihres Gewichts, ihrer Größe und Oberflächenempfindlichkeit so definiert werden, dass sie in der Fabrik und zur Baustelle hin problemlos transportierbar und für die Montage auf der Baustelle handhabbar sind.“ [3,S.92].*

Allgemein betrachtet gliedert sich der Produktionsprozess eines Gebäudes unter Verwendung der Vorfertigung in vier Phasen [3]:



**Abbildung 2.19: Produktionsprozess eines Gebäudes mit Vorfertigung (vgl. [3, S. 85])**

In der Planungsphase werden Aussehen, Qualität, Konstruktion, Kosten, Bauzeit und der Bauablauf selbst festgelegt. Die zweite Phase besteht aus der eigentlichen Fertigung des Gebäudes bzw. seiner Bestandteile. Im nächsten Schritt, der Logistik, muss für einen wirtschaftlichen und reibungslosen Ablauf der Montage gesorgt werden. Dies erfolgt durch die zeitgerechte Lieferung der Bauteile zur Baustelle. Dabei ist nicht nur auf den richtigen Zeitpunkt des jeweiligen Bauteils zu achten, sondern auch auf die Reihenfolge, damit eine Lagerhaltung oder eine Wartezeit bei der Montage verhindert werden. Die letzte Phase wird durch den Montageprozess gebildet. Im Idealfall werden die Bauteile just-in-time am jeweilig vorgesehenen Platz im Gebäude montiert [3].

### 2-3.3 TRANSPORT UND MONTAGE

Der Transport der vorgefertigten Module limitiert die maximalen Abmessungen der Bauteile, die vom Werk zur Baustelle geliefert werden können. Auch die Kosten spielen eine entscheidende Rolle, denn Sondertransporte sind zwar möglich, kosten aber mehr Geld [70][124]. Für einen normalen Transport mit Sattelschleppern ohne Erfordernis einer Sondergenehmigung müssen Maße in B x H x L von 2,55 x 4,00 x 18,75 m eingehalten werden. Für größere Bauteile sind Sondertransporte notwendig. Transportmaße können dann aber bis zu 3,50 x 4,30 x 25,00 m erreichen [143]. Der Ladungsüberstand ist auf maximal 4,00 m begrenzt. Unter Umständen sind sogar noch größere Breiten bis zu 4,0 m möglich. Die maximale Höhe ist dennoch häufig auf 4,00 m beschränkt [144]. In Tabelle 2.2 sind die zulässigen Transportabmessungen für Österreich angeführt und in Abbildung 2.20 ist der Transport von Raumzellen graphisch dargestellt.

Tabelle 2.2: Zulässige Transportabmessungen (vgl. [143])

Abmessungen	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Gewicht [t]
Ohne Sondergenehmigung Kraftwagen oder Anhänger mit zwei oder mehr Achsen	12,00	2,55	4,00	40,00
Ohne Sondergenehmigung Sattelkraftfahrzeugen	16,50	2,55	4,00	40,00
Ohne Sondergenehmigung Lastzüge	18,75	2,55	4,00	40,00
Mit Ausnahmegenehmigung	25,00 *	3,50	4,30 **	60,00 ***

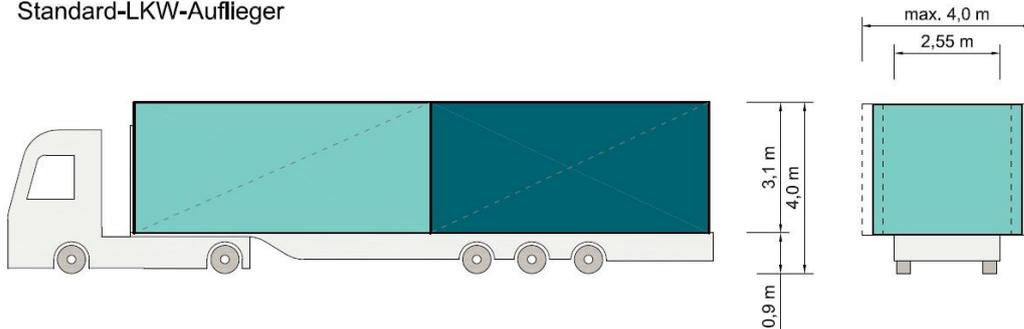
\* Gesamtlänge inklusive Fahrzeug, ein Ladungsüberstand von bis zu 4,00 m ist zulässig

\*\* Bei Autobahnen; bei normalen Straßen gelten 4,20 m

\*\*\* maximale Achslasten von 10,00 t, Antriebsachse max. 11,5 t

- ein Längenüberstand von 25 % bis 16 m Gesamtlänge ist erlaubt
- eine Überschreitung der gesetzlichen Maße ist nur bei einer unteilbaren Ladung erlaubt (beim neben-, hinter- oder übereinander Laden ist eine Überschreitung nicht zulässig)

Standard-LKW-Auflieger



Tiefbett-LKW-Auflieger

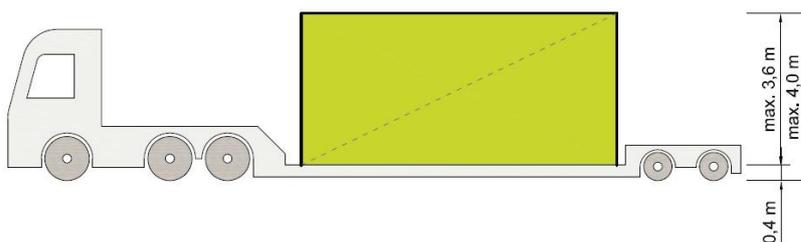


Abbildung 2.20: Transportabmessungen (vgl. [144])

Die tatsächlich möglichen Abmessungen hängen von den örtlichen Gegebenheiten wie Straßenbreite, Brücken- und Tunnelhöhe aber auch von den zur Verfügung stehenden Kraftfahrzeugen ab. Bei sehr schwer erreichbaren Baustellen ist auch ein Transport mittels Hubschrauber möglich, der allerdings sehr kostenintensiv ist. Aus wirtschaftlichen Gründen ist daher eine Auslegung der vorgefertigten Elemente auf die ökonomisch sinnvollsten Transportabmessungen erforderlich [70][73]. Beim Transport von Raumzellen ist weiters zu beachten, dass breite Zellen im hinteren Bereich geladen werden müssen. Werden zwei Zellen hintereinander transportiert, so sind diese am LKW miteinander zu verbinden [144]. Die richtige Ladereihenfolge und auch die geeignete Lieferreihenfolge muss – um die Montage zu erleichtern – berücksichtigt werden. Im Systembau wird oft auch von Montagebau gesprochen, da die vorgefertigten Elemente auf der Baustelle nur mehr an die richtige Stelle gehoben werden müssen, dort entsprechend eingebaut, miteinander verbunden werden und anschließend noch Finish-Arbeiten zu erledigen sind. Zu beachten ist auch, dass Bauteile nicht nur auf die Lasten des späteren Endzustandes, sondern auch auf die meist punktuelle Lagerung beim Transport und bei der Montage auszulegen sind. Auch Verwindungskräfte sind zu beachten. Die Elemente, Paneele oder Module werden in der Regel mit speziellen Hebepunkten ausgestattet, an denen Gurte und Haken befestigt werden können, um so einen Transport mittels Kran möglich zu machen. Dieser Hebevorgang belastet das Bauteil erheblich, so dass die Hebepunkte entsprechend sorgfältig in ihrer Lage und Anzahl ausgewählt werden müssen. Nicht nur, damit die Bauteile in der Luft stabil bleiben und zusätzliche Spannungen gering gehalten werden, sondern auch im Sinne der finalen Ästhetik, muss eine sorgfältige Planung dieser Hebepunkte erfolgen. Dies ist besonders dann wichtig, wenn diese später nicht hinter Verkleidungen verschwinden. Neben einem guten Zeitmanagement ist auch eine durchdachte und schnellherzustellende Verbindungstechnik der Module unerlässlich. Die Elementabmessungen sind auch für die Art und Größe des Hebewerkzeuges entscheidend. Dies wirkt sich ebenfalls auf die Kosten aus [70][73][124]. Nicht zu unterschätzen ist eine gut funktionierende Logistik, die sich besonders im innerstädtischen Bereich und bei einem hohen Grad der Vorfertigung bemerkbar macht. Zu beachten ist auch, dass vor Ort der benötigte Platz zum Entladen sowie zur eventuellen temporären Lagerung und für Hebezeuge vorhanden ist. Für die Montagebauweise empfiehlt es sich, folgende Punkte zu beachten [73]:

- Reduzierung der Anzahl an Arbeitsschritten bei der Montage vor Ort:  
Damit sollen Zeit, Kosten und die Fehleranfälligkeit reduziert werden, eine höhere Zuverlässigkeit des Produktes entstehen und ein logistisch sinnvoller Montageablauf gewährleistet werden.
- Reduzierung der Teile, die bei der Montage zusammengefügt werden müssen:  
Dadurch sollen ebenfalls Kosten eingespart werden. Es muss herausgefunden werden, welche Teile tatsächlich benötigt werden und welche nicht. Zudem muss hinterfragt werden, zu welchem Subsystem ein bestimmtes Element besser passen würde, um so die Montage zu optimieren.
- Überprüfung ob und wie ein Rückbau oder eine Demontage möglich ist:  
Dies führt zu einem besseren Verständnis des Montageablaufes. Durch dieses Rückwärtsdenken kann der Montageablauf optimiert werden. Möglicherweise erscheint dadurch eine andere Abfolge der Montageschritte sinnvoller.
- Koordination und Planung der Montage von Subsystemen:  
Dies betrifft jene Subsysteme, die erst auf der Baustelle und nicht im Werk eingebaut werden. Hiermit sollen so wenig wie möglich Bearbeitungsschritte eines Materials oder Zuschnitte vor Ort anfallen.
- Reduzierung der Anschlüsse und Verbindungen:  
So wie bei der Reduktion der Bauteile soll auch bei den Verbindungen die Fehleranfälligkeit verringert werden.
- Einfachheit in der Handhabung:  
Elemente sollten so geplant werden, dass sie sowohl bei der Herstellung, beim Transport und bei der Montage in Größe und Gewicht handhabbar sind. Auch wie ein Element eingebaut werden muss, soll klar ersichtlich sein. Dies kann zum Beispiel durch Antimetrie oder Auslässe entstehen. Ein Schlüsselcode auf den Elementen kann ebenfalls hilfreich sein.

- Wiederholung:  
Es sollen so viele gleiche Elemente wie möglich eingesetzt werden. Dadurch werden Fehlerquoten reduziert und die Baugeschwindigkeit wird erhöht.
- Simulation und Erstellung eines Musterhauses oder Prototyps:  
Mögliche Probleme, Fehleranfälligkeiten oder Überschneidungen von Arbeitsschritten sollen bereits vorab sichtbar werden.
- Erstellung von Bau- bzw. Montagemodellen:  
Modelle helfen beim Verständnis. Arbeiter können sich am Modell besser orientieren.
- leicht erreichbare Verbindungen und Knoten vorsehen:  
Es ist wichtig, dass Anschlüsse leicht erreichbar sind, damit Arbeiter schneller und besser daran arbeiten können. Besteht beispielshalber das Problem, dass Schrauben wegen Platzmangel nicht ordentlich fixiert werden können, müssen aufwändige Maßnahmen vor Ort durchgeführt werden.
- Abstände und Toleranzen einplanen:  
Fehlender Spielraum kann zu Problemen führen, wenn zum Beispiel Elemente aus Platzmangel nicht eingebaut werden können.
- Feststellung möglicher Zusammenstöße von Arbeitsschritten:  
Zu Zeitverzögerungen und Kostenüberschreitungen kommt es häufig, wenn sich Arbeiten gegenseitig behindern. Meist kommt dies bei Verkleidungs- und Installationsarbeiten vor oder wenn vorgefertigte Elemente mit auf der Baustelle erzeugten Elementen zusammenstoßen. Gründe hierfür können mangelhafte Koordination, Planung oder Platzmangel sein. Gerade bei der Vorfertigung können dadurch ungeahnte Kosten entstehen. Fehlerquellen können am besten anhand von Modellen oder mit Hilfe des „Building Information Modeling“-Systems vorab erkannt werden.

Beachtet man diese Montagestrategien, können viele Probleme und Fehler vermieden werden. Doch selbst gut durchdachte Systeme werden nicht immer vollständig verstanden, so dass erst nach der Montage des ersten Systems mehr Klarheit entsteht. Gerade im Detail stecken oft viele Schwierigkeiten. Nicht ungeachtet sollte deshalb die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit (bei Holz auch die Holzfeuchtigkeit) bei der Produktion und der Montage bleiben. Aufgrund von unterschiedlichen klimatischen Verhältnissen zwischen Herstellung und Einbau entstehen bei Behinderung der Ausgleichsverformung oftmals große Spannungen [73].

## 2-3.4 VOR- UND NACHTEILE DES VORGEFERTIGTEN BAUENS

Die Hauptgründe für systematisches Bauen liegen meist in Zeit- und Kostenersparnissen. Je nach Projekt lassen sich durch eine optimierte Planung und Produktion unterschiedlich hohe Einsparungen erzielen. Eine Einzelanfertigung vor Ort ist weniger rationell als eine Vorfertigung in einer speziell für das zu produzierende Element ausgerüsteten Fertigungshalle. Faktoren wie Menge und Schwierigkeitsgrad des herzustellenden Bauteils beeinflussen die tatsächlich möglichen Ersparnisse, so dass eine pauschale Aussage über die Höhe der Kostenersparnis nicht getroffen werden kann. Zudem divergieren diese Einsparungen auch zwischen individuell vorgefertigten und in Serie hergestellten Bauobjekten. Auch regionale Unterschiede bei Materialkosten, Lohnkosten oder Steuern spielen eine Rolle. Ebenso kann in bestimmten Regionen nicht das gewünschte Fachwissen oder die entsprechende Auslegung eines Unternehmens vorhanden sein, so dass mehr Zeit für die Vorbereitung erforderlich wird und höhere Preise durch Unsicherheit entstehen können. In der Regel ergibt sich meist dennoch eine gewisse Bauzeitverkürzung, die vor allem dann Kosten reduziert, wenn dadurch Aufwendungen der Zwischenfinanzierung gesenkt werden können. Weiteres Einsparpotential steckt in der Optimierung und Rationalisierung des Bauwerks an sich. So kann durch einen effizient gewählten Grundriss auch Material eingespart werden. Besondere Auswirkungen kann dies auf die Gebäudetechnik haben, da hier beispielsweise Leitungslängen eingespart werden können. Einsparungen können sich auch bei der Montage ergeben, wenn Hebezeuge über einen kürzeren Zeitraum benötigt werden. Der optimierte und entsprechend gut abgestimmte Herstellungsprozess im Werk bringt Vorteile kann sowohl Zeit als auch

Geld einsparen, da sich Handwerker weniger oft gegenseitig behindern, es dadurch seltener zu Stillständen kommt und Anfahrten von Handwerkern entfallen. Kostensicherheit kann durch die gute Einbindung und Zusammenarbeit von Planer und ausführendem Unternehmen erreicht werden [124]. Besonders im innerstädtischen Bereich können sich vorgefertigte Systeme als vorteilhaft erweisen, da sich die Bauzeit vor Ort verkürzt, die einen erheblichen Kostenfaktor vor allem im Stadtbereich ausmachen kann. Der meist vorhandene Platzmangel im städtischen Bereich kann ebenfalls für eine Vorfertigung sprechen. Für viele Bauherren, besonders im Einfamilienhausbau, ist ein vorhin vereinbarter Festpreis ausschlaggebend für die Auftragserteilung. Dies kann durch einen hohen Grad an Vorfertigung erreicht werden. Eine Besonderheit im Systembau bieten sogenannte Selbstbausätze. Oft ist dieses – auch als „flatpack“-System bezeichnete Bausystem – bei jüngeren Bauherren beliebt, da somit die Kosten verringert werden können. Der Sinn dieses Systems besteht in der Lieferung eines vorgefertigten Bausatzes, der dann auf der Baustelle zusammengebaut wird. Das modulare Bauen ist vor allem in Gebieten beliebt, wo die hohen Grundstückspreise nur schmale Häuser erlauben, wie etwa in Japan. Dazu können auch modifizierte, mit technischer Gebäudeausrüstung und Wärmedämmung ausgestattete, Schiffscontainer verwendet werden, die für temporäre Wohnbauten zusammengefügt werden. Gerne werden solche Lösungen für Flüchtlings- und Studentenunterkünfte aufgegriffen, wobei ein Ausstattungsniveau von spartanisch bis luxuriös möglich ist [3]. Die Fertigung im Werk bietet zudem eine witterungsunabhängige Produktion über das ganze Jahr. Gerade in den Wintermonaten ist eine Vor-Ort-Bauweise nicht immer möglich, eine Werksfertigung hingegen kann ganzjährig erfolgen. Die Montage beträgt dann nur wenige Tage [73]. Aus einer Statistik der amerikanischen Architektin Michelle Kaufmann, die sich intensiv mit vorgefertigten Bausystemen insbesondere in Modulbauweise beschäftigt, gehen folgende Erkenntnisse hervor [73]:

- Raummodule können bis zu 95 Prozent vorgefertigt werden,
- im Vergleich zur Vor-Ort-Bauweise fällt zwischen 50 bis 70 Prozent weniger Abfall an,
- der Baufortschritt erfolgt mit vorgefertigten Bauteilen um 30 bis 50 Prozent schneller,
- es fallen im Durchschnitt 20 Prozent weniger Kosten an als bei der Vor-Ort-Bauweise,
- aufgrund des Transportes und der Montage muss die Konstruktion um 20 bis 30 Prozent stärker ausgeführt werden, da die Konstruktion beim Anheben anderen Kräften (eventuell wechselhafte Beanspruchung) ausgesetzt ist, als dies beim Endzustand der Fall ist,
- die Transportkosten erhöhen sich um ca. 5 Prozent und
- durch Vorfertigung fallen weniger Fahrkilometer an.

An diese Zahlen lassen sich erhebliche Unterschiede zur traditionellen Bauweise feststellen. Kosten können dabei in „soft costs“ und „hard costs“ unterschieden werden [73, S.266]. „Soft costs“ umfassen zum Beispiel die Finanzierungs- und Planungskosten, während „hard costs“ das Material wie Holz und Schrauben aber auch Transport oder Montage beinhalten. Bei der Vorfertigung sind für gewöhnlich „soft costs“ höher. Dies begründet sich vor allem in den höheren Kosten bei der Planung, denen aber ein effizienterer Materialverbrauch und verringerte Lebenszykluskosten entgegenstehen [73].

Bei der Montagebauweise gibt es allerdings auch einiges zu beachten. Es reduziert sich zwar die Montagezeit und auch die Zeit der Bauaufsicht vor Ort, aber dafür muss ein höherer Zeitaufwand im Planungsprozess verbucht werden. Schwierigkeiten können sich auch für den Planer ergeben, da er alle spezifischen Besonderheiten der ausführenden Firma kennen muss. Deshalb kann eine Einbeziehung der ausführenden Unternehmen in die Planung vorteilhaft sein. Auch die unumgängliche Rasterung und Maßordnung im Modulbau birgt Besonderheiten. Eine gute Abstimmung auf das jeweilige Bauwerk ist zwingend erforderlich. Die Wahl des Rasters kann auch von den Lieferformen der Module abhängen, so dass zum Beispiel die Auslegung des Rasters auf die Abmessungen des teuersten Produktes wirtschaftliche Vorteile bieten kann [124]. Nachteilig wirken sich hohe Investitionskosten für die Produktionshalle selbst und auch für die maschinelle Einrichtung aus. Nicht immer ist es trotz industrieller Fertigung und optimierten Bauprozessen möglich, ein kostengünstigeres Gebäude zu errichten wie dies mit konventioneller Bauweise der Fall ist. Ein Grund warum die Systembauweise nicht so häufig angewandt wird, liegt in der bei vielen Bausystemen fehlenden Anpassbarkeit und Adaptierbarkeit. Um das Bauen mit Systemen weiterentwickeln zu können, ist es notwendig Systeme zu finden, die auf individuelle Anforderungen und Bedürfnisse anpassbar sind. Dies gelingt durch die

Verwendung „offener“ Bausysteme (siehe Abschnitt 3-1.2). Bei Gewerbe- und Geschosswohnbauten ist oftmals ein ähnliches Aussehen der Bauwerke zu vernehmen. Dies liegt meist daran, dass Generalunternehmer Häuser ohne Beisein eines Architekten entwickeln. Da ein innovatives Design mit einem größeren Risiko verbunden ist (z.B. unvorhergesehene Probleme bei der Herstellung), bedienen sich Bauträger oftmals konventionellen, bereits für gut empfundene Systeme und Designs. Eine hohe architektonische Qualität wird von einem Bauträger in der Regel nicht angestrebt, da dies oftmals zu einer Reduktion der Standardisierung führt und somit mit einer verringerten Wirtschaftlichkeit verbunden ist. Gerade im Wohnbau gab es, historisch betrachtet, immer wieder monoton erscheinende Wohnsiedlungen, die zu einem sozialen Problemfall wurden. Heutzutage wird unser Alltag stets von Aspekten wie Nachhaltigkeit, Ökologie oder Wiederverwertung geprägt. Gerade in diesen Bereichen können Bausysteme ihr Potential nutzen, denn bei richtiger Planung können materialeffiziente, ressourcenschonende und wiederverwendbare Bauwerke entstehen. Die in Zukunft relevanten Themenbereiche des Systembaus werden eine Steigerung der Flexibilität, Individualität und Wiederverwendbarkeit sowie der Bereich der Nachhaltigkeit sein [3]. Wichtigster Punkt für hochwertigen Systembau ist die gemeinschaftliche Zusammenarbeit zwischen Architekten, Ingenieuren, Bauunternehmen und natürlich auch den Nutzern [73]. In Tabelle 2.3 sind die Vor- und Nachteile des vorgefertigten Bauens aus diesem Abschnitt zusammengefasst.

**Tabelle 2.3: Vor- und Nachteile der Vorfertigung (vgl. [3][73][124])**

Vorteile der Vorfertigung	Nachteile der Vorfertigung
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zeitersparnis</li> <li>- Kostenersparnis</li> <li>- Optimierung und Rationalisierung des Gebäudes</li> <li>- schnelle Montage</li> <li>- weniger Kollisionen zwischen den Gewerken durch gut abgestimmten Herstellungsprozess</li> <li>- bei beengten (innerstädtischen) Baustellen vorteilhaft</li> <li>- vorab vereinbarter Festpreis</li> <li>- witterungsunabhängige und ganzjährige Produktion möglich</li> <li>- geringere Abfallmengen</li> <li>- weniger Fahrkilometer notwendig</li> <li>- effizienter Materialverbrauch</li> <li>- nachhaltig</li> <li>- Wiederverwendbarkeit der Bauteile möglich</li> <li>- höhere Qualität</li> <li>- durchgeplantes Bausystem</li> <li>- keine „Notlösungen“ erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- höhere Transportkosten</li> <li>- Konstruktion muss wegen Transport und Montage stärker dimensioniert werden (wechselweise Beanspruchungen möglich)</li> <li>- höhere Finanzierungs- und Planungskosten</li> <li>- höherer Zeitaufwand beim Planungsprozess</li> <li>- Bindung an Raster und Maßordnung zwingend erforderlich</li> <li>- höhere Investitionskosten für Fertigungshalle und maschinelle Einrichtung</li> <li>- fehlende Anpassbarkeit bei geschlossenen Bausystemen</li> <li>- Gefahr von monotoner Architektur (Standardlösungen)</li> </ul>

## 2-3.5 MATERIALIEN

Im Systembau kann, wie auch im traditionellen Bauen vor Ort, auf eine Vielzahl von Baustoffen zurückgegriffen werden, so dass es hier keine Einschränkungen gibt. Für flächige Elemente können sowohl vorfabrizierte Platten aus Stahlbeton als auch Stahlprofilbleche oder Platten aus Holzwerkstoffen herangezogen werden. Häufig kommen im Fassadenbereich auch Gläser, Kunststoffe oder Aluminium zum Einsatz [70]. Welcher Baustoff letztendlich günstig erscheint, hängt auch mit der jeweiligen Region zusammen. An einigen Standorten kann für ein Vorfertigungswerk der eine oder der andere Baustoff, aus wirtschaftlicher Sicht, vorteilhafter erscheinen. Zum einen kann der vor Ort vorhandene Rohstoff eine Rolle spielen, zum anderen gibt es Unternehmen, die sich auf ein bestimmtes Material spezialisiert haben. Andere Einflüsse auf die Wahl des Baustoffes entstehen durch die jeweiligen Randbedingungen und Anforderungen des Bauwerks. Positiv auf den Schall- und Brandschutz wirken sich massive Baustoffe aus. Diese kommen auch bei Bauwerken mit höheren Drucklasten zum Einsatz. Aufgrund des hohen Gewichts können Nachteile, hinsichtlich des Transportes und der Montage entstehen, die dadurch auch höhere Kosten verursachen [124]. Stahl wird im Modulbau vor allem bei Containerbauten und als Verbindungsmittel zwischen den Modulen eingesetzt. Die Vorteile von Stahl liegen in der hohen Belastbarkeit und der einfachen Fügung der Bauteile durch gängige Verbindungsmethoden wie Schweißen oder Schrauben. Bei Stahl muss jedoch besonders auf notwendige Korrosionsschutz- und Brandschutzmaßnahmen geachtet werden. Beton in Kombination mit Stahl wird als sogenannter Stahlbeton verwendet. Vorteile von Beton sind die hohe Druckfestigkeit, beliebige Gestaltungsmöglichkeit und die kostengünstige, einfache Vorfertigung. Im Fall der vorfabrizierten Herstellung entfallen die zeitaufwändigen Schalungs- und Bewehrungsarbeiten auf der witterungsabhängigen Baustelle. Je nach Wunsch kann Beton auch als glatter Sichtbeton oder durch unterschiedliche Muster in der Schalung ein Sichtbeton mit beliebiger Oberflächenstruktur hergestellt werden. Einschränkungen gibt es in Bezug auf Größe und Gewicht der Bauteile. Nachteilig bei Beton wirkt sich das hohe Gewicht auf Transport und Montage aus. Durch die Verwendung von Brettsperrholz ist es auch möglich, ein Gebäude in Holz-Massivbauweise zu errichten. Im industrialisierten Bauen kommen neben traditionellen Holzprodukten auch zahlreiche Holzwerkstoffplatten zum Einsatz. Die Holzbauweise erlebt seit einigen Jahrzehnten einen deutlichen Aufschwung. Zurückzuführen ist dies auch auf neue Technologien, die dem Holzbau eine finanzielle Konkurrenzfähigkeit erlaubt. Weitere Vorteile dieser Bauweise sind das geringe Gewicht und die einfache Handhabung. Zudem kann relativ problemlos, auch vor Ort, mit einfachen Werkzeugen gefertigt werden. Dies reduziert allerdings die Einsparungen im Vergleich der sonstigen Werksfertigung. Neben den Holzrahmenelementen werden auch massive Holzplatten in Form von Brettsperrholz industriell produziert und können entweder als Platten oder zu Raumzellen zusammengesetzt verbaut werden. Als Vorteile des Holzbaus werden häufig Adjektive wie nachhaltig, ökologisch, natürlich und heimisch genannt. Holz kann durch die geringe Wärmeleitfähigkeit und seiner hohen Festigkeit im Vergleich zur Masse nicht nur für die tragende Funktion, sondern auch für den Ausbau verwendet werden [70][124].

## 2-4 GLIEDERUNG DER HOLZBAUWEISEN IM SYSTEMBAU

Wie in Abschnitt 2-1.1 bereits kurz erläutert, können Holzbauweisen in eine Holz-Leichtbauweise (Holz-LBW) und in eine Holz-Massivbauweise (Holz-MBW) eingeteilt werden. Eine weitere Untergliederung der Holz-Leichtbauweise erfolgt in Holz-Fachwerk- und Holz-Rahmenbauweise. Die Aussteifung übernehmen hierbei entweder Diagonalstäbe (Fachwerkbau) oder – im Fall der Rahmenbauweise – flächenförmige Elemente, die mit den vertikalen und horizontalen Stäben fest verbunden werden und somit eine Abtragung der Schubkräfte ermöglichen. Bei der Holz-Massivbauweise kann eine Unterteilung in Holz-Stabbauweise, Holz-Blockbauweise und Holz-Massivbauweise mit Brettsperrholz vorgenommen werden (Abbildung 2.21) [4].

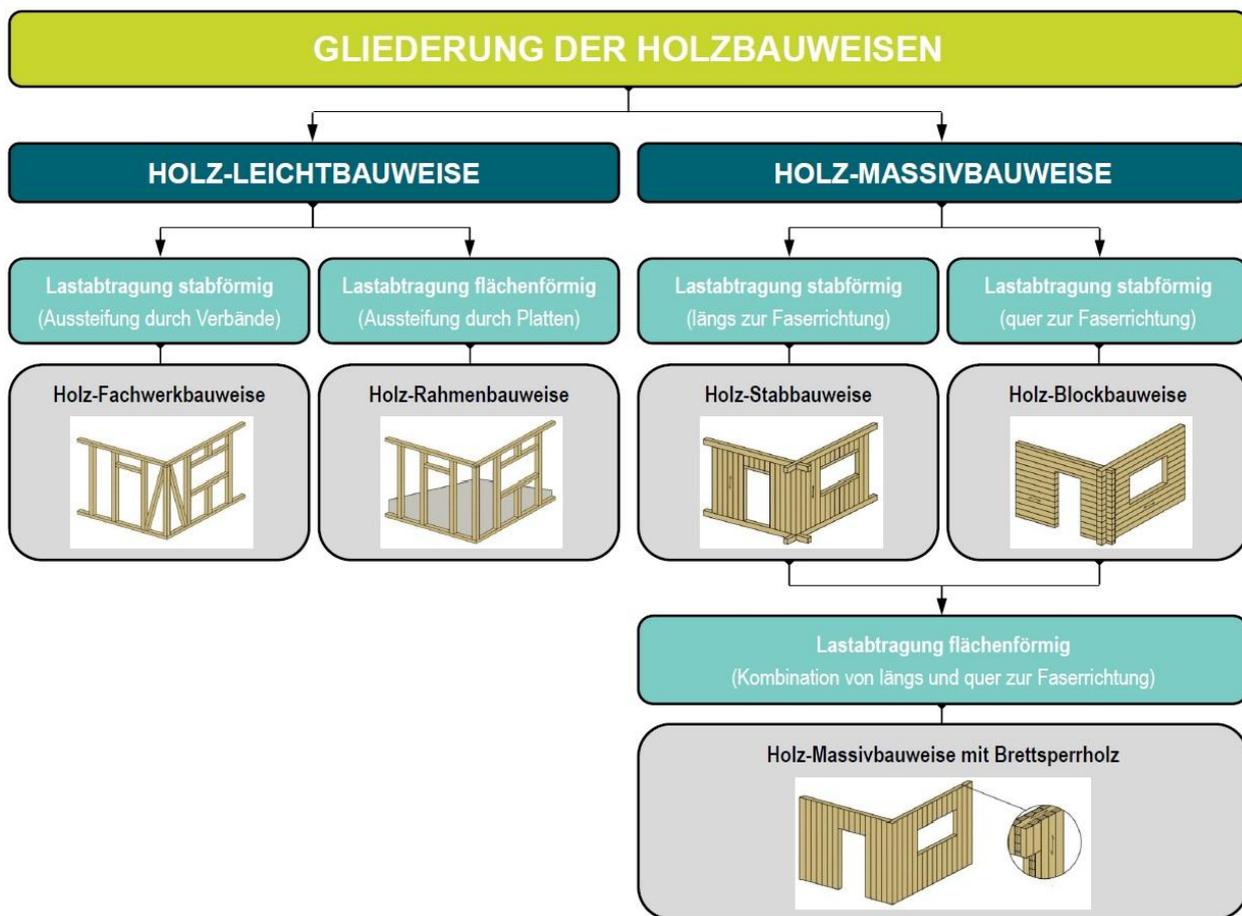
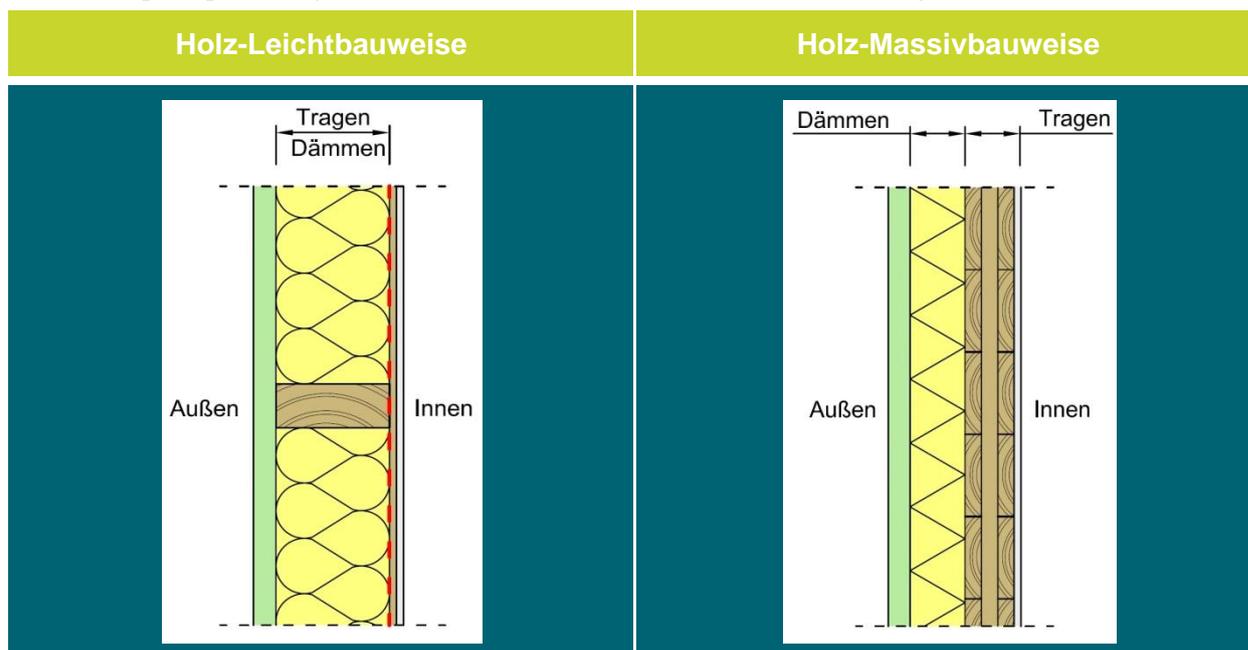


Abbildung 2.21: Einteilung der Holzbauweisen (vgl. [4])

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Bauweisen wird bei der Betrachtung der Wandaufbauten ersichtlich. Prinzipiell liegen bei der Holz-Leichtbauweise Dämm- und Tragschicht in derselben Ebene. Das aus Stäben aufgebaute Traggerüst wird mit Dämmmaterial ausgefüllt und anschließend beplankt. Im Gegensatz dazu sind bei der Holz-Massivbauweise Dämm- und Tragfunktion voneinander entkoppelt. Eine Dämmschicht wird hierbei außenliegend auf die massive Wandkonstruktion aufgebracht [4]. Die Unterschiede der beiden Holzbauweisen bezüglich der Wandaufbauten werden in Tabelle 2.4 gezeigt. In Bezug auf die Vorfertigung erlauben die Holz-Fachwerkbauweise, die Holz-Stabbauweise und die Holz-Blockbauweise die geringsten Vorfertigungsgrade, da der Anteil der Arbeit vor Ort höher ausfällt. Mittels Holz-Rahmenbauweise – sofern ganze Tafeln im Werk vorgefertigt werden – und Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz lassen sich hingegen höhere Vorfertigungsgrade erzielen [4][70].

**Tabelle 2.4: prinzipieller Aufbau eines Wandelementes in H-LBW und H-MBW (vgl. [4])**



Wie bereits vorhin erwähnt, liegt der Fokus dieser Arbeit auf Bauweisen, welche eine hohe Vorfertigung im Werk erlauben. Obwohl den Systemen mit geringer Vorfertigung in dieser Arbeit weniger Aufmerksamkeit zukommt, sollen diese im Folgenden dennoch, der Vollständigkeit halber, kurz erläutert werden.

## 2-4.1 TRADITIONELLE HOLZ-BAUWEISEN MIT GERINGER VORFERTIGUNG

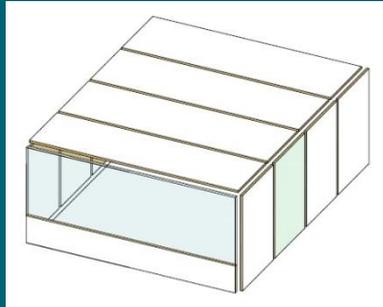
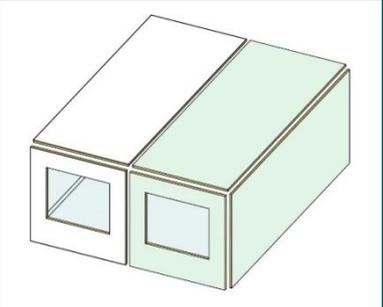
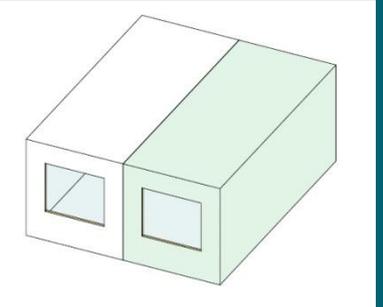
Zu dieser Gruppe gehören Bauweisen, bei denen bei der Herstellung des Hauses vor Ort meist stabförmige Bauteile versetzt werden, die das Traggerüst bilden und später mit Dämmung oder anderem Füllmaterial ausgefacht werden. Darunter fallen die Holz-Leichtbauweisen wie die Holzfachwerk- und die Holzrahmenbauweise. Ebenfalls der Holzrahmenbauweise sind die Holzständerbauweise und die aus Amerika stammenden „balloon frame“- und „platform frame“-Bauweisen hinzu zu ordnen. Besonders die „balloon frame“- und die „platform frame“-Bauweise waren in den USA, Kanada und Skandinavien die dominierenden Bauweisen. Die Einfachheit bei Transport und Montage waren Gründe dafür. Nachteilhaft bei der „balloon frame“-Bauweise sind die größeren Längenänderungen aufgrund des Schwindens der zweigeschossübergreifenden Holzständer und der ungenügende Brandschutz. Um den Brandverlauf von einem auf das andere Geschoss abzubremsen, verwendete man spezielle Feuerschutzvorkehrungen, allerdings musste diese Bauweise dennoch aus Brandschutzgründen in den 1940er-Jahren verboten werden. Der geschossweise Skelettbau („platform frame“) ersetzte die ältere geschossübergreifende Bauweise und ermöglichte bis zu viergeschossige Wohnhäuser. In der Holzfachwerkbauweise versteht man die stabförmigen Bauteile als „Skelett“ des Hauses, das nach der Errichtung dieser Tragstruktur mit flächigen Materialien ausgefacht wird. Werden nur die Stäbe eines in Holzrahmenbauweise errichteten Gebäudes vorfabriziert, die Beplankung aber vor Ort aufgebracht, so kann auch die Holzrahmenbauweise den „Stab“-Bauweisen zugeordnet werden. Im Fall einer vollständigen Vorfertigung ganzer Paneele in Holzrahmenbauweise im Werk kann die Zuordnung auch zu den „Platten“-Bauweisen erfolgen, wobei konstruktiv betrachtet, dennoch ein Stabsystem für Abtragung der Lasten bestehen bleibt [3][70]. Es sei angemerkt, dass der Fokus bei der Holzrahmenbauweise auf der Abtragung von vornehmlich vertikalen Lasten liegt und somit diese Bauweise als „stabförmiges“ System angesehen wird. Die flächenförmige Beplankung dient der Abtragung der horizontalen Kräfte im Sinne der Aussteifung, während vertikale

Lasten über die Stäbe abgetragen werden. Bei der traditionellen Holzrahmenbauweise werden die Elemente vor Ort errichtet, indem – meist im Abstand von 62,5 cm (aufgrund der Abmessungen von Gipskartonplatten) – wandhohe Vollholzständer mit horizontalen Hölzern (Schwellen, Rähme) zu Rahmen zusammen gebaut werden, die anschließend zunächst nur einseitig beplankt werden. Diese Beplankungen bestehen meist aus Gipskarton- und Holzwerkstoffplatten. Nach Verfüllung der Hohlräume mit Dämmmaterial und Aufbringung einer Dampfbremse wird die zweite Seite verschlossen. Die Herstellung solcher Elemente geschieht somit vor Ort. Um die Vorteile einer Vorfertigung nutzen zu können, werden Holzrahmen im Werk vorgefertigt. Werden die Elemente inklusive Dämmung und zweiter Beplankung vollständig im Werk produziert, spricht man auch von Holztafelbauweise, welche zu den Paneel- bzw. Plattenbauweisen zuzuordnen ist [145]. Ebenso zu den Systembauweisen mit stabförmigen Elementen zählt die Holzblockbauweise, wenn die einzelnen Balken im Werk vorgefertigt werden. Da die gesamte Konstruktion aus massiven Vollholzelementen besteht, wird die Holzblockbauweise der Holz-Massivbauweise zugeordnet. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die Blockbauweise dennoch aus stabförmigen Elementen besteht und somit nicht als „Flächen“-Bauweise zu betrachten ist [70].

## 2-4.2 GLIEDERUNG DER PLATTENBAUWEISEN

Vorgefertigte Bauteile können zunächst in „Flächenbauweisen“ und in „Volumenbauweisen“ unterteilt werden. Die erste Systemart beruht auf der Verwendung von flächenförmigen Elementen, weshalb dieses System auch Paneel- oder Plattenbauweise genannt wird. Anders formuliert wird dafür auch der Begriff „Tafelbauweise“ in der Literatur verwendet. Nach den allgemeinen Konstruktionsprinzipien unterscheidet man zwischen Kleintafelbauweise und Großtafelbauweise. Tafelsysteme weisen in etwa einen Vorfertigungsgrad von 60 Prozent auf. Obwohl sich Raumzellen auch aus Paneelen bzw. Tafeln zusammensetzen und eine Einordnung in diese Gruppe möglich erscheint, werden Raumzellen – bedenkt man die Montage auf der Baustelle – als eigenständige Gruppe definiert, da sie als „Volumen“ eingebaut werden. Mit der Verwendung von Raumzellen können Vorfertigungsgrade bis zu 95 Prozent erreicht werden [3][4][70][73]. Demnach unterscheidet man je nach Größe dieser vorgefertigten Elemente zwischen Kleintafel-, Großtafel- und Raumzellenbauweise (Tabelle 2.5).

*Tabelle 2.5: Elementierungsprinzipien bei Plattensystemen (vgl. [4])*

Kleintafelbauweise	Großtafelbauweise	Raumzellenbauweise
		

### 2-4.2.1 Kleintafelbauweise

Charakteristisch für Bauwerke in Kleintafelbauweise sind die deutlich kleineren Formate im Vergleich zu Großtafeln. Grundrisse werden mittels Raster in schmale Elemente geteilt, wobei die Länge der Tafeln durchaus größer ausfallen kann. Bei der Kleintafelbauweise bedient man sich weniger breiten Paneelen,

die eine Geschosshöhe aufweisen. Die üblichen Breitenabmessungen der Module liegen zwischen 60-120 cm, wobei die Abmessungen material- und rasterabhängig sind. Häufig wird auch eine 125-cm-Rasterung genutzt, wie es im Leichtbau bei der Verwendung von Gipskartonplatten üblich ist. Positiv wirken sich die kleineren Tafeln auf die Handhabbarkeit und die Flexibilität aus. Durch die geringeren Abmessungen und durch das geringere Gewicht erleichtern sie den Transport und die Montage. Nachteilig sind hingegen der höhere Fugenteil und die längere Dauer der Montagearbeiten. Der Ausbau des Bauwerkes findet überwiegend auf der Baustelle statt [4][70].

### 2-4.2.2 Großtafelbauweise

Großtafeln erstrecken sich je nach Größe des Bauwerkes über die volle Länge des Gebäudes oder Teile davon, so dass Fugen vermieden werden. Notwendige Öffnungen können bereits bei der Fertigung der Platten berücksichtigt werden. Großtafeln können jedoch nicht nur geschosshoch, sondern bei niedrigeren Bauwerken sogar gebäudehoch sein. Eine Rasterung ist nicht erforderlich, allerdings werden die Abmessungen vom Transport und von der maximalen Produktionsgröße begrenzt. In der Regel liegen die maximalen Transportabmessungen bei ca. 16 - 20 m in der Länge, 3,2 bis 3,5 m in der Breite und 4 m in der Höhe. Für die Montage sind jedoch schwere Hebezeuge notwendig. Der Ausbau kann bereits überwiegend im Werk stattfinden [4][70][145].

### 2-4.2.3 Raumzellenbauweise

Bei der Raumzellenbauweise ist ein Raster erforderlich, welcher durch die Transportmöglichkeiten begrenzt wird. Der Grundriss muss für eine Elementierung mit Raumzellen geeignet sein, zudem sind Tieflader für den Transport und schwere Hebezeuge für die Montage erforderlich. Der Ausbau geschieht überwiegend im Werk [4][70].

#### Exkurs:

Neben Raumzellen, welche in Holz-Leichtbauweise oder Holz-Massivbauweise erstellt werden können, gibt es – vor allem im Stahlbau – auch sogenannte Container-Systeme. Generell unterscheidet man bei Raumzellensystemen zwischen Containersystemen und Raummodulsystemen. Der Unterschied besteht darin, dass Containersysteme auf den Abmessungen des ISO-Transportcontainers basieren, während Raummodulsysteme differenzierter aufgebaut sind. Sie eignen sich durch die Vielfalt an Gestaltungsmöglichkeiten und des höheren Ausführungsstandards auch für permanent genutzte Bauwerke [3]. Um das Prinzip der Bauweise mit Raumzellen besser verstehen zu können, sollen zunächst diese Container-Systeme genauer betrachtet werden. Sie beruhen auf der Verwendung von standardisierten Schiffscontainern und können in vier weitere Subkategorien unterteilt werden [146]:

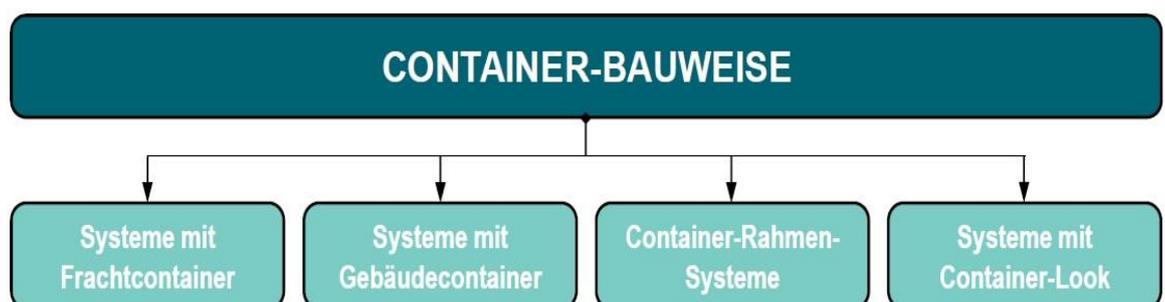


Abbildung 2.22: Überblick Container-Bauweisen (vgl. [146])

### Systeme mit Frachtcontainer

In Amerika wurden bereits in den 1930er-Jahren die ersten Ideen eines Container-Systems entwickelt, um die Verschiffung von Waren effizienter zu gestalten. Im Jahre 1955 begann der Speditionsunternehmer Malcolm McLean diese Ideen auszubauen [73]. Die Basis des heutigen Container-Systems bildet der ISO-Transportcontainer (Frachtcontainer), der im Jahr 1961 erstmalig in dieser standardisierten Form eingesetzt wurde [147]. Beinahe 90 Prozent des gesamten Massentransportes wird mit Containern entweder per Schiff, Eisenbahn oder Lastfahrzeugen durchgeführt. Durch die weltweite und massenhafte Verwendung der Schiffs- bzw. Frachtcontainer wurden in einigen Warenumschnlagplätzen und Häfen Exemplare ausgeschieden, da die „Lebensdauer“ der Container für den Transport eingeschränkt ist. Die Architektur hat dieses Potential erkannt und entwickelte Lösungen zur Nutzung ausrangierter Container, so dass daraus Raumcontainersysteme entstanden, die häufig für Büros, Schulen, Kindergärten oder Sanitärräume genutzt werden [3][73]. Jedoch soll nicht der Eindruck entstehen, dass ausschließlich alte, gebrauchte und nicht mehr verwendete Container verbaut werden. Gebrauchte Container weisen durch die Unzahl an Waren, die damit verschifft wurden, oft gesundheitsschädliche Keime und chemische Rückstände auf. Deshalb werden für Containerbauten zumeist neu angefertigte Container verwendet. Diese Neuanfertigung bietet zudem den Vorteil, dass je nach Kundenwunsch auch Container mit unterschiedlichen Längen und Öffnungen berücksichtigt werden können. Es besteht auch die Möglichkeit, Container hochkant aufzustellen, was oftmals bei höher gewünschten Raumhöhen ausgenutzt wird. Hergestellt werden Frachtcontainer aus COR-TEN-Stahl, der von Natur aus eine gute Korrosionsresistenz aufweist. Zuerst wird eine Rahmenstruktur geschaffen, in der danach Wände aus zwei Millimeter dicken Trapezprofilen angeschweißt werden. Im Fall eines 20-Fuß-Seecontainers besteht der Boden aus sechs Sperrholzplatten, einer Bodenmittenschiene aus Stahl und selbstbohrenden Schrauben. Die Sperrholzplatten aus Bambus-Holz werden mittels Phenol-Formaldehyd Klebstoffen erzeugt, um eine höhere Dauerhaftigkeit bei Feuchtigkeit zu erreichen und weisen eine Dicke von 28 mm auf. In Längsrichtung werden die Platten auf den Querträgern mit einer 4 mm dicken Bodenmittenschiene befestigt. Alle Stoß- und Randfugen werden mit Dichtstoffen versehen [146][148].

Ein wichtiges Merkmal jedes Frachtcontainers sind die Verbindungsstücke an den Ecken. Diese weisen drei unterschiedliche Öffnungen auf, in denen spezielle Schlösser zur festen Verbindung der Container untereinander, Haken für Hebezeuge oder Aussteifungselemente eingehängt werden können. Für die vertikale Verbindung werden sogenannte „Twistlocks“ und für die horizontale Verbindung werden sogenannte „Bridge fittings“ eingesetzt [146]. Schiffscontainer können in der Regel ohne zusätzliche Verstärkungsmaßnahmen bis zu achtfach aufgestapelt werden, die mit der Höhe zunehmende Windbeanspruchung muss allerdings beachtet werden. Ein 20-Fuß-Container wiegt rund 2,4 Tonnen und kann das 10-fache seiner Masse, also 24 Tonnen aufnehmen [146]. Je nach Platzverhältnissen, sowohl vor Ort als auch beim Transport, können unterschiedliche Abmessungen der Raumzellen ausgewählt werden. ISO-Container gibt es zwar in verschiedenen Abmessungen, doch haben sich Größen von 20 Fuß und 40 Fuß international bewährt [3][73]. Ein 20-Fuß-Container misst ca. 6,06 x 2,44 x 2,59 m und ein 40-Fuß-Container ca. 12,19 x 2,44 x 2,59 m [73]. Breiten und Höhen sind dabei gleich, nur die Längen variieren. Ausgehend vom 40-Fuß-Container (Typ A) haben sich die weiteren Standardgrößen Typ B für 30 Fuß, Typ C für 20 Fuß und Typ D für 10 Fuß entwickelt. Zusätzlich gibt es noch von diesen Größen abweichende Containermaße, die für Spezialfälle entwickelt wurden. Bei allen ISO-Transportcontainern beträgt die Außenbreite 2,44 m, die Höhe hingegen kann in „High“, „Standard“ und „Low“ unterschieden werden. Die folgende Tabelle fasst die Abmessungen zusammen [146]:

**Tabelle 2.6: Abmessungen der Standard ISO-Transportcontainer (vgl. [146])**

Bezeichnung		Äußere Abmessungen			Minimale Innenabmessungen		
		Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]
1AAA	40' High cube	12,192 m	2,438 m	2,896 m	11,998 m	2,330 m	2,655 m
1AA	40' Standard cube	12,192 m	2,438 m	2,591 m	11,998 m	2,330 m	2,350 m
1A	40' Low cube	12,192 m	2,438 m	2,438 m	11,998 m	2,330 m	2,197 m
1BBB	30' High cube	9,125 m	2,438 m	2,896 m	8,931 m	2,330 m	2,655 m
1BB	30' Standard cube	9,125 m	2,438 m	2,591 m	8,931 m	2,330 m	2,350 m
1B	30' Low cube	9,125 m	2,438 m	2,438 m	8,931 m	2,330 m	2,197 m
1CC	20' High cube	6,058 m	2,438 m	2,591 m	5,867 m	2,330 m	2,655 m
1C	20' Standard cube	6,058 m	2,438 m	2,438 m	5,867 m	2,330 m	2,350 m
1D	10' Low cube	2,991 m	2,438 m	2,438 m	2,802 m	2,330 m	2,197 m

Jeder Container besitzt ein eigenständiges Dach, einen Boden und eigene Wände. Die großen Vorteile des Systems liegen im Transport, da zum einen die Transportmittel auf das ISO-Maß abgestimmt sind und zum anderen jeder Container für sich ohne Probleme abgebaut und andernorts wieder aufgebaut werden kann. Eigens dafür abgestimmte Fahrzeuge können entweder einen 40 Fuß großen oder zwei 20 Fuß große Container transportieren. Durch die festgelegten Maße sind allerdings nur wenige gestalterische Variationen möglich. Will man von diesem Standardmaß abweichen oder Teile herauschneiden, geht auch ein Teil der Tragfähigkeit verloren. Am besten bezüglich Kosten, Arbeit und Tragfähigkeit ist es, das Originalsystem beizubehalten. Beim Kaufpreis unterscheidet man zwischen gebrauchten und neuen Containern, wobei erstere bei ca. 1400 € und letztere bei ca. 2600 € für einen 20-Fuß-Container liegen. Die Fundamentierung bilden meist Streifen- oder Punktfundamente, die je nach Bauwerk und Belastung variieren. Die Aussteifung kann beispielshalber über Diagonalaussteifungen erfolgen [3][73][146][149].

### Systeme mit Gebäudecontainer

Speziell für das Bauwesen werden eigene Container für Gebäude hergestellt, die eher den bauphysikalischen Anforderungen entsprechen und wesentlich leichter ausgeführt sind. Mit diesen Systemen werden in der Regel bis zu drei übereinander liegende Geschosse möglich. Container in dieser Ausführung werden von verschiedenen Herstellern angeboten, sind auch nach ISO-Standard gefertigt, können aber qualitativer ausgestattet und individueller gestaltet sein. Üblicherweise wird eine Stahlrahmenkonstruktion verwendet, die mit Sandwichpaneelen, das sind Leichtbaupaneele mit innen liegender Dämmung, ausgefacht werden. Es sind aber auch Ausfachungen aus Holz oder anderen Baustoffen möglich. Für die Verkleidung können auch ganze Glaselemente sowie Photovoltaik-Paneele versetzt werden. Um größere Räume zu schaffen, stehen auch offene Container zur Verfügung, bei denen einzelne Seitenwände nicht verschlossen werden [73][146][149]. Vorteile des Systems liegen eindeutig in der robusten Struktur und der Stapelbarkeit. Es gibt diese Systeme auch als Bausatz, um sie erst vor Ort

zusammenbauen zu können und dadurch Frachtvolumen zu reduzieren. Einen Nachteil liefert die Leichtbauweise an sich, da für den Wärmehaushalt nur eine geringe speicherfähige Masse vorhanden ist. Diese Aspekte begründen die eher temporäre Anwendung von Containersystemen. Besonders der Schallschutz muss beachtet werden, da die Container zumindest punktuell zusammenstoßen. Eine Entkopplung ist vorzusehen. Für den Einsatz im Bauwesen muss auch der Brandschutz beachtet werden. Da aufgrund des geringen Platzes zwischen den Containern kaum die Möglichkeit besteht, größere Rohrleitungen, wie diese für die Abwasserentsorgung vorgesehen sind, einzubauen, werden oft ganze Installationscontainer dazwischengesetzt. Für Treppen und Korridore gibt es auch eigene Erschließungs-Container. Bei der Montage ist auch ein entsprechend großer Freiraum für die Entlade- und Montagetätigkeiten vorzusehen. Durch Containersysteme ergeben sich in der Regel Kosten- und Zeitersparnisse, vor allem wenn wenig Arbeit vor Ort durchzuführen ist. Am meisten Sinn machen Containersysteme aber nur, wenn schnell zu erstellende Projekte im Vordergrund stehen oder große modulare Strukturen aufzubauen sind, die optimal auf Maße der Raummodule abgestimmt sind. Die nicht selten monotone Wirkung eines Container-Bauwerkes kann durch verschiedene Verkleidungssysteme entgegengewirkt werden. Nicht alle Wünsche können mit diesem streng genormten System erfüllt werden, aber es können effektive, schnelle und kostengünstige Projekte entstehen. Preislich liegen 20-Fuß-Container für das Bauwesen je nach Ausstattung bei ca. 5.000-10.000 €, wobei gebrauchte Gebäudecontainer deutlich günstiger sind. Das durchschnittliche Lebensalter kann in etwa mit 15 Jahren angegeben werden. Dies richtet sich natürlich auch nach den durchgeführten Instandhaltungsmaßnahmen, den Anforderungen und den Randbedingungen wie äußere Einwirkungen und Klima [3][70][146].

Mittlerweile gibt es auch vorgefertigte Systeme, wie zum Beispiel die „Universal Rooms“ von Mohammad Ehsasi der Innovac GmbH in Berlin. Diese Container, mit einer Standardabmessung von 6,0 x 3,0 x 3,0 m, können für ländliche und urbane Gebiete aber auch als Unterkünfte nach Katastrophen oder als transportables System für Büros, Wohnungen oder sonstigen Einrichtungen genutzt werden. Die vorgefertigten Module können als Bausatz kompakt auf LKWs transportiert werden, um dann vor Ort zügig zusammengebaut zu werden. Die Stahlprofile werden dazu einfach miteinander verschraubt und anschließend die Sandwichpaneele eingesetzt. Häufig werden aus Containern temporäre Wohnhausprojekte errichtet. Es werden damit aber auch Gesundheitszentren in Entwicklungsländern gebaut, damit die Bevölkerung in entlegenen Gebieten eine medizinische Grundversorgung erhält. Werden einzelne Häuser in Containerbauweise nicht mehr benötigt, können sie einfach abtransportiert und woanders wieder aufgebaut werden. Es besteht auch die Möglichkeit, aus diesen temporären Behausungen dauerhaft bewohnbare Häuser zu erhalten, indem man Adaptionen durchführt. Die Tragstruktur aus Stahl ist dafür bestens geeignet. Eine weitere Verwendungsmöglichkeit besteht in Schul- oder Kindergartencontainern. Nicht nur für schwer erreichbare Gebiete, die dadurch schnell und kostengünstig zu Bildungseinrichtungen kommen sollen, sondern auch für temporäre Klassenzimmer während eines Umbaus einer Schule können die Container verwendet werden. Ebenfalls aus Containern entstanden in Europa Flüchtlingsunterkünfte, wie zum Beispiel jene der Haefele Architekten in Tübingen. Dieses Bauprojekt bietet den Bewohnern sogar bodentiefe Fenstertüren und Balkone. Weitere Anwendungsmöglichkeiten der Container gibt es im Hotelbau oder bei Wasserverteilungszentren in Afrika. Es können damit auch Luxushäuser gebaut werden und sogar ein Passivhausstandard ist bei entsprechender Adaption des Systems möglich [149].

### **Container-Rahmensysteme**

Die dritte Subkategorie dieser Bauweise basiert auf der Rahmenstruktur des Containers. Darin unterscheidet man weiters in Modul-Rahmen-Konstruktionen (modular frame systems) und Container-Rahmen-Konstruktionen (container frame systems) [146]. Das Prinzip des Modul-Rahmen-Systems entspricht dem eines Gebäudecontainers, so dass auch diese Rahmenbauweise vorgefertigte, modulare Rahmen nutzt. Der Unterschied zwischen der Modul-Rahmen- und der Container-Rahmen-Konstruktion besteht nur darin, dass bei der Modul-Rahmen-Konstruktion zuerst die Rahmenstruktur vor Ort zu einem gesamten Gebäude zusammengefügt wird und erst

danach übergreifende Wand-, Boden- und Deckenkonstruktionen geschaffen werden. Dieses System bedient sich zwar den Abmessungen der Gebäudecontainer, entspricht aber mehr der konventionellen Vor-Ort-Bauweise. Die Rahmen unterliegen deswegen nur einem modularen Rastersystem, um einige Standardtypen miteinander kombinieren zu können. Im Vergleich zu den zuvor genannten, streng reglementierten Container-Bauweisen, lässt dieses System mehr Freiraum für Individualität. Nachträgliche Änderungen der Wand-, Boden- oder Deckenelemente sind einfacher möglich. Durch den hohen Anteil an traditionellen Baumethoden, eignen sich Modul-Rahmensysteme eher für permanente Bauwerke. Die strikte Einhaltung der Abmessungen des ISO-Transportcontainers ist bei diesem System nicht gefordert. Breiten sind theoretisch sogar bis 6 m möglich, wobei diese in der Regel zwischen 2,5 und 4,5 m liegen. Modulhöhen von bis zu 3,65 m ermöglichen sogar Raumhöhen von etwa 3,5 m. Durchschnittlich wird beim Container-Rahmensystem allerdings nur ein Vorfertigungsgrad von rund 60 Prozent erreicht. Hauptgrund für die Entstehung dieses Systems war es, ein Containerbausystem zu entwickeln, das über die temporäre Nutzung hinaus geht und durch die nachträgliche Anbringung der Gebäudehülle bessere bauphysikalische Standards ermöglicht. Mit diesem System sind Standards wie bei konventionellen Gebäuden erreichbar. Nachteilig wirken sich der höhere Materialverbrauch, der geringere Vorfertigungsgrad und geringere Wiederverwendungsmöglichkeiten der Bauteile aus. Außerdem sind im Gegensatz zum Container-Rahmensystem die Ausfachungen auch lastabtragend auszuführen, was die Flexibilität im Vergleich zum Container-Rahmensystem einschränkt. Aus diesem Nachteil heraus entstand das zuletzt genannte Rahmensystem, das eine größtmögliche Flexibilität bietet. Das System basiert ebenfalls auf dem Containerprinzip, trennt aber zwischen tragender Rahmenstruktur und nichttragender Ausfachung der Gebäudehülle. Der Rahmen trägt somit die gesamte auftretende Last ab. Entwickelt wurde das patentierte Container-Rahmensystem von Professor Han Slawik. Ein einfaches Auswechseln der raumabschließenden Elemente ist möglich. Das System ist standardisiert und bietet eine hohe Nachhaltigkeit, da Elemente theoretisch bei anderen Bauwerken wiederverwendet werden können [146]. Eines der ersten Bauwerke, die aus Slawiks patentierten modularen Rahmensystem bestehen ist das IBA DOCK in Hamburg, welches von Han Slawik im Jahr 2014 entworfen wurde. Der Vorteil des Systems ist, dass die doppelten Wände entfallen, die bei der bloßen Stapelung bzw. Aneinanderreihung von ISO-Containern zwangsläufig entstehen [150][151].

### **Systeme mit Container-Look**

Eine vierte Kategorie im Containerbau bilden Gebäude im „Container-Look“, die nur das Aussehen einer Containerarchitektur aufweisen, ansonsten aber konventionell gebaut sind. Diese Art des Containerbaus zielt zwar auf eine permanente Behausung ab, die nur ein temporäres Gebäude imitiert, erreicht aber durch die traditionelle Baumethode nicht die Effizienz einer modularen Bauweise. Der Sinn dahinter steckt meist in der Verwendung derselben Maßordnung wie in der Containerbauweise. Dasselbe gilt auch wenn ein Bauwerk aus verschiedenen Gründen nicht für „echte“ Container geeignet ist, es aber aus architektonischen Gründen ein solches Aussehen aufweisen soll [146].

Der eigentliche Grund, warum man sich für Container, welcher Art auch immer entschließt, liegt in der Zurverfügungstellung des von den Abmessungen des Containers definierten Raumvolumens. Dieses verfügbare Volumen wird vom Container vorgegeben und durch die Begrenzungsflächen von der äußeren Umgebung abgegrenzt. Die Nutzung dieses betretbaren Raumes ist streng an die Modulordnung gebunden, es können aber Containermodule miteinander kombiniert werden. Bei einer Stapelung müssen die verstärkten Ecken, die für die Lastabtragung von Container zu Container zuständig sind, übereinander liegen. Wird von diesem System abgewichen, sind Adaptierungen in der Tragstruktur erforderlich. Das Containerbausystem ist dann besonders kostengünstig, wenn wenig von den Standards verändert werden muss. Bei den Containerbauten können dadurch höhere Kosten anfallen, wenn eine effiziente Vorfertigung nicht gewährleistet ist, ein erschwerter Transport vorliegt oder die gesetzlichen Rahmenbedingungen, wie zum Beispiel die bauphysikalischen Anforderungen, einen großen Aufwand in der

Konstruktion und damit an Arbeitszeit bedingen. Modulare Systeme wie die Container-Bauweise leben von der Erweiterungsmöglichkeit, der Wiederverwendbarkeit und der Möglichkeit der teilweisen oder ganzen Demontage [146].

Welches System letztendlich am sinnvollsten erscheint, hängt von den Randbedingungen ab. Dazu zählen Bedürfnisse und Wünsche des Besitzers oder Nutzers, Budget, klimatische Bedingungen aber auch länderspezifische Baugesetze. Gebäude, die aus Containern gebaut sind, müssen trotzdem den örtlichen Bauvorschriften entsprechen. Abschließend sollen noch Beispiele des Containerbaus gezeigt werden. Das breite Anwendungsspektrum reicht von einfachen temporären Unterkünften, zu Baustellencontainer, Banken, Studentenwohnheime, Showrooms, Hotels bis hin zu Notunterkünften, Geschäften, Restaurants oder Spitäler [146].

Raummodulsysteme aus Holz werden in den Abschnitten 2-4.3.2 und 2-4.4.3 näher erläutert. Da nun ein Überblick über die drei Grundprinzipien der Elementierung in der Vorfertigung von Bauwerken bzw. Bauwerksteilen erläutert wurden, erfolgt nun eine genauere Darstellung dieser Systeme in der Ausführung in Holz-Leicht- und Holz-Massivbauweise.

## 2-4.3 HOLZ-LEICHTBAUWEISE

### 2-4.3.1 Tafelbauweise in Holz-Leichtbau

Wie bereits vorhin erwähnt, werden zu dieser Gruppe Bauweisen zugeordnet, bei denen im Werk plattenförmige Leichtbauelemente vorfabriziert werden, die später auf der Baustelle zu einem Gebäude zusammengefügt werden. Holz-Leichtbauelemente können Holzrahmen bzw. Holztafeln aber auch Structural Insulated Panels (SIPs) sein [4][73]. Obwohl Holzrahmen auch vor Ort hergestellt werden können (Abschnitt 2-4.1), werden sie vor allem in der Fertigteilindustrie industriell im Werk vorgefertigt. Im Fall von einer vollständigen Vorfertigung der Rahmenelemente inklusive Dämmung und Beplankung spricht man von „Tafeln“, so dass die Holzrahmenbauweise auch den Tafelbauweisen zuzuordnen ist. Entstanden ist der Holzrahmenbau aus dem Fachwerkhau und aus dem amerikanischen Holzständerbau. Bei der Herstellung der Elemente in Holzrahmenbauweise wird zunächst eine Tragstruktur aus Kanthölzern erstellt, die einseitig mit Tafeln aus zumeist dünnen Holzwerkstoffplatten beplankt wird. Im nächsten Schritt werden Öffnungen ausgespart und die restlichen Hohlräume mit Wärmedämmung verfüllt. Erst danach wird die zweite Seite verschlossen. Der genaue Aufbau richtet sich nach Hersteller und nach bauphysikalischen Anforderungen sowie nach Kundenwünschen. Gegebenfalls werden Elemente gefertigt, die sowohl innen als auch außen ihre endgültige Oberfläche aufweisen und auch gebäudetechnische Verrohrungen und Leitungen enthalten. Die einzelnen geschosshohen Rahmenelemente werden auf die Baustelle geliefert, montiert und anschließend miteinander verschraubt. Holzplatten für Beplankungen können Holzfaserverplatten, Flachpressplatten, OSB-Platten oder Spanplatten sein [4][70]. In Amerika beträgt laut einer Studie der Anteil der typischen Paneelsysteme in Tafelbauweise 43 Prozent aller vorgefertigten Häuser. Entwickelt wurden diese Tafel-Systeme aufgrund der von der Produktion aus bereits flächenhaften Elemente wie Holzwerkstoffplatten, plattenförmigen Elementen aus Metall oder Innenwandelementen als auch durch die Möglichkeit die Haustechnik in den Hohlräumen unterzubringen. Dieser Vorteil der Verlegung von Leitungen und die oft verwendeten Leichtbaupaneele führen allerdings auch zu einigen Nachteilen, da das Wandelement dadurch schwächer ausfällt, spätere Änderungen in unzugänglichen Hohlräumen schwer umsetzbar sind und versteckte Leckagen auftreten können. In einer Studie von Michael J. Crosbie von der University of Hartford, USA, wurde die Möglichkeit der Leitungsführung in Paneelsystemen untersucht. Dabei wurden folgende Aspekte gefunden [73][152]:

- Paneelsysteme, bei denen bereits in der Vorfertigung sämtliche Leitungen eingebaut wurden, bieten den Vorteil einer einfachen Installation bei der Montage auf der Baustelle und reduzieren die Installationszeit erheblich. Zudem wird der Wärmedämmwert nicht beeinträchtigt.

- Die Gruppe an Paneelsystemen, die so konstruiert sind, dass nach der Montage eine gute Zugänglichkeit zu den Installationen gewährleistet ist, ohne dass das Paneel selbst oder Verkleidungen beschädigt werden müssen, bieten große Vorteile bei späteren Änderungen des Installationssystems in der Zukunft. Dies gelingt bei Aufputz-Installationen, bei denen Leitungen und Kabel hinter Wandleisten, Fußbodenleisten, etc. verlegt werden.
- Eine Integration von Kabeln und Leitungen ist in Paneelsystemen vorzusehen. Auch wasserführende Verrohrungen sind vertretbar, da diese ohnehin nur in Paneelen eingebaut werden sollen, die sich später im Gebäudeinneren befinden, also als Innenwände eingesetzt werden. Vertikal werden diese in speziellen Leitungskanälen oder Gebäudetechnikmodulen zusammengefasst. Dennoch muss bei allen Systemen darauf geachtet werden, dass bei wasserführenden Leitungen Leckagen auftreten können. Besonders problematisch ist dies, wenn Wasser in unzugänglichen Stellen austritt, die nicht sofort ersichtlich sind. Deshalb sollten eigene Sanitärschienen vorgesehen werden.
- Werden die gebäudetechnischen Installationen nicht in der Dämmebene des Paneels eingebettet, können spätere Erweiterungen einfacher vorgenommen werden.
- Vorzugsweise sollten Paneelsysteme eingesetzt werden, deren Verbindungsschnittstellen bzw. Anschlussstellen unsichtbar sind. Eine Überdeckung dieser Anschlussstellen durch dekorative Bauelemente ist auch möglich.
- Paneelhersteller sollten darauf achten, dass diese Schnittstellen und dessen Abdeckungssysteme auch während des Transportes geschützt und nicht beschädigt werden.

In den USA kam es aufgrund des letzten Wirtschaftseinbruches vermehrt zur Verwendung von Vor-Ort-Bauweisen. Paneelsysteme in Holzrahmenbauweise wurden direkt auf der Baustelle gefertigt, da ein Mangel an Aufträgen zu günstigen Angeboten führte. Somit konnte das Bauen vor Ort wesentlich günstiger sein als die Vorfertigung. Ebenso durch günstige Arbeitskräfte auf Baustellen haben die Hersteller des SIP-Systems (Structural Insulated Panels) zu kämpfen. Das Sandwich-System besteht aus außenliegenden OSB-Platten (Oriented Strand Board) mit innenliegendem EPS (Expandiertes Polystyrol) oder PUR (Polyurethan). Die Platten werden auf die Dämmstoffe aufgeklebt. Es können zusätzlich auch Faserzement-, Metall- oder Gipskartonplatten aufgesetzt werden. Für Installationen werden vertikale und horizontale Kabel- und Leitungskanäle eingebaut. Auch bei diesem System sollten Außenwände nicht mit wasserführenden Leitungen versehen werden, es ist vollkommen davon abzuraten. SIP-Systeme haben den Nachteil, dass die Dämmstoffe aus Erdölprodukten hergestellt werden, giftige Gase bei Bränden ausstoßen und das Gebäude so dampfdicht ist, dass eine Belüftung erforderlich wird. Da bei neuen Systemen oftmals keine geeigneten Baufirmen zur Verfügung stehen, die die vorgefertigten Elemente in der geplanten Qualität und Quantität anwenden können, kommt es zu Zeitverzögerungen beim Bau sowie zu erhöhten Kosten. Diese Gründe führen dazu, dass viele Planer und Baufirmen eine Abneigung gegen vorgefertigte Bausysteme haben und keinen finanziellen Vorteil erkennen [73].

### 2-4.3.2 Raumzellenbauweise in Holz-Leichtbau

Raumzellen können ebenfalls in Holz-Leichtbauweise hergestellt werden. Dazu wird zunächst ein dreidimensionaler Rahmen aus Brettschichtholz errichtet, welcher die Lastabtragung übernimmt. Im Anschluss daran werden die dazwischen liegenden Flächen je nach bauphysikalischer Anforderung mit Dämmung ausgefacht und je nach Erfordernis eine Dampfbremse aufgebracht. Die Rahmenstruktur wird schließlich noch mit Holzwerkstoffplatten beplankt, welche die Dämmung schützt, eine Oberfläche für weitere Ausbaumaßnahmen bietet und als Aussteifung des Rahmens dient. Nach der Fertigstellung der Raumzellen werden diese zur Baustelle transportiert, entsprechend angeordnet und miteinander verschraubt. Aus statischen und brandschutztechnischen Gründen sind Gebäude aus Raumzellen nicht unbegrenzt hoch ausführbar. Üblicherweise müssen Bauwerke mit mehr als drei Geschossen eine Tragstruktur aus Stahl oder Stahlbeton aufweisen, wenn Raumzellen aus Holz verbaut werden sollen. In diese Tragstruktur können dann Module aus nichttragenden Holzkonstruktionen eingebunden werden [4][70]. Ein Haus, welches vom dänischen Architekturbüro ONV entwickelt wurde, besteht aus

vorgefertigten Raumzellen aus Holzrahmen. Die Tragkonstruktion wurde mit Mineralwolle ausgefüllt und anschließend innenseitig eine Dampfsperre aufgebracht. Eine weitere Dämmschicht entstand auf der Innenseite durch Aufbringung einer Lattung, die mit Dämmung ausgefüllt und mittels Gipsfaserplatte beplankt wurde. Auf der Außenseite der Tragkonstruktion befindet sich eine Sperrholzplatte, auf die eine Lattung für die Hinterlüftung befestigt wurde. Die Fassade wird schließlich von einer Lärchenschalung gebildet. Das Haussystem erreicht einen hohen Grad an Vorfertigung und kann unterschiedlich groß ausgeführt werden. Je nach Bedarf können zwei bis vier Raumzellen miteinander kombiniert werden. Vor Ort muss lediglich die Dachhaut verschlossen und die Gebäudetechnik angeschlossen werden. Vollständig im Werk hergestellt und transportiert werden kann die kleinste Variante des Systems, welche aus nur einem Modul besteht [70].

## 2-4.4 HOLZ-MASSIVBAUWEISE

Für Bauwerke in Holz-Massivbauweise mit hohem Vorfertigungsgrad wird das Produkt Brettsper Holz verwendet. Wie in Tabelle 2.5 kann es für kleinformatische Elemente (Kleintafeln), für großformatige Elemente (Großtafeln) oder für Raumzellen eingesetzt werden. Darüber hinaus können durch Kombination mit anderen Produkten auch weitere Bauelemente entstehen. Kombiniert mit Brettschichtholz ergeben sich beispielsweise Hohlkästen, Plattenbalken oder Rippenplatten. Auch ein Verbund mit Beton (HBV) ist möglich [4][70].

### 2-4.4.1 Kleintafelbauweise in Holz-Massivbau

Kleintafeln im Holz-Massivbau werden meist als geschosshohe Platten mit geringeren Breiten eingesetzt. Ein Modulmaß in der Breite von 1,25 m wird im Holzbau häufig verwendet. Mit kleinformatischen Elementen ergibt sich ein geringerer Verschnitt und die Montage ist aufgrund der besseren Handlichkeit einfacher. Bis zu einer bestimmten Größe und bis zu einem bestimmten Gewicht lassen sich kleinformatische Platten auch ohne Hebezeuge einbauen. Auch der Abbund der Platten im Werk erweist sich als einfacher. Einen Nachteil dieser Baumethode belegt die höhere Anzahl an Stoßfugen. Um die Gebäudedichtheit gewährleisten zu können, sind spezielle Dichtbänder in die Fugen einzulegen [4][70].

### 2-4.4.2 Großtafelbauweise in Holz-Massivbau

Großtafeln werden geschosshoch und geschossbreit hergestellt, so dass eine Platte bzw. Tafel einer ganzen Wand entspricht. Übliche Maximalmaße liegen zwischen 2,5 m und rund 3,0 m in der Breite und rund 16 m in der Länge. Eventuelle Öffnungen werden direkt im Werk herausgeschnitten, außerdem kann eine Dämmschicht sowie die Fassade werkseitig aufgebracht werden. Die Fugen müssen vor Ort adäquat verschlossen werden [4][70].

### 2-4.4.3 Raumzellenbauweise in Holz-Massivbau

Die dritte Gruppe im Holz-Massivbau bildet die Raumzellenbauweise, bei der die im Werk vorgefertigten Raumzellen auf der Baustelle zu einem Gebäude zusammengebaut werden. Diese Bauweise ermöglicht den größten Vorfertigungsgrad von bis zu 95 Prozent. Anstatt des Begriffs „Raumzelle“ wird – vor allem im Holzbau – häufig auch der Begriff „Modul“ bzw. „Raummodul“ verwendet [4][70][73].

Die zentralen Aspekte im Holzmodulbau sind die Punkte Qualität, Kosten und Geschwindigkeit. Grundsätzlich kann jedes Bauprojekt nach individuellen Wünschen als Modulbau geplant werden, allerdings muss eine Tauglichkeit des Entwurfs für die Modulbauweise vorausgesetzt werden. Durch die

Produktion in der witterungsgeschützten Halle entsteht eine zweite „Baustelle“, wodurch sich die Arbeit vor Ort deutlich reduziert. Eine Steuerung der Holzbearbeitungsmaschinen durch Computer erhöht die Qualität der Produkte. Für den „Modulhausbaukasten“ stehen derzeit drei unterschiedliche Modultypen zur Verfügung [115]:

- freistehende Module
- geschlossene Module
- offene Module

Mit dem freistehenden Modul können ganze Raumeinheiten vollständig im Werk hergestellt werden. Ein freistehendes Modul entspricht genau einem Gebäude. Diese Module werden bereits mit fertiger Fassade geliefert. Die Grenzen für die Maximalabmessungen der Raumzellen werden durch den Transport vorgegeben. In der Regel können Modulbreiten bis 4,0 m, Modulhöhen bis 3,6 m und Modullängen bis ca. 13,60 m transportiert werden [144]. Geschlossene Module werden für Gebäude verwendet, die aus mehreren an- und aufeinander gestapelten Raumzellen zusammengefügt werden. Dazu zählen Büros, Hotels, Pflegeheime aber auch temporäre Bauten wie Flüchtlingsheime. Bei geschlossenen Modulen müssen vor Ort Fassaden, Dach und eventuelle Anbauten wie Balkone hinzugefügt werden. Um größere Räume, vor allem in der Breite, herstellen zu können, werden offene Module miteinander kombiniert. Die Stöße müssen vor Ort verkleidet werden. Anwendung finden offene Module oft bei Schul- oder Kindergartenbauten [73][115].

Im Holzmodulbau laufen wesentliche Bauprozesse in der Fabrikhalle ab. Durch die Fertigung in witterungsunabhängigen Verhältnissen kann eine präzisere zeitliche Abfolge der Herstellungsschritte der Module erstellt werden. Um dies zu ermöglichen, ist eine genaue Planung vorab notwendig. Dadurch kommt es zu einer Umverteilung der Kosten im Vergleich zur traditionellen Vor-Ort-Bauweise. Für Bauwerke, die aus mehr als zehn gleichen Modulen bestehen, kann eine Fertigungsstraße vorteilhaft erscheinen. Module wandern dann von Station zu Station, so dass die Handwerker quasi an ihrem Standort bzw. ihrem Arbeitsplatz verbleiben können. Für kleinere Auftragsvolumen mit weniger als zehn Modulen wird meist eine separate Herstellung der Raumzellen bevorzugt. Besondere Aufmerksamkeit bei der Vorfertigung der Module gebührt der Koordination der Abläufe (sowohl zeitlich als auch räumlich) und der Sicherung der Qualität. Zeitersparnis und hohe, garantierte Qualität sind in der Modulbauweise Schlüsselfaktoren. Die Fertigung der einzelnen Komponenten geschieht in der Regel maschinell, der Zusammenbau erfolgt mit handwerklichen Arbeitsschritten. Eine gute Abstimmung der einzelnen Gewerke ist unabdingbar für einen Modulbau mit hoher Qualität [115].

Je nach Bauaufgabe können diese Systeme unterschiedlich hohe Vorfertigungsgrade aufweisen (bis zu 95 Prozent) und sowohl tragend als auch nichttragend ausgeführt sein. Es können Fenster und Türen, gegebenenfalls die gesamte Gebäudetechnik oder endgültige Oberflächen bereits im Werk eingebaut werden. Durch die Kombination offener Module, an denen ein oder zwei Seiten nicht geschlossen werden, können Räume größere Abmessungen annehmen, als durch ein einzelnes Raummodul möglich wäre. Die Tragstruktur kann aus diversen Materialien wie zum Beispiel Beton, Stahl, Holz, Kunststoff oder anderen hergestellt sein. Eine weitere Unterteilung kann nach temporär oder dauerhaft genutzten Gebäuden erfolgen. Sinnvoll sind Raumzellensysteme bei Grundrissen bzw. Gebäuden, die sich in viele idente Module unterteilen lassen. Danach werden auch die Wirtschaftlichkeit und die Kosten definiert. Einzelmodule, die als eigenständiges Gebäude fungieren, können vollständig inklusive vollständiger Gebäudehülle wie Fassadenverkleidungen und Dach ausgeführt werden. Ansonsten wird nach der Montage der Zellen die Fassaden- und die Dachkonstruktion angebracht. Durch eine Lagerung auf Schallschuttlager wird eine Entkopplung erreicht und die Schallausbreitung von Zelle zu Zelle minimiert. Vor allem im Geschosswohnbau werden oft ganze Nasszellen oder Technikzellen versetzt, in denen sämtliche Installationen bereits im Werk vorgenommen wurden. Raummodule aus Holz haben den Vorteil, dass aufgrund des geringeren Gewichts im Vergleich zu Stahlbeton auch längere Entfernungen zwischen Produktion und Baustelle möglich sind. Bei Raummodulen in Holz-Massivbauweise werden Böden, Decken und Wände vorzugsweise aus Brettspertholzplatten gefertigt, miteinander verbunden und anschließend je nach bauphysikalischem Erfordernis ein außenliegender Wärmeschutz aufgebracht. Die einzelnen Module werden nach dem Versetzen auf der Baustelle kraftschlüssig miteinander verbunden [70][73][124][115]. Die zumeist optimal an die Transportmittel abgestimmten Raummodule müssen vor

Ort allerdings mit schweren Kränen an Ort und Stelle gehoben werden. Abhängig von Größe und Material sind Lasten von über 20 Tonnen durchaus möglich, was zu hohen Kosten führen kann. Die Herstellung von Holzmodulen läuft in der Regel wie folgt ab [73]:

1. Der Boden des Raummoduls wird im Werk gefertigt und auf Rollen- oder Gleitlagern gelegt, so dass eine Vorwärtsbewegung in der Fertigungsstraße problemlos möglich ist
2. vorgefertigte Wände werden im Werk gefertigt und auf der Bodenplatte fixiert
3. Dachplatten werden mittels Kran auf die Wände gehoben
4. Die Module werden je nach Bedarf mit Dämmung, Abdichtung, Dampfsperre, Folien etc. eingepackt
5. Fenster und Türen werden eingebaut
6. Innen- und Außenverkleidungen können je nach System eingebaut werden. Dazu zählen auch Beplankungen und die Gebäudetechnik sowie eventuell feste Einrichtungen
7. Die Module werden nun mit Folien eingepackt und auf das entsprechende Transportmittel geladen
8. Transport der Raumzellen zur Baustelle
9. Mittels Kräne werden die Module an Ort und Stelle eingehoben
10. Abschließend erfolgt die Verbindung der Module miteinander sowie das An- und Aufbringen etwaiger Außen- und/oder Innenbekleidungen (ausfüllen der Fugen und Stöße, Fassaden und Dach vervollständigen)

Die folgenden Bilder sollen nun einen Einblick in die Ablaufschritte der Herstellung von Gebäuden aus Raumzellen liefern.



**Abbildung 2.23:** links: Punkt 2: Fixierung der Wände auf der Bodenplatte [144], rechts: Punkt 3: Die Dachplatte wurde bereits versetzt und fixiert, Kaufmann Bausysteme [144]



**Abbildung 2.24:** links: Punkt 5: Einbau der Fenster und Türen [144], rechts: Punkt 6: Einbau von Verkleidungen und Fußbodenaufbauten, Kaufmann Bausysteme [144]



Abbildung 2.25: links: Punkt 8: Eingepackte Raumzellen werden mittels LKW zur Baustelle transportiert [144], rechts: Punkt 9: Montage der Raumzellen, Kaufmann Bausysteme [144]



Abbildung 2.26: links: fertiggestelltes Gebäude aus vorgefertigten Raumzellen [144], rechts: Innenansicht einer vollständig im Werk vorproduzierten Raumzelle, (Flüchtlingsunterkunft Hannover), Kaufmann Bausysteme [144]

Ob die Holzelemente im selben Werk gefertigt oder zugekauft werden, hängt vom Hersteller der Raummodule ab. Je nach Hersteller und Bedarf stehen unterschiedliche Bausysteme der Modulbauweise zur Verfügung. Einige Anbieter fügen beispielsweise die Fassadenbekleidung und das Dach erst nach der Montage der Module hinzu. Nicht jedes System bietet eine vollständige Einrichtung und der Ausbaugrad kann ebenfalls variieren. Probleme bereiten auch Schrägdächer, da aufgrund der maximal möglichen Transporthöhe, diese extra transportiert werden müssen. Besonders wichtig sind die Verpackung und der Transport in der Reihenfolge in der die Module verbaut werden. Die amerikanische Architektin Michelle Kaufmann, die sich hauptsächlich mit vorgefertigten „grünen“ Modulhäusern beschäftigt, bot auch Häuser an, die etwa 200 \$ pro square foot, das entsprechen ca. 2000 € pro m<sup>2</sup>. Aufgrund der schlechten Wirtschaftslage 2009 musste die Firma „Michelle Kaufmann Designs (MKD)“ allerdings schließen [73]. Andere Architekten haben sogar Modulhäuser mit zwei Schlafzimmer für umgerechnet ca. 1300 € pro m<sup>2</sup> im Programm. Trotz des geringen Preises erhält der Kunde einen hohen Wert bzw. eine hohe Qualität. Hinsichtlich der Zeiteinsparung besteht ebenfalls enormes Potential. Zum Beispiel gibt es Systeme, die Häuser in weniger als eine Woche entstehen lassen [73].

Sanitärinstallationen, besonders im Badezimmer- oder Küchenbereich, sowie der Einbau der zugehörigen Sanitärgegenstände kosten viel Arbeitszeit auf der Baustelle. Diese Zeit kann durch Vorfertigung ganzer Badezimmermodule (sogenannte Nasszellen) oder auch Technikmodule, Küchenmodule und dergleichen erheblich reduziert werden. Bekannt wurden diese Service-Module durch Buckminster Fuller, der bereits bei seinem Dymaxion Haus ein vorgefertigtes Badezimmer verwendete. Er organisierte sämtliche Räume um einen mittig im Haus liegenden Kern, der als zentraler Installationsmodul alle Ver- und Entsorgungsleitungen enthielt. Wichtig bei solchen Modulen ist die Auslegung der Struktur auf Transport

und Montage, da es sonst zu Rissen und Beschädigungen der fertigen Oberflächen kommen kann. Besonders sinnvoll sind solche Nasszellen, wenn diese im Gebäude wiederholt eingebaut werden können, wie bei Hotels, Bürogebäuden oder großen Wohnkomplexen. Nach dem Einheben der Module an Ort und Stelle müssen nur mehr die Installationen angeschlossen werden. Komplett ausgestattete Module können auch für andere Funktionen herangezogen werden wie zum Beispiel als Küchenzelle in Restaurants oder in abgelegenen ländlichen Gebieten als kleines gesundheitliches Versorgungszentrum, damit auch dort ein Zugang zur Grundversorgung der Medizin möglich ist [73].

## **2-4.5 KOMBINATIONEN VON SKELETT-, TAFEL- UND ZELLENSYSTEMEN**

Dieser Gruppe werden Bauweisen zugeordnet, die eine stabförmige Tragstruktur mit flächen- oder volumenförmigen Füllelementen aufweisen. Die Haupttragstruktur wird somit durch das Skelettsystem gebildet. Skelettsysteme bestehen aus stabförmigen Elementen wie Trägern und Stützen, sowie aus Elementen die der Aussteifung des Gebäudes dienen. Es erfolgt eine klare Trennung zwischen Tragstruktur und nichttragender Fassade bzw. Innenausbau. Innerhalb der Tragstruktur können auch nichttragende Raummodule eingefügt werden [70]. Üblicherweise weist ein Skelettbau einen großen Stützenabstand von in etwa 5 m auf. Diese Abstände der vertikalen Tragstruktur werden in weitere Rastermaße unterteilt, nach denen sich die ausfachenden Bauteile orientieren [145]. Eine weitere verbreitete Baumethode stellt die Pfosten-Riegel-Konstruktion (post and beam) dar. Das Holz-, Stahl- oder Stahlbetonskelett erfüllt die Aufgabe der Tragstruktur und wird mit statisch unabhängigen, flächenförmigen Füllelementen ausgefacht. Vor allem in Japan hat die „post and beam“-Bauweise eine lange Tradition. Es besteht auch die Möglichkeit das Skelett mit Raummodulen zu befüllen. Als Beispiel dazu kann das „Domino“-Haus von Le Corbusier genannt werden. Der Begriff „Skelett“ kann demnach sowohl als Tragstruktur für eingeschobene Raumzellen oder flächenförmigen Ausfachungen aufgefasst werden, aber auch als Tragsystem einer Raumzelle selbst. Wird im Holzbau im Sinne der Vorfertigung von einer Skelett konstruktion gesprochen, ist eine Tragstruktur aus Pfosten und Riegeln zu verstehen. Diese Tragstruktur wird im Werk vorgefertigt und auf der Baustelle zusammengefügt. Die Füllelemente werden ebenfalls industriell im Werk produziert und vor Ort zwischen der Tragkonstruktion eingefügt oder vorgehängt. Ein solches System kann ebenfalls einen hohen Grad an Vorfertigung erreichen [3]. Bei Skelettkonstruktionen ist eine an den Grundriss und an die Bedürfnisse gut abgestimmte Lage der Stützen empfehlenswert, da der Zwischenbereich individuell gestaltet werden kann. Zur Aussteifung dienen eingespannte Stützen, Verbände, Wand- und Deckenscheiben oder massive Kerne. Wie auch die Lage der Stützen sollte auch die Wahl des Aussteifungssystems und dessen Lage optimal an den Grundriss angepasst werden. Speziell für den Holzbau eignen sich Skelettsysteme für Hallenbauwerke oder andere niedrige Bauten mit wenigen Geschossen. Die Verbindungen werden meist mittels Ingenieurverbindungen hergestellt. Für die Tragstruktur können zum Beispiel Vollholz, Brettschichtholz oder Profilträger eingesetzt werden [70].

## **2-4.6 BEGRÜNDUNG FÜR DIE WAHL DER BAUWEISE UND DES BAUSTOFFES**

### **2-4.6.1 Warum Holz?**

Die Entscheidung für den Baustoff Holz bei der Verbesserung von Slums begründet sich auf mehrere Aspekte. Zum einen ist Holz relativ einfach, sowohl mit Handwerkzeugen als auch mit Maschinen, zu bearbeiten. Seit Jahrhunderten wurde Holz aus Baustoff genutzt; man ist sozusagen mit dem Material vertraut. Zum anderen ist Holz gesundheitlich unbedenklich, biologisch abbaubar und kann wiederverwendet oder recycelt werden. Gerade im Punkt der Nachhaltigkeit können Bauwerke aus Holz

ein hohes Niveau erreichen. Wird auf einen entsprechend qualitativen Feuchtigkeitsschutz geachtet, weist Holz eine hohe Lebensdauer auf. Bezüglich der Kosten kann Holz als relativ günstig angesehen werden. Durch die vor allem in den letzten Jahren entwickelten Technologien sind neue Holzwerkstoffe entstanden, die eine höhere Leistung erzielen können. Die traditionelle Holzbauweise vor Ort hat den Nachteil, dass sie sehr arbeitsintensiv und kompliziert sein kann. Durch Vorfertigung kann die Qualität des Herstellungsprozesses gesteigert, Ressourcen eingespart und die Wiederverwendung von Holzabfall verbessert werden. Ein weiterer Vorteil der Fertigung abseits der Baustelle entsteht durch die Produktion in einer witterungsgeschützten Werkshalle, die das Holz trocken hält und für gleichmäßiges Klima sorgt. Hinzu kommen ein maßgenauer, präziser Zuschnitt und eine hochwertige Verbindung. Diese qualitative Vorfertigung ermöglicht sehr geringe Toleranzen bei der Montage [73].

In Punkto Nachhaltigkeit bietet Holz den Vorteil, dass Bäume im Laufe ihres Lebens Kohlendioxid speichern und erst nach dem Absterben des Holzes wieder freigeben. Die an dieser Stelle nachwachsenden Bäume nehmen das Kohlendioxid wieder auf und speichern dieses für weitere Jahre bis der Kreislauf von vorne beginnt. Ein nachhaltig bewirtschafteter Wald entspricht damit einer „Kohlenstoffsänke“. Werden Bäume gefällt und als Bauholz in Häusern verarbeitet, bleibt diese Kohlenstoffspeicherfähigkeit aufrecht. Durch die Verwendung von Holz, insbesondere wenn dadurch andere energieintensive Materialien wie Aluminium, Stahl, Beton oder Ziegel eingespart werden können, führt zu einer starken Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz. Solange das Holz aus einem nachhaltig bewirtschafteten Wald stammt, ergeben sich durch die Verwendung Vorteile in der Umwelt. Eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder muss aber gewährleistet sein, da Entwaldungen bzw. Schädigungen des Waldes zur Gewinnung von Nutzflächen oder ein gezielter Abbrand einer Waldfläche die positive CO<sub>2</sub>-Speicherung des Waldes zerstören [153].

Die Vertrautheit der Menschen mit dem Baustoff Holz geht auf seine geschichtliche Entwicklung zurück. Neben Stein ist Holz eines der ersten Baumaterialien überhaupt. Jahrhunderte lang konnten Wissen und Fertigkeiten gesammelt werden, so dass der Umgang mit Holz bekannt ist. Nachträglich können Bauteile aus Holz mit einfachen Mitteln nachbearbeitet werden und das geringe Gewicht erlaubt Vorteile bei Transport und Montage [153]. Eine andere Art der Vertrautheit kann durch die Optik einer Holzoberfläche erzielt werden. Seit einigen Jahren werden Gegenstände wie zum Beispiel Kunststofffenster eingesetzt, die eine Holzoberfläche imitieren. Warum wird eine solche Vortäuschung falscher Tatsachen gemacht? Der Grund liegt darin, dass Holz Vertrauen, Behaglichkeit und Wohlbefinden ausstrahlt. Oftmals sonst kühl wirkende Gegenstände erhalten durch eine Holzoptik eine gewisse Wärme. Ein echtes, natürliches Holzprodukt kann laut Studien sogar das psychische Wohlbefinden verbessern [153]. Der eigentliche Grund, warum hier der Aspekt der positiven Wirkung von Holz auch im Bezug auf Slum-Bauten erwähnt wird, liegt darin, dass es besonders wichtig ist, eine Vertrautheit mit dem Material aufzubauen – gerade da Brettsperholz bezüglich der Anwendung für Viele etwas Neues und Unbekanntes ist. Damit ein Slum-Projekt nicht scheitert, müssen die Menschen gewillt sein in ihr Zuhause, sowohl durch Arbeit als auch finanziell, zu investieren. Es liegt die Vermutung nahe, dass ein behagliches Raumklima und ein vertrautes Grundmaterial durchaus dazu beitragen könnten, dass ein Projekt als Slum-Upgrade positiv angenommen wird. Die genannten Vorteile sind maßgebend für die Wahl des Baustoffes, um ein „Upgrade“ von Substandard-Wohneinheiten (wie z.B. in Slums) im Zuge eines Neubaus von Wohnhäusern in der inkrementellen Strategie – also der schrittweisen Vervollständigung des Hauses – durchführen zu können.

## 2-4.6.2 Warum Modulbau?

Lösungen für soziale Wohnbauten gibt es viele, einige allerdings scheiterten, wie man aus der Geschichte lernen kann. Die Systembauweise hatte zahlreiche Höhen und Tiefen, Innovationen und Niederlagen erlitten. Warum soll gerade diese Bauweise für die bauliche Lösung von informellen Siedlungen in Sachen Wohnraum im Zuge dieser Forschungsarbeit ausgewählt werden? Diese Frage lässt sich wie folgt beantworten. Der Begriff Modulbau lässt sich mit drei Eigenschaften beschreiben: „*kompakt, serientauglich und transportabel*“ [149, S.6]. Gerade im Massenwohnbau, wo die Wiederholung von

Bauteilen oftmals in großem Umfang angewandt wird, kann der Systembau seine Vorteile ausspielen. In diesem Fall könnten zwei weitere Wörter zur Begriffsbeschreibung des Modulbaus hinzugefügt werden: leistungsfähig und schnell. Wie im sogenannten „smallhouse“ – ein Projekt des Berner Büros „bauart“ – soll eine einfache und je nach Bedarf mehrfach reproduzierbare Konstruktion aus Holz angewandt werden [149, S.6]. Das Projekt besitzt zwei Geschosse und bietet ca. 75 m<sup>2</sup> Wohnfläche, die nach Wunsch der Nutzer individuell ausgebaut werden kann [73]. Genau diese Idee verfolgt auch der chilenische Architekt Alejandro Aravena mit seinem „half-of-a-good-house“-Projekt, wie im Kapitel 1 näher beschrieben wurde [2]. Die in Europa oftmals mit Argwohn betrachteten Serienhäuser, scheinen durch die starke Zuwanderung von Immigranten in letzter Zeit als kostengünstige und schnelle Lösung der Wohnraumproblematik zu sein. Wichtig ist auf jeden Fall, egal ob für oder gegen Systembau, dass aus vergangenen, insbesondere gescheiterten Projekten Schlüsse gezogen werden, um Segregation, Konflikte und die monotonen, unattraktiven Großsiedlungen zu vermeiden. Die Frage, die sich in Europa stellt, wie Wohnraum für Bedürftige in großer Menge, schnell, und preisgünstig geschaffen werden kann, lässt sich auch auf die informellen Siedlungen in Südamerika oder anderen Gebieten übertragen. Die Lösung scheint im Modulbau zu liegen. Im Gegensatz zu dem oft nur für temporäre Zwecke genutzten Schiffscontainer, können Raummodule dauerhaft im Einsatz sein. Obwohl auch diese üblicherweise aus einer Rahmenkonstruktion aus Stahl bestehen, haben sich auch Module aus Holz bewährt. Ein weiterer Vorteil bietet der Holzbau durch die Möglichkeit Module in Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz ausführen zu können. Wirtschaftlich sinnvoll sind Systembauten nur bei Verwendung einer großen Anzahl an identen Bauteilen oder Modulen [149]. Da in informellen Siedlungen wie z. B. in Slums ohnehin akute Wohnungsnot herrscht und im Zuge eines „Upgrades“ von Substandard-Wohneinheiten meist ganze Blöcke oder Siedlungen neu bzw. umgebaut werden müssen, kann dieser Anforderung entsprochen werden.

### 2-4.6.3 Warum Brettsperrholz?

Die Wahl auf das Produkt Brettsperrholz (kurz BSP) begründet sich durch mehrere Aspekte. Zum einen kann durch die Verwendung von Brettsperrholz ein hoher Grad an Vorfertigung erzielt werden, zum anderen bleibt durch die an sich geringe Masse von Holz im Vergleich zu Beton auch bei der flächenhaften Anwendung des Produktes die Handhabbarkeit gegeben. Im Vergleich zu anderen Holzbauweisen kann durch Brettsperrholz eine höhere Brandbeständigkeit erreicht werden. Definierte Abbrandraten und die Bildung einer verkohlten Schicht, die einen weiteren Abbrand verlangsamt, zählen zu den Eigenschaften von BSP. Durch die größere Masse kann vor allem ein besserer Luftschallschutz gewährleistet werden. Diese Masse wirkt sich auch auf die sommerliche Erwärmung bzw. den Wärmeschutz aus. Die höhere speicherwirksame Masse im Vergleich zu Holz-Leichtbauweisen ermöglicht ein angenehmeres Raumklima in Sommer und Winter. In Kombination mit duktilen Verbindungsmitteln aus Stahl ist Brettsperrholz auch in Erdbebengebieten eine mögliche Alternative [153].

Wie aus Kapitel 1-10.9.2 hervorgeht, bieten Massivbauten im sozialen Wohnbau eine höhere Garantie, dass individuelle Eingriffe, wie Erweiterungen innerhalb des vorgegebenen Rahmens stattfinden können, als dies bei der Leichtbauweise (wie zum Beispiel der Holz-Rahmenbauweise) der Fall wäre [2]. Das Produkt Brettsperrholz wäre demnach ein geeignetes Baumaterial.

## KAPITEL 3: MODULARISIERUNG

### 3-1 SYSTEM, MODUL UND RASTER

#### 3-1.1 EINTEILUNG DER BAUSYSTEME

Ausgehend von der Raumzellenbauweise bis hin zur Skelettbauweise nimmt der Vorfertigungsgrad zwar ab, die Flexibilität und Individualität aber zu. Diese ist einfach am „Dom-Ino“-Haus von Le Corbusier mit dessen hoher Gestaltungsfreiheit im Vergleich zu vollständig vorgefertigten Raumzellen zu erkennen. Die Elemente eines Bauwerks hängen vom Bausystem ab; so können zum Beispiel Betonstützen Elemente von Skelettkonstruktionen, geschosshohe Betonplatten Elemente von Paneelsystemen oder ganze Zellen Elemente der Raumzellenbauweise sein. Es kann auch zwischen tragenden, nichttragenden, gebäudetechnischen oder einrichtungstechnischen Elementen unterschieden werden. Der Prozess der Auswahl bzw. der Festlegung von Elementform und Anwendungszweck des Elements wird meist als Typisierung bezeichnet. In einem Bausystem wird außerdem festgelegt, nach welcher Geometrie und in welcher Kombination Elemente eingesetzt werden. Für diese Abstimmung muss ein Maßsystem bzw. ein Raster definiert werden. Die Begriffe Normierung und Standardisierung sind wie das Maßsystem und der Raster mit dem Systembau verbunden. Die Eigenschaften und die Qualität von Bauteilen werden über die Normen festgelegt. Eine Standardisierung definiert ein Maß, nach dem bestimmte Bauteile produziert werden. Eine weitere Unterscheidung der Systembauweise erfolgt durch die Einteilung in geschlossene und offene Bausysteme [70][141].

#### 3-1.2 GESCHLOSSENE UND OFFENE BAUSYSTEME

Geschlossene Bausysteme verwenden ausschließlich Elemente, die speziell für das Bausystem entwickelt bzw. produziert worden sind. Die Produktion der Elemente erfolgt nur von einem Hersteller; es kann also keine beliebige Auswechslung der Elemente erfolgen. Die damit verbundene geringe Gestaltungsvariabilität lässt weniger Spielraum für individuelle Wünsche und Anpassung durch den Nutzer zu als bei offenen Systemen. Baukastensysteme gehören auch zu dieser Kategorie, wobei die vom Hersteller ausgewählten, gebäudeunabhängigen Elemente zu einem Bauwerk zusammengefügt werden können (vgl. Abbildung 3.1 links) [70][141].

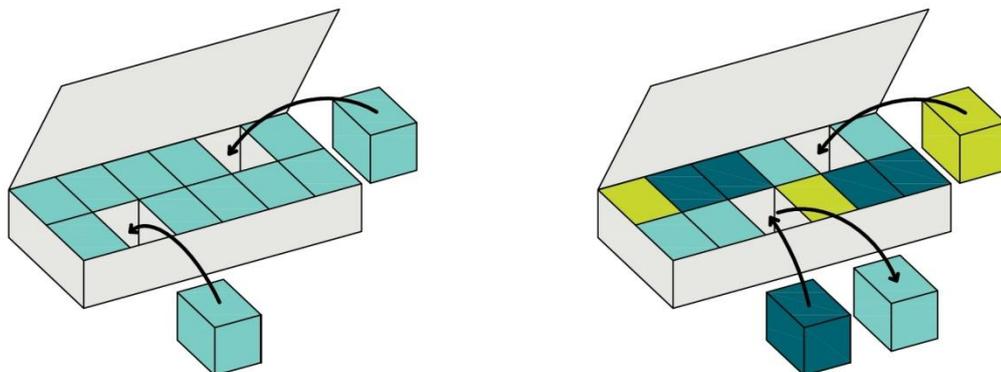


Abbildung 3.1: links: geschlossenes Bausystem, rechts: offenes Bausystem (vgl. [141])

Bei offenen Bausystemen hingegen können Subsysteme ausgetauscht und Elemente von unterschiedlichen Herstellern verwendet werden (vgl. Abbildung 3.1 rechts). Eine individuelle Kombination ist möglich. Subsysteme können zum Beispiel Fassadenkonstruktionen, haustechnische Anlagen oder Treppenanlagen sein. Die Bildung eines Subsystems ist vor allem dann empfehlenswert, wenn für diese Systeme ein anderes Modulmaß verwendet wird. Um diese Austauschbarkeit der Subsysteme problemlos zu gewährleisten, müssen Elemente vorher typisiert, ein Maßsystem festgelegt und Zuordnungsgrundsätze definiert werden. Diese Austauschbarkeit kann jedoch bis zum Wahrnehmungsverlust des eigentlichen Bausystems führen, so dass ein eigenständiges Bausystem nicht mehr erkennbar ist. Eine weitere Auflösung kann dazu führen, dass innerhalb eines Bausystems einzelne Bauteile als geschlossene oder offene Systeme fungieren, so dass beispielsweise die Tragkonstruktion oder die Fassade für sich selbst jeweils ein geschlossenes Bausystem bilden. Zudem können auch Halbfabrikate verwendet werden. Das können Produkte sein, die nur einen geringen Vorfertigungsgrad aufweisen und dadurch für verschiedene Systeme benutzt werden können. Vorgefertigte Walzprofile, Gipskartonplatten oder zugeschnittenes Holz sind Beispiele solcher Halbfabrikate [69][70][141].

### 3-1.3 DAS MODUL

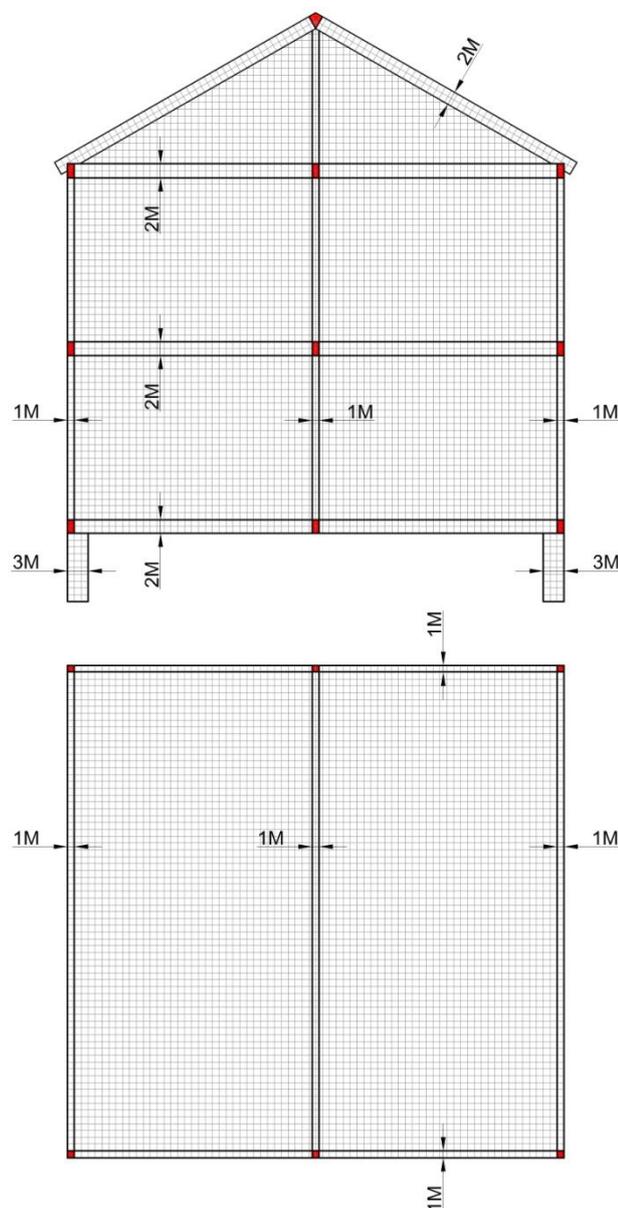
#### 3-1.3.1 Kubisches Modul nach Albert Farwell Bemis

Um beim Hausbauprozess eine Rationalisierung zu erhalten bzw. um eine kostengünstige Produktion von Häusern bis hin zu einer Massenproduktion möglich zu machen, ist eine Standardisierung der Bauteile notwendig. Primär betrachtet, ist die Standardisierung von Bauteilen eines Hauses nur eine Frage der Dimension. Die Form und die Größe von Baumaterialien muss dabei so standardisiert werden, dass aus einer bestimmten Auswahl und Zusammenstellung von Bauteilen eine unbegrenzte Vielfalt an Häusern generiert werden kann. Um dies zu ermöglichen, bedarf es der Standardisierung der Bauteile [154]. Aus architektonischer Sicht wurden bereits jahrhundertlang modulare Konzepte angewandt, jedoch meist nur im architektonischen und nicht im baulichen Sinne. Außerdem wurde nur ein linearer Modul (Längenmodul), d.h. eine Modularisierung in der Längenabmessung vorgenommen. Längeneinheiten, die für die horizontale Dimensionierung verwendet wurden, hatten keinen expliziten Bezug zu jenen der vertikalen Richtung. Wie bereits im Abschnitt 2-1.1.1 beschrieben, befasste sich Albert Farwell Bemis mit der Entwicklung eines dreidimensionalen Moduls (kubischer Modul) für den Aufbau von Gebäuden, um Häuser kostengünstiger, rationaler und qualitativ besser zu machen. Er versuchte, die einzelnen Teile eines Hauses zu standardisieren, indem er die Anzahl an unterschiedlichen Größen und Formen der Bauteile reduzierte. Ähnliche Bauteile sollten einfach austauschbar sein. Dennoch vertrat er die Meinung, dass eine Limitierung der Größen und Formen von Bauteilen zu keiner nennenswerten Einschränkung bei der Flexibilität mit sich führen würde. Auch wenn es damals in den 20er- und 30er-Jahren schon einige Standardgrößen gab, so hatten diese miteinander meist keinen Bezug. Aus diesem Grunde machte Bemis sich die Entwicklung eines dreidimensionalen Modulmaßes zum Ziel, welches für alle Teile der Konstruktion gelten soll, um die große Anzahl an unterschiedlichen Dimensionen zu reduzieren und ein einfaches Zusammenspiel unterschiedlicher Bauteile zu ermöglichen. Es musste ein Modulmaß gefunden werden, welches durch Multiplikation alle wichtigen Bereiche eines Hauses zufriedenstellend abdecken kann. Sowohl Abmessungen und Aussehen von Räumen, Türen und Fenster als auch Proportionen von Decken, Dächern und Wänden sollten durch ein kubisches Modul standardisiert werden. Dies gelang Bemis bei der Wahl des 4 Zoll (10 cm) großen würfelförmigen Moduls. Mit diesen Abmessungen war es möglich, alle Bauteile durch ganzzahlige Multiplikation oder Division zu vereinheitlichen. Das 4-Zoll-Maß entstand aus den damals üblichen Abmessungen von Holzbauteilen der amerikanischen Ständerbauweisen („balloon frame“ und „platform frame“) mit Querschnitten der Ständer von 2 x 4 Zoll (5 x 10 cm). Die Dicke der Wand entsprach der kleinsten linearen Abmessung der Tragstruktur eines Hauses und war deshalb ideal als Ausgangsmaß für den kubischen Grundmodul. Diese Abmessung bezeichnete Bemis fortan mit M. Alle anderen Bauteilabmessungen beziehen sich auf dieses M-Maß. Folgt man den Ideen Bemis', ergeben sich daraus folgende Beziehungen und Modulmaße [154]:

- Wanddicke entspricht dem größten gemeinsamen Teiler und fungiert als Grundmodul mit  $1M$
- Deckenstärke entspricht zweimal der Wandstärke und somit  $2M$
- Dachaufbau entspricht ebenfalls zweimal der Wandstärke und somit  $2M$
- Fundamentstärke entspricht 2 bis  $3M$
- Längen- und Breitenabmessungen von Wänden, Decken, Dächern entsprechen  $n \times M$

Aus wirtschaftlichen Gründen ist es allerdings nicht immer sinnvoll, ganzzahlige Vielfache von  $M$  zu verwenden. In diesem Fall sind auch halbe  $M$  bzw. Bauteilabmessungen von zum Beispiel  $1,5 M$  ( $15 \text{ cm}$ ) oder  $2,5 M$  ( $25 \text{ cm}$ ) möglich [154].

Eine Fläche ergibt sich aus einem Vielfachen von  $M^2$  und ein Raum aus einem Vielfachen von  $M^3$ . Die Ebenen, welche die Fläche oder den Raum bilden, werden in  $M$ -große quadratische Flächen oder würfelförmige Volumen unterteilt. Bei geneigten Dächern kommt eine schiefe Ebene hinzu. Parallele Ebenen zu dieser schiefen Ebene teilen das Dach in  $M$ -breite Streifen in Dachdickenrichtung [154]. In Abbildung 3.2 ist das Prinzip der Standardisierung mit Hilfe von  $M$ -großen Modulen dargestellt. Das darin gezeigte Haus entspricht dem Entwurf des im folgenden Kapitel bearbeiteten Konzepts.

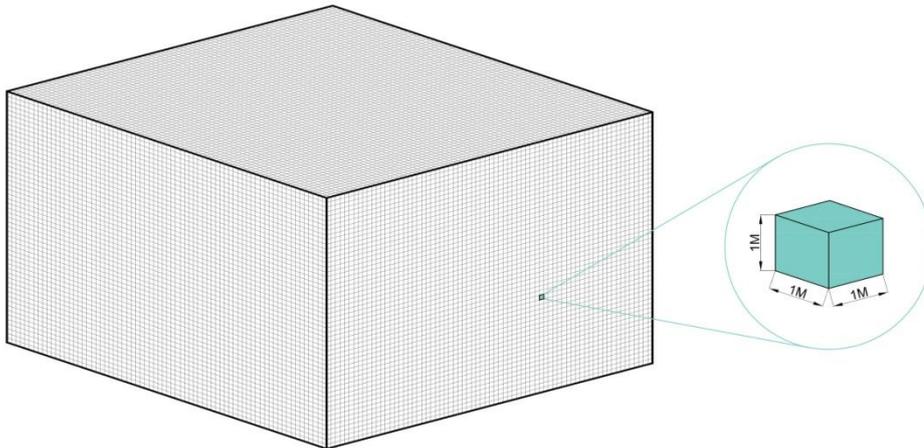


**Abbildung 3.2: Modularisierung eines Hauses nach Albert Farwell Bemis (vgl. [154]): (oben: Schnitt des Hauses, unten: Grundriss des Hauses)**

Eine teilweise Standardisierung sei nach Bemis zwar auch durch lineare Modularisierung in verschiedenen horizontalen oder vertikalen Ebenen möglich, für eine vollständige Standardisierung ist jedoch zwingend ein dreidimensionales Modul in Form eines Würfels (mit denselben Maßeinheiten in allen drei Richtungen) erforderlich. Aus einem Würfel in dieser Form ergeben sich folgende Potentiale [154]:

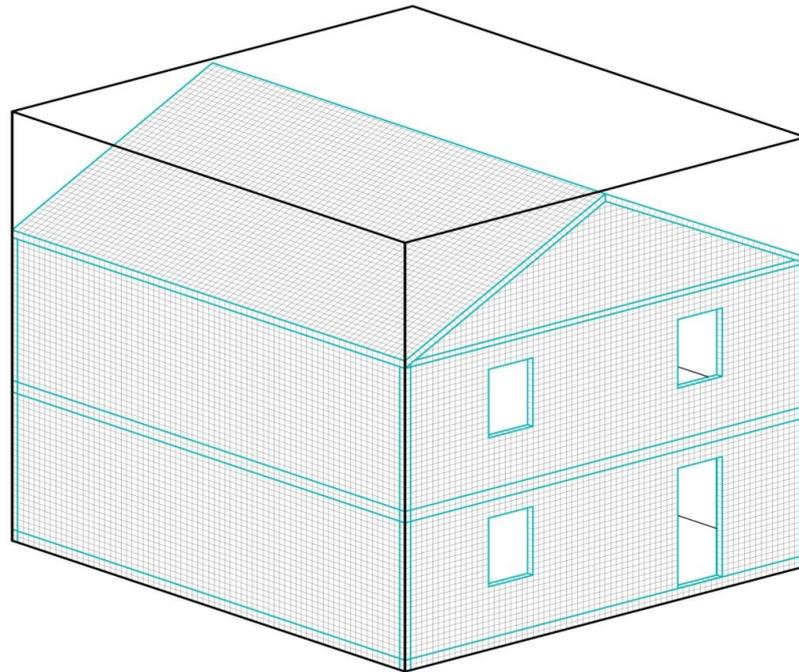
- der Würfel definiert das Volumen des Gebäudes bzw. die Gestaltung des Hauses in Grund- und Aufriss,
- der Würfel besitzt drei Symmetrieebenen, welche sich im Volumenmittelpunkt schneiden und für die Verbindung der Module entscheidend ist und
- mit den sechs Oberflächen des Würfels lassen sich Lage und Abmessungen von zusammengesetzten Bauteilen steuern.

Das Volumen eines Hauses kann demnach durch eine bestimmte Anzahl an würfelförmigen Modulen dargestellt werden. Vernachlässigt man zunächst geneigte Bereiche wie jene des Daches in Abbildung 3.2 und geht von einem rechteckigen Grundriss aus, so ist der Würfel der größte gemeinsame Teiler. Das Haus kann dann innerhalb eines quaderförmigen Volumens, welches aus  $M$ -großen Würfeln besteht und so groß ist, dass das gesamte Haus darin Platz findet, eingesetzt werden (Abbildung 3.3) [154].



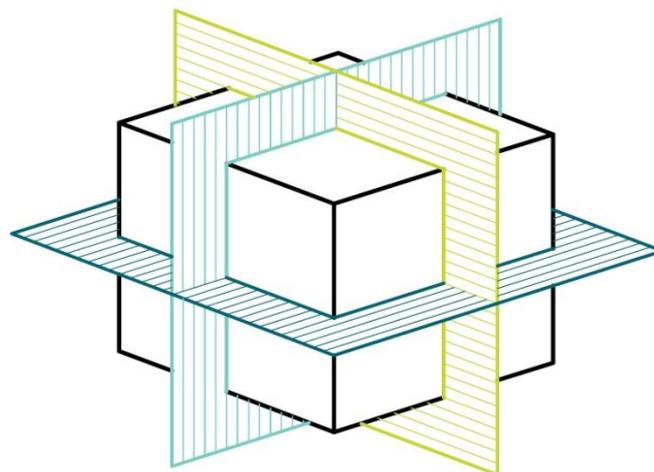
*Abbildung 3.3: Gesamtvolumen eines Hauses bestehend aus 1M-Würfeln (vgl. [154])*

Nachdem der umschreibende Quader erzeugt wurde, werden sämtliche Volumina innerhalb des übergeordneten Quaders entfernt, die nicht Teil des Hauses sind. Auch Öffnungen bei Türen oder Fenster werden ausgeschnitten. Eine einfache bzw. exakte Darstellung des Gebäudes aus Würfeln ist im Falle von geneigten Dächern nicht möglich. Dennoch ist in Abbildung 3.4 erkennbar, wie das Prinzip grundsätzlich funktioniert. In diesem Spezialfall müssen jedoch Würfel zerschnitten werden. Im Falle eines rechteckigen Gebäudes mit Flachdach wäre eine vollkommene Darstellung sämtlicher Bauteile aus Würfeln möglich. Die Maße der Bauteile ist durch dieses Verfahren automatisch festgelegt. Anschließend erfolgt eine Unterscheidung zwischen vertikal und horizontal aneinander gestapelte Würfelgruppen, bei der vertikale Abschnitte zu Wänden und horizontale Abschnitte zu Böden bzw. Decken deklariert werden. Diese Gruppierung von 1M-Würfeln ermöglicht eine Zuordnung von unterschiedlichen Eigenschaften und Funktionen von Bauteilen. Wie bereits vorhin beschrieben, besitzt der Würfel eine Kantenlänge, die von der Wanddicke abhängt [154].



*Abbildung 3.4: aus dem umschreibenden Quader (schwarz) herausgelöstes Hausvolumen (Türkis)*

Das zweite Potential entsteht durch die drei normal aufeinander stehenden Symmetrieebenen (Abbildung 3.5). Sind diese Ebenen festgelegt, kann die genaue Position jedes Punktes, jeder Linie und jeder Ebene innerhalb des Würfels durch einen Bezug auf diese Symmetrieebenen determiniert werden. Die Grenzbereiche (Kantenflächen) jedes Bauteils müssen symmetrisch zur Symmetrieebene der Verbindung (Verbindungsebene) sein, welche normal auf die Bauteilebene steht (Abbildung 3.6). Dies ist notwendig, damit alle Verbindungen zwischen ähnlichen Bauteilen ident sind [154].



*Abbildung 3.5: Symmetrieebenen des Würfelmoduls (vgl. [154])*

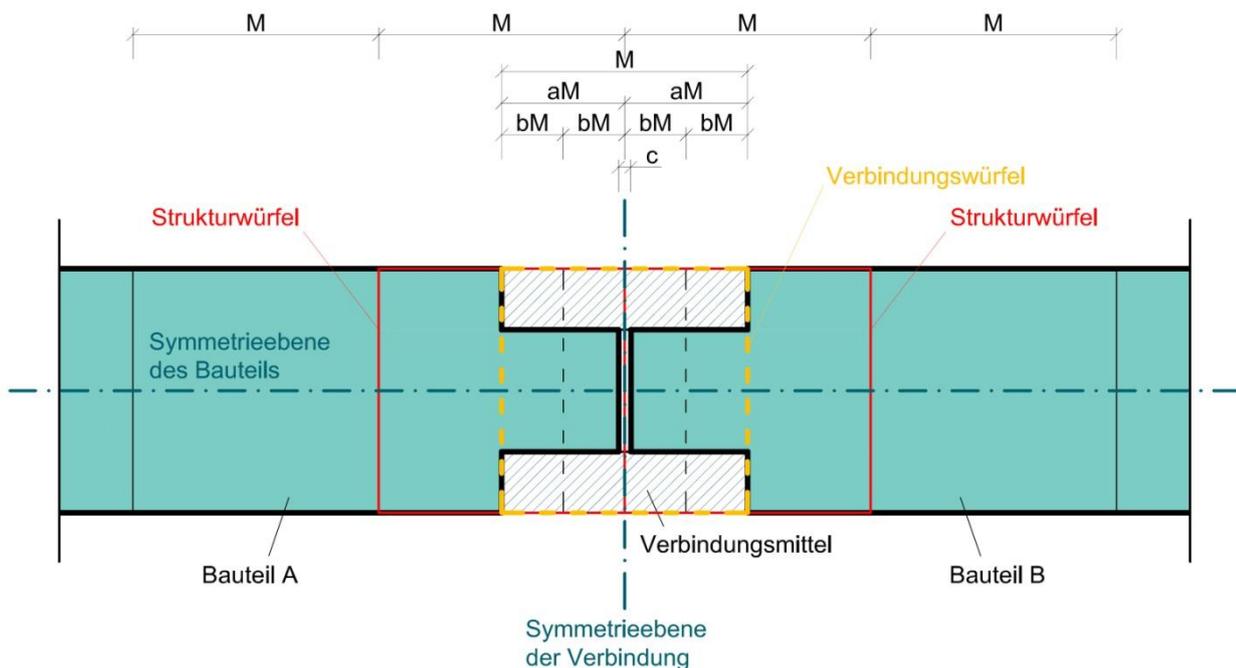


Abbildung 3.6: Verbindung von Modulen (vgl. [154])

Der Verbindungswürfel (in Abbildung 3.6 gelb dargestellt) muss ebenfalls symmetrisch zur Verbindungsebene ausgerichtet sein. Dieser Würfel muss zudem die gesamte Breite der Verbindung umfassen sowie die volle Bauteildicke einschließen. Um die modulare Ordnung des Gebäudes nicht zu zerstören, darf dieser Verbindungswürfel zu jeder Seite der Verbindungsebene nur ein halbes  $M$  breit sein [154]. Die Modularität überträgt sich durch die Symmetrie der Verbindung an das benachbarte Modul. Unter Modularität wird nach [154] die Wiederholung der gleichen modularen Beziehungen bei benachbarten Würfeln verstanden, welche dieselbe Funktion innerhalb der Konstruktion aufweisen. Würfel, die gemeinsam ein Bauteil bilden, verfügen demnach alle über dieselben modularen Eigenschaften. Die gesamte Verbindung muss dafür symmetrisch aufgebaut sein. Wird eine Verbindung nicht in Bezug auf alle drei Symmetrieebenen symmetrisch ausgeführt (Abbildung 3.7), müssen die acht Würfelteile in weitere zerlegt werden, so dass sich für diese sekundären Würfel wieder eine Symmetrie für die Verbindungsstellen (rot dargestellt) ergibt [154].

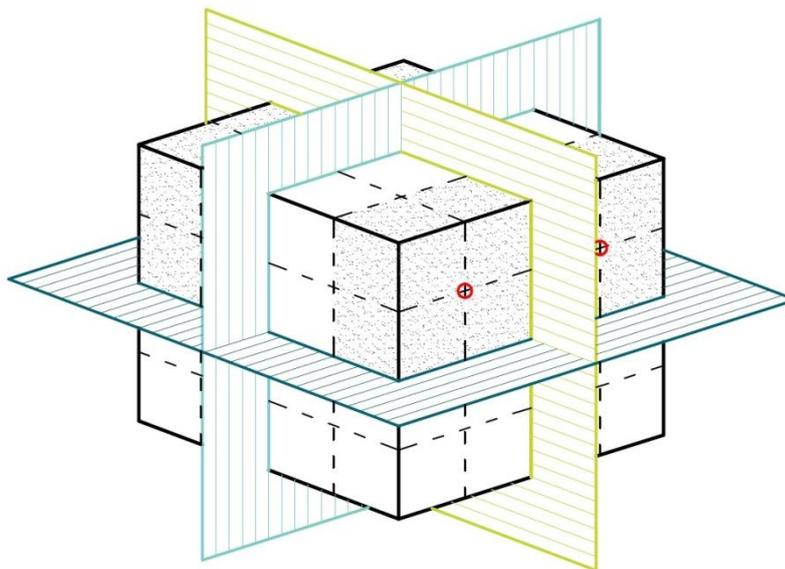
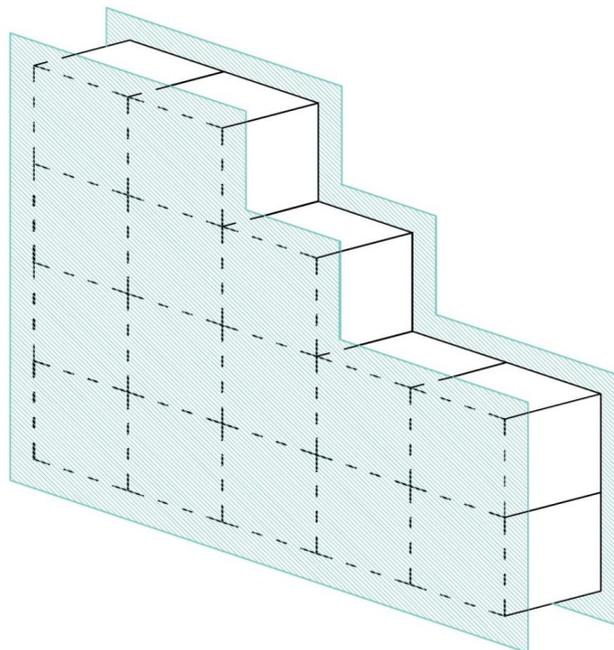


Abbildung 3.7: Strukturwürfel mit Verbindungsstellen (vgl. [154])

Da zwar der Verbindungswürfel in der Abbildung 3.7 symmetrisch ausfällt, nicht jedoch der Randbereich des gesamten Strukturwürfels, ergeben sich unterschiedliche Funktionsbereiche innerhalb des Strukturwürfels, welche unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Nur wenn diese Zerlegung in kleinere, dafür symmetrische Würfel erfolgt, ist eine standardisierte Verbindung möglich [154].

Das dritte Potential ergibt sich aus den sechs Oberflächen des Würfels. Durch die idente Flächengröße des modularen Würfels werden benachbarte Bauteile kontrolliert. Erweitert man nur die Oberflächenebenen jener Würfel, welche gemeinsam die äußere Bauteilfläche bilden, so wird die Begrenzung benachbarter Würfel festgelegt. Diese übergreifenden Oberflächenebenen werden auch Ebenenmodule genannt und werden auch für die Anbringung äußerer Schichten von Bauteilen oder Ergänzungen benötigt. Sie bestimmen die Lage der äußerlich aufgebrachten Elemente (Abbildung 3.8) [154].



*Abbildung 3.8: Oberflächenebenen fixieren die Lage äußerer Elemente (vgl. [154])*

Die Oberflächen jedes Würfels können in symmetrische Sub-Flächen unterteilt werden und erlauben so wiederum eine symmetrische Anbindung äußerer Elemente. Dadurch kann die Lage der Verbindungsmittel für die Montage von Bauteilen außerhalb der Konstruktion genau festgelegt werden. Alle drei Potentiale erlauben es, Eigenschaften von Würfelmodulen zu kopieren und auf andere Module zu übertragen, wenn diese dieselbe Funktion erfüllen sollen. Dennoch kann jeder Würfel die Eigenschaften, die Lage und die Dimension von Elementen sowie die Verbindung der Module untereinander bestimmen. Jeder Bauteil kann aus einer bestimmten Anzahl und Gruppierung von Würfeln zusammengesetzt werden [154].

### 3-1.3.2 Allgemeine Definition

In der DIN 18000 werden unter Module Längeneinheiten verstanden, die als Bezugsmaß gelten. Auf der einen Seite kann ein Modul als Grundmaß für ein geometrisch geordnetes System angesehen werden und auf der anderen Seite als ein Element das nach diesem Ordnungssystem eingebaut wird. Der übliche Ausgangswert bzw. die kleinste Einheit wird durch den Grundmodul  $M = 100 \text{ mm}$  (1 M) definiert. Durch Multiplikation des Grundmoduls mit ganzzahligen Faktoren entstehen Multimodule (3 M, 6 M, 12, ...), und durch die Multiplikation der Multimodule entsteht der Strukturmodul. Der Strukturmodul gibt das Koordinationsmaß der Tragkonstruktion wieder [70][141]. Durch den Grundmodul wird also die

Zahlenreihe, durch das Multi- oder Planungsmodul der Zahlenwert nach dem das System aufgebaut wird und durch den Strukturmodul der Zahlenwert nach dem das statische System festgelegt wird. Multi- und Strukturmodul fallen zusammen, wenn bei einem Bausystem die tragende und die raumabschließende Funktion von einem Element abgedeckt werden. Bei Skelettkonstruktionen ist dies nicht der Fall. Besonders in der Industrie werden modulare Zahlenreihen verwendet, um eine abfallfreie Aufteilung eines Ganzen zu erreichen. Durch die Definition des Moduls sollen drei Aufgaben erfüllt werden [69]:

- Bildung des Grundmaßes für den architektonischen Entwurf,
- Festlegung der Bauteilabmessungen und
- Bestimmung der Lage der Bauteile.

Ein modulares Raster wird durch ein Modulmaß definiert. Das modulare System ist erforderlich, um eine Bandbreite an modularen Größen von Komponenten zu erhalten. Es wird diesbezüglich zwischen folgenden Modulmaßen differenziert [141][155]:

- Grundmodul
- Multi-Modul
- Strukturmodul
- Sub-Modul

### 3-1.3.3 Grundmodul

Grundmodule (auch Basismodule genannt) bilden – wie der Name suggeriert – die Ausgangsbasis der Modulordnung. Der übliche Grundmodul beträgt 4 Zoll bzw. 10 cm im metrischen System [86]. Theoretisch sind aber auch andere Grundmodule möglich. Diese Ausgangsbasis im modularen System wird auch mit 1M bezeichnet [155].

### 3-1.3.4 Multi-Modul

Aufbauend auf den Grundmodul entstehen sogenannte Multimodule durch Multiplikation des Grundmoduls mit einer natürlichen Zahl wie zum Beispiel 3M, 6M, 12M – anders ausgedrückt:  $n \times M$  [70][155].

### 3-1.3.5 Strukturmodul

Mittels Strukturmodulen wird die Tragstruktur eines Bauwerkes festgelegt. Das Raster richtet sich in diesem Fall nach den tragenden Bauteilen des Gebäudes [155].

### 3-1.3.6 Sub-Modul

Da es auch Komponenten gibt, die von Natur aus kleiner sind als der übliche Grundmodul, ist die Einführung von kleineren Modulmaßen (sogenannte Sub-Module) erforderlich. Diese Sub-Module sind Bruchteile des Grundmoduls und können beispielsweise  $\frac{1}{4} M$ ,  $\frac{1}{2} M$  oder  $\frac{3}{4} M$  (2,5 / 5 oder 7,5 cm bzw. 1 / 2 oder 3 Zoll) groß sein. Es besteht jedoch die Gefahr, dass bei zu starker Zerlegung des Grundmoduls oder bei Verwendung von Vielfachen dieser Sub-Größen die Effizienz bzw. die Einfachheit des modularen Systems verloren geht. Es soll eine größtmögliche Vereinfachung in der Anzahl an Industriemaßen entstehen [155]. Bei der Verwendung von Sub-Modulen ist deshalb darauf zu achten, dass die Anzahl der Sub-Module zum Beispiel auf Sub-Module von  $\frac{1}{4} M$ ,  $\frac{1}{2} M$  oder  $\frac{3}{4} M$  beschränkt wird. Trotz dieser Beschränkung sind aber auch Maße wie 1,5 M für 15 cm erlaubt [155].

Außerhalb dieser Sub-Module gibt es jedoch auch Größen, die zwar ebenfalls kleiner als der Grundmodul sind, aber trotzdem nicht mit den definierten Sub-Modulen abgedeckt werden können. Bei dieser Komponentengruppe sind die Abmessungen aus wirtschaftlichen oder technischen Gründen kleiner. Dies trifft unter anderem bei dünnen plattenförmigen Komponenten zu, die für Verkleidungen von Wänden, Decken oder Böden verwendet werden. Es wird allerdings darauf hingewiesen, dass die Anzahl von Komponenten – vor allem jedoch die Anzahl unterschiedlicher Komponenten – in dieser Kategorie so gering wie möglich zu halten ist, damit die Effizienz und Einfachheit des modularen Systems nicht zerstört wird [155]. In Abbildung 3.9 sind die unterschiedlichen Modul-Arten graphisch dargestellt.

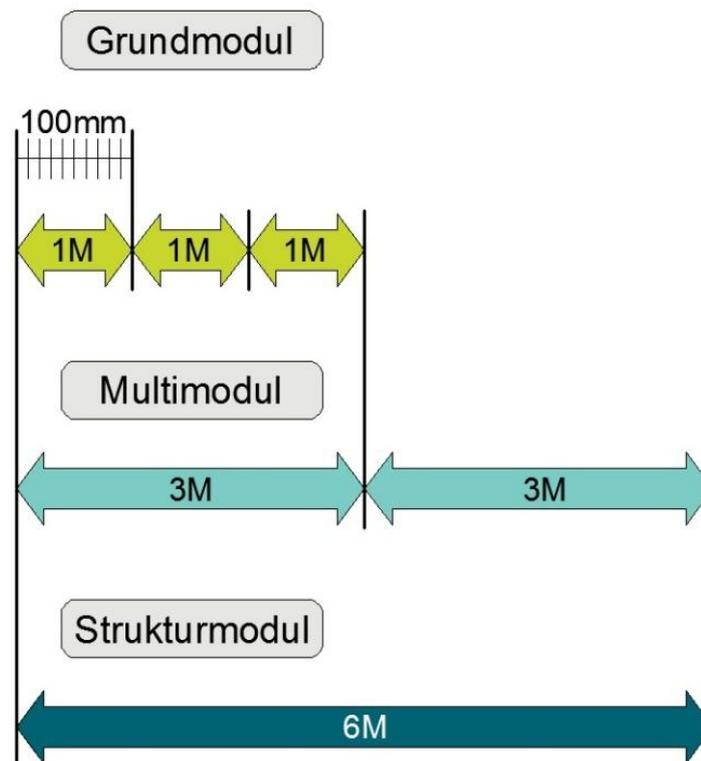
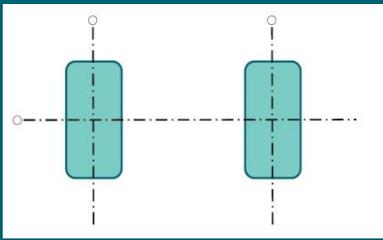
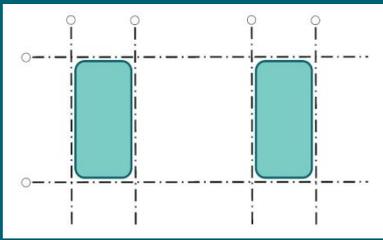
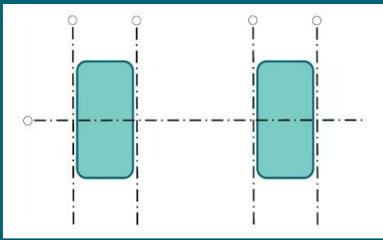


Abbildung 3.9: Modularten (vgl. [70])

### 3-1.4 ORDNUNGSSYSTEME - RASTERUNG

Das Modulmaß legt die Abmessungen der Elemente und deren Position im System fest. Mittels Rasterung wird dieses Maß dargestellt, wobei für unterschiedliche Systeme oder Betrachtungen unterschiedliche Module definiert werden können. Als Rasterung wird in der Regel ein Achs- oder ein Bandraster verwendet; es sind aber auch Kombinationen beider möglich (siehe Tabelle 3.1). Paneel- oder Plattensysteme nutzen meist ein Bandraster, während Skelettbaukonstruktionen üblicherweise ein Achsraster zu Grunde liegt. Die Achsen eines Bauteils sind mit jenen des Achsrasters deckungsgleich. Es treten im Anschlussbereich Überkreuzungen auf, wodurch Sonderelemente notwendig werden, die diese Diskrepanz ausgleichen. Bei einem Bandraster hingegen entfallen diese Sonderelemente, da die Bauteilstärke berücksichtigt wird. Dieses im Vorhinein festgelegte Raster muss von der Planung bis hin zur Fügung der Elemente eingehalten werden, wobei Raster für Tragkonstruktion und Ausbauelemente divergieren können [70][141].

Tabelle 3.1: Rasterarten (vgl. [70][141])

Achsraster	Bandraster	Kombination
		
Lage festgelegt	Lage und Größe festgelegt	Lage und z.T. Größe festgelegt

Je nach Raster und Lage des Bauteiles unterscheidet man zwischen Grenzbezug und Achsbezug (Abbildung 3.10) Wenn ein Bauteil kleiner als das Rastermaß ist, wird das Bauteil zwischen zwei Begrenzungslinien positioniert. Dabei kann zwischen einer Randlage und einer Mittellage unterschieden werden [70].

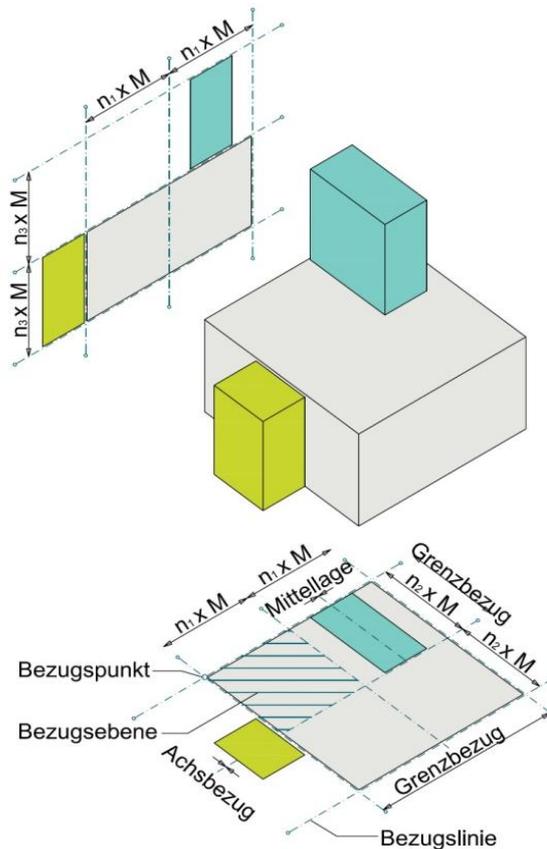


Abbildung 3.10: Rasterbezug der Bauteile (vgl. [70])

### 3-1.5 TOLERANZEN UND FUGEN

Maßabweichungen und Toleranzen müssen bei der Rasterung ebenfalls beachtet werden. Dies soll zum einen ein nachträgliches Anpassen vor Ort und zum anderen Probleme bei der Montage durch zu geringe Abstände verhindern. Das im Plan festgelegte Maß wird aufgrund von Maßabweichungen nicht immer eingehalten; Toleranzen decken diese Differenz ab. Bei offenen Bausystemen müssen Toleranzen genauer

beachtet werden, vor allem dann, wenn unterschiedliche Materialien und damit unterschiedlich festgelegte Toleranzen aufgrund von herstellungsbedingten bzw. montagetechnischen Gründen vorhanden sind. Dies deshalb, da sich die Maßtoleranzen im Stahlbetonbau, Stahlbau und Holzbau voneinander unterscheiden. Je nach Herstellung, Transport oder Optik wird ein Fugenraster eingeführt, damit eventuelle Maßabweichungen durch die Fugen ausgeglichen werden können. Die Ausführung dieser Fugen bedarf besonderer Aufmerksamkeit, denn sie müssen den geforderten Schallschutz, Wärmeschutz, Witterungsschutz aber auch Brand- und Feuchteschutz erfüllen [70][141].

### 3-1.5.1 Toleranzen

Eine exakte Produktion auf eine vorher festgelegte Abmessung ist aus verschiedenen Gründen der Produktion und des Materialverhaltens nicht möglich. Je genauer versucht wird, ein exaktes Maß zu erhalten, desto kostspieliger wird es [155]. In Tabelle 3.2 sind Begriffe in Bezug auf Maße und Toleranzen in modularen Systemen definiert.

*Tabelle 3.2: Toleranzmaße in modularen Systemen (vgl. [155])*

Begriff	Definition	grafische Darstellung
<b>Grundgröße:</b>	In der Modulordnung entspricht die Grundgröße dem Raster des modularem Raumes	
<b>Modulare Größe</b>	Die modulare Größe einer Komponente entspricht dem Grundgröße	
<b>Mindestspiel</b>	Das Mindestspiel ist der kleinstmögliche Abstand zwischen zwei benachbarten Komponenten und hängt von der Komponente selbst sowie von der Herstellung ab	
<b>Montagetoleranz</b>	Erlaubte Abweichung zwischen Soll- und Ist-Position bei der Montage	
<b>Mindestabschlag</b>	Der Mindestabschlag ist jener Betrag, der von der Grundgröße abgezogen werden muss, um das Maximalmaß zu erhalten. Er entspricht der Montagetoleranz zuzüglich des doppelten Mindestspieles	
<b>Höchstmaß</b>	Das Maximalmaß ist die größte erlaubte Abmessung einer Komponente. Es ergibt sich aus der Subtraktion des Mindestabschlags von der modularen Größe	
<b>Herstellungstoleranz</b>	Die Herstellungstoleranz ist das erlaubte Maß der Ungenauigkeit bei der Herstellung einer Komponente	
<b>Mindestmaß</b>	Das Mindestmaß gibt die kleinste zulässige Abmessung einer Komponente an. Es ergibt sich aus dem Maximalmaß abzüglich der Herstellungstoleranz	
<b>Maximalabschlag</b>	Der Maximalabschlag ergibt sich aus der Nachjustierung der Herstellungs- und Montagetoleranz, damit kein zu großer Abstand und somit zu große Fugen zwischen zwei Komponenten entsteht. Eine Veränderung der Toleranzen führt unweigerlich zu einer Neuberechnung der Minimal- und Maximalabmessungen	

In der Regel führt eine Abweichung zwischen Soll- und Ist-Zustand zu keinen Problemen bei der Benutzung, solange sich diese Differenzen innerhalb eines definierten Bereiches befinden. Aufgrund dessen werden Produkte oftmals nicht nur mit fixierten Abmessungen angegeben, sondern durch ihre zu erwartende maximale und minimale Größe. Die tatsächliche Größe liegt dann innerhalb dieses Intervalls. Diese Differenz zwischen größter und kleinster Abmessung wird auch als Toleranz bezeichnet. An Hand

der Toleranz wird die größtmögliche Genauigkeit bzw. Ungenauigkeit angegeben. Für letzteres ist ein vertretbares Verhältnis zwischen Kosten zu Nutzen maßgebend und für ersteres muss trotzdem die für die Nutzung erforderliche Genauigkeit eingehalten werden. Des Weiteren wird zwischen Herstellungs- und Lage- bzw. Montagetoleranzen unterschieden. Die Herstellungstoleranzen gehen mit den Maßabweichungen der Produktion und die Montagetoleranzen mit den Maßabweichungen beim Einbau des Produktes einher [155].

### Toleranzen bei Brettsperrholz:

Speziell für Brettsperrholz gibt es derzeit keine Norm, welche Montagetoleranzen festlegt. Für Herstellungstoleranzen können hingegen exakte Angaben für Brettsperrholz gemacht werden. Die DIN 18203-3:2008-08 [156] gibt Grenzabweichungen zu den Nennmaßen (Soll- bzw. Planmaß) an, die für plattenartige Wand-, Boden-, Decken- und Dachelemente im Holzbau gelten. Zusätzlich sind auch Abweichungen von Winkeln und Ebenheiten festgelegt [157]. Nicht mitberücksichtigt sind jedoch Maßabweichungen aufgrund Quellen und Schwinden oder Kriechen des Holzes [143]. In Tabelle 3.3 sind die Grenzabweichungen gemäß DIN 18203-3:2008-08 ersichtlich. Die Firma KLH Massivholz GmbH gibt bei Plattenzuschnitten größer 1 m<sup>2</sup> eine Zuschnittgenauigkeit von ± 2 mm bei einer Holzfeuchte von 12 Prozent an. Damit liegen die Herstellungstoleranzen deutlich unter jenen der Norm [158].

**Tabelle 3.3: Grenzabweichungen für Wand-, Boden-, Decken- und Dachtafeln gemäß DIN 18203-3:2008-08 (vgl. [156])**

Abmessungen		Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]
Dicken	Grenzabweichung bei Nennmaßen bis 0,1 m	-	-	+2 / -1
	Grenzabweichung bei Nennmaßen über 0,1 m bis 0,4 m	-	-	+3 / -2
	Grenzabweichung bei Nennmaßen über 0,4 m	-	-	+4 / -2
Länge, Breite und Öffnungen	Grenzabweichung bei Nennmaßen bis 1,0 m	± 2,0	± 2,0	-
	Grenzabweichung bei Nennmaßen über 1,0 m	± 0,2 % max. ± 5,0	± 0,2 % max. ± 5,0	-

Jeder Bauteil kann infolge von Toleranzen mit einem Nennmaß, einem Höchstmaß und einem Mindestmaß angegeben werden. Unter Nennmaß wird die geplante Abmessung des Bauteils bzw. der Sollzustand verstanden. Der Begriff Maßtoleranz definiert dabei die Differenz zwischen dem Mindest- und dem Höchstmaß [157]. Aufgrund dieser unterschiedlichen Maße der Bauteile ergeben sich auch unterschiedliche Fugenbreiten. Es wird zwischen einer Nennfugenbreite ( $f$ ), einer Höchstfugenbreite ( $f_{\max}$ ) und einer Mindestfugenbreite ( $f_{\min}$ ) unterschieden [157]. Auch in Dickenrichtung müssen Toleranzen beachtet werden. Es muss deshalb auch zwischen einer Nenndicke ( $d$ ), einer Höchstdicke ( $d_{\max}$ ) und einer Mindestdicke ( $d_{\min}$ ) unterschieden werden. In Abbildung 3.11 ist schematisch ein modulares Raster system inklusive Toleranzen dargestellt.

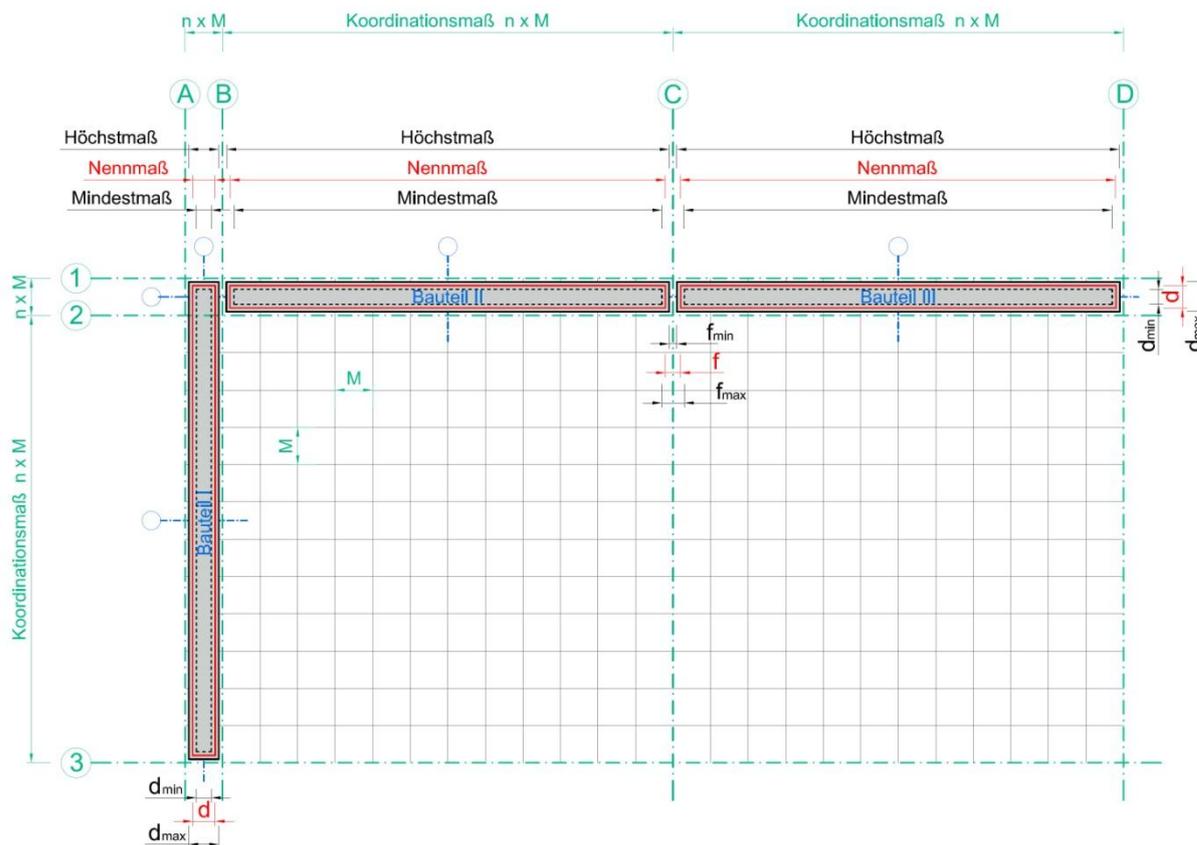


Abbildung 3.11: modulare Koordination - Toleranzen (vgl. [157])

### Berechnung der Fugenmaße:

Die Fugenmaße ( $f$ ,  $f_{\max}$  und  $f_{\min}$ ) lassen sich wie folgt berechnen:

Zunächst wird der Maximalabstand zwischen zweier benachbarten Bauteilachsen ermittelt. Dieser ergibt sich aus jeweils der Hälfte des Höchstmaßes der Bauteile addiert mit dem geringsten Fugenmaß  $f_{\min}$ . Dabei entspricht  $f_{\min}$  der Fugenbreite, die sich aus den Montagetoleranzen ergibt. Das Nennmaß für die Fugenbreite  $f$  ergibt sich aus dem soeben ermittelten Maximalabstand abzüglich der Hälfte der Nennbreite des Bauteils II und abzüglich der Hälfte der Nennbreite des Bauteils III. Die maximale Fugenbreite  $f_{\max}$  errechnet sich aus dem Maximalabstand zwischen den Bauteilachsen abzüglich der Hälfte der Mindestbreite des Bauteils II und abzüglich der Hälfte der Mindestbreite des Bauteils III. Die von der Fuge aufzunehmende Toleranz beträgt dann  $f_{\max} - f_{\min}$ . Wie in Abbildung 3.11 ersichtlich, müssen die Bauteile II und III um das Maß  $f$  kleiner als das Koordinationsmaß hergestellt werden [157].

### Beispiel:

Für ein Brettsperrholz-Modul von 1200 mm Breite ( $\equiv$ Nennbreite  $b$ ) ergibt sich unter Berücksichtigung einer angenommenen Montagetoleranz von 2 mm ( $\equiv f_{\min}$ ) und der Zuschnittgenauigkeit von  $\pm 2$  mm ein Fugenmaß  $f$  wie folgt:

Der Maximalabstand der benachbarten Bauteilachsen II und III ergibt sich dann zu:

$$\overline{II - III}_{\max} = \frac{l_{II,\max}}{2} + \frac{l_{III,\max}}{2} + f_{\min} = \frac{1202}{2} + \frac{1202}{2} + 2 = 1204 \text{ mm}$$

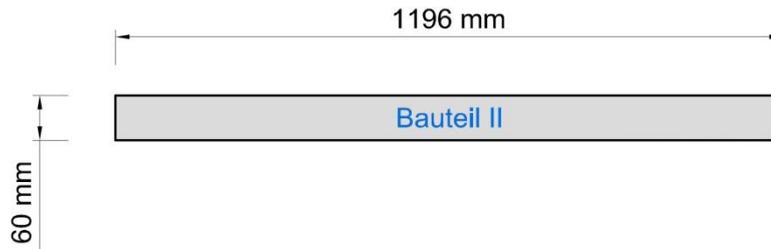
Daraus ergibt sich eine maximale Fugenbreite  $f_{\max}$  von:

$$f_{\max} = \overline{II - III}_{\max} - \frac{b_{II,\min}}{2} - \frac{b_{III,\min}}{2} = 1204 - \frac{1198}{2} - \frac{1198}{2} = 6 \text{ mm}$$

Das Nennmaß der Fugenbreite  $f$  errechnet sich wie folgt:

$$f = \overline{II} - \overline{III}_{max} - \frac{b_{II}}{2} - \frac{b_{III}}{2} = 1204 - \frac{1200}{2} - \frac{1200}{2} = 4 \text{ mm}$$

Das Modul muss daher anstatt mit einer Breite von 1200 mm mit nur 1196 mm hergestellt werden. In Abbildung 3.12 sind die Herstellungsmaße (im Querschnitt) für ein 12M-Modul ersichtlich.



*Abbildung 3.12: Herstellungsmaße des Bauteil II im Querschnitt*

# KAPITEL 4: PRAKTISCHER TEIL MODULHAUS IN HOLZ- MASSIVBAUWEISE

## 4-1 AUFGABENBESCHREIBUNG

---

Im Zuge dieser Arbeit sollen Wohneinheiten („Shelter“) in Holz-Massivbauweise mit Brettsperrholz-Paneelen entwickelt werden und das Projekt als Beispiel für die erarbeiteten Erkenntnisse der vorangegangenen Kapiteln fungieren. Als Ausgangsstandort wurde Graz gewählt. Bei der Elaboration der Wohneinheiten liegt der Fokus auf der Erfüllung der Minimalanforderungen in Bezug auf Tragfähigkeit, Wohnungsgröße, Bauphysik, Ausstattung und Gebäudetechnik, um die Kosten so gering wie möglich zu halten. Das hier auszuarbeitende Bausystem soll zunächst nur die Stufe 1 – Wohneinheit im Rohbau – erfüllen. Von Bedeutung ist auch die Einbeziehung der inkrementellen (schrittweisen) Baumethode, so dass die Häuser nach und nach erweitert werden können. Diesbezüglich geht es vor allem um die Verbesserung des ursprünglich zur Verfügung stehenden Rohbaus. Je nachdem, wie viel Kapital vorhanden ist, können die Wohneinheiten mit Wärmedämmung, höherwertigen Fenstern oder Türen sowie Innen- und Außenverkleidungen verbessert werden. Neben dieser Form der Verbesserung, soll auch die Wohnfläche erweitert werden können. Als Vorlage dafür dienen die Wohnhäuser des Projektes Villa Verde von ELEMENTAL. Für die Umsetzung ist ein modulares, dreidimensionales Rastersystem erforderlich, welches zu Beginn erarbeitet werden muss. In diesem Raster wird anschließend der Entwurf der Wohneinheiten eingepasst und gegebenenfalls adaptiert. Im Anschluss daran wird ein Bausystem entwickelt, so dass am Ende eine Stückliste (für benötigtes Material pro Wohneinheit) erstellt werden kann. Es wird hierfür ein offenes Bausystem angewandt, um Komponenten austauschbar zu machen.

## 4-2 ANNAHMEN

---

Um das Projekt umsetzen zu können, müssen einige Annahmen bezüglich Standort, Design der Wohneinheiten, Qualität der Häuser, Ausführungsqualitäten, Ausstattungen, konstruktive und bauphysikalische Anforderungen sowie Modulmaße bzw. Raster getroffen werden.

Als Standort für die Herstellung und Lastannahmen wird Graz gewählt. Die in Österreich geltenden bauphysikalischen Anforderungen werden jedoch in der ersten Ausführungsphase der Wohneinheiten nicht erfüllt. Dies kann damit begründet werden, da das primäre Ziel die Entwicklung von low-cost Wohneinheiten ist, welche in der Basisausführung lediglich auf Erfüllung der Grundbedürfnisse der Bewohner in puncto Wohnen ausgelegt sind. Deshalb können bauphysikalische Anforderungen nur für klimatisch wärmere Standorte erfüllt werden. Im Zuge einer Erweiterung oder eines Ausbaus können diese Wohneinheiten dann auch höhere Standards erfüllen. In der Basisausführung ist nur die notwendigste technische Gebäudeausstattung (TGA) vorhanden.

- Standort für Lastannahmen: Graz
- Design der Wohneinheiten: in Anlehnung an das Projekt Villa Verde von ELEMENTAL
- Bausystem: Brettsperrholz-Module; mit 2-4 Mann tragbar

- Basisausführung: die erste Hälfte des Hauses inkl. vollständiges Dach ist vorhanden
- Basisqualität der Wohneinheiten: „rohe“ Brettsperrholzplatten, Abdichtung Dach, Basis-TGA
- Leitungsführung: modular; keine Leitungen im Fußboden
- Einhaltung der Mindestraumhöhe von 2,40 m laut OIB Richtlinie 3 2015 [159]

## 4-2.1 WAHL DES HAUS-DESIGNS

Die Wahl des Haus-Designs fiel auf das Projekt Villa Verde von ELEMENTAL (siehe 1-11.8.6), da sich dort der Baustoff Holz bereits bewährt hat und da es im Gegensatz zu den meisten anderen Projekten kein Flachdach aufweist. Ein Schrägdach ist gerade deshalb sinnvoll, da das in dieser Arbeit zu entwickelnde Projekt dann auch in anderen Regionen der Erde errichtet werden kann, die über eine deutlich höhere Niederschlagsquote verfügen. In der folgenden Abbildung ist das Villa Verde Projekt von ELEMENTAL dargestellt. Auf der nächsten Seite sind die Grundrisspläne des Projektes sowohl vor als auch nach der Erweiterung ersichtlich.



*Abbildung 4.1: Projekt Villa Verde von ELEMENTAL, Chile [64]*

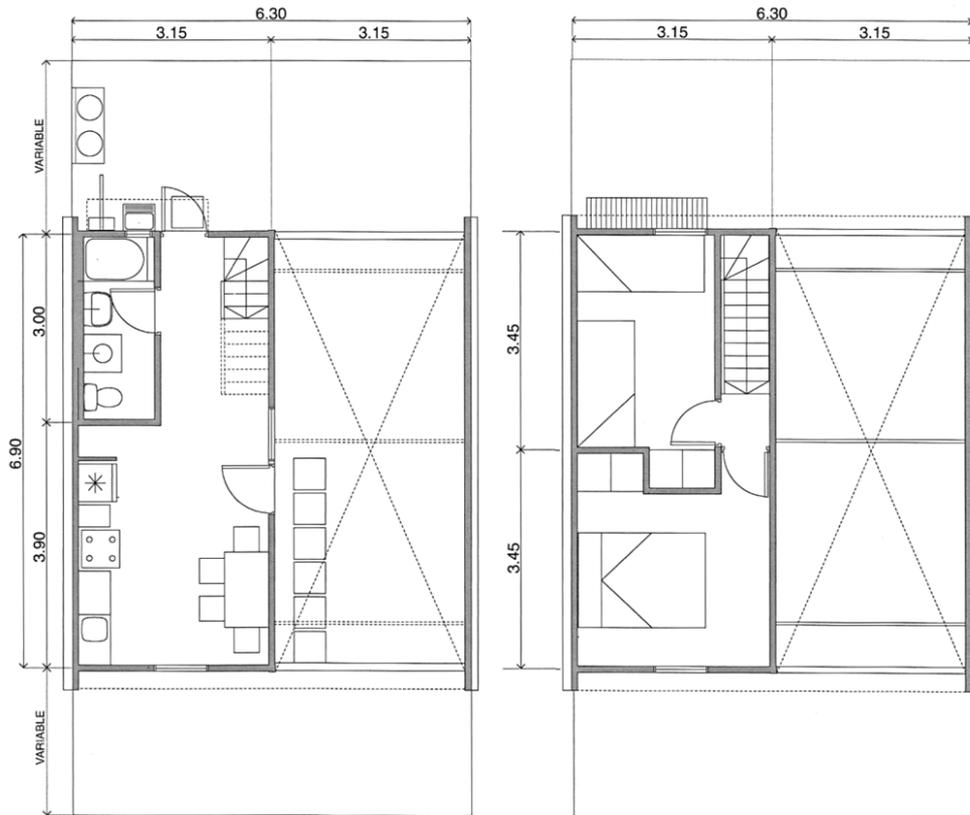


Abbildung 4.2: Grundrisse des Villa Verde Projektes von ELEMENTAL: (links: Erdgeschoss im initialen Zustand, rechts: Obergeschoss im initialen Zustand) [64]



Abbildung 4.3: Grundrisse des Villa Verde Projektes von ELEMENTAL: (links: Erdgeschoss im erweiterten Zustand, rechts: Obergeschoss im erweiterten Zustand) [64]

## 4-2.2 ABÄNDERUNGEN DES ORIGINALENTWURFS

Im Zuge dieser Arbeit wurden einige Änderungen des Entwurfs bei der Entwicklung des Projektes vorgenommen. Diese Änderungen umfassen Maßabweichungen, eine Spiegelung des Grundrisses bei jedem zweiten Haus, Vereinfachungen bei Innenwänden und der Entfall der Terrasse im Erdgeschoss nach der Erweiterung. Die wichtigsten Veränderungen sind in Abbildung 4.4 dargestellt.

- **Abweichungen von den Originalmaßen:**  
Die Abweichungen von den Originalmaßen waren notwendig, um das Haus in das gewählte Raster optimal einfügen zu können.
- **vergrößerter Abstand zwischen den Häusern und Spiegelung jedes zweiten Hauses:**  
Um eine Erschließung der Häuser kostengünstiger und wartungsfreundlicher zu gestalten, wurde zwischen den Häusern ein beschließbarer Zwischenraum eingefügt, welcher zum einen die Montage erleichtert (da somit Wandmodule von beiden Seiten zugänglich sind) und zum anderen eine Wartung ermöglicht. Die Erschließung der Wohneinheiten mit Strom, Wasser und Kanalisation erfolgt ebenfalls in diesen Zwischenbereichen. Um Kosten zu sparen, werden jeweils zwei benachbarte Häuser mit einem Anschluss im Zwischenbereich versorgt. Diese Festlegung bedingt jedoch eine Spiegelung des Grundrisses jedes zweiten Hauses, so dass die sanitären Räumlichkeiten spiegelsymmetrisch nebeneinander zu liegen kommen.
- **Vereinfachungen bei Innenwänden:**  
Im Projekt werden teilweise Innenwände abgeändert. Einerseits dient es der Anpassung an das Raster und andererseits hat dies wirtschaftliche Gründe. Die verwinkelten Nischen im Obergeschoss werden durch gerade, durchlaufende Wände ersetzt, um Kosten bei den komplizierteren Eckverbindungen und Sonderzuschnitten zu sparen.
- **Entfall der Terrasse im Erdgeschoss:**  
Im Originalentwurf ist im Erdgeschoss eine Terrasse nach erfolgter Erweiterung vorgesehen. Der Wechsel der Deckenplatte vom „warmen Inneren“ in das „kalte Äußere“ könnte zu Problemen mit ungewollter Kondensatbildung im Baustoff führen. Eine ordnungsgemäße Ausführung der Dämmschicht unterhalb der Deckenmodule im Terrassenbereich kann nur schwer gewährleistet werden. Dies liegt daran, da dieser Bereich eine Erweiterungszone darstellt und die Bewohner möglicherweise eine vollständige Erweiterung inklusive Dämmmaterial nicht finanzieren können. Um diesem Problem zu entgehen, wird die unten liegende Außenwand im Erweiterungsbereich in die Ebene der bereits bestehenden Außenwand verlegt.

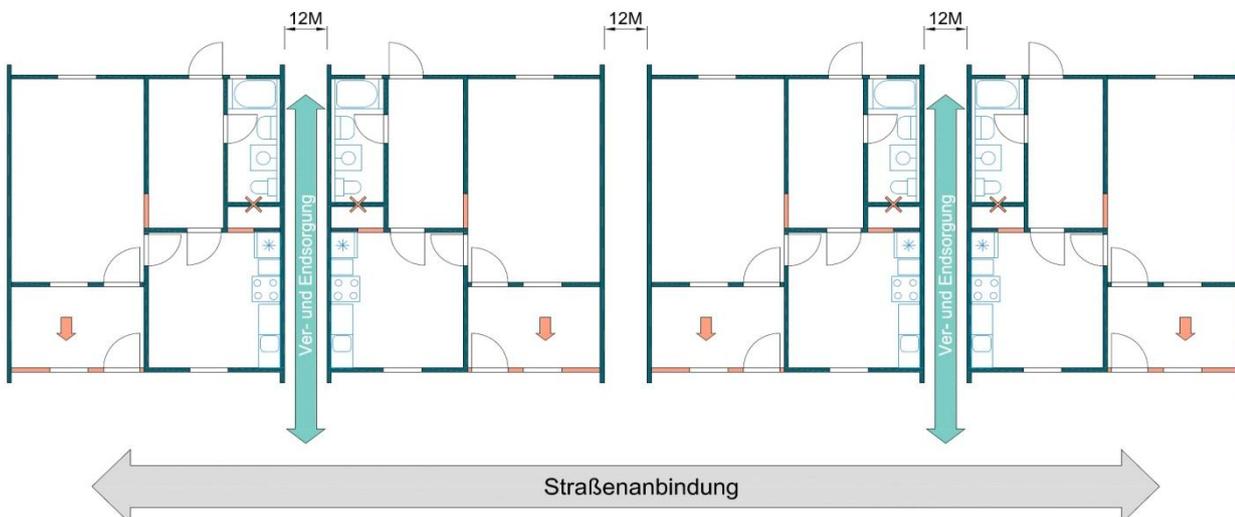


Abbildung 4.4: Darstellung der Änderungen im Erdgeschoss und des Erschließungskonzepts

Ausgehend von diesen Änderungen wurde mit der Entwicklung des Raumrasters begonnen. Die Konzeptionierung des Rasters war allerdings ein iterativer Prozess. Die Auswirkungen aufgrund der Wahl der Rasterart und der Rastermaße mussten mit den Originalplänen in Verbindung gebracht werden, um die Veränderungen des Konzepts gering zu halten.

## 4-2.3 ENTWICKLUNG DES RAUMRASTERS

Bei der Entwicklung eines modularen Rasters muss zunächst der Grundmodul (1M) festgelegt werden. Im Anschluss daran können Modulgrößen ( $n \times M$ ) definiert werden. Im Zuge des Projekts wird ein Grundmodul von 100 mm festgelegt. Aufgrund der Handhabbarkeit dürfen die Brettsperrholz-Module nur eine bestimmte Masse aufweisen. Laut Lastenhandhabungsverordnung (LasthandhabV) [160] sind ca. 55 kg Traglast pro Person erlaubt. Diese Traglast stellt dabei die empfohlene Grenzhublast bei gelegentlichem Heben und Tragen bei Männern zwischen 19 und 45 Jahren dar [160]. Für eine handwerkliche Montage mit 2 – 4 Männern ergibt sich daraus eine maximale Masse pro Brettsperrholz-Modul von ungefähr 100 – 200 kg. Da die Außenwände aus „gebäudehohen“ Elementen bestehen sollen (ähnlich einer „balloon frame“-Bauweise) und diese in etwa eine Höhe von 550 cm sowie eine Dicke von 6 cm aufweisen, erscheint eine Modulbreite von 120 cm für sinnvoll. Aus der Multiplikation einer üblichen Rohdichte von Brettsperrholz von 380-500 kg/m<sup>3</sup> mit den Abmessungen ergibt sich eine Traglast von rund 150-165 kg. Aufgrund dieser überschlagsmäßigen Berechnung und um ein ganzzahliges Vielfaches des Grundmoduls zu erhalten, wird ein Multimodul von 120 cm gewählt. Im Zuge einer weiteren Analyse soll festgestellt werden, welche Rasterart (Band-, Achs- oder Kombinationsraster) für das Projekt am besten erscheint. In den folgenden beiden Abbildungen sind ein Vergleich von Rasterarten für das Projekt dargestellt.

### 4-2.3.1 Variante I

Bei der Variante I wird für die Außenwände ein Bandraster und für die Innenwände ein Achsraster verwendet. Dies hat den Vorteil, dass Innenwände beliebig (auch nachträglich) entlang der Achsen eingebaut werden können, ohne dass dies eine Veränderung der Modulmaße zur Folge hätte. Zusätzlich kommt hinzu, dass nur wenige unterschiedliche Modulgrößen erforderlich sind. Nachteilig sind die um die Wandstärke verringerte Raumgröße und eine damit verbundene Verringerung des lichten Abstands zur nächsten Rasterlinie. Die Wände im Obergeschoss haben keine Auswirkungen auf den Raster im Untergeschoss. Der Grundmodulraster von 1M kann über den gesamten Grundriss durchgezogen werden.

### 4-2.3.2 Variante II

Die Variante II nutzt für alle Wände ein Bandraster. Damit ist die Lage der Wände exakt vorgegeben. Für den modularen Raster sind jedoch Wandbereiche mit 0,6M (Rohbauwandstärke) erforderlich. Ein Grundmodulraster in 1M muss bei jeder Zwischenwand unterbrochen werden. Ein weiterer Nachteil besteht bei der Berücksichtigung sämtlicher Zwischenwände bei der Planung des Bandrasters. Jede Wand – auch jene im Erweiterungsbereich – muss vorab festgelegt werden, damit Rasterlinien im Abstand der Wandstärke eingefügt werden können. Ebenfalls im Raster des Erdgeschosses mitberücksichtigt werden müssen die Wände im Obergeschoss und umgekehrt. Erstellt man auf Basis der Wände im Erdgeschoss ein Raster, kann dieses – wie im Fall des Projekts – nicht einfach für das Obergeschoss übernommen werden, da Wände der oberen Etage nicht deckungsgleich mit jenen der unteren sind. Es müssen somit zusätzliche Rasterlinien im Abstand der Wandstärke im Raster des Obergeschosses eingefügt werden. Diese sind in Abbildung 4.6 rot gekennzeichnet. Danach erst kann man diesen adaptierten Raster für beide Geschosse verwenden, wobei in beiden Geschossen „unnötige“ Rasterlinien verbleiben. Einen weiteren Nachteil stellen die vielen unterschiedlichen Modulabmessungen dar. Werden Module nur so

breit wie das vorgesehene Raster ausgeführt, verbleiben Restflächen. Somit müssen einige Module breiter hergestellt werden. Die Verwechslungsgefahr auf der Baustelle steigt dadurch ebenfalls an. In beiden Varianten muss im Obergeschoss (im Zuge der Erweiterung), ein Teil eines Wandmoduls herausgeschnitten werden (im Plan rot schraffierte Bereiche).

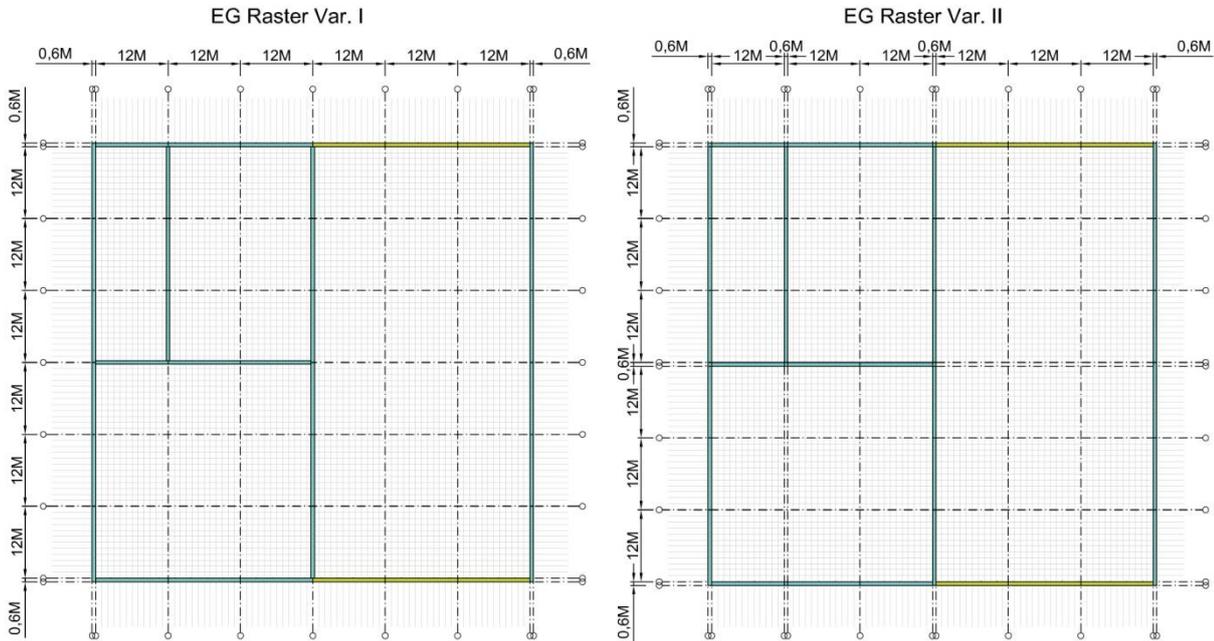


Abbildung 4.5: Rastervergleich Erdgeschoss

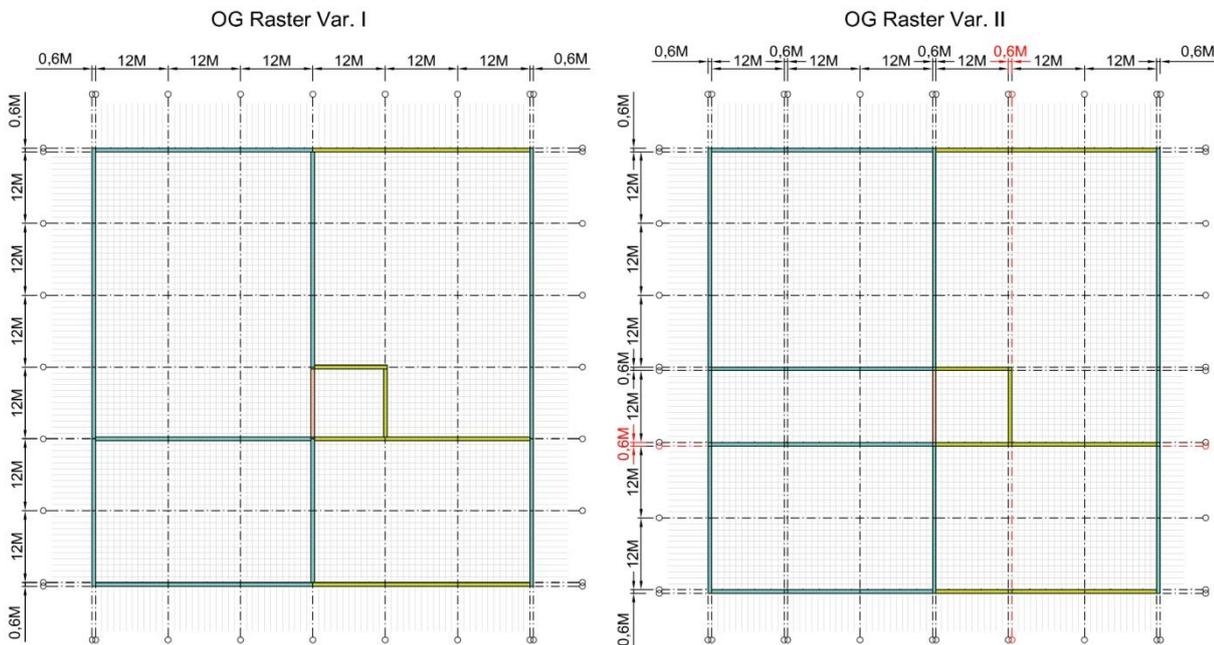


Abbildung 4.6: Rastervergleich Obergeschoss

Vergleicht man beide Varianten, so geht hervor, dass für dieses Projekt die Variante I besser geeignet ist. Der gewählte Raster weist deshalb folgende Eigenschaften auf:

- Grundraster mit 1M-Modul
- Multimodul-Raster mit 12M (im Grundriss)
- Kombination von Band- und Achsraster (Variante I)

## 4-3 ELABORATION DES PROJEKTS

Das Gebäudekonzept beruht insgesamt auf drei Ausbaustufen, welche in Abbildung 4.7 schematisch dargestellt sind:

- Grundstufe: halbes Haus mit „roher Platte“ (Aufbau „Basic“)
- Erweiterungsstufe: vollständiges Haus mit „roher Platte“ (Aufbau „Basic“)
- Ausbaustufe: vollständiges Haus mit verbesserter Bauphysik (Aufbau „Graz“)

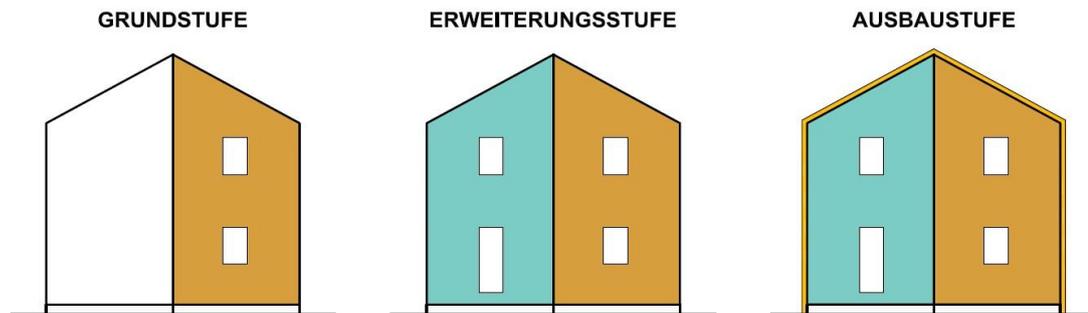


Abbildung 4.7: schematische Darstellung der drei Ausbaustufen des Konzepts

Für die Projektentwicklung wurde – wie aus dem Rastervergleich in 4-2.3 hervorgeht – ein kombiniertes Band- und Achsraster angewandt. Dabei bilden die äußeren Wände ein 0,6M breites Band, während die Achsen der Innenwände sich mit dem 12M breiten Bandraster in den Achslinien überlagern. Begrenzt von den äußeren Wänden entsteht somit ein durchgehender Raster von 12M mit einem durchgehenden Grundmodul von 1M (10 cm). Sämtliche Bauteile sind auf diesen Raster ausgelegt. Bei feingliedrigeren Objekten und bei der Gebäudetechnik werden jedoch auch Submodule von  $\frac{1}{4}M$ ,  $\frac{1}{2}M$  oder  $\frac{3}{4}M$  verwendet. Das Ziel ist es, Module zu schaffen, die nach dem Transport zur Baustelle in kurzer Zeit und mit wenig Aufwand verbaut werden können. Die Boden- und Wandmodule sollen nach etwaigen Ausgleichsarbeiten einfach auf die zuvor errichteten Fundamente aufgesetzt werden können. Der Abstand der Häuser in einer Reihe beträgt 12M, so dass ausreichend Platz für die erschließende Infrastruktur vorhanden ist.

### 4-3.1 MODULARER AUFBAU DES GEBÄUDES

#### 4-3.1.1 Erläuterungen des Konzepts

Sämtliche gebäudespezifischen Abmessungen sind dem vorhin definierten Raster unterworfen. Der modulare Aufbau umfasst neben den tragenden Bauteilen auch ausbautechnische Strukturen, die vor allem für Häuser mit höheren bauphysikalischen Standards eine Rolle spielen. Im Gegensatz zu den Vorschlägen von Albert Farwell Bemis im Abschnitt 3-1.3.1, legt die Wandstärke in diesem Projekt nicht die Abmessungen des Grundmoduls fest. Dies begründet sich auf wirtschaftliche Aspekte. Ein Modulmaß von 6 cm als 1M wäre für viele Bauteile unvorteilhaft. Laut Bemis' Konzept müsste dann die Decke eine doppelte Wandstärke und somit eine Dicke von 12 cm aufweisen [154]. Auch dies wäre unwirtschaftlich. Eine Vergrößerung der Wandstärke auf 10 cm würde ebenfalls zu Lasten der Wirtschaftlichkeit gehen, da diese Wandstärke konstruktiv nicht notwendig wäre. Aus diesen Gründen wird der 1M-Raster auch nur innerhalb der äußeren Wände geführt. Somit können Decken mit 1M und Wände mit 0,6M ausgeführt werden. Eine Kostenreduktion sowie ein geringerer Materialverbrauch kann dadurch gewährleistet werden. Auch der Forderung, Verbindungen symmetrisch aufzubauen, kann hier aufgrund wirtschaftlicher Aspekte nicht entsprochen werden. Eine symmetrische Verbindung zwischen zwei Brettsperrholz-Modulen würde ein in den Schmalseiten der Module mittig eingeschlitztes Federbrett

bedeuten. Dies wäre jedoch sowohl produktionstechnisch als auch montagetechnisch schwieriger umzusetzen (z.B. Einfädeln von meterlangen Brettern bei Wänden). Die Tragstruktur der Häuser wird deshalb aus folgenden Modulen gebildet:

- Wände: 0,6M dicke und größtenteils 12M breite, dreischichtige Brettsperrholz-Module, Sondermaße bei Innenwänden rasterbegründet,
- Decke: 1M dicke und 12M breite, fünfschichtige Brettsperrholz-Module, sämtliche Decken-Module weisen zudem eine Länge von 36M auf,
- Boden: 1M dicke und 12M breite, fünfschichtige Brettsperrholz-Module, sämtliche Decken-Module weisen zudem eine Länge von 36M auf,
- Dach: 1M dicke und 12M breite, fünfschichtige Brettsperrholz-Module, für den Dachüberstand sind 14M breite Module erforderlich.

Zusätzlich sind Konsolen für die Deckenaufleger ( $b/h = 1M/2M$ ) sowie Dachbalken als Zug- und Druckstäbe für die Dachmodule erforderlich.

### 4-3.1.2 Aufbereitung des Grundstücks

Die Grundlage des Hauses bildet ein umlaufendes, 26 cm breites Streifenfundament aus Stahlbeton, welches in frostfreier Tiefe gegründet wird. Um spätere Erweiterungen zu vereinfachen, wird das Fundament auch im Erweiterungsbereich ausgeführt. Damit die Holzbauteile vor Spritzwasser geschützt sind, ist ein Sockelbereich von 30 cm vorgesehen. Der Zwischenraum innerhalb des Streifenfundamentes wird mit kapillarbrechendem Gesteinsmaterial befüllt, um ein Aufsteigen von Feuchtigkeit zu verhindern. Der 120 cm breite Raum zwischen zwei benachbarten Gebäuden in einer Häuserreihe wird ebenfalls mit einer Gesteinskörnung befüllt. Zur Abführung des Regenwassers sind entweder Sickerrohre im Häuserzwischenraum vorgesehen oder Rohrleitungen, welche den Niederschlag in Sickerschächte weiterleiten. In jedem zweiten Zwischenraum befinden sich zusätzlich die Infrastrukturleitungen. Diese werden frostfrei und vor mechanischer Belastung geschützt in einem Betonschacht verlegt. Zur einfachen Wartung oder bei etwaigen Reparaturen können die Leitungen schnell gefunden bzw. repariert werden. Dieser Betonschacht wird an zwei Stellen direkt an das Fundament herangeführt, an denen sich die Auslässe für die Hauseinführung der Ver- und Entsorgungsleitungen befinden. Die Außenlinien des Streifenfundaments liegen direkt unter den äußeren Begrenzungslinien der Außenwände. Die genaue Lage der Auslässe und der Infrastruktur sind dem Grundriss, dem Schnitt und dem Bodenmodulplan des Hauses zu entnehmen.

### 4-3.1.3 Pläne und Beschreibung des Projekts

In Abbildung 4.8 ist der Grundriss des Erdgeschosses in der Grundausbaustufe ersichtlich. Es sind sowohl der 12M-Raster (grüne Linien) als auch der 1M-Raster (graue Linien) erkennbar. Die innenliegenden Wände sind achsbezogen positioniert und ermöglichen so eine individuelle Anpassung der Innenwände an die Rasterlinien des 12M-Rasters. Die Erschließung des Hauses erfolgt an zwei Türen, wobei die Tür in Achse E als Zugang zum Erweiterungsbereich fungiert. Das Erdgeschoss ist in einen Flurbereich (rund 24M x 36M inkl. Treppe), einen Sanitärbereich (12M x 36M) und einen Wohn-Essbereich mit integrierter Küche in der Größe von 36M x 36M unterteilt. Die ursprüngliche Wohnfläche des Erdgeschosses beträgt rund 26 m<sup>2</sup> und kann auf das Doppelte erweitert werden. Ebenso dem Raster untergeordnet, ist die Treppe, die einen Bereich von 12M x 36M ausfüllt. Der Bereich unterhalb der Treppe zwischen Achse 3 und 5 bleibt jedoch offen und kann individuell genutzt werden. Der Grundriss des Obergeschosses im initialen Zustand ist Abbildung 4.9 dargestellt.

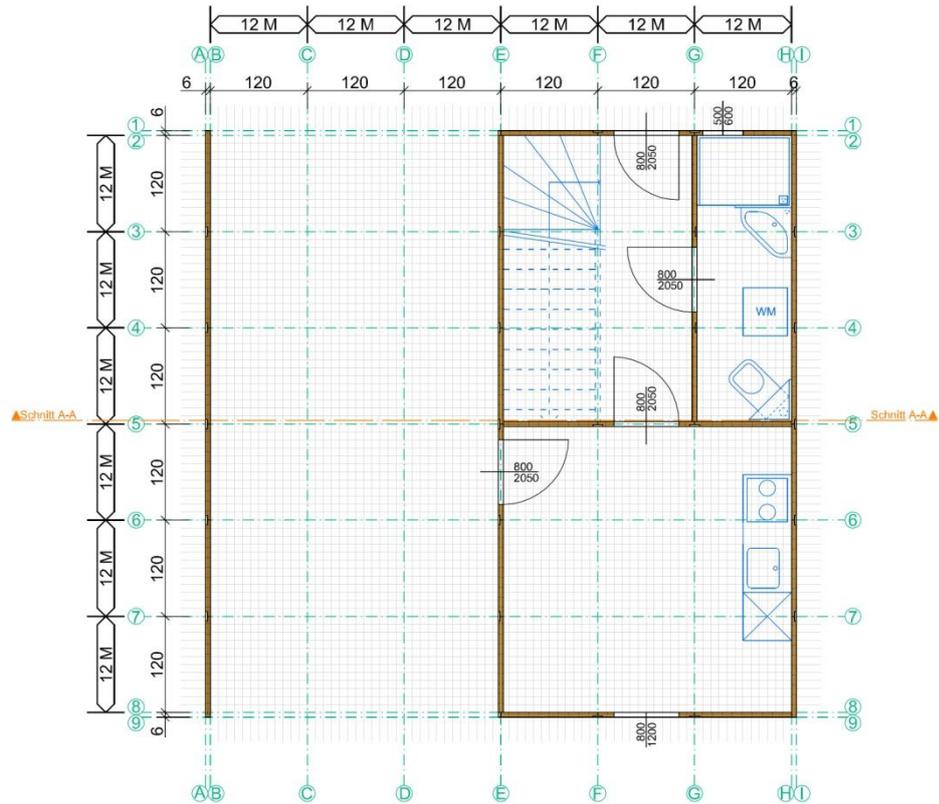


Abbildung 4.8: Grundriss des Erdgeschosses in der Grundstufe

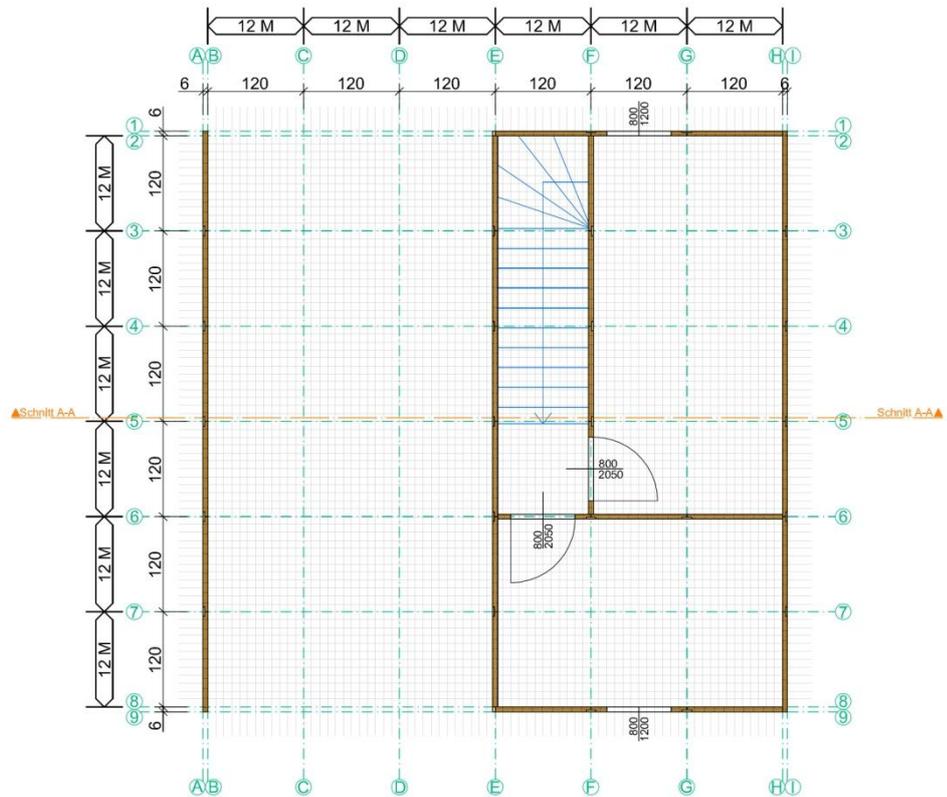


Abbildung 4.9: Grundriss des Obergeschosses in der Grundstufe

Das Obergeschoss im unausgebauten Zustand umfasst zwei Zimmer, die als Schlafräume vorgesehen sind. Eines der Zimmer weist eine Größe von 24M x 36M und das andere Zimmer eine Größe von 24M x 48M auf. Wird die Fläche des Erschließungsbereiches hinzugerechnet, steht auch hier eine Wohnfläche von rund 26 m<sup>2</sup> zur Verfügung. Diese kann im Zuge einer Erweiterung auf weitere 26 m<sup>2</sup> vergrößert werden. Je nach vorhandenem Kapital können Boden- und Deckenmodule des Erweiterungsbereiches bereits im unausgebauten Zustand eingebaut sein. Dies würde eine Erweiterung stark vereinfachen. Eine spätere Montage der Boden- und Deckenmodule ist auch möglich, jedoch schwieriger auszuführen, da ein Einheben mittels Hebezeuge aufgrund des bereits vorhandenen Daches komplizierter ausfällt. Um Kosten zu sparen wird jedoch davon ausgegangen, dass diese Module erst im Zuge der Erweiterungen eingesetzt werden. Damit eine definierte Lage der Deckenmodule vorgegeben ist, werden die Auflagerkonsolen (Deckenbalken) bereits in der Grundstufe des Hauses vormontiert. Dies soll zum einen Missverständnisse beim Einbau der Deckenmodule verhindern und zum anderen der Sicherheit dienen, da somit eine ordnungsgemäße Auflagerung künftiger Deckenmodule vorgegeben ist. In Abbildung 4.10 ist eine Ansicht der Giebelseite des Hauses in der Grundstufe dargestellt.

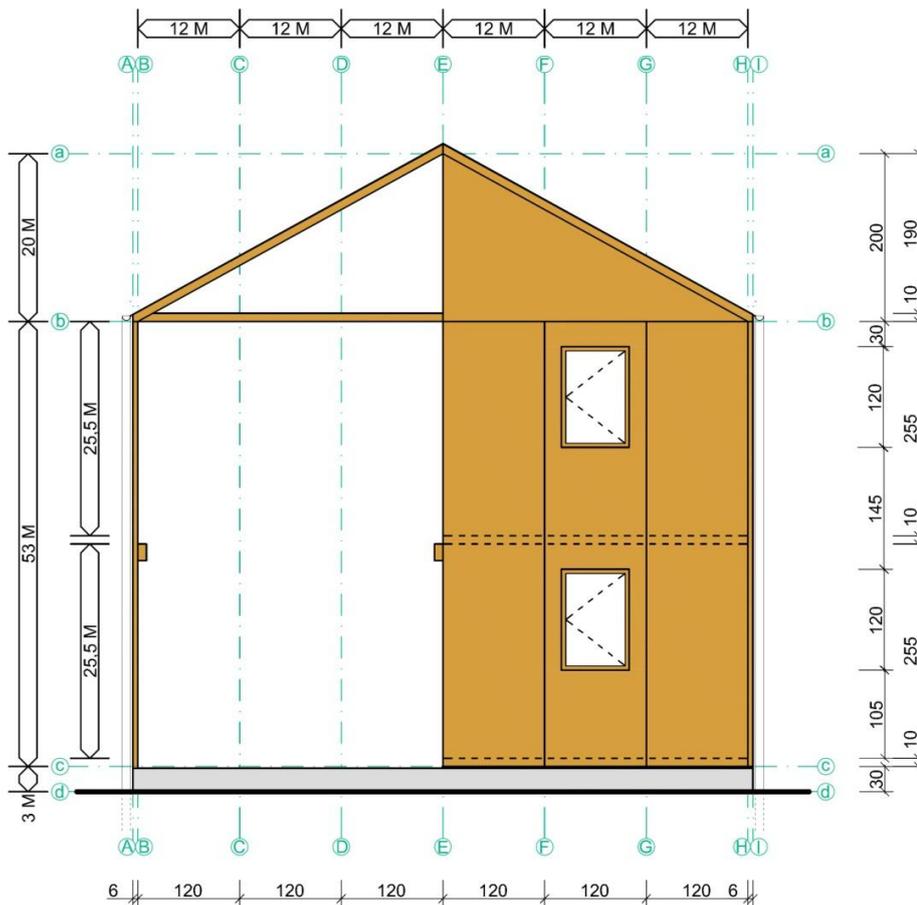
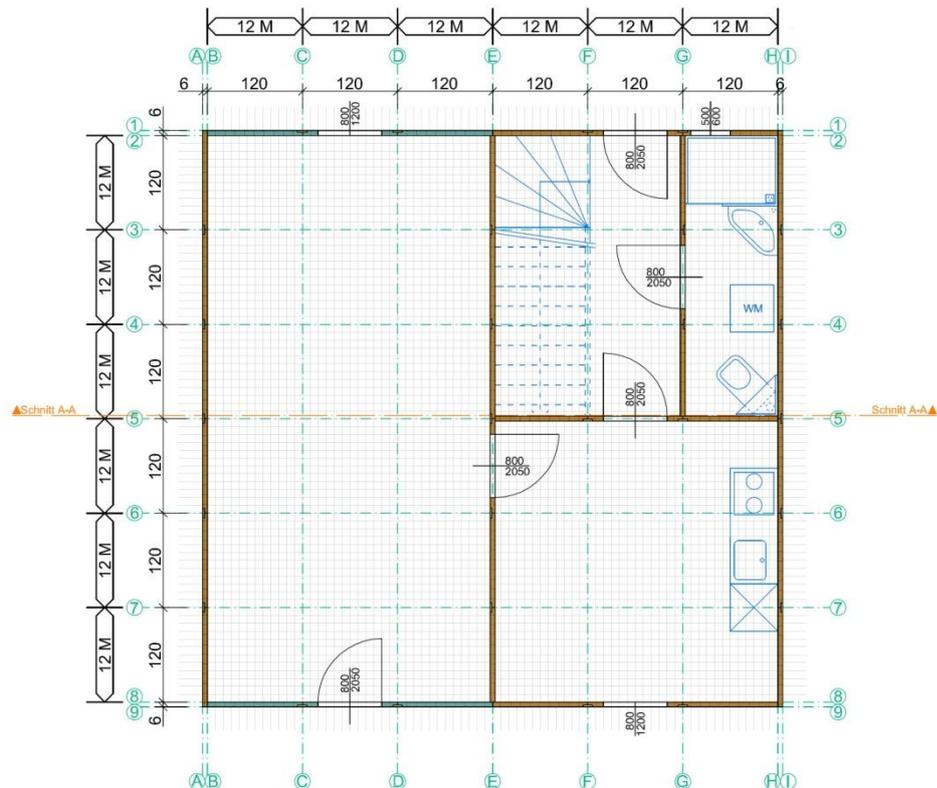


Abbildung 4.10: Ansicht der Giebelseite in der Grundstufe

In der Ansicht ist das 30 cm hohe Streifenfundament (graue Schraffur) dargestellt, auf dem mittels T-Winkel aus Stahl die Wand- und Bodenmodule befestigt werden. Eine genauere Darstellung der Verbindungstechnik erfolgt in Abschnitt 4-3.1.5. Des Weiteren sind die Auflagerkonsolen der Decke im Erweiterungsbereich und die Dachbalken zur Aufnahme der Zugkräfte des Daches erkennbar. Beide Geschosse weisen eine Raumhöhe von 25,5M auf. Wird später ein Fußbodenaufbau von 15 cm eingebaut, kann die Mindestraumhöhe nach OIB Richtlinie 3 2015 [159] eingehalten werden. In der obigen Darstellung ist zudem auch die Teilung der Module ersichtlich. Die 12M breiten Wandmodule an der Giebelseite sind in ihrer Höhe mit jenen der Seitenwände identisch. An der Oberseite dieser

Giebelwandmodule wird pro Seite jeweils ein dreiecksförmiger Wandmodul mit den Abmessungen von 20M x 36M aufgesetzt. Die Verbindung erfolgt durch Verschraubung der in Stufenfalzform ausgeführten Kanten dieser Module. Die zweite Haushälfte bleibt in der Grundstufe offen, verfügt aber bereits über die vollständig ausgeführte Dachkonstruktion. Eine Erweiterung ist aufgrund der vorhandenen Tragstruktur einfacher möglich. In Abbildung 4.11 ist nun der Grundriss des Erdgeschosses im erweiterten Zustand ersichtlich. Es ist erkennbar, dass lediglich sechs weitere Wandmodule erforderlich sind, um die Wohnfläche des Hauses zu verdoppeln. Da die Wandmodule an den Giebelwandseiten geschossübergreifend ausgeführt sind, wird dadurch auch die fehlende Gebäudehülle des Obergeschosses geschaffen. In zwei der sechs Wandmodule sind Öffnungen für Türen und Fenster vorgesehen. Der rund 26 m<sup>2</sup> große Raum kann als Wohnzimmer genutzt werden. Eine weitere Unterteilung des Raumes in Querrichtung ist ebenso möglich. Die Belichtung beider Räume wäre dann trotzdem gegeben, da die Terrassentür mit einem Verglasungselement ausgestattet ist.



*Abbildung 4.11: Grundriss des Erdgeschosses in der Erweiterungsstufe*

Der Grundriss des Obergeschosses im erweiterten Zustand ist in Abbildung 4.12 dargestellt. Aus der Abbildung geht hervor, dass für die Erweiterung des Obergeschosses zusätzlich zu den Wandmodulen (welche bereits bei der Erweiterung des Erdgeschosses erwähnt wurden), nur noch fünf Wandmodule erforderlich sind. Zuvor müssen jedoch die fehlenden Deckenmodule auf die bereits vorgegebenen Auflagerkonsolen gehoben und verschraubt werden. Ein Zugang zum Erweiterungsbereich im Obergeschoss ist erst durch eine Öffnung möglich, die aus der bestehenden Mittelwand herausgeschnitten werden muss. In der folgenden Ansicht ist das Haus im erweiterten Zustand dargestellt.

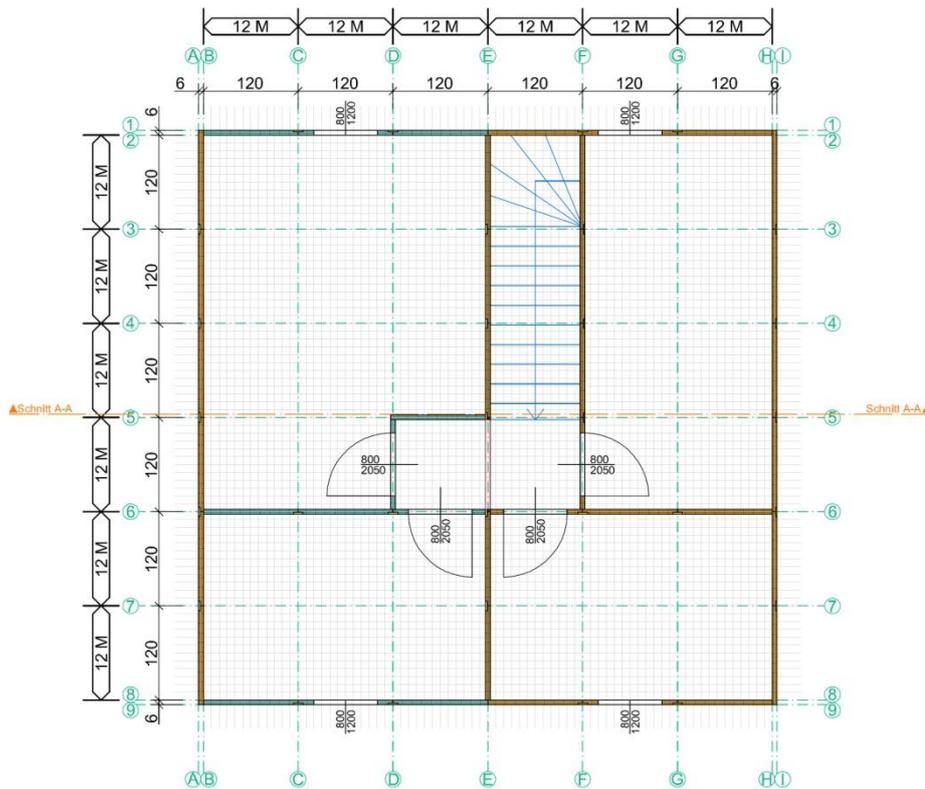


Abbildung 4.12: Grundriss des Obergeschosses in der Erweiterungsstufe

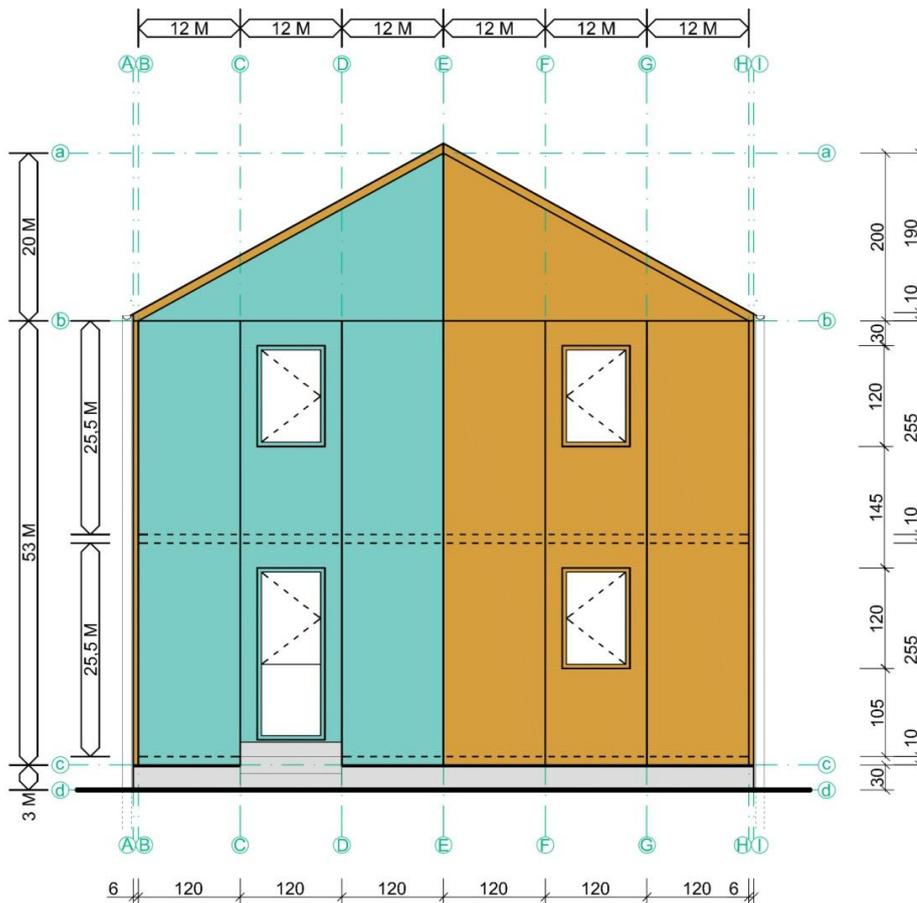


Abbildung 4.13: Ansicht des Hauses in der Erweiterungsstufe

In der obigen Darstellung sind die zusätzlich erforderlichen Wandmodule an der Vorderseite des Hauses ersichtlich (Türkis schraffiert). Auf der Rückseite des Hauses sind diese ident ausgeführt, jedoch ist an Stelle der Tür, lediglich ein Fenster vorgesehen. Die drei Stufen vor der Tür sind erforderlich, da die Türöffnung erhöht ausgeschnitten wird, um im inneren des Hauses ausreichend Platz für einen späteren Fußbodenaufbau (15 cm im Falle des Aufbaus „Graz“) zu schaffen, ohne dass die Türöffnung bei den Ausbaumaßnahmen verändert werden muss.

In Abbildung 4.14 ist der Schnitt A-A des Hauses (Aufbau „Basic“) dargestellt. In der Darstellung sind auch die Innenwände erkennbar, welche bis zum Dach hinauf ragen. Die Dachbalken müssen an diesen Stellen unterbrochen und mittels T-förmigen Stahlprofilen an die Wände angeschlossen werden. Im Fundamentbereich müssen sowohl die Bodenmodule als auch die Streifenfundamente vorab gedämmt werden, da ein späteres Aufbringen der Dämmplatten aus extrudierten Polystyrol (XPS) nicht mehr möglich ist. Zusätzlich wird eine bituminöse Abdichtung am Fundament angebracht, welche die darüberliegende Konstruktion vor aufsteigender Feuchtigkeit schützt. Die Bodenmodule werden auf der Unterseite mittels bituminöser Spachtelmasse geschützt. Die markierten Detailpunkte werden im folgenden Abschnitt behandelt.

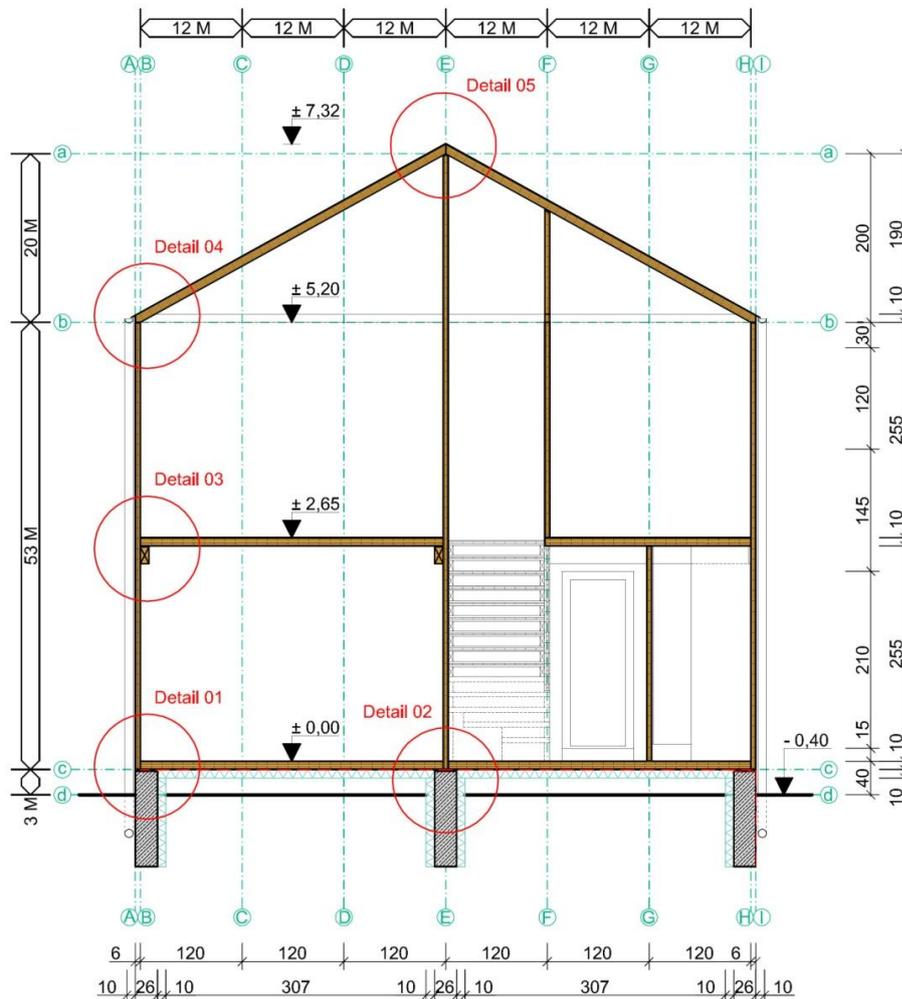
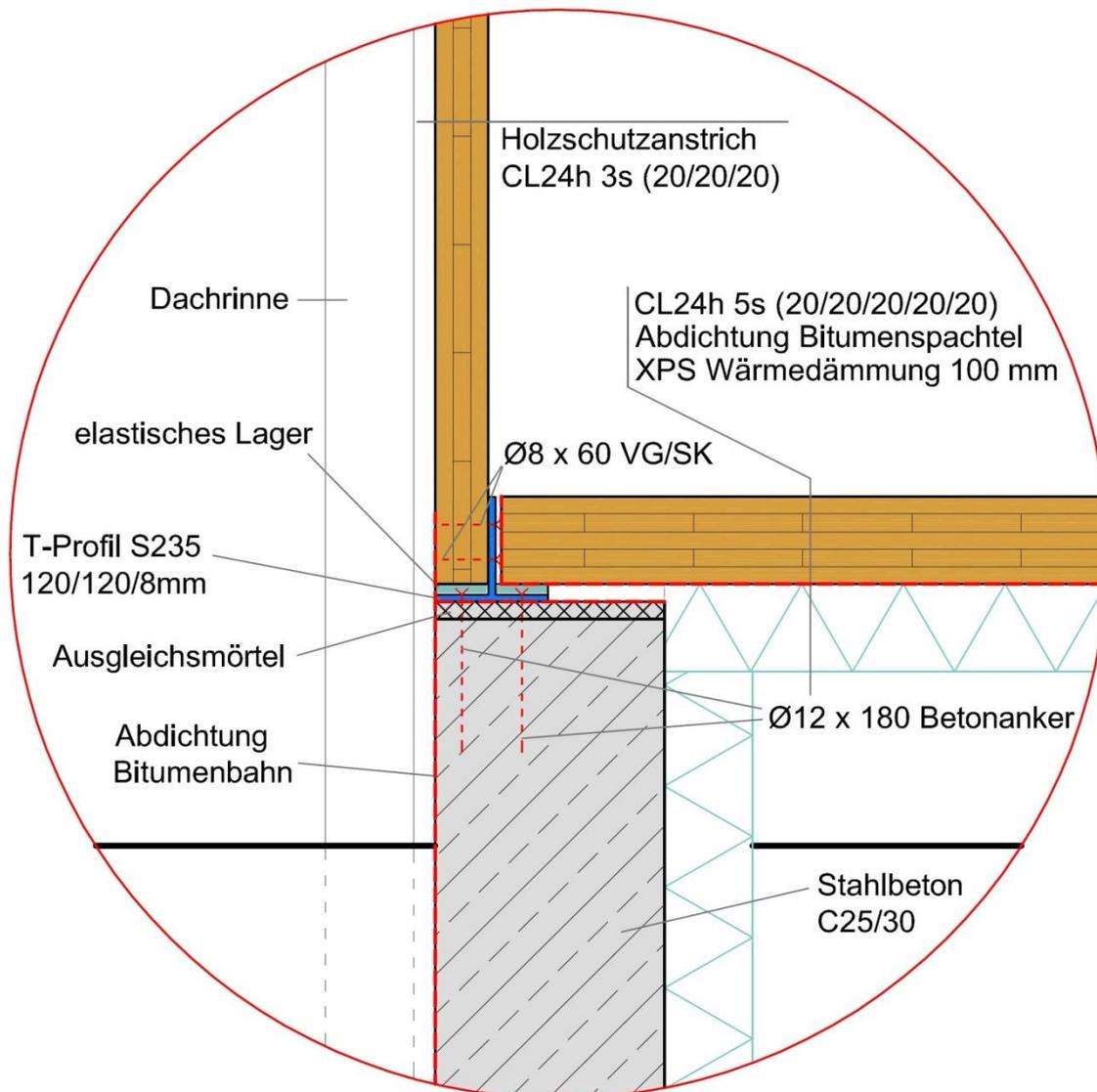


Abbildung 4.14: Schnitt A-A des erweiterten Hauses (Aufbau „Basic“)

### 4-3.1.4 Detailausbildung

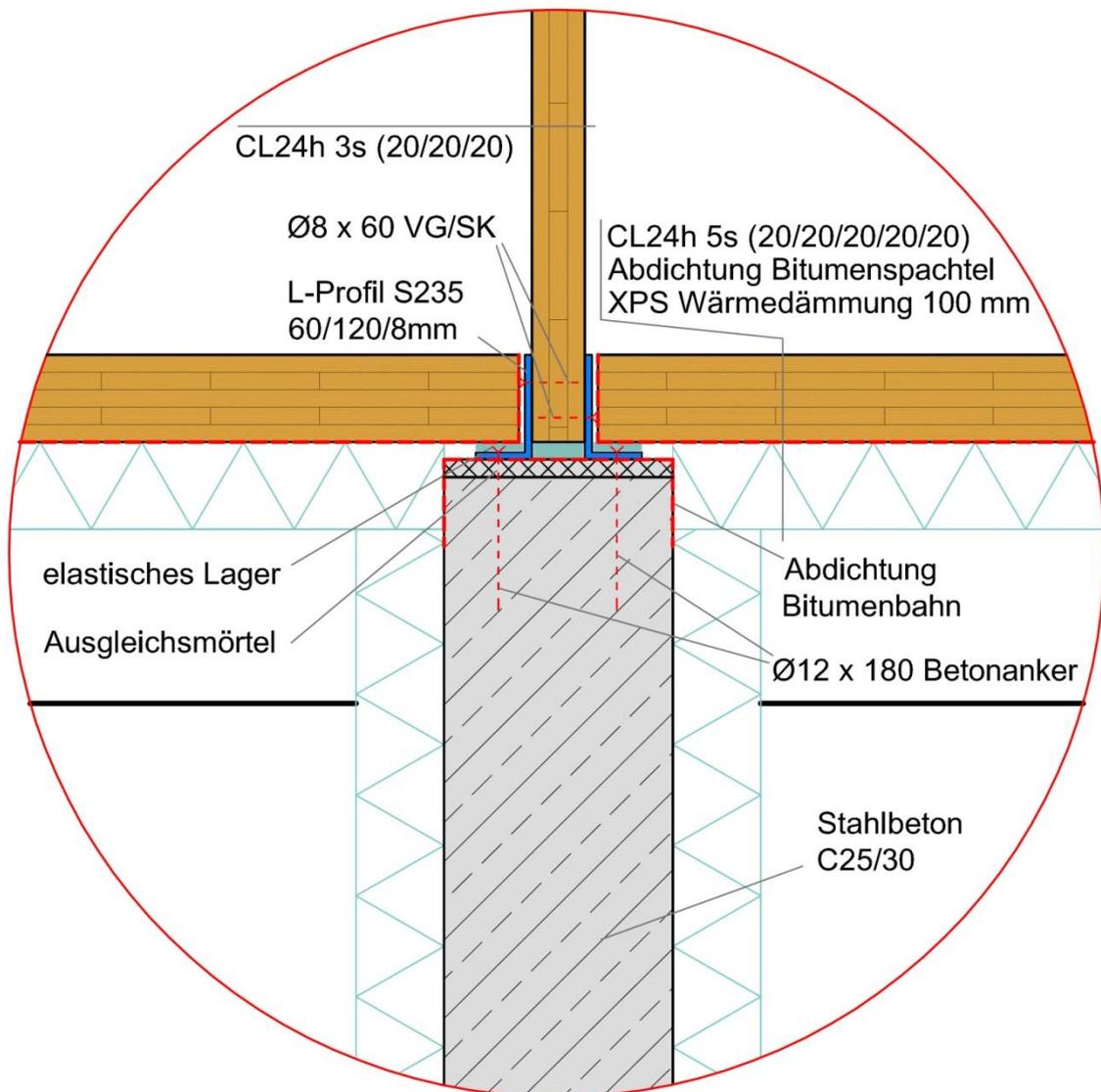
#### Detail 01



*Abbildung 4.15: Detail 01: Sockelausbildung*

Der Anschluss der Module am Fundament verläuft über T-förmige Stahlprofile, welche mit Betonanker mit dem Stahlbetonfundament verbunden werden. Eine 2 cm dicke Schicht aus Mörtel sorgt für einen Toleranzausgleich des Betons. Die Wandmodule werden elastisch gebettet und mittels Holzschrauben am Stahlprofil befestigt. Jedes Bodenmodul wird ebenfalls auf elastischen Lagern gelagert. Eine Wärmedämmung aus extrudiertem Polystyrol wird unterhalb auf die Bodenmodule und auf die Innenseite des Streifenfundaments aufgeklebt. Die Feuchtigkeitsabdichtung kann durch Aufkleben einer Bitumenbahn am Fundament und durch eine bituminöse Spachtelmasse auf der Unterseite des Bodenmoduls gewährleistet werden.

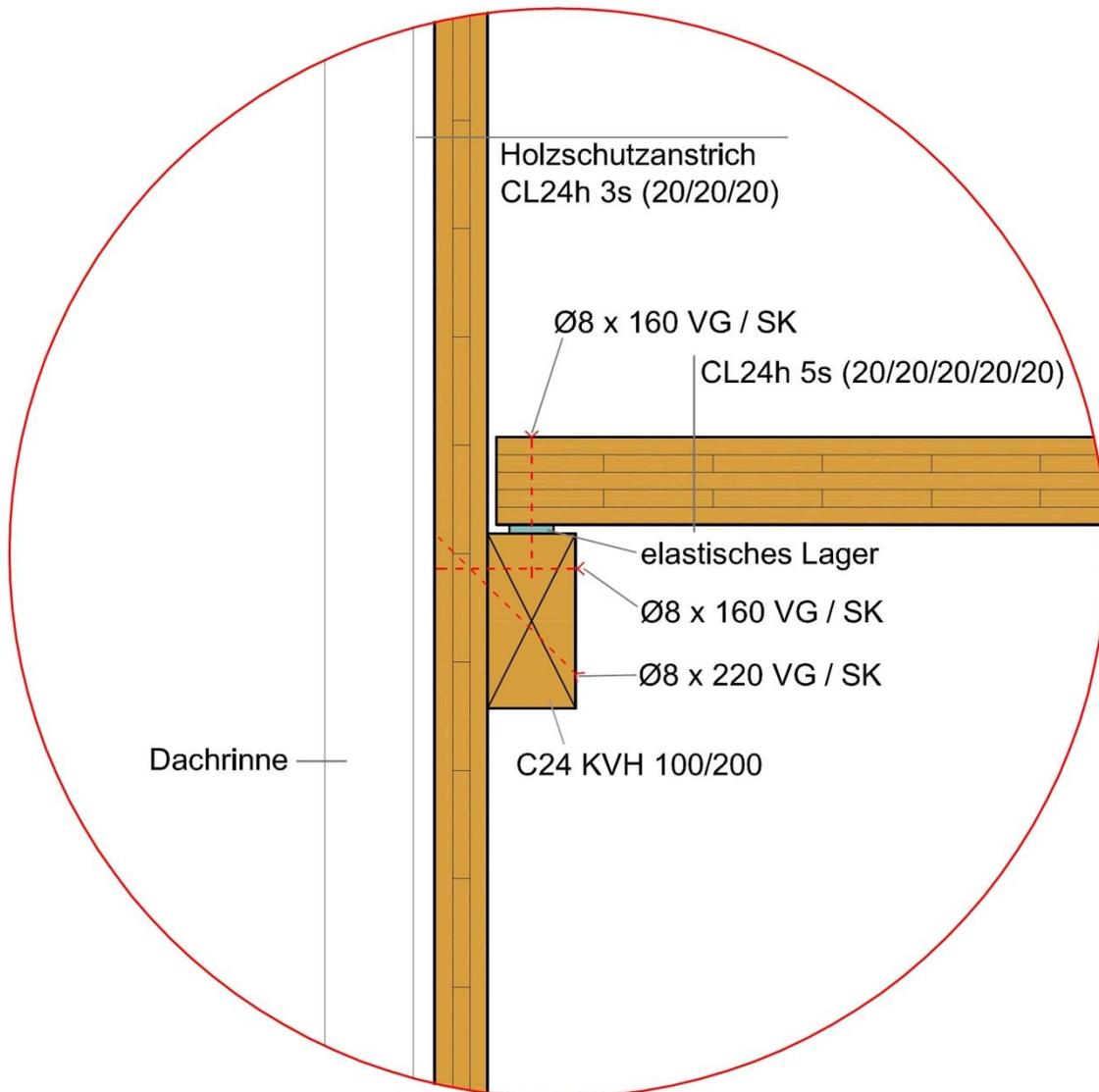
## Detail 02



*Abbildung 4.16: Detail 02: Anschluss Mittelwand an Fundament*

Der Aufbau erfolgt wie in Detail 01, jedoch wird anstelle des T-förmigen Stahlprofils, ein L-förmiges verwendet. Dieses Profil entspricht genau dem T-Profil ohne zweiten Schenkel.

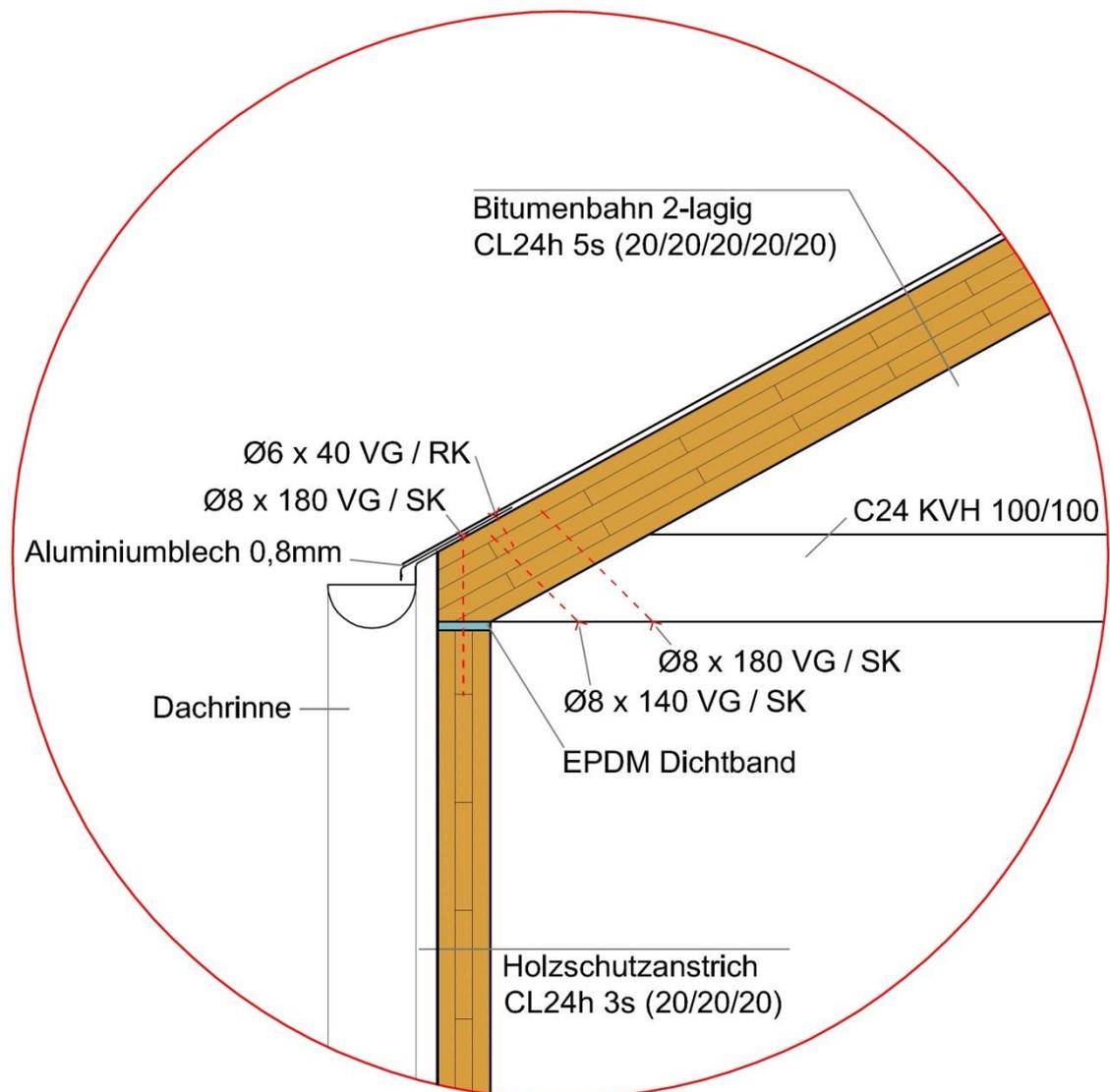
### Detail 03



*Abbildung 4.17: Detail 03: Anschluss Deckenmodul an Wandmodul*

In diesem Detail ist der Anschluss der Decke an die Wand mittels Konsole (Deckenbalken) ersichtlich. Die Deckenbalken bestehen aus Konstruktionsvollholz (KVH) mit den Abmessungen  $b \times h$  von 1M x 2M (100 x 200 mm). Diese werden über die volle Wandlänge mittels Holzschrauben an die Wandmodule geschraubt. Die elastisch gebetteten Deckenmodule werden ebenfalls mit Schrauben mit den Deckenbalken verbunden.

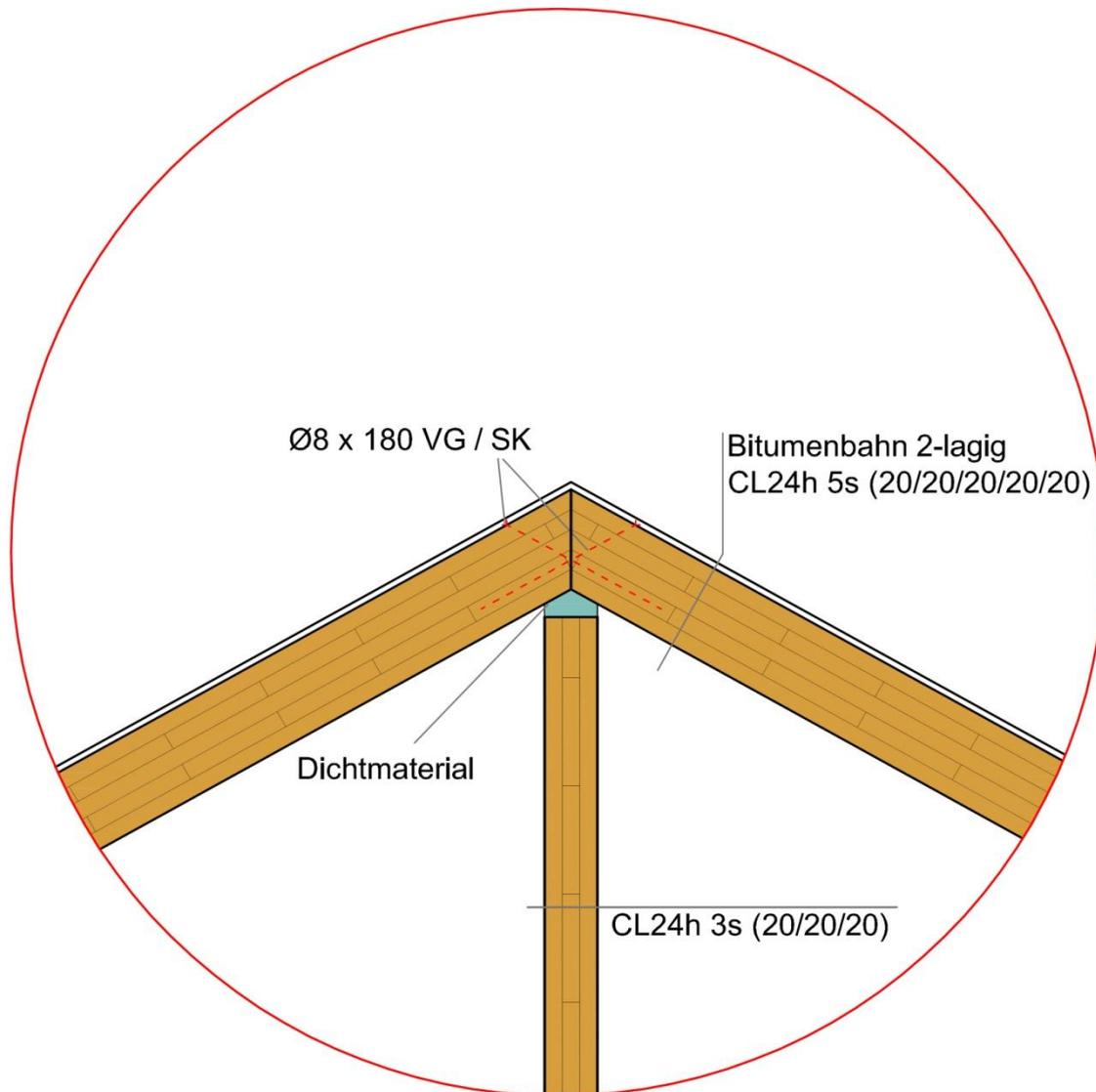
## Detail 04



*Abbildung 4.18: Detail 04: Traufe*

Das Detail 04 umfasst den Anschluss des Dachmoduls an die Wand und den Anschluss des Dachbalkens an das Dach. Die Verbindungen werden ebenfalls mit Holzschrauben ausgeführt. Der Dachbalken besteht aus Konstruktionsvollholz der Güte C24 und weist Abmessungen von  $b \times h$  von 1M x 1M (100 x 100 mm) auf. Eine bituminöse Dachabdichtung schützt das Holz vor Niederschlägen. Für die Entwässerung ist eine am Dachmodul befestigte Dachrinne vorgesehen. Dadurch wird auch die Wand vor herabtropfender Feuchtigkeit geschützt.

## Detail 05

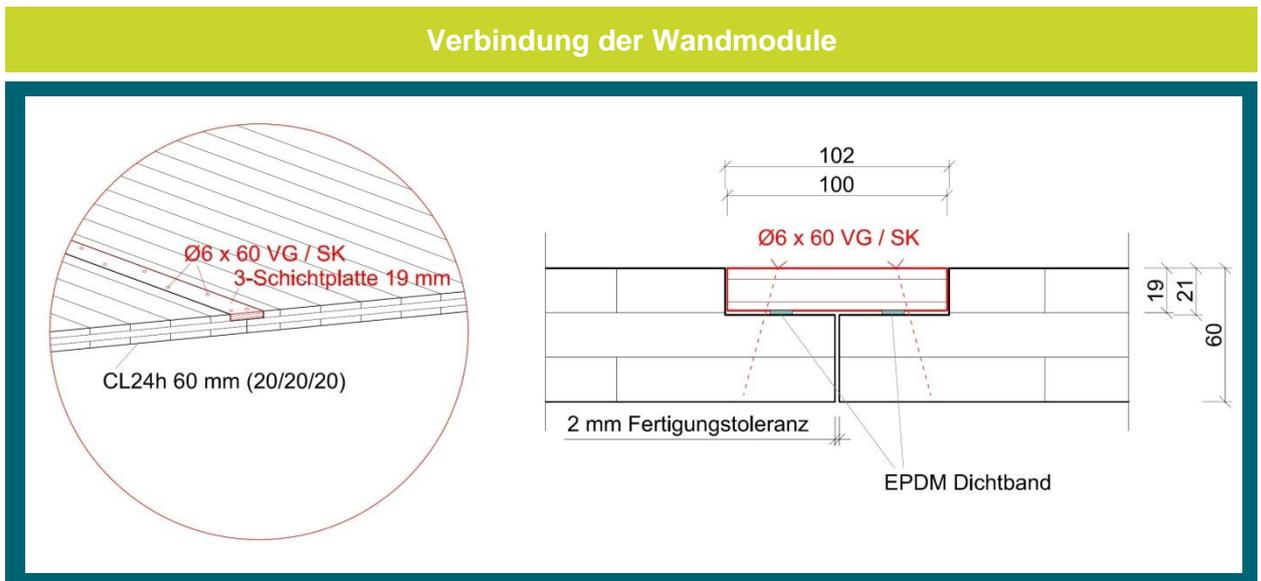


*Abbildung 4.19: Detail 05: Firstanschluss*

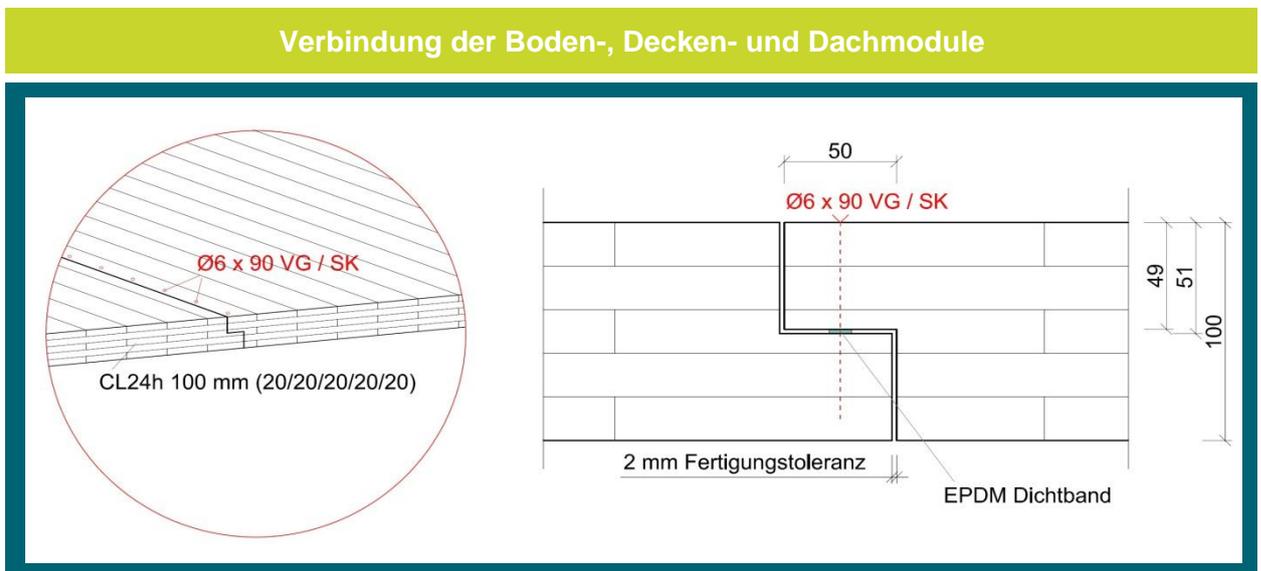
Der Anschluss der Dachmodule am First erfolgt durch eine Schraubverbindung. Dazwischenliegend sorgt eine EPDM Dichtung für Feuchtigkeitsschutz. Die Mittelwand wird nicht an die Dachkonstruktion angeschlossen, dient jedoch bei der Montage als Abstützung. Durch ein Spannen der Dachbalken werden die Dachmodule angehoben und es verbleibt eine Fuge zwischen Dach und Mittelwand. Diese wird nur durch ein weiches Dichtmaterial verfüllt.

### 4-3.1.5 Verbindung der Module

Die Verbindung der Module untereinander erfolgt bei den Wandmodulen über Stoßbretter aus 1,9 cm dicken und 10 cm breiten 3-Schichtplatten, welche in die ausgefrästen Nuten der Wandmodule geschraubt werden. Bei Boden-, Decken- und Dachmodulen erfolgt die Verbindung der Module durch Verschraubung der Kanten mit Stufenfalzausbildung. Der Stufenfalz wird über die Hälfte der Bauteildicke und über 5 cm in der Breite ausgeführt. Für die Dichtheit des Gebäudes sind EPDM-Dichtbänder einzukleben (vgl. [161]). In Abbildung 4.20 und Abbildung 4.21 sind die Verbindungen dargestellt.



*Abbildung 4.20: Verbindung der Wandmodule (vgl. [161])*



*Abbildung 4.21: Verbindung der Boden-, Dach- und Deckenmodule (vgl. [161])*

### 4-3.1.6 Weitere Module

Das Konzept umfasst weiters eine modular aufgebaute Stiege, welche der Erschließung des Obergeschosses dient, und modular aufgebaute Fenster und Türen.

Die Treppe besteht aus 0,6M dicken Brettsperrholzelementen, die bevorzugt aus Reststücken der Wandmodule zugeschnitten werden sollen. Der strichlierte Bereich der Treppe im Schnitt A-A (Abbildung 4.14) stellt einen fest zusammengeschrabten Block dar, während der obere Treppenabschnitt aus einzelnen Stufen besteht, die an Wangen befestigt werden. Auch das Geländer ist aus 0,6M dicken Brettsperrholzplatten aufgebaut und bildet die Tragkonstruktion für die äußere Wange. Mittels Stahlwinkel und Holzschrauben wird das Geländer an der Innenwand befestigt. Unten liegt es auf einem 1,2M breiten Brettsperrholzstreifen auf und wird damit verschraubt. In der folgenden Abbildung ist der modulare Aufbau der Treppe ersichtlich.

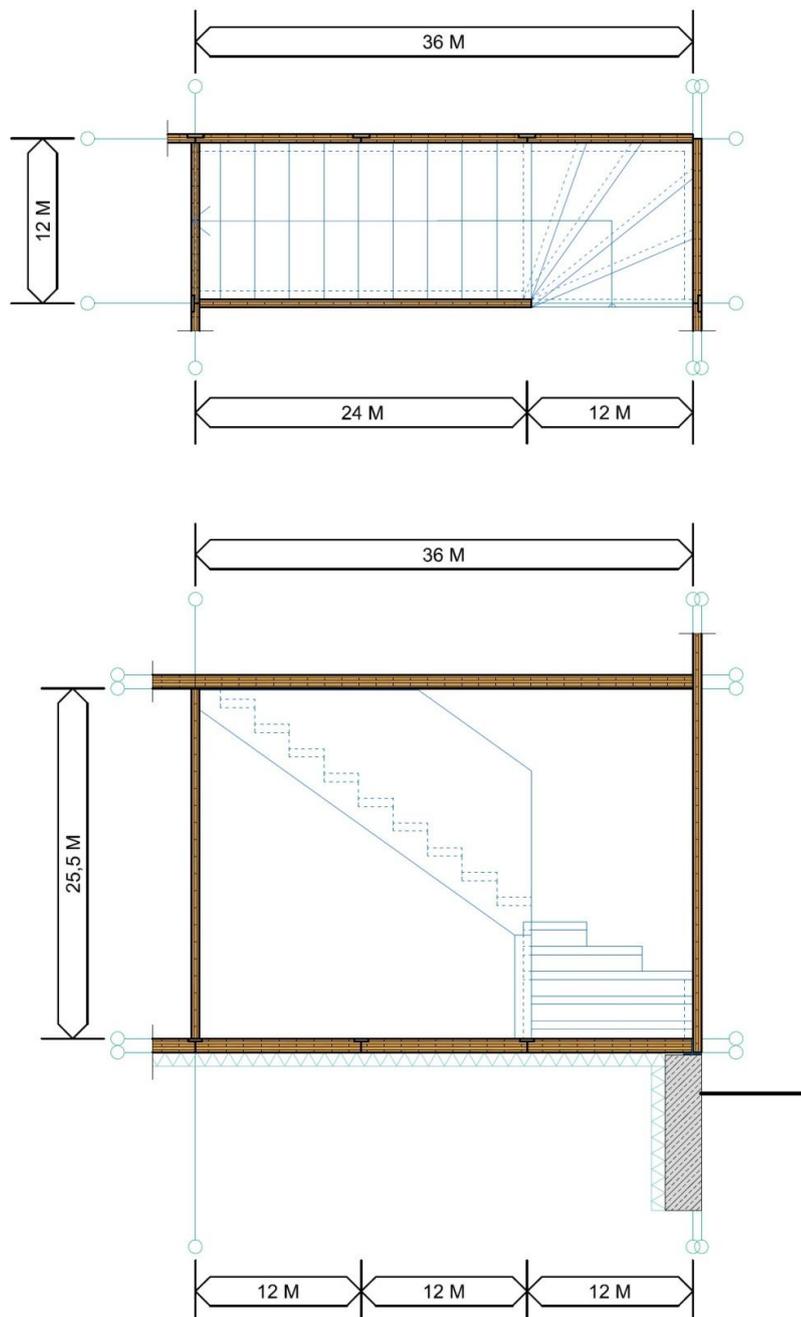
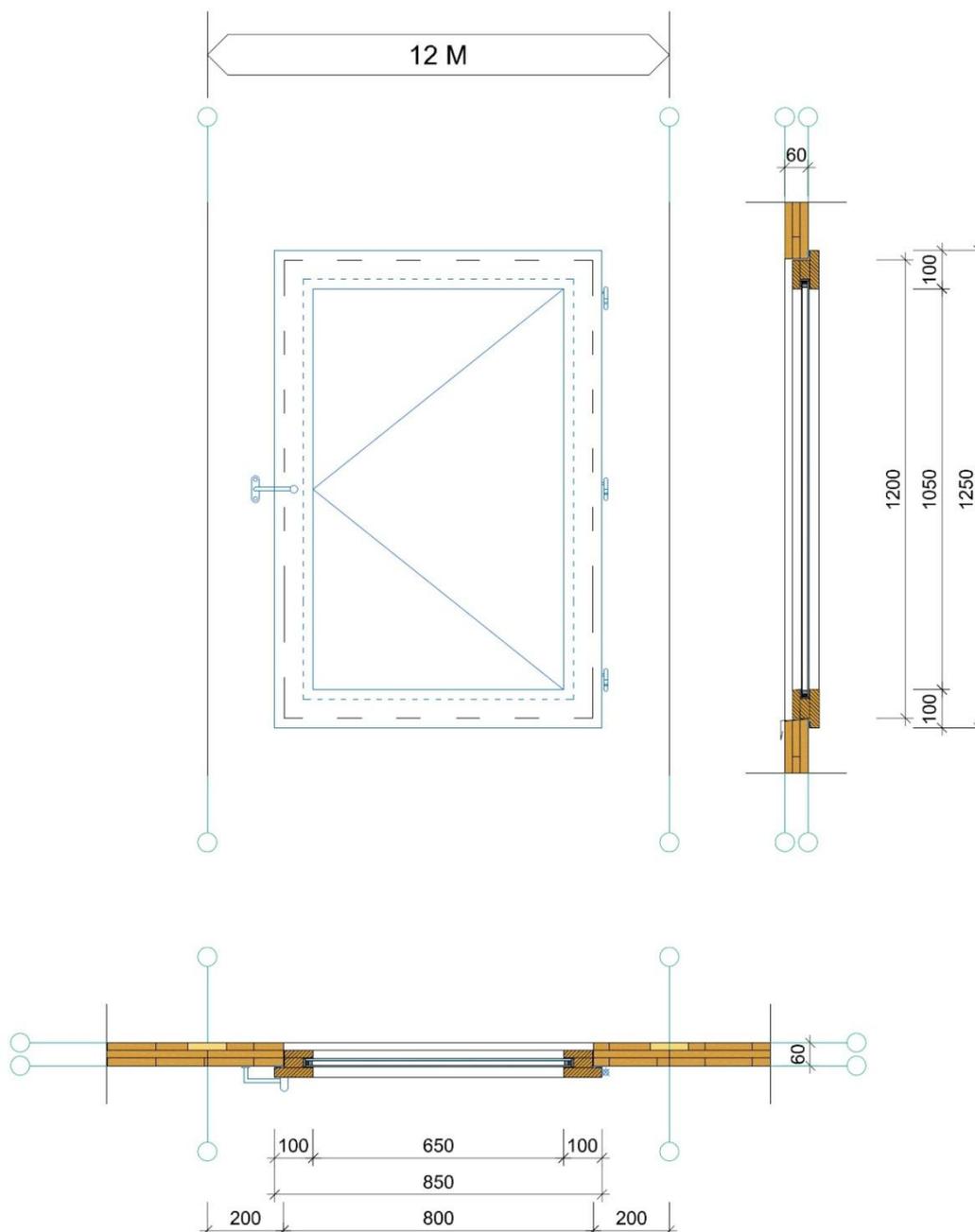


Abbildung 4.22: modularer Aufbau der Treppe

Die Tür- und Fenstermodule sind ebenfalls auf das Rastermaß abgestimmt. Die Außentüren bestehen aus einer Kombination des Fenstermoduls und weiteren Füllelemente aus Holz, die nach unten hin an das Fenstermodul in die Flügelrahmenelemente zugefügt werden. Für die Innentüren wird lediglich das Glas des Fenstermoduls durch Füllelemente aus Holz ersetzt. Hergestellt werden die Fenster durch Verklebung und Verschraubung der äußeren Bretter zu einem festen Rahmen, in dem Glas- und Füllelemente eingelegt werden. Anschließend werden die inneren Bretter aufgeschraubt. Für das Öffnen und Schließen der Tür- und Fenstermodule sind einfache Beschläge vorgesehen. Auf den innenliegenden Brettern wird umlaufend ein Dichtstreifen aufgeklebt. Zum Schutz vor Feuchtigkeit ist eine Verblechung auf der unteren Kante der Öffnung im Wandmodul erforderlich. Nachfolgend sind die Fenster- und Türmodule dargestellt.



**Abbildung 4.23: Fenstermodul**

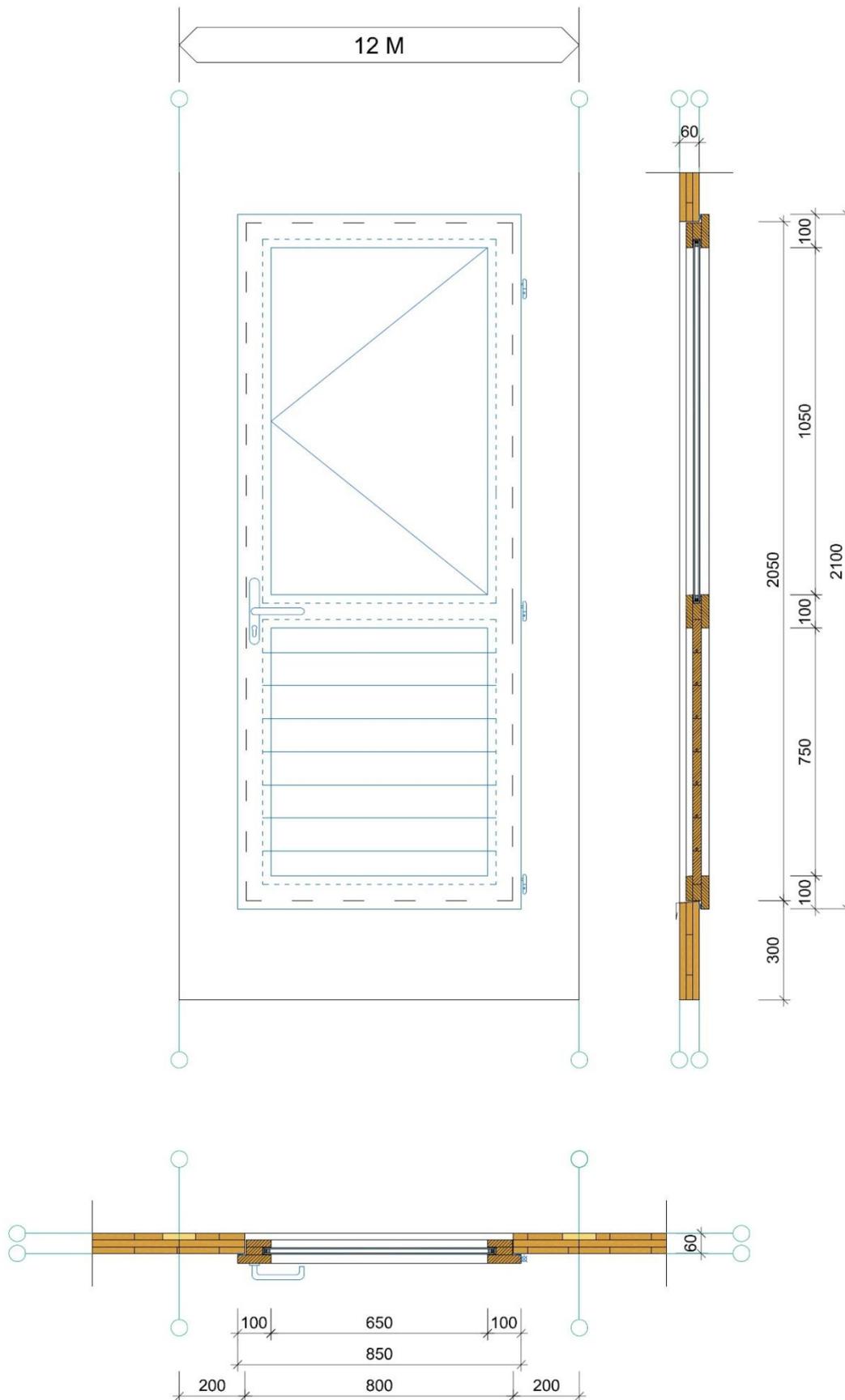


Abbildung 4.24: Türmodul

### 4-3.1.7 Modularisierung des Bodens

Der Fußboden im Erdgeschoss wird in der Grundstufe aus den sechs Bodenmodulen aus Brettsperrholz (in Abbildung 4.25 grau schraffiert) gebildet. Für die gebäudetechnische Erschließung sind zwei Öffnungen vorgesehen. Diese müssen auch im Stahlbetonfundament (strichlierte Linien) ausgespart werden. In der Erweiterungsstufe werden die sechs Türkis gekennzeichneten Bodenmodule eingebaut.

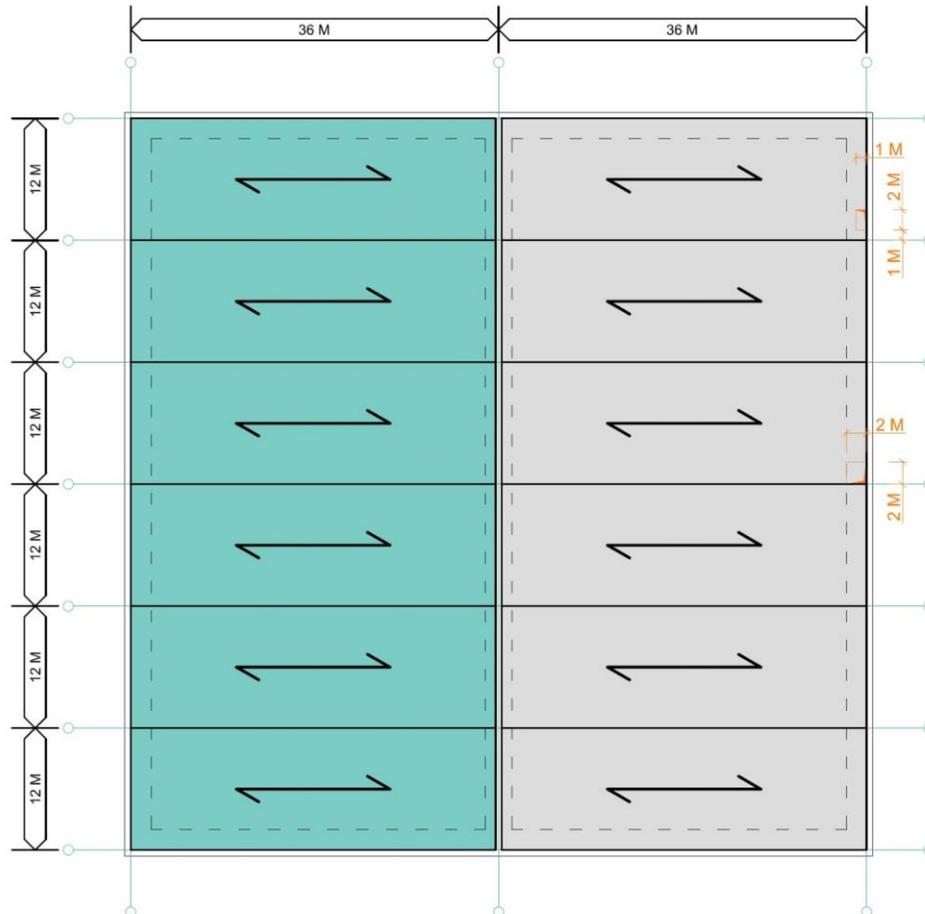
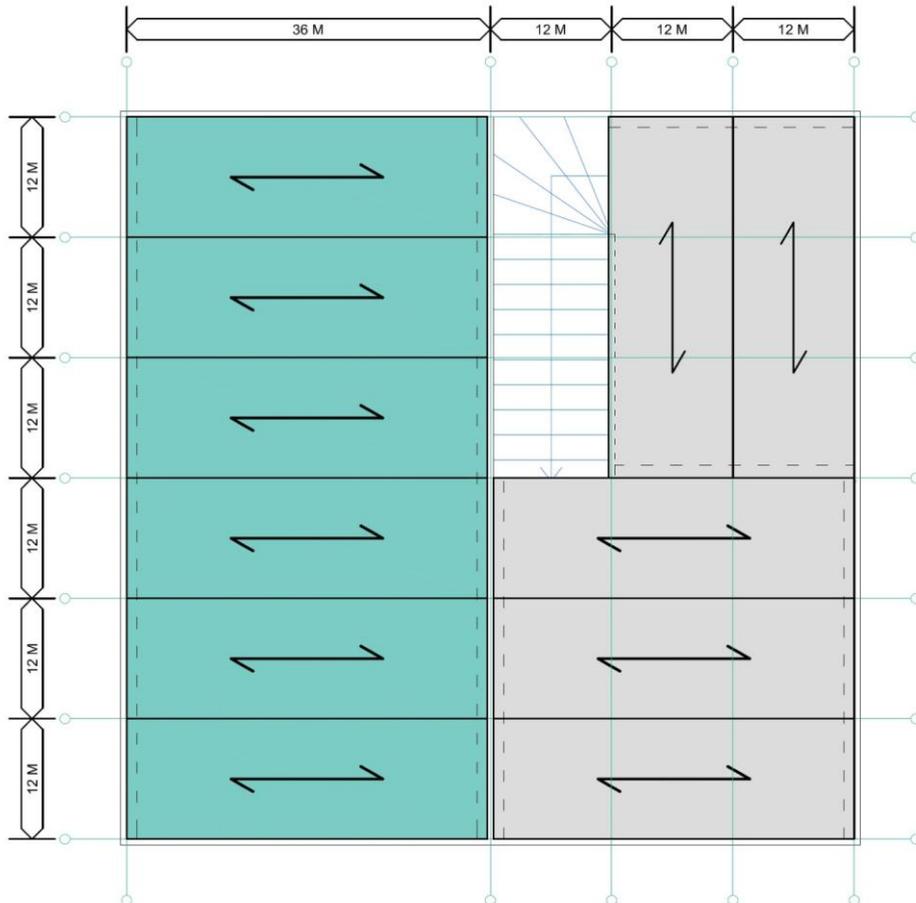


Abbildung 4.25: Anordnung der Bodenmodule

### 4-3.1.8 Modularisierung der Decke

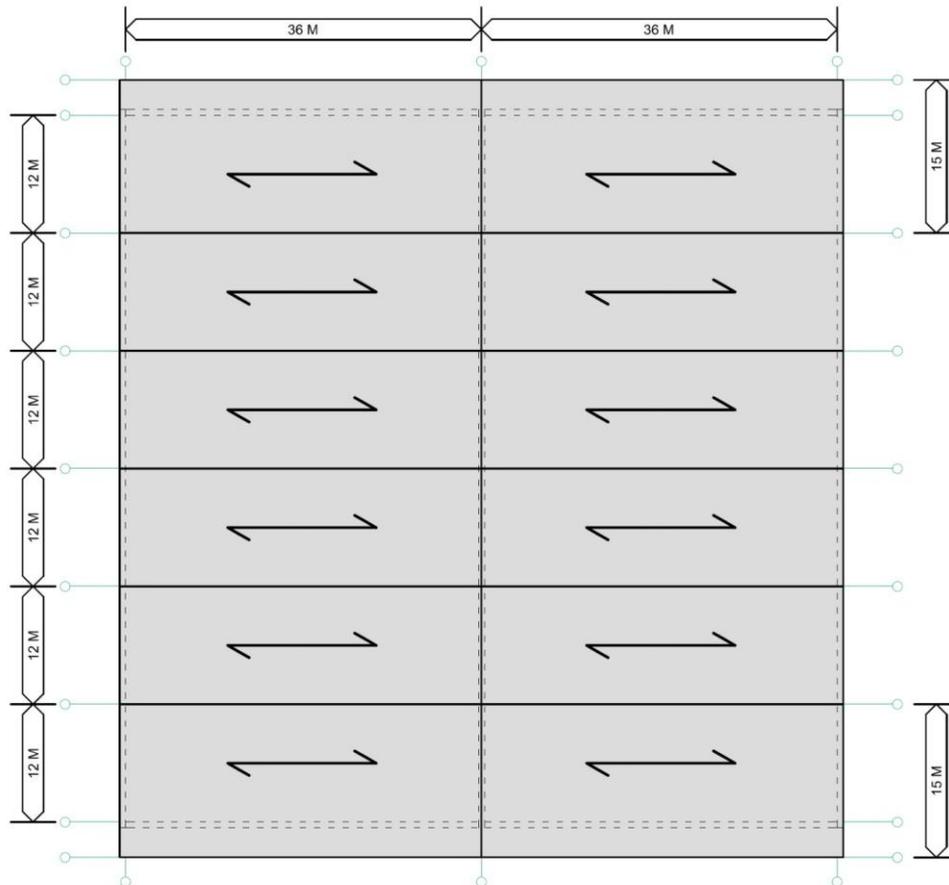
In Abbildung 4.26 ist die Aufteilung der Deckenmodule dargestellt. Die grau schraffierten Module sind bereits in der Grundstufe vorhanden, während die Türkis gekennzeichneten Module erst in der Erweiterungsstufe eingebaut werden. Die breit strichlierten Linien stellen die Auflagerkonsolen (Deckenbalken) dar.



*Abbildung 4.26: Anordnung der Deckenmodule*

### 4-3.1.9 Modularisierung des Daches

Die Anordnung der Dachmodule ist in Abbildung 4.27 ersichtlich. Das gesamte Dach wird bereits in der Grundstufe ausgeführt. Die Randmodule des Daches weisen größere Abmessungen auf, um einen Dachvorsprung zu ermöglichen.

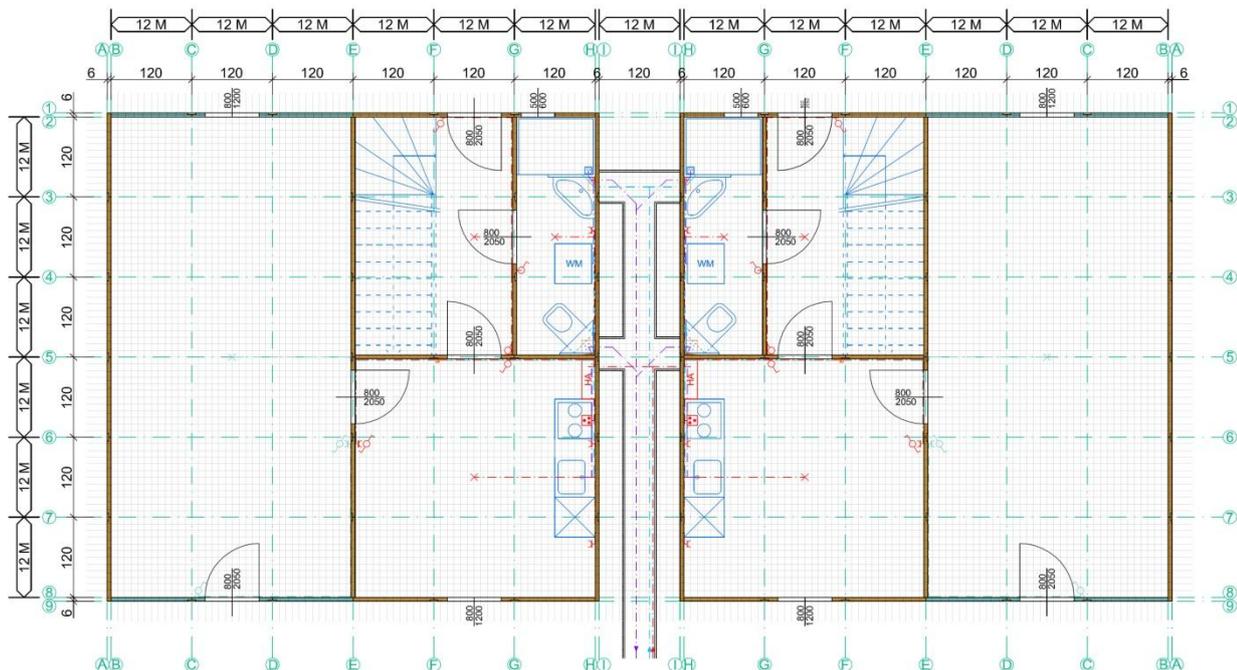


*Abbildung 4.27: Anordnung der Dachmodule*

### 4-3.1.10 Gebäudetechnisches Konzept

Ein weiterer wichtiger Punkt des Hauskonzeptes ist die Planung der Gebäudetechnik. Um die Nassbereiche auf ein Mindestmaß zu beschränken, wurde der Sanitär- und Küchenbereich zusammengefasst. Um die kleine Nutzfläche des Badezimmers besser ausnutzen zu können, werden Waschbecken und Toilette in Anlehnung an das PREVI-WHB und PREVI-WC angeordnet (vergleiche Abschnitt 1-10.2.3). Der Duschbereich wird aus einer „Zelle“ mit erhöht ausgeführten und geneigten Boden sowie mit an den Wänden befestigten Gipskartonplatten gebildet, welche anschließend verfliesen werden. Um Kosten zu sparen wird bei der Grundvariante des Hauskonzeptes auf weitere Wand- und Bodenbeläge verzichtet. Das Küchenmodul umfasst die notwendigsten Gerätschaften wie Kochfeld und Kühlschrank sowie ein Spülbecken und eine kleine Arbeitsfläche.

Die gebäudetechnischen Installationen folgen ebenfalls dem modularen Konzept des Hauses. Um wasserführende Leitungen auf ein Minimum zu beschränken, werden alle sanitären Objekte an einer Koordinationsachse positioniert. Die einzelnen Wasserversorgungsleitungen und Abwasserentsorgungsleitungen mehrerer Sanitärobjekte werden zusammengefasst und müssen die Gebäudehülle somit nur an zwei Stellen durchdringen (siehe Bodenmodule Abbildung 4.25). Wie bereits in Abschnitt 4-3.1.2 erwähnt, werden sämtliche Anschlussleitungen innerhalb eines Sammelkanals aus Stahlbeton geführt, wodurch ein einfacher Zugang zu den Leitungen im Falle eines Schadens oder zu Wartungszwecken ermöglicht wird. In Abbildung 4.28 ist der Grundriss des Erdgeschosses zweier benachbarter Häuser in der Erweiterungsstufe ersichtlich. Der Sammelkanal zwischen den beiden Häusern ist ebenfalls erkennbar. An jeweils zwei Stellen erfolgt der Hausanschluss. Elektrische Versorgungsleitungen sind im Plan als rot, Trinkwasserleitungen als blau und Abwasserleitungen als violett strichpunktierte Linien dargestellt. Für eine bessere Lesbarkeit sorgt Abbildung 4.29, die einen Ausschnitt des Erdgeschossgrundrisses zeigt.



**Abbildung 4.28: Grundriss des Erdgeschosses (Erweiterungsstufe) zweier Häuser mit dazwischenliegender Erschließungszone**

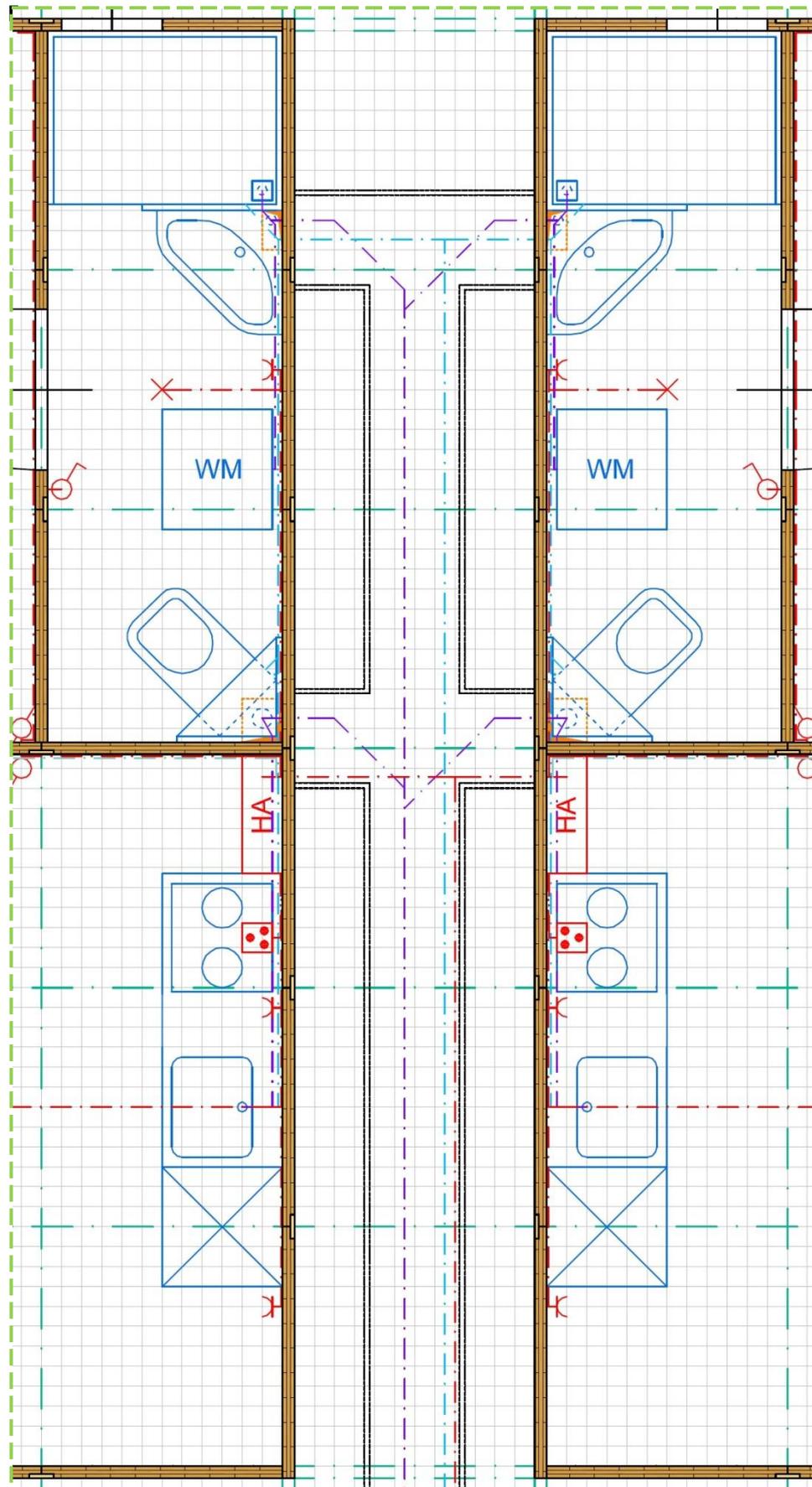
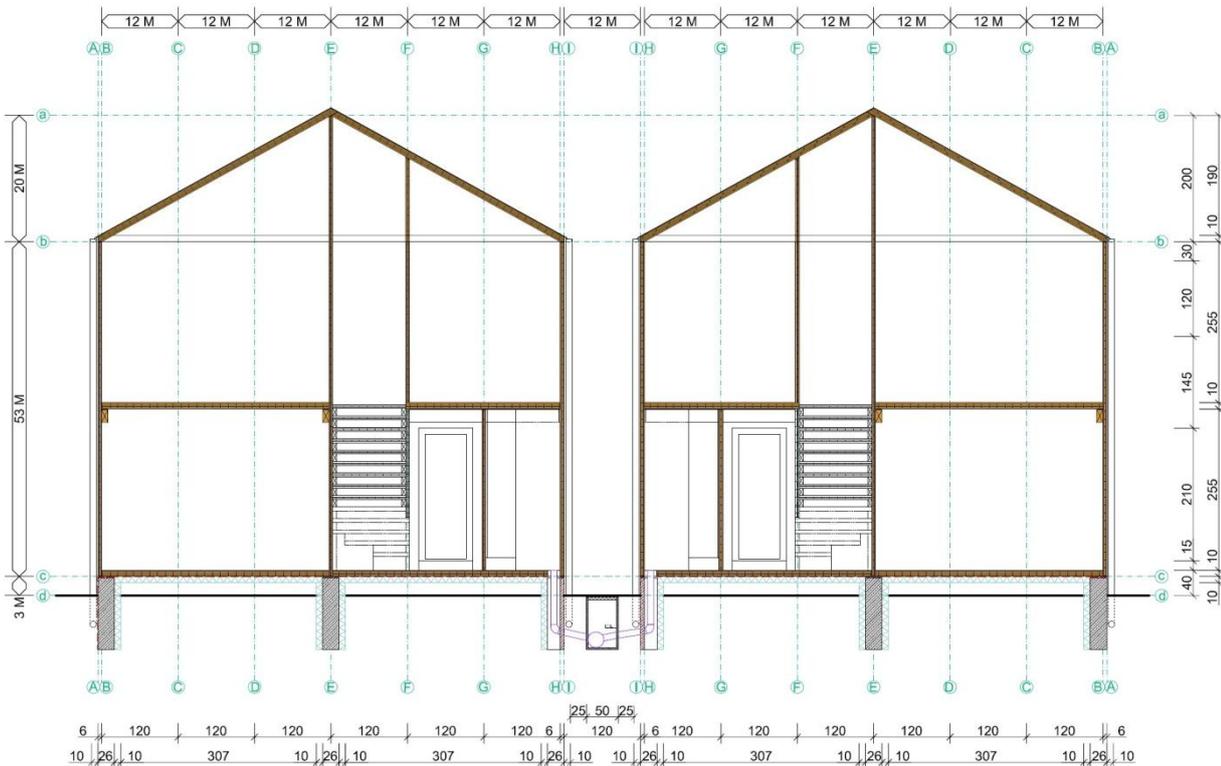
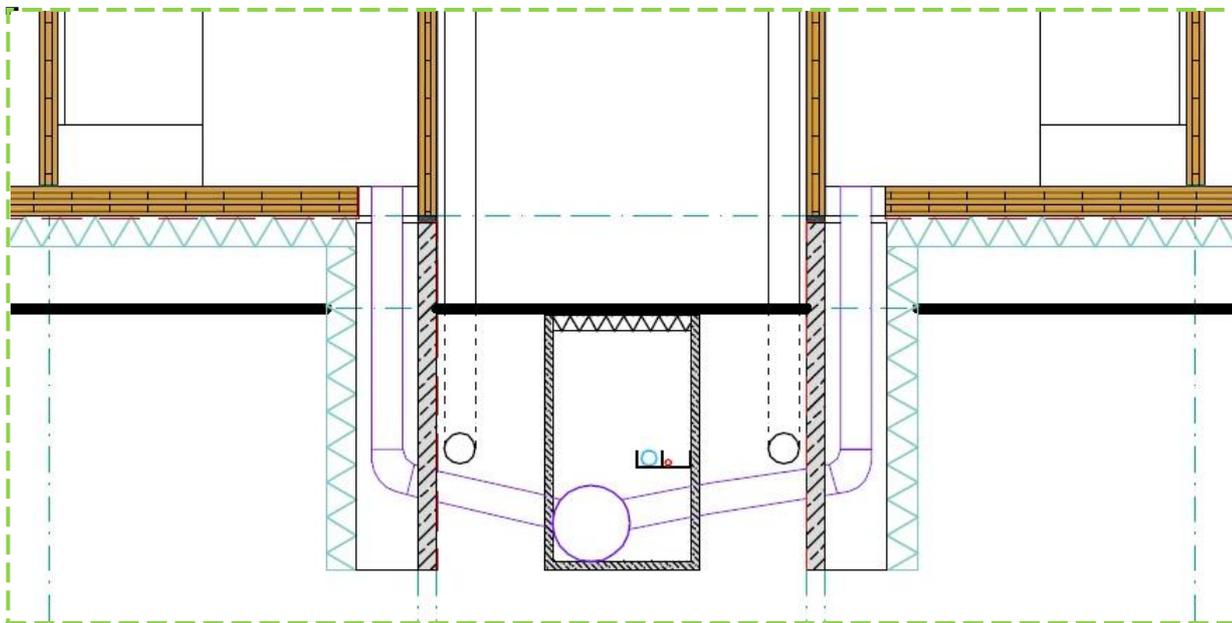


Abbildung 4.29: Ausschnitt des Erdgeschossgrundrisses: Sanitär- und Küchenbereich

Im Schnitt (Abbildung 4.30) sind der Sammelkanal sowie die Abführung des Abwassers beim Toilettenschacht erkennbar. Eine bessere Darstellung liefert der Ausschnitt in Abbildung 4.31.



**Abbildung 4.30: Schnitt A-A zweier Häuser mit Sammelkanal für Gebäudetechnik**



**Abbildung 4.31: Ausschnitt des Schnittes A-A mit Sammelkanal für Gebäudetechnik**

Der Sammelkanal besteht aus Betonfertigelementen und dient der gemeinsamen Führung der gebäudetechnischen Anschlussleitungen. Ein gedämmter Schachtdeckel sorgt für eine frostfreie Lagerung der Leitungen. Wasser- und Elektroversorgungsleitungen werden oberhalb des Abwassersystems auf Stahlwinkel geführt. Ebenso ersichtlich ist die Verlegung der Toilettenfallrohre durch das Fundament.

Im Obergeschoss sind keine wasserführenden Leitungen vorgesehen. Für die elektrische Versorgung ist lediglich ein Deckendurchbruch im Küchenbereich nahe der Tür zum Flur erforderlich. Das Obergeschoss im erweiterten Zustand ist in Abbildung 4.32 dargestellt.

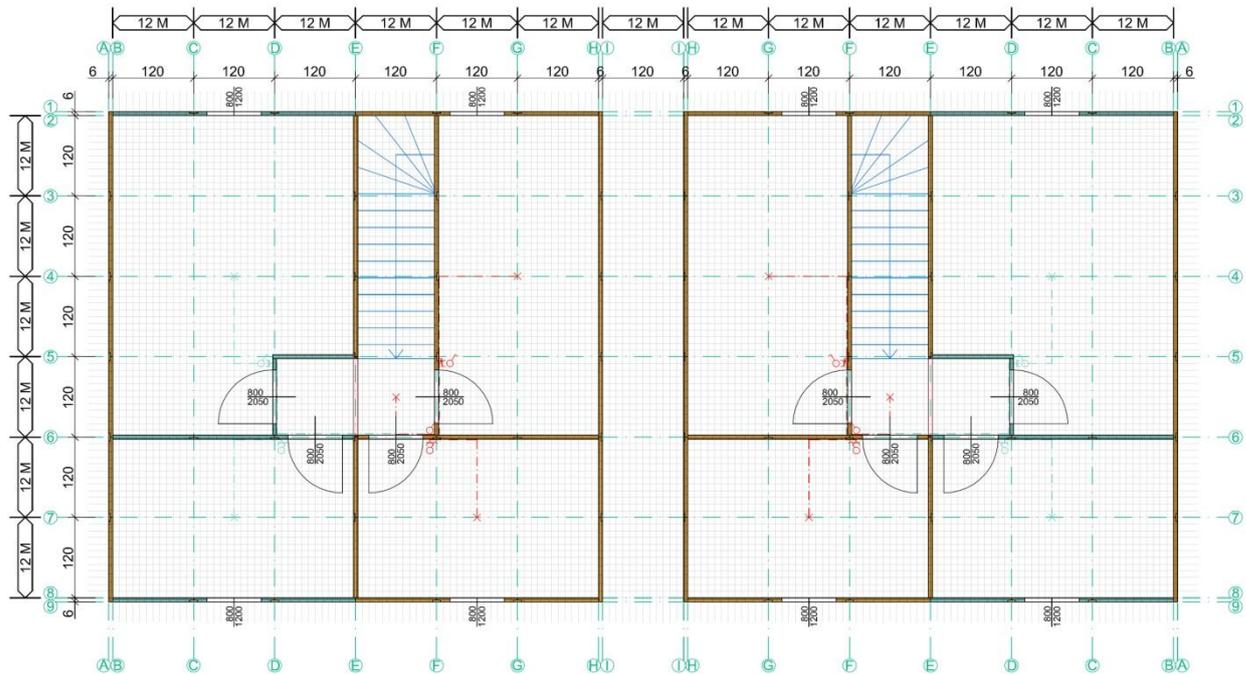


Abbildung 4.32: Grundriss des Obergeschosses zweier Häuser (Erweiterungsstufe)

Im folgenden Abschnitt werden die Ausführungsvarianten näher beschrieben und die Bauteilaufbauten detailliert dargestellt. Die Aufbauten der Ausbaustufe „Graz“ sind deshalb genauer zu betrachten, da die anschließende Bemessung der Brettsperrholz-Module Eigengewichtslasten dieser Ausbaustufe berücksichtigt. Somit kann sichergestellt werden, dass auch bei einem Ausbau auf die dritte Stufe des Gebäudes keine Überschreitung der Belastbarkeit entsteht. Auch wenn Bewohner in informellen Siedlungen oder in Slums vermutlich nicht den Aufbau der Ausbaustufe „Graz“ mit der hohen bauphysikalischen Qualität verwenden werden, so wird zumindest bereits ein zusätzlicher Aufbau zu der ursprünglichen „rohen“ Platte bei der Bemessung berücksichtigt. Werden die Lasten insgesamt eingehalten, so besteht keine Gefahr einer unterdimensionierten Tragkonstruktion.

### 4-3.2 AUSFÜHRUNGSVARIANTEN

Das Gebäude lässt sich zusätzlich zur initialen und erweiterten Ausbauphase in zwei Ausbaustandards gliedern. Es wird dabei zwischen einem Haus in Basisausführung (Aufbau „Basic“) ohne jegliche Ausbaumaßnahmen und einem Haus mit einem Ausbaustandard für Grazer Ansprüche (Aufbau „Graz“) unterschieden. Statisch gesehen wird jedes Haus so betrachtet, als ob es den vollen Ausbaustandard erreicht hätte.

Die Basisausführung umfasst „rohe Platten“, also Böden, Wände und Decken, die keinen weiteren Aufbau als die Brettsperrholzplatte aufweisen. Lediglich der Boden Richtung Erde wird vorab mit Wärmedämmung und Abdichtung versehen, da ein späteres Aufbringen dieser Komponenten nicht mehr einfach möglich ist. Das Steildach wird außenseitig ebenfalls bereits mit einer Abdichtung ausgeführt. Im Inneren des Gebäudes werden die notwendigsten Sanitärgegenstände sowie eine kleine Küche inklusive Sanitär- und Elektroinstallationen eingebaut. Jedes Zimmer erhält einen Anschluss für eine Deckenbeleuchtung und eine Steckdose. Für Türen und Fenster sind einfachste Ausführungen

vorgesehen. Im Zuge von Erweiterungen oder Verbesserungen können die Bewohner ihre Häuser ausbauen. Wärmedämmung und Fußböden können später hinzugefügt werden. Sämtliche Installationen sind sichtbar, also Aufputz ausgeführt, so dass Fehler oder Mängel einfach erkannt werden können und eine hohe Übersichtlichkeit gegeben ist. Bei den Ausbaumaßnahmen können diese gebäudetechnischen Elemente bei Bedarf mit einer Vorsatzkonstruktion verdeckt werden.

Die zweite Variante umfasst ein Haus, welches auf den Grazer Standard ausgelegt ist. Sowohl am Dach als auch an den Wänden werden wärmeschutztechnische Anforderungen laut OIB-Richtlinien [196] eingehalten. Auch die Fußböden erhalten Aufbauten, um ein adäquates Wohnen mit hiesigen Standards zu ermöglichen. In Abbildung 4.33 ist ein Schnitt des Hauses in der Ausbaustufe „Graz“ dargestellt.

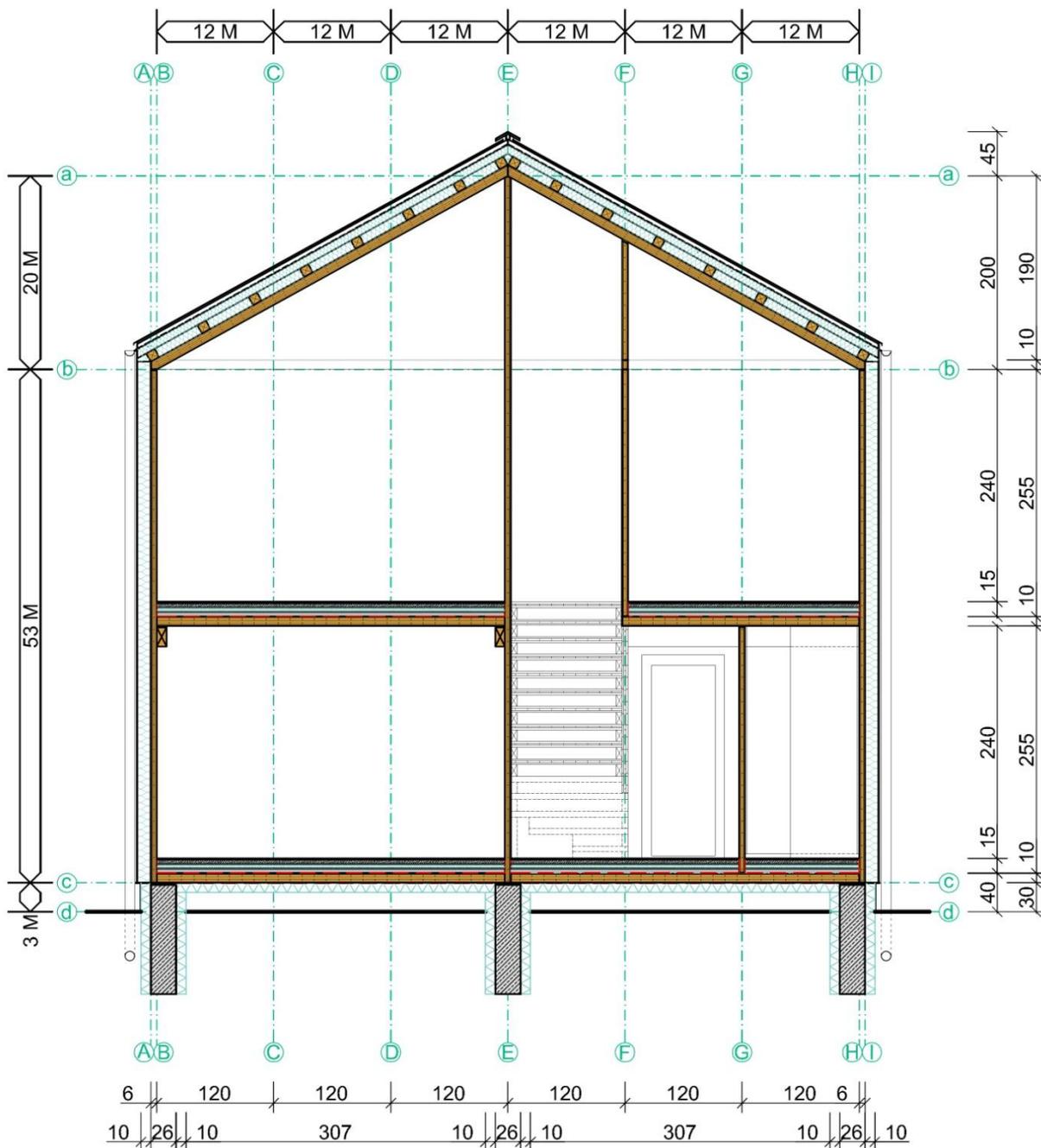


Abbildung 4.33: Schnitt A-A eines Hauses der Ausbaustufe "Graz"

## 4-3.3 BAUTEILAUFBAUTEN

### 4-3.3.1 Außenwandaufbau

#### Aufbau „Basic“:

Die Wände der Basisvariante werden lediglich von 60 mm dicken, gleichmäßig aufgebauten, dreischichtigen Brettsperrholzplatten gebildet. Ein Feuchtigkeitsschutz der Außenseite erfolgt durch einen witterungsbeständigen Holzschutanstrich.

#### Aufbau „Graz“:

Alle Außenwände besitzen modulare Abmessungen und bestehen aus einer 60 mm dicken, gleichmäßig aufgebauten, dreischichtigen Brettsperrholzplatte. Die Wärmedämmforderungen werden durch eine 80 mm dicke und eine darüber liegende 60 mm dicke Holzweichfaserplatte eingehalten. Diese werden auf die Brettsperrholzplatte geklebt, anschließend mittels Fassadendübel zusätzlich gesichert und mit mineralischem Putz verputzt. Sämtliche Fugen der Brettsperrholzplatten sind winddicht auszuführen. Dazu sind Dichtbänder in den Stößen einzulegen. Laut OIB Richtlinie 6 ist ein Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) von 0,35 W/m<sup>2</sup>K einzuhalten [162]. Abbildung 4.34 zeigt den Wandaufbau der Außenwand und in Tabelle 4.1 sind die Baustoffkennwerte der Außenwand dargestellt.

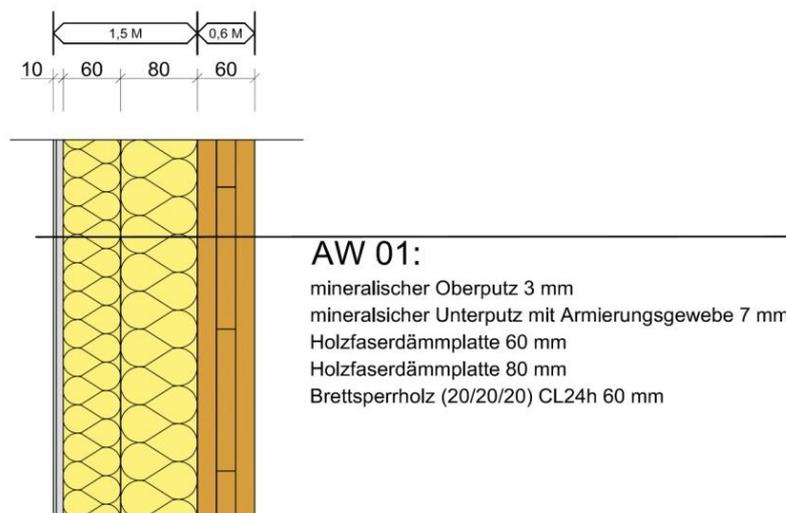


Abbildung 4.34: Wandaufbau Außenwand

Tabelle 4.1: Baustoffkennwerte Außenwand

Baustoff	Dicke d [m]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]	d/λ [m <sup>2</sup> K/W]	Rohdichte γ [kN/m <sup>3</sup> ]	Eigengewicht [kN/m <sup>2</sup> ]
mineralischer Putz	0,001	0,81*	0,001	17,0*	0,17
Holzfaserdämmplatte	0,140	0,045**	3,111	2,3**	0,32
Brettsperrholz	0,060	0,13*	0,462	5,0*	0,30

\*... Werte aus [163] entnommen    \*\*... Werte aus [164] entnommen

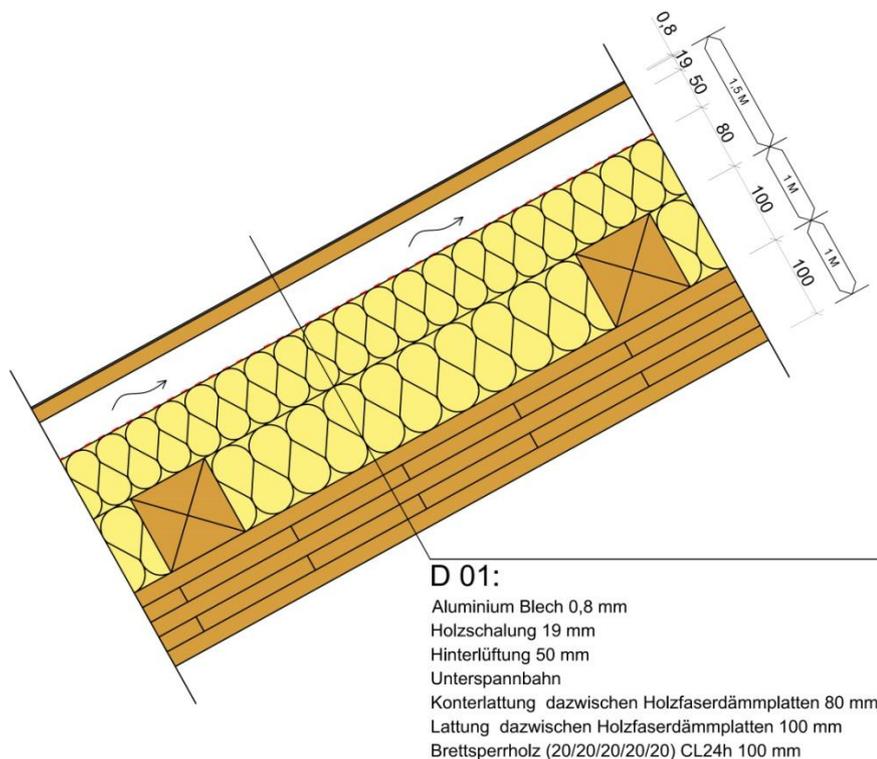
### 4-3.3.2 Dachaufbau

#### Aufbau „Basic“:

Der Basisaufbau des Daches besteht aus 100 mm dicken, gleichmäßig aufgebauten, fünfschichtigen Brettsperrholzplatten. Der Feuchtigkeitsschutz kann durch ein Aluminiumblech oder durch eine bituminöse Dachabdichtung erfolgen. Im Nassbereich erfolgt der Feuchtigkeitsschutz durch Gipskartonplatten, die für Feuchträume geeignet sind und im Dünnbettverfahren aufgeklebte keramische Fliesen.

#### Aufbau „Graz“:

Das Dach ist ebenfalls modular aufgebaut. Jedes Dachmodul besteht aus einer 100 mm dicken, gleichmäßig aufgebauten fünfschichtigen, Brettsperrholzplatte. Die Wärmedämmforderungen werden durch eine 100 mm und einer 80 mm dicken Schicht aus Holzweichfaserplatten, welche zwischen einer Lattung bzw. Konterlattung eingebracht werden, eingehalten. Außerhalb der Dämmebene sorgt eine diffusionsoffene Unterspannbahn für zusätzlichen Feuchtigkeitsschutz. Darüber wird außerhalb einer 50 mm hohen Hinterlüftungsebene eine 19 mm dicke Holzschalung verlegt, auf welcher anschließend ein Aluminiumblech im Doppelstehfalz montiert wird. Sämtliche Fugen der Brettsperrholzplatten sind winddicht auszuführen. Dazu sind Dichtbänder in den Stößen einzulegen. Laut OIB Richtlinie 6 ist ein Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) von 0,20 W/m<sup>2</sup>K einzuhalten [162]. Abbildung 4.35 zeigt den Dachaufbau und in Tabelle 4.2 sind die Baustoffkennwerte der Dachmodule dargestellt.



**Abbildung 4.35: Dachaufbau**

**Tabelle 4.2: Baustoffkennwerte Dach**

Baustoff	Dicke d [m]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]	d/λ [m²K/W]	Rohdichte γ [kN/m³]	Eigengewicht [kN/m²]
Aluminium Blech	0,0008	201*	0,000	27,0*	0,02
Holzschalung	0,019	0,13*	0,146	5,0*	0,10
Holzfaserdämmplatten zwischen Konterlattung	0,080	0,05*	1,600	3,0*	0,24
Holzfaserdämmplatten zwischen Lattung	0,100	0,05*	2,000	3,0*	0,30
Brettsper Holz	0,100	0,13*	0,769	5,0*	0,50

\*... Werte aus [163] entnommen

Aus Tabelle 4.2 ergibt sich ein Eigengewicht des Dachaufbaus von 1,16 kN/m². Folien, Abdichtungsbahnen sowie die Hinterlüftung wurden dabei nicht berücksichtigt.

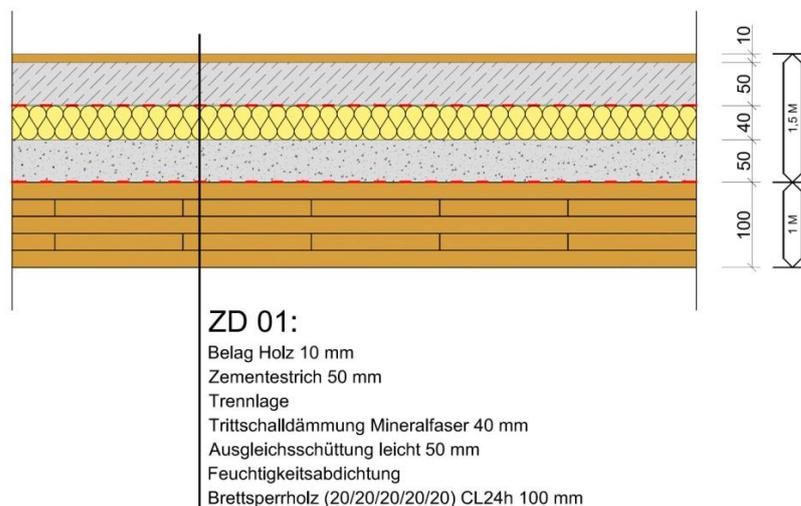
### 4-3.3.3 Deckenaufbau

#### Aufbau „Basic“:

Der Basisaufbau der Decke besteht aus 100 mm dicken, gleichmäßig aufgebauten, fünfschichtigen Brettsper Holzplatten.

#### Aufbau „Graz“:

In der verbesserten Variante besteht die Decke neben der Brettsper Holzplatte, aus einer Feuchtigkeitsabdichtung mit darüberliegender Schüttung. Um das Eigengewicht der Decke zu reduzieren, wird eine leichte Ausgleichsschüttung nach [165] verwendet. Der Trittschallschutz erfolgt durch eine 40 mm dicke Schicht aus Trittschalldämmplatten aus Mineralfaser. Anschließend wird oberhalb einer Trennlage ein 50 mm dicker Zementestrich verlegt, auf dem ein 10 mm dicker Fußbodenbelag aus Holz geklebt wird. Abbildung 4.36 zeigt den Deckenaufbau und in Tabelle 4.3 sind die Baustoffkennwerte der Deckenmodule dargestellt.



**Abbildung 4.36: Aufbau Zwischendecke**

**Tabelle 4.3: Baustoffkennwerte Zwischendecke**

Baustoff	Dicke d [m]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]	d/λ [m²K/W]	Rohdichte γ [kN/m³]	Eigengewicht [kN/m²]
Holzbelag	0,010	0,13*	0,077	5,0*	0,05
Zementestrich	0,050	1,35**	0,037	21,0**	1,05
Trittschalldämmung Mineralfaser	0,040	0,04*	1,000	2,0*	0,08
Ausgleichsschüttung leicht	0,050	0,09***	0,556	4,0***	0,20
Brettsperrholz	0,100	0,13*	0,769	5,0*	0,50

\*...Werte aus [163] entnommen    \*\*...Werte aus [166] entnommen    \*\*\*...Werte aus [165] entnommen

Aus Tabelle 4.3 ergibt sich ein Eigengewicht des Dachaufbaus von 1,88 kN/m². Folien und Abdichtungsbahnen, etc. wurden dabei nicht berücksichtigt.

#### 4-3.3.4 Bodenaufbau

##### **Aufbau „Basic“:**

Der Basisaufbau des Bodens besteht aus 100 mm dicken, gleichmäßig aufgebauten, fünfschichtigen Brettsperrholzplatten, auf denen bereits vor der Montage der Bodenmodule 100 mm dicke XPS Platten geklebt wurden. Ein zusätzlicher bituminöser Anstrich schützt vor Feuchtigkeit. Im Nassbereich wird der Feuchtigkeitsschutz durch eine Feuchtigkeitsabdichtung sowie einer 200 mm hoch eingebauten Duschwanne aus Kunststoff erreicht. Der erhöhte Einbau ist durch die Abwasserrohre bedingt, da diese hinter der Duschwand beim Waschbecken gesammelt nach außen geführt werden. Ebenso dient der erhöhte Einbau der Inspektionsmöglichkeit für etwaigen Wasseraustritt auf die darunter befindliche Abdichtung.

##### **Aufbau „Graz“:**

Im Zuge des Ausbaus des Hauses ist ein 150 mm hoher Fußbodenaufbau im gesamten Haus vorgesehen. Auf die 100 mm dicken Brettsperrholzmodule wird (wie bei der Decke) eine Feuchtigkeitsabdichtung, eine 50 mm dicke Schicht aus leichter Ausgleichsschüttung nach [165], eine 40 mm dicke Trittschalldämmung aus Mineralfaser sowie oberhalb einer Trennlage ein 50 mm dicker Zementestrich aufgebracht, auf dem abschließend ein 10 mm dicker Fußbodenbelag geklebt wird. Im Nassbereich ist ein Fliesenbelag und im restlichen Haus ein Belag aus Holz vorgesehen. Abbildung 4.37 zeigt den Bodenaufbau und in Tabelle 4.4 sind die Baustoffkennwerte der Bodenmodule dargestellt.

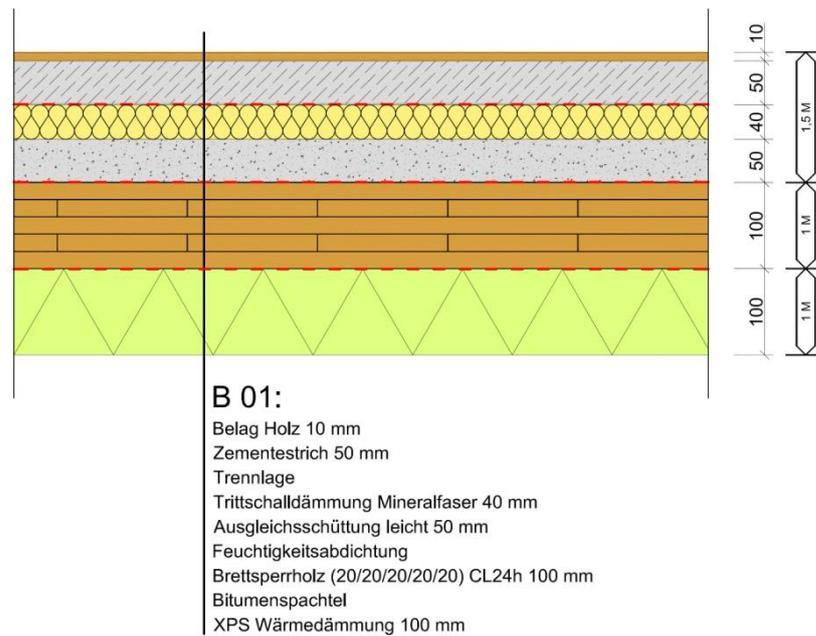


Abbildung 4.37: Bodenaufbau

Tabelle 4.4: Baustoffkennwerte Boden

Baustoff	Dicke d [m]	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ [W/mK]	$d/\lambda$ [m <sup>2</sup> K/W]	Rohdichte $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Eigengewicht [kN/m <sup>2</sup> ]
Holzbelag	0,010	0,13*	0,077	5,0*	0,05
Zementestrich	0,050	1,35**	0,037	21,0**	1,05
Trittschalldämmung Mineralfaser	0,040	0,04*	1,000	2,0*	0,08
Ausgleichsschüttung leicht	0,050	0,09***	0,556	4,0***	0,20
Brettsperrholz	0,100	0,13*	0,769	5,0*	0,50
XPS Dämmung	0,100	0,044*	2,273	0,15*	0,02

\*...Werte aus [163] entnommen \*\*...Werte aus [166] entnommen \*\*\*...Werte aus [165] entnommen

Aus Tabelle 4.4 ergibt sich ein Eigengewicht des Dachaufbaus von 1,90 kN/m<sup>2</sup>. Folien und Abdichtungsbahnen, etc. wurden dabei nicht berücksichtigt.

### 4-3.4 HOLZAUSZUG

In diesem Abschnitt werden die Kosten für die Holzbauteile ermittelt. Tabelle 4.5 gibt einen Überblick über die Preise für Holz und Abbund. Montagekosten und Kosten für Sonderausschnitte sowie Kantenbearbeitungen sind nicht inkludiert. Es wird lediglich ein rechteckiger Querschnitt verrechnet.

Tabelle 4.5: Preise für Holzbauteile

Preise			
Baustoff	Materialpreise	Abbundpreise	Anmerkungen zu den Preisen
CL24h 60 mm (20/20/20) NSI	650 €/m <sup>3</sup>	40 €/Stk	Abbundpreis gilt für rechteckigem Zuschnitt
CL24h 100 mm (20/20/20/20/20) NSI	550 €/m <sup>3</sup>	50 €/m <sup>3</sup>	Abbundpreis gilt für rechteckigem Zuschnitt
C24 Konstruktionsvollholz Fichte NSI	320 €/m <sup>3</sup>	-	Standardlänge 13,0 m
19 mm 3s-Platte BC-Qualität	800 €/m <sup>3</sup>	-	Preis inkl. Zuschnitt

Quelle: Dipl. Ing. Georg Jeitler, HASSLACHER Holding GmbH, August 2017

Eine Aufschlüsselung der einzelnen Positionen ist in Tabelle 4.6 gegeben. Insgesamt betragen die Kosten für die Holzbauteile der Grundstufe des Hauses ca. 22.000 €. In etwa 6.000 € sind zusätzlich erforderlich, um das Haus zu erweitern.

Tabelle 4.6: Holzverbrauch und Kosten der Basisvariante

Holzverbrauch und Kosten Basisvariante							
	Bauteil Art	Baustoff	Gesamtvolumen [m <sup>3</sup> ]	Materialpreise [€/m <sup>3</sup> ]	Materialkosten [€]	zusätzliche Abbundkosten	Gesamtkosten Holz
Grundstufe	Wandmodule	CL24h 60 mm (20/20/20) NSI	12,62	650,00	8205,20	1560,00	9765,20
	Stiege	CL24h 60 mm (20/20/20) NSI	0,59	650,00	384,04	1040,00	1424,04
	Zwischendeckenmodule	CL24h 100 mm (20/20/20/20/20) NSI	4,70	550,00	2586,17	235,11	2821,28
	Bodenmodule	CL24h 100 mm (20/20/20/20/20) NSI	5,11	550,00	2811,01	255,55	3066,55
	Dachmodule	CL24h 100 mm (20/20/20/20/20) NSI	6,92	550,00	3804,29	345,84	4150,14
	Deckenbalken	C24 100/200 mm KVH Fichte NSI	0,52	320,00	167,91	0,00	167,91
	Dackbalken	C24 100/100 mm KVH Fichte NSI	0,85	320,00	271,36	0,00	271,36
	Türen und Fenster	C24 KVH Fichte NSI	0,43	320,00	138,00	0,00	138,00
	Stoßbretter	19 mm 3s-Platte BC-Qualität	0,31	800,00	246,24	0,00	246,24
Holzkosten Gebäude Grundstufe					18614 €	3436 €	22051 €
Erweiterungsstufe	Wandmodule	CL24h 60 mm (20/20/20) NSI	3,54	650,00	2302,92	520,00	2822,92
	Stiege	CL24h 60 mm (20/20/20) NSI	0,00	650,00	0,00	0,00	0,00
	Zwischendeckenmodule	CL24h 100 mm (20/20/20/20/20) NSI	2,56	550,00	1407,43	127,95	1535,38
	Bodenmodule	CL24h 100 mm (20/20/20/20/20) NSI	2,56	550,00	1407,43	127,95	1535,38
	Dachmodule	CL24h 100 mm (20/20/20/20/20) NSI	0,00	550,00	0,00	0,00	0,00
	Deckenbalken	C24 100/200 mm KVH Fichte NSI	0,00	320,00	0,00	0,00	0,00
	Dackbalken	C24 100/100 mm KVH Fichte NSI	0,00	320,00	0,00	0,00	0,00
	Türen und Fenster	C24 KVH Fichte NSI	0,24	320,00	76,78	0,00	76,78
	Stoßbretter	19 mm 3s-Platte BC-Qualität	0,06	800,00	49,74	0,00	49,74
Holzkosten Gebäude Erweiterungsstufe					5244 €	776 €	6020 €

In den folgenden Plänen sind die Abmessungen sowie die Anzahl der benötigten Module eines Hauses dargestellt. Bei den Bauteilen wurde bereits das errechnete Toleranzmaß aus Abschnitt 3-1.5.1 berücksichtigt.

<p><b>Legende Kantenausbildung:</b></p> <p>SK ... stumpfe Kante                      SF ... Stufenholz ø2 mm, 50 mm in Breite (b)                      F SB ... Falt für Stoßbrett d<sub>0</sub> = 19 / 50 mm                      WS D ... Winkelschnitt in dachförmig mit 29°                      WS E ... Winkelschnitt schräg einfach mit 29°                      (d ... Dicke des Baustoffes)</p> <p>Die exakte Kantenausbildung ist aus den Grundrissplänen und Schnitten zu entnehmen!!!</p>	<h1>GRUNDSTUFE</h1>									
<p><b>Wandmodule</b></p>	<p>8Stk, 4Stk, 2Stk, 3Stk, 1Stk, 3Stk, 1Stk, 1Stk, 1Stk, 2Stk, 2Stk, 2Stk, 1Stk, 2Stk, 1Stk, 1Stk, 1Stk, 1Stk, 2Stk</p>									
<p><b>Deckenmodule</b></p>	<p>5Stk, 5Stk, 1Stk</p>									
<p><b>Bodenmodule</b></p>	<p>3Stk, 7Stk, 1Stk, 1Stk</p>									
<p><b>Dachmodule</b></p>	<p>2Stk, 4Stk, 2Stk, 4Stk</p>									
<p><b>Stiegenmodule</b></p>	<p>9Stk, 1Stk, 1Stk, 1Stk, 1Stk, 1Stk, 1Stk, 2Stk, 1Stk, 1Stk, 1Stk, 1Stk, 1Stk, 1Stk, 1Stk, 1Stk</p>									
<p><b>Deckenbalken</b></p>	<p>2Stk, 2Stk, 2Stk</p>									
<p><b>Dachbalken</b></p>	<p>14Stk, 10Stk, 10Stk</p>									
<p><b>Fenster u. Türen</b></p>	<p>siehe Holzauzug (nur rechteckige Querschnitte, außer T01h (Nut- und Federbrett))</p> <p>Querschnitt T01h</p>									

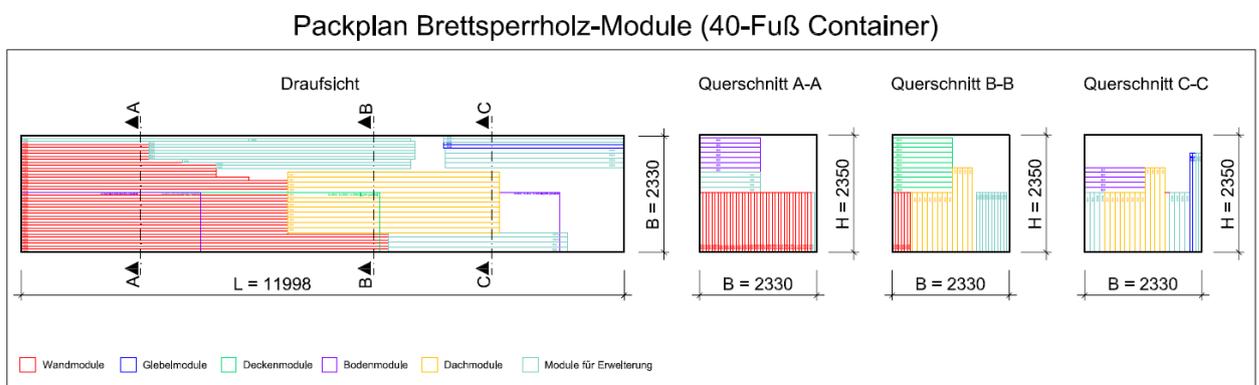
Abbildung 4.38: Holzauzug Grundstufe

ERWEITERUNGSTUFE	
<p><b>Legende Kantenausbildung:</b></p> <p>SK ... stumpfe Kante            SF ... Stufenfalz d/2 mm, 50 mm in Breite (b)            F SB ... Falz für Stoßbrett d/2 + 19 / 50 mm            WS D ... Winkelschnitt in dachförmig mit 29°            WS E ... Winkelschnitt schräg einfach mit 29°            (d ... Dicke des Baustoffes)</p> <p>Die exakte Kantenausbildung ist aus den Grundrissplänen und Schnitten zu entnehmen!!!</p>	
<p><b>Wandmodule</b></p>	<p>4 Stk, 1 Stk, 2 Stk</p>
<p><b>Deckenmodule</b></p>	<p>2 Stk, 4 Stk</p>
<p><b>Bodenmodule</b></p>	<p>2 Stk, 4 Stk</p>
<p><b>Dachmodule</b></p>	keine Bauteile erforderlich
<p><b>Stiegenmodule</b></p>	keine Bauteile erforderlich
<p><b>Deckenbalken</b></p>	keine Bauteile erforderlich
<p><b>Dachbalken</b></p>	keine Bauteile erforderlich
<p><b>Fenster u. Türen</b></p>	<p>siehe Holzauszug (nur rechteckige Querschnitte, außer T01h (Nut- und Federbrett))</p> <p>Querschnitt T01h</p>

Abbildung 4.39: Holzauszug Erweiterungsstufe

### 4-3.5 PACKPLAN

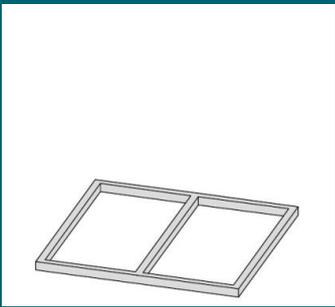
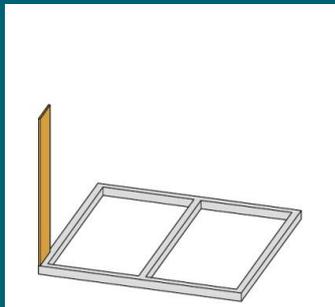
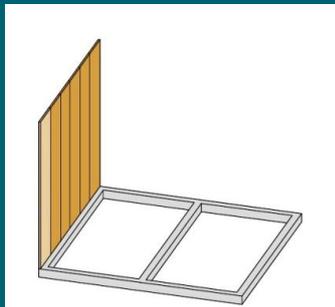
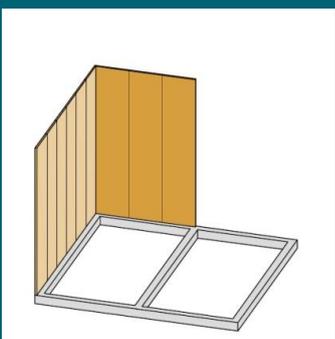
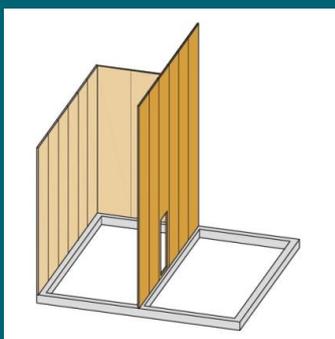
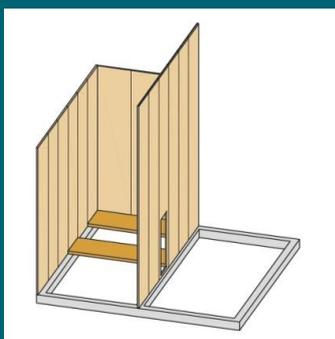
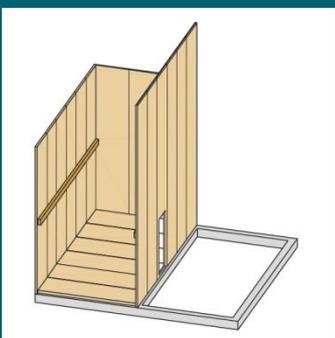
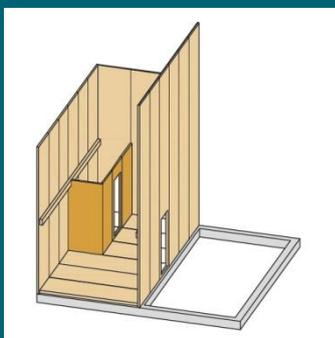
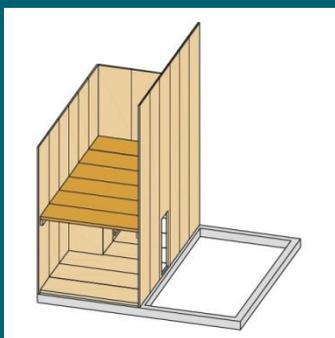
Das Ziel des Hauskonzepts ist es, einen Bausatz vollständig vorfertigen zu können. Entweder wird dieser Bausatz im jeweiligen Land, in dem die Häuser errichtet werden sollen, hergestellt und mittels LKW zur Baustelle transportiert oder die Fertigung findet in anderen Ländern (wie beispielsweise Österreich) statt. Letzteres bedingt einen Transport per Schiff, wenn die Häuser außerhalb Europas eingesetzt werden sollen. Für die Verschiffung werden wie in Abschnitt 2-4.2.3 besprochen, genormte Transportcontainer eingesetzt. Um das Transportvolumen abschätzen zu können, wurde ein Packplan erstellt, der angibt, welche Größe die Container aufweisen müssen und wie viele Hausbausätze pro Container verladen werden können. Es zeigt sich, dass pro Haus ein 40-Fuß großer Transportcontainer erforderlich ist. In Abbildung 4.40 ist der Packplan eines Hausbausatzes dargestellt. Kleinere Bauteile wie Dachbalken, Deckenbalken sowie Bauteile für Treppen, Türen und Fenster sind dabei nicht eingezeichnet. Diese Bauteile sowie die benötigten Verbindungsmittel finden aber in den verbliebenen Restflächen ausreichend Platz.



### 4-3.6 MONTAGEPLAN

Nach dem Transport der Module zur Baustelle werden diese zu einem Haus zusammengefügt. Der grundsätzliche Montageablauf der Grundstufe eines Hauses ist in Tabelle 4.7 und jener der Erweiterungsstufe in Tabelle 4.8 ersichtlich. Diese Ablaufpläne der Montage dienen nur dem Überblick und sind keinesfalls als vollständig zu betrachten. Abstützungs- und Sicherungsmaßnahmen sind immer, soweit erforderlich, durchzuführen. Eine detaillierte Darstellung des Montageablaufes bezüglich der Einrichtung der Module, der genauen Lagerung sowie der Verschraubung ist nicht enthalten, da hiermit nur das allgemeine Konzept der Montage des Hausbausatzes vorgestellt werden soll.

**Tabelle 4.7: Montageschritte für die Errichtung des Hauses in der Grundstufe**

Montagestufe 1	Montagestufe 2	Montagestufe 3
 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorbereiten des Fundamentes</li> <li>- Toleranzausgleich herstellen</li> <li>- Montagewinkel befestigen</li> <li>- elastische Lager anbringen</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- erstes Wandmodul aufstellen, abstützen und mit Montagewinkel verschrauben</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Seitenwand errichten und abstützen</li> <li>- Verbinden der Wandmodule mit Falzbrettern</li> </ul>
Montagestufe 4	Montagestufe 5	Montagestufe 6
 <ul style="list-style-type: none"> <li>- unteren Teil der hinteren Giebelwand errichten</li> <li>- Verbindung mit Seitenwand herstellen</li> <li>- Verbinden der Wandmodule mit Falzbrettern</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mittelwand errichten und abstützen</li> <li>- Verbindung mit Giebelwand herstellen</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bodenmodule einlegen</li> <li>- Verbindung der Bodenmodule untereinander</li> </ul>
Montagestufe 7	Montagestufe 8	Montagestufe 9
 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Deckenbalken an Seitenwand und Mittelwand anbringen</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Innenwandmodule im Erdgeschoss einbauen und mit den Außenwänden sowie dem Boden verschrauben</li> <li>- Treppe einbauen</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Deckenmodule einheben und untereinander verbinden</li> <li>- Verschraubung der Deckenmodule mit den Deckenbalken</li> </ul>

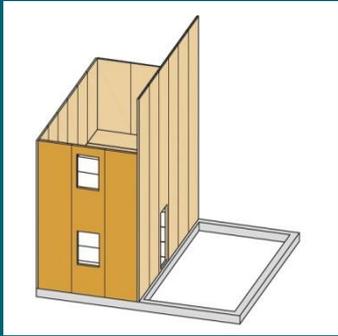
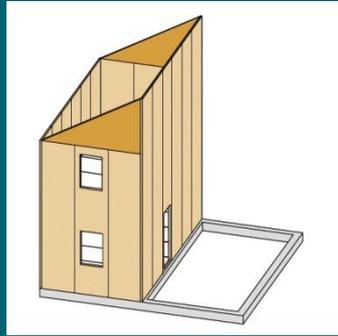
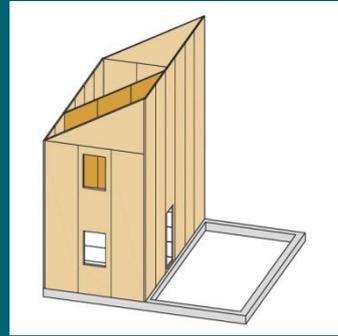
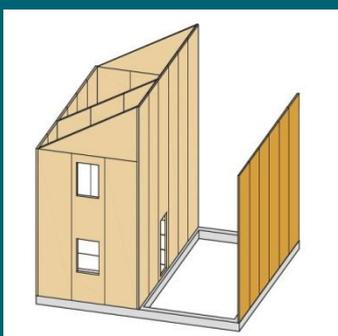
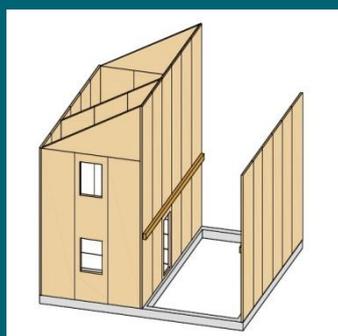
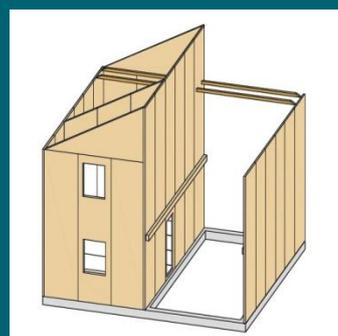
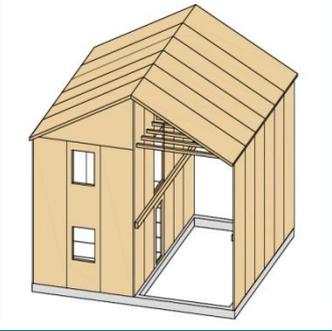
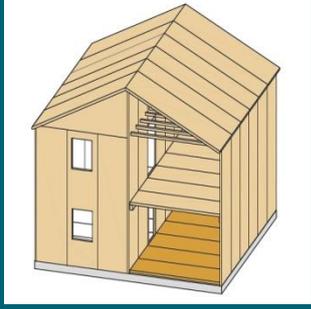
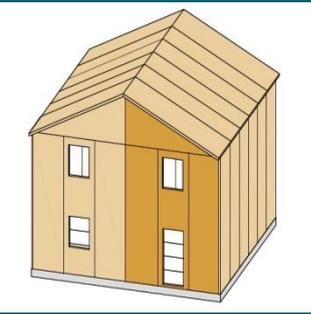
Montagestufe 10	Montagestufe 11	Montagestufe 12
 <ul style="list-style-type: none"> <li>- unteren Teil der vorderen Giebelwand errichten</li> <li>- Verbindung mit Seiten- und Mittelwand herstellen</li> <li>- Falzbretter montieren</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- oberen Teil der beiden Giebelwände einheben und mit den unteren Giebelwandmodulen sowie der Mittelwand verschrauben</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Innenwände im Obergeschoss einbauen und mit Außenwänden sowie der Decke verbinden</li> </ul>
Montagestufe 13	Montagestufe 14	Montagestufe 15
 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Errichtung der zweiten Seitenwand</li> <li>- Abstützen der Seitenwand und Verbinden der Module mit Falzbrettern</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Deckenbalken im Erweiterungsbereich einbauen</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einbau der Montagewinkel aus Stahl für die Befestigung der Dachbalken</li> <li>- Einheben der Dachbalken und verschrauben mit den Stahlwinkeln</li> </ul>
Montagestufe 16	Fertigstellung Grundstufe	
 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dachmodule einheben, miteinander verschrauben und mit den Dachbalken verbinden</li> <li>- Verschraubung der Dachmodule mit den Seiten- und Giebelwänden</li> </ul>	<p>Das Haus in der Grundstufe ist nun fertiggestellt. Es müssen noch die Dachdeckung sowie ein Witterungsschutz für die Fassade aufgebracht und gebäudetechnische Installationen vorgenommen werden. Zusätzlich müssen Türen und Fenster zusammengebaut und in die Öffnungen eingesetzt werden.</p>	

Tabelle 4.8: Montagestufen für die Errichtung des Hauses in der Erweiterungsstufe

Montagestufe 17	Montagestufe 18	Montagestufe 19
 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Öffnung zum Erweiterungsbereich im Obergeschoss herstellen</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einheben der Deckenmodule im Erweiterungsbereich</li> <li>- Verbinden der Deckenmodule untereinander</li> <li>- Verschrauben der Deckenmodule mit den Deckenbalken</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einlegen der Bodenmodule im Erweiterungsbereich</li> <li>- Verschrauben der Bodenmodule untereinander</li> </ul>
Montagestufe 20	Fertigstellung Erweiterung	
 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Errichtung der Giebelwände im Erweiterungsbereich</li> <li>- Verschrauben der Wandmodule untereinander mit Falzbrettern</li> <li>- Verbinden der Giebelwand mit Seitenwand, Mittelwand und Dach</li> </ul>	<p>Das Haus in der Erweiterungsstufe ist nun fertiggestellt. Es müssen noch der restliche Witterungsschutz für die Fassade aufgebracht und gebäudetechnische Installationen für den Erweiterungsbereich vorgenommen werden. Zusätzlich müssen Türen und Fenster für den Erweiterungsbereich zusammengebaut und in die Öffnungen eingesetzt werden.</p>	

## 4-4 STATISCHE BERECHNUNGEN

Im Folgenden werden statische Berechnungen durchgeführt, um die Machbarkeit des Projektes sowie die Standhaftigkeit des Gebäudes gegenüber äußeren Einwirkungen sicherzustellen. Für das Projekt werden Lastannahmen getroffen, die für den Standort Graz gelten. Die verwendeten Aufbauten sind nicht für die Basisvariante vorgesehen, jedoch können diese im Zuge einer Verbesserung in der in 4-3.3 gezeigten Weise erreicht werden, so dass mit den Lasten dieser Aufbauten gerechnet wird.

### 4-4.1 LASTAUFSTELLUNG

#### 4-4.1.1 Schneelast

Die Schneelast errechnet sich laut ÖNORM B 1991-1-3 [167] wie folgt:

$$s = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_i \quad (4.1)$$

Für Graz gilt:

$$s_k = 1,65 \frac{kN}{m^2}$$

Die Dachneigung des Hauses entspricht  $29^\circ \rightarrow \mu_1 = 0,8$ , wobei eine halbseitige Schneebelastung mit der halben Schneelast möglich ist. Für Österreich kann  $C_e$  und  $C_t = 1,0$  angenommen werden. Die Schneelast ergibt sich dann mit (4.1) zu:

$$s = 1,65 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 1,32 \frac{kN}{m^2}$$

#### 4-4.1.2 Windlast

Die Windlast errechnet sich laut ÖNORM B 1991-1-4 [168] wie folgt:

$$q_p = c_{e(z)} \cdot q_b \quad (4.2)$$

Das Haus verfügt über eine Gesamthöhe von ca. 8,10 m und ist damit in Geländekategorie II (Gebäude mit einer Mindesthöhe von  $z_{\min} = 5m$ ) einzuordnen. Für Österreich gilt  $q_p = q_{b,0}$  und für Graz:

$$q_{b,0} = 0,26 \frac{kN}{m^2}$$

$c_{e(z)}$  errechnet sich für Geländekategorie II wie folgt:

$$c_{e(z)} = \frac{q_p}{q_{b,0}} = 2,1 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24} \quad (4.3)$$

Mit der tatsächlichen Höhe von 8,10 m ergibt sich nach (4.3) ein  $c_{e(z)}$  von 2,00. Eingesetzt in (4.2) ergibt sich:

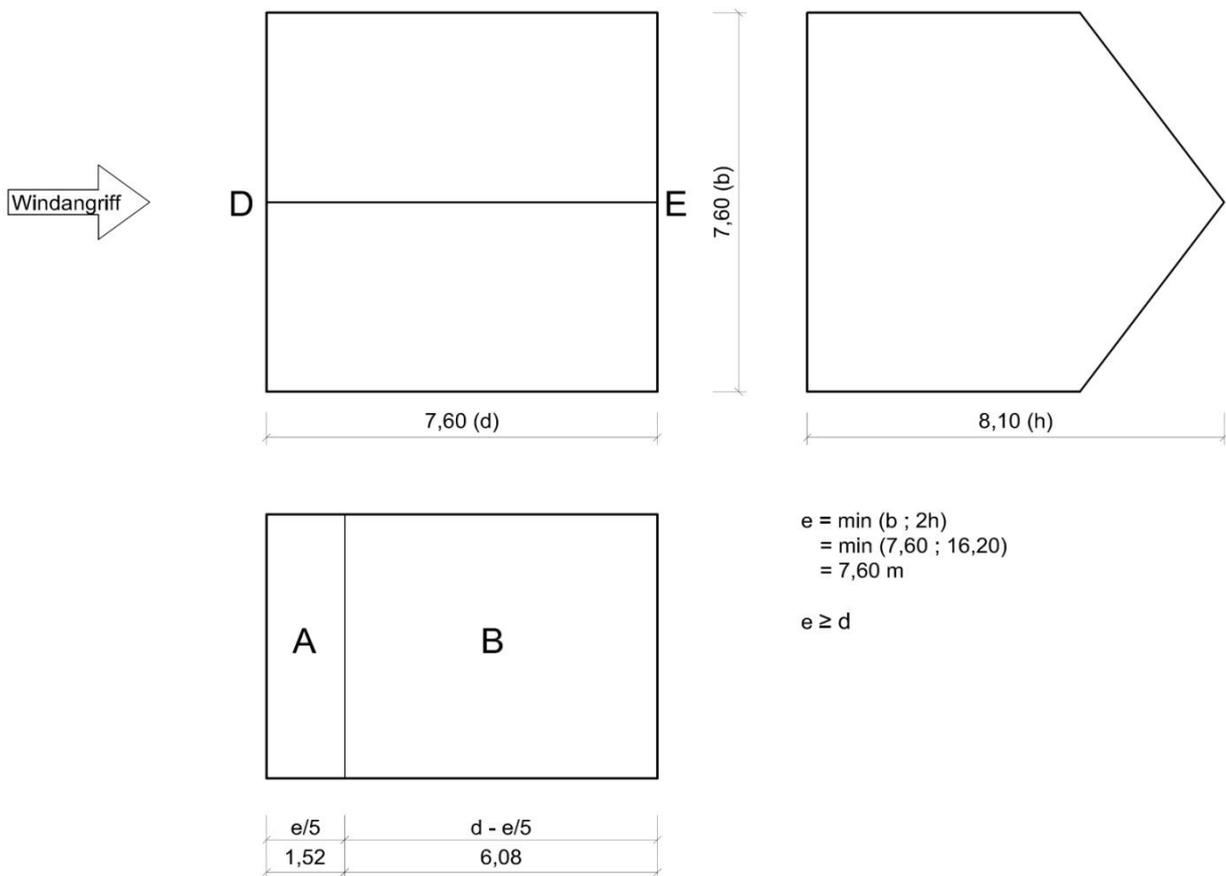
$$q_p = 2,00 \cdot 0,26 = 0,52 \frac{kN}{m^2}$$

Die Windbelastung kann nun mit folgender Formel ermittelt werden:

$$w = (c_{pe,10} - c_{pi}) \cdot q_p \quad (4.4)$$

mit den Innendruckbeiwerten  $c_{pi} = +0,20$  und  $c_{pi} = -0,30$

**Wind auf Seitenwand parallel zum First:**



**Abbildung 4.41: Zonierung Windangriff auf Seitenwand parallel zum First**

Mit einem  $\frac{h}{b} = \frac{8,10}{7,60} = 1,06$  und einem  $\frac{d}{b} = \frac{7,60}{7,60} = 1,0$  ergeben sich für die Zonen A, B, D und E folgende  $c_{pe,10}$  - Werte:

A:  $c_{pe,10} = -1,08$

B:  $c_{pe,10} = -0,74$

D:  $c_{pe,10} = +0,80$

E:  $c_{pe,10} = -0,32$

Mit Formel (4.4) und den Innendruckbeiwerten ergeben sich folgende Windbelastungen:

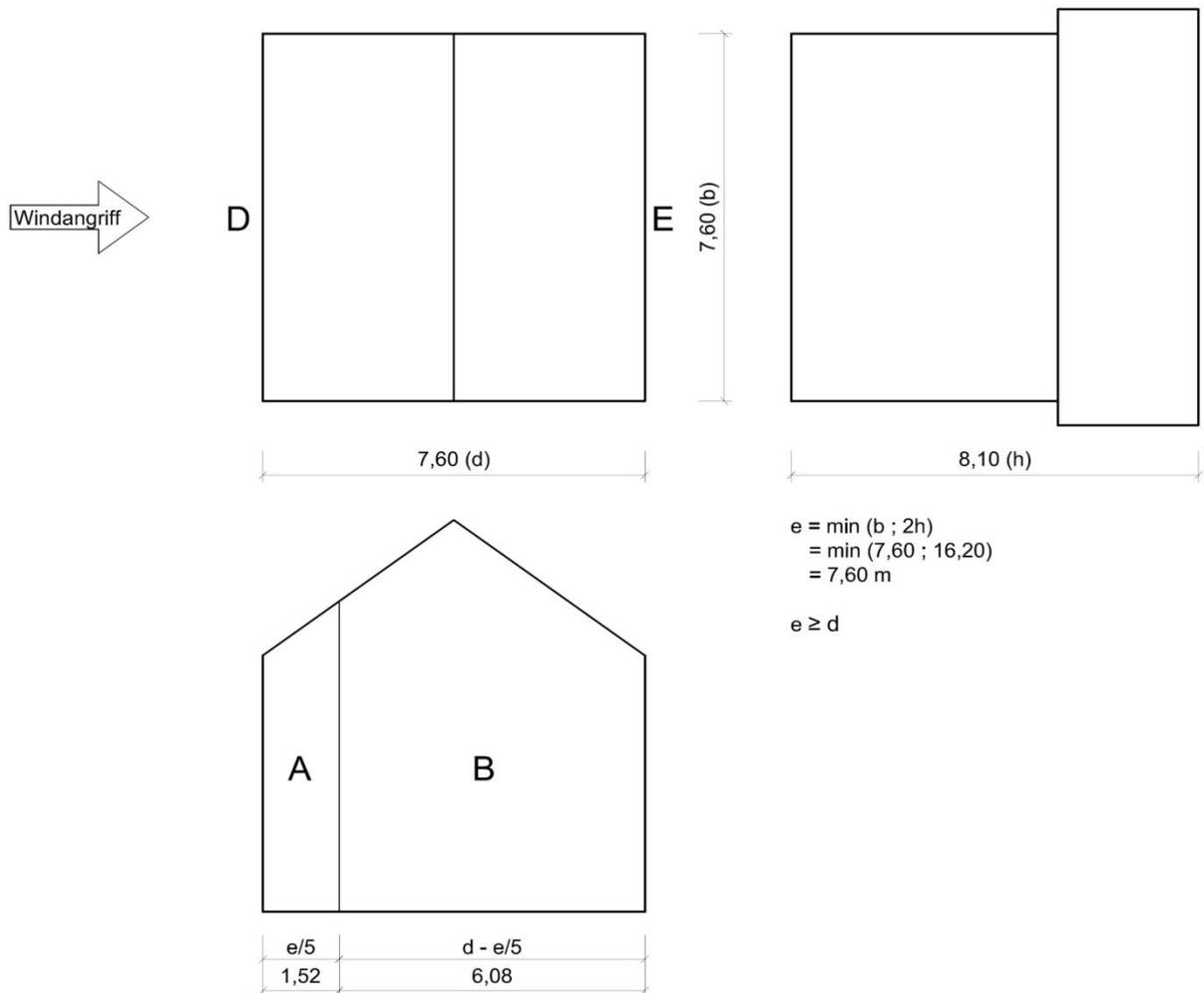
A:  $w_A = [-1,08 - 0,20] \cdot 0,52 = -0,67 \frac{kN}{m^2}$

B:  $w_B = [-0,74 - 0,20] \cdot 0,52 = -0,49 \frac{kN}{m^2}$

D:  $w_D = [0,80 - (-0,30)] \cdot 0,52 = +0,57 \frac{kN}{m^2}$

E:  $w_E = [-0,32 - 0,20] \cdot 0,52 = -0,27 \frac{kN}{m^2}$

**Wind auf Seitenwand normal zum First:**



**Abbildung 4.42: Zonierung Windangriff auf Seitenwand normal zum First**

Mit einem  $\frac{h}{b} = \frac{8,10}{7,60} = 1,06$  und einem  $\frac{d}{b} = \frac{7,60}{7,60} = 1,0$  ergeben sich für die Zonen A, B, D und E folgende  $c_{pe,10}$  – Werte:

A:  $c_{pe,10} = -1,08$

B:  $c_{pe,10} = -0,74$

D:  $c_{pe,10} = +0,80$

E:  $c_{pe,10} = -0,32$

Mit Formel (4.4) und den Innendruckbeiwerten ergeben sich folgende Windbelastungen:

A:  $w_A = [-1,08 - 0,20] \cdot 0,52 = -0,67 \frac{kN}{m^2}$

B:  $w_B = [-0,74 - 0,20] \cdot 0,52 = -0,49 \frac{kN}{m^2}$

D:  $w_D = [0,80 - (-0,30)] \cdot 0,52 = +0,57 \frac{kN}{m^2}$

E:  $w_E = [-0,32 - 0,20] \cdot 0,52 = -0,27 \frac{kN}{m^2}$

**Wind auf Dach parallel zum First:**

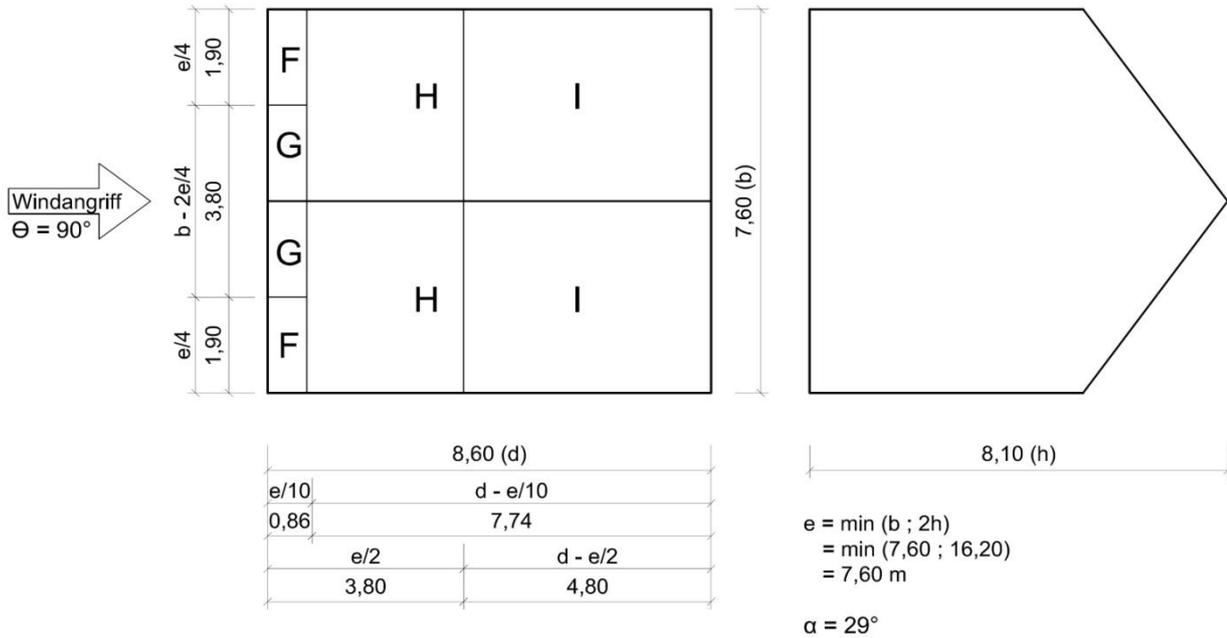


Abbildung 4.43: Zonierung Windangriff auf Dach parallel zum First

Mit  $\alpha = 29^\circ$  und  $\theta = 0^\circ$  ergeben sich für die Zonen F, G, H und I folgende  $c_{pe,10}$  – Werte:

F:  $c_{pe,10} = -1,11$

G:  $c_{pe,10} = -1,39$

H:  $c_{pe,10} = -0,79$

I:  $c_{pe,10} = -0,50$

Mit Formel (4.4) und den Innendruckbeiwerten ergeben sich folgende Windbelastungen:

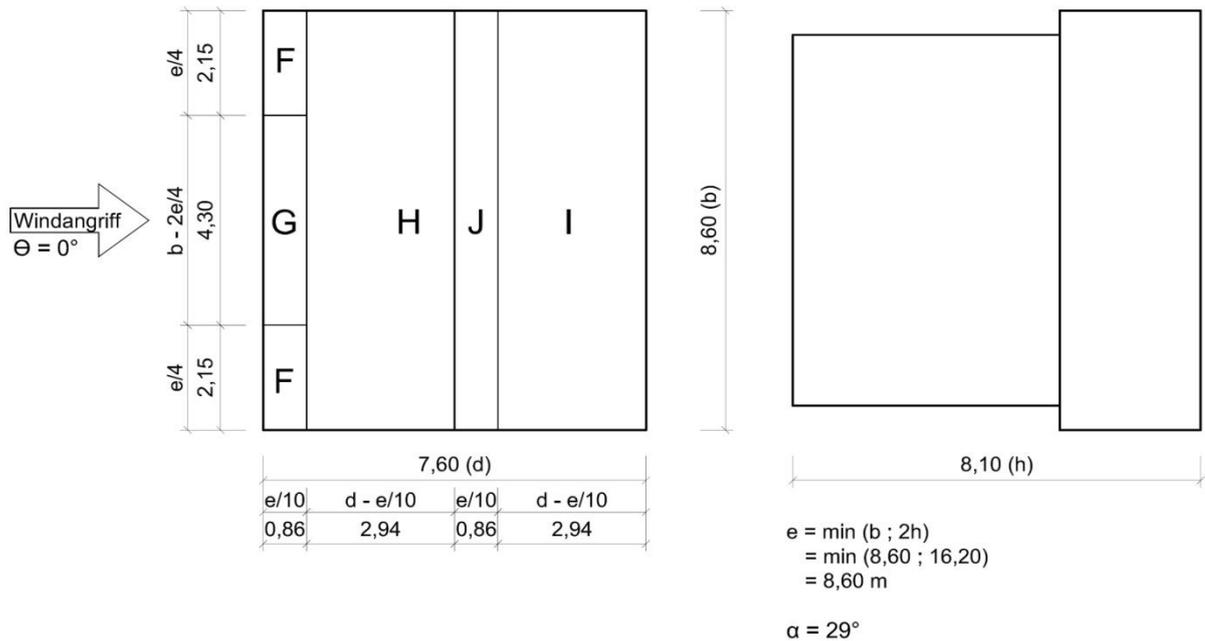
F:  $w_F = [-1,11 - 0,20] \cdot 0,52 = -0,68 \frac{kN}{m^2}$

G:  $w_G = [-1,39 - 0,20] \cdot 0,52 = -0,83 \frac{kN}{m^2}$

H:  $w_H = [-0,79 - 0,20] \cdot 0,52 = -0,52 \frac{kN}{m^2}$

I:  $w_I = [-0,50 - 0,20] \cdot 0,52 = -0,36 \frac{kN}{m^2}$

**Wind auf Dach normal zum First:**



**Abbildung 4.44: Zonierung Windangriff auf Dach normal zum First**

Mit  $\alpha = 29^\circ$  und  $\theta = 90^\circ$  ergeben sich für die Zonen F, G, H, I und J folgende  $c_{pe,10}$  – Werte:

F:  $c_{pe,10} = -0,53$  und  $+0,67$

G:  $c_{pe,10} = -0,52$  und  $+0,67$

H:  $c_{pe,10} = -0,21$  und  $+0,39$

I:  $c_{pe,10} = -0,40$  und  $+0,00$

J:  $c_{pe,10} = -0,53$  und  $+0,00$

Mit Formel (4.4) und den Innendruckbeiwerten ergeben sich folgende Windbelastungen:

F:  $w_{F,Sog} = [-0,53 - 0,20] \cdot 0,52 = -0,38 \frac{kN}{m^2}$

F:  $w_{F,Druck} = [0,67 - (-0,30)] \cdot 0,52 = +0,50 \frac{kN}{m^2}$

G:  $w_{G,Sog} = [-0,52 - 0,20] \cdot 0,52 = -0,37 \frac{kN}{m^2}$

G:  $w_{G,Druck} = [0,67 - (-0,30)] \cdot 0,52 = +0,50 \frac{kN}{m^2}$

H:  $w_{H,Sog} = [-0,21 - 0,20] \cdot 0,52 = -0,21 \frac{kN}{m^2}$

H:  $w_{H,Druck} = [0,39 - (-0,30)] \cdot 0,52 = +0,36 \frac{kN}{m^2}$

I:  $w_{I,Sog} = [-0,40 - 0,20] \cdot 0,52 = -0,31 \frac{kN}{m^2}$

I:  $w_{I,Druck} = [0,00 - (-0,30)] \cdot 0,52 = +0,16 \frac{kN}{m^2} = w_{J,Druck}$

J:  $w_{J,Sog} = [-0,53 - 0,20] \cdot 0,52 = -0,38 \frac{kN}{m^2}$

## 4-4.2 BERECHNUNG DER DACHMODULE

Die Berechnungen erfolgen nach EC 5 [169] bzw. nach den Unterlagen der Lehrveranstaltung Holzbau 1 (WS2014/15) und Holzbau 2 (SS2016) des Instituts für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz. Als Berechnungsprogramm wurde RuckZuck 6.0 [170] verwendet.

Auf die Dachmodule wirken das Eigengewicht, die Schneelast und die Windbelastung, die jedoch auch als Sogbelastung einwirken kann. Es wird deshalb zwischen zwei Lastfällen unterschieden:

- Lastfall I: maximaler Druck auf Dach (Schnee führend, Wind begleitend, Eigengewicht)
- Lastfall II: maximale Sogwirkung auf Dach (Wind führend, kein Schnee, Eigengewicht günstig angesetzt)

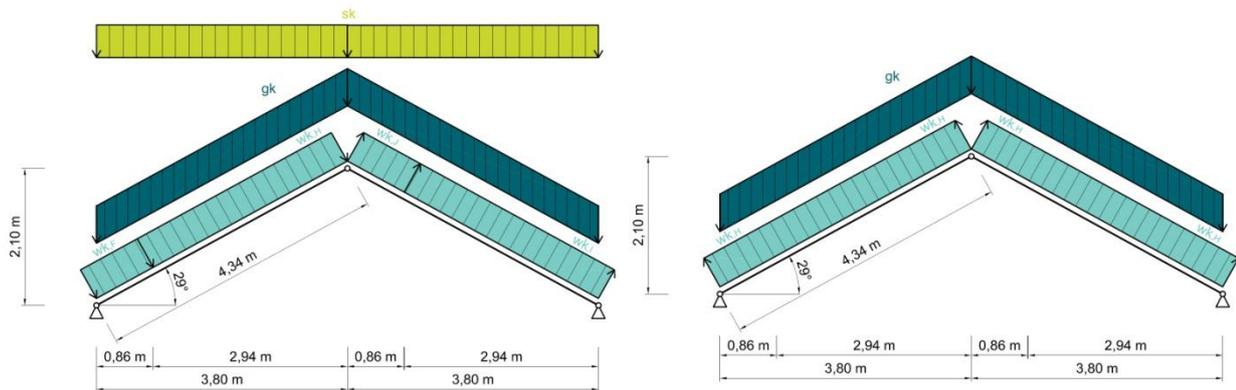


Abbildung 4.45: Belastungen Dachmodul: (links: Lastfall I, rechts: Lastfall II)

### 4-4.2.1 Lastfall I: maximale Druckbelastung

$$s_d = 1,50 \cdot 1,32 = 1,98 \frac{kN}{m^2}$$

$$g_d = 1,35 \cdot 1,16 = 1,56 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{d,F} = 1,50 \cdot 0,6 \cdot 0,50 = 0,45 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{d,H} = 1,50 \cdot 0,6 \cdot 0,36 = 0,32 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{d,I} = 1,50 \cdot 0,6 \cdot -0,31 = 0,28 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{d,J} = 1,50 \cdot 0,6 \cdot -0,38 = 0,34 \frac{kN}{m^2}$$

### 4-4.2.2 Lastfall II: maximale Sogbelastung

$$g_d = 1,00 \cdot 1,16 = 1,16 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{d,H} = 1,50 \cdot 0,52 = 0,78 \frac{kN}{m^2}$$

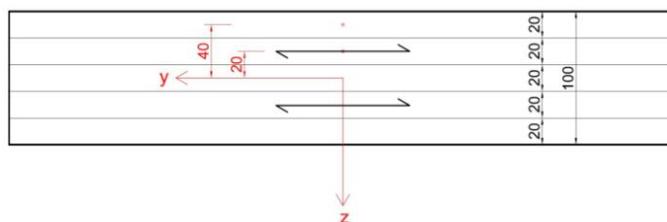
### 4-4.2.3 Schnittkräfte

Die in Tabelle 4.9 dargestellten Schnittkräfte beziehen sich auf einen 1 m breiten Plattenstreifen. Ein ganzes Dachmodul erhält jedoch die 1,2-fachen Kräfte. Die weitere Berechnung bezieht sich der Einfachheit halber auf einen 1 m breiten Plattenstreifen (wie in Tabelle 4.9).

**Tabelle 4.9: Schnittkräfte Dachmodul von Lastfall I und Lastfall II**

Schnittkraft	Lastfall I			Lastfall II		
	M <sub>d</sub>	N <sub>d</sub>	V <sub>d</sub>	M <sub>d</sub>	N <sub>d</sub>	V <sub>d</sub>
maximales Moment	7,54 kNm	-14,16 kN	-	0,55 kNm	-2,05 kN	-
maximale Druckkraft	0,00 kNm	-17,88 kN	-	0,00 kNm	-2,36 kN	-
maximale Zugkraft	-	-	-	-	-	-
maximale Querkraft	-	-	7,06 kN	-	-	0,51 kN
	Lastfall I			Lastfall II		
maximale vertikale Auflagerkraft	14,85 kN			2,08 kN		
maximale horizontale Auflagerkraft	1,35 kN			0,00 kN		
maximale Zugbandkraft	13,57 kN			2,69 kN		

### 4-4.2.4 ULS Nachweise Dachmodul



**Abbildung 4.46: Querschnitt des Dachmoduls**

**Eingangswerte:**

CL24h

NKL 2

KLED = kurz

$E_{0,CLT,mean} = 11600 \text{ N/mm}^2$

$E_{90} = 0,00 \text{ N/mm}^2$

$w_B/t_B > 4/1$

### Ermittlung der Querschnittswerte:

- $I_{y,eff} = \frac{1000 \cdot 20^3}{12} \cdot 3 + 20 \cdot 1000 \cdot 40^2 \cdot 2 = 6,6 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
- $K_{CLT} = I_{y,eff} \cdot E_{0,CLT,mean} = 6,6 \cdot 10^7 \cdot 11600 = 7,67 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$
- $A_{eff} = 1000 \cdot 20 \cdot 3 = 6,0 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$
  
- Statische Momente:  
 $S_1 = 1000 \cdot 20 \cdot 40 = 8,0 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$   
 $S_2 = 1000 \cdot 20 \cdot 20 = 4,0 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$   
 $S_3 = 1000 \cdot 10 \cdot 5 = 5,0 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$

### Ermittlung der Biegenormalspannung:

Spannung zufolge Biegung:

$$\sigma_{m,i} = \frac{M_{max,d}}{K_{CLT}} \cdot z_i \cdot E_{(z)} \quad (4.5)$$

- $\sigma_{m,1} = \frac{7,54 \cdot 10^6}{7,67 \cdot 10^{11}} \cdot (-50) \cdot 11600 = -5,70 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $\sigma_{m,2} = \frac{7,54 \cdot 10^6}{7,67 \cdot 10^{11}} \cdot (-30) \cdot 11600 = -3,42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $\sigma_{m,3} = \frac{7,54 \cdot 10^6}{7,67 \cdot 10^{11}} \cdot (-10) \cdot 11600 = -1,14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $\sigma_{m,4} = \frac{7,54 \cdot 10^6}{7,67 \cdot 10^{11}} \cdot (0) \cdot 11600 = 0,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Spannung zufolge Normalkraft

$$\sigma_N = \frac{N_d}{A_{eff}} \quad (4.6)$$

- $\sigma_N = \frac{14,16 \cdot 10^3}{6,0 \cdot 10^4} = 0,24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

### Schubspannungsermittlung:

$$\tau_{(z)} = \frac{V_{max,d}}{K_{CLT} \cdot b} \cdot \sum (S_i \cdot E_{(z)}) \quad (4.7)$$

- $\tau_1 = 0,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $\tau_2 = \frac{7,06 \cdot 10^3}{7,67 \cdot 10^{11} \cdot 1000} \cdot 8,0 \cdot 10^5 \cdot 11600 = 0,09 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $\tau_3 = 0,09 + \frac{7,06 \cdot 10^3}{7,67 \cdot 10^{11} \cdot 1000} \cdot 4,0 \cdot 10^5 \cdot 0,00 = 0,09 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $\tau_4 = \tau_{max} = 0,09 + \frac{7,06 \cdot 10^3}{7,67 \cdot 10^{11} \cdot 1000} \cdot 5,0 \cdot 10^4 \cdot 11600 = 0,10 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

### Festigkeitskenngrößen:

- $f_{m,CLT,d} = 24,0 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 17,28 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $f_{t,0,CLT,net,d} = 16,0 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 11,52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $f_{V,CLT,d} = 3,5 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 2,52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $f_{r,CLT,d} = 1,4 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 1,01 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

**Nachweise:**

- $\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,CLT,d}} + \frac{\sigma_{N,d}}{f_{t,0,CLT,net,d}} = \frac{5,70}{17,28} + \frac{0,24}{11,52} = 0,35 < 1,00$
- $\frac{\tau_{v,d}}{f_{V,CLT,d}} = \frac{0,10}{2,52} = 0,04 < 1,00$
- $\frac{\tau_{r,d}}{f_{r,CLT,d}} = \frac{0,09}{1,01} = 0,09 < 1,00$

Alle ULS Nachweise wurden erfüllt!

**4-4.2.5 SLS Nachweise Dachmodul**

**Eingangswerte:**

$w_B/t_B > 4/1$

$G_{CLT,mean} = 650 \text{ N/mm}^2$

$G_{r,CLT,mean} = 100 \text{ N/mm}^2$

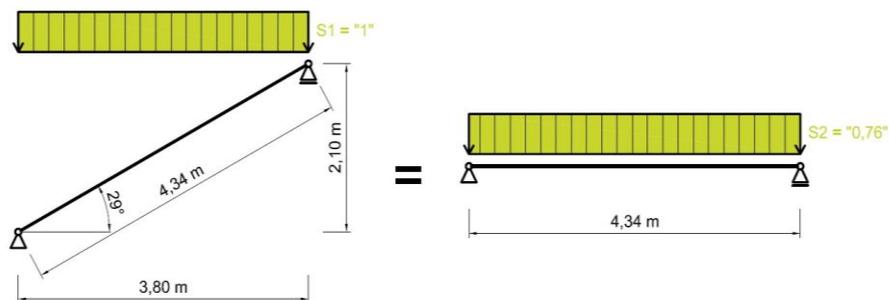
$\kappa = 0,347$

$k_{def} = 1,00$

**Ermittlung der Querschnittswerte:**

- $I_{y,eff} = \frac{1000 \cdot 20^3}{12} \cdot 3 + 20 \cdot 1000 \cdot 40^2 \cdot 2 = 6,6 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
- $K_{CLT} = 11600 \cdot 6,6 \cdot 10^7 = 7,67 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$
- $S_{CLT} = \kappa \cdot \sum(G_i \cdot A_i) = 0,347 \cdot (650 \cdot 1000 \cdot 20 \cdot 3 + 100 \cdot 1000 \cdot 20 \cdot 2) = 1,49 \cdot 10^7 \text{ N}$

**Umrechnung des geneigten Balkens in einen geraden Balken:**



*Abbildung 4.47: Umrechnung eines geneigten Balkens auf einen geraden Balken bei Schneelast*

$S2 = S1 \cdot (\cos \alpha)^2 = 1 \cdot (\cos 29)^2 = 0,76$

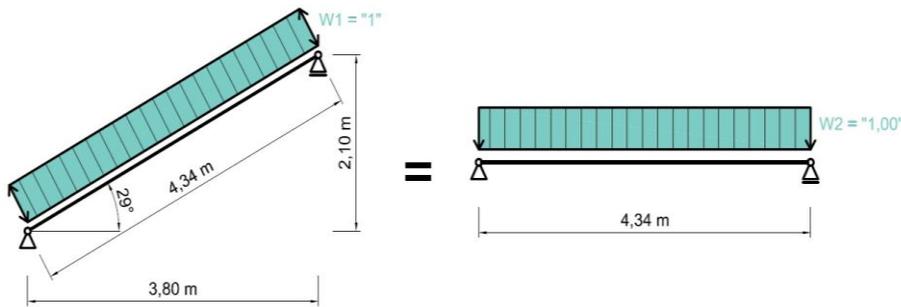


Abbildung 4.48: Umrechnung eines geneigten Balkens auf einen geraden Balken bei Windlast

$$W_2 = W_1 = 1,00$$

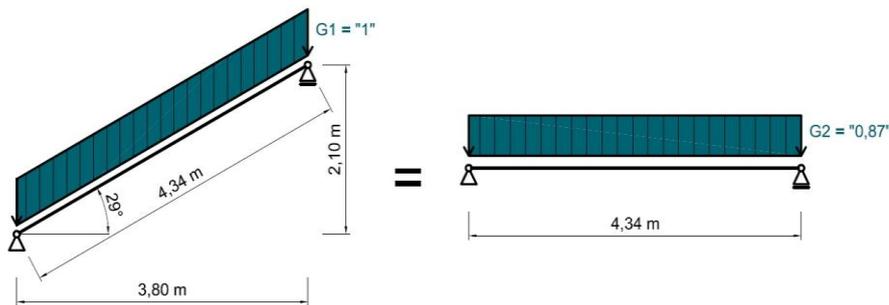


Abbildung 4.49: Umrechnung eines geneigten Balkens auf einen geraden Balken bei Schneelast

$$G_2 = G_1 \cdot (\cos \alpha) = 1 \cdot (\cos 29) = 0,87$$

**Ermittlung der Schnittgrößen im „0-System“ und „1-System“:**

Für die Berechnung der Durchbiegung werden zunächst ein „0-System“ und ein „1-System“ für einen geraden Balken aufgestellt. Diese Systeme sind in Abbildung 4.50 samt Ergebnissen dargestellt.

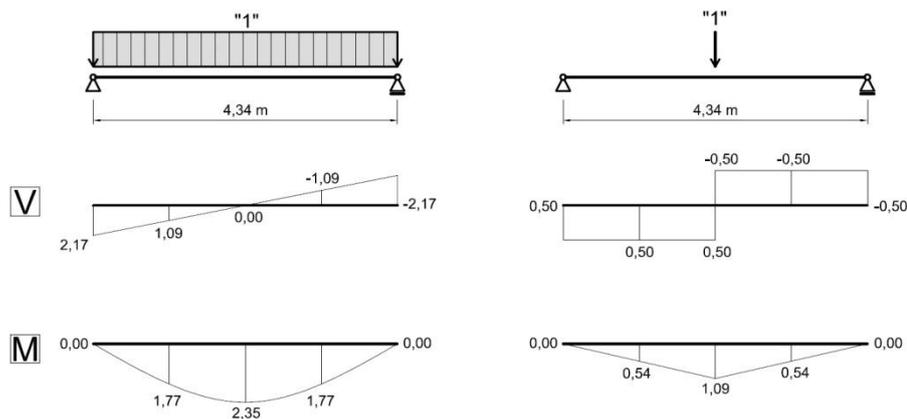


Abbildung 4.50: links: "0-System", rechts: "1-System"

**Ermittlung der Durchbiegung:**

Die Durchbiegung ergibt sich unter Berücksichtigung der Schubnachgiebigkeit wie folgt:

$$w = \frac{1}{E \cdot I} \cdot \int \delta M \cdot M \cdot dx + \frac{1}{G \cdot A \cdot \kappa} \cdot \int \delta V \cdot V \cdot dx \tag{4.8}$$

mit  $\frac{1}{E \cdot I} = \frac{1}{K_{CLT}}$  sowie  $\frac{1}{G \cdot A \cdot \kappa} = \frac{1}{S_{CLT}}$  und unter Verwendung der numerischen Integration nach Simpson ergibt sich mit (4.8) folgende Durchbiegung:

$$w = \frac{10^{12}}{7,67 \cdot 10^{11}} \cdot \left[ \frac{2,17}{6} \cdot (0 \cdot 0 + 4 \cdot 1,77 \cdot 0,54 + 2,35 \cdot 1,09) \cdot 2 \right] + \frac{10^6}{1,49 \cdot 10^7} \cdot \left[ \frac{2,17}{6} \cdot (2,17 \cdot 0,50 + 4 \cdot 1,09 \cdot 0,50 + 0 \cdot 0,50) \cdot 2 \right] = 6,02 + 0,15 = 6,18 \text{ mm}$$

Für die Berechnung der endgültigen Verformung müssen nun die Werte für  $w_1^{(1)}$ ,  $w_3^{(2)}$  und  $w_3^{(3)}$  (unter Berücksichtigung der Umrechnungsfaktoren des geneigten Balkens auf den geraden Balken) ermittelt werden. Da der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma$  bei SLS 1,00 beträgt, belaufen sich die charakteristischen Lasten zu  $g_k = 1,22 \text{ kN/m}^2$ ,  $s_k = 1,32 \text{ kN/m}^2$  und  $w_k = 0,50 \text{ kN/m}^2$ .

- $w_1^{(1)} = w \cdot \sum GK_i = 6,18 \cdot 1,16 \cdot 0,87 = 6,24 \text{ mm}$
- $w_3^{(2)} = w \cdot (QK_i + \sum \psi_{0,i} \cdot QK_i) = 6,18 \cdot (1,32 \cdot 0,76 + 0,6 \cdot 0,50 \cdot 1,00) = 8,05 \text{ mm}$
- $w_3^{(3)} = w \cdot \sum \psi_{2,i} \cdot QK_i = 6,18 \cdot (0 \cdot 1,32 \cdot 0,76 + 0 \cdot 0,50 \cdot 1,00) = 0,00 \text{ mm}$

### Nachweisführung:

charakteristisch selten  $t=0$ :

- $w_1^{(1)} + w_3^{(2)} = 6,24 + 8,05 = 14,29 \text{ mm} \leq \frac{l}{300} = \frac{4340}{300} = 14,50 \text{ mm}$

charakteristisch selten  $t=\infty$ :

- $w_1^{(1)} + w_3^{(2)} + (w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot k_{def} = 6,24 + 8,05 + (6,24 + 0,00) \cdot 1,00 = 20,53 \text{ mm} \leq \frac{l}{200} = \frac{4340}{200} = 21,70 \text{ mm}$

quasi ständig  $t=\infty$ :

- $w_1^{(1)} + w_3^{(3)} \cdot (1 + k_{def}) = 6,24 + 0,00 \cdot (1 + 1,00) = 6,24 \text{ mm} \leq \frac{l}{250} = \frac{4340}{250} = 17,36 \text{ mm}$

Alle SLS Nachweise wurden erfüllt!

### 4-4.3 BERECHNUNG DER DECKENMODULE

Die Berechnungen erfolgen nach EC 5 [169] bzw. nach den Unterlagen der Lehrveranstaltung Holzbau 1 (WS2014/15) und Holzbau 2 (SS2016) des Instituts für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz. Als Berechnungsprogramm wurde RuckZuck 6.0 [170] verwendet.

Die Deckenmodule werden durch das Eigengewicht und durch eine Nutzlast belastet. Die Nutzlast kann nach Kategorie A (Wohnflächen) Unterkategorie A1 (Decken) als Flächenbelastung mit  $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$  oder als ungünstig aufgestellte Einzellast  $Q_k = 2,0 \text{ kN}$  angesetzt werden. Im Obergeschoss des Gebäudes werden Trennwände aus Brettsper Holz auf die Deckenmodule aufgestellt. In Abbildung 4.51 ist die größte Trennwand dargestellt.

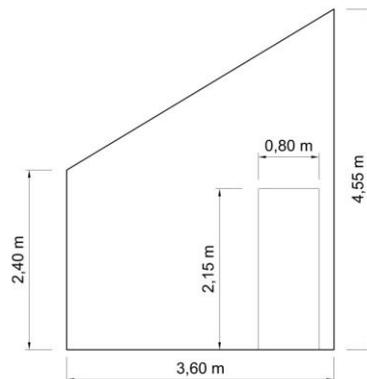


Abbildung 4.51: größte Trennwand im Obergeschoss

Die größte Trennwand verfügt über eine Fläche von ca.  $10,80 \text{ m}^2$ . Mit einer Dichte von  $5,0 \text{ kN/m}^3$  für Brettsper Holz und einer Wandlänge von ca.  $3,60 \text{ m}$  ergibt sich eine linienförmige Belastung von ca.  $0,90 \text{ kN/m}$ . Laut ÖNORM B 1991-1-1 [171] ist ein Trennwandzuschlag auf die Nutzlast erlaubt, wenn eine lastverteilende Decke vorhanden ist. Bei einem Eigengewicht der Trennwand  $\leq 1,0 \text{ kN/m}$  beträgt der Trennwandzuschlag  $q_k = 0,50 \text{ kN/m}^2$ . Die Belastung auf die Decke ergibt sich wie folgt:

$$g_d = 1,35 \cdot 1,88 = 2,54 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_d = 1,50 \cdot 2,00 + 1,50 \cdot 0,50 = 3,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Q_d = 1,50 \cdot 2,00 = 3,00 \text{ kN}$$

#### 4-4.3.1 Schnittkräfte

Die in Tabelle 4.10 dargestellten Schnittkräfte beziehen sich auf einen  $1 \text{ m}$  breiten Plattenstreifen. Ein ganzes Deckenmodul erhält jedoch die  $1,2$ -fachen Kräfte. Die weitere Berechnung bezieht sich der Einfachheit halber auf einen  $1 \text{ m}$  breiten Plattenstreifen (wie in Tabelle 4.10).

Tabelle 4.10: Schnittkräfte Deckenmodul

Schnittkraft	Lastfall I maximale Deckenbelastung mit $q_d$	Lastfall II maximale Deckenbelastung mit $Q_d$
maximales Moment	9,47 kNm	6,43 kNm
maximale Querkraft	10,91 kN	5,91 kN

### 4-4.3.2 ULS Nachweise Deckenmodul

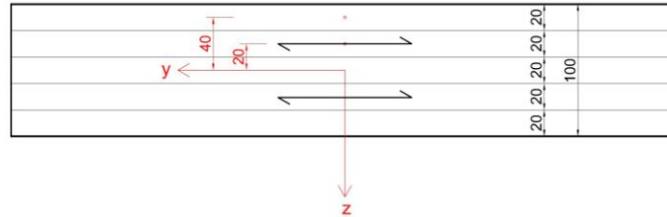


Abbildung 4.52: Querschnitt des Deckenmoduls

#### Eingangswerte:

CL24h

NKL 1

KLED = kurz

$E_{0,CLT,mean} = 11600 \text{ N/mm}^2$

$E_{90} = 0,00 \text{ N/mm}^2$

$w_B/t_B > 4/1$

#### Ermittlung der Querschnittswerte:

- $I_{y,eff} = \frac{1000 \cdot 20^3}{12} \cdot 3 + 20 \cdot 1000 \cdot 40^2 \cdot 2 = 6,6 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
- $K_{CLT} = I_{y,eff} \cdot E_{0,CLT,mean} = 6,6 \cdot 10^7 \cdot 11600 = 7,67 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$
- $A_{eff} = 1000 \cdot 20 \cdot 3 = 6,0 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$
  
- Statische Momente:  
 $S_1 = 1000 \cdot 20 \cdot 40 = 8,0 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$   
 $S_2 = 1000 \cdot 20 \cdot 20 = 4,0 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$   
 $S_3 = 1000 \cdot 10 \cdot 5 = 5,0 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$

#### Ermittlung der Biegenormalspannung:

Spannung zufolge Biegung:

Berechnung mit Formel (4.5)

- $\sigma_{m,1} = \frac{9,47 \cdot 10^6}{7,67 \cdot 10^{11}} \cdot (-50) \cdot 11600 = -7,16 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $\sigma_{m,2} = \frac{9,47 \cdot 10^6}{7,67 \cdot 10^{11}} \cdot (-30) \cdot 11600 = -4,30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $\sigma_{m,3} = \frac{9,47 \cdot 10^6}{7,67 \cdot 10^{11}} \cdot (-10) \cdot 11600 = -1,43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $\sigma_{m,4} = \frac{9,47 \cdot 10^6}{7,67 \cdot 10^{11}} \cdot (0) \cdot 11600 = 0,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

#### Schubspannungsermittlung:

Berechnung mit Formel (4.7)

- $\tau_1 = 0,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $\tau_2 = \frac{10,91 \cdot 10^3}{7,67 \cdot 10^{11} \cdot 1000} \cdot 8,0 \cdot 10^5 \cdot 11600 = 0,13 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

- $\tau_3 = 0,13 + \frac{10,91 \cdot 10^3}{7,67 \cdot 10^{11} \cdot 1000} \cdot 4,0 \cdot 10^5 \cdot 0,00 = 0,13 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $\tau_4 = \tau_{\max} = 0,13 + \frac{10,91 \cdot 10^3}{7,67 \cdot 10^{11} \cdot 1000} \cdot 5,0 \cdot 10^4 \cdot 11600 = 0,14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

#### Festigkeitskenngrößen:

- $f_{m,CLT,d} = 24,0 \cdot \frac{0,80}{1,25} = 15,36 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $f_{V,CLT,d} = 3,5 \cdot \frac{0,80}{1,25} = 2,24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $f_{r,CLT,d} = 1,4 \cdot \frac{0,80}{1,25} = 0,90 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

#### Nachweise:

- $\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,CLT,d}} = \frac{7,16}{15,36} = 0,47 < 1,00$
- $\frac{\tau_{v,d}}{f_{V,CLT,d}} = \frac{0,14}{2,24} = 0,06 < 1,00$
- $\frac{\tau_{r,d}}{f_{r,CLT,d}} = \frac{0,13}{0,90} = 0,14 < 1,00$

Alle ULS Nachweise wurden erfüllt!

### 4-4.3.3 SLS Nachweise Deckenmodul

#### Eingangswerte:

$$w_B/t_B > 4/1$$

$$G_{CLT,mean} = 650 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{r,CLT,mean} = 100 \text{ N/mm}^2$$

$$\kappa = 0,347$$

$$k_{def} = 0,80$$

#### Ermittlung der Querschnittswerte:

- $I_{y,eff} = \frac{1000 \cdot 20^3}{12} \cdot 3 + 20 \cdot 1000 \cdot 40^2 \cdot 2 = 6,6 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
- $K_{CLT} = 11600 \cdot 6,6 \cdot 10^7 = 7,67 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$
- $S_{CLT} = \kappa \cdot \sum(G_i \cdot A_i) = 0,347 \cdot (650 \cdot 1000 \cdot 20 \cdot 3 + 100 \cdot 1000 \cdot 20 \cdot 2) = 1,49 \cdot 10^7 \text{ N}$

#### Ermittlung der Schnittgrößen im „0-System“ und „1-System“:

Für die Berechnung der Durchbiegung werden zunächst ein „0-System“ und ein „1-System“ für einen Einfeldträger aufgestellt. Diese Systeme sind in Abbildung 4.53 samt Ergebnissen dargestellt.

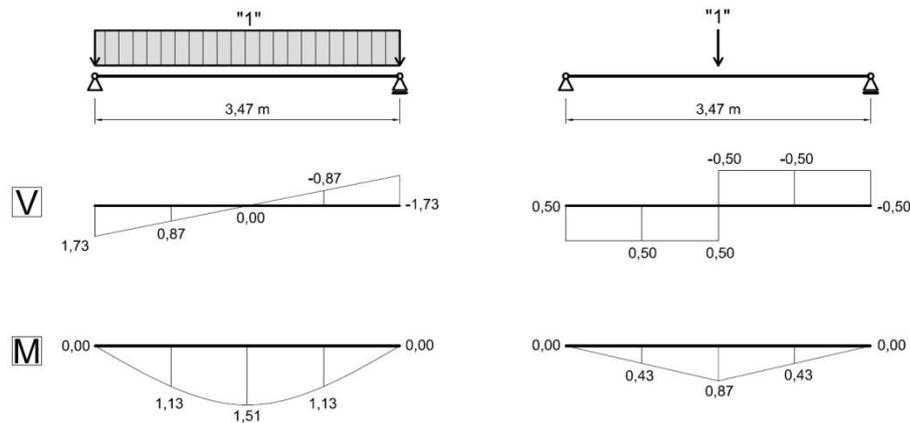


Abbildung 4.53: links: "0-System", rechts: "1-System"

### Ermittlung der Durchbiegung:

Die Durchbiegung ergibt sich unter Berücksichtigung der Schubnachgiebigkeit wie folgt:

Berechnung mit Formel (4.8)

mit  $\frac{1}{E \cdot I} = \frac{1}{K_{CLT}}$  sowie  $\frac{1}{G \cdot A \cdot \kappa} = \frac{1}{S_{CLT}}$  und unter Verwendung der numerischen Integration nach Simpson ergibt sich folgende Durchbiegung:

$$w = \frac{10^{12}}{7,67 \cdot 10^{11}} \cdot \left[ \frac{1,74}{6} \cdot (0 \cdot 0 + 4 \cdot 1,13 \cdot 0,43 + 1,51 \cdot 0,87) \cdot 2 \right] + \frac{10^6}{1,49 \cdot 10^7} \cdot \left[ \frac{1,74}{6} \cdot (1,74 \cdot 0,50 + 4 \cdot 0,87 \cdot 0,50 + 0 \cdot 0,50) \cdot 2 \right] = 2,46 + 0,10 = 2,56 \text{ mm}$$

Für die Berechnung der endgültigen Verformung müssen nun die Werte für  $w_1^{1)}$ ,  $w_3^{2)}$  und  $w_3^{3)}$  ermittelt werden. Da der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma$  bei SLS 1,00 beträgt, belaufen sich die charakteristischen Lasten zu  $g_k = 1,88 \text{ kN/m}^2$  und  $q_k = 2,50 \text{ kN/m}^2$ .

- $w_1^{1)} = w \cdot \sum GK_i = 2,56 \cdot 1,88 = 4,81 \text{ mm}$
- $w_3^{2)} = w \cdot (QK_i + \sum \psi_{0,i} \cdot QK_i) = 2,56 \cdot (2,50) = 6,40 \text{ mm}$
- $w_3^{3)} = w \cdot \sum \psi_{2,i} \cdot QK_i = 2,56 \cdot (0,3 \cdot 2,50) = 1,92 \text{ mm}$

### Nachweisführung:

charakteristisch selten  $t=0$ :

- $w_1^{1)} + w_3^{2)} = 4,81 + 6,40 = 11,21 \text{ mm} \leq \frac{l}{300} = \frac{3470}{300} = 11,57 \text{ mm}$

charakteristisch selten  $t=\infty$ :

- $w_1^{1)} + w_3^{2)} + (w_1^{1)} + w_3^{3)}) \cdot k_{def} = 4,81 + 6,40 + (4,81 + 1,92) \cdot 0,80 = 16,59 \text{ mm} \leq \frac{l}{200} = \frac{3470}{200} = 17,35 \text{ mm}$

quasi ständig  $t=\infty$ :

- $w_1^{1)} + w_3^{3)} \cdot (1 + k_{def}) = 4,81 + 1,92 \cdot (1 + 0,80) = 8,23 \text{ mm} \leq \frac{l}{250} = \frac{3470}{250} = 13,88 \text{ mm}$

### Schwingung Deckenmodul:

- Eigenfrequenzkriterium:

$$EI_{l\ddot{a}ngs} = K_{CLT} = 7,67 \cdot 10^{11} \frac{N}{mm^2}$$

$$EI_{quer} = 11600 \cdot \left( 1000 \cdot \frac{20^3}{12} \cdot 2 + 1000 \cdot 20 \cdot 20^2 \cdot 2 \right) = 2,01 \cdot 10^{11} \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{EI_{quer}}{EI_{l\ddot{a}ngs}} = \frac{2,01 \cdot 10^{11}}{7,67 \cdot 10^{11}} = 0,26 \geq 0,05 \rightarrow \text{Querverteilung der Last wird ber\ddot{u}cksichtigt}$$

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_{l\ddot{a}ngs}}{m}} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{l}{b}\right)^4 \cdot \frac{EI_{quer}}{EI_{l\ddot{a}ngs}}}$$

mit  $m = gk \cdot 100$  und  $b$  entspricht der gesamten Deckenbreite ergibt sich

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot 3,47^2} \cdot \sqrt{\frac{7,67 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-6}}{1,88 \cdot 100}} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{3,47}{7,20}\right)^4 \cdot \frac{2,01 \cdot 10^{11}}{7,67 \cdot 10^{11}}} = 8,41 \text{ Hz}$$

- Steifigkeitskriterium:

$$b_F = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{l}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_{quer}}{EI_{l\ddot{a}ngs}}} \\ b \end{array} \right.$$

mit  $l = 3,47$  m und  $b = 7,20$  m ergibt sich

$$b_F = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{3,47}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{2,01 \cdot 10^{11}}{7,67 \cdot 10^{11}}} = 2,26 \text{ m} \\ 7,2 \end{array} \right. \rightarrow b_F = 2,26 \text{ m}$$

$$w_{stat} = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot EI_{l\ddot{a}ngs} \cdot b_F}$$

mit  $F = 1000$  ergibt sich

$$w_{stat} = \frac{1000 \cdot 3,47^3}{48 \cdot 7,67 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-6} \cdot 2,26} \cdot 10^3 = 0,50 \text{ mm}$$

mit  $f_{grenz} = 6,00$  Hz f\ddot{u}r Deckenklasse II (Nassestrich schwimmend auf leichter Sch\dd{u}ttung (<0,6 kN/m<sup>3</sup>))

- Nachweis Frequenzkriterium  $\begin{cases} f_1 = 8,41 \text{ Hz} \geq f_{1,min} = 4,50 \text{ Hz} \\ f_1 = 8,41 \text{ Hz} \geq f_{grenz} = 6,00 \text{ Hz} \end{cases}$

Beide Grenzwerte werden eingehalten. Da  $f_1 \geq f_{grenz}$  ist ein Nachweis der Schwingbeschleunigung nicht erforderlich. Nur das Steifigkeitskriterium muss noch zus\dd{a}tzlich erf\dd{u}llt sein.

mit  $w_{grenz} = 0,50$  mm f\dd{u}r Deckenklasse II

- Nachweis Steifigkeitskriterium  $w_{stat} = 0,50 \leq w_{grenz} = 0,50$

Es kann somit auch das Steifigkeitskriterium eingehalten werden.

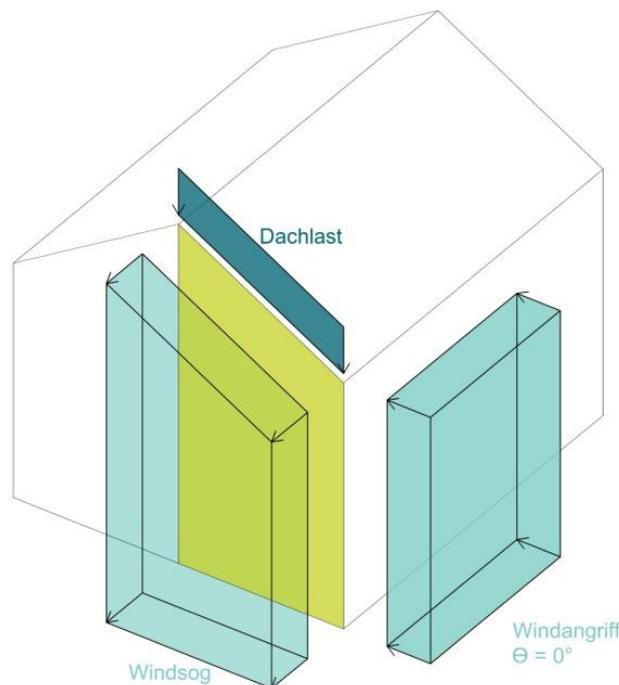
Alle SLS Nachweise wurden erf\dd{u}llt!

#### 4-4.4 BERECHNUNG DER GIEBELWANDMODULE

Die Berechnungen erfolgen nach EC 5 [169] bzw. nach den Unterlagen der Lehrveranstaltung Holzbau 1 (WS2014/15) und Holzbau 2 (SS2016) des Instituts für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz. Als Berechnungsprogramm wurde RuckZuck 6.0 [170] verwendet.

Bei der Berechnung der Wände muss zum einen zwischen Wandmodulen auf der Seitenwand (inklusive Deckenbelastung) und Wandmodule auf der Giebelwand (ohne Deckenbelastung, aber mit Öffnungen) unterschieden werden und zum anderen zwischen zwei verschiedenen Lastfällen. Auf die Giebelwandmodule wirken das Eigengewicht, die Dachlast und die Windbelastung, die jedoch auch als Sogbelastung einwirken kann. Die Wand erhält dabei eine Windbelastung in der Ebene (Scheibenwirkung) und eine Windbelastung aus der Ebene (Plattenwirkung). Es wird deshalb zwischen zwei Lastfällen unterschieden:

- Lastfall I: maximaler Druck auf Wandscheibe (Schnee führend, Wind begleitend, Eigengewicht); Wind wirkt normal zum First
- Lastfall II: maximales Biegemoment der Wand (Wind führend, Schnee begleitend, Eigengewicht); Wind wirkt parallel zum First



**Abbildung 4.54: Belastungen Wandmodul auf der Giebelseite**

Die Giebelwand gliedert sich in drei 1,20 m breite Brettsperrholzstreifen, die oberhalb mit einem dreiecksförmigen Modul verbunden sind. Der mittlere Wandstreifen weist eine Tür- und eine Fensteröffnung auf. In Abbildung 4.55 ist die Giebelwand inklusive ihrer Abmessungen dargestellt. Zur einfacheren Berechnung wird eine mittlere Höhe der Giebelwand angenommen, um mit einer Wand mit geraden Seitenflächen rechnen zu können (Abbildung 4.55 rechts).

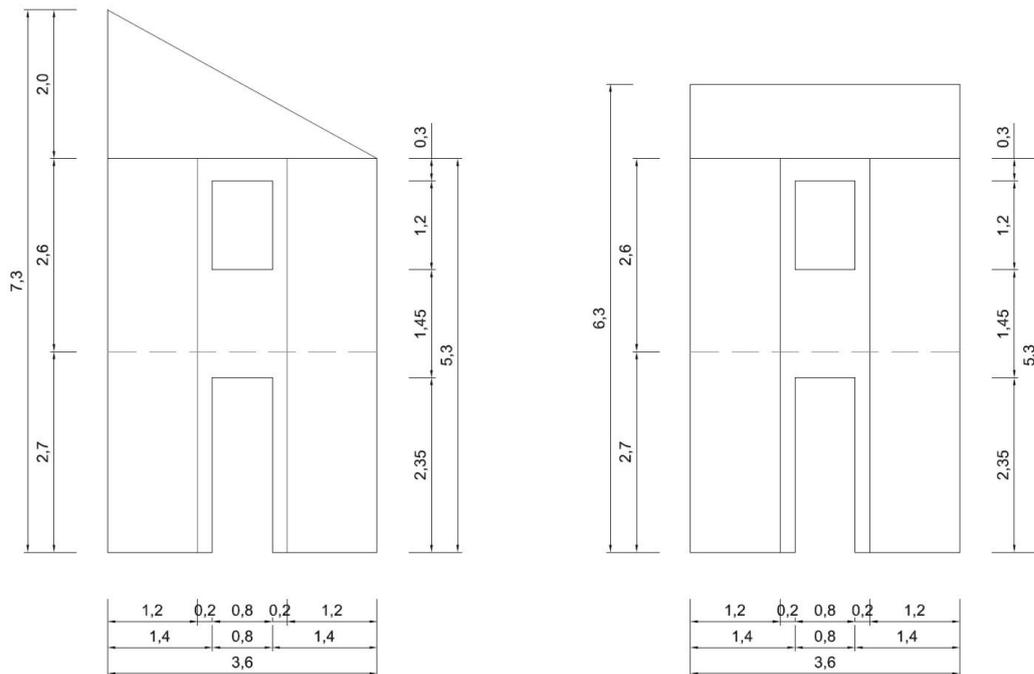


Abbildung 4.55: links: Abmessungen der Giebelwand, rechts: vereinfachtes Modell

#### 4-4.4.1 Lastfall I: maximale Druckbelastung

Die Dachbelastung auf die Giebelwand muss auf eine horizontale Belastung (für vereinfachtes Modell in Abbildung 4.55) umgerechnet werden und setzt sich wie folgt zusammen:

$$s_{Dach,d} = 1,50 \cdot 1,32 = 1,98 \frac{kN}{m^2}$$

$$g_{Dach,d} = 1,35 \cdot 1,16 \cdot \frac{1}{0,87} = 1,80 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{Dach,F,d} = 1,50 \cdot 0,6 \cdot 0,50 \cdot \frac{1}{0,87} \cdot \frac{4,12}{3,60} = 0,59 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{Dach,H,d} = 1,50 \cdot 0,6 \cdot 0,36 \cdot \frac{1}{0,87} \cdot \frac{4,12}{3,60} = 0,43 \frac{kN}{m^2}$$

Vereinfacht wird mit einer Windbelastung aus Zone F gerechnet. Danach ergibt sich eine gesamte Dachlast für den Lastfall I von:

- $q_{Dach,d} = 4,37 \frac{kN}{m^2}$

Zusätzlich wirkt folgende Windbelastung auf die Giebelwand (in Scheibenebene):

$$w_{SW,D,d} = 1,50 \cdot 0,6 \cdot 0,57 = 0,51 \frac{kN}{m^2}$$

Die Windbelastung auf der halben Seitenwandfläche wirkt auf die Wandscheibe als Linienbelastung (Querkraft) am oberen Ende der Giebelwand und auf deren gesamten Länge.

- $w_{GW,quer,d} = w_{SW,D,d} \cdot h_{SW} \cdot \frac{l_{SW}}{2} \cdot \frac{1}{l_{GW}} = 0,51 \cdot 5,30 \cdot 3,60 \cdot \frac{1}{3,60} = 2,70 \frac{kN}{m}$

Der Windangriff bewirkt ebenso eine Sogwirkung, welche normal auf die Giebelwand wirkt. Vereinfacht wird die Belastung der Zone A angenommen.

- $w_{GW,normal,d} = 1,50 \cdot 0,6 \cdot 0,67 = 0,60 \frac{kN}{m^2}$

Das Eigengewicht der Wand nimmt linear mit der Höhe von oben nach unten hin zu und beträgt:

$$g_{GW,d} = 1,35 \cdot 0,79 = 1,07 \frac{kN}{lfm}$$

Hinzu kommt eine Ausmitte des Fassadenschwerpunktes in Bezug auf die Achse des statischen Systems (Mitte BSP). Der Abstand auf der y-Achse zwischen Gesamtschwerpunkt und Achse BSP errechnet sich zu:

$$y_s = \frac{\sum(A_i \cdot y_i \cdot \gamma_i)}{\sum(A_i \cdot \gamma_i)} = \frac{0,06 \cdot 0,00 \cdot 5,0 + 0,14 \cdot 0,1 \cdot 2,3 + 0,01 \cdot 0,175 \cdot 17,0}{0,06 \cdot 5,0 + 0,14 \cdot 2,3 + 0,01 \cdot 17,0} = 0,078 \text{ m}$$

Somit ergibt sich ein resultierendes Moment aufgrund der Ausmitte von:

$$m_{g,GW,d} = 1,35 \cdot (0,17 + 0,32) \cdot 0,078 = 0,05 \text{ kNm}$$

Die Belastungen auf die Giebelwand sind in Abbildung 4.56 dargestellt.

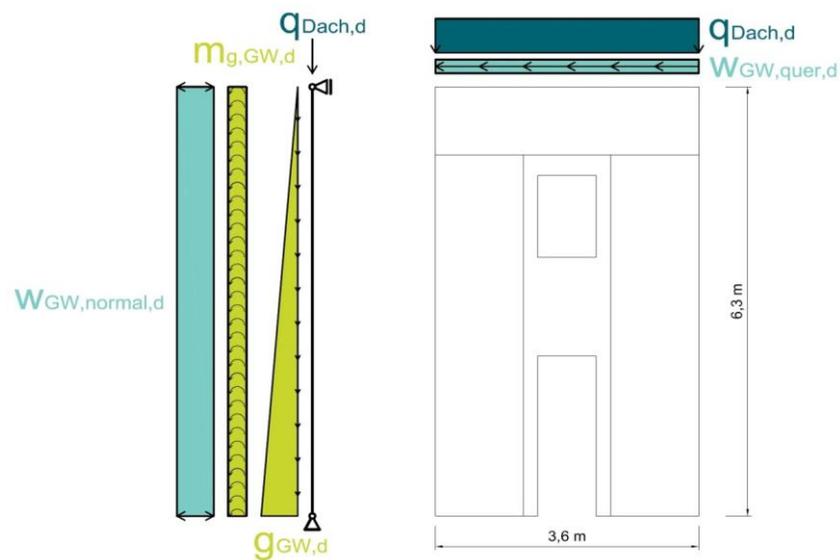


Abbildung 4.56: Belastungen der Giebelwand

Daraus ergeben sich für den Lastfall I folgende Schnittkräfte in der Wandmitte:

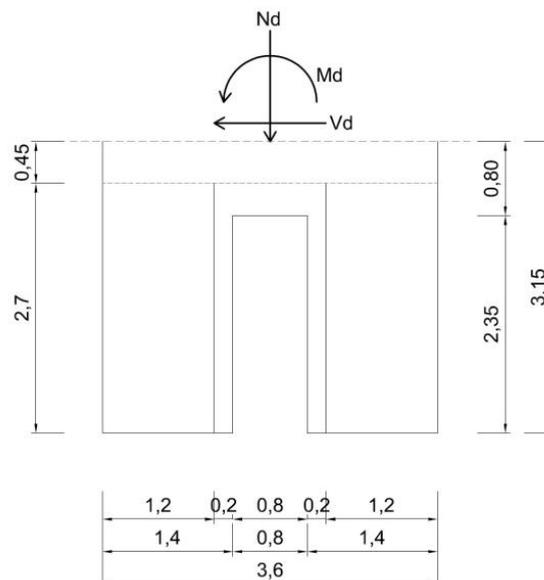


Abbildung 4.57: Schnittkräfte in Wandmitte an maßgebender Stelle

$$N_d = 3,60 \cdot (4,37 + 1,07 \cdot 3,15) = 27,86 \text{ kN}$$

$$V_d = 3,60 \cdot (2,70) = 9,72 \text{ kN}$$

$$M_d = 0,00 \text{ kNm (keine Ausmitte von } N_d)$$

Die Belastung greift zwar an der vollen Wandlänge von 3,6 m an, kann jedoch nicht über die Öffnungen abgetragen werden. Deshalb wird angenommen, dass der mittlere Giebelwandmodul belastungsfrei bleibt und somit eine Restlänge  $l_R$  von 2,40 m für die Abtragung der Schnittkräfte vorhanden ist.

$$n_{y,dN} = \frac{N_d}{l_R} = \frac{27,86}{2,40} = 11,60 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{xy,dV} = \frac{V_d}{l_R} = \frac{9,72}{2,40} = 4,05 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{y,dM} = \frac{M_d}{l_R} = \frac{0,00}{2,40} = 0,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{y,d,max} = 11,60 + 0,00 = 11,60 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Aus der Windbelastung quer zur Scheibenebene und aus dem Moment zufolge der Ausmittigkeit der Fassade ergibt sich ein maximales Moment von:

$$m_{d,max} = 2,98 \cdot 3,60 = 10,73 \text{ kNm}$$

Diese Schnittkräfte gelten für einen 1m-Streifen, so dass sie auf eine 3,60 m breite Wand umgerechnet werden müssen. Für die Abtragung der Kräfte stehen jedoch nur 2,40 m zur Verfügung.

#### 4-4.4.2 ULS Nachweise Giebelwandmodul Lastfall I

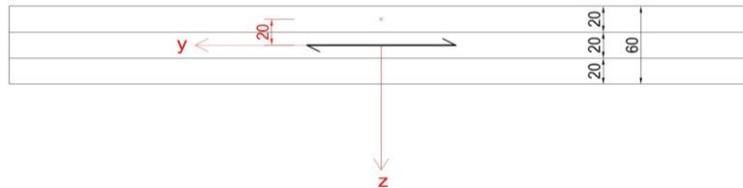


Abbildung 4.58: Querschnitt des Giebelwandmoduls

#### Eingangswerte:

CL24h

NKL 2

KLED = kurz

$E_{0,CLT,05} = 9667 \text{ N/mm}^2$

$G_{CLT,05} = 540 \text{ N/mm}^2$

$G_{r,CLT,05} = 83 \text{ N/mm}^2$

$w_B/t_B > 4/1$

$\kappa = 0,297$

**Ermittlung der Querschnittswerte:**

- $A_{eff} = 2 \cdot 20 \cdot 2400 = 9,60 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$
- $I_{eff} = \left( \frac{20^3}{12} \cdot 2 + 20 \cdot 20^2 \cdot 2 \right) \cdot 2400 = 4,16 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
- $W_{eff} = \frac{I_{eff}}{z_{max}} = \frac{4,16 \cdot 10^7}{30} = 1,39 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
- $K_{CLT,05} = I_{eff} \cdot E_{0,CLT,05} = 4,16 \cdot 10^7 \cdot 9667 = 4,02 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$
- $S_{CLT,05} = 0,297 \cdot 2400 \cdot (540 \cdot 20 \cdot 2 + 83 \cdot 20) = 1,66 \cdot 10^7 \text{ Nmm}^2$

**Schubnachweis der Scheibe:**

ideelle Schubspannung:

$$t_1^* = \min \left\{ \begin{matrix} 2 \cdot t_1 \\ t_2 \end{matrix} \right. \text{ und } t_2^* = \min \left\{ \begin{matrix} t_2 \\ 2 \cdot t_3 \end{matrix} \right. \quad (4.9)$$

mit  $t_1 = t_2 = t_3 = 20 \text{ mm}$

- $t_1^* = t_2^* = \min \left\{ \begin{matrix} 2 \cdot 20 \\ 20 \end{matrix} \right. = 20 \text{ mm}$

$$t^* = \sum t_i^* \quad (4.10)$$

- $t^* = 20 + 20 = 40 \text{ mm}$

$$\tau_{oi,d}^* = n_{xy,dV} \cdot \frac{1}{t^*} \quad (4.11)$$

- $\tau_{oi,d}^* = 4,05 \cdot \frac{1}{40} = 0,10 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Materialkenngrößen:

- $f_{v,net,d,ref} = 5,5 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 3,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $f_{T,node,d} = 2,5 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 1,80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Nachweise:

- Mechanismus Schub:  $\tau_{v,d} = 2 \cdot \tau_{oi,d}^* = 2 \cdot 0,10 = 0,20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 3,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- Mechanismus Torsion:  $\tau_{T,d} = 3 \cdot \tau_{oi,d}^* \cdot \frac{t_{i,max}^*}{a} = 3 \cdot 0,10 \cdot \frac{20}{150} = 0,04 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 1,80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Die Nachweise wurden erfüllt!

**Stabilität der Scheibe:**

$$n_{cr} = \frac{K_{CLT,05} \cdot \pi^2}{l_k^2 \cdot \left( 1 + \frac{K_{CLT,05} \cdot \pi^2}{S_{CLT,05} \cdot l_k^2} \right)} \quad (4.12)$$

mit  $l_k = \beta \cdot l = 1,0 \cdot 6300 = 6300 \text{ mm}$

- $n_{cr} = \frac{4,02 \cdot 10^{11} \cdot \pi^2}{6300^2 \cdot \left( 1 + \frac{4,02 \cdot 10^{11} \cdot \pi^2}{1,66 \cdot 10^7 \cdot 6300^2} \right)} = 9,94 \cdot 10^4 \text{ N}$

$$k_c = \min \left\{ \begin{matrix} 1 \\ \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} \end{matrix} \right. \quad (4.13)$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_{ck}}{n_{cr}}} \quad (4.14)$$

$$k = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2) \quad (4.15)$$

mit  $\beta_c = 0,1$  für Brettspertholz

- $\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{9,60 \cdot 10^4 \cdot 24}{9,94 \cdot 10^4}} = 4,81$
- $k = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (4,81 - 0,3) + 4,81^2) = 12,29$
- $k_c = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{1}{12,29 + \sqrt{12,29^2 - 4,81^2}} \end{array} \right. = 0,04 \rightarrow k_c = 0,04$

Materialkenngrößen:

- $f_{m,CLT,d} = 24,0 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 17,28 \frac{N}{mm^2}$
- $f_{c,0,CLT,net,d} = 16,0 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 11,52 \frac{N}{mm^2}$

Nachweis:

$$\frac{n_{y,d,max}}{k_c \cdot A_{eff} \cdot f_{c,0,CLT,net,d}} + \frac{m_{d,max}}{W_{eff} \cdot f_{m,CLT,d}} = \frac{11,60 \cdot 10^3}{0,04 \cdot 9,60 \cdot 10^4 \cdot 11,52} + \frac{10,73 \cdot 10^6}{1,39 \cdot 10^6 \cdot 17,28} = 0,71 \leq 1,00$$

Der Nachweis wurde erfüllt!

### 4-4.4.3 Lastfall II: maximales Biegemoment auf der Giebelwand

Beim Lastfall II ist der Wind die führende Belastung. Ein maximales Plattenbiegemoment wird dann erreicht, wenn der Wind normal zum First angreift und somit eine Sogbelastung in der Zone A (wie im Lastfall I) wirkt. Die Dachbelastung auf die Giebelwand muss (wie im Lastfall I) auf eine horizontale Belastung umgerechnet werden und setzt sich wie folgt zusammen:

$$s_{Dach,d} = 1,50 \cdot 0,50 \cdot 1,32 = 0,99 \frac{kN}{m^2}$$

$$g_{Dach,d} = 1,35 \cdot 1,16 \cdot \frac{1}{0,87} = 1,80 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{Dach,F,d} = 1,50 \cdot 0,50 \cdot \frac{1}{0,87} \cdot \frac{4,12}{3,60} = 0,98 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{Dach,H,d} = 1,50 \cdot 0,36 \cdot \frac{1}{0,87} \cdot \frac{4,12}{3,60} = 0,71 \frac{kN}{m^2}$$

Vereinfacht wird mit der Windbelastung aus Zone F gerechnet. Danach ergibt sich eine gesamte Dachlast für den Lastfall II von

$$\text{▪ } q_{Dach,d} = 3,77 \frac{kN}{m^2}$$

Zusätzlich wirkt folgende Windbelastung auf die Giebelwand (in Scheibenebene):

$$w_{SW,D,d} = 1,50 \cdot 0,57 = 0,86 \frac{kN}{m^2}$$

Die Windbelastung auf der halben Seitenwandfläche wirkt auf die Wandscheibe als Linienbelastung (Querkraft) am oberen Ende der Giebelwand und auf deren gesamten Länge.

$$\blacksquare w_{GW,quer,d} = w_{SW,D,d} \cdot h_{SW} \cdot \frac{l_{SW}}{2} \cdot \frac{1}{l_{GW}} = 0,86 \cdot 5,30 \cdot 3,60 \cdot \frac{1}{3,60} = 4,56 \frac{kN}{m}$$

Der Windangriff bewirkt ebenso eine Sogwirkung, welche normal auf die Giebelwand wirkt. Vereinfacht wird die Belastung der Zone A angenommen.

$$\blacksquare w_{GW,normal,d} = 1,50 \cdot 0,67 = 1,01 \frac{kN}{m^2}$$

Das Eigengewicht der Wand nimmt linear mit der Höhe von oben nach unten hin zu und beträgt:

$$\blacksquare g_{GW,d} = 1,35 \cdot 0,79 = 1,07 \frac{kN}{lfm}$$

Hinzu kommt eine Ausmitte des Fassadenschwerpunktes in Bezug auf die Achse des statischen Systems (Mitte BSP). Der Abstand auf der y-Achse zwischen Gesamtschwerpunkt und Achse BSP errechnet sich zu:

$$y_s = \frac{\sum(A_i \cdot y_i \cdot \gamma_i)}{\sum(A_i \cdot \gamma_i)} = \frac{0,06 \cdot 0,00 \cdot 5,0 + 0,14 \cdot 0,1 \cdot 2,3 + 0,01 \cdot 0,175 \cdot 17,0}{0,06 \cdot 5,0 + 0,14 \cdot 2,3 + 0,01 \cdot 17,0} = 0,078 \text{ m}$$

Somit ergibt sich ein resultierendes Moment aufgrund der Ausmitte von:

$$\blacksquare m_{g,GW,d} = 1,35 \cdot (0,17 + 0,32) \cdot 0,078 = 0,05 \text{ kNm}$$

Daraus ergeben sich folgende Schnittkräfte für den Lastfall I in der Wandmitte:

$$N_d = 3,60 \cdot (3,77 + 1,07 \cdot 3,15) = 25,71 \text{ kN}$$

$$V_d = 3,60 \cdot (4,56) = 16,42 \text{ kN}$$

$$M_d = 0,00 \text{ kNm (keine Ausmitte von } N_d)$$

Die Belastung greift zwar an der vollen Wandlänge von 3,6 m an, kann jedoch nicht über die Öffnungen abgetragen werden. Deshalb wird angenommen, dass der mittlere Giebelwandmodul belastungsfrei bleibt und somit eine Restlänge  $l_R$  von 2,40 m für die Abtragung der Schnittkräfte vorhanden ist.

$$n_{y,dN} = \frac{N_d}{l_R} = \frac{25,71}{2,40} = 10,71 \frac{kN}{m}$$

$$n_{xy,dV} = \frac{V_d}{l_R} = \frac{16,42}{2,40} = 6,84 \frac{kN}{m}$$

$$n_{y,dM} = \frac{M_d}{l_R} = \frac{0,00}{2,40} = 0,00 \frac{kN}{m}$$

$$n_{y,d,max} = 10,71 + 0,00 = 10,71 \frac{kN}{m}$$

Aus der Windbelastung quer zur Scheibenebene und aus dem Moment zufolge der Ausmittigkeit der Fassade ergibt sich ein Moment von:

$$m_{d,max} = 5,01 \cdot 3,60 = 18,04 \text{ kNm}$$

Diese Schnittkräfte gelten für einen 1m-Streifen, so dass sie auf eine 3,60 m breite Wand umgerechnet werden müssen. Für die Abtragung der Kräfte stehen jedoch nur 2,40 m zur Verfügung.

## 4-4.4.4 ULS Nachweise Giebelwandmodul Lastfall II

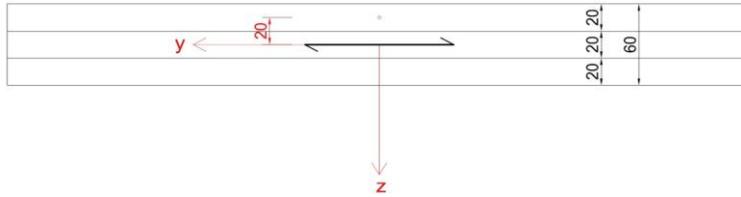


Abbildung 4.59: Querschnitt des Giebelwandmoduls

**Eingangswerte:**

CL24h

NKL 2

KLED = kurz

 $E_{0,CLT,05} = 9667 \text{ N/mm}^2$ 
 $G_{CLT,05} = 540 \text{ N/mm}^2$ 
 $G_{r,CLT,05} = 83 \text{ N/mm}^2$ 
 $w_B/t_B > 4/1$ 
 $\kappa = 0,297$ 
**Ermittlung der Querschnittswerte:**

- $A_{eff} = 2 \cdot 20 \cdot 2400 = 9,60 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$
- $I_{eff} = \left( \frac{20^3}{12} \cdot 2 + 20 \cdot 20^2 \cdot 2 \right) \cdot 2400 = 4,16 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
- $W_{eff} = \frac{I_{eff}}{z_{max}} = \frac{4,16 \cdot 10^7}{30} = 1,39 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
- $K_{CLT,05} = I_{eff} \cdot E_{0,CLT,05} = 4,16 \cdot 10^7 \cdot 9667 = 4,02 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$
- $S_{CLT,05} = 0,297 \cdot 2400 \cdot (540 \cdot 20 \cdot 2 + 83 \cdot 20) = 1,66 \cdot 10^7 \text{ Nmm}^2$

**Schubnachweis der Scheibe:**

ideelle Schubspannung nach (4.9), (4.10) und (4.11):

- $t_1^* = t_2^* = \min \left\{ \begin{matrix} 2 \cdot 20 \\ 20 \end{matrix} \right\} = 20 \text{ mm}$
- $t^* = 20 + 20 = 40 \text{ mm}$
- $\tau_{oi,d}^* = 4,05 \cdot \frac{1}{40} = 0,10 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Materialkenngrößen:

- $f_{v,net,d,ref} = 5,5 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 3,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $f_{T,node,d} = 2,5 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 1,80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Nachweise:

- Mechanismus Schub:  $\tau_{v,d} = 2 \cdot \tau_{oi,d}^* = 2 \cdot 0,10 = 0,20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 3,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

- Mechanismus Torsion:  $\tau_{T,d} = 3 \cdot \tau_{oi,d} \cdot \frac{t_{i,max}^*}{a} = 3 \cdot 0,10 \cdot \frac{20}{150} = 0,04 \frac{N}{mm^2} \leq 1,80 \frac{N}{mm^2}$

Die Nachweise wurden erfüllt!

### Stabilität der Scheibe:

mit (4.12) ergibt sich ein  $n_{cr}$  zu:

- $n_{cr} = \frac{4,02 \cdot 10^{11} \cdot \pi^2}{6300^2 \cdot \left(1 + \frac{4,02 \cdot 10^{11} \cdot \pi^2}{1,66 \cdot 10^7 \cdot 6300^2}\right)} = 9,94 \cdot 10^4 N$

und daraus mit (4.13) (4.14) und (4.15):

- $\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{9,60 \cdot 10^4 \cdot 24}{9,94 \cdot 10^4}} = 4,81$
- $k = 0,5 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot (4,81 - 0,3)\right) + 4,81^2 = 12,29$
- $k_c = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{1}{12,29 + \sqrt{12,29^2 - 4,81^2}} = 0,04 \end{array} \right. \rightarrow k_c = 0,04$

Materialkenngrößen:

- $f_{m,CLT,d} = 24,0 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 17,28 \frac{N}{mm^2}$
- $f_{c,0,CLT,net,d} = 16,0 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 11,52 \frac{N}{mm^2}$

Nachweis:

- $\frac{n_{y,d,max}}{k_c \cdot A_{eff} \cdot f_{c,0,CLT,net,d}} + \frac{m_{d,max}}{W_{eff} \cdot f_{m,CLT,d}} = \frac{10,71 \cdot 10^3}{0,04 \cdot 9,60 \cdot 10^4 \cdot 11,52} + \frac{18,04 \cdot 10^6}{1,39 \cdot 10^6 \cdot 17,28} = 0,98 \leq 1,00$

Der Nachweis wurde erfüllt!

Somit wurden alle Nachweise des Giebelwandmoduls erfüllt!

### 4-4.5 BERECHNUNG DER SEITENWANDMODULE

Die Berechnungen erfolgen nach EC 5 [169] bzw. nach den Unterlagen der Lehrveranstaltung Holzbau 1 (WS2014/15) und Holzbau 2 (SS2016) des Instituts für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz. Als Berechnungsprogramm wurde RuckZuck 6.0 [170] verwendet.

Auf die Seitenwandmodule wirken das Eigengewicht, die Dachlast, die Windbelastung und die Auflagerlast der Deckenmodule. Die Wand erhält dabei eine Windbelastung in der Ebene (Scheibenwirkung) und eine Windbelastung aus der Ebene (Plattenwirkung). Es wird deshalb zwischen zwei Lastfällen unterschieden:

- Lastfall I: maximaler Druck auf Wandscheibe (Schnee führend, Wind begleitend, Eigengewicht, Deckenlast); Wind wirkt normal zum First
- Lastfall II: maximales Biegemoment der Wand (Wind führend, Schnee begleitend, Eigengewicht, Deckenlast); Wind wirkt parallel zum First

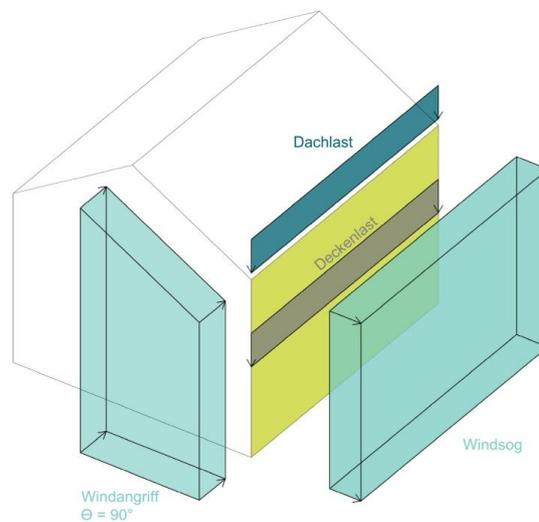


Abbildung 4.60: Belastungen Seitenwandmodul

Die Seitenwand gliedert sich in 1,20 m breite Module. Die Abmessungen sind in Abbildung 4.61 dargestellt.

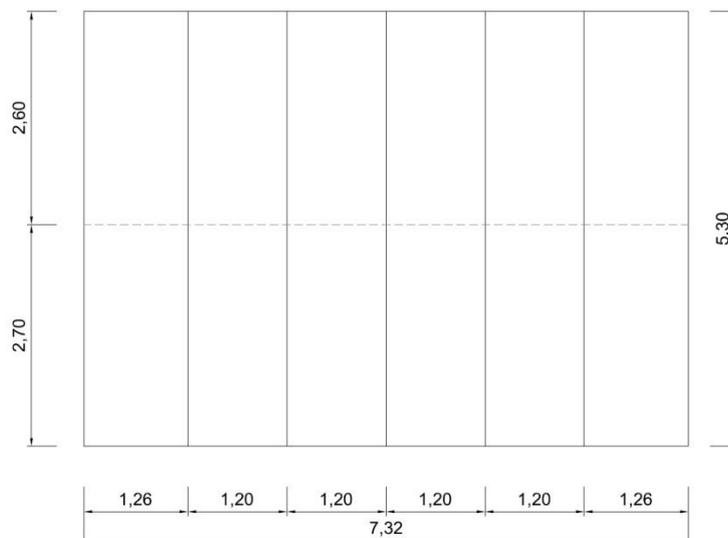


Abbildung 4.61: Abmessungen der Seitenwandmodule

#### 4-4.5.1 Lastfall I: maximale Druckbelastung

Die Horizontalbelastung des Daches auf die Wand wird von Zug- und Druckstäben abgetragen, während die vertikale Belastung zufolge des Daches über die Wände abgetragen wird. Diese beläuft sich zu:

- $q_{Dach,d} = 14,85 \frac{kN}{m}$

Zusätzlich wirkt folgende Windbelastung auf die Seitenwand (in Scheibenebene):

$$w_{SW,D,d} = 1,50 \cdot 0,6 \cdot 0,57 = 0,51 \frac{kN}{m^2}$$

Die Windbelastung auf der halben Giebelwandfläche wirkt zur Hälfte auf die Seitenwandscheibe als Linienbelastung (Querkraft) am oberen Ende der Giebelwand und auf deren gesamten Länge. Der andere Anteil wird über die mittige Längswand abgetragen. Die Berechnung erfolgt für das maßgebende Seitenwandmodul über dessen Breite von 1,20 m.

- $w_{SW,quer,d} = w_{GW,D,d} \cdot \frac{A_{GW}}{2} \cdot \frac{1}{l_{SWM}} = 0,51 \cdot \left( 5,30 \cdot \frac{3,60}{2} + \frac{(6,30-5,30) \cdot \frac{3,60}{2}}{2} \right) \cdot \frac{1}{1,20} = 4,44 \frac{kN}{m}$

Der Windangriff bewirkt ebenso eine Sogwirkung, welche normal auf die Giebelwand wirkt. Vereinfacht wird die Belastung der Zone A angenommen.

- $w_{GW,normal,d} = 1,50 \cdot 0,6 \cdot 0,67 = 0,60 \frac{kN}{m^2}$

Das Eigengewicht der Wand nimmt linear mit der Höhe von oben nach unten hin zu und beträgt:

- $g_{GW,d} = 1,35 \cdot 0,79 = 1,07 \frac{kN}{lfm}$

Hinzu kommt eine Ausmitte des Fassadenschwerpunktes in Bezug auf die Achse des statischen Systems (Mitte BSP). Der Abstand auf der y-Achse zwischen Gesamtschwerpunkt und Achse BSP errechnet sich zu:

$$y_s = \frac{\sum(A_i \cdot y_i \cdot \gamma_i)}{\sum(A_i \cdot \gamma_i)} = \frac{0,06 \cdot 0,00 \cdot 5,0 + 0,14 \cdot 0,1 \cdot 2,3 + 0,01 \cdot 0,175 \cdot 17,0}{0,06 \cdot 5,0 + 0,14 \cdot 2,3 + 0,01 \cdot 17,0} = 0,078 \text{ m}$$

Somit ergibt sich ein resultierendes Moment aufgrund der Ausmitte von:

- $m_{g,GW,d} = 1,35 \cdot (0,17 + 0,32) \cdot 0,078 = 0,05 \text{ kNm}$

Die Belastung aus der Decke beträgt:

- $q_{Decke,d} = 10,91 \frac{kN}{m}$

Aufgrund der Einleitung der Deckenlast außerhalb des Schwerpunktes der Wand entsteht ein zusätzliches Moment. Die Ausmitte beträgt 0,08 m. Somit ergibt sich ein Moment von:

- $m_{g,Decke,d} = 10,91 \cdot 0,08 = 0,87 \text{ kNm}$

Die Belastungen auf die Seitenwand sind in Abbildung 4.62 dargestellt.

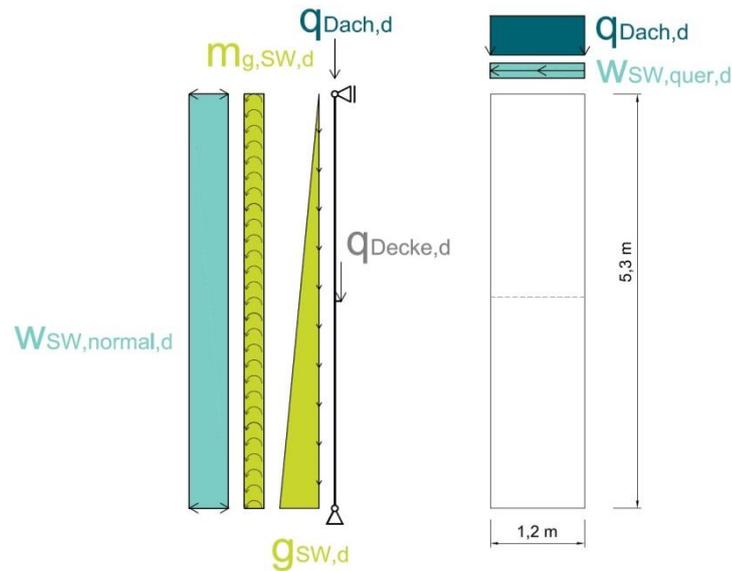


Abbildung 4.62: Belastungen der Seitenwand

Daraus ergeben sich folgende Schnittkräfte für den Lastfall I in der Wandmitte:

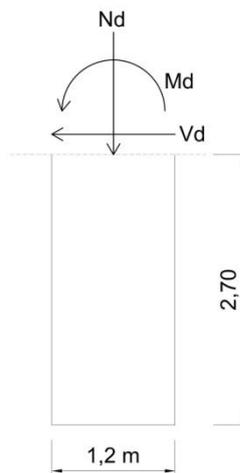


Abbildung 4.63: Schnittkräfte in Wandmitte an maßgebender Stelle

$$N_d = 1,20 \cdot (14,85 + 1,07 \cdot 2,70 + 10,91) = 34,38 \text{ kN}$$

$$V_d = 1,20 \cdot (4,44) = 5,33 \text{ kN}$$

$$M_d = 0,00 \text{ kNm (keine Ausmitte von } N_d)$$

Für die Abtragung der Kräfte steht die volle Länge eines Seitenwandmoduls von 1,20 m zur Verfügung.

$$n_{y,dN} = \frac{N_d}{l_R} = \frac{34,38}{1,20} = 28,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{xy,dV} = \frac{V_d}{l_R} = \frac{5,33}{1,20} = 4,44 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{y,dM} = \frac{M_d}{l_R} = \frac{0,00}{1,20} = 0,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{y,d,max} = 28,65 + 0,00 = 28,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Aus der Windbelastung quer zur Scheibenebene und aus dem Moment zufolge der Ausmittigkeit der Fassade und der Deckenauflagerung ergibt sich folgendes Moment:

$$m_{d,max} = 2,53 \cdot 1,20 = 3,03 \text{ kNm}$$

Diese Schnittkräfte gelten für einen 1m-Streifen, so dass sie auf ein 1,20 m breites Seitenwandmodul umgerechnet werden müssen.

#### 4-4.5.2 ULS Nachweise Seitenwandmodul Lastfall I

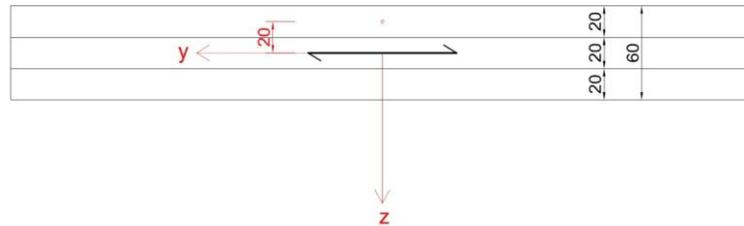


Abbildung 4.64: Querschnitt des Seitenwandmoduls

##### Eingangswerte:

CL24h

NKL 2

KLED = kurz

$$E_{0,CLT,05} = 9667 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{90} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{CLT,05} = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{r,CLT,05} = 83 \text{ N/mm}^2$$

$$w_B/t_B > 4/1$$

$$\kappa = 0,297$$

##### Ermittlung der Querschnittswerte:

- $A_{eff} = 2 \cdot 20 \cdot 1200 = 4,80 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$
- $I_{eff} = \left( \frac{20^3}{12} \cdot 2 + 20 \cdot 20^2 \cdot 2 \right) \cdot 1200 = 2,08 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
- $W_{eff} = \frac{I_{eff}}{z_{max}} = \frac{2,08 \cdot 10^7}{30} = 6,93 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
- $K_{CLT,05} = I_{eff} \cdot E_{0,CLT,05} = 2,08 \cdot 10^7 \cdot 9667 = 2,01 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$
- $S_{CLT,05} = 0,297 \cdot 1200 \cdot (540 \cdot 20 \cdot 2 + 83 \cdot 20) = 8,29 \cdot 10^6 \text{ Nmm}^2$

##### Schubnachweis der Scheibe:

ideelle Schubspannung nach (4.9), (4.10) und (4.11):

- $t_1^* = t_2^* = \min \left\{ \frac{2 \cdot 20}{20} = 20 \text{ mm} \right.$
- $t^* = 20 + 20 = 40 \text{ mm}$

$$\tau_{oi,d}^* = 4,44 \cdot \frac{1}{40} = 0,11 \frac{N}{mm^2}$$

Materialkenngrößen:

$$f_{v,net,d,ref} = 5,5 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 3,96 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{T,node,d} = 2,5 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 1,80 \frac{N}{mm^2}$$

Nachweise:

$$\text{Mechanismus Schub: } \tau_{v,d} = 2 \cdot \tau_{oi,d}^* = 2 \cdot 0,11 = 0,22 \frac{N}{mm^2} \leq 3,96 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mechanismus Torsion: } \tau_{T,d} = 3 \cdot \tau_{oi,d}^* \cdot \frac{t_{i,max}^*}{a} = 3 \cdot 0,11 \cdot \frac{20}{150} = 0,04 \frac{N}{mm^2} \leq 1,80 \frac{N}{mm^2}$$

Die Nachweise wurden erfüllt!

### Stabilität der Scheibe:

mit (4.12) ergibt sich ein  $n_{cr}$  zu:

$$n_{cr} = \frac{2,01 \cdot 10^{11} \cdot \pi^2}{5000^2 \cdot \left(1 + \frac{2,01 \cdot 10^{11} \cdot \pi^2}{8,29 \cdot 10^6 \cdot 5000^2}\right)} = 7,86 \cdot 10^4 N$$

und daraus mit (4.13) (4.14) und (4.15):

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{4,80 \cdot 10^4 \cdot 24}{7,86 \cdot 10^4}} = 3,83$$

$$k = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (3,83 - 0,3) + 3,83^2) = 8,01$$

$$k_c = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{1}{8,01 + \sqrt{8,01^2 - 3,83^2}} = 0,07 \end{array} \right. \rightarrow k_c = 0,07$$

Materialkenngrößen:

$$f_{m,CLT,d} = 24,0 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 17,28 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c,0,CLT,net,d} = 16,0 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 11,52 \frac{N}{mm^2}$$

Nachweis:

$$\frac{n_{y,d,max}}{k_c \cdot A_{eff} \cdot f_{c,0,CLT,net,d}} + \frac{m_{d,max}}{W_{eff} \cdot f_{m,CLT,d}} = \frac{28,65 \cdot 10^3}{0,07 \cdot 4,80 \cdot 10^4 \cdot 11,52} + \frac{3,03 \cdot 10^6}{6,95 \cdot 10^5 \cdot 17,28} = 0,99 \leq 1,00$$

Der Nachweis wurde erfüllt!

### 4-4.5.3 Lastfall II: maximales Biegemoment der Seitenwand

Die Horizontalbelastung des Daches auf die Wand wird von Zugstäben abgetragen, während die vertikale Belastung zufolge des Daches über die Wände abgetragen wird. Für die Bemessung der Seitenwand auf diesen Lastfall, ist ein neuer Dachlastfall erforderlich. Dieser ist für die Dachmodule selbst nicht maßgebend und wurde deshalb auch nicht durchgerechnet. Die Dachbelastung für den Lastfall II beläuft sich zu:

- $q_{Dach,d} = 11,44 \frac{kN}{m}$

Zusätzlich wirkt folgende Windbelastung auf die Seitenwand (in Scheibenebene):

$$w_{SW,D,d} = 1,50 \cdot 0,57 = 0,85 \frac{kN}{m^2}$$

Die Windbelastung auf der halben Giebelwandfläche wirkt zur Hälfte auf die Seitenwandscheibe als Linienbelastung (Querkraft) am oberen Ende der Giebelwand und auf deren gesamten Länge. Der andere Anteil wird über die mittige Längswand abgetragen. Die Berechnung erfolgt für das maßgebende Seitenwandmodul über dessen Breite von 1,20 m.

- $w_{SW,quer,d} = w_{GW,D,d} \cdot \frac{A_{GW}}{2} \cdot \frac{1}{l_{SWM}} = 0,85 \cdot \left( 5,30 \cdot \frac{3,60}{2} + \frac{(6,30-5,30) \cdot \frac{3,60}{2}}{2} \right) \cdot \frac{1}{1,20} = 7,40 \frac{kN}{m}$

Der Windangriff bewirkt ebenso eine Sogwirkung, welche normal auf die Giebelwand wirkt. Vereinfacht wird die Belastung der Zone A angenommen.

- $w_{GW,normal,d} = 1,50 \cdot 0,67 = 1,01 \frac{kN}{m^2}$

Das Eigengewicht der Wand nimmt linear mit der Höhe von oben nach unten hin zu und beträgt:

- $g_{GW,d} = 1,35 \cdot 0,79 = 1,07 \frac{kN}{lfm}$

Hinzu kommt eine Ausmitte des Fassadenschwerpunktes in Bezug auf die Achse des statischen Systems (Mitte BSP). Der Abstand auf der y-Achse zwischen Gesamtschwerpunkt und Achse BSP errechnet sich zu:

$$y_s = \frac{\sum(A_i \cdot y_i \cdot \gamma_i)}{\sum(A_i \cdot \gamma_i)} = \frac{0,06 \cdot 0,00 \cdot 5,0 + 0,14 \cdot 0,1 \cdot 2,3 + 0,01 \cdot 0,175 \cdot 17,0}{0,06 \cdot 5,0 + 0,14 \cdot 2,3 + 0,01 \cdot 17,0} = 0,078 \text{ m}$$

Somit ergibt sich ein resultierendes Moment aufgrund der Ausmitte von:

- $m_{g,GW,d} = 1,35 \cdot (0,17 + 0,32) \cdot 0,078 = 0,05 \text{ kNm}$

Die Belastung aus der Decke beträgt:

- $q_{Decke,d} = 10,91 \frac{kN}{m}$

Aufgrund der Einleitung der Deckenlast außerhalb des Schwerpunktes der Wand entsteht ein zusätzliches Moment. Die Ausmitte beträgt 0,08 m. Somit ergibt sich ein Moment von:

- $m_{g,Decke,d} = 10,91 \cdot 0,08 = 0,87 \text{ kNm}$

Daraus ergeben sich folgende Schnittkräfte für den Lastfall II in der Wandmitte:

$$N_d = 1,20 \cdot (11,44 + 1,07 \cdot 2,70 + 10,91) = 30,28 \text{ kN}$$

$$V_d = 1,20 \cdot (7,40) = 8,88 \text{ kN}$$

$$M_d = 0,00 \text{ kNm (keine Ausmitte von } N_d)$$

Für die Abtragung der Kräfte steht die volle Länge eines Seitenwandmoduls von 1,20 m zur Verfügung.

$$n_{y,dN} = \frac{N_d}{l_R} = \frac{30,28}{1,20} = 25,23 \frac{kN}{m}$$

$$n_{xy,dV} = \frac{V_d}{l_R} = \frac{8,88}{1,20} = 7,40 \frac{kN}{m}$$

$$n_{y,dM} = \frac{M_d}{l_R} = \frac{0,00}{1,20} = 0,00 \frac{kN}{m}$$

$$n_{y,d,max} = 25,23 + 0,00 = 25,23 \frac{kN}{m}$$

Aus der Windbelastung quer zur Scheibenebene und aus dem Moment zufolge der Ausmitte der Fassade und der Deckenauflagerung ergibt sich folgendes Moment:

$$m_{d,max} = 3,55 \cdot 1,20 = 4,26 \text{ kNm}$$

Diese Schnittkräfte gelten für einen 1m-Streifen, so dass sie auf ein 1,20 m breites Seitenwandmodul umgerechnet werden müssen.

#### 4-4.5.4 ULS Nachweise Seitenwandmodul Lastfall II

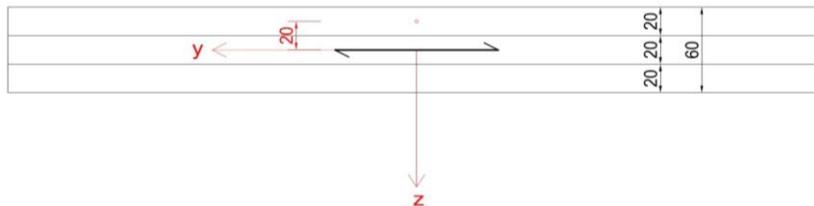


Abbildung 4.65: Querschnitt des Seitenwandmoduls

##### Eingangswerte:

CL24h

NKL 2

KLED = kurz

$E_{0,CLT,05} = 9667 \text{ N/mm}^2$

$E_{90} = 0,00 \text{ N/mm}^2$

$G_{CLT,05} = 540 \text{ N/mm}^2$

$G_{r,CLT,05} = 83 \text{ N/mm}^2$

$w_B/t_B > 4/1$

$\kappa = 0,297$

##### Ermittlung der Querschnittswerte:

- $A_{eff} = 2 \cdot 20 \cdot 1200 = 4,80 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$
- $I_{eff} = \left( \frac{20^3}{12} \cdot 2 + 20 \cdot 20^2 \cdot 2 \right) \cdot 1200 = 2,08 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
- $W_{eff} = \frac{I_{eff}}{z_{max}} = \frac{2,08 \cdot 10^7}{30} = 6,93 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
- $K_{CLT,05} = I_{eff} \cdot E_{0,CLT,05} = 2,08 \cdot 10^7 \cdot 9667 = 2,01 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$
- $S_{CLT,05} = 0,297 \cdot 1200 \cdot (540 \cdot 20 \cdot 2 + 83 \cdot 20) = 8,29 \cdot 10^6 \text{ Nmm}^2$

### Schubnachweis der Scheibe:

ideelle Schubspannung nach (4.9), (4.10) und (4.11):

- $t_1^* = t_2^* = \min \left\{ \frac{2 \cdot 20}{20} = 20 \text{ mm} \right.$
- $t^* = 20 + 20 = 40 \text{ mm}$
- $\tau_{oi,d}^* = 7,40 \cdot \frac{1}{40} = 0,19 \frac{N}{\text{mm}^2}$

Materialkenngrößen:

- $f_{v,net,d,ref} = 5,5 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 3,96 \frac{N}{\text{mm}^2}$
- $f_{T,node,d} = 2,5 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 1,80 \frac{N}{\text{mm}^2}$

Nachweise:

- Mechanismus Schub:  $\tau_{v,d} = 2 \cdot \tau_{oi,d}^* = 2 \cdot 0,19 = 0,38 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 3,96 \frac{N}{\text{mm}^2}$
- Mechanismus Torsion:  $\tau_{T,d} = 3 \cdot \tau_{oi,d}^* \cdot \frac{t_{i,max}^*}{a} = 3 \cdot 0,19 \cdot \frac{20}{150} = 0,08 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 1,80 \frac{N}{\text{mm}^2}$

Die Nachweise wurden erfüllt!

### Stabilität der Scheibe:

mit (4.12) ergibt sich ein  $n_{cr}$  zu:

- $n_{cr} = \frac{2,01 \cdot 10^{11} \cdot \pi^2}{5000^2 \cdot \left(1 + \frac{2,01 \cdot 10^{11} \cdot \pi^2}{8,29 \cdot 10^6 \cdot 5000^2}\right)} = 7,86 \cdot 10^4 N$

und daraus mit (4.13) (4.14) und (4.15):

- $\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{4,80 \cdot 10^4 \cdot 24}{7,86 \cdot 10^4}} = 3,83$
- $k = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (3,83 - 0,3) + 3,83^2) = 8,01$
- $k_c = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{1}{8,01 + \sqrt{8,01^2 - 3,83^2}} = 0,07 \end{array} \right. \rightarrow k_c = 0,07$

Materialkenngrößen:

- $f_{m,CLT,d} = 24,0 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 17,28 \frac{N}{\text{mm}^2}$
- $f_{c,0,CLT,net,d} = 16,0 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 11,52 \frac{N}{\text{mm}^2}$

Nachweis:

- $\frac{n_{y,d,max}}{k_c \cdot A_{eff} \cdot f_{c,0,CLT,net,d}} + \frac{m_{d,max}}{W_{eff} \cdot f_{m,CLT,d}} = \frac{25,23 \cdot 10^3}{0,07 \cdot 4,80 \cdot 10^4 \cdot 11,52} + \frac{4,26 \cdot 10^6}{6,95 \cdot 10^5 \cdot 17,28} = 1,00 \leq 1,00$

Der Nachweis wurde erfüllt!

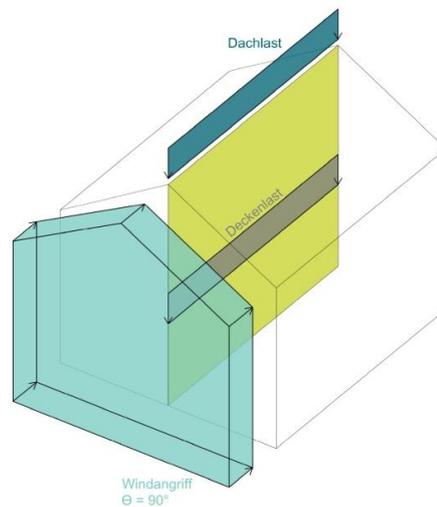
Somit wurden alle Nachweise des Seitenwandmoduls erfüllt!

### 4-4.6 BERECHNUNG DER MITTELWANDMODULE

Die Berechnungen erfolgen nach EC 5 [169] bzw. nach den Unterlagen der Lehrveranstaltung Holzbau 1 (WS2014/15) und Holzbau 2 (SS2016) des Instituts für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz. Als Berechnungsprogramm wurde RuckZuck 6.0 [170] verwendet.

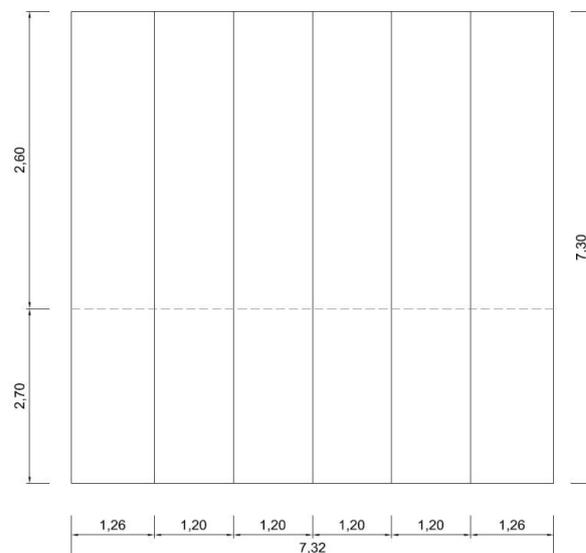
Auf die Mittelwandmodule wirken das Eigengewicht, die Dachlast und die Auflagerlast der Deckenmodule. Die Wand erhält dabei eine Deckenbelastung von beiden Haushälften und eine Windbelastung in der Ebene (Scheibenwirkung). Es wird deshalb zwischen zwei Lastfällen unterschieden:

- Lastfall I: maximaler Druck auf Wandscheibe (Nutzlast Decke führend, Schnee begleitend, kein Wind, Eigengewicht von Dach, Decke und Wand)
- Lastfall II: maximale Schubbeanspruchung der Wand durch Wind auf die Giebelwand (Wind führend, Nutzlast begleitend, kein Schnee, Eigengewicht von Dach, Decke und Wand); Wind wirkt parallel zum First



**Abbildung 4.66: Belastungen Mittelwandmodul**

Die Mittelwand gliedert sich in 1,20 m breite Module. Die Abmessungen sind in Abbildung 4.67 dargestellt.



**Abbildung 4.67: Abmessungen der Mittelwandmodule**

### 4-4.6.1 Lastfall I: maximale Druckbelastung

Die vertikale Belastung zufolge des Daches beläuft sich zu:

- $q_{Dach,d} = 5,79 \frac{kN}{m}$

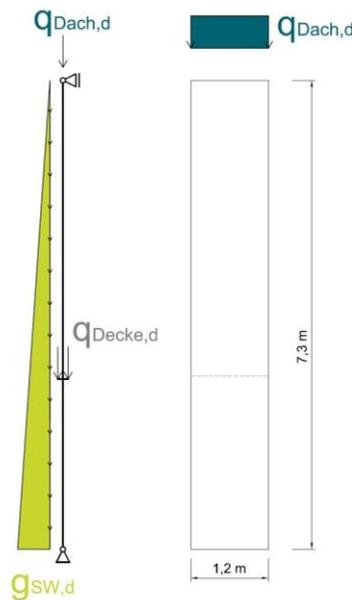
Das Eigengewicht der Wand nimmt linear mit der Höhe von oben nach unten hin zu und beträgt:

- $g_{GW,d} = 1,35 \cdot 0,30 = 0,41 \frac{kN}{lfm}$

Die Belastung aus der Decke erfolgt von beiden Seiten und beträgt gesamt:

- $q_{Decke,d} = 2 \cdot 10,91 = 21,82 \frac{kN}{m}$

Die Belastungen auf die Mittelwand sind in Abbildung 4.68 dargestellt.



**Abbildung 4.68: Belastungen der Mittelwand**

Daraus ergeben sich folgende Schnittkräfte für den Lastfall I:

$$N_d = 1,20 \cdot (5,79 + 0,41 \cdot 7,30 + 21,82) = 36,72 \text{ kN}$$

$$V_d = 1,20 \cdot (0,00) = 0,00 \text{ kN (kein Wind)}$$

$$M_d = 0,00 \text{ kNm (keine Ausmitte von } N_d)$$

Für die Abtragung der Kräfte steht die volle Länge eines Seitenwandmoduls von 1,20 m zur Verfügung.

$$n_{y,dN} = \frac{N_d}{l_R} = \frac{36,72}{1,20} = 30,60 \frac{kN}{m}$$

$$n_{xy,dV} = \frac{V_d}{l_R} = \frac{0,00}{1,20} = 0,00 \frac{kN}{m}$$

$$n_{y,dM} = \frac{M_d}{l_R} = \frac{0,00}{1,20} = 0,00 \frac{kN}{m}$$

$$n_{y,d,max} = 30,60 + 0,00 = 30,60 \frac{kN}{m}$$

#### 4-4.6.2 ULS Nachweise Mittelwandmodul Lastfall I

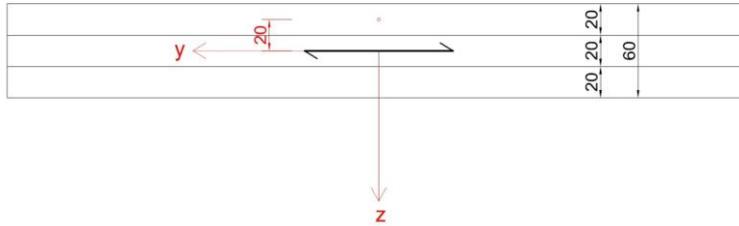


Abbildung 4.69: Querschnitt des Mittelwandmoduls

#### Eingangswerte:

CL24h

NKL 2

KLED = kurz

$E_{0,CLT,05} = 9667 \text{ N/mm}^2$

$E_{90} = 0,00 \text{ N/mm}^2$

$G_{CLT,05} = 540 \text{ N/mm}^2$

$G_{r,CLT,05} = 83 \text{ N/mm}^2$

$w_B/t_B > 4/1$

$\kappa = 0,297$

#### Ermittlung der Querschnittswerte:

- $A_{eff} = 2 \cdot 20 \cdot 1200 = 4,80 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$
- $I_{eff} = \left( \frac{20^3}{12} \cdot 2 + 20 \cdot 20^2 \cdot 2 \right) \cdot 1200 = 2,08 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
- $W_{eff} = \frac{I_{eff}}{z_{max}} = \frac{2,08 \cdot 10^7}{30} = 6,93 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
- $K_{CLT,05} = I_{eff} \cdot E_{0,CLT,05} = 2,08 \cdot 10^7 \cdot 9667 = 2,01 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$
- $S_{CLT,05} = 0,297 \cdot 1200 \cdot (540 \cdot 20 \cdot 2 + 83 \cdot 20) = 8,29 \cdot 10^6 \text{ Nmm}^2$

#### Stabilität der Scheibe:

Für die Stabilität wurde eine Knicklänge ermittelt, da die Decke als Knickhalterung in der Höhe von 2,70 m verwendet wird. Dabei ergab sich eine Knicklänge von ca. 5,04 m. Mit (4.12) ergibt sich ein  $n_{cr}$  zu:

$$\bullet \quad n_{cr} = \frac{2,01 \cdot 10^{11} \cdot \pi^2}{5040^2 \cdot \left( 1 + \frac{2,01 \cdot 10^{11} \cdot \pi^2}{8,29 \cdot 10^6 \cdot 5040^2} \right)} = 7,74 \cdot 10^4 \text{ N}$$

und daraus mit (4.13) (4.14) und (4.15):

- $\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{4,80 \cdot 10^4 \cdot 24}{7,74 \cdot 10^4}} = 3,85$
- $k = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (3,85 - 0,3) + 3,85^2) = 8,09$
- $k_c = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{1}{8,09 + \sqrt{8,09^2 - 3,85^2}} = 0,07 \end{array} \right. \rightarrow k_c = 0,07$

Materialkenngrößen:

- $f_{m,CLT,d} = 24,0 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 17,28 \frac{N}{mm^2}$
- $f_{c,0,CLT,net,d} = 16,0 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 11,52 \frac{N}{mm^2}$

Nachweis:

- $\frac{n_{y,d,max}}{k_c \cdot A_{eff} \cdot f_{c,0,CLT,net,d}} + \frac{m_{d,max}}{W_{eff} \cdot f_{m,CLT,d}} = \frac{30,60 \cdot 10^3}{0,07 \cdot 4,80 \cdot 10^4 \cdot 11,52} + \frac{0,00 \cdot 10^6}{6,93 \cdot 10^5 \cdot 17,28} = 0,79 \leq 1,00$

Der Nachweis wurde erfüllt!

### 4-4.6.3 Lastfall II: maximale Schubbelastung

Die vertikale Belastung zufolge des Daches beläuft sich zu:

- $q_{Dach,d} = 5,84 \frac{kN}{m}$

Zusätzlich wirkt folgende Windbelastung auf die Mittelwand (in Scheibenebene):

$$w_{SW,D,d} = 1,50 \cdot 0,57 = 0,86 \frac{kN}{m^2}$$

Die Windbelastung auf der halben Giebelwandfläche wirkt auf die Mittelwandscheibe als Linienbelastung (Querkraft) am oberen Ende der Giebelwand und auf deren gesamten Länge. Die Berechnung erfolgt für das maßgebende Mittelwandmodul über dessen Breite von 1,20m.

- $w_{MW,quer,d} = w_{GW,D,d} \cdot \frac{A_{GW}}{2} \cdot \frac{1}{l_{MWM}} = 0,86 \cdot \left( 6,3 \cdot 3,6 + (7,3 - 6,3) \cdot \frac{3,6}{2} \right) \cdot \frac{1}{1,20} = 17,54 \frac{kN}{m}$

Das Eigengewicht der Wand nimmt linear mit der Höhe von oben nach unten hin zu und beträgt:

- $g_{GW,d} = 1,35 \cdot 0,30 = 0,41 \frac{kN}{lfm}$

Die Belastung aus der Decke erfolgt von beiden Seiten und beträgt gesamt:

- $q_{Decke,d} = 2 \cdot 10,91 = 21,82 \frac{kN}{m}$

Die Belastung auf die Mittelwand ist in Abbildung 4.70 dargestellt.

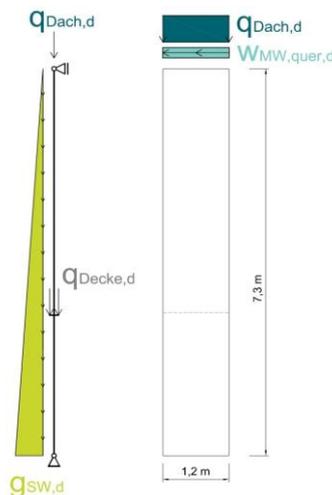


Abbildung 4.70: Belastungen der Mittelwand

Daraus ergeben sich folgende Schnittkräfte für den Lastfall II:

$$N_d = 1,20 \cdot (5,84 + 0,41 \cdot 7,3 + 21,82) = 36,77 \text{ kN}$$

$$V_d = 1,20 \cdot (17,54) = 21,05 \text{ kN}$$

$$M_d = 0,00 \text{ kNm (keine Ausmitte von } N_d)$$

Für die Abtragung der Kräfte steht die volle Länge eines Seitenwandmoduls von 1,20 m zur Verfügung.

$$n_{y,dN} = \frac{N_d}{l_R} = \frac{36,77}{1,20} = 30,64 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{xy,dV} = \frac{V_d}{l_R} = \frac{21,05}{1,20} = 17,54 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{y,dM} = \frac{M_d}{l_R} = \frac{0,00}{1,20} = 0,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{y,d,max} = 30,64 + 0,00 = 30,64 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### 4-4.6.4 ULS Nachweise Mittelwandmodul Lastfall II

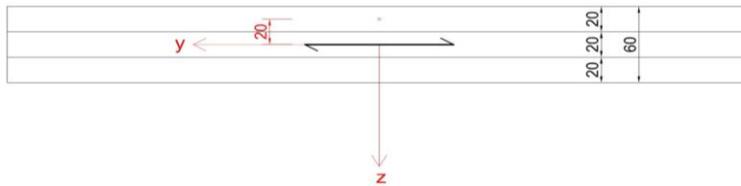


Abbildung 4.71: Querschnitt des Mittelwandmoduls

#### Eingangswerte:

CL24h

NKL 2

KLED = kurz

$$E_{0,CLT,05} = 9667 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{90} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{CLT,05} = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{r,CLT,05} = 83 \text{ N/mm}^2$$

$$w_B/t_B > 4/1$$

$$\kappa = 0,297$$

#### Ermittlung der Querschnittswerte:

- $A_{eff} = 2 \cdot 20 \cdot 1200 = 4,80 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$
- $I_{eff} = \left( \frac{20^3}{12} \cdot 2 + 20 \cdot 20^2 \cdot 2 \right) \cdot 1200 = 2,08 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
- $W_{eff} = \frac{I_{eff}}{z_{max}} = \frac{2,08 \cdot 10^7}{30} = 6,93 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
- $K_{CLT,05} = I_{eff} \cdot E_{0,CLT,05} = 2,08 \cdot 10^7 \cdot 9667 = 2,01 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$
- $S_{CLT,05} = 0,297 \cdot 1200 \cdot (540 \cdot 20 \cdot 2 + 83 \cdot 20) = 8,29 \cdot 10^6 \text{ Nmm}^2$

### Schubnachweis der Scheibe:

ideelle Schubspannung nach (4.9), (4.10) und (4.11):

- $t_1^* = t_2^* = \min \left\{ \frac{2 \cdot 20}{20} = 20 \text{ mm} \right.$
- $t^* = 20 + 20 = 40 \text{ mm}$
- $\tau_{oi,d}^* = 17,54 \cdot \frac{1}{40} = 0,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Materialkenngrößen:

- $f_{v,net,d,ref} = 5,5 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 3,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $f_{T,node,d} = 2,5 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 1,80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Nachweise:

- Mechanismus Schub:  $\tau_{v,d} = 2 \cdot \tau_{oi,d}^* = 2 \cdot 0,44 = 0,88 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 3,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- Mechanismus Torsion:  $\tau_{T,d} = 3 \cdot \tau_{oi,d}^* \cdot \frac{t_{i,max}^*}{a} = 3 \cdot 0,44 \cdot \frac{20}{150} = 0,18 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 1,80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Die Nachweise wurden erfüllt!

### Stabilität der Scheibe:

Für die Stabilität wurde eine Knicklänge ermittelt, da die Decke als Knickhalterung in der Höhe von 2,70 m verwendet wird. Dabei ergab sich eine Knicklänge von ca. 5,06 m. Mit (4.12) ergibt sich ein  $n_{cr}$  zu:

- $n_{cr} = \frac{2,01 \cdot 10^{11} \cdot \pi^2}{5060^2 \cdot \left(1 + \frac{2,01 \cdot 10^{11} \cdot \pi^2}{8,29 \cdot 10^6 \cdot 5060^2}\right)} = 7,68 \cdot 10^4 \text{ N}$

und daraus mit (4.13) (4.14) und (4.15):

- $\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{4,80 \cdot 10^4 \cdot 24}{7,68 \cdot 10^4}} = 3,87$
- $k = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (3,87 - 0,3) + 3,87^2) = 8,17$
- $k_c = \min \left\{ \frac{1}{8,17 + \sqrt{8,17^2 - 3,87^2}} = 0,07 \rightarrow k_c = 0,07 \right.$

Materialkenngrößen:

- $f_{m,CLT,d} = 24,0 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 17,28 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $f_{c,0,CLT,net,d} = 16,0 \cdot \frac{0,90}{1,25} = 11,52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Nachweis:

- $\frac{n_{y,d,max}}{k_c \cdot A_{eff} \cdot f_{c,0,CLT,net,d}} + \frac{m_{d,max}}{W_{eff} \cdot f_{m,CLT,d}} = \frac{30,64 \cdot 10^3}{0,07 \cdot 4,80 \cdot 10^4 \cdot 11,52} + \frac{0,00}{6,93 \cdot 10^5 \cdot 17,28} = 0,79 \leq 1,00$

Der Nachweis wurde erfüllt!

Somit wurden alle Nachweise des Mittelwandmoduls erfüllt!

#### 4-4.7 BERECHNUNG DER AUFLAGERKONSOLEN FÜR DIE DECKE

Die Berechnungen erfolgen nach EC 5 [169] bzw. nach den Unterlagen der Lehrveranstaltung Holzbau 1 (WS2014/15) und Holzbau 2 (SS2016) des Instituts für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz. Als Berechnungsprogramm wurde RuckZuck 6.0 [170] verwendet.

Die Deckenmodule lagern auf Konsolen auf. Diese Konsolen werden mittels Schraubverbindung an die Längswände des Hauses befestigt. Als Material für die Konsolen wird Vollholz der Güte C24 mit einem Querschnitt von 100/200 mm verwendet. Um die Gefahr des Kopfdurchziehens der Schrauben zu verringern, werden Vollgewindeschrauben mit 8 mm Schaftdurchmesser und Scheibenkopf eingesetzt. Die Verbindung ist eine einschnittige Holz-Holz Verbindung mit geneigt-angeordneten, selbstbohrenden Holzschrauben zur Übertragung der Querkraft und in Achsrichtung beanspruchte selbstbohrende Holzschrauben zur Übertragung eines Exzentrizitätsmomentes.

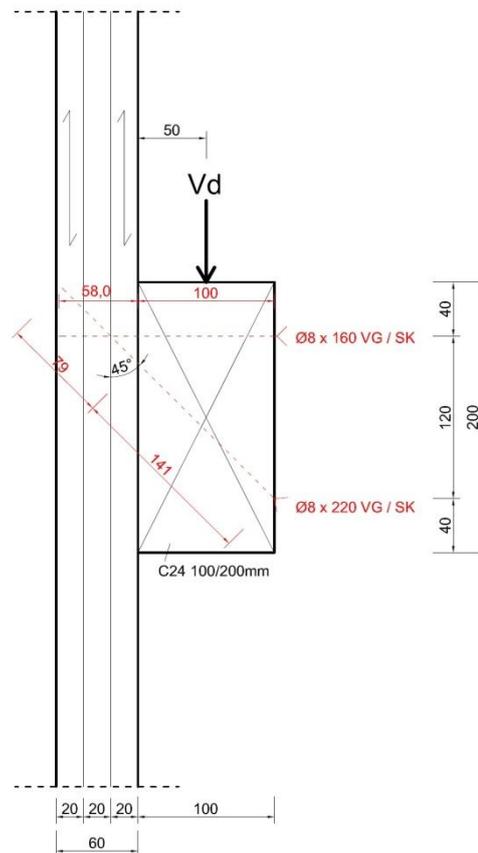


Abbildung 4.72: Konsole als Deckenaufleger

Die Auflagerkraft der Decke auf die Konsole beträgt 10,91 kN pro Laufmeter der Konsole. Hinzu kommen 0,08 kN pro Laufmeter an Gewicht der Konsole. Somit ergibt sich eine Bemessungsquerkraft von 11,00 kN.

- $V_d = 11,00 \text{ kN}$

Das Exzentrizitätsmoment ergibt sich zu:

- $M_d = V_d \cdot e = 11,00 \cdot 0,05 = 0,55 \text{ kNm}$

Daraus ergibt sich eine Normalkraft quer zur Wandebene von:

- $N_d = \frac{M_d}{h} = \frac{0,55}{0,12} = 4,17 \text{ kN}$

Die Nachweise erfolgen nach ETA-11/0190 [172]

**Grundkenngrößen:**

Holz:

- Bauteil 1 (Konsole): C24
- $\rho_{k,C24} = 350 \frac{kg}{m^3}$
- Bauteil 2 (Wand): CL24h
- $\rho_{k,CL24h} = 385 \frac{kg}{m^3}$

Schrauben:

- Schraube I:  $\alpha = 45^\circ$ :  $\varnothing 8 \times 220mm$  VG/SK
- Schraube II:  $\alpha = 90^\circ$ :  $\varnothing 8 \times 160mm$  VG/SK
- $f_{head,k} = 10,0 \frac{N}{mm^2}$
- $f_{ax,k,C24} = 11,0 \cdot \left(\frac{350}{350}\right)^{0,8} = 11,0 \frac{N}{mm^2}$
- $f_{ax,k,CL24h} = 11,0 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 11,9 \frac{N}{mm^2}$
- $f_{tens,k} = 20000 N$
- $d_h = 22,1 mm$
- $k_{ax} = 1,0$  für  $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

Allgemein:

- $k_{mod} = 0,90$
- $l_{ef,I,W} = 79 - 28 = 51 mm$
- $l_{ef,I,K} = 141 mm$
- $l_{ef,II,W} = 58 - 20 = 36 mm$
- $l_{ef,II,K} = 100 mm$

**Tragfähigkeit je Schraube:**

Die axiale Tragfähigkeit je Schraube I für die errechnet sich wie folgt:

$$F_{ax,Rd,I} = \min \left\{ \begin{array}{l} (1): \max \left\{ \begin{array}{l} f_{head,k} \cdot d_h^2 \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \\ k_{ax} \cdot f_{ax,k,C24} \cdot d \cdot l_{ef,I,K} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \end{array} \right. \\ (2): k_{ax} \cdot f_{ax,k,CL24h} \cdot d \cdot l_{ef,I,W} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \\ \frac{f_{tens,k}}{\gamma_M} \end{array} \right. \quad (4.16)$$

eingesetzt ergibt sich:

$$F_{ax,Rd,I} = \min \left\{ \begin{array}{l} (K): \max \left\{ \begin{array}{l} 10,0 \cdot 22,1^2 \cdot \frac{0,90}{1,30} \\ 1,00 \cdot 11,0 \cdot 8 \cdot 141 \cdot \frac{0,90}{1,30} \end{array} \right. \\ (W): 1,0 \cdot 11,9 \cdot 8 \cdot 51 \cdot \frac{0,90}{1,25} \\ \frac{20000}{1,25} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \begin{array}{l} 3381 N \\ 8590 N \end{array} \right. \\ 3496 N \\ 16000 N \end{array} \right. = 3496 N$$

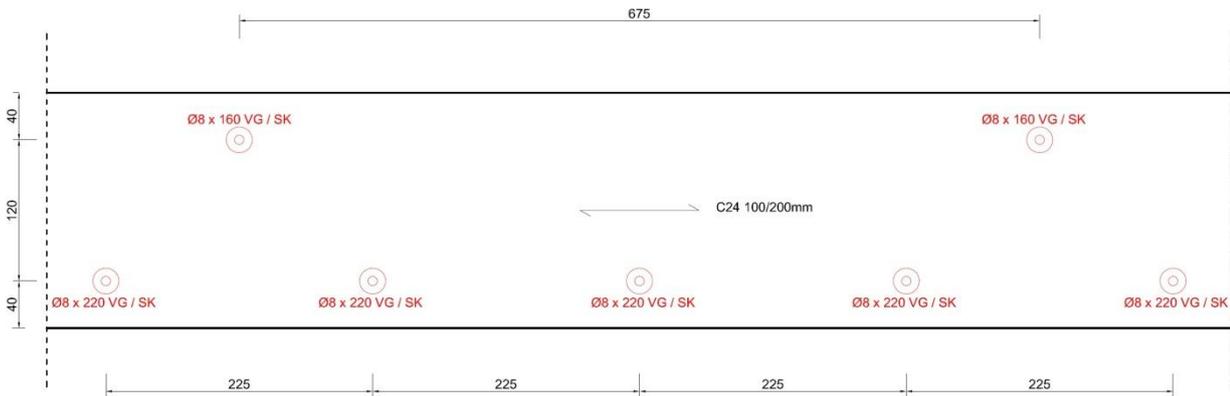
Für die Ermittlung der Tragfähigkeit der Schraube I darf  $\mu$ -Wert von 0,15 (Holz-Holz) angesetzt werden, wodurch sich folgende Tragfähigkeit je Schraube I ergibt:

$$F_{Rd,I} = F_{ax,Rd,I} \cdot (\cos \alpha + \mu \cdot \sin \alpha) = 3496 \cdot (\cos 45 + 0,15 \cdot \sin 45) = 2843 N$$

Für die Schraube II ergibt sich mit Gleichung (4.16) folgende axiale Tragfähigkeit:

$$\begin{aligned}
 & \bullet F_{ax,Rd,II} = \min \left\{ \begin{array}{l} (K): \max \left\{ \begin{array}{l} 10,0 \cdot 22,1^2 \cdot \frac{0,90}{1,30} \\ 1,00 \cdot 11,0 \cdot 8 \cdot 100 \cdot \frac{0,90}{1,30} \end{array} \right. \\ (W): 1,0 \cdot 11,9 \cdot 8 \cdot 36 \cdot \frac{0,90}{1,25} \\ \frac{20000}{1,25} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \begin{array}{l} 3381 N \\ 6092 N \end{array} \right. \\ 2468 N \\ 16000 N \end{array} \right. = 2468 N \\
 & \bullet F_{Rd,II} = F_{ax,Rd,II} = 2468 N
 \end{aligned}$$

**Ermittlung von  $n_{ef}$ :**



**Abbildung 4.73: Schraubenanordnung der Konsole pro Laufmeter**

Für Schraube I:

$$\bullet n_{ef} = \max \left\{ \begin{array}{l} n^{0,9} \\ 0,9 \cdot n \end{array} \right. = \max \left\{ \begin{array}{l} 5^{0,9} = 4,3 \\ 0,9 \cdot 5 = 4,5 \end{array} \right. = 4,5$$

Für Schraube II:

$$\bullet n_{ef} = n^{0,9} = 2^{0,9} = 1,9$$

**Nachweise:**

- NW I:  $V_d = 11000 N \leq F_{Rd,I} \cdot n_{ef} = 2843 \cdot 4,5 = 12794 N$
- NW II:  $N_d = 4170 N \leq F_{Rd,II} \cdot n_{ef} = 2468 \cdot 1,9 = 4690 N$

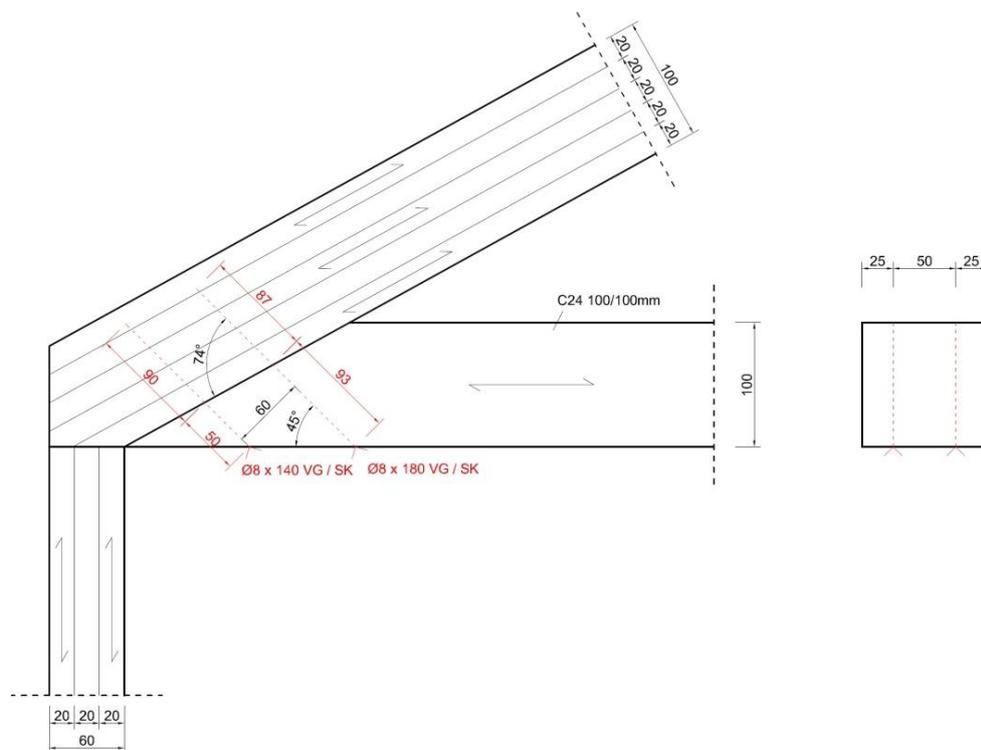
Alle Mindestabstände wurden eingehalten und alle Nachweise erfüllt!

## 4-4.8 BERECHNUNG DES DACHBALKENS

Die Berechnungen erfolgen nach EC 5 [169] bzw. nach den Unterlagen der Lehrveranstaltung Holzbau 1 (WS2014/15) und Holzbau 2 (SS2016) des Instituts für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz. Als Berechnungsprogramm wurde RuckZuck 6.0 [170] verwendet.

Durch unterschiedliche Beanspruchungen auf das Dachmodul entstehen Zugkräfte im Dachbalken (Zugband). Um diese aufnehmen zu können, wird ein Vollholzbalken am unteren Bereich der Dachmodule angeordnet, der die beiden Dachhälften miteinander verbinden soll. Pro Dachmodul werden zwei Balken vorgesehen. Da jedoch die Mittelwand bis zum Giebel reicht, muss die Wand auf Höhe der Balken durchdrungen werden. Um eine einfache Montage und um eine ordnungsgemäße Lastübertragung zu ermöglichen, wird der Balken zweigeteilt und mittels T-förmigen Stahlwinkel an der Mittelwand befestigt. Der Anschluss an die Wand erfolgt mittels Holzschrauben und die Verbindung des horizontal liegenden T-Profils an den Dachbalken erfolgt mittels Bohrstabdübel.

### 4-4.8.1 Anschluss Dachbalken an Dachmodul



*Abbildung 4.74: Anschluss Dachbalken an Dachmodul*

Eine maximale Zugkraft von 13,57 kN muss pro Meter Dach übertragen werden. Pro Dachbalken ergibt sich demnach eine zu übertragende Kraft von 6,78 kN.

$$N_d = 6,78 \text{ kN}$$

Das Eigengewicht des Balkens ergibt sich zu:

$$g_d = 1,35 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot \frac{3,6}{2} \cdot 5,0 = 0,12 \text{ kN}$$

Daraus ergibt sich eine resultierende Kraft, die von den Schrauben aufgenommen werden muss von:

$$F_{res} = \sqrt{6,78^2 + 0,12^2} = 6,78 \text{ kN}$$

Da das Eigengewicht nur einen unwesentlichen Anteil zur resultierenden Kraft beiträgt, wird diese in Folge vernachlässigt.

Die Nachweise erfolgen nach ETA-11/0190 [172]

**Grundkenngrößen:**

Holz:

- Bauteil 1 (Dachbalken): C24
- $\rho_{k,C24} = 350 \frac{kg}{m^3}$
- Bauteil 2 (Dachmodul): CL24h
- $\rho_{k,CL24h} = 385 \frac{kg}{m^3}$
- $A = 100 \cdot 100 = 10000 \text{ mm}^2$

Schrauben:

- Schraube I:  $\alpha = 45^\circ$ :  $\varnothing 8 \times 140 \text{ mm VG/SK}$
- Schraube II:  $\alpha = 45^\circ$ :  $\varnothing 8 \times 180 \text{ mm VG/SK}$
- $f_{head,k} = 10,0 \frac{N}{\text{mm}^2}$
- $f_{ax,k,C24} = 11,0 \cdot \left(\frac{350}{350}\right)^{0,8} = 11,0 \frac{N}{\text{mm}^2}$
- $f_{ax,k,CL24h} = 11,0 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 11,9 \frac{N}{\text{mm}^2}$
- $f_{tens,k} = 20000 \text{ N}$
- $d_h = 22,1 \text{ mm}$
- $k_{ax} = 1,0$  für  $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

Allgemein:

- $k_{mod} = 0,90$
- $l_{ef,I,D} = 90 - 2 \cdot 20 = 50 \text{ mm}$
- $l_{ef,I,B} = 50 \text{ mm}$
- $l_{ef,II,D} = 87 - 2 \cdot 20 = 47 \text{ mm}$
- $l_{ef,II,B} = 93 \text{ mm}$

**Tragfähigkeit je Schraube:**

Die axiale Tragfähigkeit der Schraube I errechnet sich nach (4.16) zu:

$$\begin{aligned}
 \text{▪ } F_{ax,Rd,I} = \min \left\{ \begin{array}{l} (B): \max \left\{ \begin{array}{l} 10,0 \cdot 22,1^2 \cdot \frac{0,90}{1,30} \\ 1,00 \cdot 11,0 \cdot 8 \cdot 50 \cdot \frac{0,90}{1,30} \end{array} \right. \\ (D): 1,0 \cdot 11,9 \cdot 8 \cdot 50 \cdot \frac{0,90}{1,25} \\ \frac{20000}{1,25} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \begin{array}{l} 3381 \text{ N} \\ 3046 \text{ N} \end{array} \right. \\ 3427 \text{ N} \\ 16000 \text{ N} \end{array} \right. = 3381 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Damit ergibt sich eine Tragfähigkeit der Schraube I in Kraftrichtung zu:

- $F_{Rd,I} = F_{ax,Rd,I} \cdot (\cos \alpha) = 3381 \cdot (\cos 45) = 2391 \text{ N}$

Für die Abtragung der Zugkraft stehen pro Balken zwei Schrauben der Schraube I zur Verfügung. Daraus ergibt sich ein  $n_{ef}$  zu:

$$\bullet \quad n_{ef} = \max \begin{cases} n^{0,9} \\ 0,9 \cdot n \end{cases} = \max \begin{cases} 2^{0,9} = 1,87 \\ 0,9 \cdot 2 = 1,8 \end{cases} = 1,87$$

Für die Schraube II ergibt sich mit Gleichung (4.16) folgende axiale Tragfähigkeit:

$$\bullet \quad F_{ax,Rd,II} = \min \begin{cases} (B): \max \begin{cases} 10,0 \cdot 22,1^2 \cdot \frac{0,90}{1,30} \\ 1,00 \cdot 11,0 \cdot 8 \cdot 93 \cdot \frac{0,90}{1,30} \end{cases} \\ (D): 1,0 \cdot 11,9 \cdot 8 \cdot 47 \cdot \frac{0,90}{1,25} \\ \frac{20000}{1,25} \end{cases} = \min \begin{cases} \max \begin{cases} 3381 \text{ N} \\ 5666 \text{ N} \end{cases} \\ 3222 \text{ N} \\ 16000 \text{ N} \end{cases} = 3222 \text{ N}$$

Damit ergibt sich eine Tragfähigkeit der Schraube II in Kraftrichtung zu:

$$\bullet \quad F_{Rd,I} = F_{ax,Rd,I} \cdot (\cos \alpha) = 3222 \cdot (\cos 45) = 2278 \text{ N}$$

Für die Abtragung der Zugkraft stehen pro Balken zwei Schrauben der Schraube II zur Verfügung. Daraus ergibt sich ein  $n_{ef}$  zu:

$$\bullet \quad n_{ef} = \max \begin{cases} n^{0,9} \\ 0,9 \cdot n \end{cases} = \max \begin{cases} 2^{0,9} = 1,87 \\ 0,9 \cdot 2 = 1,8 \end{cases} = 1,87$$

Materialkenngrößen:

$$\bullet \quad f_{t,0,d} = 14,0 \cdot \frac{0,90}{1,30} = 9,69 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

**Nachweise:**

- NW Schrauben:  $F_{res} = 6780 \text{ N} \leq F_{Rd,I} \cdot n_{ef} + F_{Rd,II} \cdot n_{ef} = (2391 + 2278) \cdot 1,87 = 8731 \text{ N}$
- NW Querschnitt Balken:  $\frac{F_{res}}{A \cdot f_{t,0,d}} = \frac{6,78 \cdot 10^3}{10000 \cdot 9,69} = 0,07 \leq 1,0$

Alle Mindestabstände wurden eingehalten und alle Nachweise erfüllt!

### 4-4.8.2 Anschluss Stahlprofil an Wand

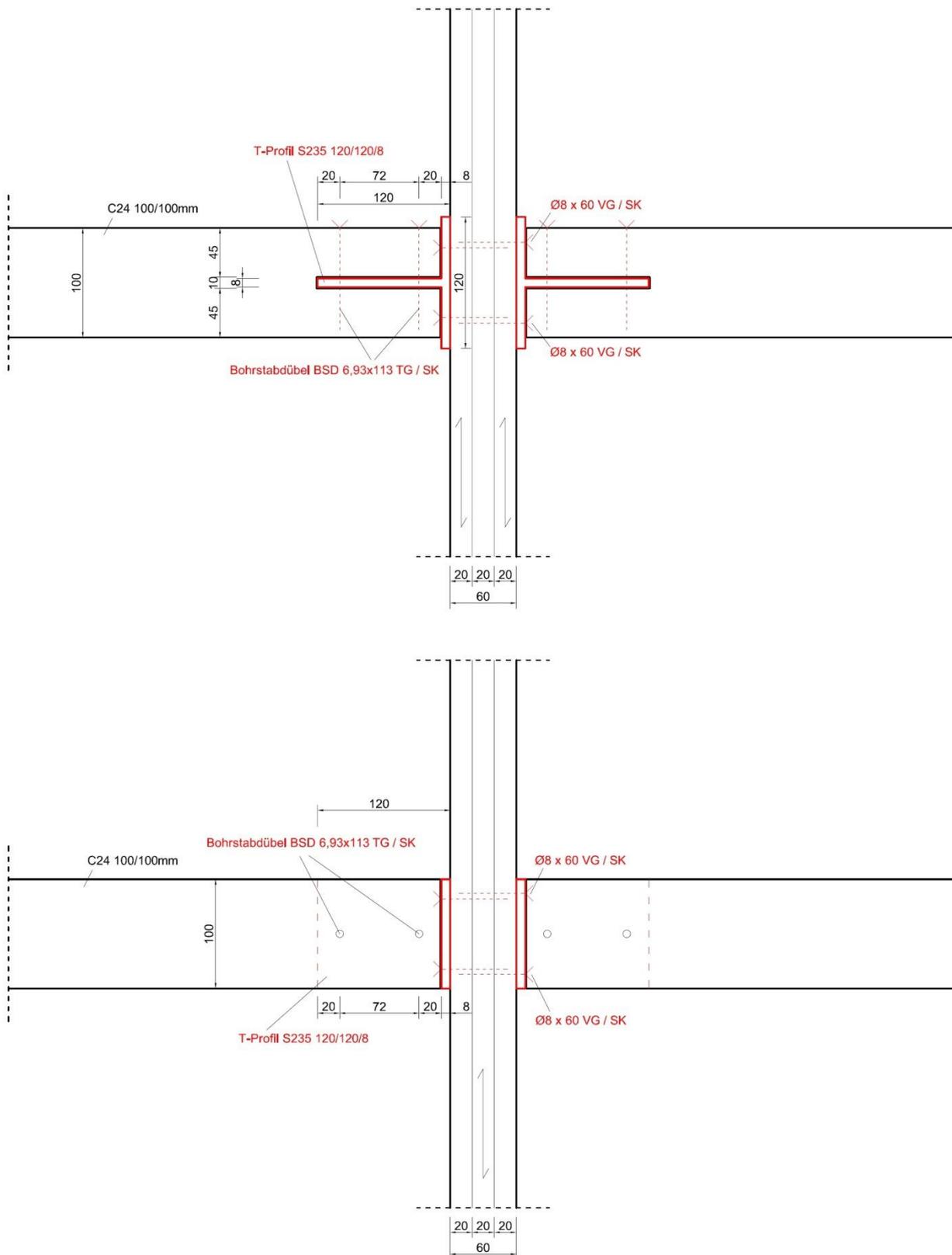


Abbildung 4.75: Anschluss Dachbalken an Wand

Die Nachweise erfolgen nach ETA-11/0190 [172]

**Grundkenngrößen:**

Holz:

- Bauteil 1 (Dachbalken): C24
- $\rho_{k,C24} = 350 \frac{kg}{m^3}$
- Bauteil 2 (Wand): CL24h
- $\rho_{k,CL24h} = 385 \frac{kg}{m^3}$
- $A = 100 \cdot 100 = 10000 \text{ mm}^2$

Schrauben:

- $\alpha = 90^\circ : \varnothing 8 \times 60 \text{ mm VG/SK}$
- $f_{head,k} = 13,0 \frac{N}{mm^2}$
- $f_{ax,k,CL24h} = 11,0 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 11,9 \frac{N}{mm^2}$
- $f_{tens,k} = 20000 \text{ N}$
- $d_h = 15,0 \text{ mm}$
- $k_{ax} = 1,0$  für  $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

Allgemein:

- $k_{mod} = 0,90$
- $l_{ef} = l_{Schraube} - d_{Blech} = 60 - 8 = 52 \text{ mm}$

**Tragfähigkeit je Schraube:**

Die axiale Tragfähigkeit der Schraube errechnet sich nach (4.16) zu:

$$F_{ax,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{kein Kopfdurchziehen möglich} \\ 1,0 \cdot 11,9 \cdot 8 \cdot 52 \cdot \frac{0,90}{1,25} \\ \frac{20000}{1,25} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 3564 \text{ N} \\ 16000 \text{ N} \end{array} \right. = 3564 \text{ N}$$

Damit ergibt sich eine Tragfähigkeit der Schraube in Krafrichtung zu:

- $F_{Rd} = F_{ax,Rd} \cdot (\cos \alpha) = 3564 \cdot (\cos 0) = 3564 \text{ N}$

Für die Abtragung der Zugkraft stehen pro Balken vier Schrauben der Schraube zur Verfügung. Daraus ergibt sich ein  $n_{ef}$  zu:

- $n_{ef} = n^{0,9} = 4^{0,9} = 3,48$

**Nachweis:**

- NW Schrauben:  $F_{res} = 6780 \text{ N} \leq F_{Rd} \cdot n_{ef} = 3564 \cdot 3,48 = 12402 \text{ N}$

Alle Mindestabstände wurden eingehalten und alle Nachweise erfüllt!

### 4-4.8.3 Anschluss Dachbalken an Stahlprofil

Bei der Verbindung handelt es sich um eine zweischnittige Holz-Stahlblechverbindung mit innenliegendem Stahlblech der Güte S235 und einer Dicke von 8 mm.

#### Grundkenngrößen:

Stahlblech:

- $d = 8 \text{ mm}$
- S235

Holz:

- C24
- $t_1 = 45 \text{ mm}$

Bohrstabdübel [173]:

- $l = 113 \text{ mm}$
- $d = 6,93 \text{ mm}$
- $M_{y,d} = 43500 \text{ Nmm}$

#### Ermittlung der Tragfähigkeit eines Stabdübels:

Die Lochleibungsfestigkeit in Faserrichtung ergibt sich zu:

$$\bullet f_{h,0,d} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 6,93) \cdot 350 \cdot \frac{0,90}{1,30} = 18,49 \frac{N}{mm^2}$$

Die Tragfähigkeit je Stabdübel errechnet sich aus den Johansen-Gleichungen wie folgt (Seileffekt vernachlässigt):

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot t_1^2 \cdot d}} - 1 \right) \\ 2 \cdot \sqrt{M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} \end{array} \right. \quad (4.17)$$

eingesetzt ergibt sich:

$$\bullet R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 18,49 \cdot 45 \cdot 6,93 \\ 18,49 \cdot 45 \cdot 6,93 \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot 43500}{18,49 \cdot 45^2 \cdot 6,93}} - 1 \right) \\ 2 \cdot \sqrt{43500 \cdot 18,49 \cdot 6,93} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 5766 \\ 3657 \\ 4722 \end{array} \right. = 3657 \text{ N}$$

#### Ermittlung von $n_{ef}$ :

$$\bullet n_{ef} = \left( n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right) \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} = \left( 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{72}{10 \cdot 6,93}} \right) \cdot \frac{90 - 0}{90} + 2 \cdot \frac{0}{90} = 1,88$$

#### Ermittlung der Gesamttragfähigkeit der Verbindung:

$$\bullet R_{d,ges} = R_d \cdot n_{ef} \cdot s \cdot m = 3657 \cdot 1,88 \cdot 2 \cdot 1 = 13750 \text{ N}$$

**Nachweis:**

$$\blacksquare \frac{F_{res}}{R_{d,ges}} = \frac{6780}{13750} = 0,49$$

Der Nettoquerschnittsnachweis wird aufgrund der geringen Ausnutzung des Querschnitts nicht separat geführt.

Alle Mindestabstände wurden eingehalten und alle Nachweise erfüllt!

## **4-4.9 ERGEBNISSE DER BERECHNUNGEN**

Aus den durchgeführten Berechnungen geht hervor, dass alle Wand-, Decken-, Boden- und Dachmodule sowie die Dach- und Deckenbalken den angenommenen Belastungen (Standort Graz) widerstehen können. Das gesamte Gebäude wurde auf eine Ausbaustufe mit Wärmedämmung und Bodenaufbauten ausgelegt, so dass diese Ausbaumaßnahmen in Bezug auf die Statik bedenkenlos durchgeführt werden können. Eine Brandberechnung wurde in dieser Arbeit nicht durchgeführt, da davon ausgegangen wird, dass die Bewohner ihre Häuser rechtzeitig verlassen können. Verbindungen bedürfen ebenfalls einer weiteren Berechnung. Dennoch wurde eine grundsätzliche Baubarkeit des Projektes durch die vorangegangenen Berechnungen nachgewiesen.

# KAPITEL 5: ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

## 5-1 ZUSAMMENFASSUNG DER ARBEIT

---

In dieser Arbeit wird zuerst auf die Probleme informeller Siedlungen und Slums eingegangen, wodurch ein Überblick über die Situation der Menschen in diesen Gebieten geschaffen wird. Im Abschnitt der unterschiedlichen Lösungsstrategien zeigt sich, mit welchen Ansätzen diesen Problemen in der Vergangenheit begegnet wurde, welche Strategien scheiterten und welche nach wie vor funktionieren. Aus diesem Pool an Konzepten wird die Strategie der inkrementellen Hausbauweise herausgegriffen und näher analysiert. Dabei stellte sich heraus, dass eine bloße Errichtung der Häuser nicht zielführend ist. Es muss daher zwingend auf die unterschiedlichen vor Ort vorherrschenden Situationen und Lebensgewohnheiten der Menschen eingegangen werden. Die Einbeziehung der Bewohner in die Planung und Ausführung ist unerlässlich, damit ein ausgeführtes Projekt nicht binnen kurzer Zeit wieder in einen slumähnlichen Zustand verfällt. Dem im sozialen Wohnbau häufig anzutreffenden Problem des zu geringen Kapitals soll durch standardisierte, vorgefertigte Bauteile begegnet werden. Im zweiten Kapitel wird der Fokus auf Bausysteme gelegt, um herauszufinden, welche Systeme für ein Hauskonzept mit vorgefertigten Bauteilen in Frage kommen. Das Bauen mit Modulen bietet eine adäquate Lösung, um standardisierte und vor allem austauschbare Bauteile herstellen zu können. Im praktischen Teil der Arbeit wird ein bestehender Entwurf eines Hauses für die Verbesserung von informellen Siedlungen überarbeitet und für die Modulbauweise in Holz-Massivbauweise mit Brettsperrholz adaptiert. Das hierbei entwickelte Konzept verfolgt ebenfalls die inkrementelle Hausbaustrategie und erlaubt es den Bewohnern ihr Zuhause nach und nach zu erweitern bzw. auszubauen. Um die Bandbreite des Einsatzgebietes zu erweitern, entsteht auch eine Ausbaustufe für „Grazer Anforderungen“. Das modulare Konzept des Hauses beginnt bei den konstruktiven Bauteilen, geht über Erweiterungen, Türen, Fenster und Treppenanlagen bis hin zur Gebäudetechnik. Eine statische Berechnung der wichtigsten Bauteile vollendet die Arbeit und dient der Überprüfung der Baubarkeit des Projektes.

## 5-2 AUSBLICK

---

Zu guter Letzt soll auf offene Fragen eingegangen werden. Diese umfassen die Wirtschaftlichkeit und Machbarkeit des Projektes sowie die erforderlichen Rahmenbedingungen. In ökonomischen Punkten muss das Konzept verfeinert werden, um sämtliche Kosten des Projektes aufzuzeigen. Die in dieser Arbeit angegebenen Kosten der Holzkonstruktion sind mit Vorsicht zu betrachten, da diese weder exakte Abbundkosten noch Transport- und Montagekosten beinhalten. Ebenfalls näher analysiert werden müssen die anfallenden Kosten für Gründungen und Gebäudetechnik. Die statische Machbarkeit des Konzeptes wird durch die Berechnungen erbracht. Eine detaillierte Berechnung der Verbindungen zwischen Modulen muss jedoch noch angeschlossen werden. Für Standorte außerhalb von Graz sind Adaptierungen notwendig. Brandschutztechnische Berechnungen müssten ebenso durchgeführt werden wie Berechnungen in Bezug auf Erdbebensicherheit. Um ein Gelingen des Wohnbauprojektes sicherzustellen, müssen auch die anderen Strategien wie Infrastruktur, Arbeitsplatzbeschaffung und Grundbesitz beachtet werden. Eine adäquate Anordnung der Häuser innerhalb einer Siedlung sowie die Lage der Siedlung innerhalb der Stadt bedürfen einer weiteren Analyse.

## ANHANG A VERZEICHNISSE

### A-1 Literaturverzeichnis

- [1] Magat, D., 2005. *Slum Strategies – From Housing to Urban Scenarios in Latin America*, Lausanne: EPFL.
- [2] Aravena, A., Iacobelli, A., 2016. *Elemental – Incremental Housing and Participatory Design Manual*, Ostfildern: Hatje Cantz Verlag.
- [3] Knaack, U., Chung-Klatte, S., Hasselbach, R., 2012. *Systembau – Prinzipien der Konstruktion*, Basel: Birkhäuser Verlag.
- [4] Schickhofer, G., Bogensberger, T., Moosbrugger, T., et al., 2010. *BSPHandbuch: Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz*, Graz: Verlag der Technischen Universität Graz, Institut für Holzbau und Holztechnologie & holz.bau forschung gmbh.
- [5] Taubenböck, H., Wurm, M., Esch, T., Dech, S., 2015. *Globale Urbanisierung – Perspektive aus dem All*, Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- [6] Brillembourg, A., Klumpner, H., Lepik, A., Klagas, A., 2015. *Si/No: The Architecture of Urban-Think Tank - Slum lab No. 10*, München: TU München Architekturmuseum.
- [7] RS/PM, Spektrum Akademischer Verlag. *Lexikon der Geographie: Slum*, In: spektrum.de, URL: <http://www.spektrum.de/lexikon/geographie/slum/7294> (Abgerufen: 03.10.2016).
- [8] UN-Habitat, 2007. *Slums: Some Definitions*, In: UN-Habitat: Twenty First Session of the Governing Council 16-20 April 2007, Nairobi, Kenya, URL: [http://mirror.unhabitat.org/documents/media\\_centre/sowcr2006/SOWCR%205.pdf](http://mirror.unhabitat.org/documents/media_centre/sowcr2006/SOWCR%205.pdf) (Abgerufen: 28.09.2016).
- [9] The Photographer, 2013. *File:Slums in Caracas, Venezuela.jpg*, In: Wikimedia Commons, the free media repository: URL: [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Slums in Caracas, Venezuela.jpg&oldid=220907263](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Slums_in_Caracas,_Venezuela.jpg&oldid=220907263)  
Das Bild ist gemeinfrei, (Abgerufen: 07.06.2017).
- [10] The Photographer, 2014. *File:Vertical Slum Invasion in Caracas.jpg*, In: Wikimedia Commons, the free media repository: URL: [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Vertical Slum Invasion in Caracas.jpg&oldid=221518587](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Vertical_Slum_Invasion_in_Caracas.jpg&oldid=221518587)  
Das Bild ist gemeinfrei, (Abgerufen: 07.06.2017).
- [11] Duden online, *Getto*, In: duden.de, URL: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Getto> (Abgerufen: 07.05.2017).
- [12] Franke, T., 2002. *Wohnen und Ghettobildung*, In E&C-Fachforum: Miteinander – Nebeneinander – Gegeneinander? Integration junger Zuwanderinnen und Zuwanderer in E&C-Gebieten, Dokumentation der Veranstaltung vom 6. und 7. November 2002: Berlin.

- [13] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), *Programm Soziale Stadt*, In: Städtebauförderung von Bund, Ländern und Gemeinden: URL: [http://www.staedtebaufoerderung.info/StBauF/DE/Programm/SozialeStadt/Programm/programm\\_node.html](http://www.staedtebaufoerderung.info/StBauF/DE/Programm/SozialeStadt/Programm/programm_node.html) (Abgerufen: 07.05.2017).
- [14] UN-HABITAT, 2003. *The Challenge of Slums – global report on human settlements 2003*, London: Earthscan.
- [15] UNHCR, 2016: *Zahlen im Überblick*, In: unhcr.org: URL: <http://www.unhcr.org/dach/de/zahlen-im-ueberblick> (Abgerufen: 12.06.2017).
- [16] Duden online, *formell*, In: duden.de, URL: <http://www.duden.de/rechtschreibung/formell> (Abgerufen: 27.09.2016).
- [17] United Nations Conference on Housing and Sustainable Urban Development, 2015. *Habitat III Issue Papers, 22 – Informal Settlements*, In: UN-Habitat: <https://unhabitat.org/wp-content/uploads/2015/04/Habitat-III-Issue-Paper-22-Informal-Settlements-2.0.pdf> (Abgerufen: 21.08.2017)
- [18] Aoramire, 2009. *File:Campamentoutpch.JPG*, In: Wikimedia Commons, the free media repository: URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Campamentoutpch.JPG&oldid=127819009>  
Das Bild ist gemeinfrei, (Abgerufen: 07.06.2017).
- [19] The Photographer, 2013. *File:Petare Slums in Caracas.jpg*, In: Wikimedia Commons, the free media repository: URL: [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Petare\\_Slums\\_in\\_Caracas.jpg&oldid=223139867](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Petare_Slums_in_Caracas.jpg&oldid=223139867)  
Das Bild ist gemeinfrei, (Abgerufen: 07.06.2017).
- [20] *Barrio*, In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie, Bearbeitungsstand: 9. Juli 2017, 11:29 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Barrio&oldid=167113237> (Abgerufen: 14.08.2017).
- [21] Fsolda, Elekhh, 2013. *File:Urban population living in slums.svg*, In: Wikimedia Commons, the free media repository, URL: [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Urban\\_population\\_living\\_in\\_slums.svg&oldid=160596749](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Urban_population_living_in_slums.svg&oldid=160596749)  
Bild ist gemeinfrei, (Abgerufen: 30.09.2016).
- [22] UN-Habitat, 2014. *Table 2.2: Proportion of urban population living in slums 1990-2014*, URL: <http://unhabitat.org/wp-content/uploads/2014/03/Table-2.2-Proportion-of-urban-population-living-in-slums-1990-2014.pdf> (Abgerufen: 27.10.2016).
- [23] Brillembourg, A., Feireiss, K., Klumpner, H., 2005. *informal city: Caracas case*, Caracas/New York: Prestel Verlag.
- [24] Bolay, J-C, 2006. *Slums and Urban Development: Questions on Society and Globalisation*, in *The European Journal of Development Research*, Vol. 18, No. 2.
- [25] Ruffin, F., 2003. *Dans les ghettos de la pauvreté urbaine. Le logement social, entre pénurie et ségrégation*, In *Le Monde diplomatique*, Novembre 2003, p.4.
- [26] Schmitz, T. H., Häußling, R., Mareis, C., Groninger, H., 2016. *Manifestationen im Entwurf: Design – Architektur – Ingenieurwesen*, Bielefeld: transcript Verlag.

- [27] RS/SE, Spektrum Akademischer Verlag, 2001. *Lexikon der Geographie: Charta von Athen*, In: spektrum.de: URL: <http://www.spektrum.de/lexikon/geographie/charta-von-athen/1358> (Abgerufen: 07.06.2017).
- [28] Fezer, J., *Die Idee der Straße ist vergessen geworden*: In Starship Magazine Nr.5 Seiten 30ff, <http://starship-magazine.org/index.php?page=item&issue=5&pages=30ff&view=5> (Abgerufen: 07.06.2017).
- [29] The World of NGOs, 2017. *Was ist eine NGO?*, In: ngo.at: URL: <http://www.ngo.at/ngos/was-ist-eine-ngo> (Abgerufen: 21.11.2016).
- [30] Napier, M., 2002. *Core housing, enablement and urban poverty – The consolidation paths of households living in two South African settlements*, Vereinigtes Königreich: University of Newcastle upon Tyne.
- [31] ELEMENTAL, *Quinta Monroy*: In: elementalchile.cl: URL: <http://www.elementalchile.cl/en/projects/quinta-monroy/> (Abgerufen: 20.03.2017).
- [32] Cervero, R. 2013. *Bus Rapid Transit (BRT): An Efficient and Competitive Mode of Public Transport*, In: 20th ACEA Scientific Advisory Group Report, Berkeley: University of California, URL: [https://www.acea.be/uploads/publications/20th\\_SAG\\_HR.pdf](https://www.acea.be/uploads/publications/20th_SAG_HR.pdf) (Abgerufen: 05.06.2017).
- [33] Gruber, S., *Learning from Curitiba: the successes and failures of an early instance of urban acupuncture*, In: ifa.de: URL: [http://www.ifa.de/fileadmin/pdf/kunst/poc\\_gruber\\_en.pdf](http://www.ifa.de/fileadmin/pdf/kunst/poc_gruber_en.pdf) (Abgerufen: 02.12.2016).
- [34] Urban-Think Tank, *Metro Cable*, In: u-tt.com: URL: <http://u-tt.com/project/metro-cable/> (Abgerufen: 29.05.2017).
- [35] Urban-Think Tank, *Vertical Gym Chacao*, In: u-tt.com: URL: <http://u-tt.com/project/vertical-gym/> Foto Copyright: Baan Iwan, (Abgerufen: 05.06.2017).
- [36] OECD, 2009. *Is Informal Normal? Towards More and Better Jobs in Developing Countries*, New Milford: Turpin Distribution.
- [37] Niculae, R. L., 2016. Review of Applied Socio-Economic Research Volume 11, Issue 1/2016 - *Between responsibility and starchitecture*, Bucharest: Spiru Haret University, Faculty of Architecture.
- [38] Lüske, M., 2003. *Phasen der Stadtentwicklung und Konzepte der Stadtplanung in Barcelona*, Mannheim: Universität Mannheim, Geographisches Institut.
- [39] Amadalvarez, 2009. *File:PlaCerde1859b.jpg*: In: Wikimedia Commons, the free media repository, URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:PlaCerde1859b.jpg&oldid=152588862> Bild ist gemeinfrei, (Abgerufen: 21.11.2016).
- [40] Schmidt, L., 2016. *Barcelona – Bauboom am Meer*, Ostfildern: DuMont Reiseverlag.
- [41] Austria Presse Agentur / Deutsche Presse Agentur. *Ponte City Tower: Zwischen Himmel und Hölle*, In: Die Presse vom 31.05.2016: URL: [http://diepresse.com/home/leben/reise/4999592/Ponte-City-Tower\\_Zwischen-Himmel-und-Hoelle](http://diepresse.com/home/leben/reise/4999592/Ponte-City-Tower_Zwischen-Himmel-und-Hoelle) (Abgerufen: 29.05.2017).

- [42] Putsch, C., 2009. *WELT PRINT: Im bösesten Hochhaus der Welt*, In: welt.de: URL: [https://www.welt.de/welt\\_print/article3917438/Im-boesesten-Hochhaus-der-Welt.html](https://www.welt.de/welt_print/article3917438/Im-boesesten-Hochhaus-der-Welt.html) (Abgerufen: 29.05.2017).
- [43] Subotzky, M., Waterhouse, P., 2009. *Ponte City, Johannesburg*, In: subotzkystudio.com: URL: <http://www.subotzkystudio.com/ponte-city-text/> (Abgerufen: 29.05.2017).
- [44] Bitala, M., 2010. *Zimmer frei in der Hölle*, In: Süddeutsche Zeitung: URL: <http://www.sueddeutsche.de/panorama/suedafrika-zimmer-frei-in-der-hoelle-1.673500> , (Abgerufen: 29.05.2017).
- [45] Brillembourg, A., Klumpner, H., ARCH +, 2014. *Die soziale Stärke informeller Wohngruppen: "Aufstieg und Fall" des Torre David, Alfredo Brillembourg und Hubert Klumpner im Gespräch mit ARCH+*, In ARCH+ 218 Wohnerrfahrungen, S. 46-53, Aachen: ARCH+ Verlag GmbH.
- [46] ORF online, 2014. *Gemeinschaftssinn im "vertikalen Slum"*, In: orf.at: URL: <http://orf.at/stories/2239093/2239094/> (Abgerufen: 29.05.2017).
- [47] Urban-Think Tank, *Torre David*, In: u-tt.com: URL: <http://u-tt.com/project/torre-david/> (Abgerufen: 29.05.2017).
- [48] Urban-Think Tank, 2014. *Urban Think Tank Responds to the Forced Eviction of Torre David Residents*, In: archdaily.com: URL: <http://www.archdaily.com/530345/urban-think-tank-responds-to-the-forced-eviction-of-torre-david-residents/> (Abgerufen: 29.05.2017).
- [49] Lucente, R., Travanti Mendes, P. S., 2012. *The 23 de Enero public housing in Caracas. Rethinking the relationship between the formal and informal city*, In: EURAU'12: URL: <http://eurau12.arq.up.pt/sites/default/files/479.pdf> (Abgerufen: 07.06.2017).
- [50] Häfele, J., Sack, F., Eick, V., Hillen, H., 2017. *Sicherheit und Kriminalprävention in urbanen Räumen – Aktuelle Tendenzen und Entwicklungen*, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- [51] *Pruitt-Igoe*, In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie, Bearbeitungsstand: 21. Juni 2017, 16:56 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Pruitt-Igoe&oldid=166600858> (Abgerufen: 14.08.2017).
- [52] Jencks, C., 1988: *Die Sprache der postmodernen Architektur – Entstehung und Entwicklung einer alternativen Tradition*, Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.
- [53] Hardick, S., 2012, *Einstürzende Ideale*, In: derFreitag, Das Meinungsmedium: URL: <https://www.freitag.de/autoren/der-freitag/einstuerzende-ideale> (Abgerufen: 09.06.2017).
- [54] Marshall, C., 2015. *Pruitt-Igoe: the troubled high-rise that came to define urban America – a history of cities in 50 buildings, day 21*, In: theguardian.com: URL: <https://www.theguardian.com/cities/2015/apr/22/pruitt-igoe-high-rise-urban-america-history-cities> (Abgerufen: 27.01.2017).
- [55] United States Geological Survey, Cadastral, 2008, *File:Pruitt-igoeUSGS02.jpg*: In: Wikimedia Commons, the free media repository, URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Pruitt-igoeUSGS02.jpg&oldid=154074945>  
Das Bild ist gemeinfrei, (Abgerufen: 09.06.2017).
- [56] Fehler, P., Freidrich, C., Freidrich, J., Woodman, B., 2011. Dokumentarfilm: *The Pruitt-Igoe Myth*, USA.

- [57] Gaertner, J., 2015. *Das Corviale-Hochhaus*, In: ARTE G.E.I.E., URL: <http://sites.arte.tv/metropolis/de/das-corviale-hochhaus-metropolis> (Abgerufen: 26.01.2017).
- [58] Weiss, D., 2009. *CIAM, Congrès Internationaux d'Architecture Moderne (1928-1956)*, In: Website des gta Archivs / ETH Zürich, Dezember, URL: <https://archiv.gta.arch.ethz.ch/sammlungen/ciam-congres-internationaux-d-architecture-moderne> (Abgerufen: 26.01.2017).
- [59] Bellin, E., 2011, *Life's Net [or] a Framework for Growth and Change*, Boston: in *Architecture in the Fourth Dimension*, Nov. 15-17, 2011. S. 41-46.
- [60] Ferrand, M., Feugas, J.-P., Le Roy, B., Veyret, J.-L., 1998. *Le Corbusier: Les Quatiers Modernes Frugès / The Quatiers Modernes Frugès*, Basel: Birkhäuser Verlag.
- [61] Hofmeister, S., et al, 2016. *Reihenhäuser in Kapstadt*, in *DETAILgreen 02/16*, [S.14-15].
- [62] Land, P., 2015. *The Experimental Housing Project (PREVI), Lima: Design and Technology in a New Neighborhood*, Bogotá: Universidad de Los Andes.
- [63] *Unidad de Fomento*, In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 5. August 2017, 15:50 UTC. URL: [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Unidad\\_de\\_Fomento&oldid=167895170](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Unidad_de_Fomento&oldid=167895170) (Abgerufen: 14.08.2017).
- [64] Aravena, A., 2016. *Elemental – AV Monographs 185 (2016)*, Madrid: Arquitectura Viva SL.
- [65] ELEMENTAL, *Emergency Shelter*: In: [www.elementalchile.cl](http://www.elementalchile.cl): URL: <http://www.elementalchile.cl/en/projects/elemental-tecnopanel-house/> (Abgerufen: 03.04.2017).
- [66] Kaufmann Bausysteme GmbH, *Kaufmann Raummodule für Hotels, Sozialzentren, Studentenheime, Kindergärten oder Personalthäuser*, In: Kaufmann Bausysteme: URL: <http://www.kaufmannbausysteme.at/de/Raummodule/> (Abgerufen: 07.04.2017).
- [67] *Modularität*, In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie, Bearbeitungsstand: 18. April 2017, 18:01 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Modularit%C3%A4t&oldid=164699372> (Abgerufen: 14.08.2017).
- [68] Russell, A. L., 2012. *Modularity: An Interdisciplinary History of an Ordering Concept*, In *Information & Culture Vol. 47, No. 3, 2012*, Austin: University of Texas Press.
- [69] Schmid, T., Testa, C., 1969. *Bauen mit Systemen*, Zürich: Verlag für Architektur Artemis.
- [70] Staib, G., Dörrhöfer, A., Rosenthal, M., 2008. *Elemente und Systeme – Modulares Bauen, Entwurf, Konstruktion, neue Technologien*, München: Birkhäuser Verlag.
- [71] Ehlers, K., 2006. *Die Zukunft der Jurte: Kulturkampf in der Mongolei?*, Murnau a. Staffelsee: R. Mankau Verlag.
- [72] *Shaku (unit)*. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 04. Juli 2017, 01:27 UTC. URL: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Shaku\\_\(unit\)&oldid=788880890](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Shaku_(unit)&oldid=788880890) (Abgerufen: 14.08.2017).
- [73] Smith, R. E., Timberlake, J., 2010. *Prefab Architecture: a guide to modular design and construction*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

- [74] Abraham, L., Kennelly, S., Kim, C., Lu, F., 2012. *The Manning Portable Colonial Cottage (1833)*, In: Quonset-hut.blogspot.ca.at: URL: <http://quonset-hut.blogspot.co.at/2012/12/the-manning-portable-colonial-cottage.html> (Abgerufen: 07.02.2017).
- [75] InformationsZentrum Beton GmbH, *Geschichte des Betons*, In: beton.org: URL: <https://www.beton.org/wissen/beton-bautechnik/geschichte-des-betons/> (Abgerufen: 18.05.2017).
- [76] Tallis, J., 1851. *Tallis's history and description of the Crystal Palace and the exhibition of the world's industry in 1851 (Band 2)*, London: The London Printing and Publishing Company.
- [77] Wachsmann, K., 1959. *Wendepunkt im Bauen*, Wiesbaden: Krausskopf Verlag G.m.b.H.
- [78] Jacobs, H. A., Jacobs, K., 1978. *Building with Frank Lloyd Wright. An Illustrated Memoir*, San Francisco: Chronicle Books.
- [79] *American System-Built Homes*, In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie, Bearbeitungsstand: 27. Juni 2017, 23:39 UTC. URL: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=American\\_System-Built\\_Homes&oldid=787854771](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=American_System-Built_Homes&oldid=787854771) (Abgerufen: 14.08.2017).
- [80] Noell, M., 2004. *Des Architekten liebstes Spiel: Baukunst aus dem Baukasten*, Köln: in Figurationen: Gender, Literatur, Kultur; 01/04 spiele/games, S. 23-40.
- [81] Brunner, G., 2010. *Modulsystem aus Brettsperholz für den Wohnbau*, Graz: Institut für Gebäudelehre.
- [82] White, M., 2003. *De Stijl and Dutch modernism*, Manchester: Manchester University Press.
- [83] Boesiger, W., Girsberger, H., 1999. *Le Corbusier 1910-65*, Basel: Birkhäuser Verlag.
- [84] Müller, U., 2004. *Raum, Bewegung und Zeit im Werk von Walter Gropius und Ludwig Mies van der Rohe*, Berlin: Akademie Verlag GmbH.
- [85] Le Corbusier, 1927. *Fünf Punkte zu einer neuen Architektur*, in Die Form. Zeitschrift für gestaltende Arbeit Nr.2, [S.272-274].
- [86] Gogoll, L., 2010. *Farbigkeit und Siedlungsarchitektur: Soziale Wirksamkeit von Farbe in der Klassischen Modernen und gegenwärtigen Architektur*, Hamburg: Diplomica Verlag GmbH.
- [87] Guratzsch, D., 2011, *Architekt Ernst May, der Vater der Trabantenstädte*, In: welt.de: URL: <https://www.welt.de/kultur/article13533043/Architekt-Ernst-May-der-Vater-der-Trabantenstaedte.html> (Abgerufen: 26.01.2017).
- [88] Liebscher, R., 2009. *Wohnen für alle – Eine Kulturgeschichte des Plattenbaus*, Berlin: Vergangenheitsverlag.
- [89] *Bauhaus*, In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie, Bearbeitungsstand: 27. Juli 2017, 13:23 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Bauhaus&oldid=167642758> (Abgerufen: 14.08.2017).
- [90] Gorman, M. J., 2005. *Buckminster Fuller: Designing for Mobility*, Milano: Skira Editore S.p.A.
- [91] Brownell, B., 2012. *Material Strategies: Innovative Applications in Architecture*, New York: Princeton Architectural Press.

- [92] Lennartz, M. W., Jacob-Freitag, S., 2015. *Neues Bauen mit Holz – Typen und Konstruktionen*, Basel: Birkhäuser Verlag.
- [93] Alexander von Vegesack, Dumont d' Ayot, C., Reichlin, B., 2005. *Jean Prouvé: The poetics of the technical object*, Ditzingen: Vitra Design Stiftung GmbH.
- [94] Albrecht, D., Colomina, B., Giovannini, J., Lightman, A., Lipstadt, H., Morrison P., Murphy D., 1997. *Die Welt von Charles und Ray Eames*, Berlin: Ernst & Sohn Verlag.
- [95] Miers, C., Neuhart, J., Heuhart, M., 1989. *Eames design: The Work of the Office of Charles and Ray Eames*, New York: Harry N. Abrams, Incorporated.
- [96] Pearson, C., Delatte, N., 2005. *Ronan Point Apartment Tower Collapse and its Effect on Building Codes*, In: Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol. 19, Nr. 2, Mai 2005, S. 172-177.
- [97] Barber, N., 2011. *From Fail to Win! Learning from bad ideas*, China: Capstone Global Library Limited.
- [98] Goodman, D., Chant, C., 1999. *European Cities & Technology – industrial to post-industrial city*, London: Routledge.
- [99] The State Museum of Pennsylvania, 2003. *Flyer for "Levittown in 1957"*, In: Collections of the State Museum: URL: <http://statemuseumpa.org/levittown/one/d.html> (Abgerufen: 18.05.2017).
- [100] *Levittown, Pennsylvania*, In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie, Bearbeitungsstand: 09. August 2017, 19:29 UTC. URL: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Levittown,\\_Pennsylvania&oldid=794736394](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Levittown,_Pennsylvania&oldid=794736394) (Abgerufen: 14.08.2017).
- [101] *why build levittown?*, In: Levittowners.COM: URL: <http://levittowners.com/why.htm> (Abgerufen: 25.01.2017).
- [102] Der Spiegel online, *Architektur / Brutalismus, Rauh und rissig*, In: Der Spiegel 47/1947: URL: <http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-46209489.html> (Abgerufen: 02.02.2017).
- [103] Bauforum Zug, Jenatsch, G.-M., Kruckner, B., 2006. *Werk → Serie: Fritz Stucky: Architekt und Unternehmer*, Zürich: gta Verlag.
- [104] Haller, F., Wichmann, H., 1989. *System-Design Fritz Haller: Bauten – Möbel – Forschung*, Basel: Birkhäuser Verlag.
- [105] Rinne, C., 2014. *Wiederholungen und Variationen: Fritz Haller*, In: architektur aktuell, the art of building: URL: <https://www.architektur-aktuell.at/news/wiederholungen-und-variationen-fritz-haller> (Abgerufen: 02.02.2017).
- [106] Linner, T., Bock, T., 2012. *Evolution of large-scale industrialisation and service innovation in Japanese prefabrication industry*, In Construction Innovation, Vol. 12, Issue 2, pp. 156-178, Emerald Group Publishing Limited.
- [107] Bock, T., Linner, T., 2010. *Individualization of Design Variation in Construction*, In 27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2010), Technische Universität München.
- [108] Kühnle, R. P., 2005. *Paul Rudolph und die zweite Generation der amerikanischen Moderne*, Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Architekturgeschichte.

- [109] Farrar, J., University of Massachusetts Dartmouth Library, *Paul Rudolph & his Architecture: Oriental Masonic Gardens, New Haven, CT, 1968-1971*, In: prudolph.lib.umassd.edu: URL: <http://prudolph.lib.umassd.edu/node/4701> (Abgerufen: 22.04.2017).
- [110] Ehlers, W., Feldhusen, G., Steckeweh, C., 1986. *CAD: Architektur automatisch? Texte zur Diskussion*, Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH.
- [111] Hegger, M., Pohl, W., Reiss-Schmidt, S., 1988. *Vitale Architektur – Traditionen, Projekte, Tendenzen einer Kultur des gewöhnlichen Bauens*, Braunschweig: Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH.
- [112] Seiß, R., Matzinger, F., 2014. *Fritz Matzinger: Pionier und Überzeugungstäter*, In: Architektur & Bau Forum: URL: <http://www.bauforum.at/architektur-bauforum/pionier-und-ueberzeugungstaeter-17867> (Abgerufen: 06.02.2017).
- [113] Matzinger, F., 2000. *Les Paletuviers*, In: homepage.univie.ac.at: URL: <http://homepage.univie.ac.at/peter.weichhart/ASSEM02/Matzinger.htm> (Abgerufen: 06.02.2017).
- [114] Toyota Motor Corporation, 2012. *Development of private Homes*, In: toyota-global.com: URL: [http://www.toyota-global.com/company/history\\_of\\_toyota/75years/text/leaping\\_forward\\_as\\_a\\_global\\_corporation/chapter2/section4/item2.html](http://www.toyota-global.com/company/history_of_toyota/75years/text/leaping_forward_as_a_global_corporation/chapter2/section4/item2.html) (Abgerufen: 11.05.2017).
- [115] Bereuter, M., Fabach, R., 2016. *Holz Modul Bau – Begleitheft zur Ausstellung im Werkraum Bregenzerwald*, Andelsbuch: Werkraum Bregenzerwald.
- [116] Riess, H., 2006. *Impulszentrum Graz und Mühlweg 3*, aus 12. Internationales Holzbau-Forum 2006, Garmisch-Partenkirchen: Fraunhofer IRB Verlag.
- [117] Kapfinger, O., Kaufmann H., *Wohnbebauung Mühlweg, Wien*: In: Architekten Hermann Kaufmann ZT GmbH: URL: [http://www.hermann-kaufmann.at/pdfs/04\\_17.pdf](http://www.hermann-kaufmann.at/pdfs/04_17.pdf)  
Fotos Copyright: Klomfar, B., (Abgerufen: 11.05.2017).
- [118] architektur.aktuell, *Hermann Kaufmann im Porträt*, In: architektur aktuell, the art of building: URL: <https://www.architektur-aktuell.at/personality/hermann-kaufmann> (Abgerufen: 07.02.2017).
- [119] Kaufmann Bausysteme GmbH, *Modulbau 2016*, In: Kaufmann Bausysteme: URL: <http://www.kaufmannbausysteme.at/file/de/modulbau-2016.pdf> (Abgerufen: 13.02.2017).
- [120] Kaufmann Bausysteme GmbH, *Seniorenwohnhaus, Hallein*, In: Kaufmann Bausysteme: URL: <http://www.kaufmannbausysteme.at/de/Seniorenwohnhaus-Hallein/> (Abgerufen: 13.02.2017).
- [121] Kaufmann Bausysteme GmbH, *Konstruktiv mutig – Entscheidungen mit Weitblick*, In: Kaufmann Bausysteme: URL: <http://www.kaufmannbausysteme.at/de/Geschichte/> (Abgerufen: 13.02.2017).
- [122] kaufmann zimmerei und tischlerei gmbh, *TINN*, In: kaufmannzimmerei.at: URL: <http://kaufmannzimmerei.users.aboliton.at/index.php?id=193> (Abgerufen: 18.08.2017)
- [123] Kaufmann Bausysteme GmbH, *Hannover, Flüchtlingsunterkünfte*, In: Kaufmann Bausysteme: URL: <http://www.kaufmannbausysteme.at/de/hannover-fluechtlingsunterkuenfte/> (Abgerufen: 13.02.2017).

- [124] Graf, A., 2003. *Vorgefertigte Einfamilien- und Reihenhäuser – Individuelle Gestaltung mit Raumzellen, Platten- und Skelettkonstruktionen*, München: Verlag Georg D.W. Callweg GmbH & Co. KG.
- [125] Fg2, 2008. *File:Takamatsu-Castle-Building-Interior-M3488.jpg*: In: Wikimedia Commons, the free media repository, URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Takamatsu-Castle-Building-Interior-M3488.jpg&oldid=191306425>  
Das Bild ist gemeinfrei, (Abgerufen: 14.08.2017).
- [126] *Leonardo-Brücke*. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 9. Dezember 2016, 11:04 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Leonardo-Br%C3%BCcke&oldid=160477170> (Abgerufen: 14.08.2017).
- [127] *Industrielle Revolution*, In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie, Bearbeitungsstand: 19. April 2017, 20:25 UTC. URL: [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Industrielle\\_Revolution&oldid=164736360](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Industrielle_Revolution&oldid=164736360)  
(Abgerufen: 14.08.2017).
- [128] *Fallingwater*, In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie, Bearbeitungsstand: 20. Juni 2017, 09:02 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fallingwater&oldid=166558909>  
(Abgerufen: 17.08.2017).
- [129] ADK Modulraum GmbH, *Geschichte Modulbau*, In: [adk.info](http://adk.info): URL: <http://adk.info/index.php/de/geschichte.html> (Abgerufen: 17.08.2017).
- [130] *Fünf Punkte zu einer neuen Architektur*, In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie, Bearbeitungsstand: 24. Juni 2017, 21:48 UTC. URL: [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=F%C3%BCnf\\_Punkte\\_zu\\_einer\\_neuen\\_Architektur&oldid=166688673](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=F%C3%BCnf_Punkte_zu_einer_neuen_Architektur&oldid=166688673) (Abgerufen: 14.08.2017).
- [131] *Le Corbusier*, In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie, Bearbeitungsstand: 26. Juli 2017, 14:59 UTC. URL: [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Le\\_Corbusier&oldid=167614407](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Le_Corbusier&oldid=167614407)  
(Abgerufen: 14.08.2017).
- [132] Bauhaus Movement, *Bauhaus Movement Designer: Walter Gropius*, In: [bauhaus-movement.com](http://bauhaus-movement.com): URL: <http://www.bauhaus-movement.com/en/designer/walter-gropius.html>  
(Abgerufen: 26.01.2017).
- [133] *Frankfurter Küche*, In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie, Bearbeitungsstand: 10. Juli 2017, 13:55 UTC. URL: [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Frankfurter\\_K%C3%BCche&oldid=167146527](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Frankfurter_K%C3%BCche&oldid=167146527)  
(Abgerufen: 14.08.2017).
- [134] Beckmann, K., 2015. *Urbanität durch Dichte? Geschichte und Gegenwart der Großwohnkomplexe der 1970er Jahre*, Bielefeld: transcript Verlag.
- [135] *Brutalismus*, In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie, Bearbeitungsstand: 18. Juni 2017, 09:20 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Brutalismus&oldid=166498952>  
(Abgerufen: 14.08.2017).
- [136] Bexten, J., 2016. *Das erste Bürogebäude aus dem 3D-Drucker steht in Dubai (27.05.2016)*, In: [Ingenieur.de](http://www.ingenieur.de): URL: <http://www.ingenieur.de/Themen/3D-Druck/Das-Buerogebaeude-3D-Drucker-steht-in-Dubai> (Abgerufen: 12.04.2017).
- [137] Borrmann, A., König, M., Koch, C., Beetz, J., 2015. *Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*, Wiesbaden: Springer Vieweg.

- [138] Mayo, J., 2015. *Solid Wood: Case Studies in Mass Timber Architecture, Technology and Design*, New York: Routledge.
- [139] Abete project, *Moduli per Olimpiadi Torino 2006*, In: abeteproject.com: URL: <http://www.abeteproject.com/referenze/grandi-strutture/moduli-torino-per-olimpiadi-2006.html?removeAlertCookie=yes> (Abgerufen: 03.05.2017).
- [140] Koppelhuber, J., Hintersteiner, K., Heck, D., 2015. *Industrielles Bauen mit Holz – Baubetriebliche Aspekte im Holz-Modulbau*, in bauaktuell 05/2015, [S.15-24].
- [141] Landsberg, H., Pinkau, S., 1999. *Holzsysteme für den Hochbau: Grundlagen, Systeme, Beispiele*, Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH.
- [142] Alchemy Architects, 2017. *weeHouse*, In: weehouse.com: URL: <http://www.weehouse.com/wp-content/uploads/2016/06/2016-weeBrochure-1.pdf> (Abgerufen: 18.05.2017).
- [143] Armbruster, C., Böhm, A., Eder, A., Haslehner, B., Genböck, M., Gruber, S., proHolz Oberösterreich 2011: *Bauen mit Holz in Oberösterreich*, Hohenzell: Hörmanseder & Seidl GmbH.
- [144] Kaufmann, A., Kaufmann, C., Bereuter, T., 2017, *Vortrag Kaufmann Bausysteme GmbH*, In 8. Grazer Holzbau-Workshop „Modularisierung im Holzbau“ bei Kaufmann Bausysteme GmbH in Kalwang.
- [145] Schopbach, H., Neuenhagen, H., Marpe, P., et all, Bundesbildungszentrum des Zimmerer- und Ausbaugewerbes, 2014. *Grundwissen moderner Holzbau: Praxishandbuch für den Zimmerer*, Köln: Bruderverlag Albert Bruder GmbH & Co. KG.
- [146] Slawik, H., Bergmann, J., Buchmeier, M., Tinney, S., 2010. *Container Atlas – a practical guide to container architecture*, Berlin: Gestalten Verlag.
- [147] Klose, A., 2009. *The Container Principle – How a Box Changes the Way We Think*, Hamburg: mareverlag.
- [148] Containex Container-Handelsgesellschaft m.b.H., 2013, *Technical Specification for Steel Dry Cargo Container 20'x8'x8'6'' ISO ICC Type Specification No. „CTX 20 DVDR-Domestic Spec. HH”*, In: containex.at: URL: <http://www.containex.at/-/m/images/ctx/pdf-ctx/technische-beschreibungen/technische-beschreibung-seecontainer.ashx> (Abgerufen: 19.04.2017).
- [149] Dörries, C., Zahradnik, S., 2016. *Container- und Modulbauten - Entwurfshilfe und Projektsammlung*, Berlin: DOM publishers.
- [150] Slawik, H., Bergmann, J., Buchmeier, M., Tinney, S., 2010. *Gereiht und gestapelt: Temporäres Wohnen mit Containern*, In db deutsche bauzeitung 09/2010.
- [151] Lied, C.H., 2014. *IBA DOCK: Ausstellungs- und Bürogebäude der IBA Hamburg GmbH*, Hamburg: IBA Hamburg GmbH.
- [152] Crosbie, M.J., University of Hartford, 2008. *Making Connections: Innovative Integration of Utilities in Panelized Housing Design*, In: scholarworks.umass.edu: URL: <http://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1023&context=wood> (Abgerufen: 20.04.2017).
- [153] Dangel, U., 2017. *Wendepunkt im Holzbau: Neue Wirtschaftsformen*, Basel: Birkhäuser Verlag GmbH.

- [154] Bemis, A. F., 1936. *The Evolving House, Volume III, Rational Design*, Cambridge, Massachusetts: The Technology Press, Massachusetts Institute of Technology.
- [155] Organisation for European Economic Co-Operation – European Productivity Agency, 1961. *modular co-ordination: second report of EPA project 1974*, Paris: European Productivity Agency of the OEEC.
- [156] DIN 18203-3: 2008-8, *Toleranzen im Hochbau - Teil 3: Bauteile aus Holz und Holzwerkstoffen*.
- [157] Ertl, R., Komzet Bau Bühl Kompetenzzentrum der Bauwirtschaft, 2014. *Maßtoleranzen nach DIN 18202 und DIN 18203-3*, Berufsförderungswerk der Südbadischen Bauwirtschaft GmbH.
- [158] KLH Massivholz GmbH, 2011, *Toleranzen im Plattenzuschnitt*, In: klh.at: URL: [http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Kreuzlagenholz/CNC\\_Zuschnitt/KLH\\_Toleranzen\\_im\\_Plattenzuschnitt\\_de.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Kreuzlagenholz/CNC_Zuschnitt/KLH_Toleranzen_im_Plattenzuschnitt_de.pdf) (Abgerufen: 21.06.2017).
- [159] Österreichisches Institut für Bautechnik, 2015. *OIB-Richtlinie 3, Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz*, OIB-330.3-009/15.
- [160] Bundesministerium für Arbeit und Soziales, 2006. *Lastenhandhabungsverordnung (LasthandhabV) als Grundvorgabe für die Arbeit mit Lasten*, In: arbeitsschutzgesetz.org: URL: <http://www.arbeitsschutzgesetz.org/lasthandhabv/> (Abgerufen: 14.06.2017).
- [161] Binderholz GmbH, *Verarbeitungsrichtlinie binderholz brettspertholz bbs*, In: binderholz.com: URL: [http://www.binderholz.com/fileadmin/PDF/Services\\_Kontakt/Videos\\_Download/Prospekte/BS%20Verarbeitungsrichtlinie%20D%20FIN.pdf](http://www.binderholz.com/fileadmin/PDF/Services_Kontakt/Videos_Download/Prospekte/BS%20Verarbeitungsrichtlinie%20D%20FIN.pdf) (Abgerufen: 20.06.2017)
- [162] Österreichisches Institut für Bautechnik, 2015. *OIB-Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz*, OIB-330.6-009/15.
- [163] Krapfenbauer, T., 2011. *Bautabellen 18. Ausgabe*, Wien: Jugend & Volk GmbH Verlag.
- [164] STEICO SE, 2017. *STEICO protect Holzfaser-Dämmplatte für WDVS*, In: steico.com: URL: [http://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/German/Product\\_information/protect/STEICOprotect\\_de\\_i.pdf](http://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/German/Product_information/protect/STEICOprotect_de_i.pdf) (Abgerufen: 12.07.2017).
- [165] FERMACELL, 2008. *FERMACELL Ausgleichsschüttung*, In: fermacell.at: URL: [https://www.fermacell.at/de/docs/FERMACELL\\_Ausgleichsschuettung.pdf](https://www.fermacell.at/de/docs/FERMACELL_Ausgleichsschuettung.pdf) (Abgerufen: 12.07.2017).
- [166] InformationsZentrum Beton GmbH, 2015. *Zementestrich*, In: beton.org: URL: <https://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Service/Zementmerkb1%C3%A4tter/B19.pdf> (Abgerufen: 12.07.2017).
- [167] ÖNORM B 1991-1-3: 2013-09-01, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Schneelasten - Nationale Festlegungen zur ÖNORM EN 1991-1-3, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen*.
- [168] ÖNORM B 1991-1-4: 2013-05-01, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-4 und nationale Ergänzungen*.

- [169] ÖNORM B 1995-1-1: 2015-06-15, *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau - Nationale Festlegungen zur Umsetzung der ÖNORM EN 1995-1-1, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen.*
- [170] Mursoft Wörgötter, Kump OEG, 2010. *RuckZuck 6.0*: In: ruckzuck.co.at: URL: <http://www.ruckzuck.co.at/News.aspx> (Abgerufen: 01.10.2016).
- [171] ÖNORM B 1991-1-1: 2011-12-01, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-1 und nationale Ergänzungen.*
- [172] Deutsches Institut für Bautechnik, *Europäische Technische Zulassung ETA-11/0910.*
- [173] Würth Handelsges.m.b.H., *Bohrstabdübel BSD*, In: eshop.wuerth.at: URL: [https://eshop.wuerth.at/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/3123-B1-Site/de\\_DE/-/EUR/ViewCatalog-Browse?CatalogCategoryRef=31231004011902%40WuerthGroup-Wuerth-3123&SelectedFilterAttribut=%255B%255D&CatalogCategoryID=proKD92e17MAAAFwojM1DJEO](https://eshop.wuerth.at/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/3123-B1-Site/de_DE/-/EUR/ViewCatalog-Browse?CatalogCategoryRef=31231004011902%40WuerthGroup-Wuerth-3123&SelectedFilterAttribut=%255B%255D&CatalogCategoryID=proKD92e17MAAAFwojM1DJEO) (Abgerufen: 08.08.2017).

## A-2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 0.1: Herangehensweise der Masterarbeit.....	1
Abbildung 1.1: links: Slum in Caracas, Venezuela [9], rechts: vertikaler Slum (Torre David, Caracas) [10] .....	4
Abbildung 1.2: Entstehung von Slums (vgl. [14, S.5, S.17][1, S.20]) .....	7
Abbildung 1.3: links: Häuser in leichter Konstruktion, Campamento in Chile [18], rechts: Häuser in schwerer (massiver) Konstruktion, Slum in Venezuela [19].....	10
Abbildung 1.4: Prozentsatz an Slum-Bewohner im Verhältnis zur Bevölkerung [21] .....	11
Abbildung 1.5: in Slums lebende Stadtbevölkerung (vgl. [22]).....	12
Abbildung 1.6: Prozentsatz der in Slums lebender Stadtbevölkerung (vgl. [22]) .....	12
Abbildung 1.7: Slum-Studienmethodik (vgl. [1, S.47]) .....	16
Abbildung 1.8: Stadtplan von Barcelona nach Ildefons Cerdá aus dem Jahr 1859 [39] .....	31
Abbildung 1.9: Blick auf die Fassade des Torre David, Caracas, Venezuela [10].....	33
Abbildung 1.10: soziale Wohnbausiedlung Pruitt-Igoe, St. Louis, USA [55] .....	35
Abbildung 1.11: links: auf der linken Seite befindet sich die Dusche, mittig die Toilette und rechts das Handwaschbecken (WHB) [62], rechts: Plandarstellung der PREVI-Sanitärzelle [62].....	42
Abbildung 1.12: Häuser in Quinta Monroy: (links: nach der Übergabe [31], rechts: 18 Monate nach der Fertigstellung im Jahr 2006 [31]).....	58
Abbildung 1.13: Häuser des Projektes Villa Verde im teilweise erweiterten Zustand [64].....	66
Abbildung 2.14: links: Bemis' kubisches modulares Konzept [68], rechts: Ein Haus innerhalb der Matrix, welche aus 4 Zoll Würfeln aufgebaut ist [68] .....	76
Abbildung 2.15: links: Japanisches Tatami-Haus [125], rechts: Abmessungen der Tatami-Matte .....	87
Abbildung 2.16: links: „balloon frame“-Bauweise (vgl. [3]), rechts: „platform frame“-Bauweise (vgl. [3]).....	88
Abbildung 2.17: links: Ring-Element mit Erweiterungsmöglichkeit in Querrichtung, rechts: Raum-Element mit Erweiterungsmöglichkeit in Quer- und Längsrichtung (vgl. [103]) .....	97
Abbildung 2.18: Brettsperrholzaufbau (3-schichtig) nach G. Dröge und K. H. Stoy (vgl. [4]) .....	104
Abbildung 2.19: Produktionsprozess eines Gebäudes mit Vorfertigung (vgl. [3, S. 85]) .....	109
Abbildung 2.20: Transportabmessungen (vgl. [144]) .....	110
Abbildung 2.21: Einteilung der Holzbauweisen (vgl. [4]) .....	116
Abbildung 2.22: Überblick Container-Bauweisen (vgl. [146]).....	119
Abbildung 2.23: links: Punkt 2: Fixierung der Wände auf der Bodenplatte [144], rechts: Punkt 3: Die Dachplatte wurde bereits versetzt und fixiert, Kaufmann Bausysteme [144] .....	128
Abbildung 2.24: links: Punkt 5: Einbau der Fenster und Türen [144], rechts: Punkt 6: Einbau von Verkleidungen und Fußbodenaufbauten, Kaufmann Bausysteme [144].....	128
Abbildung 2.25: links: Punkt 8: Eingepackte Raumzellen werden mittels LKW zur Baustelle transportiert [144], rechts: Punkt 9: Montage der Raumzellen, Kaufmann Bausysteme [144].....	129
Abbildung 2.26: links: fertiggestelltes Gebäude aus vorgefertigten Raumzellen [144], rechts: Innenansicht einer vollständig im Werk vorproduzierten Raumzelle, (Flüchtlingsunterkunft Hannover), Kaufmann Bausysteme [144] .....	129

Abbildung 3.1: links: geschlossenes Bausystem, rechts: offenes Bausystem (vgl. [141]).....	133
Abbildung 3.2: Modularisierung eines Hauses nach Albert Farwell Bemis (vgl. [154]): (oben: Schnitt des Hauses, unten: Grundriss des Hauses) .....	135
Abbildung 3.3: Gesamtvolumen eines Hauses bestehend aus 1M-Würfeln (vgl. [154]) .....	136
Abbildung 3.4: aus dem umschreibenden Quader (schwarz) herausgelöstes Hausvolumen (Türkis). 137	
Abbildung 3.5: Symmetrieebenen des Würfelmoduls (vgl. [154]) .....	137
Abbildung 3.6: Verbindung von Modulen (vgl. [154]).....	138
Abbildung 3.7: Strukturwürfel mit Verbindungsstellen (vgl. [154]).....	138
Abbildung 3.8: Oberflächenebenen fixieren die Lage äußerer Elemente (vgl. [154]) .....	139
Abbildung 3.9: Modulararten (vgl. [70]).....	141
Abbildung 3.10: Rasterbezug der Bauteile (vgl. [70]) .....	142
Abbildung 3.11: modulare Koordination - Toleranzen (vgl. [157]).....	145
Abbildung 3.12: Herstellungsmaße des Bauteil II im Querschnitt.....	146
Abbildung 4.1: Projekt Villa Verde von ELEMENTAL, Chile [64] .....	148
Abbildung 4.2: Grundrisse des Villa Verde Projektes von ELEMENTAL: (links: Erdgeschoss im initialen Zustand, rechts: Obergeschoss im initialen Zustand) [64] .....	149
Abbildung 4.3: Grundrisse des Villa Verde Projektes von ELEMENTAL: (links: Erdgeschoss im erweiterten Zustand, rechts: Obergeschoss im erweiterten Zustand) [64] .....	149
Abbildung 4.4: Darstellung der Änderungen im Erdgeschoss und des Erschließungskonzepts .....	150
Abbildung 4.5: Rastervergleich Erdgeschoss.....	152
Abbildung 4.6: Rastervergleich Obergeschoss.....	152
Abbildung 4.7: schematische Darstellung der drei Ausbaustufen des Konzepts .....	153
Abbildung 4.8: Grundriss des Erdgeschosses in der Grundstufe .....	155
Abbildung 4.9: Grundriss des Obergeschosses in der Grundstufe .....	155
Abbildung 4.10: Ansicht der Giebelseite in der Grundstufe .....	156
Abbildung 4.11: Grundriss des Erdgeschosses in der Erweiterungsstufe .....	157
Abbildung 4.12: Grundriss des Obergeschosses in der Erweiterungsstufe .....	158
Abbildung 4.13: Ansicht des Hauses in der Erweiterungsstufe .....	158
Abbildung 4.14: Schnitt A-A des erweiterten Hauses (Aufbau „Basic“)......	159
Abbildung 4.15: Detail 01: Sockelausbildung.....	160
Abbildung 4.16: Detail 02: Anschluss Mittelwand an Fundament .....	161
Abbildung 4.17: Detail 03: Anschluss Deckenmodul an Wandmodul.....	162
Abbildung 4.18: Detail 04: Traufe .....	163
Abbildung 4.19: Detail 05: Firstanschluss .....	164
Abbildung 4.20: Verbindung der Wandmodule (vgl. [161]).....	165
Abbildung 4.21: Verbindung der Boden-, Dach- und Deckenmodule (vgl. [161]).....	165
Abbildung 4.22: modularer Aufbau der Treppe .....	166
Abbildung 4.23: Fenstermodul.....	167
Abbildung 4.24: Türmodul.....	168

Abbildung 4.25: Anordnung der Bodenmodule .....	169
Abbildung 4.26: Anordnung der Deckenmodule .....	170
Abbildung 4.27: Anordnung der Dachmodule .....	171
Abbildung 4.28: Grundriss des Erdgeschosses (Erweiterungsstufe) zweier Häuser mit dazwischenliegender Erschließungszone .....	172
Abbildung 4.29: Ausschnitt des Erdgeschossgrundrisses: Sanitär- und Küchenbereich.....	173
Abbildung 4.30: Schnitt A-A zweier Häuser mit Sammelkanal für Gebäudetechnik .....	174
Abbildung 4.31: Ausschnitt des Schnittes A-A mit Sammelkanal für Gebäudetechnik .....	174
Abbildung 4.32: Grundriss des Obergeschosses zweier Häuser (Erweiterungsstufe).....	175
Abbildung 4.33: Schnitt A-A eines Hauses der Ausbaustufe "Graz" .....	176
Abbildung 4.34: Wandaufbau Außenwand .....	177
Abbildung 4.35: Dachaufbau .....	178
Abbildung 4.36: Aufbau Zwischendecke .....	179
Abbildung 4.37: Bodenaufbau .....	181
Abbildung 4.38: Holzaustrag Grundstufe .....	183
Abbildung 4.39: Holzaustrag Erweiterungsstufe .....	184
Abbildung 4.40: Packplan der Brettsperrholz-Module für den Transport in einem 40-Fuß Container	185
Abbildung 4.41: Zonierung Windangriff auf Seitenwand parallel zum First.....	190
Abbildung 4.42: Zonierung Windangriff auf Seitenwand normal zum First .....	191
Abbildung 4.43: Zonierung Windangriff auf Dach parallel zum First .....	192
Abbildung 4.44: Zonierung Windangriff auf Dach normal zum First .....	193
Abbildung 4.45: Belastungen Dachmodul: (links: Lastfall I, rechts: Lastfall II).....	194
Abbildung 4.46: Querschnitt des Dachmoduls.....	195
Abbildung 4.47: Umrechnung eines geneigten Balkens auf einen geraden Balken bei Schneelast....	197
Abbildung 4.48: Umrechnung eines geneigten Balkens auf einen geraden Balken bei Windlast.....	198
Abbildung 4.49: Umrechnung eines geneigten Balkens auf einen geraden Balken bei Schneelast....	198
Abbildung 4.50: links: "0-System", rechts: "1-System" .....	198
Abbildung 4.51: größte Trennwand im Obergeschoss .....	200
Abbildung 4.52: Querschnitt des Deckenmoduls .....	201
Abbildung 4.53: links: "0-System", rechts: "1-System" .....	203
Abbildung 4.54: Belastungen Wandmodul auf der Giebelseite .....	205
Abbildung 4.55: links: Abmessungen der Giebelwand, rechts: vereinfachtes Modell.....	206
Abbildung 4.56: Belastungen der Giebelwand.....	207
Abbildung 4.57: Schrittkräfte in Wandmitte an maßgebender Stelle.....	207
Abbildung 4.58: Querschnitt des Giebelwandmoduls.....	208
Abbildung 4.59: Querschnitt des Giebelwandmoduls.....	212
Abbildung 4.60: Belastungen Seitenwandmodul .....	214
Abbildung 4.61: Abmessungen der Seitenwandmodule.....	214

Abbildung 4.62: Belastungen der Seitenwand .....	216
Abbildung 4.63: Schnittkräfte in Wandmitte an maßgebender Stelle .....	216
Abbildung 4.64: Querschnitt des Seitenwandmoduls .....	217
Abbildung 4.65: Querschnitt des Seitenwandmoduls .....	220
Abbildung 4.66: Belastungen Mittelwandmodul .....	222
Abbildung 4.67: Abmessungen der Mittelwandmodule.....	222
Abbildung 4.68: Belastungen der Mittelwand.....	223
Abbildung 4.69: Querschnitt des Mittelwandmoduls.....	224
Abbildung 4.70: Belastungen der Mittelwand.....	225
Abbildung 4.71: Querschnitt des Mittelwandmoduls.....	226
Abbildung 4.72: Konsole als Deckenaufleger.....	228
Abbildung 4.73: Schraubenanordnung der Konsole pro Laufmeter.....	230
Abbildung 4.74: Anschluss Dachbalken an Dachmodul .....	231
Abbildung 4.75: Anschluss Dachbalken an Wand .....	234

## A-3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Slum-Verbesserungsstrategien (vgl. [1, S.106]).....	20
Tabelle 2.1: geschichtlicher Überblick der Bausysteme (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).....	79
Tabelle 2.2: Zulässige Transportabmessungen (vgl. [143]) .....	110
Tabelle 2.3: Vor- und Nachteile der Vorfertigung (vgl. [3][73][124]).....	114
Tabelle 2.4: prinzipieller Aufbau eines Wandelementes in H-LBW und H-MBW (vgl. [4]) .....	117
Tabelle 2.5: Elementierungsprinzipien bei Plattensystemen (vgl. [4]) .....	118
Tabelle 2.6: Abmessungen der Standard ISO-Transportcontainer (vgl. [146]).....	121
Tabelle 3.1: Rasterarten (vgl. [70][141]).....	142
Tabelle 3.2: Toleranzmaße in modularen Systemen (vgl. [155]) .....	143
Tabelle 3.3: Grenzabweichungen für Wand-, Boden-, Decken- und Dachtafeln gemäß DIN 18203-3:2008-08 (vgl. [156]) .....	144
Tabelle 4.1: Baustoffkennwerte Außenwand .....	177
Tabelle 4.2: Baustoffkennwerte Dach .....	179
Tabelle 4.3: Baustoffkennwerte Zwischendecke.....	180
Tabelle 4.4: Baustoffkennwerte Boden .....	181
Tabelle 4.5: Preise für Holzbauteile .....	182
Tabelle 4.6: Holzverbrauch und Kosten der Basisvariante .....	182
Tabelle 4.7: Montagestufen für die Errichtung des Hauses in der Grundstufe .....	186
Tabelle 4.8: Montagestufen für die Errichtung des Hauses in der Erweiterungsstufe .....	188
Tabelle 4.9: Schnittkräfte Dachmodul von Lastfall I und Lastfall II .....	195
Tabelle 4.10: Schnittkräfte Deckenmodul .....	200

## A-4 Abkürzungsverzeichnis

nach [4][163][167][168][169][171][172]

### Kleinbuchstaben:

$b$	Breite, Modulbreite, Breite des Plattenstreifens
$b_F$	mitwirkende Breite
$c_{pe,10}$	aerodynamischer Außendruckbeiwert für Lasteinflussfläche von 10 m <sup>2</sup>
$c_{pi}$	aerodynamischer Innendruckbeiwert
$d$	Nenndurchmesser des Verbindungsmittels
$d_h$	Kopfdurchmesser der Schraube
$e$	Exzentrizitätsmaß
$f_l$	Eigenfrequenz
$f_{ax,k,C24}$	charakteristischer Wert der Ausziehfestigkeit der Schraube für Vollholz der Güte C24
$f_{ax,k,CL24h}$	charakteristischer Wert der Ausziehfestigkeit der Schraube für Brettsperrholz der Güte CL24h
$f_{c,0,CLT,net,d}$	Bemessungswert der Druckfestigkeit von Brettsperrholz in Faserrichtung
$f_{h,0,d}$	Bemessungswert der Lochleibungsfestigkeit in Faserrichtung
$f_{h,1,d}$	Bemessungswert der Lochleibungsfestigkeit in Faserrichtung im Bauteil 1
$f_{head,k}$	charakteristischer Wert des Kopfdurchziehparameters der Schraube
$f_{m,CLT,d}$	Bemessungswert der Biegefestigkeit von Brettsperrholz
$f_{r,CLT,d}$	Bemessungswert der Rollschubfestigkeit von Brettsperrholz
$f_{t,0,CLT,net,d}$	Bemessungswert der Zugfestigkeit von Brettsperrholz in Faserrichtung
$f_{t,0,d}$	Bemessungswert der Zugfestigkeit von Vollholz in Faserrichtung
$f_{tens,k}$	charakteristischer Wert der Zugtragfähigkeit der Schraube
$f_{T,node,d}$	Bemessungswert der Schubfestigkeit von Brettsperrholz nach Mechanismus II (Torsion)
$f_{V,CLT,d}$	Bemessungswert der Schubfestigkeit von Brettsperrholz
$f_{v,net,d,ref}$	Bemessungswert der Netto-Schubfestigkeit von Brettsperrholz
$g_d$	Bemessungswert des Eigengewichts
$g_k$	charakteristischer Wert des Eigengewichts
$h_{SW}$	Höhe Seitenwand
$k_{ax}$	Faktor zur Berücksichtigung des Winkels $\alpha$ zwischen Schraubenachse und Faserrichtung
$k_{def}$	Deformationsbeiwert
$k_{mod}$	Modifikationsbeiwert
$l$	Länge
$l_{ef}$	effektive Einschraublänge der Schraube I in den Balken
$l_{ef,I,B}$	effektive Einschraublänge der Schraube I in den Balken

$l_{ef,I,D}$	effektive Einschraublänge der Schraube I in das Dachmodul
$l_{ef,II,B}$	effektive Einschraublänge der Schraube II in den Balken
$l_{ef,II,D}$	effektive Einschraublänge der Schraube II in das Dachmodul
$l_{ef,I,K}$	effektive Einschraublänge der Schraube I in die Konsole
$l_{ef,I,W}$	effektive Einschraublänge der Schraube I in die Wand
$l_{ef,II,K}$	effektive Einschraublänge der Schraube II in die Konsole
$l_{ef,II,W}$	effektive Einschraublänge der Schraube II in die Wand
$l_{GW}$	Länge Giebelwand
$l_k$	Knicklänge
$l_{MWM}$	Länge eines Mittelwandmoduls
$l_{SW}$	Länge Seitenwand
$l_{SWM}$	Länge eines Seitenwandmoduls
$k$	Knickabminderungsfaktor
$k_c$	Knickbeiwert
$m$	Flächenmasse / Anzahl der Stabdübel quer zur Faserrichtung
$m_{d,max}$	an einer Linie maximal wirkende Schnittkraft zufolge Moment quer zur Scheibenebene
$n$	Schraubenanzahl
$n_{cr}$	kritische Knicklast
$n_{ef}$	effektive Anzahl der Verbindungsmittel
$n_{xy,dV}$	an einer Linie wirkende Schnittkraft zufolge Querkraft in Scheibenebene
$n_{y,dM}$	an einer Linie wirkende Schnittkraft zufolge eines Moments in Scheibenebene
$n_{y,dN}$	an einer Linie wirkende Schnittkraft zufolge Normalkraft in Scheibenebene
$q_b, q_{b,0}$	Basisgeschwindigkeitsdruck
$q_d$	Bemessungswert der Nutzlast
$q_p$	Spitzengeschwindigkeitsdruck
$s$	charakteristischer Wert der Schneelast am Dach / Schnittigkeit der Verbindung
$s_d$	Bemessungswert der Schneelast am Dach
$s_k$	charakteristischer Wert der Schneelast auf dem Boden
$t^*$	ideelle Gesamtersatzdicke
$t_B$	Brettdicke bei Brettsperholz
$t_i$	Einzelschichtdicke / Blechdicke
$t_i^*$	ideelle Ersatzdicke
$w, w_k$	charakteristischer Wert der Windlast
$w_B$	Brettbreite bei Brettsperholz
$w_d$	Bemessungswert der Windlast
$w_{stat}$	größte vertikale Anfangsdurchbiegung infolge einer vertikal wirkenden statischen Einzellast $F = 1 \text{ kN}$ , in m
$y_s$	Schwerpunktastand in y-Richtung

$z_i$  z-Abstand zur Stelle i

### **Großbuchstaben:**

$A$	Querschnittsfläche
$A_{eff}$	effektive Querschnittsfläche
$A_{GW}$	Fläche Giebelwand
$A_i$	Querschnittsfläche der Schicht i
$A_{SW}$	Fläche Seitenwand
$BSP$	Brettsperrholz
$C_e$	Umgebungskoeffizient
$C_t$	Temperaturkoeffizient
$E_{0,CLT,05}$	5%-Quantil des Elastizitätsmoduls von Brettsperrholz in Faserrichtung
$E_{0,CLT,mean}$	Mittelwert des Elastizitätsmoduls von Brettsperrholz in Faserrichtung
$E_{90}$	Elastizitätsmodul quer zur Faserrichtung
$E_{(z)}$	Elastizitätsmodul im Abstand z
$EI$	Biegesteifigkeit
$EI_{längs}$	Biegesteifigkeit in Deckenlängsrichtung
$EI_{quer}$	Biegesteifigkeit in Deckenquerrichtung
$F_{ax,Rd}$	Bemessungswert der axialen Schraubentragfähigkeit
$F_{ax,Rd,I}$	Bemessungswert der axialen Schraubentragfähigkeit der Schraube I
$F_{ax,Rd,II}$	Bemessungswert der axialen Schraubentragfähigkeit der Schraube II
$F_{Rd}$	Bemessungswert der Schraube in Kraftrichtung
$F_{Rd,I}$	Bemessungswert der Schraube I in Kraftrichtung
$F_{Rd,II}$	Bemessungswert der Schraube II in Kraftrichtung
$F_{res}$	resultierende Kraft
$G_{CLT,05}$	5%-Quantil des Schubmoduls von Brettsperrholz
$G_{CLT,mean}$	Mittelwert des Schubmoduls von Brettsperrholz
$G_i$	Mittelwert des Schub-/Rollschubmoduls der Schicht i
$G_{r,CLT,05}$	5%-Quantil des Rollschubmoduls von Brettsperrholz
$G_{r,CLT,mean}$	Mittelwert des Rollschubmoduls von Brettsperrholz
$I_{y,eff}$	effektives Flächenträgheitsmoment um die y-Achse
$K_{CLT}$	Biegesteifigkeit des geschichteten Querschnitts
$K_{CLT,05}$	Biegesteifigkeit des geschichteten Querschnitts mit $E_{0,CLT,05}$
$KLED$	Klassen der Lasteinwirkungen
$M_d$	Bemessungswert des Moments
$M_{y,d}$	Bemessungswert des Fließmomentes von Stabdübel
$N_d$	Bemessungswert der Normalkraft
$NKL$	Nutzungsklasse

$Q_d$	Bemessungswert der Nutzlast (Einzellast)
$R_d$	Bemessungswert der Tragfähigkeit je Stabdübel
$R_{d,ges}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübelverbindung
$S_{CLT}$	Schubsteifigkeit des geschichteten Querschnitts
$S_{CLT,05}$	Schubsteifigkeit des geschichteten Querschnitts mit $G_{CLT,05}$ und $G_{r,CLT,05}$
$S_i$	statisches Moment an Stelle $i$
$V_d$	Bemessungswert der Querkraft
$W_{eff}$	effektives Widerstandsmoment

### griechische Buchstaben:

$\alpha$	Winkel
$\beta$	Knicklängenbeiwert
$\beta_c$	materialabhängiger Imperfektionsbeiwert
$\gamma$	Teilsicherheitsbeiwert
$\gamma_M$	Teilsicherheitsbeiwert des Materials
$\kappa$	Schubkorrekturfaktor für die geschichtete Gesamtstruktur
$\lambda_{rel}$	relative Schlankheit
$\mu$	Reibbeiwert
$\mu_i$	Formbeiwert für Schneelasten
$\rho_{k,C24}$	Rohdichte von Vollholz der Güte C24
$\rho_{k,CL24h}$	Rohdichte von Brettsperrholz der Güte CL24h
$\sigma_{m,i}$	Biegenormalspannung zufolge Moment an Stelle $i$
$\sigma_N$	Biegenormalspannung zufolge Normalkraft
$\tau_{(z)}$	Schubspannung im Abstand $z$
$\tau_{oi,d}^*$	ideelle Bemessungs-Schubspannung bezogen auf $t^*$
$\tau_{T,d}$	Bemessungswert der Schubspannung zufolge Mechanismus II (Torsion)
$\tau_{v,d}$	Bemessungswert der Schubspannung zufolge Mechanismus I (Schub)
$\psi_{0,i}$	Kombinationsbeiwert

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